بررسی عملکرد سیستم استحصال آب باران از سطح پشت بام و بهینه‌سازی حجم مخزن (مطالعه‌ی موردی: شهرستان بیرجند)

زینت کومه[۱] هادی معماریان[۲] سید محمد تاجبخش[۲]
۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه بیرجند
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴

چکیده

امروزه سامانه استحصال آب باران از سطوح آبگیر خصوصاً در مناطق شهری به عنوان یکی از روش‌های مدیریتی به منظور تأمین بخشی از نیازهای آبی به شمار آمده و در اکثر نقاط جهان به عنوان یک طرح کارآمد در حال بررسی و اجرا می‌باشد. با توجه به اینکه به منظور اجرای یک سامانه استحصال آب توجه به اجزای آن، شامل سطح آبگیر و بهینه‌سازی حجم مخزن آب ضروری می‌باشد، به ارزیابی عملکرد این سامانه در شهر بیرجند که با مشکل شدید کم آبی روبرو می‌باشد پرداخته شده است. برای این منظور با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری لازم، از آمار بارندگی ۲۲ ساله‌ی ایستگاه سینوپتیک بیرجند و همچنین استخراج اطلاعات مصرفی آب ساکنین، از پرسش‌نامه‌های تهیه شده استفاده شد. به منظور ارزیابی سامانه تعبیه شده و تعیین یک حجم بهینه برای مخازن به بررسی سامانه‌های شبیه-سازی شده با روش آنالیز منحنی جرم پرداخته شد و حجم بهینه‌ی مخزن برای دو سال تر و نرمال محاسبه گردید که برای این منظور ۵ سناریو تعریف شد. در سناریوی اول بر اساس نتایج به دست آمده از اطلاعات پایه‌ی حجم بهینه‌ی مخزن به ترتیب برای ساختمان‌های ۷-۱ در سال نرمال ۹۷۹۴، ۶۰۹۹، ۱۱۰۲۱، ۶۲۸۲، ۶۱۹۶، ۷۰۲۶ و ۱۷۱۴۶ لیتر و در سال تر ۱۰۱۰۴، ۶۹۳۱، ۲۳۰۱۳، ۱۱۷۷۴، ۶۴۸۸، ۱۲۵۰۱ و ۳۶۹۷۲ لیتر برآورد گردید. در سناریوهای ۵-۲ به ترتیب با کاهش ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی نیاز مصرفی ساکنان در فصول تر به ذخیره‌سازی آب بیش‌تر برای فصل خشک پرداخته شد و حجم مخزن بهینه به دست آمده از هر سناریو با سناریوی پایه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که استفاده از روش منحنی جرم، برای تعیین حجم بهینه‌ی مخزن، روش مناسبی بوده جز در ساختمان‌هایی که منحنی مصرفی آن‌ها بالاتر از منحنی ورودی می‌باشد که در این موارد، استفاده از روش آزمون و خطا مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز منحنی جرم، پشت‌بام مناطق مسکونی، سطوح آبگیر باران، مخازن ذخیره‌ی آب.

مقدمه

با توجه به مشکلات کمبود آب شیرین و هدررفت مقادیر قابل توجهی از بارش به صورت هرزآب، جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها را می‌توان یکی از راه حل‌های کاهش این مشکل دانست به طوری که این سامانه را می‌توان سامانه سازگار در مناطق پر باران (به لحاظ جلوگیری از هدررفت) و نیز در مناطق نیمه‌خشک و خشک (به لحاظ ذخیره آب) دانست (دستورانی، ۲۰۱۰). جمع‌آوری آب از سطح پشت بام‌ها، به عنوان یکی از انواع روش‌های استحصال آب، از قدیم الایام تا هم اکنون همواره مورد استفاده بوده است. سوابق نشان می‌دهد که برای این کار در کشور استرالیا سطوح عایقی از جنس مصالح ایزولاسیون پشت بام‌ها ولی بر روی پایه و در نزدیک سطح زمین می‌ساخته‌اند که آب باران از روی این سطوح برای مصرف کشاورزی و دام جمع‌آوری می‌شده است (Kenyon, 1929).

[1] نویسنده مسئول: زینت کومه z.komeh@gmail.com

امروزه روش‌های ساده استحصال آب دوران گذشته به تکنیک‌های بسیار پیشرفته‌ای تبدیل شده است. به جای کوبیدن و سخت کردن زمین، از مواد گوناگونی برای کاهش نفوذپذیری خاک استفاده می‌شود به طوری‌که در بیش‌تر موارد راندمان استحصال آب بیشتر از ۹۵ درصد است. به عبارت دیگر، در سیستم‌های جدید استحصال آب که امروزه در استرالیا، آمریکا و اسراییل استفاده می‌شود تنها کم‌تر از ۵ درصد از کل باران از دست می‌رود و بیش‌تر از ۹۵ درصد آن استحصال می‌شود (پارسایی و همکاران، ۱۳۹۱). سیستم‌های استحصال آب فناوری ساده دارند و در ابعاد کوچک قابل اجرا می‌باشند به همین دلیل از این روش بدون محدودیت مکانی می‌توان استفاده نمود (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱). همچنین استحصال آب باران برای آبیاری تکمیلی در بسیاری از مناطق خشک با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور آب باران از اراضی مجاور جمع‌آوری و ذخیره می‌شود و در زمان کمبود آب به مصرف گیاه می‌رسد (Laura, 2004). این سیستم‌ها شامل دو بخش اصلی است، اول سطح جمع‌آوری آب و دوم امکانات ذخیره‌سازی برای آب جمع‌آوری شده (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱). مولفه اصلی سیستم جمع‌آوری رواناب، سطح گیرنده آب است که ممکن است طبیعی یا دست‌کاری شده باشد. سطوح طبیعی شامل آن سطوحی می‌شود که طبیعی یا دست سازند اما هدف از ساخت آن‌ها جمع‌آوری رواناب نبوده است. مثلاً می‌توان به جاده‌های آسفالت شده، باغات، حیات منازل و ... اشاره کرد (جعفری و قلی نژاد، ۱۳۹۱).

مخزن ذخیره آب بیشترین سرمایه‌گذاری را در سیستم استحصال آب باران نیاز دارد. بنابراین تعیین ظرفیت بهینه حجم مخزن به منظور ذخیره‌سازی و پایداری سازه، نیاز به طراحی دقیق‌تر داشته تا جایی که با تعیین یک حجم مناسب برای ذخیره حداکثر بارندگی با صرف حداقل هزینه رو به رو باشد. از دیگر مطالعات انجام شده در زمینه تحلیل هیدرولوژیک عملکرد سطوح پشت بام در مناطق مسکونی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Imteaz et al (2011)، تحقیقاتی جهت دست‌یابی به مدل جامعی برای تحلیل عملکرد و همچنین طراحی مخازن آب باران در شهر ملبورن استرالیا انجام دادند. Palla et al (2011)، به مطالعه و بررسی عملکرد بهینه سامانه استحصال آب باران پرداختند و توانستند مدل مناسبی را جهت ارزیابی جریان ورودی، جریان خروجی و تغییرات حجم ذخیره در سامانه استحصال آب باران پدید آورند. Jones & Hunt (2009)، مدل رایانه‌ای را برای مدل‌سازی عملکرد سامانه استحصال آب باران از سطح پشت بام‌ها در جنوب ایالت متحده ارائه نمودند و Eroksuz & Rahman (2010)، تحقیقی پیرامون استحصال آب باران و پتانسیل ذخیره آب در مخازن در ساختمان‌های چند واحدی استرالیا انجام دادند.

با وجود مطالعات با ارزشی که در زمینه جمع‌آوری آب از سطوح غیر قابل نفوذ شهری انجام شده است، متاسفانه در زمینه بهینه‌سازی حجم مخازن جمع‌آوری که به عنوان رکن اساسی جهت به اجرا در آوردن این طرح‌ها است مطالعه جامعی صورت نگرفته است. و با توجه به اینکه تعبیه مخزن پرهزینه‌ترین بخش این سامانه بوده، تعیین حجم بهینه مخزن می‌تواند به عنوان مهمترین بخش در نظر گرفته شود به نحوی که بتوان با حداقل هزینه ممکن حداکثر ذخیره‌سازی را داشت. بنابراین انجام این مطالعه با هدف بهینه‌سازی حجم مخازن ذخیره که بخش تکمیلی ارزیابی عملکرد سطوح پشت‌بام جهت تامین نیازهای آبی ساکنان شهری می‌باشد صورت گرفته تا با در نظر گرفتن این که بارندگی در این منطقه تنها در چند ماه از سال صورت می‌گیرد بتوان حداکثر استفاده از آب بارندگی را در طی سال داشت.

مواد و روش‌ها

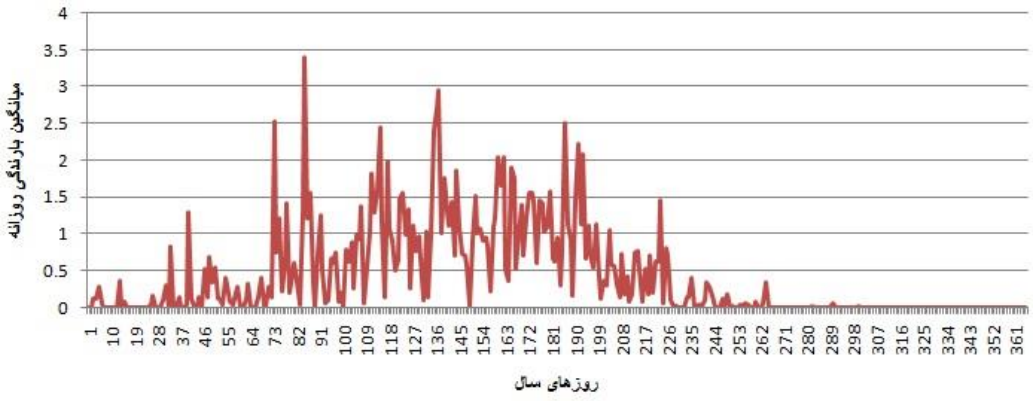
معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

این مطالعه بخشی از طرح ارزیابی عملکرد سطوح پشت‌بام جهت تامین نیازهای آبی ساکنان شهری در شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا در شرق کشور می‌باشد. در این طرح با شبیه‌سازی سامانه

استحصال آب باران در ۷ ساختمان مسکونی جدول (۱) با تعداد واحدها و مساحت‌های مختلف پشت‌بام، تراکم‌های جمعیتی متفاوت و همچنین پراکنش مناسب در سطح شهر، عملکرد سطوح پشت بام به منظور تامین بخشی از نیاز آبی ساکنان در مناطق نیمه‌بیابانی مورد بررسی قرار گرفته و بعد از مشخص شدن کارایی موثر این سامانه‌ها در چنین مناطقی که بارندگی تنها در بخشی از سال و با پراکنش نامناسب صورت می‌گیرد شکل (۱) در این بخش تکمیلی به بهینه‌سازی تعیین حجم مخازن پرداخته شده است.

جدول (۱): مشخصات ساختمان‌های مورد بررسی در شهر بیرجند

شماره ساختمان	مختصات جغرافیایی ساختمان	مساحت بام (متر مربع)	تعداد واحد	تعداد ساکنین در ساختمان	نوع ساختمان
۱	۵۹° ۱۳' ۲۱" ،۳۲° ۵۳' ۳۱"	۱۵۱	۲	۶ نفر	ویلایی
۲	۵۹° ۱۲' ۲۵/۱۸" ،۳۲° ۵۱' ۵۲/۴۸"	۸۰	۲	۷ نفر	ویلایی
۳	۵۹° ۱۳' ۱۷/۹۴" ،۳۲° ۵۱' ۴۴/۵۹"	۱۹۰	۱	۲ نفر	ویلایی
۴	۵۹° ۱۱' ۵۳/۶۸" ،۳۲° ۵۱' ۳۵/۸۱"	۸۵	۱	۲ نفر	ویلایی
۵	۵۹° ۱۳' ۹/۳۶" ،۳۲° ۵۲' ۴۲/۶۹"	۷۰	۲	۸ نفر	ویلایی
۶	۵۹° ۱۲' ۲۸/۸۵" ،۳۲° ۵۰' ۲۶/۵۸"	۹۰	۱	۵ نفر	آپارتمانی
۷	۵۹° ۱۲' ۵۰/۸۶" ،۳۲° ۵۱' ۳۱/۱۲"	۳۲۲.۵	۹	۲۹ نفر	آپارتمانی



شکل (۱): میانگین بارندگی روزانه‌ی شهر بیرجند (در طی دوره‌ی ۲۲ ساله، از مهر سال ۱۳۶۸ تا شهریور سال ۱۳۸۹)

روش تحقیق

اجزای مهم سازنده سیستم‌های استحصال آب شامل سه بخش، سطح آبگیر (قسمتی از زمین است که باعث می‌شود تمام یا بخشی از بارندگی جمع‌آوری و به طرف منطقه هدف هدایت شود)، محل ذخیره‌سازی (منبعی است که رواناب به آن‌جا هدایت و ذخیره می‌شود و تا زمان استفاده در آن‌جا باقی می‌ماند) و منطقه هدف (منظور مکانی است که آب استحصال شده در آن محل مورد استفاده قرار می‌گیرد) می‌باشد (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱).

جهت ایجاد مدل برای شبیه‌سازی مخازن ذخیره آب باران، ابتدا عوامل و متغیرهای طراحی حجم مخزن شناسایی می‌گردند. بر اساس معادله زیر حجم استحصال آب باران از سطح پشت‌بام قابل برآورد خواهد بود (رشیدی مهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱):

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

I_t حجم استحصال آب باران (lit)، φ ضریب رواناب، R_t مقدار بارش روزانه (mm) و A سطح استحصال آب (m^2) می‌باشد.

پس از بررسی سطوح آبگیر و تعیین میزان حجم آب قابل استحصال، به منظور محاسبه حجم مفید مخازن از منحنی جرم یا منحنی ریپل[3] استفاده شده است. بر اساس رابطه (۲) حجم مفید مخزن، معادل حداکثر فاصله قائم بین منحنی جرم جریان ورودی با منحنی جرم مصرف یا نیاز است (صفوی، ۱۳۸۵).

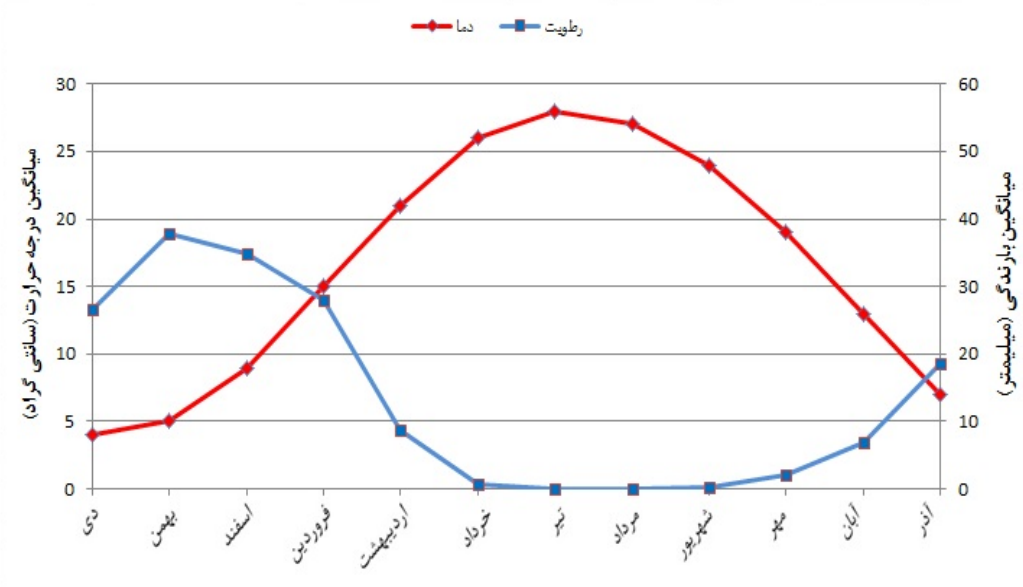
$$S = MAX\left(\sum Vd - \sum Vs\right) \qquad (۲)$$

که در آن V_d حجم آب برداشتی یا مورد نیاز (m^3)، V_s حجم آب ورودی به مخزن (m^3) و S حجم مفید مخزن (m^3) می‌باشد. آنالیز منحنی جرم مستلزم تعیین دوره‌های بحرانی داده‌ها در جائی که اختلاف بین جریان‌های ورودی تجمعی (بارندگی) و جریان‌های خروجی (نیاز آبی) حداکثر هستند، می‌باشد.

بر اساس نظر Frasier & Myer و (۱۹۸۳) بارندگی متوسط سالانه معیار خوبی برای مقدار آب قابل استحصال نیست و باید آمار دراز مدت، تحلیل فراوانی و سال‌های خشک و تر در دوره‌های بازگشت مختلف مشخص شود و طراحی حجم مخزن باید بر اساس متوسط بارندگی سالانه منطقه و برای ذخیره‌سازی باران‌های با دوره برگشت معین باشد تا بتواند باران‌های با شدت و ارتفاع معین را در خود نگهدارد. در این تحقیق از آمار بارندگی روزانه طی دوره ۲۲ ساله ایستگاه سینوپتیک بیرجند از مهر سال ۱۳۶۸ تا شهریور سال ۱۳۸۹ استفاده شد و با توجه به میانگین بارندگی در این دوره که ۱۵۹/۷ میلی‌متر بوده است سال‌های ۷۵-۷۴و ۸۹-۸۸ به ترتیب به عنوان مبنا برای یک سال تر و نرمال قرار داده شدند و محاسبات سامانه استحصال آب باران برای ۷ نمونه مورد مطالعه و بر اساس روابط قید شده فوق در برنامه Excel انجام پذیرفت. فصول خشک و تر منطقه مورد مطالعه نیز با رسم منحنی آمبروترمیک منطقه (شکل ۲) مشخص شدند. بدین ترتیب ماه‌های آذر تا فروردین مرطوب و مابقی خشک محسوب شدند. ضریب رواناب پشت بام‌ها هم بر اساس نوع و جنس پشت بام‌های منطقه برابر با ۰/۸۵در نظر گرفته شد (Herrmann & Hasse, 1997). میزان آب خروجی برای تامین نیاز آبی غیر شرب ساکنان با توجه به اطلاعات به دست آمده از متوسط مصرف آب ساکنان برای شستشوی حیاط، ماشین و آبیاری باغچه از پرسش‌نامه‌ها و میزان آب مصرفی آن‌ها در فصول خشک و تر محاسبه شد که این ضریب برای ساختمان‌های ویلایی در فصل خشک ۰/۲ و در فصل تر ۰/۱۴ بوده و برای ساختمان‌های آپارتمانی که معمولا فاقد حیاط و باغچه می‌باشند در دو فصل خشک و تر ۰/۰۷ در نظر گرفته شده است.

در ادامه به منظور تعیین یک حجم بهینه برای مخازن ساختمان‌های مورد مطالعه و این که بتوان ذخیره‌سازی مناسبی از آب باران در فصول تر داشت تا در فصل خشک مورد استفاده قرار گیرد ۵ سناریو تعریف شد. در سناریوی اول (S1) آب استحصال شده و نیاز آبی ساکنین بر اساس اطلاعات پایه محاسبه گردید و حجم تجمعی آب ورودی و حجم تجمعی آب (برداشتی) مورد نیاز محاسبه گردید و سناریوی دوم تا پنجم به ترتیب با در نظر گرفتن کاهش ۱۰ (S2)، ۲۰ (S3)، ۳۰ (S4) و ۵۰ (S5) درصدی در حجم آب مصرفی ساکنان در فصول تر تعریف شد تا بتوان ذخیره‌سازی بیش‌تری را برای فصول خشک در نظر گرفت. همچنین حجم مخزن مورد نیاز برای آنان نیز محاسبه گردید و در پایان تفاوت این سناریوها با سناریوی پایه مورد بررسی قرار گرفت.

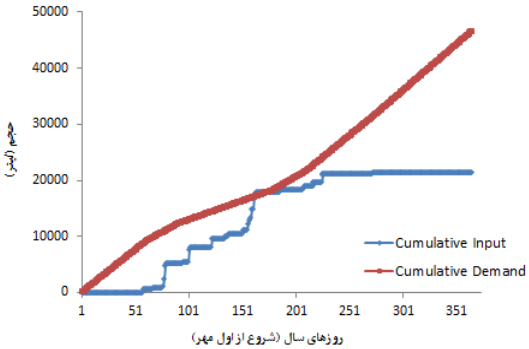
[3] Ripple



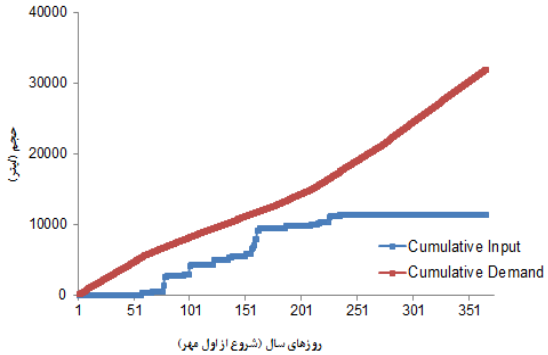
شکل (۲): نمودار آمبروترمیک شهر بیرجند در دوره‌ی آماری ۲۲ ساله

نتایج و بحث

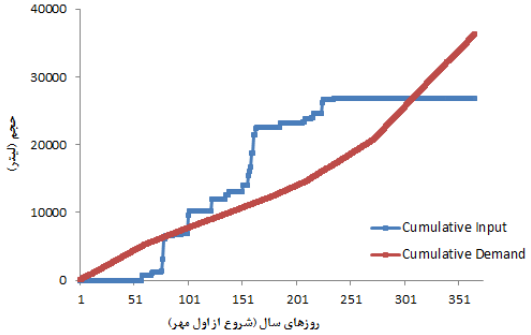
به منظور تعیین حجم مناسب مخزن در سامانه استحصال آب باران، بهینه‌سازی حجم مخازن با روش منحنی جرم صورت گرفت تا بر اساس حداکثر تفاوت بین جریان ورودی تجمعی و میزان نیاز تجمعی در دوره فعال بودن مخزن، که خود تحت تاثیر فاکتورهایی از قبیل مساحت ساختمان، تعداد ساکنین و میزان مصرف آن‌ها است، بهینه‌سازی حجم مخزن صورت گیرد. شکل‌های (۳ تا ۹) منحنی‌های جرم ساختمان‌های مورد مطالعه برای سناریوی پایه در یک سال نرمال می‌باشند.



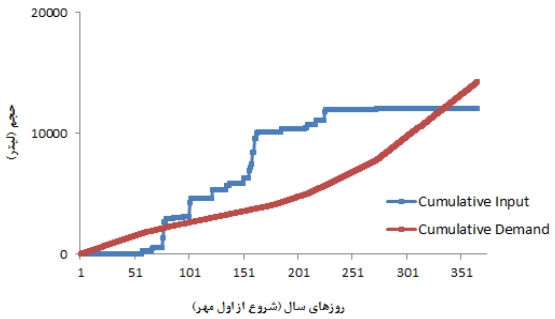
شکل (۳): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۱ در سال نرمال



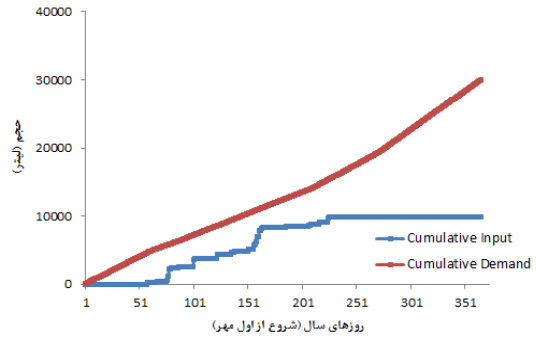
شکل (۴): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۲ در سال نرمال



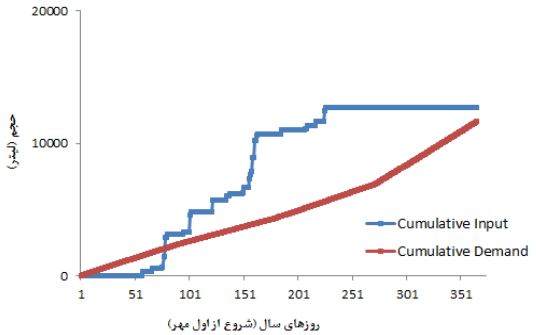
شکل (۵): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۳ در سال نرمال



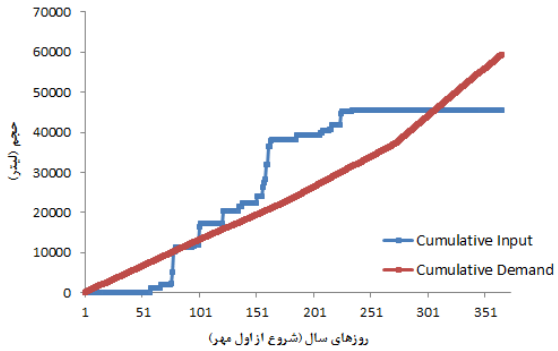
شکل (۶): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۴ در سال نرمال



شکل (۷): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۵ در سال نرمال



شکل (۸): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۶ در سال نرمال



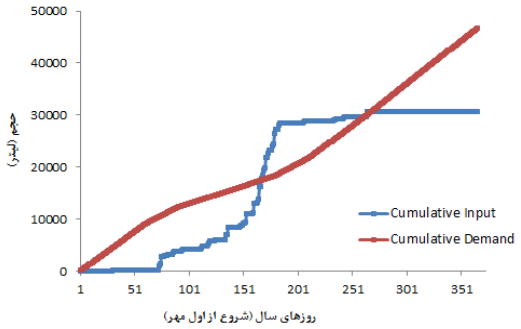
شکل (۹): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۷ در سال نرمال

بر اساس حداکثر فاصله قائم بین منحنی جرم جریان با منحنی مصرف یا نیاز، حجم مفید مخزن مورد نیاز برای ساختمان‌های مورد مطالعه در ۵ سناریوی تعریف شده برای سال نرمال در جدول (۲) آورده شده است.

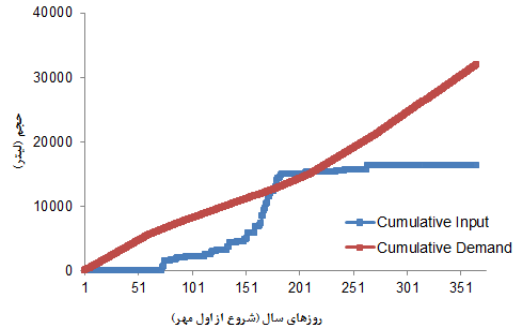
جدول (۲): حجم مخزن برآورد شده برای ساختمان‌های مورد مطالعه در ۵ سناریوی تعریف شده در سال نرمال (بر حسب لیتر)

سناریوهای تعریف شده	ساختمان‌های مورد مطالعه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
S1	۹۷۹۴/۱۴	۶۰۹۹/۵۰	۱۱۰۲۱/۵۱	۶۲۸۲/۰۳	۶۱۹۶/۱۸	۷۰۲۶/۵۵	۱۷۱۴۶/۶۷
S2	۹۶۳۴/۷۰	۶۰۰۱/۲۰	۱۱۶۴۹/۹۱	۶۵۵۵/۵۶	۵۲۷۲/۵۷	۷۳۸۶/۵۰	۱۸۴۷۳/۲۲
S3	۹۴۷۵/۲۶	۵۹۰۲/۹۰	۱۲۳۸۸/۳۰	۶۸۷۸/۷۲	۵۰۹۳/۳۵	۷۷۴۶/۴۶	۱۹۷۹۹/۷۷
S4	۹۳۱۵/۸۱	۵۸۰۴/۶۱	۱۳۳۲۳/۷۹	۷۲۰۱/۸۸	۵۰۰۸/۶۸	۸۱۰۶/۴۲	۲۱۱۲۶/۵۰
S5	۸۹۹۶/۹۳	۵۶۰۸/۰۱	۱۵۱۹۴/۷۸	۷۸۴۸/۲۱	۴۸۳۹/۳۳	۸۸۲۶/۳۳	۲۵۱۰۳/۱۱

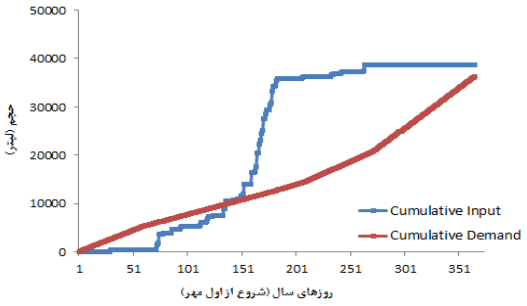
شکل‌های (۱۰ تا ۱۶) نیز منحنی جرم ساختمان‌های مورد مطالعه برای سناریوی پایه در یک سال تر می‌باشند.



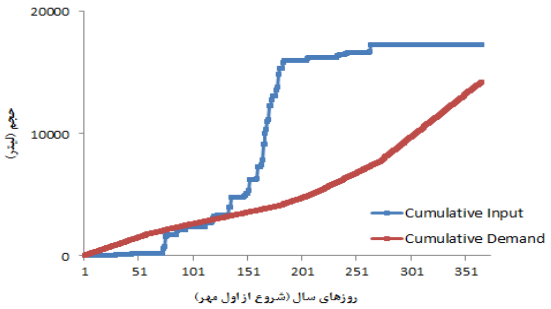
شکل (۱۰): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۱ در سال تر



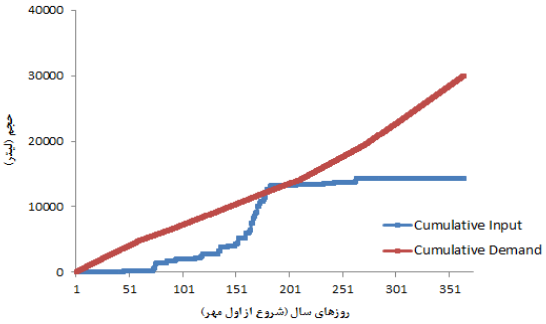
شکل (۱۱): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۲ در سال تر



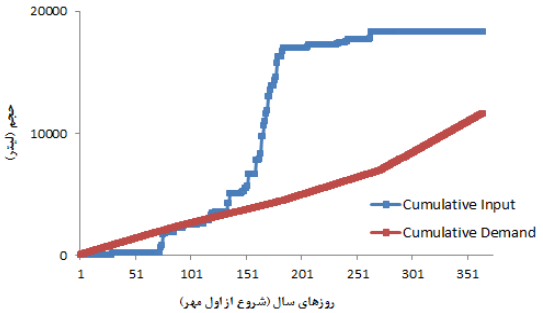
شکل (۱۲): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۳ در سال تر



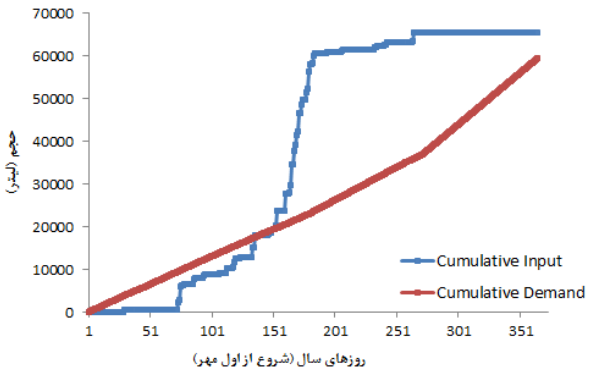
شکل (۱۳): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۴ در سال تر



شکل (۱۴): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۵ در سال تر



شکل (۱۵): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۶ در سال تر



شکل (۱۶): منحنی جرم ساختمان شماره‌ی ۷ در سال تر

حجم بهینه مخزن مورد نیاز برای ساختمان‌های مورد مطالعه در ۵ سناریوی تعریف شده در سال تر در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): حجم مخزن برآورد شده برای ساختمان‌های مورد مطالعه در ۵ سناریوی تعریف شده در سال تر (بر حسب لیتر)

سناریوهای تعریف شده	ساختمان‌های مورد مطالعه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
S1	۱۰۱۰۴/۱۷	۶۹۳۱/۴۱	۲۳۰۱۳/۶۱	۱۱۷۷۴/۸۶	۶۴۸۸/۹۱	۱۲۵۰۱/۸۵	۳۶۹۷۲/۴۲
S2	۱۰۵۸۳/۵۳	۶۴۸۰/۶۴	۲۳۷۶۷/۱۰	۱۲۰۱۹/۱۶	۶۰۴۵/۹۹	۱۲۷۸۹/۰۰	۳۸۵۶۴/۲۲
S3	۱۱۵۵۶/۹۴	۶۰۷۴/۸۳	۲۴۵۲۰/۶۰	۱۲۲۶۳/۴۶	۵۶۰۳/۰۸	۱۳۰۷۶/۱۶	۴۰۱۵۶/۰۲
S4	۱۲۴۷۵/۷۴	۶۰۰۰/۱۹	۲۵۲۷۴/۰۹	۱۲۵۰۷/۷۵	۵۱۸۱/۶۸	۱۳۳۶۳/۳۲	۴۱۷۴۷/۸۳
S5	۱۴۴۷۷/۱۶	۵۸۴۲/۹۱	۲۶۷۸۱/۰۸	۱۲۹۹۶/۳۴	۵۰۴۶/۲۰	۱۳۹۳۷/۶۳	۴۴۹۳۱/۴۳

در جدول‌های (۴ و ۵) نیز نتایج مقایسه سناریوهای تعریف شده با سناریوی پایه به ترتیب برای سال نرمال و سال تر آورده شده است.

جدول (۴): مقایسه‌ی حجم مخزن هر یک از سناریوهای تعریف شده با سناریو پایه در سال نرمال

سناریوهای تعریف شده	ساختمان‌های مورد مطالعه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
S1	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S2	-۱/۶۳	-۱/۶۱	۵/۷۰	۴/۳۵	-۱۴/۹۱	۵/۱۲	۷/۷۴
S3	-۳/۲۶	-۳/۲۲	۱۲/۴۰	۹/۵۰	-۱۷/۸۰	۱۰/۲۵	۱۵/۴۷
S4	-۴/۸۸	-۴/۸۳	۲۰/۸۹	۱۴/۶۴	-۱۹/۱۷	۱۵/۳۷	۲۳/۲۱
S5	-۸/۱۴	-۸/۰۶	۳۷/۸۶	۲۴/۹۳	-۲۱/۹۰	۲۵/۶۱	۴۶/۴۰

جدول (۵): مقایسه‌ی حجم مخزن هر یک از سناریوهای تعریف شده با سناریو پایه در سال تر

سناریوهای تعریف شده	ساختمان‌های مورد مطالعه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
S1	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S2	۴/۷۴	-۶/۵۰	۳/۲۷	۲/۰۷	-۶/۸۳	۲/۳۰	۴/۳۱
S3	۱۴/۳۸	-۱۲/۳۰	۶/۵۵	۴/۱۵	-۱۳/۶۵	۴/۵۹	۸/۶۱
S4	۲۳/۴۷	-۱۳/۴۳	۹/۸۲	۶/۲۲	-۲۰/۱۵	۶/۸۹	۱۲/۹۲
S5	۴۳/۲۸	-۱۵/۷۰	۱۶/۳۷	۱۰/۳۷	-۲۲/۲۳	۱۱/۴۸	۲۱/۵۳

همان طور که در جداول شماره (۴ و ۵) دیده می‌شود، در سناریوهای تعریف شده با کاهش میزان مصرف، در واقع شیب نمودار مصرف کاهش یافته و با در نظر گرفتن ورودی ثابت، فاصله بین دو منحنی زیاد شده است. در نتیجه به منظور جلوگیری از سرریز مخزن، باید حجم مخازن زیادتر در نظر گرفته شود که نتایج به دست آمده کاملا گویای این مطلب است البته به جز در ساختمان‌های شماره ۱، ۲ و ۵. در این ساختمان‌ها به دلیل اینکه منحنی مصرف بالاتر از منحنی ورودی قرار می‌گیرد در واقع با کاهش مصرف در فصل تر، فاصله دو منحنی کم شده بنابراین حجم مخزن هم کاهش می‌یابد. البته در مورد ساختمان شماره ۱ برای سال تر نیز روند تغییر حجم بهینه مخزن با کاهش میزان مصرف در فصل تر، نسبت به سال نرمال بر عکس است که دلیل آن قرار گرفتن منحنی ورودی بالای منحنی مصرف است. در سال نرمال و سال تر با کاهش میزان مصرف در فصل تر، ساختمان شماره ۵ بیش‌ترین میزان کاهش حجم مخزن را

نسبت به سناریوی پایه نشان می‌دهد. این در حالیست که در سال نرمال در ساختمان شماره ۷ با کاهش میزان مصرف در فصل تر، به علت کاهش شیب منحنی مصرف و افزایش فاصله بین دو منحنی، افزایش معنی‌داری در حجم مخزن سناریوی S5 نسبت به سناریوی S1 (۴۶/۴٪) مشاهده می‌گردد. مشابه همین روند برای ساختمان شماره ۱ در سال تر دیده می‌شود که سناریوی S5 منجر به افزایش ۴۳/۳ درصدی حجم مخزن نسبت به سناریوی پایه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

از مجموع کارهای انجام شده در ارتباط با سیستم‌های سطوح آبگیر، در شهر بیرجند می‌توان چنین استنباط نمود که این سیستم‌ها قابل اجرا در شرایط مشابه کشور که دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است می‌باشد و می‌تواند بخشی از نیاز آبی ساکنین را بر طرف کرده و باعث کاهش فشار آب مصرفی شهری شود.

با توجه به نتایج به دست آمده در سناریوی اول، حجم بهینه مخزن به ترتیب برای ساختمان‌های ۱ تا ۷ در سال نرمال ۹۷۹۴، ۶۰۹۹، ۱۱۰۲۱، ۶۲۸۲، ۶۱۹۶، ۷۰۲۶ و ۱۷۱۴۶ و در سال تر ۱۰۱۰۴، ۶۹۳۱، ۲۳۰۱۳، ۱۱۷۷۴، ۶۴۸۸، ۱۲۵۰۱ و ۳۶۹۷۲ لیتر برآورد گردید که مقدار آن برای ساختمان‌های شماره ۳، ۴، ۶ و ۷ با نتایج به دست آمده از روش آزمون و خطا (که در طرح دیگری انجام شده) هم‌خوانی داشته است که خود نشان دهنده مناسب بودن روش منحنی جرم برای بهینه‌سازی حجم مخزن می‌باشد. البته به جز برای ساختمان‌هایی که میزان مصرف آن‌ها با توجه به تعداد ساکنین ساختمان، نسبت به سطح پشت بام زیاد بوده (ساختمان‌های ۱، ۲ و ۵) و حجم مخزن را بیش‌تر از میزان مورد نیاز برآورد کرده است. در نتیجه برای این ساختمان‌ها روش آزمون و خطا نتایج بهتری را ارائه داده و جهت تعیین حجم بهینه مخزن توصیه می‌گردد.

پیشنهادها

با توجه به اهمیت تعیین حجم مخزن بهینه در یک سیستم سطوح آبگیر باران و عدم وجود مطالعات جامع در این خصوص، نیاز به مطالعات بیش‌تر برای تعیین حجم بهینه مخزن به روش‌های مختلف به ویژه روش برنامه‌ریزی خطی، و مقایسه آن‌ها خصوصا برای ساختمان‌هایی که با توجه به تعداد ساکنین مصرف بالایی دارند دیده می‌شود. همچنین انجام مطالعاتی برای تعیین نسبت سود به هزینه در اجرای بهتر این طرح‌ها ضروری است.

منابع

۱- پارسایی، ل.، م. پارسامهر و غ.ر. شاهینی (۱۳۹۱). جمع‌آوری آب باران در استان گلستان، چالش‌ها و راهکارها. اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، مشهد.
۲- جعفری شلمزاری، م. و ب. قلی نژاد (۱۳۹۱). روش‌های مختلف جمع‌آوری آب در مناطق خشک. اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، مشهد.
۳- چکشی، ب. و ج. طباطبایی یزدی (۱۳۹۱). استحصال آب باران شیوهای جهت استفاده از دانش بومی به منظور تامین آب در مناطق خشک، اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، مشهد.
۴- رشیدی مهرآبادی، م.ح.، ب. ثقفیان و م.ص. صادقیان (۱۳۹۱). معرفی سیستم سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در شهرها. دو ماهنامه مهر آب، خرداد و تیر. شماره ۷۴.
۵- صفوی، ح. ر. (۱۳۸۵). هیدرولوژی مهندسی. انتشارات ارکان. ۶۰۴ صفحه.
۶- عباسی، ع.ا.، ج. طباطبایی یزدی، ح. توکلی و ر. صدیق (۱۳۹۱). بررسی امکان توسعه مدل بارش رواناب برای سطوح آبگیر کوچک شهری. اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، مشهد.

7- Eroksuz E. and Rahman A. *(2010). "Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities"* Journal of Resources, Conservation and Recycling, *54, 1449–1452*.
8- Frasier G.W. and Myer L.E. *(1983). "Handbook of Water Harvesting*" Agricultural Handbook No: 600. US Department of Agriculture, A. R. S., USA.
9- Herrmann T. and Hasse K. *(1997). "Ways to get water: rainwater utilization or long-distance water supply".* WaterScience Technology 36 (8-9),Pergamon, New York, pp. *313-318.*
10- Imteaz M. A., Ahsan A., Naser J. and Rahman A. *(2011). "Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model"*. Journal of Resources, Conservation and Recycling, *56,80-86.*
11- Jones M.P. and Hunt W. F. *(2009). "Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States".* Journal of Resources, Conservation and Recycling, *54, 629-623*.
12- Kenyon A.S. *(1929). The "Ironclad*" or Artificial catchment.Victoria Dept. Agr. Jour. *27:86-91*.
13-Laura R. *(2004). "Water farms: a review of the physical aspects of water harvesting and runoff enhancement in rural landscapes*". CSIRO Land and Water, Canberra ACT, Technical Report 04/6.
14- Palla A., Gnecco I. and Lanza L.G. *(2011). "Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems"*. Journal of Hydrology, *401, 76-65*.

Investigation Performance of Rooftop Water Harvesting Systems and Reservoir Volume Optimization (Case Study: Birjand, Iran)

Koumeh Z., Memarian H., Tajbakhsh M.
Email: z.komeh@gmail.com

Received: 2015/03
Accepted: 2015/06

Abstract

Nowadays, rainwater harvesting systems, especially in urban regions, are considered as one of the approaches in water resources management. It is globally being studied as an effective plan, as well. Therefore, considering the requirement of attention to the components of rainwater harvesting system and reservoir volume optimization, this study has been launched toward the optimization of required reservoir supply volume for enabling the maximum supply with the least expenses. In this work, the rainfall statistics of Birjand synoptic station was utilized as the base information for hydrologic analysis. To estimate water-consumption-rate, some questionnaires were distributed among residents. To determine an optimal volume for cisterns, simulated water harvesting systems were analyzed through mass curve analysis in two conditions, i.e. normal and wet years. Five scenarios were defined, in terms of water use rate in dry wet season. In the first scenario (the basic scenario without any reduction in water utilization rate in wet season), reservoir volume of the buildings 1-7 in normal year were estimated as 9794, 6099, 11021, 6282, 6196, 7026, and 17146 liters, respectively. However, in wet conditions (years), reservoir volume of the buildings 1-7 were estimated as 10104, 6931, 23013, 11774, 6488, 12501, and 36972 liters, respectively. For the scenarios 2-5, with 10, 20, 30, and 50%, respectively, decrease in residents' water consumption rate in wet season, water was more supplied for dry season. However these scenarios resulted in some decrease or increase in reservoir volume. Obtained optimal reservoir volume of each scenario was compared with the basic scenario. Results have shown that the mass curve approach is appropriate for determining the volume of reservoir except for the buildings where the consumption curve was higher than input curve. In these cases, trial and error approach was identified more appropriate in reservoir volume estimation.

Keywords: mass curve analysis, rooftop catchment, water harvesting, reservoir volume