ارزیابی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در کرج

هادی شوکتی*[۱]، مهدی کوچک‌زاده[۲]، علی‌اکبر نوروزی[۳]، سینا اصولی[۴]

۱*- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی،گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
پست الکترونیک: *Hadi99Shokati@gmail.com*
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی،گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

ارزیابی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران، که یکی از روش‌های کارآمد در زمینه مقابله با بحران کمبود منابع آبی می‌باشد، موجب اعمال مدیریت بهتر در اجرای این سامانه‌ها می‌گردد. در این مقاله با هدف بررسی پتانسیل استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران، قابلیت اطمینان و نیز محاسبه سرریز این سامانه‌ها تحت سناریوهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، داده‌های قابل جمع‌آوری(۲۶ ساله) بارش روزانه شهر کرج، تحت سناریو یک خانه مسکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربع و دارای ۴ سکنه و سطح انتظار تأمین ۷۵ و ۱۰۰ درصد تقاضای غیر شرب روزانه در نظر گرفته شد. قابلیت اطمینان مخازن ذخیره‌سازی و نسبت سرریز برای حجم‌های مختلف مخازن، بررسی شد. نتایج نشان داد که در شهر کرج با استفاده از یک مخزن ۵۰۰۰ لیتری، ۱۰۰ درصد از نیازهای غیرشرب یک خانواده ۴ نفره با آب باران حاصل از یک سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربعی در ۱۰/۶۲ درصد از روزهای سال قابل تأمین است که این میزان در صورت استفاده از مخزن ۵۰۰ لیتری، برابر با ۸/۲ درصد از کل روزهای سال خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در صورت استفاده از یک مخزن ۵۰۰۰ لیتری در شهر کرج، در ۱۶/۳۷ درصد از روزهای سال، ۷۵ درصد از نیازهای غیر شرب روزانه ۴ سکنه با استفاده از آب باران استحصالی از یک سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربعی قابل تأمین است که این میزان در صورت استفاده از یک مخزن ۵۰۰ لیتری، ۱۲/۲۷ درصد خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در صورت استفاده از یک مخزن ۵۰۰ لیتری، ۱۴/۳۲ درصد از کل آب استحصالی، سرریز می‌گردد که در صورت جایگزینی مخزن ۳۵۰۰ لیتری، این مقدار برابر صفر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: جمع‌آوری آب باران، قابلیت اطمینان، نسبت سرریز

مقدمه

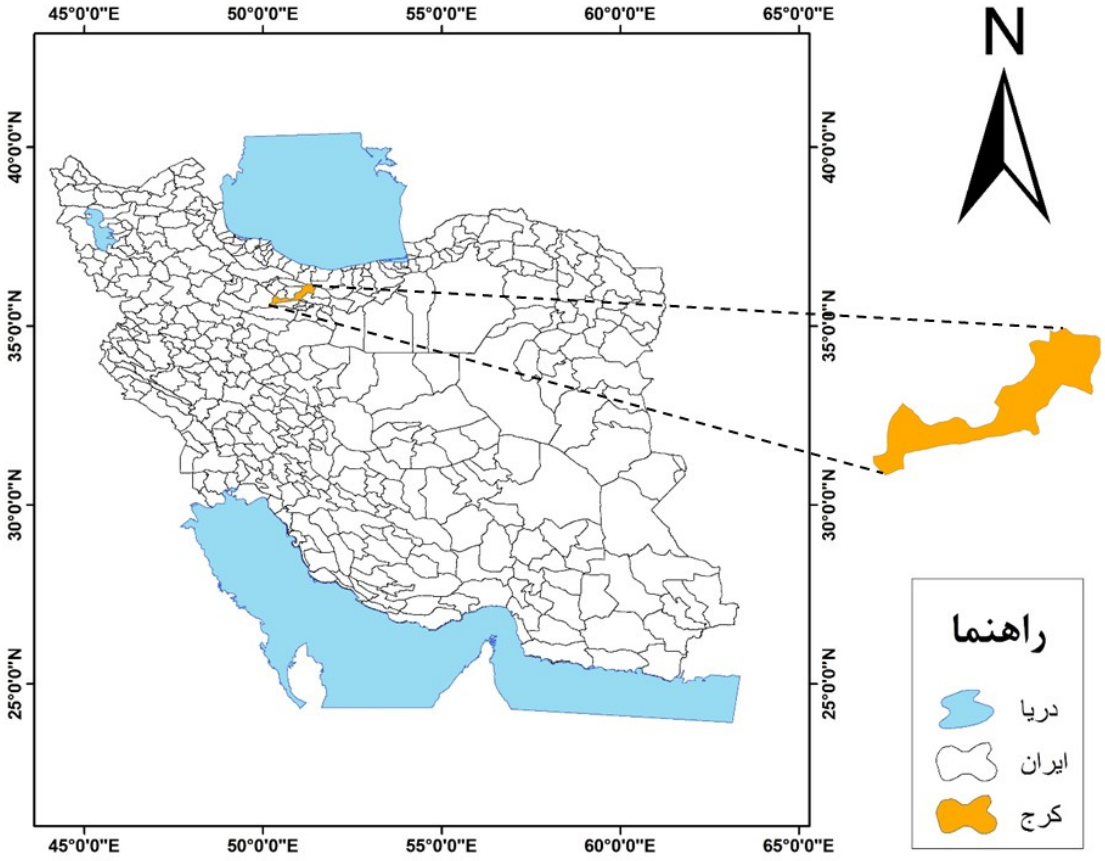
کشور ایران به لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود که با مشکل کمبود منابع آبی مواجه است. علاوه بر این، پراکندگی نزولات جوی در کشور یکسان نبوده و اغلب بارش‌ها در سواحل دریای خزر و نیمه غربی تا جنوب غرب کشور به وقوع می‌پیوندد. از سوی دیگر به دلیل رشد اقتصادی و نیز رشد جمعیت، تقاضا برای منابع آب، هر روزه با گسترش فزاینده‌ای همراه است. بر این اساس و با توجه به سهم اندک ایران از آب‌های شیرین زمین، لزوم یافتن راه حللی ببرای جببران کسری ببیلان عرضه و تقاضای آب بیشتر نمایان می‌گردد. یکی از راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش فشار بر منابع آب، به کارگیری سامانه‌های جمع‌آوری آب باران(RWHS)[1]، می‌باشد که تجزیه و تحلیل کارایی این سامانه‌ها نقش کلیدی را برای متقاعد ککردن ککاربران ببرای اتخاذ ییک سامانه جمع‌آوری آب باران ایفا می‌کند. تحقیقات مختلفی در این زمینه در مناطق مختلف دنیا صورت گرفتته است. (Liaw و Tsai ، ۲۰۰۴) در مطالعه‌ای با بررسی حجم بهینه مخزن تحت سناریوهای مختلف نشان دادند ککه زممانی ککه ظرفییت ذخیره‌سازی ککم و تقاضای آب زیاد در نظر گرفته شود، قابلیت اطمینان(درصدی از روزهای سال که بتوان ببا آب بباران، تقاضای ساکنین را پاسخ داد) مخازن آب باران، صفر خواهد شد. (Basinger و همکاران،۲۰۱۰) قابلیت اطمینان مخازن آب را به عنوان ییک منبع تتأمین آب ببرای مصارف فلاش‌تانک، آبیاری باغ و سامانه‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌های مسکونی چند واحده در نیویورک مورد بررسی ققرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که آب باران جمع‌آوری شده می‌تواند نیازهای آبیاری باغ و سامانه‌های تهویه مطبوع را با قابلیت اطمینان ۹۰-۸۰ درصد تأمین کند. با این حال آب باران جمع‌آوری شده ببه منظور تتأمین مصرف فلاش‌تاننک از قابلییت اطمیننان ۴۰ – ۱۰ درصد برخوردار خواهد ببود. (Mehrabadi و همککاران، ۲۰۱۳) نشان دادند ککه می‌تتوان حداقل ۷۵ درصد از نییاز آب غیرشرب را در ساختمان‌های معمولی تقریباً در ۷۰ درصد از زمان نگهداری آب باران تأمین کرد. (Dakua و همکاران، ۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای در ششهر Dhaka بنگلادش دریافتند که می‌توان حدود ۷۰- ۸۰ درصد از تقاضای آب مصرفی را در طول ماه‌های ژوئئن- سپتامبر تتأمین ککرد. (Bailey و همکاران، ۲۰۱۸) با بررسی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران تحت سناریوهای مختلف، نشان دادند که افزایش سطح پشت‌بام استراتژی بهینه برای افزایش قابلیت اطمینان سامانه است. (Lani و همکاران، ۲۰۱۸) نشان دادند که درصد قابلیت اطمینان سامانه‌های جمع‌آوری آب باران، بسته به حجم مخزن ذخیره‌سازی، برای ساختمان های کوچک و بزرگ تجاری به ترتیب ۹۳ و ۱۰۰ درصد می‌تواند به دست آید. (Bashar و همکاران، ۲۰۱۸) به بررسی قابلیت اطمینان و آنالیز اقتصادی سامانه جمع‌آوری آب ببارن در نواحی مختلف بنگلادش پرداختند. آن‌ها دریافتند که شهرهای Sylhet و Chittagong از پتانسیل بالایی برای اجرای سامانه‌های مذکور برخوردار می‌باشند، به طوری که در این دو شهر، قابلیت اطمینان ۴۰ – ۳۰ درصدی می‌تواند حاصل گردد.

در این مقاله سعی گردید تا با هدف ارزیابی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران از سطوح پشت بام، مطالعه جامعی صورت گیرد. بدین منظور، شهر کرج به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد و در نهایت، برآورد قابلیت اطمینان سامانه‌های مذکور و همچنین نسبت سرریز(OFR)[2] (نسبت مجموع حجم سرریز به کل حجم آب جمع‌آوری شده) برای مخازن با حجم‌های مختلف به کمک روابط و معادلات تعیین گردید.

روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه در این مقاله، شهر کرج تعیین شد. شکل ۱ موقعیت این شهر را نشان می‌دهد.

[1] Rainwater harvesting systems
[2] - Overflow ratio



شکل ۱- موقعیت مکانی شهر کرج

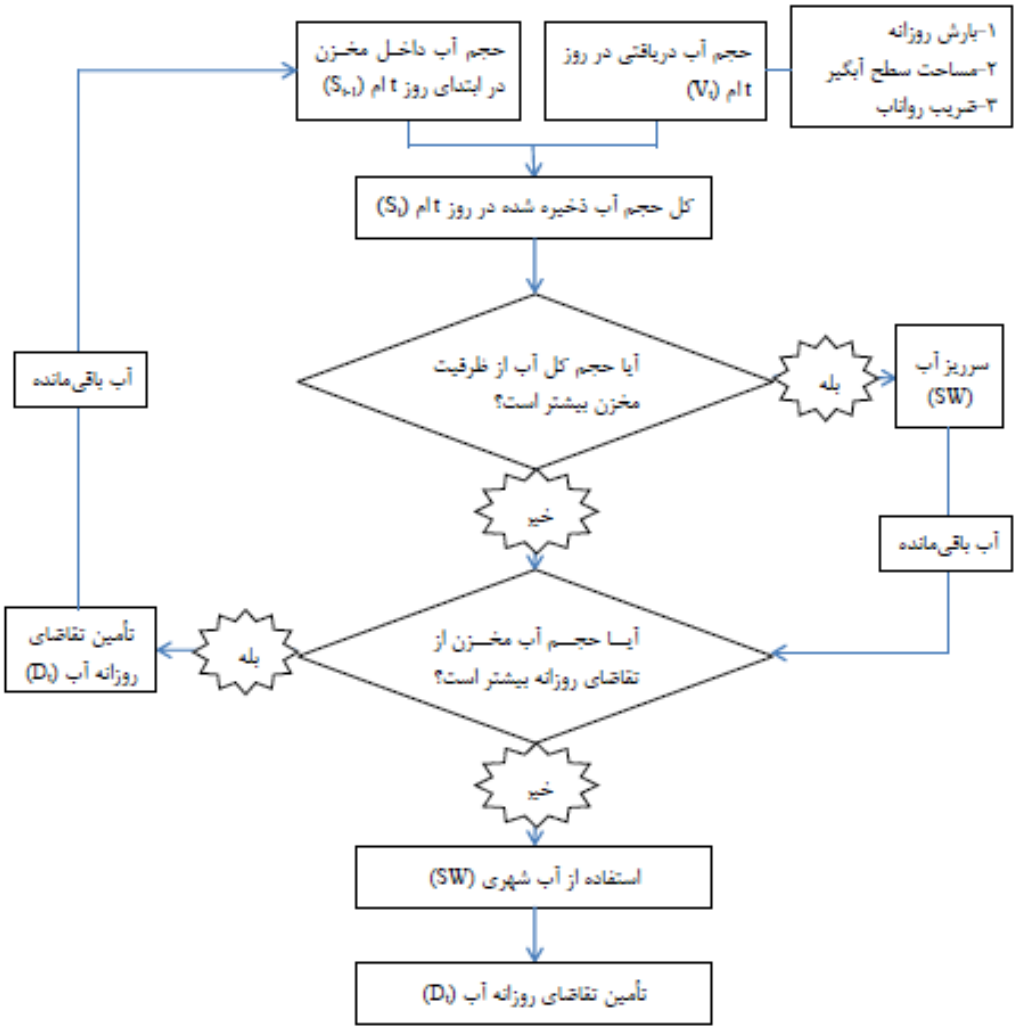
از بین تکنیک‌های مختلفی که به منظور تجزیه و تحلیل سامانه‌های جمع‌آوری آب باران ارائه شده‌اند، روش مدل‌سازی تعادل روزانه آب به دلیل سادگی تفسیر، دقت بالا و نیز پذیرش عمومی بهتر، انتخاب شد. این مدل، از داده‌های روزانه بارش به عنوان منبع اولیه برای تأمین تقاضای ساکنین استفاده می‌کند و فرض می‌شود که اگر در یک روز خاص، بارش باران به تنهایی قادر به تأمین این تقاضا نباشد، از آب شهری نیز به عنوان مکمل استفاده گردد. از این مدل در تحقیقات گذشته از جمله (Rahman و همکاران، ۲۰۱۲)، (Mehrabadi و همکاران، ۲۰۱۳)، (Imteaz و همکاران، ۲۰۱۴) و (Jing و همکاران، ۲۰۱۷) نیز استفاده شده است. نمودار گردشی مراحل شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر پشت بام‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱-۲- حجم آب استحصالی

تعیین حجم آب جمع‌آوری شده، از پارامترهای اساسی در برآورد حجم بهینه مخازن می‌باشد. از رابطه زیر برای محاسبه حجم رواناب از سطوح آبگیر استفاده می‌شود (Khastagir و Jayasuriya، ۲۰۱۰):

$$Q = I_{eff} \times C_R \times A \qquad (۱)$$

که در آن، Q رواناب روزانه (لیتر)، I_{eff} بارش مؤثر روزانه (میلی‌متر)، A سطح آبگیر متصل به مخزن (مترمربع) و C_R ضریب رواناب می‌باشد.



شکل ۲- مراحل شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر پشت بام‌ها

۲-۲- آنالیز قابلیت اطمینان

به منظور برآورد قابلیت اطمینان جمع‌آوری آب باران در منطقه مورد مطالعه طرح، داده‌های قابل جمع‌آوری بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک شهر کرج از روز اول ژانویه سال ۱۹۹۳ تا روز ۲۳ دسامبر سال ۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و نیز میانگین بارش سالانه این ایستگاه را نشان می‌دهد.

درصد قابلیت اطمینان برای تأمین نیازهای غیرشرب ساکنین بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Imteaz و همکاران، ۲۰۱۲):

$$Re = \frac{N-U}{N} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، U تعداد روزهایی از سال که نیاز غیرشرب ساکنین در شرایط مورد نظر تأمین نمی‌گردد و N تعداد کل روزها در یک سال خاص می‌باشد. در این مطالعه، درصد قابلیت اطمینان به ازای حجم‌های مختلف مخازن از ۵۰۰ لیتر تا ۵۰۰۰ لیتر و با گام تغییر ۵۰۰ لیتر، و همچنین تحت سناریو تأمین ۱۰۰ درصد تقاضا و ۷۵ درصد تقاضا (مطابق مطالعه قبللی توسط (مهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱) که به برآورد قابلیت اطمینان در ازای تأمین ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد تقاضا پرداختند) برآورد گردید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی کرج

شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)
کرج	۵۰/۹۵۳۸۵	۳۵/۸۰۶۹۴	۱۲۹۲/۹	۲۳۰/۹

۳-۲- نسبت سرریز

محاسبه نسبت سرریز به ازای حجم‌های مختلف مخازن نیز در این مقاله در نظر گرفته شد. رابطه زیر برای محاسبه نسبت سرریز از مخازن به کار می‌رود (Bashar و همکاران، ۲۰۱۸)؛

$$OFR = \frac{\sum_{i=1}^{n} SW_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i} \times 100 \quad (۳)$$

در این معادله، SW_i حجم آب سرریز شده در روز i (لیتر)، V_i حجم آب استحصال شده در روز i (لیتر) و n تعداد روزهای دوره ارزیابی می‌باشد که مقدار سرریز با رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Mehrabadi و همکاران، ۲۰۱۳):

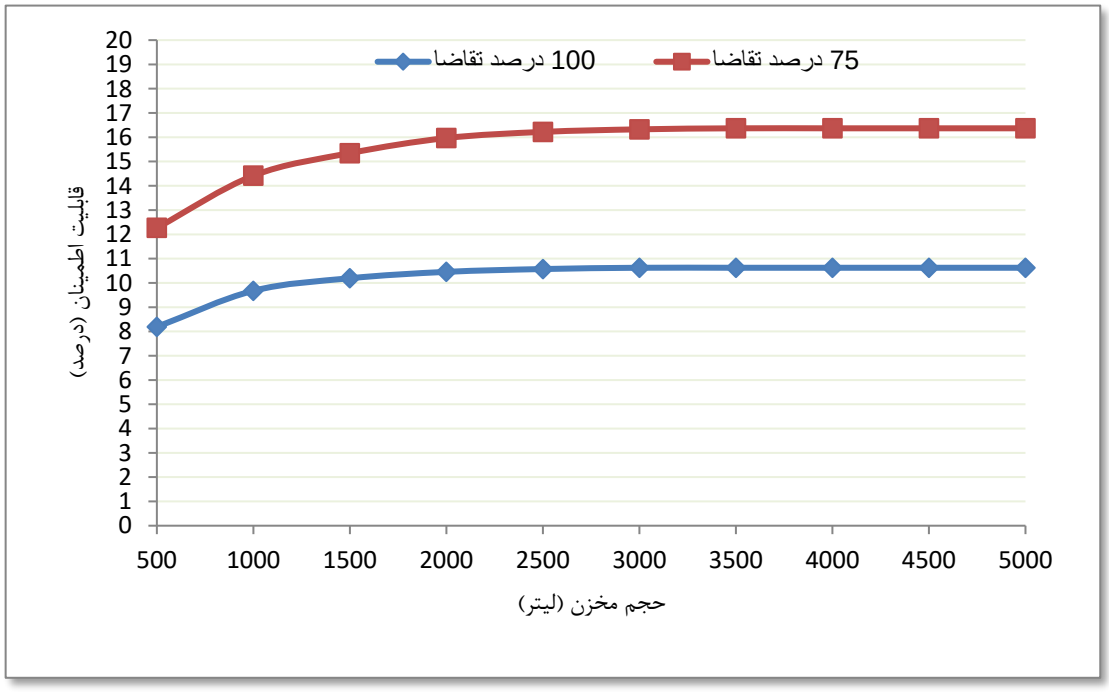
$$SP_t = V_{t-1} + I_t - O_t - V_{max} \quad (۴)$$

در این معادله، SP حجم سرریز از مخزن (لیتر)، V_{max} حجم مخزن(لیتر)، O نیاز غیرشرب(لیتر) و I حجم آب جمع‌آوری شده روزانه(لیتر) می‌باشد.

نتایج و بحث

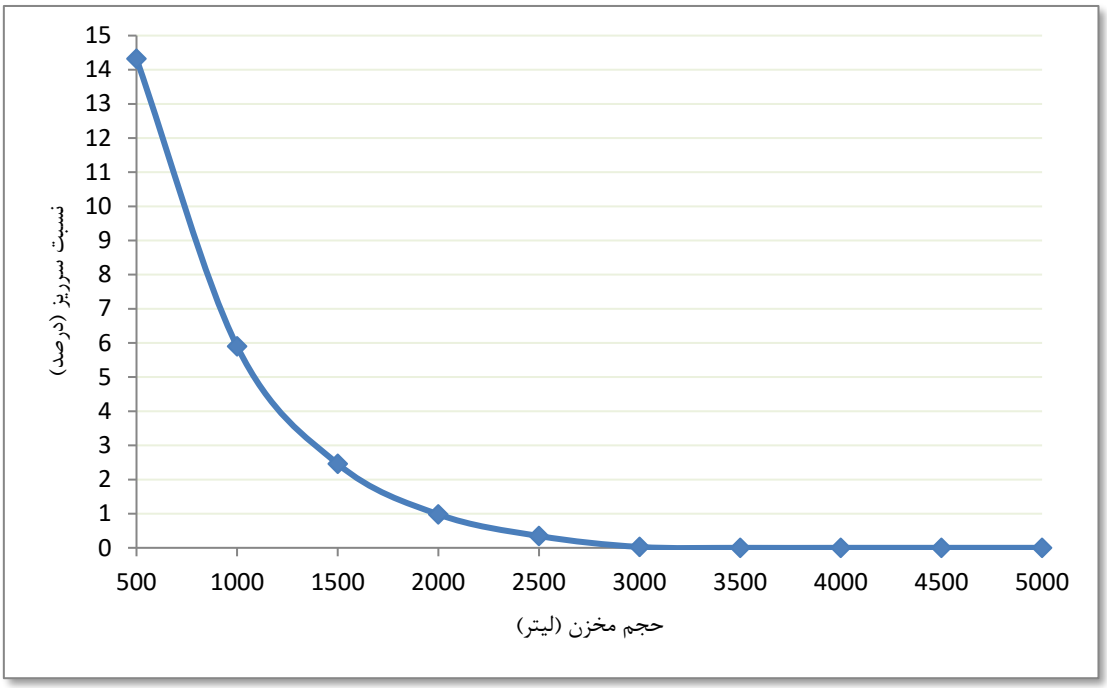
سامانه جمع‌آوری آب باران از سطوح پشت‌بام ساختمان‌ها در شهر کرج ، در محیط نرم‌افزار Matlab و ببر اساس معادلات ممذکور شبیه‌سازی گردید. در شبیه‌سازی سامانه، حجم آب باران قابل استحصال از سطح پشت‌بام، حجم آب بباران ذخییره شده در مخازن، درصد قابلیت اطمینان و نسبت سرریز از مخازن به صورت روزانه برای کل دوره‌ی آمار بارندگی منطقه مورد نظر محاسبه شد. ضریب رواناب با توجه به جنس و شیب پشت‌بام‌ها در شهرها، ۰/۸۵ (آکان، ۱۳۸۰) در نظر گرفته شد. در این مطالعه، سرانه آب غیرشرب مورد نیاز به طور متوسط ۸۰ لیتر در روز بر اساس مطالعه قبلی توسط (مهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱) در نظر گرفتته شد. شکل ۳ بیانگر قابلیت اطمینان برای تأمین نیاز غیرشرب روزانه ساکنین منطقه مورد مطالعه با حجم‌های مختلف مخازن ببا مساحت پشت‌بام ۱۰۰ مترمربعی است. این شکل مقایسه بین قابلیت اطمینان مخازن آب باران را برای دو سناریو تتأمین ۱۰۰ درصدی و ۷۵ درصدی نیاز غیرشرب روزانه ۴ سکنه به ازای حجم‌های مختلف مخازن نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش میزان تقاضای آب، درصد قابلیت اطمینان مخازن کمتر می‌گردد ککه ایین نتیجه همسو ببا تحقیقات (Mehrabadi و همککاران، ۲۰۱۳) و (Bashar و همکاران، ۲۰۱۸) می‌باشد. به عبارت دیگر، درصد روزهایی از سال ککه بتتوان ببا استفاده از آب بباران، ۷۵ درصد از نیاز غیرشرب روزانه ۴ نفر را با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی تأمین کرد، از درصد روزهای تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز غیرشرب روزاننه هممین تعداد نفرات و با همین میزان سطح آبگیر بیشتر است، به طوری که به ازای یک حجم مخزن برابر با ۵۰۰ لیتر، در صورت تتأمین ۱۰۰ درصد تقاضا، درصد قابلیت اطمینان برابر با ۸/۲ درصد خواهد بود که این میزان، در صورت تتأمین ۷۵ درصد تقاضا، برابر ببا ۱۲/۲۷ درصد خواهد بود. همچنین به ازای یک حجم مخزن ۵۰۰۰ لیتری، در صورت تأمین ۱۰۰ درصد تقاضا، درصد قابلیت اطمینان برابر ببا ۱۰/۶۲ درصد و در صورت تأمین ۷۵ درصد تقاضا، برابر با ۱۶/۳۷ درصد خواهد بود.

همچنین می‌توان نتیجه گرفت که درصد روزهای تأمین نیاز غیرشرب روزانه، با افزایش حجم مخزن روند صعودی داشته و پیوسته از شیب این روند صعودی کاسته می‌شود، به طوری که قابلیت اطمینان، به یک عدد ثابت گرایش می‌یابد ککه ایین نتیجه ببا نتتایج تحقیقات (Mehrabadi و همکاران، ۲۰۱۳)، (Lani و همکـاران، ۲۰۱۸) و (Bashar و همککاران، ۲۰۱۸) مطابقت دارد. درصد قابلییت اطمینان در شهر کرج، درصورت تأمین ۱۰۰ درصد تقاضا، تقریباً از مخزن ۲۰۰۰ لیتری به یک عدد ثابت میل می‌کنند، در حالی ککه درصورت تأمین ۷۵ درصد تقاضا، تقریباً از حجم مخزن برابر با ۳۰۰۰ لیتر، به یک عدد ثابت گرایش می‌یابد.



شکل ۳- مقایسه قابلیت اطمینان مخازن آب باران برای یک ساختمان مسکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربع تحت سناریوهای تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد تقاضا

شکل ۴ بیانگر نسبت سرریز به ازای حجم‌های مختلف مخازن از یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی می‌باشد. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که هرچقدر حجم مخازن را بزرگتر در نظر بگیریم، نسبت سرریز روند نزولی خواهد داشت، تا جایی که دیگر سرریزی وجود نداشته باشد که این نتیجه همسو با نتایج (Bashar و همکاران، ۲۰۱۸) می‌باشد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است، در صورت استفاده از یک مخزن ۵۰۰ لیتری در کرج، ۱۴/۳۲ درصد از کل آب استحصالی سرریز می‌گردد که این مقدار در صورت جایگزینی مخزن ۳۰۰۰ لیتری به ۰/۰۲ درصد نزول پیدا خواهد کرد، ولی وقتی حجم مخزن را به ۳۵۰۰ لیتر ارتقاء دهیم، سرریزی صورت نخواهد گرفت.



شکل ۴- نسبت سرریز برای حجم‌های مختلف مخازن برای یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله به بررسی قابلیت اطمینان مخازن آب باران و نیز نسبت سرریز از این مخازن، در ازای حجم‌های مختلف مخازن و نیز دو سطح انتظار تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصدی تقاضا پرداخته شد. نتایج به شرح زیر است:

۱- در شهر کرج، در صورت استفاده از مخزن ۵۰۰۰ لیتری، در ۱۰/۶۲ درصد از کل روزهای سال می‌توان با استفاده از آب باران یک سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربعی، نیاز غیرشرب روزانه ۴ نفر سکنه را تأمین کرد که این میزان، در صورت استفاده از مخزن ۵۰۰ لیتری، به ۸/۲ درصد کاهش می‌یابد. به عبارتی، با افزایش حجم مخزن، قابلیت اطمینان سامانه‌های جمع‌آوری آب باران افزایش می‌یابد.

۲- با اجرای یک سامانه جمع‌آوری آب باران با سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربع در شهر کرج و در صورت استفاده از یک مخزن با حجم ۵۰۰۰ لیتر، می‌توان با استفاده از آب باران، در ۱۶/۳۷ درصد از روزهای سال، ۷۵ درصد از نیازهای غیرشرب یک خانواده ۴ نفره را تأمین کرد که اگر به جای مخزن ۵۰۰۰ لیتری، از یک مخزن با حجم ۵۰۰ لیتر استفاده گردد، عدد فوق برابر با ۱۲/۲۷ درصد از روزهای سال خواهد بود. به عبارتی، با افزایش میزان تقاضا، درصد قابلیت اطمینان سامانه‌های جمع‌آوری آب باران کاهش می‌یابد.

۳- با افزایش حجم مخزن، درصد قابلیت اطمینان نیز روند صعودی خواهد داشت که پیوسته از شیب منحنی کاسته می‌شود، تا جایی که درصد قابلیت اطمینان بعد از یک حجم مخزن، به یک عدد ثابت میل می‌کند که استفاده از مخازن با حجم بزرگتر از این مقدار، صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

۴- هرچقدر حجم مخازن مورد استفاده بیشتر باشد، نسبت سرریز کاهش می‌یابد، به طوری که بعد از یک حجم مخزن، دیگر سرریزی وجود نخواهد داشت و استفاده از مخازن با حجم بیشتر از آن، مقرون به صرفه نخواهد بود. برای شهر کرج، به ازای حجم مخزن‌های بزرگتر از ۳۵۰۰ لیتر، سرریز برابر صفر خواهد گردید ولی نسبت سرریز در حجم مخزن ۳۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۰۰۰ لیتری، به ترتیب برابر با ۰/۰۲، ۰/۳۵ و ۰/۹۸ درصد خواهد بود که طراح می‌بایست با آنالیز اقتصادی، مخزنی را انتخاب نماید که هم حجم سرریز کمتری داشته باشد و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

در پایان پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آینده، تأثیر سایر پارامترها بر روی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران از جمله مساحت سطح آبگیر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- آکان، ع. مترجم: برومند نسب، س. ۱۳۸۰. هیدرولوژی رگبار در حوضه های شهری.
- رشیدی مهرآبادی، م. ح.، ب. ثقفیان، و م.ص. صادقیان. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در تأمین نیاز غیرشرب ساکنین در شهرهای ساحلی کشور. مجله مهندسی منابع آب، ۶ (۱۹): ۱۶ـ۱.
- Bailey, R.T., A. Beikmann, M. Kottermair, D. Taboroši, and J.W. Jenson. 2018. Sustainability of rainwater catchment systems for small island communities. Journal of Hydrology, *557*: 137-146.
- Bashar, M.Z.I., M.R. Karim, and M.A. Imteaz. 2018. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. Journal of Resources, Conservation and Recycling, 133: 146-154.
- Basinger, M., F. Montalto, and U. Lall. 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. Journal of Hydrology, *392*(3-4): 105-118.
- Dakua, M., F. Akhter, P.P. Biswas, M.L.R. Siddique, and R.M. Shihab. 2014. Potential of rainwater harvesting in buildings to reduce over extraction of groundwater in urban areas of Bangladesh. Journal of European Scientific, 9(10).
- Imteaz, M.A., O.B. Adeboye, S. Rayburg, and A. Shanableh. 2012. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. Resources, Conservation and Recycling, 62: 51-55.
- Imteaz, M.A., C. Matos, and A. Shanableh. 2014. Impacts of climatic variability on rainwater tank outcomes for an inland city, Canberra. International Journal of Hydrology Science and Technology, *4*(3): 177-191.
- Jing, X., S. Zhang, J. Zhang, Y. Wang, and Y. Wang. 2017. Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China. Journal of Resources, Conservation and Recycling, *126*: 74-85.
- Khastagir, A., and N. Jayasuriya. 2010. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. Journal of Hydrology, *381*(3-4): 181-188.

- Lani, N.H.M., A. Syafiuddin, Z. Yusop, and M.Z. bin Mat Amin. 2018. Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios. Journal of Science of The Total Environment, *636*: 1171-1179.
- Liaw, C.H., and Y.L. Tsai. 2004. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use 1. Journal of the American Water Resources Association, *40*(4): 901-912.
- Mehrabadi, M.H.R., B. Saghafian, and F.H. Fashi. 2013. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. Journal of Resources, Conservation and Recycling, 73: 86-93.
- Rahman A, Keane J, Imteaz MA.2012 . Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. Journal of Resources, Conservation and Recycling. 61:16-21.