بررسی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح بام ساختمان‌ها و ارزیابی اقتصادی آن (مطالعه موردی: دانشگاه فسا)

امیرحسین پارسامهر[1*] زهرا خسروانی[2]

۱- عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فسا

۲- دانشجوی دکتری بیابانزدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵

چکیده

استحصال آب باران یکی از مهمترین تکنیک‌های جمع‌آوری آب است و چنانچه رواناب حاصل از آن، جمع آوری و مورد استفاده قرار گیرد، باعث صرفه جویی در مصرف آب و مدیریت بهینه آن خواهد شد. هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح بام ساختمان‌ها و ارزیابی اقتصادی آن در دانشگاه فسا است. برای این منظور از داده‌های روزانه بارش ۳۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۶) ایستگاه سینوپتیک فسا و به تفکیک هر ماه استفاده شد. پس از بررسی داده‌ها از لحاظ صحت و همگنی، سری زمانی مذکور بر توابع مختلف آماری برازش داده شدند و پس از انتخاب بهترین تابع توزیع با توجه به حداقل بودن مجموع مربعات باقیمانده، میزان بارش روزانه با دوره بازگشت ۲ ساله محاسبه گردید. در ادامه با استفاده از معادلات مربوطه و پارامترهای موجود، حجم مورد نیاز مخزن جهت ذخیره آب قابل استحصال تعیین شد. در نهایت زمان بازگشت سرمایه و اقتصادی بودن طرح، با استفاده از معادله ارزش خالص فعلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین حجم آبی که در یک رخداد بارش روزانه، قابل استحصال است، مربوط به ماه بهمن و به مقدار ۲۴/۶ متر مکعب است. بنابراین با توجه به هدف مورد نظر، نیازمند مخازنی جهت ذخیره حداقل ۲۴/۶ متر مکعب آب قابل استحصال هستیم. همچنین نتایج معادلات اقتصادی نشان داد که بازگشت سرمایه اولیه ۲۵۰ میلیون ریالی در سال ششم اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: ارزش خالص فعلی، استحصال آب، بهینه سازی، توجیه اقتصادی

مقدمه

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه خشک در برخی مواقع، موجب بروز سیلاب شده که علاوه بر خسارات فراوان، سبب از دست رفتن حجم زیادی از آب قابل استحصال می‌شود. وجود بحران آب در اکثر این مناطق، لزوم اجرای طرح‌های مختلف استحصال آب را توجیه می‌کند. سامانه استحصال آب باران از جمله روش‌هایی است که به طور مستقیم باعث کاهش فشار بر منابع آب می‌شود (پهلوانی و همکاران، ۱۳۹۵). اجزای مهم سازنده سیستم‌های استحصال آب شامل سه بخش سطح آبگیر (قسمتی از زمین است که باعث می‌شود تمام یا بخشی از بارندگی جمع آوری و به طرف منطقه هدف هدایت شود)، محل ذخیره سازی (منبعی است که رواناب به آن جا هدایت و ذخیره می‌شود و تا زمان استفاده در آن جا 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). از آنجا که باران هر چند به مقدار کم، تقریبا در همه نقاط کشور وجود دارد، چنانچه با اعمال مدیریت صحیح مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند جهت جبران بخشی از کمبودهای موجود مفید واقع شود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۹).

[1] نویسنده مسئول: امیر حسین پارسامهر parsamehr@fasau.ac.ir

یکی از محورهای مهم مطالعات امکان‌سنجی فعالیت‌های مختلف، توجیه اقتصادی آن است که اطمینان از سودمند بودن سرمایه‌گذاری و پایداری و ماندگاری آن را فراهم می نماید (رشیدی مهرآبادی، ۱۳۹۱) و نیز منجر به ایجاد یک روش منطقی و قابل اعتماد برای مدیران جهت اخذ تصمیمات و نیز سرمایه‌گذاری منطقی می‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). البته بحث توجیه اقتصادی زمانی مطرح می‌شود که پروژه مطرح شده به عنوان تنها گزینه یا آخرین راهکار نباشد و قدرت انتخاب بین گزینه‌های مختلف وجود داشته باشد. مطالعات متعددی در زمینه طراحی و ارزیابی اقتصادی سامانه‌های سطوح آبگیر در سراسر دنیا انجام شده است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Imteaz و همکاران (2012) پتانسیل استحصال آب را برای منطقه‌ای در جنوب غربی نیجریه محاسبه کردند. حجم آب استحصالی بر اساس مقادیر بارندگی روزانه، سطوح غیر قابل نفوذ و ضریب رواناب ۸۵ درصد بدست آمد. Tang (2009) به بررسی فنی و اقتصادی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در هند پرداخت. نتایج نشان داد الگوهای متفاوت مصارف خانگی آب در مقابل سرمایه‌گذاری و هزینه انجام شده برای سامانه جمع آوری آب باران سودمند خواهد بود. Komeh و همکاران (2017) در بررسی عملکرد سیستم استحصال آب باران از سطح پشت بام و بهینه سازی حجم مخزن در بیرجند، از آمار بارندگی روزانه و مساحت پشت بام ۷ ساختمان مسکونی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مخازنی با حجم ۶۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ لیتر، به ترتیب ۶۳ و ۸۵ درصد نیاز منازل ویلایی و آپارتمانی را تامین می‌کند. سعدالدین و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی کمیت و کیفیت آب باران قابل جمع‌آوری از سطوح بام ساختمان‌ها در پردیس‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان پرداختند. تجزیه و تحلیل بیلان آب در پردیس‌های دانشگاه نشان داد که جمع آوری و استفاده از آب باران به طور قابل ملاحظه‌ای حتی در ماه‌های خشک سال می‌تواند از فشار مصرف منابع آب شیرین شهری بکاهد. معماریان و همکاران (۱۳۹۳) با انتخاب و بازدید از ۱۲ سایت استحصال آب در استان گلستان، تهیه پرسشنامه و شبیه‌سازی سیستم استحصال آب در این سایت‌ها، به ارائه دستورالعملی جهت طراحی و بهینه سازی مخازن آب باران در ساختمان‌ها پرداختند. پهلوانی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی و مقایسه پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق پشت بام‌ها در شرایط اقلیمی مختلف به مطالعه دو شهر مشهد و نور پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین مقدار متوسط رواناب تولید شده در شهر مشهد مربوط به فصل بهار و در شهر نور مربوط به فصل پاییز است. آن‌ها همچنین ارتفاع رواناب را در مشهد و نور به ترتیب ۱۳۹/۹ و ۳۵۶/۱ میلی‌متر برآورد کردند.

هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح پشت بام ساختمان‌های دانشگاه فسا است. این آب جهت مصرف در فضای سبز دانشگاه در نظر گرفته شده است. این امر سبب کاهش فشار به منابع آب زیرزمینی به عنوان تنها راه آبیاری فضای سبز دانشگاه است. همچنین مدت زمان بازگشت سرمایه اولیه و زمان سود دهی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در اراضی دانشگاه فسا واقع در استان فارس با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. متوسط بارش سالیانه در یک دوره آماری ۴۰ ساله، ۲۹۰ میلی‌متر است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه خشک و بر اساس روش آمبرژه خشک است. با توجه به رژیم بارش مدیترانه‌ای، غالب بارش‌ها در فصل زمستان و اوایل بهار به وقوع می-پیوندد.

روش کار

به منظور بررسی پتانسیل استحصال آب باران، از داده‌های روزانه بارش ۳۰ سال آماری ایستگاه سینوپتیک فسا (۱۳۹۵-۱۳۶۶) به تفکیک هر ماه استفاده گردید. پس از استخراج داده‌های موجود و بررسی نرمال و همگن بودن داده-

ها، سری‌های زمانی موجود با استفاده از نرم افزار smada مورد تحلیل قرار گرفتند. به بیان دیگر توابع توزیع مختلف بر این داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از محاسبه مجموع مربعات باقیمانده، مناسب‌ترین توزیع برای داده‌های روزانه هر ماه انتخاب شد. محاسبه مجموع مربعات باقیمانده با استفاده از رابطه (۱) صورت گرفت:

$$R.S.S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_e - Q_o)^2}{n-m} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

که در آن R.S.S: مجموع مربعات باقیمانده‌ها، Q_e: مقدار برآورد شده برای هریک از داده‌ها، Q_o : مقدار مشاهده شده برای هریک از داده‌ها، n: تعداد داده‌ها، m: تعداد پارامترهای توزیع مورد استفاده می‌باشد که در توزیع نرمال، لوگ نرمال و گمبل، ۲ بوده و در توزیع‌های پیرسون و لوگ پیرسون، ۳ می‌باشد (مهدوی، ۱۳۹۲).

مناسب‌ترین توزیع دارای کمترین مقدار RSS بوده و آن توزیع برای برآورد پارامتر با دوره بازگشت مورد نظر انتخاب می‌گردد. پس از انتخاب تابع مناسب در هر ماه، ارتفاع بارش روزانه با دوره بازگشت ۲ سال محاسبه گردید. برای محاسبه میزان حجم آب قابل استحصال از رابطه (۲) استفاده شد:

$$V = P_2 . A . R_c \qquad (۲)$$

که در آن V: حجم آب قابل استحصال (متر مکعب)، P_2: ارتفاع بارش روزانه با دوره بازگشت ۲ ساله (متر)، A، مساحت سطوح پشت بام (متر مربع)، R_c، ضریب رواناب می‌باشد.

بر اساس مقادیر بارش روزانه و با در نظر گرفتن مساحت انواع مختلف بام‌ها و مقدار ضریب رواناب، حجم آب باران قابل استحصال از سطح بام‌ها به دست خواهد آمد. نکته قابل توجهی که باید در نظر گرفت این است که هر میزان بارشی منجر به ایجاد رواناب نمی‌شود و باید شدت و تداوم آن از یک حداقلی بیشتر باشد. این موضوع در بررسی بارش‌های روزانه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین با توجه به تشابه اقلیمی منطقه مورد مطالعه با مناطق مطالعاتی عباسی و همکاران (۱۳۹۴) و پهلوانی و همکاران (۱۳۹۵)، متوسط ضریب رواناب، ۰/۶۵ منظور گردید. جدول (۱) خلاصه‌ای از مشخصات و خصوصیات بام در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات و خصوصیات بام ها در منطقه مورد مطالعه

ساختمان	مدیریت	انتشارات	فروشگاه	گلخانه	پارکینگ	دانشکده مهندسی	دانشکده علوم	کتابخانه مرکزی
مساحت (مترمربع)	۷۴۰	۷۵	۷۵	۲۷۵	۶۱۰	۲۴۵۱	۱۳۲۷	۹۳۵
نوع پوشش	ایزوگام	ایزوگام	ایزوگام	پلی کربنات	گالوانیزه	ایزوگام	ایزوگام	ایزوگام

یکی از مهمترین عواملی که در افزایش هزینه‌های سامانه‌های استحصال آب باران نقش دارد، مخزن ذخیره آب است. روش‌های مختلفی برای محاسبه حجم مخزن وجود دارد. اما باید به این نکته توجه کرد که صرف نظر از روش طراحی، اگر حجم مخزن طراحی شده کمتر از حد نیاز باشد، مقداری از آب قابل استحصال به هدر رفته و اگر حجم مخزن بیش از مقدار مورد نیاز طراحی شود، هزینه‌های بسیار زیادی را تحمیل خواهد کرد. بنابراین طراحی حجم بهینه یکی از اصول مهم در اجرای سامانه‌های سطوح آبگیر باران می‌باشد. برخی روش‌های طراحی حجم مخزن عبارتند از تخمین بر اساس تقاضای دوره خشک، تخمین بر اساس پتانسیل آب قابل استحصال و استفاده از منحنی جرم (صفوی، ۱۳۸۵). در روش تقاضا در دوره‌ی خشک، حجم مورد نیاز آب مصرفی با فرض عدم وقوع بارندگی در منطقه برای مدت زمان طولانی برآورد می‌گردد. بر اساس منحنی آمبروترمیک در منطقه مورد مطالعه، طول دوره خشکی بیش از ۲۰۰ روز است که با توجه به حجم بالای مصرف روزانه آب جهت آبیاری فضای سبز چندین هکتاری، اصولا استفاده از این

روش امکان‌پذیر نمی‌باشد. استفاده از منحنی جرم نیز که در آن حجم مفید مخزن معادل حداکثر فاصله قائم بین منحنی جرم جریان ورودی با منحنی جرم جریان مصرف است، زمانی قابل استفاده است که بیلان جریان ورودی مثبت باشد. به عبارت دیگر حجم آب قابل استحصال بیش از حجم آب مصرفی بوده و مازاد بر مصرف آن قابل ذخیره باشد. اما با توجه به بررسی‌های اولیه و عدم وجود این شرط، استفاده از این روش نیز امکان‌پذیر نبود. بنابراین استفاده از روش دوم یعنی تخمین بر اساس پتانسیل آب قابل استحصال در دستور کار قرار گرفت. بر این اساس بیشترین حجم آب قابل استحصال روزانه مبنای طراحی حجم مخزن خواهد بود.

تحلیل اقتصادی سامانه جمع آوری آب باران

در سال ۱۹۷۰ برای اولین بار مسئله زمان بندی پروژه با هدف بیشینه کردن ارزش خالص فعلی جریان‌های نقدی پروژه ارائه شد. مدل ریاضی این مسئله که به صورت غیر خطی بود، از طریق جمله اول بسط سری تیلور تخمین زده شد. ارزش خالص فعلی (NPV) یکی از معیارهای سنجش اقتصادی بودن پروژه‌ها است (رابطه ۳):

$$NPV = C_0 + \sum_{t=1}^{n} \beta^t C_t \qquad (۳)$$

که در آن C_0 جریان نقدی پروژه در دوره صفر است و معمولا مقداری منفی است که نشان دهنده سرمایه گذاری اولیه است. همچنین C_t جریان نقدی حاصل از سرمایه گذاری پروژه در دوره t و β^t عامل تنزیل برای دوره t بوده و عبارت است از (رابطه ۴):

$$\beta^t = \frac{1}{(1+r)^t} \qquad (۴)$$

که در آن r نرخ بهره است. اگر ارزش خالص فعلی بزرگتر از صفر باشد، سرمایه گذاری در پروژه موجه است و اگر کمتر از صفر باشد، بازده سرمایه گذاری نسبت به گزینه‌های دیگر کمتر بوده و سرمایه گذاری در این پروژه توجیه‌پذیر نیست و اگر این مقدار برابر صفر باشد، بازده سرمایه‌گذاری در پروژه با بازده هزینه فرصت اش مساوی است (امیری و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج و بحث

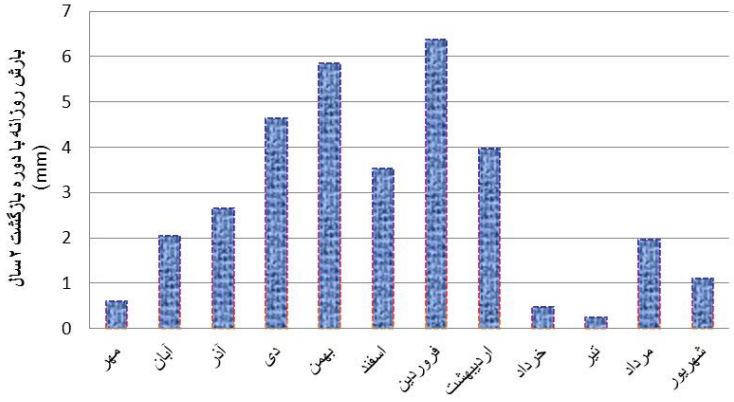
نتایج حاصل از انتخاب توزیع مناسب بر اساس مجموع مربعات باقی‌مانده در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به این جدول، ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و بهمن از توزیع لوگ نرمال سه پارامتره، ماه‌های تیر تا آذر از توزیع پیرسون، ماه دی از توزیع لوگ پیرسون و ماه اسفند از توزیع گمبل پیروی می‌کند. همان طور که مشاهده می‌شود پیروی هر ماه از توزیع آماری مستقل از دیگر ماه‌ها است و این به سرشت داده‌ها بستگی دارد. مطابق با نظریه سازمان هواشناسی جهانی (۱۹۸۳) هیچ قاعده مشخصی برای این مسئله که یک عنصر خاص اقلیمی همواره از یک توزیع به خصوص پیروی می‌کند وجود ندارد (W.M.O, 1983).

جدول (۲): مجموع مربعات باقی‌مانده و انتخاب بهترین تابع توزیع در ماه‌های مختلف

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
نرمال	۱۲/۸۴	۵/۹۵	۱/۱۳	۱/۴۷	۱/۳۰	۰/۵۰۳	۰/۶۶	۱۴/۱۸	۲۲/۹۱	۲۲/۰۸	۴۶/۳۴	۱۲/۲۵
لوگ نرمال ۲ پارامتره	۹/۸۳	۵/۳۰	۱/۱۵	۱/۱۴	۱/۱۹	۰/۴۱۹	۲/۱۳	۱۱/۰۲	۲۲/۱۱	۱۴/۸۷	۳۰/۳۶	۱۲/۶۱
لوگ نرمال ۳ پارامتره	۸/۸۹*	۰/۶۸*	۰/۹۰*	۱/۲۵	۰/۹۴	۰/۳۷	۲/۸۲	۹/۲۷	۱۶/۶۴	۱۴/۸۷	۲۷/۸۲*	۸/۳۹
پیرسون	۹/۷۳	۴/۴۰	۱/۴۰	۰/۹۳*	۰/۷۱*	۰/۳۰*	۱/۶۹*	۷/۱۰*	۱۴/۱۱*	۱۳/۵۶	۲۹/۹۵	۷/۱۱
لوگ پیرسون	۹/۳۹	۴/۴۷	۱/۴۰	۰/۹۸	۰/۷۸	۰/۳۴	۱/۷۳	۷/۱۶	۴/۱۷	۱۲/۹۲*	۲۹/۹۸	۷/۲۳
گمبل	۹/۱۲	۴/۳۲	۱/۱۳	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۴۵	۲/۳۲	۱۰/۷۲	۱۵/۴۱	۱۴/۲۱	۳۵/۴۱	۷*

*کمترین مجموع مربعات باقی مانده

پس از انتخاب تابع توزیع مناسب، بارش روزانه در هر ماه و با دوره بازگشت ۲ سال محاسبه شد (شکل ۱). با توجه به این شکل، بیشترین مقدار بارش روزانه در ماه بهمن و بعد از آن در ماه فروردین است. البته این شکل بیانگر این است که به طور متوسط در هر ۲ سال، حداقل یک روز در ماه وجود دارد که بارشی برابر با مقادیر ذکر شده داشته باشد. نکته قابل توجه دیگر وجود بارش‌هایی در مرداد ماه است که ناشی از افزایش شمار کم فشارهای موسمی در غرب شبه جزیره هند است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰).



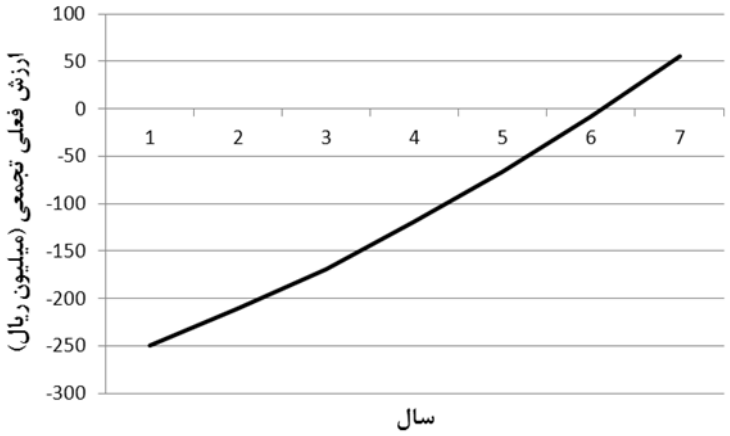
شکل (۱): مقادیر بارش روزانه با دوره بازگشت ۲ سال

در ادامه با توجه به رابطه (۲) حجم آب قابل استحصال در هر یک از ماه‌های سال و در هر یک از ساختمان‌های دانشگاه محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۳) بیان شده است. با توجه به جدول مذکور، بیشترین حجم آبی که در بارش روزانه قابل استحصال است، مربوط به ماه بهمن و به مقدار ۲۴/۶ متر مکعب است. بنابراین با توجه به هدف و روش مورد استفاده، نیازمند مخازنی جهت ذخیره ۲۴/۶ متر مکعب آب قابل استحصال هستیم.

بازدهی اقتصادی و سودآوری طرح‌ها و فعالیت‌ها از جمله مباحث مهم و مطرح به شمار می‌رود. برآورد هزینه‌های استقرار سامانه‌های جمع آوری آب باران نشان می‌دهد که بازگشت سرمایه در سال ششم و آغاز مرحله سود دهی در سال هفتم اتفاق می‌افتد (شکل ۲). با توجه به این شکل، سرمایه گذاری اولیه برای اجرای طرح ۲۵۰ میلیون ریال است که قادر است حدود ۸۰۰ متر مکعب آب را با توجه به بارش متوسط ۲۹۰ میلی‌متری در سال ذخیره کند. قیمت تمام شده هر متر مکعب آب بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ تومان در سال ۱۳۹۶ است که به طور متوسط ۵۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است. مزید توجه است که محاسبات توجیه اقتصادی با نرخ نزدیک به نرخ تمام شده واقعی به جای نرخ یارانه‌ای و با نرخ تورم ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. جدول (۴) لیست جزئیات هزینه‌های اجرای طرح را نشان می‌دهد.

جدول (۳): حجم آب قابل استحصال (متر مکعب) در منطقه مورد مطالعه

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
مدیریت	۲	۱/۹	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۹۴	۰/۵	۰/۲۸	۰/۹۸	۱/۳	۲/۲	۲/۸	۱/۷
انتشارات	۰/۲۱	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۱۷
فروشگاه	۰/۲۱	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۱۷
گلخانه پژوهشی	۰/۷۷	۰/۷	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۲	۰/۱	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۸۲	۱	۰/۶۳
پارکینگ	۱/۷	۱/۶	۰/۲	۰/۱	۰/۷۷	۰/۴	۰/۲۳	۰/۸	۱	۱/۸	۲/۳	۱/۴
دانشکده مهندسی	۶/۹	۶/۳	۰/۷۶	۰/۴	۳/۱	۱/۷	۰/۹۵	۳/۲	۴/۲	۷/۴	۹/۳	۵/۶۲
دانشکده علوم	۳/۷	۳/۴	۰/۴	۰/۲	۱/۷	۰/۹۵	۰/۵	۱/۷	۲/۳	۴	۵	۳
کتابخانه مرکزی	۲/۶	۲/۳	۰/۳	۰/۱۵	۱/۱	۰/۶۵	۰/۳۶	۱/۲	۱/۶	۲/۷	۳/۵	۲/۱
جمع کل	۱۸/۲	۱۶/۷	۲	۱	۸/۲	۴/۶	۲/۵	۸/۶	۱۱/۱	۱۹/۵	۲۴/۶	۱۴/۸۵



شکل (۲): نمودار ارزش فعلی تجمعی به منظور توجیه اقتصادی طرح

جدول (۴): هزینه های اجرای طرح در منطقه مورد مطالعه

نوع کالا	مخزن ۳۰۰ لیتری	مخزن ۵۰۰ لیتری	مخزن ۱۰۰۰ لیتری	مخزن ۵۰۰۰ لیتری	لوله و اتصالات	فیلتر شنی
تعداد	۱۸ عدد	۲۴ عدد	۶ عدد	۴ عدد	۱۸۰۰ متر	۱ دستگاه
قیمت کل (ریال)	۳۲۵۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۵۰۰۰۰۰۰	۷۲۰۰۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰۰۰	۴۲۰۰۰۰۰۰

نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات کمبود آب و هدر رفت 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 هدر رفت) و نیز در مناطق خشک و نیمه خشک (به لحاظ ذخیره آب) و در مجموع به عنوان منبع پایدار آب و کم هزینه تلقی نمود. با توجه به نتایج بدست آمده جهت اجرای این طرح در دانشگاه فسا، نیاز به سرمایه اولیه ۲۵۰ میلیون ریالی است که در نتیجه اجرای آن قادر خواهیم بود بیش از ۸۰۰ متر مکعب آب باران را استحصال، تصفیه و برای مصارف مختلف خصوصا آبیاری فضای سبز استفاده کنیم. پیش بینی حجم مخازن جهت ذخیره آب نیز ۲۴/۶ متر مکعب است. بنابراین توصیه می‌شود این طرح به عنوان یک طرح فنی و اقتصادی در دانشگاه فسا اجرا شود.

فهرست منابع

۱- امیری، م.، ح. ر. مشاط زادگان، ر. عزیز محمدی و ع. یعقوبی (۱۳۸۷). یک الگوریتم ابتکاری برای مسئله زمان بندی پروژه با هدف بیشینه سازی ارزش خالص فعلی با منابع نامحدود، مجله علمی – پژوهشی شریف، ۴۵: ۱-۷.

۲-پهلوانی، پ.، م.ت.، دستورانی، .ج. طباطبایی یزدی و م. وفاخواه (۱۳۹۵). بررسی و مقایسه پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق پشت بام ها در شرایط اقلیمی مختلف (مطالعه موردی: شهرهای مشهد و نور)، مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۴(۳):۱۰-۱.

۳- چکشی، ب. و ج. طباطبایی یزدی (۱۳۹۱). استحصال آب باران شیوه ای جهت استفاده از دانش بومی به منظور تامین آب در مناطق خشک، اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر، مشهد، ایران.

۴- رشیدی مهرآبادی، م.ح. (۱۳۹۱). استحصال آب باران در مناطق مسکونی. انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۸۸ صفحه.

۵- سعدالدین، ا.، م. بای و ا. نعیمی (۱۳۹۳). امکان سنجی فنی و اقتصادی جمع آوری آب باران از سطح بام ساختمان ها (مطالعه موردی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۱: ۲۷-۵۰.

۶- صفوی، ح.ر. (۱۳۸۵). هیدرولوژی مهندسی. انتشارات ارکان، ۶۰۴ صفحه.

۷- طباطبایی یزدی، ج.، س.ا. حقایقی مقدم، م. قدسی و ه. افشار (۱۳۸۹). استحصال آب باران برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در منطقه مشهد، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴: ۲۰۷-۱۹۸.

۸- علیجانی، ب.، ع. مفیدی، ز. جعفرپور و ع.ع. علی اکبری بیدختی (۱۳۹۰). الگوهای گردش جو بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه ژوئیه ۱۹۹۴. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷: ۲۰۵-۲۲۷.

۹- معماریان، ه.، ا. توسلی، س.م. تاجبخش، ز. کومه، ع.ا. عباسی و ل. پارسایی (۱۳۹۳). تهیه دستورالعمل جهت طراحی و بهینه سازی مخازن آب باران در ساختمان‌ها (مطالعه موردی: استان گلستان)، مجله سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۲(۴):۵۵-۶۸.

۱۱- وزارت نیرو (۱۳۹۰). راهنمای تعیین ارزش اقتصادی آب برای مصارف کشاورزی، نشریه شماره ۶۶۶.

12- Imteaz M.A., Ahsan A., Naser J. and Rahman. A. *(2011). Reliability analysis of rainwater tanks in Melburne using daily water balance model*. Journal of Resources, Conservation and Recycling, *56: 80-86.*

13-Komeh Z., Memarian H. and Tajbakhsh S.M. *(2017). Reservoir volume optimization and performance evaluation and of rooftop catchment system in arid regions: Case study of Birgand, Iran*, Water Science and Engineering, *10(2):125-133.*

14-Tang C.H. *(2009).Water quality study and cost-benefit analysis of rainwater harvesting in Kuttanad, India.B.Sc.* Thesis Environmental Science from the Center of Environmental Studies at Brown University, 84p.

15- W. M. O. *(1983). Guide to Climatologically Practice*, Geneva, Switzerland, *No. 10*

Investigating the potential of rainwater harvesting from the rooftops and its economic assessment (Case study: Fasa University)

Amir Hossein Parsamehr[1], Zahra Khosravani[2]
Email: parsamehr@fasau.ac.ir
1- Faculty member, Department of Watershed and Rangeland Management, Fasa University
2- PhD student of Desertification Control, Faculty of Natural Resources and Desert Science, Yazd University

Received: 2017/04
Accepted: 2017/07

Abstract

Rainwater harvesting is one of the most important techniques for collecting water. Harvesting and using rainfall runoff can help with better management of water resources. The purpose of this study was investigating the economy and potential of rainwater harvesting from the rooftops in Fasa University. Daily rainfall data for 30 years (1987-2016) at the Fasa station was collected and used to create monthly statistics. After analyzing the data in terms of accuracy and homogeneity, time series data were fitted to the different functions. After selecting the best distribution function with respect to the residual sum of squares, daily rainfall on 2 return periods was calculated. Using empirical equations and available parameters, the volume of the reservoir needed to store the harvestable water was determined. Finally, using the net present value, the time of return on capital and the economics of the project were studied. The results showed that the maximum volumes of water that can be harvested in daily precipitation is 24.6 m^3, occurring in February. Therefore, according to the purpose and the selected method, we need reservoirs to store 24.6 cubic meters of harvested water. Also, the results of economic analyses showed that the return on investment of 250 million Rials occurred in the 6th year. Therefore, it is suggested that this project be implemented as a technical and economic plan at Fasa University.

Keywords: Net present value, Water harvesting, Optimization, Economic justification