ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در تأمین نیاز غیرشرب ساکنین در شهرهای ساحلی کشور

محمد حسین رشیدی مهرآبادی*[۱]، بهرام ثقفیان[۲]، محمد صادق صادقیان[۳]

دریافت ۱۳۹۱ /۱۰/۲۵ پذیرش ۱۳۹۲/۹/۱۴

چکیده

به دلیل کمبود منابع آب قابل شرب و آلودگی‌های زیست محیطی آبهای زیرزمینی، و همچنین افزایش میزان تقاضا از منابع آب به دلیل رشد جمعیت، بسیاری از شهرهای ایران، بویژه شهرهای ساحلی، در تأمین آب با دشواری‌هایی روبرو می‌باشند. جمع‌آوری آب باران از سطح پشت بام ساختمان‌های مسکونی در شهرها و روستاها برای مصارف شرب و غیر شرب راه حلی عملی در کاهش بحران فزاینده تأمین آب برای شهروندان است. از آن‌جایی که سطح وسیعی از مساحت غیر قابل نفوذ شهرها را پشت بام ساختمان‌های مسکونی تشکیل می‌دهد، حجم آب باران استحصالی از سطح پشت بام قابل توجه بوده و می‌تواند به عنوان یک جایگزین ارزشمند، یا یک منبع آب کمکی، باشد. در این تحقیق با شبیه‌سازی سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در برنامه‌ی Matlab برای سطح پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در شهرهای ساحلی رشت، گرگان، بوشهر و بندرعباس، و بر اساس آمار بارندگی روزانه به مدت ۵۰ سال برای هر چهار شهر، به تحلیل تأمین نیاز آبی روزانه‌ی ساکنین از طریق جمع‌آوری آب باران در مخازن پرداخته شد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت که اگر حجم مخازن و نیاز غیر شرب روزانه ساکنین بر اساس وضعیت فیزیکی ساختمان و شرایط آبشناسی محاسبه شوند، ذخیره سازی آب باران در مخازن به حداکثر رسیده و تعداد روزهای بیشتری برای تأمین نیاز غیر شرب ساکنین از طریق جمع‌آوری آب باران فراهم می‌شود. در رشت، برای حجم مخازن بزرگ و کوچک به ترتیب در ۷۰٪ و ۵۰٪ کل روزهای سال، حداقل ۷۵٪ نیازهای غیر شرب روزانه ساکنین تعیین شده قابل تأمین است. همچنین برای شهر گرگان به همان ترتیب ۳۹٪ و ۳۲٪ ، و برای بوشهر ۱۵٪ و ۱۱٪، و برای بندرعباس ۱۰٪ و ۷٪ کل روزهای سال قابل تأمین است.

واژه‌های کلیدی: سطوح آبگیر، شرایط آبشناسی، مخازن ذخیره‌ساز آب باران، نیاز غیر شرب روزانه

[۱]- دانشجوی دکتری مهندسی عمران - آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

[۲]- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

[۳]- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

*- نویسنده مسئول: hossein_hakim@yahoo.com

مقدمه

امروزه در کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، تأمین آب یک مسأله حیاتی است. با توجه به وضعیت اقلیمی و مصارف بیش از حد معیار در اکثر شهرهای بزرگ می‌توان مشکل کم آبی را تا حد مطلوبی با جمع‌آوری آب باران کاهش داد. از آن‌جایی که حجم آب استحصالی از سطح پشت بام در بعضی از مناطق کشور قابل توجه است، می‌تواند بخشی از نیاز غیر شرب ساکنین ساختمانهای مسکونی را تأمین نماید.

کاهیندا و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه‌ی استحصال آب باران خانگی در روستاهای آفریقای جنوبی پرداختند. محققین اظهار داشتند که در جنوب آفریقا ۲۰٪ از مردم (۹/۷ میلیون) دسترسی کافی به آب ندارند، و با استفاده از استحصال آب باران برای خانواده‌های فقیر می‌توان بخشی از این نیاز ساکنین را برطرف ساخت. قیسی و همکاران (۲۰۰۷) به مطالعه ظرفیت و توان صرفه‌جویی در آب آشامیدنی با استفاده از استحصال آب باران در مناطق مسکونی جنوب شرقی برزیل پرداختند. آنها دریافتند که توان صرفه‌جویی آب از این طریق بر اساس موقعیت جغرافیایی منطقه محسوس می‌باشد.

سانگ و همکاران (۲۰۰۸) در مورد قابلیت به‌کارگیری استحصال آب باران به عنوان یک گزینه‌ی پایدار جهت تأمین آب در شهر Banda Aceh در کشور اندونزی به تحقیق پرداختند. آنها دریافتند که همراه با افزایش آگاهی عموم مردم، و همچنین ارائه‌ی آموزشهای مناسب، می‌توان منابع آب ایمنتری، همانند استحصال آب باران برای استفاده فراهم آورد که به هزینه پایینی نیاز دارد. عبدالله و شریف (۲۰۰۹) تحقیقی را جهت ارزیابی توان ذخیره‌ی آب شرب با استفاده از آب باران در بخشهای مسکونی ۱۲ استان در کشور اردن انجام دادند. آنها بیان داشتند که توان ذخیره‌ی آب آشامیدنی از طریق استحصال آب باران برای ۱۲ استان در محدوده‌ی ۰/۲۷ تا ۱۹/۷ درصد است. سو و همکاران (۲۰۰۹) یک چارچوب روش شناختی را برای برقراری رابطه‌ی احتمالی بین ظرفیتهای ذخیره‌ی مخزن و میزان کمبود سامانه‌ی استحصال آب باران در شهر تایپه توسعه دادند. در نتیجه این مطالعه، یک نگرش جامع درباره‌ی خطر ناشی از طراحی و برنامه‌ریزی نادرست سامانه‌ی استحصال آب باران ارائه شد. استورم و همکاران (۲۰۰۹) تحقیقی را پیرامون استحصال آب باران انجام دادند. هدف آنها، ارزیابی توان ذخیره‌ی آب قابل شرب در شهر بریزیلیا در کشور برزیل بود. نتایج این تحقیق گویای آن می‌باشند که متوسط توان برای ذخیره‌ی آب قابل شرب با استفاده از آب باران، ۳۲/۷ درصد، و در محدوده‌ی بین ۹/۲ تا ۵۷/۲ درصد قرار دارد. نتیجه این‌که استفاده از آب باران برای شستشوی وسائط نقلیه در ایستگاه فروش بنزین شهر بریزیلیا سرمایه‌گذاری مناسبی بوده، و تأثیر این کار در ذخیره‌ی آب، چشمگیر می‌باشد. جونز و هانت (۲۰۱۰) به توسعه‌ی یک شبیه رایانه‌ای برای شبیه‌سازی عملکرد سامانه با استفاده از استحصال آب باران در جنوب ایالات متحده پرداختند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که سامانه‌های استحصال آب باران بی‌حاصل بوده و دلیل آن برآورد ضعیف از استفاده از آب و درک عمومی از سامانه‌ی استحصال آب باران نزد مردم است. اِروکسوس و رحمان (۲۰۱۰) تحقیقی را پیرامون استحصال آب باران در ساختمانهای چند واحدی در استرالیا انجام دادند. آنها درباره‌ی توان ذخیره‌ی آب در مخازن آب باران در سه شهر سیدنی، نیوکاسل، و ولونگونگ به مطالعه پرداختند. آنها دریافتند که این نوع از مخازن موجب ذخیره‌ی مناسب آب باران، حتی در سالهای خشک می‌شوند. ایمتیاز و همکاران (a) (۲۰۱۱) برای اولین بار در ملبورن استرالیا، به مطالعه درباره‌ی بهینه‌سازی طراحی مخزن آب باران، حاصل از جمع‌آوری روانابهای پشت بام پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان دادند که مخازن مورد مطالعه دارای اثرات برجسته‌ای در اقلیمهای مرطوب و معتدل بوده، و تأثیرات کمتری را در سالهای خشک دارند. ایمتیاز و همکاران (b) (۲۰۱۱) برای دستیابی به ابزاری جامع جهت انجام تحلیل عملکرد و همچنین، طراحی مخازن آب باران در شهر ملبورن استرالیا تلاش کردند. نتایج مطالعات آنها بر اساس عوامل متعدد متفاوت بوده‌اند. برای نمونه، در طرح خانوارهای دو نفره با مساحت پشت بام ۱۵۰ مترمربعی، نمی‌توان ۱۰۰ درصد نیاز آبی را حتی در سال مرطوب، تأمین کرد. پالا و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی استفاده از فراسنجهای بدون

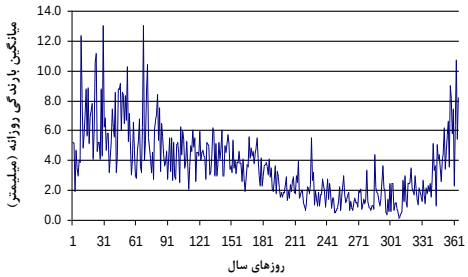
بعد در عملکرد بهینه از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی در این تحقیق نشان می‌دهند که کمبود تقاضا، فراسنج مؤثر بر بازده‌ی ذخیره آب و حجم سرریز است. ویاله و همکاران (۲۰۱۲) به مدیریت کیفیت آب و ارزیابی هیدرولیکی سامانه‌ی استحصال آب پشت بام در فرانسه پرداختند. ارزیابی کیفیت آب باران استحصال شده برای استفاده دستشویی در خانه‌های شخصی در جنوب غربی فرانسه با کمک ۲۱ فراسنج فیزیکی - شیمیایی برای یک سال انجام شد. در کل، آب باران جمع‌آوری شده کیفیت فیزیکی شیمیایی مناسبی داشت، اما میزان آن متغیر بود و آلودگی میکروبی در آن مشاهده نگردید. عملکرد ذخیره‌ی آب تا ۸۷ درصد اثبات شد. رحمان و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه‌ی استحصال آب باران در شهر سیدنی، بر اساس صرفه‌جویی در آب و صرفه‌ی اقتصادی طرح، اقدام کردند. آنها اظهار داشتند که ذخیره‌سازی آب باران در مخازن تحت تأثیر میانگین بارندگی در سال است، و بدون کمک و یارانه‌ی دولت نسبت سود به هزینه سامانه‌های سطوح آبگیر کمتر از یک می‌باشد. برای این‌که استحصال آب باران در مناطق مسکونی در شهر سیدنی رواج پیدا کند، باید دولت کمک هزینه و یارانه برای اجرای سامانه‌های سطوح آبگیر باران برای خانوارها در نظر بگیرد. ایمتیاز و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی توان آب باران در جنوب غربی نیجریه، بر اساس تأمین آب روزانه و شرایط فیزیکی و محیطی منطقه پرداخته‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده در این تحقیق، برای دست‌یابی تأمین ۱۰۰٪ نیازهای آبی کم، ساکنین به حجم مخزن ۷۰۰۰ لیتر، و برای نیازهای آبی زیاد، ساکنین حجم مخزن ۱۰۰۰۰ لیتر نیاز است. آنها بیان داشتند با افزایش حجم مخازن می‌توان حداکثر جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب باران را برای تأمین نیاز آبی ساکنین داشت. کامپیسانو و مودیکا (۲۰۱۲) یک روش بدون بُعد را برای طراحی بهینه‌ی سامانه‌ی استحصال آب باران خانگی ارائه کردند. این مطالعه مبتنی بر نتایج توازن آب روزانه به‌دست آمده از ۱۷ ایستگاه مختلف در شهر سیسیل ایتالیا بود. نتایج این رویکرد نشان می‌دهند که با کاهش ابعاد مخازن، میزان هزینه کمتری نیز برای پیاده‌سازی سامانه مورد نیاز می‌باشد. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی عملکرد و تحلیل سامانه‌ی سطوح آبگیر در ذخیره‌سازی آب باران و تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین در ساختمانهای مسکونی و در اقلیمهای مختلف آب و هوایی کشور ایران پرداخته‌اند. آنها اظهار داشتند که اگر حجم مخزن براساس شرایط منطقه و آب و هوایی محاسبه شود، ذخیره‌سازی آب باران در مخازن به حداکثر رسیده، و تعداد روزهای بیشتری را برای تأمین نیاز غیر شرب ساکنین از طریق جمع‌آوری آب باران خواهیم داشت. در مناطق پرباران، با افزایش سطح پشت بام و حجم مخازن، افزایش ذخیره‌سازی آب باران محسوس ولی برای مناطق کم باران و خشک با همان شرایط، افزایش محسوسی در ذخیره‌سازی آب باران در مخازن نخواهیم داشت.

هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی و تحلیل سامانه‌ی استحصال آب باران از سطح پشت بام شهرهای ساحلی کشور، و عملکرد مخازن برای ذخیره‌سازی آب باران و تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین است. با نمودارهای حاصل شده از شبیه‌سازی سامانه به بررسی عملکرد و بازده‌ی این نوع سامانه‌ها در ساختمانهای مسکونی پرداخته شد و نتایج به صورت ارقام و نمودار برای شرایط مختلف ارائه گردید.

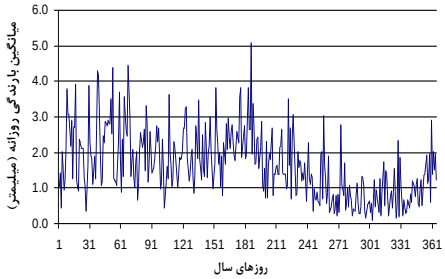
مناطق مورد مطالعه و روش بررسی

در این مطالعه شهرهای رشت و گرگان دارای آب و هوای معتدل و مرطوب، و شهرهای بندرعباس و بوشهر که دارای آب و هوای گرم و خشک هستند انتخاب گردیدند. آمار بارندگی روزانه به مدت ۵۰ سال از مهر سال ۳۸-۱۳۳۷ تا شهریور ۸۷-۱۳۸۶ برای هر چهار شهر جمع‌آوری شدند. شکلهای ۱ تا ۴ میانگین بارندگی روزانه را طی این ۵۰ سال از مهر تا شهریور نشان می‌دهند. شکل ۵ متوسط مصرف سرانه‌ی خانگی (بدون فضای سبز)، به ازاء هر نفر در شبانه روز در شهرهای ایران را پیشنهاد می‌کند (مبانی و ضوابط طراحی طرحهای آبرسانی شهری، نشریه‌ی شماره‌ی ۳-۱۱۷). مصارف خانگی شامل آب مورد نیاز برای مصارف آشامیدن، پخت و پز، شستشو، استحمام، تأسیسات تهویه، مصارف بهداشتی، آبیاری فضای سبز خانگی و از این دست می‌باشند. میانگین روزانه‌ی مصارف فوق در طول یک

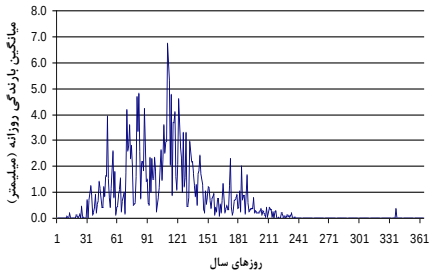
سال برای هر نفر متوسط "مصرف سرانه خانگی" نامیده می‌شود. بنا بر مفاد نشریه‌ی ضوابط طراحی، میزان سرانه‌ی خانگی غیر از فضای سبز برای شهرهای ایران تا سال ۱۳۹۵ بین ۷۵ تا ۱۵۰ لیتر در روز تعیین شده است (مبانی و ضوابط طراحی طرحهای آبرسانی شهری، نشریه‌ی شماره‌ی ۳-۱۱۷). در این تحقیق، نیاز روزانه‌ی سرانه‌ی خانگی کل و غیرشرب ساکنین، محاسبه شده بر اساس شرایط سال ۱۳۸۵، با کاربرد شبیه رایانه‌ای چند معیاره‌ی آناهیتا (متدولوژی مورد استفاده در طرحهای جامع آب کشور) برای شهرهای مورد نظر در شکل ۶ آورده شده‌اند (اصول و منطق مدل رایانه‌ای آناهیتا-۱۳۹۱).



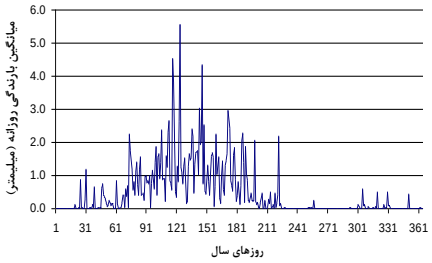
شکل ۱- میانگین بارندگی روزانه‌ی رشت.
(شروع از اول مهرماه)



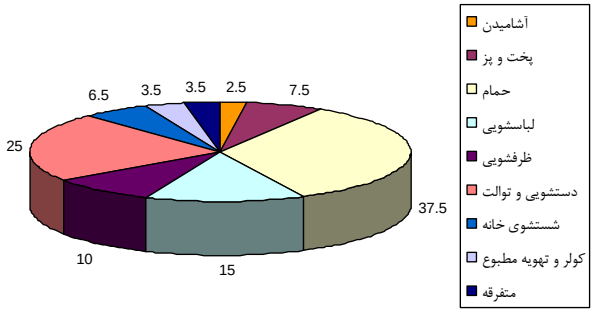
شکل ۲- میانگین بارندگی روزانه‌ی گرگان.
(شروع از اول مهرماه)



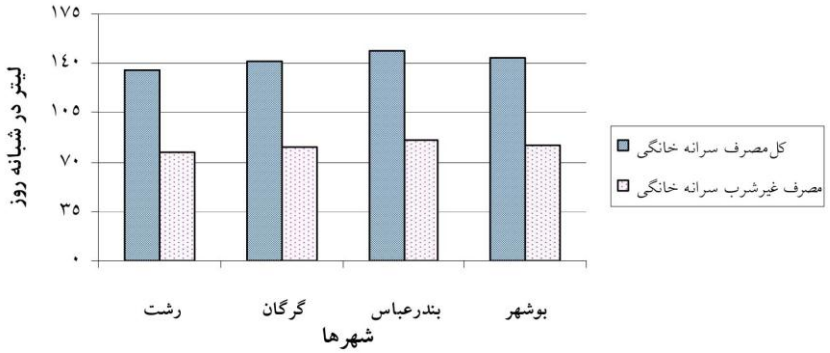
شکل ۳- میانگین بارندگی روزانه‌ی بوشهر.
(شروع از اول مهرماه)



شکل ۴- میانگین بارندگی روزانه‌ی بندرعباس.
(شروع از اول مهرماه)



شکل ۵- متوسط پیش‌بینی مصرف سرانه‌ی خانگی برای سال ۱۳۹۵ (نشریه شماره ۳-۱۱۷).



شکل ۶- متوسط مصرف سرانه‌ی خانگی کل و غیر شرب (بر اساس شبیه آناهیتا-۱۳۹۱).

با توجه به شکل ۶، مقدار آب غیرشرب مورد نیاز بطور متوسط ۸۰ لیتر در شبانه روز برای هر نفر، و سطح انتظار تأمین آب از سامانه‌ی ذخیره‌سازی آب باران در مخازن حداقل ۷۵ درصد در نظر گرفته شد. ظرفیت مخازن آب باران از ۱۰۰۰ لیتر تا ۲۰۰۰۰ لیتر، و با گامهای ۱۰۰۰ لیتری و مساحت پشت بام ساختمانهای مسکونی در شهرها ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی انتخاب شد. ضریب رواناب برای پشت بام ساختمان‌ها با توجه به جنس و شیب پشت بامها برای گرگان و رشت، ۰/۸۵ و در بوشهر و بندرعباس، ۰/۸۰در نظر گرفته شد. تعداد ساکنین برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی به ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ نفر انتخاب گردید.

در سامانه‌ی سطوح آبگیر پشت بام ساختمانها، آب باران ابتدا از سطح پشت بام جمع‌آوری شده و به کمک ناودان و لوله‌های انتقال آب به سمت مخازن هدایت و در آن‌جا ذخیره می‌شود. آب مازاد به صورت سرریز از مخزن خارج شده و به سمت زهکشهای سطحی، یا شبکه‌ی فاضلاب شهری، جریان می‌یابد. آب ذخیره شده در مخازن برای مصارف غیرشرب افراد ساکنین مورد مصرف قرار می‌گیرد.

حجم کل آب باران قابل استحصال از سطح پشت بام I_t بر حسب لیتر به صورت زیر به‌دست می‌آید:

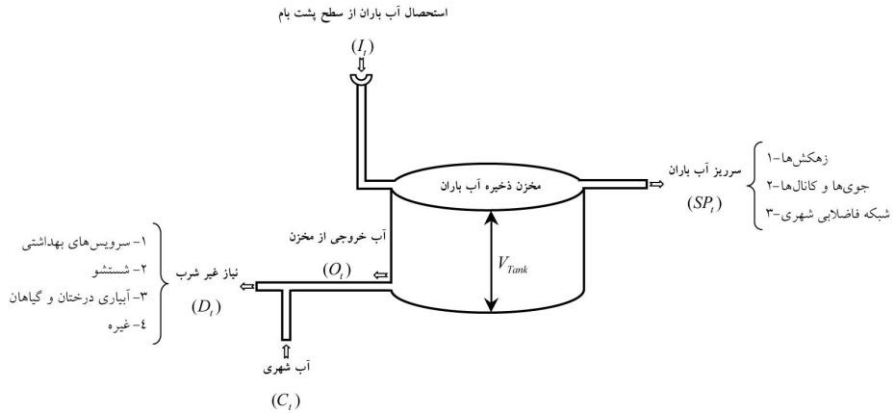
$$I_t = R_t \times A \times \varphi \qquad (۱)$$

که در آن R_t بارندگی روزانه بر حسب میلیمتر و A مساحت پشت بام بر حسب مترمربع، φ ضریب رواناب پشت بام و بدون بعد می‌باشد.

حجم آب باران ذخیره شده در مخزن بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$V_t = I_t + V_{t-1} - O_t - SP_t \qquad (۲)$$

که در آن، V_t حجم ذخیره‌ی آب در در زمان t بر حسب لیتر، I_t حجم استحصال شده آب باران از سطح پشت بام در زمان t بر حسب لیتر، V_{t-1} حجم ذخیره‌ی قبلی آب در مخزن در روزهای قبل بر حسب لیتر و SP_t حجم سرریز از مخزن در زمان t و بر حسب لیتر می‌باشد (شکل۷).



شکل ۷- طرح‌واره‌ی عملکرد مخازن سطوح آبگیر پشت بام ساختمانها.

در بعضی از مواقع، مقدار آب استحصال شده کمتر از مقدار نیاز روزانه‌ی ساکنین (D_t) است. برای تأمین این کمبود از آب شهری (C_t) (با توجه به شکل۱) استفاده می‌شود و (O_t) مقدار حجم آبی خروجی از مخزن برای تأمین نیاز غیر شرب ساکنین ساختمان مدنظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مجموع حجم آب مورد نیاز بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود:

$$D_t = C_t + O_t \qquad (۳)$$

با توجه به رابطه‌ی زیر می‌توان برای مقدار کمبود C_t قیودی را قرار داد و به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned} &If: O_t \geq D_t \rightarrow C_t = 0 \\ &If: O_t < D_t \rightarrow C_t = D_t - O_t \end{aligned} \qquad (۴)$$

درصد کل روزهای سال برای تأمین نیازهای غیر شرب برای ساکنین بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

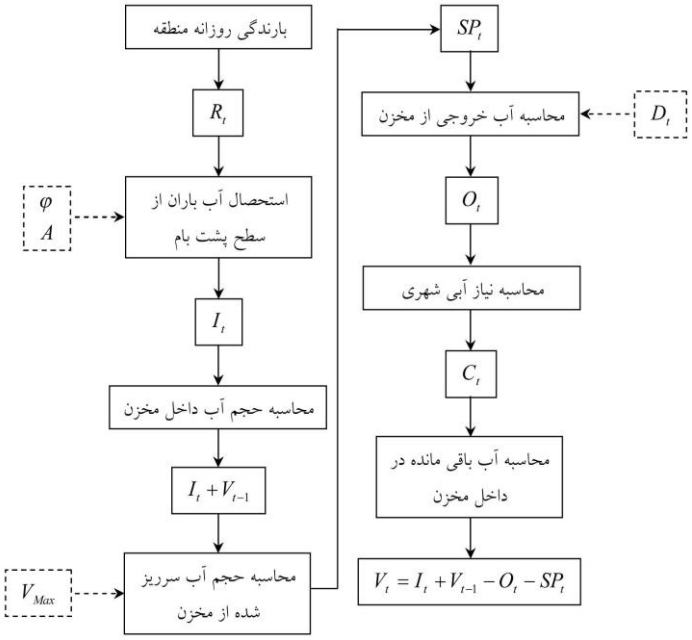
$$\mathrm{Re} = \frac{D_w}{D_d} \times 100 \qquad (۵)$$

که در آن Re درصد روزهای تأمین نیازهای غیر شرب، D_w تعداد روزهای از سال که نیاز غیر شرب ساکنین تأمین می‌شود، و D_d تعداد کل روزهای سال می‌باشد.

در شبیه‌سازی، ابتدا مقادیر حجم آب استحصال (I_t) شده در هر روز از سطح پشت بام محاسبه شده است. ذخیره‌ی آب قبلی در مخزن (V_{t-1}) منظور گردیده است. مجموع I_t و V_{t-1} اگر از حجم مخزن ($V_{\max}$) بیشتر شد دارای سرریز هستیم (SP_t)، که مقدار سرریز برابر با مجموع بارندگی در همان روز و حجم آب قبلی در مخزن منهای حجم مخزن است. حال اگر ($V_{t-1} + I_t$) از حجم حداکثر مخزن کمتر بود سرریز برابر با صفر می‌شود.

مجموع بارندگی و حجم قبلی آب مخزن منهای حجم سرریز آب از مخزن بیشتر از نیاز تأمین آب غیر شرب (D_t) باشد، دیگر نیازی به آب شهری (C_t) نیست، ولی اگر این مقدار کمتر از مقدار نیاز غیر شرب باشد، مابقی کمبود نیاز از آب شهری تأمین می‌شود. حجم آبی که از مخزن برای تأمین نیاز غیر شرب ساکنین خارج می‌گردد (O_t) در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، حجم مخزن برابر با مجموع بارندگی و حجم قبلی آب مخزن منهای سرریز آب و آب خروجی از مخزن برای تأمین نیاز غیر شرب ساکنین می‌باشد.

نمودار گردشی شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر پشت بام در شکل ۸ نمایش داده شده است.

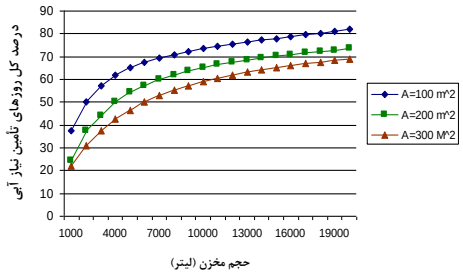


شکل ۸- مراحل شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر پشت بام ساختمانها.

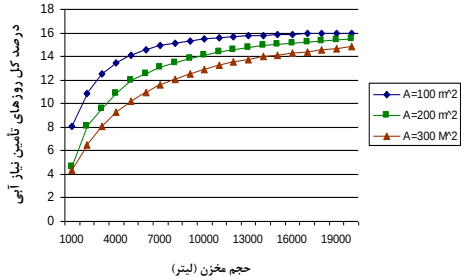
نتایج و بحث

سامانه‌ی استحصال آب باران از سطح پشت بام ساختمانها در شهرهای مورد نظر در برنامه‌ی Matlab و بر اساس روابط بیان شده شبیه‌سازی گردید. در شبیه‌سازی سامانه، حجم قابل استحصال آب باران از سطح پشت بام، حجم آب ذخیره گردیده در مخازن، و درصد تأمین نیاز غیر شرب به صورت روزانه برای کل دوره‌ی آمار بارندگی شهرها محاسبه شد. شکلهای ۹ تا ۱۲ به ترتیب برای شهرهای رشت، گرگان، بوشهر و بندرعباس می‌باشد، که بیانگر درصد کل روزهای سال برای تأمین نیاز غیر شرب روزانه برای ساکنین شهرها در حجم‌های مختلف مخازن در مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی است. با توجه به شکل ۹ می‌توان اظهار داشت که در رشت، بیشترین تعداد روزهای سال، که حداقل ۷۵٪ نیازهای غیر شرب روزانه‌ی ساکنین از آب باران قابل تأمین است، برابر با ۸۲٪ برای شرایط مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی، نیاز غیر شرب روزانه‌ی ۳۲۰ لیتر در روز، و حجم مخزن ۲۰۰۰۰ لیتر است؛ و همچنین، کمترین این مقدار برابر با ۲۲٪ برای شرایط مساحت پشت بام ۳۰۰ مترمربعی، نیاز غیر شرب روزانه‌ی ۹۶۰ لیتر و حجم مخزن ۱۰۰۰ لیتر است. با افزایش حجم مخازن، تعداد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین افزایش پیدا می‌کند، ولی با افزایش نیاز غیر شرب روزانه (افزایش تعداد ساکنین که متناسب با افزایش مساحت پشت بامها است)، تعداد روزهای تأمین کاهش پیدا کرده است. بطور میانگین، تعداد روزهای تأمین برای حجم-های مختلف مخازن برای مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی برابر با ۷۰٪ از کل سال، و برای مساحتهای ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی به ترتیب برابر با ۶۱٪ و ۵۵٪ از کل سال است. با توجه به شکل ۱۰ می‌توان بیان داشت که در گرگان، بیشترین تعداد روزهای تأمین برای نیازهای غیر شرب روزانه ۳۲۰ و ۶۴۰ لیتر، و برای حجم مخازن بزرگ، برابر با ۴۰٪ کل روزهای سال و کمترین این مقدار برای نیاز غیر شرب روزانه ۹۶۰ لیتر و برای حجم مخزن ۱۰۰۰ لیتر برابر با ۱۴٪ کل روزهای سال است. برای مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی و حجم مخزن بیش از ۸۰۰۰ لیتر، تعداد روزهای تأمین ثابت و برابر با ۴۰٪ کل روزهای سال، و برای مساحت پشت بامهای ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی، تعداد روزهای تأمین از حجم مخزن ۱۵۰۰۰ لیتر به بالا، ثابت و به ترتیب برابر با ۴۰٪ و ۳۹٪ کل روزهای سال است. با توجه به شکل ۱۱، تعداد روزهای تأمین نیازهای غیر شرب در شهر بوشهر در محدوده‌ی ۴ تا ۱۶

درصد کل روزهای سال است. بطور میانگین تعداد روزهای تأمین برای حجم‌های مختلف مخازن برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی به ترتیب برابر با ۱۵٪، ۱۳٪ و ۱۲٪ کل روزهای سال است. همچنین با توجه به شکل ۱۲، حداکثر و حداقل تعداد روزهای تأمین



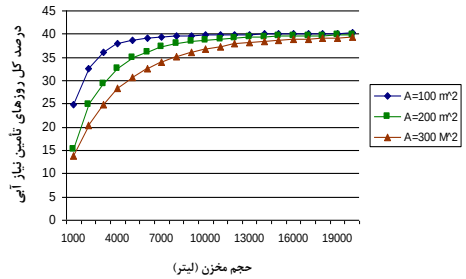
شکل ۹- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در رشت (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



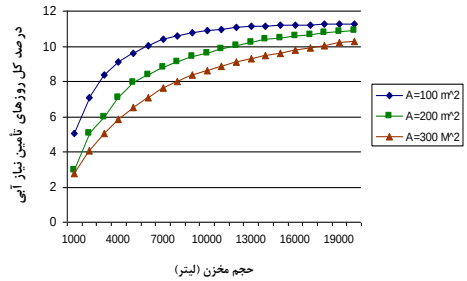
شکل ۱۱- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بوشهر (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).

شکلهای ۱۳ تا ۱۵ بیانگر تعداد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین در رشت برای محدوده‌ی تغییرات نیاز غیر شرب ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتری، و در شرایط مساحت پشت بامها ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی و حجم مخازن ۱۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ لیتری است. با توجه به شکل‌ها می‌توان اظهار داشت که برای رشت، بیشترین بازده‌ی سامانه و تعداد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین، ۹۹٪ کل روزهای سال در شرایط حجم مخزن ۲۰۰۰۰ لیتری، مساحت پشت بام

در بندرعباس به ترتیب ۱۱٪ و ۳٪ کل روزهای سال است. تغییرات تعداد روزهای تأمین نیاز آبی ساکنین در حجم مخازن بزرگ، غیر محسوس و در محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۱ درصد است، ولی تغییرات در حجم مخازن کوچک، آشکارتر، و در محدوده‌ی ۳ تا ۹ درصد است.



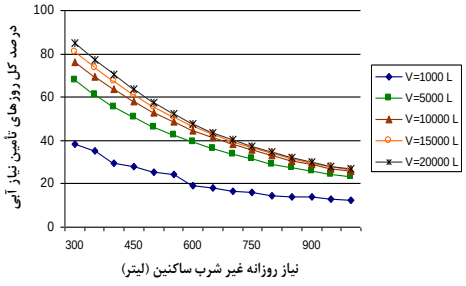
شکل ۱۰- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در گرگان (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



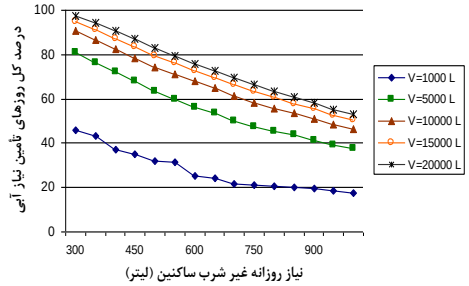
شکل ۱۲- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بندرعباس (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).

۳۰۰ مترمربعی و نیاز غیر شرب روزانه ۳۰۰ لیتر است. همچنین، کمترین این مقدار برابر با ۱۳٪ کل روزهای سال برای شرایط حجم مخزن ۱۰۰۰ لیتری، مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی و نیاز غیر شرب روزانه ۱۰۰۰ لیتر است. با افزایش مساحت پشت بام و حجم مخازن، تعداد روزهای تأمین افزایش پیدا کرده، و برای نیاز غیر شرب ۳۰۰ لیتر، در محدوده‌ی ۳۹ تا ۹۹ درصد کل روزهای سال، و برای نیاز غیر شرب ۱۰۰۰ لیتر در محدوده‌ی ۱۳ تا ۶۷ درصد کل روزهای سال است. بطور

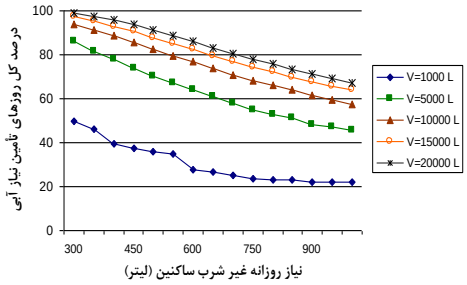
میانگین، تعداد روزهای تأمین برای نیازهای غیر شرب ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر برای حجم مخزن ۲۰۰۰۰ لیتری و ۱۰۰۰ لیتر و مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی به ترتیب برابر با ۴۸٪ و ۲۱٪ کل روزهای سال، و برای مساحت پشت بام ۲۰۰ مترمربعی به همان ترتیب بیان شده برابر با ۷۴٪ و ۲۸٪ کل روزهای سال، و برای مساحت پشت بام ۳۰۰ مترمربعی به همان ترتیب بیان شده برابر با ۸۳٪ و ۳۱٪ کل روزهای سال است. شکلهای ۱۶ تا ۱۸ بیانگر تعداد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در گرگان با همان شرایط رشت است. محدوده‌ی تغییرات تعداد روزهای تأمین نیازهای غیر شرب ساکنین برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی به ترتیب برابر با ۶ تا ۴۳ درصد، ۱۰ تا ۸۴ درصد و ۱۴ تا ۹۶ درصد کل روزهای سال است. میانگین تعداد روزهای تأمین برای حجم مخازن ۱۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ لیتری برای نیاز غیر شرب روزانه ۳۰۰ لیتر و برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی برابر با ۳۹٪، ۶۹٪ و ۷۸٪ کل روزهای سال و همچنین این مقدار برای نیاز غیر شرب ۱۰۰۰ لیتر به همان ترتیب مساحت پشت بامها بیان شده، برابر با ۹٪، ۲۰٪ و ۳۱٪ است. شکلهای ۱۹ تا ۲۱ بیانگر تعداد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین در بوشهر با همان الگوی قبلی است. در این شهر، حداقل تعداد روزهای تأمین برابر با ۲٪ کل روزهای سال برای شرایط حجم مخزن ۱۰۰۰ لیتری، نیاز غیر شرب روزانه ۱۰۰۰ لیتری و مساحت پشت بام ۱۰۰ مترمربعی است. حداکثر تعداد روزهای تأمین برابر با ۴۰٪ کل روزهای سال برای شرایط حجم مخزن ۲۰۰۰۰ لیتر، نیاز غیر شرب روزانه ۳۰۰ لیتر و مساحت پشت بام ۳۰۰ مترمربعی است. تعداد روزهای تأمین برای شرایط نیازهای آبی کم و حجم مخازن بزرگ، دارای تغییرات محسوس و در محدوده‌ی ۱۷ تا ۴۰ درصد، و برای شرایط نیازهای آبی زیاد و حجم مخازن کم، دارای تغییرات نامحسوس و در محدوده‌ی ۲ تا ۱۲ درصد کل روزهای سال است. همچنین، با توجه به شکلهای ۲۲ تا ۲۳ می‌توان بیان داشت که برای بندرعباس تعداد کل روزهای تأمین در محدوده‌ی ۱ تا ۲۹ درصد کل روزهای سال است. میانگین تعداد روزهای تأمین برای شرایط حجم مخزن ۱۰۰۰ لیتری، مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی به ترتیب برابر با ۳٪، ۴٪ و ۴٪ کل روزهای سال است، و برای شرایط حجم مخزن ۲۰۰۰۰ لیتری و مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی، این مقدار به ترتیب برابر با ۶٪، ۱۲٪ و ۱۶٪ کل روزهای سال است.



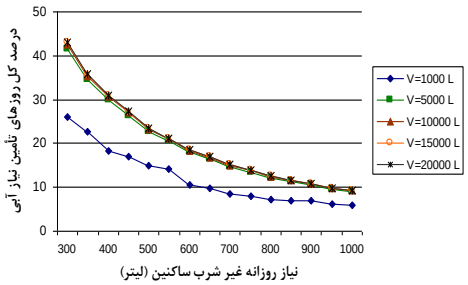
شکل ۱۳- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در رشت برای مساحت ۱۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



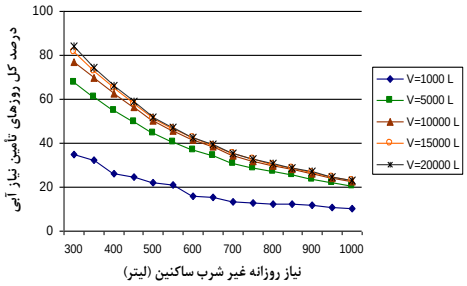
شکل ۱۴- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در رشت برای مساحت ۲۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



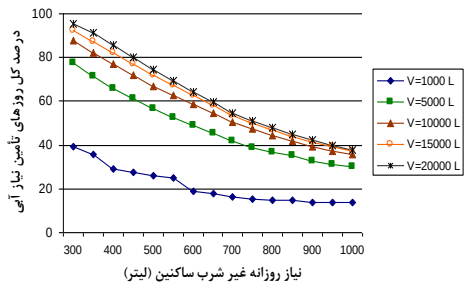
شکل ۱۵- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در رشت برای مساحت ۳۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



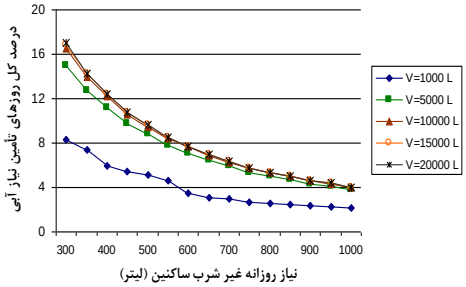
شکل ۱۶- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در گرگان برای مساحت ۱۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



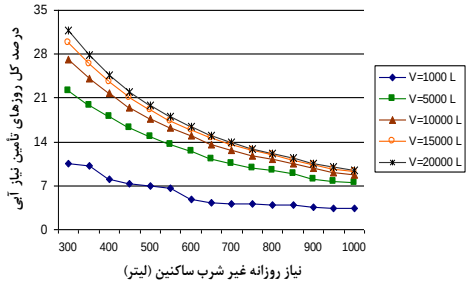
شکل ۱۷- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در گرگان برای مساحت ۲۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



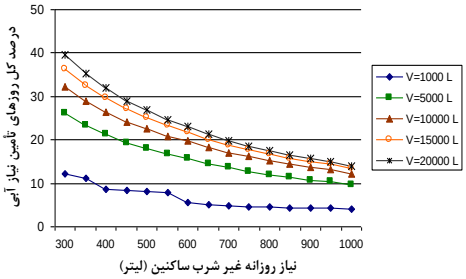
شکل ۱۸- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در گرگان برای مساحت ۳۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



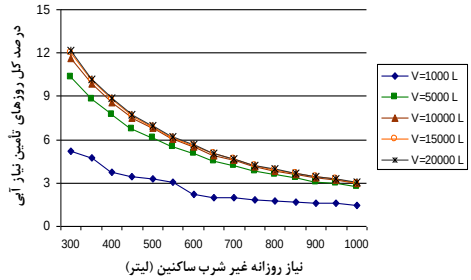
شکل ۱۹- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بوشهر برای مساحت ۱۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



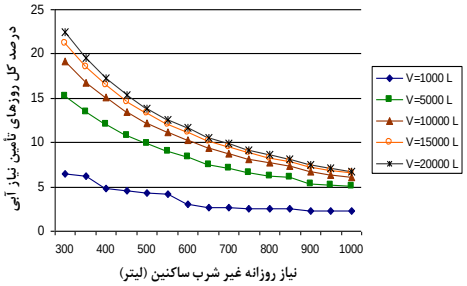
شکل ۲۰- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بوشهر برای مساحت ۲۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



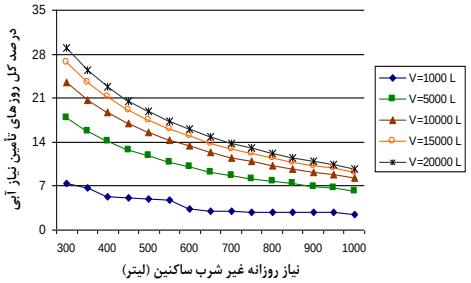
شکل ۲۱- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بوشهر برای مساحت ۳۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



شکل ۲۲- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بندرعباس برای مساحت ۱۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



شکل ۲۳- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بندرعباس برای مساحت ۲۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).



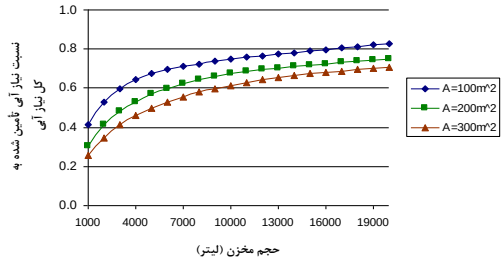
شکل ۲۴- درصد روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین در بندرعباس برای مساحت ۳۰۰ مترمربع. (آستانه‌ی حداقل درصد تأمین نیاز ۷۵٪).

شکلهای ۲۵ تا ۲۸، نسبت آب تأمین شده از آب ذخیره شده در مخازن به کل آب مورد نیاز غیر شرب روزانه ساکنین برای کل روزهای سال برای سطح پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در شهرهای مورد نظر را نشان می‌دهد. این نسبت برای رشت در محدوده‌ی ۰/۳ تا ۰/۸۵ است. برای شرایط حجم مخازن بزرگ و سطح پشت بامهای کوچک، این نسبت نزدیک به یک، و برای شرایط حجم مخازن کوچک و سطح پشت بامهای بزرگ، کمتر از ۰/۵ است. برای گرگان در بیشتر مواقع این نسبت، برابر با ۰/۴ است. برای شرایط حجم مخازن کوچکتر از ۵۰۰۰ لیتری، و سطح مساحت پشت بامهای بزرگ این نسبت کمتر از ۰/۴ است. مقدار این نسبت برای بوشهر و بندرعباس به ترتیب در محدوده‌ی ۰/۰۵ تا ۰/۱۷ و ۰/۰۳ تا ۰/۱۲ قرار دارد. برای بوشهر حجم مخازن کمتر از ۴۰۰۰ لیتری و برای مساحت پشت بام ۳۰۰ مترمربعی، این نسبت کمتر از ۰/۱ و مقداری ناچیز می‌باشد. برای بندرعباس در بیشتر حالات این نسبت مقداری ناچیز و کمتر از ۰/۱۱ است. جدول ۱ بر اساس مساحت پشت بام، میانگین تعداد روزهای سال برای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین در شرایط مختلف برای شهرها ارائه شده، و همچنین، در جدول ۲ بر اساس مقدار نیاز غیر شرب ساکنین، میانگین تعداد روزهای سال برای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین در شرایط مختلف ارائه شده است.

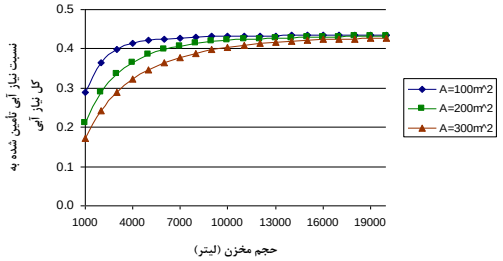
در مقایسه با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با سایر تحقیقاتی که قبلاً در کشورهای دیگر انجام شده است می‌توان اظهار داشت، استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر در تأمین نیاز آبی در ساختمانهای مسکونی،

کارایی و عملکرد مناسبی دارند. در تحقیقاتی که در برخی شهرهای استرالیا، برزیل، اندونزی، ایالات متحده و ... انجام شده است، اجرای سامانه‌های سطوح آبگیر در تـأمین نیـاز آبی ساکنان محسوس بوده، و این قابلیت را دارنـد کـه بـه عنوان یک منبع کمکی در تأمین نیاز آبی ساکنان در نظـر گرفته شده، و بـا توجـه بـا نتـایج حاصـل گردیـده از ایـن تحقیق می‌توان همین نتیجه را بـرای شـهرهای پـر بـاران کشور همچون رشت و گرگـان ارائـه کـرد و بیـان داشـت.

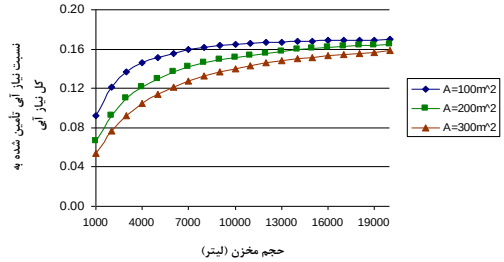
همچنین سامانه‌های سطوح آبگیـر پشـت بامهـا روشـی کمکی، و اقتصادی توجیه پـذیر بـرای تـأمین نیـاز آبـی ساکنین به شمار می‌روند.



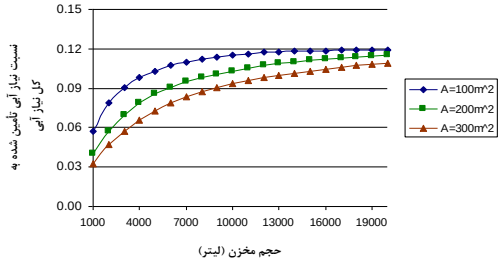
شکل ۲۵- نسبت آب تأمین شده به کل آب مورد نیاز برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در رشت.



شکل ۲۶- نسبت آب تأمین شده به کل آب مورد نیاز برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در گرگان.



شکل ۲۷- نسبت آب تأمین شده به کل آب مورد نیاز برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در بوشهر.



شکل ۲۸- نسبت آب تأمین شده به کل آب مورد نیاز برای مساحت پشت بامهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربعی در بندرعباس.

جدول ۱- کل روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین به‌وسیله‌ی ذخیره‌سازی آب باران.

مشخصات ساختمان		درصد کل روزهای سال برای تأمین حداقل ۷۵٪ نیاز غیر شرب روزانه ساکنین (٪)			
مساحت پشت بام (مترمربع)	حجم مخازن (لیتر)	نیاز روزانه غیر شرب روزانه (لیتر)	رشت	گرگان	بوشهر	بندرعباس
۱۰۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۳۰۰<D<۵۰۰	۵۱	۲۷	۱۰	۷
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۵۰۰<D<۱۰۰۰	۳۷	۱۴	۶	۴
۲۰۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۳۰۰<D<۵۰۰	۶۴	۴۹	۱۶	۱۱
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۵۰۰<D<۱۰۰۰	۶۴	۳۳	۱۳	۹
۳۰۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۳۰۰<D<۵۰۰	۶۹	۵۸	۱۹	۱۳
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۵۰۰<D<۱۰۰۰	۷۶	۵۱	۱۸	۱۳

جدول ۲- کل روزهای تأمین نیاز غیر شرب روزانه ساکنین به‌وسیله‌ی ذخیره‌سازی آب باران.

مشخصات ساختمان			درصد کل روزهای سال برای تأمین حداقل ۷۵٪ نیاز غیر شرب روزانه ساکنین (٪)			
نیاز غیر شرب روزانه ساکنین (لیتر)	حجم مخازن (لیتر)	مساحت پشت بام (مترمربع)	رشت	گرگان	بوشهر	بندرعباس
۳۲۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۵۰<A<۲۵۰	۶۲	۴۴	۱۵	۱۰
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۲۵۰<A<۵۰۰	۹۸	۹۵	۴۰	۳۰
۶۴۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۵۰<A<۲۵۰	۳۸	۲۲	۸	۵
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۲۵۰<A<۵۰۰	۸۷	۷۱	۲۵	۱۷
۹۶۰	۱۰۰۰<V<۱۰۰۰۰	۵۰<A<۲۵۰	۲۷	۱۳	۵	۳
	۱۰۰۰۰<V<۲۰۰۰۰	۲۵۰<A<۵۰۰	۷۳	۵۱	۱۸	۱۲

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی عملکرد سامانه‌ی سطوح آبگیر پشت بام ساختمانهای مسکونی در تأمین نیازهای غیر شرب روزانه ساکنین در شهرهای ساحلی ایران پرداخته شد. بطور کلی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و استخراج نمودارهای مرتبط با استحصال آب باران از سطح پشت بامها، ذخیره‌سازی آب باران در مخازن و درصد کل روزهای تأمین نیازهای غیر شرب روزانه‌ی ساکنین را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد:

۱- اگر سامانه‌ی سطوح آبگیر پشت بام ساختمانهای مسکونی بر اساس شرایط آبشناسی منطقه، درصد تأمین نیاز غیر شرب روزانه‌ی ساکنین، تعداد ساکنین و شرایط فیزیکی پشت بام ساختمانها طراحی و محاسبه شود، کارایی و بازده‌ی سامانه برای ذخیره‌سازی آب باران و تأمین نیازهای آبی ساکنین افزایش پیدا می‌کند.

۲- در رشت، برای حجم مخازن بزرگ (حجم مخازن بیش از ۱۰۰۰۰ لیتر) بطور میانگین، ۷۱٪ کل روزهای سال، حداقل ۷۵٪ نیازهای غیر شرب روزانه ساکنین از آب باران قابل تأمین است. برای حجم مخازن کوچک (حجم مخازن کمتر از ۱۰۰۰۰ لیتر) ۵۲٪ کل از روزهای سال، نیاز غیر شرب ساکنین قابل تأمین است. برای گرگان برای حجم مخازن بزرگ و کوچک، به ترتیب ۳۹٪ و ۳۲٪ کل روزهای سال و برای شهر بوشهر به همین ترتیب ۱۵٪ و ۱۱٪ کل روزهای سال و برای شهر بندرعباس به همان ترتیب ۱۰٪ و ۷٪ کل روزهای سال را حداقل ۷۵٪ نیازهای غیر شرب روزانه ساکنین از راه ذخیره‌سازی آب باران در مخازن سطوح آبگیر پشت بام ساختمانها قابل تأمین است.

۳- در رشت، برای تأمین حداقل ۷۵٪ نیاز روزانه‌ی ۳۲۰ لیتر برای بهترین شرایط (حجم مخازن بیش از ۱۰۰۰۰ لیتر و مساحت پشت بام بزرگتر از ۲۵۰ مترمربع)، و برای بدترین شرایط (حجم مخازن کمتر از ۱۰۰۰۰ لیتر و مساحت پشت بام کمتر از ۲۵۰ مترمربع)، بطور میانگین و به ترتیب ۹۸٪ و ۶۲٪ کل روزهای سال را قابلیت تأمین نیاز آبی ساکنین وجود دارد. برای گرگان، برای بهترین و بدترین شرایط به ترتیب ۹۵٪ و ۴۴٪ کل روزهای سال قابلیت تأمین نیاز آبی ساکنین وجود دارد. همچنین، برای بوشهر برای بهترین و بدترین شرایط به ترتیب ۴۰٪ و ۱۵٪ و برای بندرعباس به ترتیب ۳۰٪ و ۱۰٪ است.

۴- در رشت، برای تأمین حداقل ۷۵٪ نیاز روزانه‌ی ۹۶۰ لیتر در روز برای بهترین شرایط (حجم مخازن بیش از ۱۰۰۰۰ لیتر و مساحت پشت بام بزرگتر از ۲۵۰ مترمربع)، و بدترین شرایط (حجم مخازن کمتر از ۱۰۰۰۰ لیتر و مساحت پشت بام کمتر از ۲۵۰ مترمربع) بطور میانگین، و به ترتیب ۷۳٪ و ۲۷٪ و برای گرگان ۵۱٪ و ۱۳٪ کل روزهای سال قابلیت تأمین نیاز آبی ساکنین وجود دارد. برای بوشهر با توجه به شرایط ذکر شده به ترتیب برابر با ۱۸ ٪ و ۵٪ و برای بندرعباس به ترتیب برابر با ۱۲٪ و ۳٪ است.

۵- تعداد روزهای ذخیره‌سازی آب باران و استفاده از آب ذخیره شده برای تأمین نیاز آبی ساکنین در شهرهای معتدل و پر باران ساحلی همانند رشت و گرگان محسوس

و قابل توجه می‌باشد. اما برای شهرهای ساحلی خشک و کم باران، همانند بوشهر و بندرعباس، ذخیره‌سازی آب باران بسیار کم و نا محسوس می‌بود، و کارکرد و بازده‌ی این نوع سامانه‌ها برای تأمین نیاز آبی در این نوع مناطق کم است.

سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس محمد اسماعیل پروینی، (کارشناس سابق وزارت نیرو) و سرکار خانم مهندس مریم کریمی (کارشناس آب شهری، مؤسسه‌ی تحقیقات آب) برای تهیه آمار و اطلاعات مرتبط با نیاز آبی ساکنین در شهرهای مختلف و ارائه گزارشهای مرتبط با تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی، مبانی و ضوابط طراحی طرح‌های آبرسانی شهری، نشریه شماره ۳-۱۱۷، سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۱.

۲. شرکت‌های رایانه‌ای آناهیتا و ایده‌های نرم‌افزاری مینو، تحقیقات و ساماندهی تقاضا و طراحی و اجرای مدل، ویرایش هشتم فروردین ۱۳۹۱.

3. Abdulla, F.A., and A.W. Al-Shareef. 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. J. Desalin. 243: 195-207.
4. Campisano, A., and C. Modica. 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. J. Resour. Conserv. Recycl. 63: 9-16.
5. Eroksuz, E., and A. Rahman. 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. J. Resour. Conserv. Recycl. 54: 1449-1452.
6. Ghisi, E., D.L. Bressan, and M. Martini. 2007. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. J. Build. Environ. 42: 1654-1666.
7. Imteaz, M.A., A. Shanableh, A. Rahman, and A. Ahsan. 2011 (a). Optimization of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. J. Resour. Conserv. Recycl. 55: 1022-1029.
8. Imteaz, M.A., A. Ahsan, J. Naser, and A. Rahman. 2011 (b). Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. J. Resour. Conserv. Recycl. 56: 80-86.
9. Imteaz, M.A., O.B. Adeboye, S. Rayburg, and A. Shanableh. 2012. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. J. Resour. Conserv. Recycl. 62: 51-55.
10. Jones, M.P., and W.F. Hunt. 2010. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. J. Resour. Conserv. Recycl. 54: 623-629.
11. Kahinda, J.M., A.E. Taighenu, and J.R. Boroto. 2007. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. J. Phys. Chem. Earth. 32: 1050-1057.
12. Palla, A.,I. Gnecco, and L.G. Lanza. 2011. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. J. Hydrol. 401: 65-76.
13. Rahman, A., J. Keanea, M.A. Imteaz. 2012. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. J. Resour. Conserv. Recycl. 61: 16- 21.
14. Rashidi Mehrabadi, M.H., B. Saghafian, and F. Haghighi Fashi. 2013. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. J. Resour. Conserv. Recycl. 73: 86-93.
15. Song, J., M. Han, T. Kim, and J. Song. 2008. Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh. J. Desalin. 248: 233-240.
16. Sturm, M., M. Zimmermann, K. Schütz, W. Urban, and H. Hartung. 2009. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. J. Phys. Chem. Earth. 34: 776–785.
17. Su, M.D., C.H. Lin, L.F. Chang, J.L. kang, and M.C. Lin. 2009. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. J. Resour. Conserv. Recycl. 53: 393-399.
18. Vialle, C., C. Sablayrolles, M. Lovera, M.C. Huau, S. Jacob, and M. Montrejaud-Vignoles. 2012. Water

quality monitoring and hydraulic evaluation of a household roof runoff harvesting system in France. J. Water Resour. Manage. 26: 2233-2241.