برآورد قابلیت اطمینان مخازن آب در سامانه استحصال آب باران

(مطالعه موردی منطقه ۲۲ شهرداری تهران- چیتگر)

جواد علایی [*۱]، مهدی کوچک‌زاده [۲]، اویس ملایی [۳]

۱*- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل: *j.alaei@modares.ac.ir*)

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل: *Kouchakm@modares.ac.ir*)

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل: *Mollayei555@gmail.com*)

چکیده

مشکل کم آبی را می‌توان تا حد مطلوبی با استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران کاهش داد. هدف از این تحقیق، ببرآورد قابلییت اطمینان مخازن آب در سامانه استحصال آب باران در منطقه چیتگر می‌باشد. قابلیت اطمینان" درصدی از کل روزهای سال است ککه آب جمع‌آوری شده در مخازن قادر به تأمین نیاز ساکنین باشد". در این مطالعه، داده‌های ببارش (دوره۲۰ ساله) ببرای منطققه مورد مطالعه با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۱/۱۰ درجه شمالی و ۳۵/۴۴ درجه ششرقی، از سازمان هواشناسی اییران اخذ ششد. از برقراری بیلان آبی بین ورودی (بارندگی) و خروجی (سرانه مصرف خانگی) برای تجزیه و تحلیل عملکرد و طراحی بهینه حجم مخازن استفاده شد. تعدادی از نمودارهای قابلیت اطمینان مخازن آب باران برای مصارف داخلی، در رابطه با حجم مخزن، مساحت پشت‌بام، تعداد افراد در یک خانه (تقاضای آب) و درصدی از کل نیاز آبی که توسط آب باران ذخیره‌شده تأمین می‌گردد، تهیه شد. نتتایج نشان داد که قابلیت اطمینان برای سناریوی تقاضای ۴ نفر و پشت‌بام ۱۰۰ مترمربعی برای اندازه مخـزن بزرگ‌تـر از ۵۰۰۰ لیتـر مسـتقل از اندازه مخزن می‌باشد. این در حالی است که این اندازه مخازن برای سناریوهای تقاضای ۸ نفر با پشت‌بام ۲۰۰ متر مربع و تقاضـای ۱۲ نفر با پشت‌بام ۳۰۰ متر مربع به‌ترتیب ۷۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ لیتر می‌باشند. به‌طور کل از نتایج مشخص شد که با افزایش مساحت پشت‌بـام و حجم مخزن، قابلیت اطمینان افزایش می یابد و برای ۳۰۰ لیتر تقاضا، ۱۵ تا ۷۰ درصد از کل روزهای سال است و برای ۱۰۰۰ لیتـر تقاضا، ۳ تا ۲۵ درصد از کل روزهای سال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

آب باران، پشت‌بام، چیتگر، قابلیت اطمینان، مخازن

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم، سیستم‌های تأمین آب در بسیاری از شهرهای جهان تحت فشار قرار دارند. برای مقابله با این مشکل، اقدامات متعددی از جمله مدیریت تقاضا و شناسایی منابع جایگزین آب مانند جمع‌آوری آب باران، استفاده مجدد از فاضلاب و آب شیرین‌کن می‌توانند مد نظر قرار گیرند. با توجه به وضعیت اقلیمی و مصارف بیش از حد آب در اکثر شهرهای بزرگ می‌توان مشکل کم آبی را تا حد مطلوبی با استفاده از سامانه جمع‌آوری آب باران کاهش داد. از آن‌جایی‌که حجم آب استحصالی از پشت‌بام در بعضی از مناطق کشور قابل‌توجه است، می‌تواند بخشی از نیاز غیر شرب ساکنین ساختمان‌های مسکونی را تأمین نماید.

در میان تمام گزینه‌های منابع جایگزین آب، سامانه جمع‌آوری آب باران به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات اخیر تخمین زده‌اند که بخش قابل‌توجهی از تقاضای آب ساکنین شهرها (۲۵ تا ۶۰ درصد) می‌تواند با استفاده از آب باران جمع‌آوری‌شده کاهش یابد(Coombes و همکاران، ۲۰۰۳؛ Herrmann و Schmida ، ۲۰۰۰؛ Abdulla و Al-Shareef ، ۲۰۰۹).

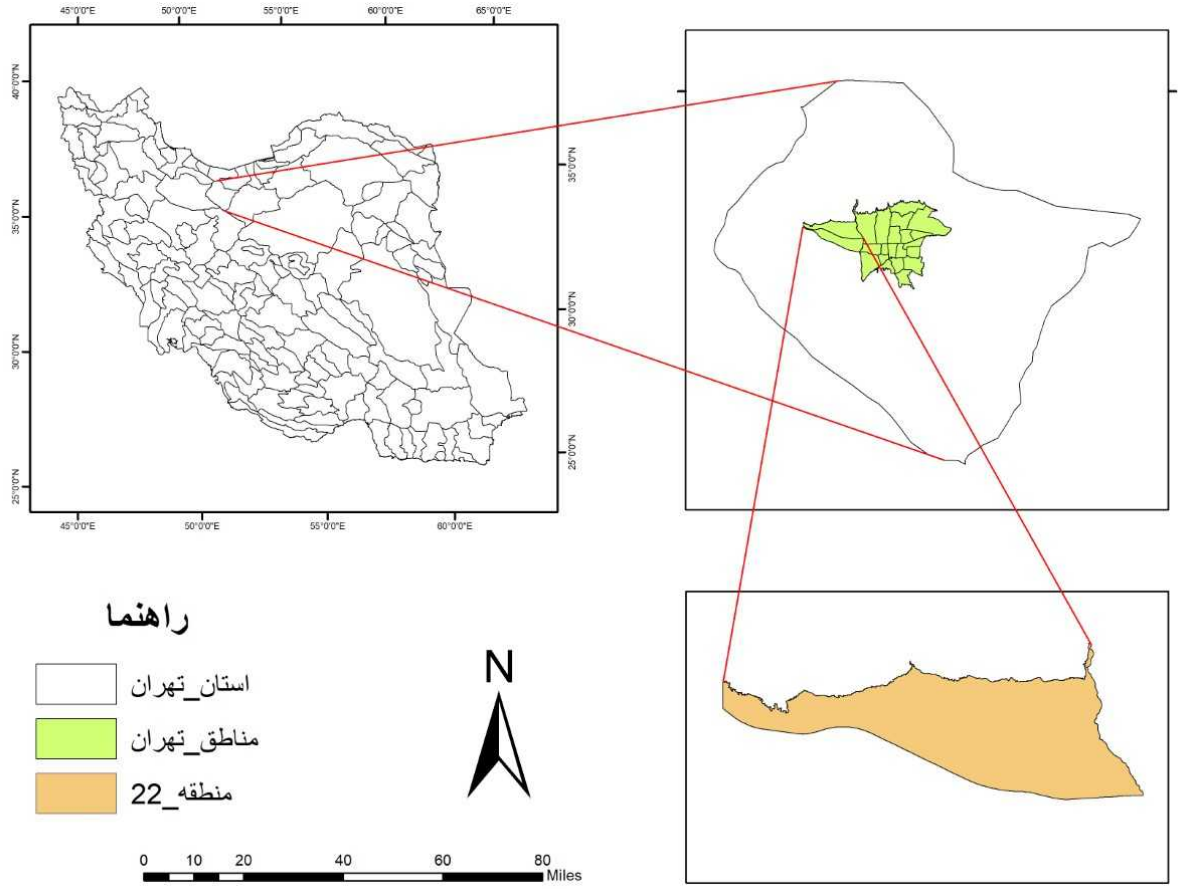
(Sang و همکاران ۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی قابلیت به‌کارگیری سامانه استحصال آب باران به‌عنوان یک گزینه پایدار به‌منظور تأمین آب در شهر Banda Aceh در کشور اندونزی پرداختند. ایشان بیان داشتند، جمع‌آوری آب باران و استفاده از آن، همراه با آموزش و آگاه‌سازی مناسب مردم می‌تواند روشی مناسب و مفید برای تأمین آب از لحاظ اقتصادی، سادگی نصب و نگهداری باشد و نیاز آبی افراد منطقه را برآورده کند. (Basinger و همکاران ۲۰۱۰) قابلیت اطمینان مخازن آب را به‌عنوان یک منبع تأمین آب برای مصارف فلاش‌تانک، آبیاری باغ و سامانه‌های تهویه مطبوع در ساختمان‌های مسکونی چند واحده در نیویورک سیتی مورد بررسی قرار دادند. این محققان دریافتند که آب باران جمع‌آوری‌شده می‌تواند نیازهای آب آبیاری باغ و سامانه‌های تهویه مطبوع را با یک قابلیت اطمینان نسبتاً بالا (۹۰-۸۰ درصد) تأمین کند. با این حال آب باران جمع‌آوری‌شده به‌منظور تأمین مصرف فلاش‌تانک از قابلیت اطمینان نسبتاً پایینی (۱۰ تا۴۰ درصد) برخوردار خواهد بود.

در راستای طراحی بهینه سامانه‌های استحصال آب باران و با توجه به ضرورت بررسی کمی حجم مخازن و امکان‌پذیری اجرای صحیح این سامانه‌ها، هدف از این تحقیق، برآورد قابلیت اطمینان مخازن آب باران در منطقه شمال غربی شهر تهران (چیتگر- منطقه ۲۲) بود.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این مقاله، منطقه چیتگر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت این منطقه را نشان می‌دهد.

بیلان آبی مبتنی بر میزان بارش روزانه، مساحت حوضه آبریز (پشت‌بام)، تلفات ناشی از تبخیر، نشت و نفوذ، حجم مخزن و تقاضای روزانه آب ساکنین، توسعه یافته‌است. در این مدل ورودی اولیه میزان بارش روزانه منطقه است. داده‌های بارش (دوره۲۱ ساله) برای منطقه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی ایران جمع‌آوری شد. ایستگاه هواشناسی چیتگر با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۱/۱۰ درجه شمالی و ۳۵/۴۴ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا۱۳۰۵ متر در۱۷ کیلومتری شمال غربی تهران و با اقلیم گرم و خشک واقع شده است. اگر بارش روزانه را در مساحت پشت‌بام ضرب نموده و از حاصل میزان تلفات کسر شود، حجم رواناب روزانه محاسبه می‌شود. برای این مطالعه به‌طور متوسط ۱۵ درصد از حجم رواناب روزانه به‌عنوان تلفات (نشت، تبخیر و نفوذ) در نظر گرفته شد(میزان تلفات در هر رویداد بارش بسته به شدت بارش، مدت بارش و فاصله بارش تا بارش قبلی متفاوت می‌باشد). رواناب تولید شده به مخزن ذخیره‌سازی مرتبط، هدایت می‌شود. ظرفیت ذخیره‌سازی موجود با رواناب روزانه تجمعی مقایسه شد. در صورتی که رواناب جمع شده بزرگ‌تر از حجم ذخیره‌سازی موجود بود، آب اضافی (سرریز) از رواناب جمع شده کسر می‌گردد. در صورتی‌که مقدار آب کافی در مخزن ذخیره‌سازی موجود باشد، مقدار تقاضای آب ساکنین (D) از مقدار رواناب جمع شده (مقدار رواناب ذخیره شده) کسر می‌شود. در شرایطی که مقدار آب کافی در مخزن ذخیره‌سازی در دسترس نباشد، فرض مدل بر این است که تقاضای آب باقیمانده از منبع آب شهر (آب لوله‌کشی) تأمین می‌شود. مدل ذخیره‌سازی آب باران در مخزن، استفاده از آب باران، سرریز و استفاده از آب لوله‌کشی را به‌صورت روزانه محاسبه می‌کند. فرآیند کلی می‌تواند به‌صورت ریاضی طبق رابطه زیر شرح داده شود:



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه چیتگر

معادله آب تجمعی ذخیره شده در مخزن طبق معادلات ۱، ۲ و ۳:

معادله(۱) $$S_t = V_t + S_{t-1} - D$$

معادله(۲) $$S_t = 0 \text{ for } S_t < 0$$

معادله(۳) $$S_t = C \text{ for } S_t > C$$

S_t آب تجمعی ذخیره شده در مخزن (لیتر) پس از پایان روز t ام است؛ V_t آب باران جمع‌آوری شده (لیتر) در روز t ام است. S_{t-1} ذخیره‌سازی در مخزن (لیتر) در آغاز روز t ام است. D تقاضا روزانه ساکنین (لیتر) است و C ظرفیت مخزن (لیتر) می‌باشد.

معادله استفاده از آب شهر (آب لوله‌کشی) مطابق معادله ۴:

معادله(۴) $$TW = D - S_t \text{ for } S_t < D$$

TW استفاده از آب لوله‌کشی در روز t ام است (لیتر).

معادله سرریز مطابق معادله ۶:

معادله(۵) $$OF = S_t - C \text{ for } S_t > C$$

که در آن OF سرریز در روز t ام است (لیتر).

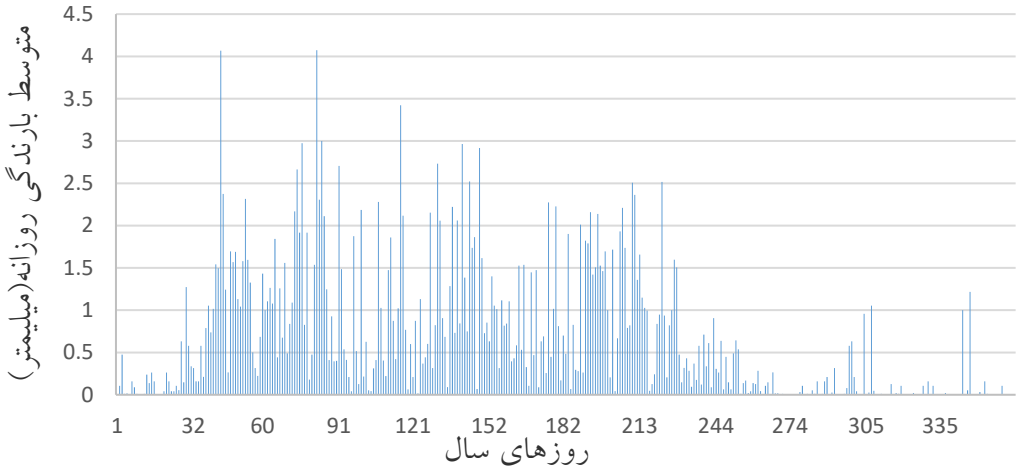
درصد کل روزهای سال برای تأمین نیازهای غیر شرب برای ساکنین بر اساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود (Imteaz و همکاران، ۲۰۱۱):

معادله (۶) $$Re = \frac{N-U}{N} \times 100$$

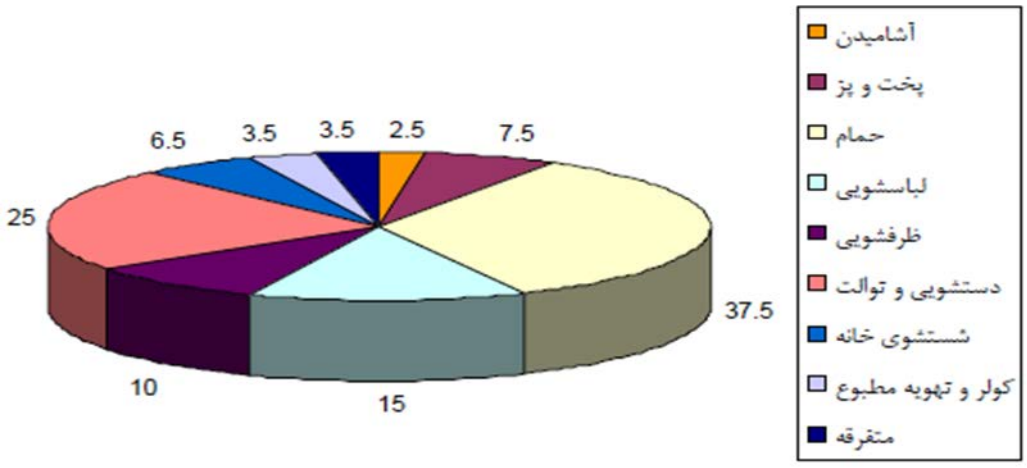
که در آن Re درصد روزهای تأمین نیازهای غیر شرب، U تعداد روزهای از سال که نیاز غیر شرب ساکنین در شرایط مورد نظر تأمین نمی‌شود، و N تعداد کل روزها در یک سال خاص است.

۱-۲- داده ها

شکل ۲ متوسط بارندگی روزانه را برای منطقه مورد مطالعه برای دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۶) نشان می‌دهد. بیلان آبی روزانه با استفاده از داده‌های بارندگی اشاره شده در بالا برای ظرفیت مختلف مخازن آب باران از ۱۰۰۰ لیتر تا ۱۰۰۰۰ لیتر (با گام تغییر۱۰۰۰ لیتر) و درصدی از کل تقاضای آب (تقاضای غیر شرب ساکنین) که توسط مخزن آب باران تأمین شود، شبیه‌سازی شد. شکل ۳ متوسط سرانه مصرف داخلی را بدون احتساب فضای سبز برای خانوارهای تهرانی ارائه می‌دهد. برای ارزیابی اثر مساحت پشت‌بام، سه مساحت پشت‌بام ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد. در مورد تعداد ساکنان (یعنی تقاضای کل آب)، سه سناریو ۴ ، ۸ و ۱۲نفر مورد بررسی قرار گرفت. مقدار آب غیرشرب مورد نیاز به طور متوسط ۸۰ لیتر در شبانه روز برای هر نفر بر اساس مطالعه قبلی توسط مهرآبادی و همکاران (۲۰۱۳) در نظر گرفته شد و سطح انتظار تأمین آب از سیستم ذخیره‌سازی آب باران در مخازن در دو سناریو ۶۰ و۸۰ درصد در نظر گرفته شد. منحنی‌های چند رابطه ای برای نشان دادن اثرات پارامترهای مختلف بر قابلیت اطمینان مخازن باران در شرایط مختلف آب و هوایی ارائه گردید.



شکل ۲- میانگین بارندگی روزانه در شمال غرب تهران-چیتگر برای دوره ۲۰ ساله (شروع از مهر ماه).



شکل۳- متوسط سرانه مصرف داخلی برای سال ۱۳۹۵ (نشریه شماره ۳-۱۱۷)

۳- نتایج و بحث

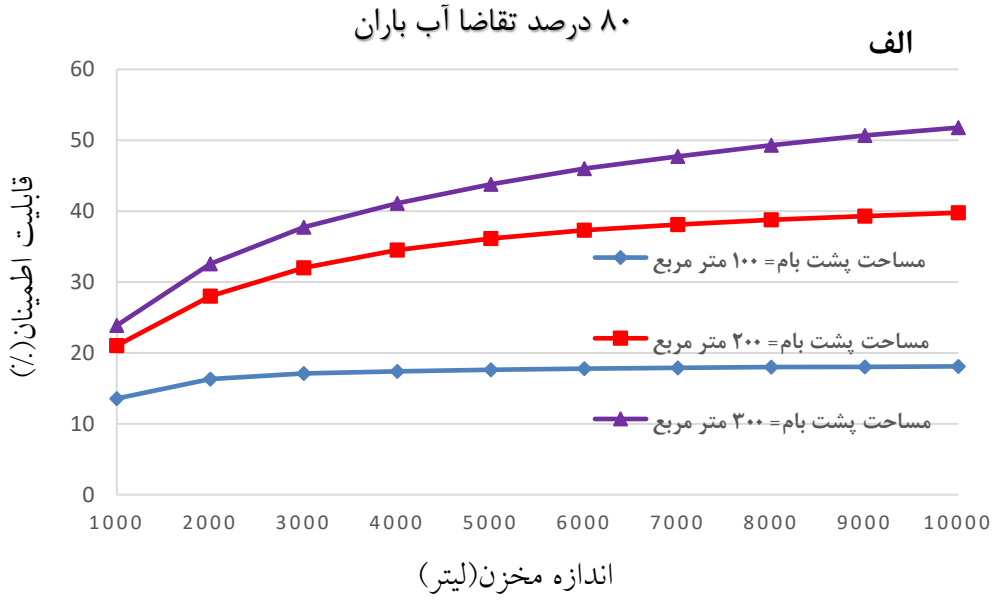
شکل‌های ۴ تا ۶ درصدی از روزهای سال که می‌توان تقاضای آب غیر شرب ساکنین را با حجم‌های مختلف مخزن برای پشت بام‌های با مساحت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر مربع تأمین کرد، نشان می‌دهند.

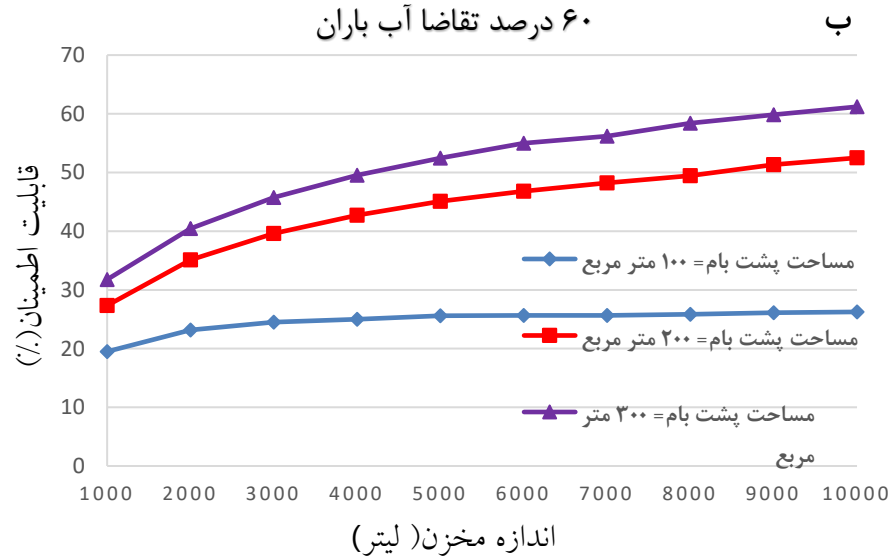
با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶ می‌توان اظهار داشت که با افزایش حجم مخازن، تعداد روزهایی از سال که می‌توان تقاضای غیرشرب را به‌وسیله آب باران تأمین کرد افزایش می‌یابد، اما با افزایش تقاضای آب باران (افزایش ساکنین)، تعداد روزهایی از سال که می‌توان تقاضای آب غیر شرب را به‌وسیله آب باران تأمین کرد، کاهش می‌یابد. بیش‌ترین تعداد روزهایی که حداقل ۶۰ درصد از تقاضای آب غیر شرب را بتوان عرضه کرد، برابر با ۶۱/۱۴ درصد از کل دوره موردنظر و برای پشت‌بام با مساحت ۳۰۰ متر مربع، تقاضای غیرشرب ۳۲۰ لیتر در روز و اندازه مخزن ۱۰۰۰۰ لیتر می‌باشد. علاوه بر این، کم‌ترین تعداد روزها ۳ درصد از کل دوره و برای پشت‌بام با مساحت ۱۰۰ متر مربع (برای حداقل ۸۰ درصد از تقاضای آب غیرشرب روزانه)، تقاضای غیرشرب ۹۶۰ لیتر در روز و اندازه مخزن ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد. زمانی‌که تقاضای آب باران زیاد و همچنین مساحت پشت‌بام و اندازه مخزن کوچک باشد، مقادیر قابلیت اطمینان نزدیک به صفر خواهد بود.

حداکثر قابلیت اطمینان قابل دست‌یابی برای سناریوهای مساحت پشت‌بام ۱۰۰ متر مربعی با تقاضای ۴ نفر، مساحت پشت‌بام ۲۰۰ مترمربعی با تقاضای ۸ نفر و پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی با تقاضای ۱۲ نفر مشابه و برابر با ۲۵ درصد از کل روزهای سال است. با این‌حال، الگوها مشابه نیستند؛ قابلیت اطمینان برای سناریوی تقاضای ۴ نفر و پشت‌بام ۱۰۰ مترمربعی برای اندازه مخزن بزرگ‌تر از ۵۰۰۰ لیتر مستقل از اندازه مخزن می‌باشد. این در حالی است که این اندازه مخازن برای سناریوهای تقاضای ۸ نفر با پشت‌بام ۲۰۰ متر مربعی و تقاضای ۱۲ نفر با پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی به‌ترتیب ۷۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ لیتر می‌باشند. حتی در برخی موارد برای سناریوی مساحت پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی و تقاضای ۱۲ نفر دستیابی به قابلیت اطمینان بالاتر از ۲۵ درصد با مخازن بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ لیتر امکان پذیر خواهد بود.

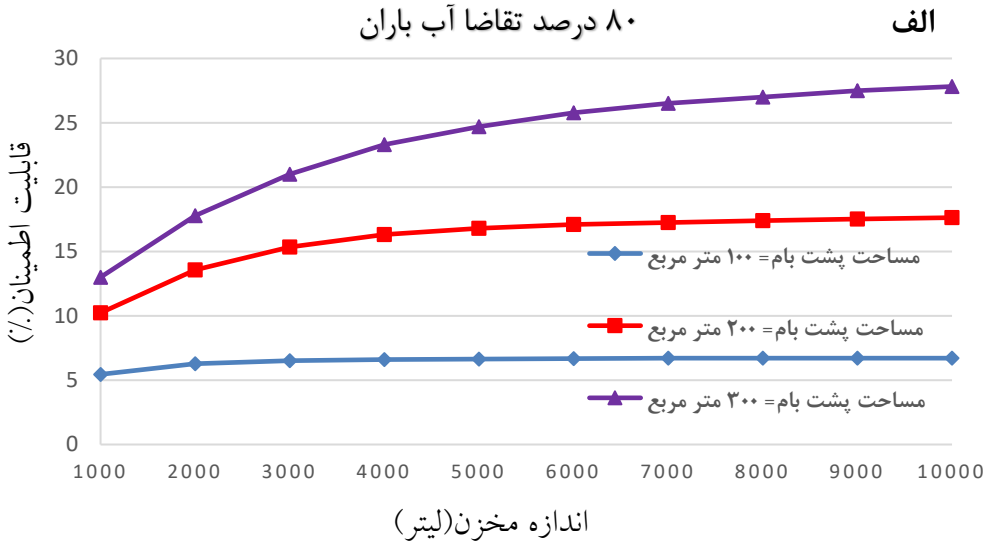
با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت اطمینان سیستم استحصال آب باران به‌واسطه اقلیم (بارش منطقه) و مساحت پشت‌بام محدود می‌شود. همچنین باید خاطرنشان کرد که قابلیت اطمینان سیستم تنها عامل تعیین‌کننده در انتخاب اندازه مخزن نیست، چرا که خانه‌ها در یک منطقه یا شهر بزرگ مانند تهران غالباً دارای منبع آب شهری یا لوله‌کشی هستند و از این رو عواملی مانند فضای مخزن و هزینه خرید مخزن نیز بر انتخاب یک مخزن خاص تأثیرگذار می‌باشند.

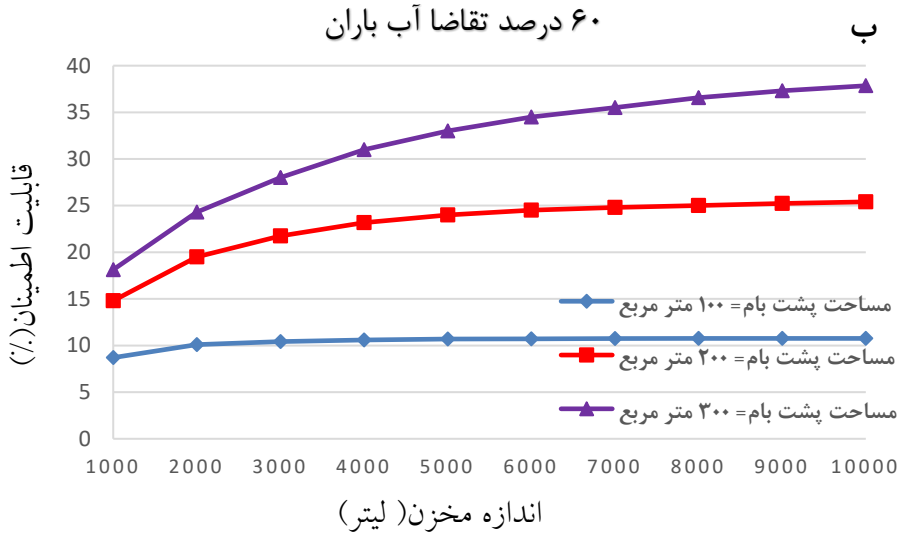
قابلیت اطمینان زمانی اهمیت بیش‌تری می‌یابد که آب شیرین قابل عرضه نیست و یا زمانی‌که در منطقه یا شهر مورد نظر یک دوره خشکسالی طولانی رخ داده و باید برای مقابله با قابلیت دسترسی محدود آب و تقاضای آب زیاد، تلاش نمود. بنابراین، یک سیستم استحصال آب باران از پشت‌بام می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی در راستای کاهش اثرات خشکسالی در منطقه مورد مطالعه استفاده شود.



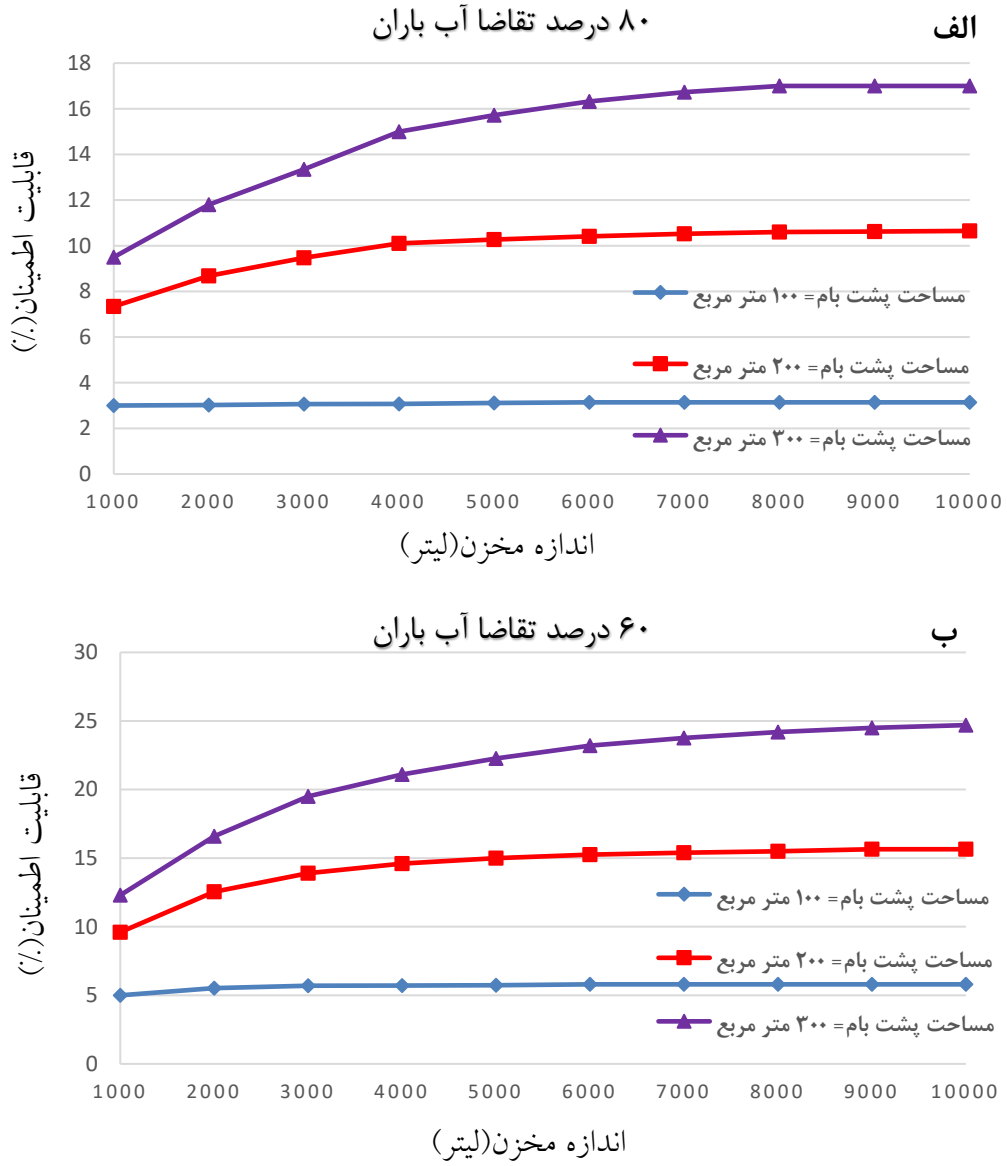


شکل ۴- نمودار قابلیت اطمینان برای مساحت پشت‌بام‌های مختلف با خانوار چهار نفره





شکل ۵- نمودار قابلیت اطمینان برای مساحت پشت‌بام‌های مختلف با خانوار هشت نفر



شکل ۶- نمودار قابلیت اطمینان برای مساحت پشت‌بام‌های مختلف با خانوار دوازده نفر

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه قابلیت اطمینان مخازن آب باران را در شمال غرب تهران تحت سناریوهای مختلف، شرایط اقلیمی، مساحت پشت‌بام، اندازه مخزن، تعداد افراد خانوار و بخشی از تقاضا که بایستی به‌طور کامل توسط آب باران تأمین شود، مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که برای یک مساحت پشت‌بام۱۰۰ متر مربع دستیابی به قابلیت اطمینان ۱۰۰ درصد حتی با اندازه مخازن بزرگتر از ۱۰۰۰۰ لیتر امکان پذیر نخواهد بود. حداکثر قابلیت اطمینان قابل دست‌یابی برای سناریوهای مساحت پشت‌بام ۱۰۰ متر مربعی با تقاضای ۴ نفر، مساحت پشت‌بام ۲۰۰ مترمربعی با تقاضای ۸ نفر و پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی با تقاضای ۱۲ نفر مشابه و برابر با ۲۵ درصد از کل روزهای سال است. با این‌حال، الگوها مشابه نیستند؛ قابلیت اطمینان برای سناریوی تقاضای ۴ نفر و پشت‌بام ۱۰۰ مترمربعی برای اندازه مخزن بزرگ‌تر از ۵۰۰۰ لیتر مستقل از اندازه مخزن می‌باشد. این در حالی است که این اندازه مخازن برای سناریوهای تقاضای ۸ نفر با پشت‌بام ۲۰۰ متر مربعی و تقاضای ۱۲ نفر با پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی به‌ترتیب ۷۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ لیتر می‌باشند. حتی در برخی موارد برای سناریوی مساحت پشت‌بام ۳۰۰ متر مربعی و تقاضای ۱۲ نفر دستیابی به قابلیت اطمینان بالاتر از ۲۵ درصد با مخازن بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰ لیتر امکان پذیر خواهد بود. با توجه به نتایج، اگر حجم مخزن و تقاضای مورد نیاز ساکنین بر اساس سطح پشت‌بام،

بارندگی و تعداد روزهای مورد نیاز برای ذخیره‌سازی محاسبه شود، ذخیره آب باران در مخازن به حداکثر خود می‌رسد و قابلیت اطمینان (تعداد روزهای تأمین تقاضا) افزایش خواهد یافت.

۵- منابع

- 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.
- Abdulla, FA., A.W. Al-Shareef. 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply. Jordan Desalination, 243:195–207.
- Basinger, M., F. Montalto, U. Lall. 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. J. Hydrol. 392 (3–4), 105–118.
- Coombes, P., G. Kuczera. 2003. Analysis of the performance of rainwater tanks in Australian capital cities. 28th International Hydrology and Water Resources Symposium.
- Herrmann, T., U. Schmida. 2000. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. Urban Water 1 (4), 307–316.
- Imteaz, M.A., A. Shanableh, A. Rahman, and A. Ahsan. 2011. Optimization of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. Journal of Resources, Conservation and Recycling.
- Komeh, Z., S.M. Tajbakhsh. 2017. Reservoir volume optimization and performance evaluation of rooftop catchment systems in arid regions: A case study of Birjand, Iran. Water Science and Engineering, 10: 125–133.
- Song, J., M. Han, T. Kim, and J. Song, 2009. Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh. Journal of Desalination, 248, 233–240.