مدیریت رواناب شهری در توسعه پایدار و محیط زیست

هادی شوکتی[۱*]، مهدی کوچک‌زاده[۲]، علی اکبر نوروزی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۱

چکیده

سطوح خیابان‌ها و پشت‌بام ساختمان‌ها در شهرها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک عمل کرده و درنتیجه افزایش رواناب در سطح شهر را به دنبال خواهند داشت. یکی از راهکارهای عملی که علاوه بر تأمین بخشی از نیاز غیرشرب ساکنین، در کاهش رواناب سطح شهرها و خسارات ناشی از آن نیز می‌تواند مؤثر باشد، اجرای سامانه‌های استحصال آب باران است. در این روش، بخش اعظمی از رواناب حاصل از بارش در مخازن ذخیره می‌گردد. در این تحقیق، با شبیه‌سازی سامانه سطوح آبگیر پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی در نرم‌افزار Matlab، به بهینه‌سازی مخازن ذخیره آب باران در شهرهای کرج و اهواز پرداخته شد و با توجه به حجم بهینه مخازن، آمار بارندگی و مشخصات ساختمان‌های مسکونی، به تحلیل و بررسی حجم آب قابل ذخیره و حجم آب سرریز شده از مخازن پرداخته شد و برآوردی از تعداد روزهایی از سال که بتوان با استفاده از این رواناب، نیاز غیرشرب ساکنین را تأمین کرد، صورت گرفت. نتایج نشان داد که علی‌رغم این‌که متوسط بارندگی سالانه اهواز از کرج کم‌تر می‌باشد، ولی نسبت سرریز از مخزن در اهواز به دلیل نامنظم و رگباری بودن روند بارش در این شهر بیشتر بوده و درصد تبدیل بارش به رواناب بیشتر است.

کلمات کلیدی:

" استحصال آب باران "، " رواناب "،" نسبت سرریز "

Urban Runoff Management in Sustainable Development and the Environment

Hadi Shokati[1]*, Mehdi Koochakzadeh[2], Ali Akbar Noroozi[3]

[1] MSc Student, Irrigation and Drainage Department, Tarbiat Modares University, Teharn, Iran

[2]Associate Professor of Irrigating and Drainage Eng., Tarbiat Modares University, Teharn, Iran

[3]Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Streets and roofs of buildings in cities will act as an obstacle to the penetration of rainwater into the soil, resulting in increased runoff in the city. One of the practical solutions that can be effective in addition to meet part of the non-potable needs of the residents is to reduce the runoff of the city's surface and its damages, as well as the Performance of rainwater harvesting systems. In this method, a large part of runoff is stored in the tanks. In this paper, by simulating the roofing surfaces system of residential buildings in Matlab, optimization of rainwater storage tanks in Karaj and Ahvaz was investigated. According to optimal tank volume, rainfall statistics and specifications of residential buildings, to analyze the volume of water can be saved and volume of overflowed water from tanks were evaluated and an estimate of the number of days of the year that can be used by this runoff to meet the non-potable needs of the inhabitants. The results showed that although average annual rainfall of Ahvaz is lower than Karaj, the overflow ratio of the tank in Ahvaz is higher due to the irregularity of the precipitation process in this city and the percentage of precipitation to runoff is higher.

Keywords:

‘‘Overflow ratio’’, ‘‘Rainwater harvesting’’, ‘‘Runoff’’

۱-مقدمه

کشور ایران به لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌گردد. خشک‌سالی‌های مکرر همراه با برداشت بیش از تغذیه آب‌های زیرزمینی، وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از سوی دیگر، افزایش جمعیت، کشاورزی سنتی، مدیریت ناکارآمد و نیز عطش توسعه، بر شدت این بحران افزوده است. از طرفی پراکندگی نزولات جوی نیز در کشور یکسان نبوده و اغلب بارش‌ها در سواحل دریای خزر و نیمه غربی تا جنوب غرب به وقوع می‌پیوندد. بر این اساس و با توجه به سهم اندک ایران از آب‌های شیرین زمین، لزوم یافتن راه حلی برای جبران کسری بیلان عرضه و تقاضای آب بیشتر نمایان می‌گردد. یک راهکار مدیریتی به منظور کاهش فشار بر منابع آب و نیز مدیریت رواناب شهری، به کارگیری سامانه‌های جمع‌آوری آب باران(RWHS)[1]، می‌باشد که مدیریت و کنترل این سامانه‌ها نقش به سزایی در توسعه پایدار و حفظ محیط زیست ایفا می‌کند. رواناب‌های شهری باعث از بین رفتن منابع آب و خاک و محیط زیست می‌گردند که اگر به خوبی کنترل و مهار نگردند، موجب بروز آب‌گرفتگی معابر و وقوع سیل شده و خسارات زیادی را برجای خواهند گذاشت. پژوهش‌های مختلفی در زمینه بهینه‌سازی مخازن ذخیره آب باران با اهداف دوگانه تأمین بخشی از نیاز مصرفی آب و مدیریت رواناب در سطح دنیا صورت گرفته است تا ارزیابی فنی و ارائه راهکارهای مدیریتی به منظور مدیریت رواناب شهری و رفع مشکلات آب‌گرفتگی در سطح معابر صورت گیرد. (Fewkes, 1999) در مطالعه‌ای، به بررسی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران به منظور تأمین مصارف خانگی در انگلستان پرداخت و مجموعه‌ای از منحنی‌های بدون بعد را به‌دست آورد که می‌توان براساس آن‌ها، حجم بهینه مخازن آب باران را با توجه به مساحت پشت‌بام و الگوهای تقاضای آب محاسبه کرد. (Liaw, 2004) در مطالعه‌ای، با بررسی حجم بهینه مخزن تحت سناریوهای مختلف نشان داد که اگر ظرفیت ذخیره‌سازی کم و تقاضای آب زیاد در نظر گرفته شود، قابلیت اطمینان(درصدی از روزهای سال که با استفاده از آب باران می‌توان تقاضای آب مصرفی ساکنین را پاسخ داد) مخازن آب باران، صفر خواهد شد. (Basinger, 2010) قابلیت اطمینان مخازن آب را به عنوان یک منبع تأمین آب برای مصارف فلاش‌تانک، آبیاری باغ و سامانه‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌های مسکونی چند واحده در نیویورک مورد بررسی قرار داد. 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 به منظور تأمین مصرف فلاش‌تانک از قابلیت اطمینان ۴۰ – ۱۰ درصد برخوردار خواهد بود. (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۹۰) در تحقیقی با هدف مدیریت رواناب شهری، به شبیه‌سازی مخازن ذخیره آب باران در چندین شهر ایران پرداخت. نتایج نشان داد که ابعاد بهینه‌شده مخازن با توجه به شرایط فعلی، عملکرد قابل قبولی در شهرهای کم باران ندارند ولی اجرای سامانه‌های سطوح آبگیر در شهرهایی که بارندگی مناسبی دارند، در تأمین نیاز آب غیرشرب ساکنین و کاهش رواناب سطحی مؤثر هستند. در شهر رشت اجرای سامانه‌های سطوح آبگیر در اکثر روزهای سال امکان‌پذیر و دارای عملکرد مناسبی می‌باشد ولی برای شهرهای تبریز، تهران و قزوین، اجرای سامانه‌های مذکور در مساحت پشت‌بام کم و در ماه‌های پر باران قابل قبول است، اما برای شهر کرمان، اجرای این نوع سامانه‌ها امکان‌پذیر نبوده و توجیه اقتصادی ندارد. (Mehrabadi, 2013) طی پژوهشی نشان داد که حداقل ۷۵ درصد از نیاز آب غیرشرب را در ساختمان‌های معمولی می‌توان تقریباً در ۷۰ درصد از زمان نگهداری آب باران تأمین کرد. (Dakua, 2013) طی مطالعه‌ای در شهر داکا[2] بنگلادش دریافت که می‌توان حدود ۷۰- ۸۰ درصد از تقاضای آب مصرفی را در طول ماه‌های ژوئن- سپتامبر تأمین کرد. (Amado, 2013; Hashim, 2013; Silva, 2015; Vialle, 2015) هر کدام در مطالعات جداگانه‌ای، به بررسی پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب شرب با استفاده از سامانه جمع‌آوری آب باران در مناطق مختلف پرداخته و بیان داشتند که سامانه مذکور موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شرب شده و می‌تواند تا حد زیادی، فشار بر منابع آب را کاهش دهد. (حقیقت، ۱۳۹۳) در تحقیقی با هدف کنترل رواناب شهری، به شبیه‌سازی حوضه شهری سمنان با مدل SWMM پرداخت. نتایج تحقیقات نشان داد که سناریو طرح مخازن ذخیره و استفاده از استخرهای موجود، موجب کاهش قابل توجه اوج رواناب سطحی، رفع مشکلات آبگرفتگی معابر شهری و ذخیره حدود ۲۴۰۰۰ مترمکعب رواناب حاصل از بارش طرح در محدوده شهری

[1] Rainwater harvesting systems

[2] Dhaka

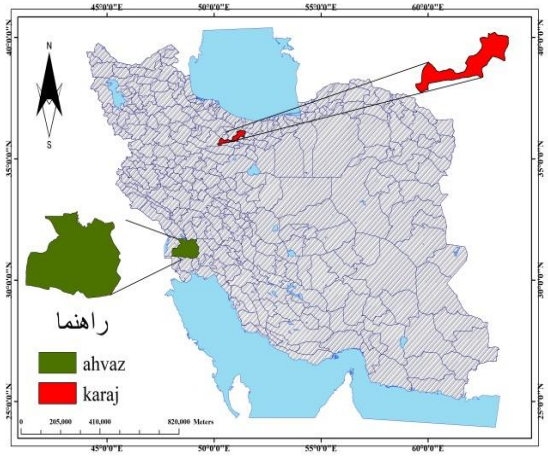
می‌شود. (Rostad, 2016) عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را از نظر کاهش رواناب و ذخیره‌سازی آب شرب، برای چهار ایالت بزرگ در آمریکا مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با اجرای یک سامانه جمع‌آوری آب باران شامل سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربعی متصل به یک مخزن ذخیره‌سازی ۵ مترمکعبی، می‌توان ۶۵ درصد از مصرف آب شرب در این مناطق را کاهش داده و همچنین حجم رواناب حاصل از پشت‌بام را تا ۷۵ درصد پایین آورد. (Notaro, 2016) عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را به عنوان یک منبع جایگزین آب در شرایط کم آبی در جنوب ایتالیا مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که سامانه مذکور نسبت به روش‌های سنتی تأمین آب در این منطقه، می‌تواند مزایای زیست محیطی و اقتصادی بهتری ارائه دهد. (Bailey, 2018) با بررسی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران تحت سناریوهای مختلف، نشان داد که افزایش سطح پشت‌بام استراتژی بهینه برای افزایش قابلیت اطمینان سامانه است. (Lani, 2018) نشان داد که درصد قابلیت اطمینان سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در ساختمان های کوچک و بزرگ تجاری، بسته به حجم مخزن ذخیره‌سازی، به ترتیب ۹۳ و ۱۰۰ درصد می‌تواند به‌دست آید. (Bashar, 2018) به بررسی قابلیت اطمینان و آنالیز اقتصادی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در نواحی مختلف بنگلادش پرداخت. نتایج نشان داد که شهرهای سیلهت[1] و چیتاگونگ[2] 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 آبگیر در کاهش رواناب شهری، مطالعه جامعی صورت گیرد. بدین منظور و با توجه به شرایط اقلیمی شهرهای کرج و اهواز، کمبود منابع آب در دسترس، سیاست انتقال سریع رواناب به خارج از محیط شهری و وقوع آب‌گرفتگی معابر، این دو شهر به عنوان مناطق مورد مطالعه انتخاب شده و در نهایت، برآورد قابلیت اطمینان سامانه‌های مذکور و همچنین نسبت سرریز(OFR)[3] (نسبت مجموع حجم سرریز به کل حجم آب جمع‌آوری شده) برای مخازن با حجم‌های مختلف به کمک روابط و معادلات تعیین گردید.

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

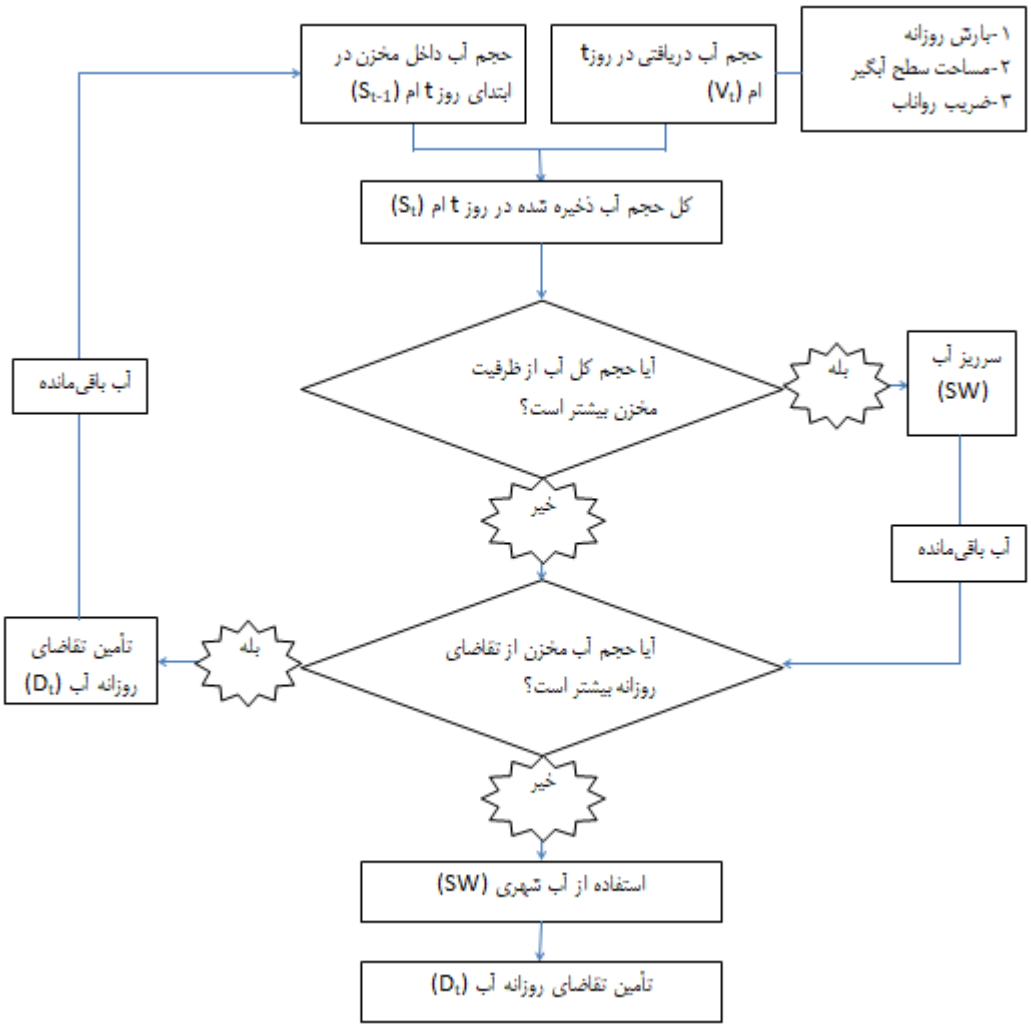
در این مقاله، شهرهای کرج و اهواز به دلیل دارا بودن اقلیم‌های مختلف به عنوان مناطق مورد مطالعه انتخاب شدند تا تأثیر سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در کاهش رواناب شهری در دو اقلیم متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. شکل ۱ موقعیت این شهرها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده‌های مورد مطالعه

روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل سامانه‌های جمع‌آوری آب باران وجود دارد که در این مطالعه، 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 بر این است که اگر بارش باران در یک روز خاص، به‌تنهایی قادر به تأمین این تقاضا نباشد، از آب شهری نیز به عنوان مکمل استفاده گردد. از این مدل در پژوهش‌های گذشته از جمله (Rahman, 2012; Mehrabadi, 2013; Imteaz, 2014; Haque, 2016; Jing, 2017) نیز استفاده شده است. نمودار گردشی مراحل شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر در شکل ۲ نشان داده شده است.

[1] Sylhet
[2] Chittagong
[3] - Overflow ratio



شکل ۲- مراحل شبیه‌سازی مخازن سطوح آبگیر پشت بام

- **حجم آب استحصالی**

تعیین حجم آب جمع‌آوری شده، از پارامترهای اساسی در برآورد حجم بهینه مخازن می‌باشد. از رابطه زیر برای محاسبه حجم رواناب دریافتی از سطوح آبگیر استفاده می‌گردد(Khastagir, 2010):

رابطه ۱ $$Q = I_{eff} \times C_R \times A$$

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

آنالیز قابلیت اطمینان

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

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی کرج و اهواز

شهر	کرج	اهواز
طول جغرافیایی	۵۰/۹۵۳۸۵	۴۸/۷۴۴۲
عرض جغرافیایی	۳۵/۸۰۶۹۴	۳۱/۳۴۴۲
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۲۹۲/۹	۲۲/۵
میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	۲۳۰/۹	۱۷۸/۶

درصد قابلیت اطمینان برای تأمین نیازهای غیرشرب ساکنین بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Imteaz, 2012):

$$Re = \frac{N-U}{N} \times 100$$ رابطه ۲

که در آن، U تعداد روزهایی از سال که نیاز غیرشرب ساکنین در شرایط مورد نظر تأمین نمی‌گردد و N تعداد کل روز ها در یک سال خاص می‌باشد. در این پژوهش، درصد قابل یت اطمینان به ازای حجم‌های مختلف مخازن از ۵۰۰ لیتر تا ۵۰۰۰ لیتر و با گام تغییر ۵۰۰ لیتر، و همچنین تحت سناریو یک خانه م سکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربع و دارای ۴ سکنه و سطح انت ظار تأمین ۷۵ و ۱۰۰ درصد تقا ضای غیر شرب روزا نه (م طابق مطالعه قبلی تو سط (ر شیدی مهرآ بادی، ۱۳۹۲) که به برآورد قابلیت اطمی نان در ازای تأمین ۱۰۰ در صد و ۷۵ در صد تقا ضا پرداختند) برآورد گردید.

نسبت سرریز

نسبت سرریز نیز در ازای استفاده از حجم‌های مختلف مخازن از ۵۰۰ لیتر تا ۵۰۰۰ لیتر و با گام تغییر ۵۰۰ لیتر در نظر گرفته شد. از رابطه زیر می‌توان نسبت سرریز از مخازن را محاسبه کرد(Bashar, 2018):

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

که در آن، 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, 2013):

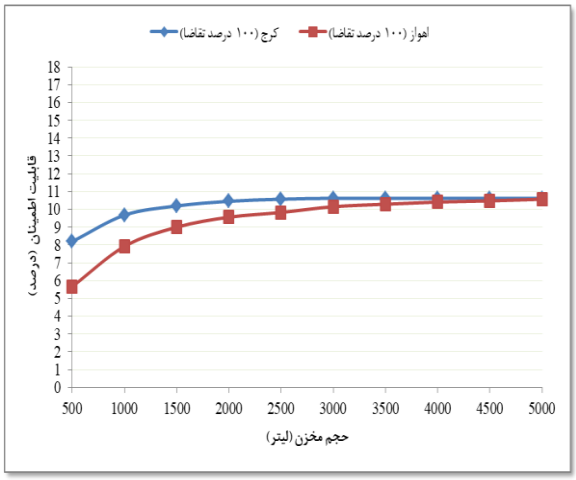
$$SP_t = V_{t-1} + I_t - O_t - V_{max}$$ رابطه۴

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

۳- نتایج

سامانه جمع‌آوری آب باران از سطوح پ شت بام ساختمان‌ها در شهرهای کرج و ا هواز، بر ا ساس م عادلات مذکور در م حیط نرم‌افزار Matlab شبیه‌سازی گردید. در شبیه‌سازی سامانه، حجم آب باران قابل استحصال از سطح پشت‌بام، حجم آب باران ذخیره شده در مخزن، درصد قابلیت اطمینان و نسبت سرریز از مخزن به صورت روزانه برای کل دوره‌ی آمار بار ندگی م ناطق مورد ن ظر محاسبه شد. ضریب رواناب با توجه به جنس و شیب پشت‌بام‌ها در شهرها، ۰/۸۵ (Fewkes، ۲۰۰۰) در ن ظر گرف ته شد. در این مطالعه، سرانه آب غیرشرب مورد نیاز به طور متو سط ۸۰ لی تر در روز بر اساس مطالعه قبلی تو سط (ر شیدی مهرآ بادی، ۱۳۹۲) در نظر گرفته شد.

شکل ۳ بیانگر قابلیت اطمینان برای تأمین ن یاز غیر شرب روزا نه ساکنین مناطق مورد مطال عه با ح جم های مخت لف م خازن با مساحت پشت‌بام ۱۰۰ مترمربعی است. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش حجم مخازن، درصد روزهایی که آب باران می‌تواند پاسخگوی نیاز غیرشرب روزانه ساکنین باشد، افزایش می‌یابد که شیب این افزایش، پیوسته در حال کم شدن است که ا ین نتی جه هم سو با ن تایج تحقی قات (Mehrabadi, 2013; Bashar, 2018; Lani,2018) می‌با شد. مشاهده می‌شود که در شهر کرج، بیشترین تعداد روزهایی که آب باران استحصالی از یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی می‌تواند نیاز غیرشرب روزانه ۴ سکنه را (۳۲۰ لیتر) تأمین کند، برابر با ۱۰/۶۲ درصد است و کمترین درصد مربوط به مخزن ۵۰۰ لیتری می‌باشد که در حدود ۸/۲ درصد است. همچنین کمترین قابلیت اطمینان مربوط به شهر اهواز می‌باشد، به طوری که در این شهر، بیشترین تعداد روزهایی که آب باران استحصالی از یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی می‌تواند نیاز غیر شرب روزانه ۴ سکنه را تأمین کند، برابر با ۱۰/۵۷ درصد و کمترین درصد تأمین نیازهای غیر شرب ۴ سکنه در این شهر، مربوط به مخزن ۵۰۰ لیتری و برابر با ۵/۶۶ درصد است.

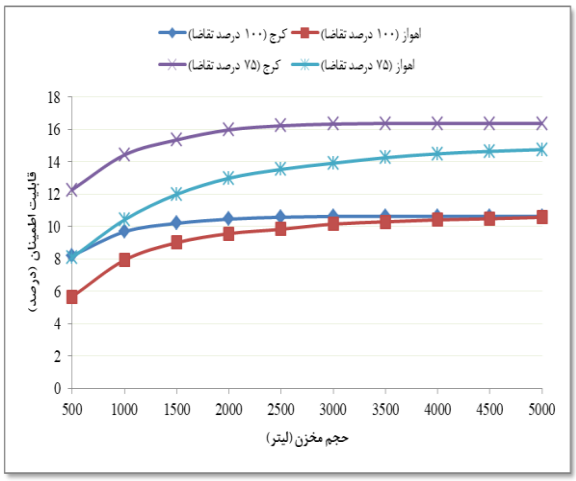


شکل۳- مقایسه قابلیت اطمینان مخازن آب باران شهرهای مورد مطالعه برای یک ساختمان مسکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربع و تحت سناریو تأمین ۱۰۰ درصد تقاضا (۳۲۰ لیتر)

شکل۴، درصد قابلیت اطمینان مخازن ذخیره آب باران را در مناطق مورد مطالعه برای یک خانه مسکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ مترمربع و در ازای تأمین ۷۵ درصد از نیازهای غیرشرب روزانه ۴ سکنه نشان داده است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در شهر کرج، بیشترین تعداد روزهایی که آب باران استحصالی از یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی می‌تواند حداقل ۷۵ درصد از نیاز غیرشرب روزانه ۴ سکنه را (۲۴۰ لیتر) تأمین کند، برابر با ۱۶/۳۷ درصد از کل روزهای سال است و کمترین درصد مربوط به مخزن ۵۰۰ لیتری می‌باشد که در حدود ۱۲/۲۷ درصد است. همچنین حداکثر و حداقل قابلیت اطمینان مخازن آب باران در شهر اهواز به ترتیب برابر با ۱۴/۷۵ و ۸/۰۸ درصد و مربوط به مخازن ۵۰۰۰ و ۵۰۰ لیتری می‌باشد.

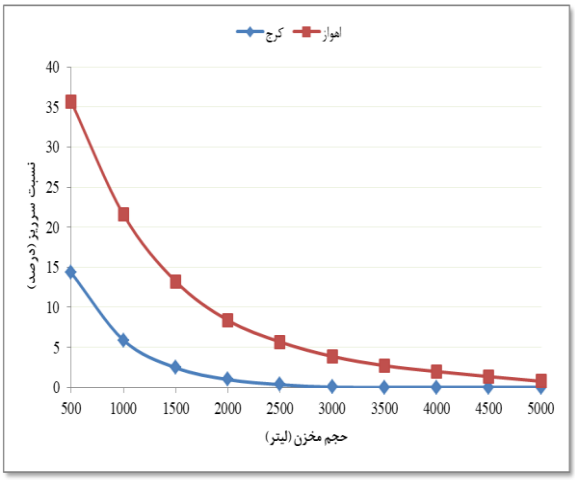
شکل۴- مقایسه قابلیت اطمینان مخازن آب باران شهرهای مورد مطالعه برای یک ساختمان مسکونی با سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربع و تحت سناریو تأمین ۷۵ درصد تقاضا (۲۴۰ لیتر)

شکل ۵ مقایسه بین قابلیت اطمینان مخازن آب باران را برای دو سناریو تأمین ۱۰۰ درصدی و ۷۵ درصدی نیاز غیر شرب روزانه نشان می‌دهند. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو شهر، با افزایش میزان تقاضای آب، درصد قابلیت اطمینان مخازن کمتر می گردد که این نتیجه با نتایج تحقیقات (Mehrabadi, 2013; Bashar, 2018) مطابقت دارد. به عبارت دیگر، درصد روزهایی از سال که بتوان با استفاده از آب باران، 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 روزانه همین تعداد نفرات و با همین میزان سطح آبگیر بیشتر است.



شکل۵- 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 ۶ 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, 2018) می‌باشد. همان‌طور که در این شکل 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. برای شهر اهواز، در صورت استفاده از مخزن ۵۰۰ لیتری، شاهد ۳۵/۶۶ درصد سرریز خواهیم بود که در صورت استفاده از مخزن ۵۰۰۰ لیتری، این میزان به ۰/۷۷ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین می‌توان دریافت که علی‌رغم این‌که متوسط بارندگی سالانه شهر اهواز از کرج کم‌تر می‌باشد، ولی نسبت سرریز از مخزن و درصد تبدیل بارش به رواناب در شهر اهواز، بیشتر است.



شکل ۶- نسبت سرریز برای حجم‌های مختلف مخازن برای یک سطح آبگیر ۱۰۰ متر مربعی

٤- نتیجه‌گیری

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

۱- در شهرهای کرج و اهواز، در صورت استفاده از مخزن۵۰۰۰ لیتری، به ترتیب در ۱۰/۶۲ و ۱۰/۵۷ 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 ترتیب به ۸/۲ و ۵/۶۶ 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 شهرهای کرج و اهواز، در صورت استفاده از یک مخزن با حجم ۵۰۰۰ لیتر، می‌توان با استفاده از آب باران، به ترتیب در ۱۶/۳۷ و ۱۴/۶۴ 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، مقادیر فوق به ترتیب برابر با ۱۲/۲۷ و ۸/۰۸ درصد از روزهای سال خواهد بود. با مقایسه این مقادیر با اعداد مربوط به تأمین ۱۰۰ درصدی تقاضا، می‌توان نتیجه گرفت که 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 این 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. هرچقدر حجم بهینه مخزن دقیق‌تر و بهتر انجام گیرد، رواناب کمتری ایجاد شده و همچ نین از ذخیره آبی بیشتری می‌توان استفاده کرد. برای شهر کرج، به ازای حجم مخزن‌های بزرگتر از ۳۵۰۰ لیتر، سرریز برابر صفر خواهد گردید ولی نسبت سرریز در شهر اهواز، حتی در حجم مخزن ۵۰۰۰ لیتری نیز برابر با صفر نمی‌گردد.

۵- علی‌رغم این‌که متوسط بارندگی سالانه شهر اهواز از شهر کرج کم‌تر می‌باشد، ولی نسبت سرریز از مخازن در شهر اهواز بیشتر است. دلیل این امر، نامنظم بودن روند بارش در شهر اهواز می‌باشد که اغلب بارش‌ها در این شهر به‌صورت رگباری بوده که باعث می‌گردد درصد بیشتری از بارش تبدیل به رواناب شود.

منابع

- حقیقت،م. ۱۳۹۳. مدیریت رواناب سطحی شهری(مطالعه موردی: شهر سمنان): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان.
- رشیدی مهرآبادی، م.ح. ۱۳۹۰. بررسی تأثیرات سطوح آبگیر باران بر روی رواناب سطحی شهری: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
- رشیدی مهرآبادی، م. ح.، ثقفیان، ب.، و صادقیان، م.ص.، ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در تأمین نیاز غیرشرب ساکنین در شهرهای ساحلی کشور، مجله مهندسی منابع آب، سال۶، شماره۱۹، ص ۱۶-۱.
-
- Amado, M.P., Barroso, L.M. 2013. Sustainable construction: Water use in residential buildings in Portugal, Sustainable Construction Engineering and Technology, 4(2): 14-22.
- Bailey, R.T., ET AL. 2018. Sustainability of rainwater catchment systems for small island communities, Hydrology, Vol. 557, P. 137-146.
- Bashar, M.Z.I., et al. 2018. Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 133, P. 146-154.
- Basinger, M., et al. 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator, Hydrology, 392(3-4): 105-118.
- Dakua, M., et al. 2014. Potential of rainwater harvesting in buildings to reduce over extraction of groundwater in urban areas of Bangladesh, European Scientific, 9(10).
- Fewkes, A. 1999. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system, Building and environment, 34(6): 765-772.
- Fewkes, A. 2000. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach, Urban water, 1(4): 323-333.
- Haque, M.M., et al. 2016. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting, Cleaner Production, Vol. 137, P. 60-69.
- Hashim, H., et al. 2013. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 80, P. 1-9.
- Imteaz, M.A., et al. 2012. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 62, P. 51-55.
- Imteaz, M.A., et al. 2014. Impacts of climatic variability on rainwater tank outcomes for an inland city, Canberra, Hydrology Science and Technology, 4(3): 177-191.
- Jing, X., et al. 2017. Assessing efficiency and economic viability of rainwater harvesting systems for meeting non-potable water demands in four climatic zones of China, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 126, P. 74-85.
- Khastagir, A., Jayasuriya, N. 2010. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation, Hydrology, 381(3-4): 181-188.
- Lani, N.H.M., et al. 2018. Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios, Science of The Total Environment, Vol. 636, P. 1171-1179.
- Liaw, C.H., Tsai, Y.L. 2004. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use 1, The American Water Resources Association, 40(4): 901-912.
- Mehrabadi, M.H.R., et al. 2013. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 73, P. 86-93.
- Notaro, V., et al. 2016. Reliability analysis of rainwater harvesting systems in southern Italy, Procedia engineering, Vol. 162, P. 373-380.
- Rahman, A., et al. 2012. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 61, P. 16-21.
- Rostad, N., et al. 2016. Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major US cities, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 108, P. 97-106.
- Silva, C.M., et al. 2015. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 94, P. 21-34.
- Vialle, C., et al. 2015. Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: a case study in France, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 102, P. 178-184.