ارزیابی پتانسیل ذخیره‌سازی آب سامانه جمع‌آوری آب باران (مطالعه موردی: تهران- وردآورد)

اویس ملائی *[۱]، مهدی کوچک‌زاده [۲]، فرشته حقیقی [۳]

۱*- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل:o.mollaei@modares.ac.ir)
۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل: Kouchakm@modares.ac.ir)
۳- پژوهشگر گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس (ایمیل: Haghighif634@yahoo.com)

چکیده

بحران آب یک نگرانی مهم و مسئله‌ای حیاتی در سطح کشور است. هدف از این تحقیق ارزیابی پتانسیل ذخیره‌سازی آب سامانه استحصال آب باران بود. در این پژوهش پتانسیل ذخیره‌سازی آب باران مخازن در دو نقطه مختلف از دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس (پشت‌بام‌های سالن‌ورزشی و ساختمان موتورخانه) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، حجم استحصالی آب باران از پشت‌بام در طول دوره بارش، با داده‌های مخزن برآورد شد. علاوه بر محاسبه رواناب مشخصات بارش شامل نوع بارش، میزان بارش، تاریخ وقوع بارش، شروع و پایان بارندگی اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری رواناب جاری‌شده از پشت‌بام ۱۰۰ متر مربعی سالن ورزشی (از جنس ورق آهن گالوانیزه و شیب‌دار) نشان داد که امکان استحصال و بهره‌برداری از آب باران در دوره تحقیق با استفاده از مخزنی به حجم ۲۶۰۰ لیتر برابر با ۱۵۸۶۲ لیتر است. برای پشت‌بام ۱۰۵ متر مربعی ساختمان موتورخانه (از جنس ایزوگام) با یک مخزن ۱۱۷۰ لیتری حجم استحصالی آب باران در دوره مورد نظر برابر با ۱۶۱۰۲ لیتر بود. همچنین ارزیابی کارآیی اندازه مخزن در شرایط تحقیق نشان داد مخزن مورد نظر در ماه اول تحقیق (آبان)کاملاً خالی بود که بیانگر این است که میزان بارندگی صفر یا آنقدر کم بوده که روانابی از پشت‌بام ایجاد نشده است. همچنین ۹۷/۷ درصد از کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام سالن‌ورزشی در مخزن ذخیره شد و تنها یک روز از این مخزن سرریز صورت گرفت. برای پشت‌بام ساختمان موتورخانه بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ذخیره‌سازی رواناب به‌ترتیب در بهمن و آبان بود.

واژگان کلیدی: جمع‌آوری آب باران، ذخیره‌سازی آب، شرایط اقلیمی، مناطق مسکونی

۱. مقدمه

امروزه، تامین آب در مناطق روستایی و شهری در سراسر جهان به موضوعی حیاتی تبدیل شده است. برای سالیان متمادی، آب جمع‌آوری شده از پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی راهی عملی برای رفع تقاضای آب غیر شرب بوده است. با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم، سامانه‌های تأمین آب در بسیاری از شهرهای جهان با محدودیت مواجه شدند (Lee و همکاران، ۲۰۱۶). در پاسخ به تغییر اقلیم، خشکسالی و کمبود آب، سامانه‌های استحصال آب باران به عنوان یک روش مهم برای مقابله با مشکل کمبود آب معرفی شده است. اگر حجم مخزن بر اساس سطح پشت‌بام، بارندگی و تعداد روزهای مورد نیاز برای ذخیره‌سازی محاسبه شود، ذخیره آب باران در مخازن به حداکثر خود می‌رسد و تعداد روزهای تأمین تقاضای آب باران افزایش خواهد یافت (Mehrabadi و همکاران، ۲۰۱۳).

کومه و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای عملکرد سیستم‌های جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام را در تأمین امنیت آب آشامیدنی در بیرجند، واقع در یک منطقه خشک در جنوب شرقی ایران، مورد ارزیابی قرار دادند. محققین اظهار داشتند که سیستم‌های استحصال آب باران از پشت‌بام، پتانسیل بالایی برای برآورده ساختن بخش قابل‌توجهی از تقاضای آب غیر آشامیدنی در منطقه را دارد. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی حجم بهینه مخازن در طرح‌های جمع‌آوری آب باران در ساختمان‌های مسکونی پرداخته‌اند. محققین اظهار داشتند که طراحی بهینه مخازن باعث کاهش فضای اشغال‌شده توسط مخازن در منازل شده و به دنبال آن کاهش هزینه‌های ساخت را دارد، بنحوی که ساکنین بیشتری برای ساختن این نوع مخازن در منازل تشویق می‌شوند. محمود و حسین (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای امکان‌سنجی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران را در مناطق جنوبی آسیا با استفاده از داده‌های اقلیمی، سنجش از دور و مفهوم بیلان آبی برای بهبود شرایط دسترسی مردم منطقه به آب مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که این سیستم‌ها گزینه قابل‌قبول و مناسبی برای تأمین تقاضای شرب (۷/۵ لیتر در روز به ازای هر نفر برای مصارف نوشیدن و پخت و پز) در بنگلادش، سریلانکا، بخش شمال شرقی، مرکزی، شرقی و ساحلی جنوب هند می‌باشند.

در راستای طراحی بهینه سامانه‌های استحصال آب باران و امکان‌پذیری اجرای صحیح این سامانه‌ها، هدف از این تحقیق، بررسی پتانسیل ذخیره‌سازی آب باران در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس برای پشت‌بام‌های با مساحت و مواد مصالح (جنس پشت‌بام) مختلف بود.

۲- منطقه مطالعاتی

تحقیق حاضر در سال تحصیلی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۷ اتوبان تهران-کرج انجام شد. این منطقه در عرض‌جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و طول‌جغرافیایی ۵۱ درجه و هشت دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۵۰ متر است. از نظر آب و هوایی محل مورد مطالعه در منطقه نیمه‌خشک و معتدل قرار دارد. در این مطالعه دو نقطه از دانشکده مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام تحقیق میدانی، پشت‌بام دو ساختمان با مواد مصالح و مساحت متفاوت انتخاب شدند.

۲-۱- خصوصیات پشت‌بام‌های محل انجام آزمایش

۲-۱-۱- پشت‌بام سالن ورزشی

خصوصیات پشت‌بام ساختمان سالن‌ورزشی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ - مشخصات پشت‌بام سالن ورزشی

بخشی از پشت‌بام	مواد مصالح پشت‌بام	طول مورد مطالعه پشت‌بام (متر)	عرض مورد مطالعه پشت‌بام (متر)	مساحت تفکیک شده پشت‌بام (متر مربع)	حجم مخزن (لیتر)
سالن ورزشی	ورقه آهن گالوانیزه	۱۰/۴۷	۹/۵۵	۱۰۰	۲۶۰۰

همانطور که در شکل (۱) مشهود است، پوشش سالن ورزشی از ورق آهن گالوانیزه شیاردار که در دو جهت شیب دارد، صورت گرفته است. در این تحقیق به‌دلیل فقدان امکانات کافی تنها بخشی از پشت‌بام ساختمان سالن ورزشی (۱۰۰ متر مربع) انتخاب و

روی آن مطالعه انجام گرفت. برای انجام این کار یک طرف از ساختمان به عرض ۹/۵۵ متر و طول ۱۰/۴۷ متر تا مساحت مورد نظر تکمیل شود، مشخص و ارتباط آن با سایر بخش پشت‌بام توسط مانع قطع شد. ناودان‌های مجزا در طول این مسیر توسط یک سری اتصالات به ناودان واحد تبدیل و به مخزن مربوطه متصل شدند.

شکل ۱- سامانه استحصال آب باران از پشت‌بام سالن‌ورزشی

۲-۱-۲- پشت‌بام موتورخانه

پشت‌بام ساختمان موتورخانه به دلیل وضعیت شیب آن (دو شیب در جهت مخالف هم) به دو بخش تقسیم شد، این شرایط فراهم آوردن دو مخزن مجزا برای استحصال آب باران در دو طرف ساختمان را الزامی نمود که مشخصات دو بخش در جدول (۲) ارائه شده است. شکل (۲) سامانه استحصال آب باران از پشت‌بام ساختمان موتورخانه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات ساختمان موتورخانه

مشخصات	بخش اول	بخش دوم
مواد مصالح پشت‌بام	ایزوگام	ایزوگام
طول پشت‌بام (متر)	۷/۱۰	۵/۴۰
عرض پشت‌بام (متر)	۸/۴۰	۸/۴۰
مساحت پشت‌بام(متر مربع)	۵۹/۶۴	۴۵/۳۶
حجم مخزن (لیتر)	۹۵۰	۲۲۰

شکل۲- سامانه استحصال آب باران از پشت‌بام موتورخانه

۳- محاسبه پتانسیل بارندگی از طریق برآورد رواناب

چنانچه حجم روانابی که در پشت‌بام‌ها در طول بارش ایجاد می‌شود برابر V، مقدار حجم آب ذخیره شده در مخزن مورد نظر αV (که α بیانگر ضریب رواناب وکم‌تر از یک می‌باشد $(0 < \alpha < 1)$) و مابقی حجم که برابر $V-\alpha V$ است، به‌صورت سریز از مخزن به چرخه رواناب سطحی برمی‌گردد.

در پژوهش حاضر، برآورد میزان رواناب حاصل از بارش به روش تجربی و با جایگذاری مخازن در دو نقطه از محل مورد مطالعه از تاریخ اول آبان سال ۱۳۹۶ تا پایان اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ صورت گرفت. اندازه‌گیری بارش و رواناب حاصل پس از اتمام هر بارش انجام پذیرفت.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی داده‌های جمع‌آوری‌شده در مناطق مورد مطالعه

این تحقیق شامل جمع‌آوری و ثبت مشخصات بارندگی (نوع بارش، میزان بارش، تاریخ وقوع بارش، شروع و پایان بارندگی) و همچنین محاسبه حجم ذخیره آب باران در مخزن و سرریز آن از مخزن، بدون در نظر گرفتن خروجی یا همان تقاضای غیر شرب ساکنین، بود. لازم به‌ذکر است که مخازن هر سه ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق پس از هر بارندگی کاملاً تخلیه شده و کل حجم مخزن برای رویداد بارندگی بعدی قابل دسترس بود.

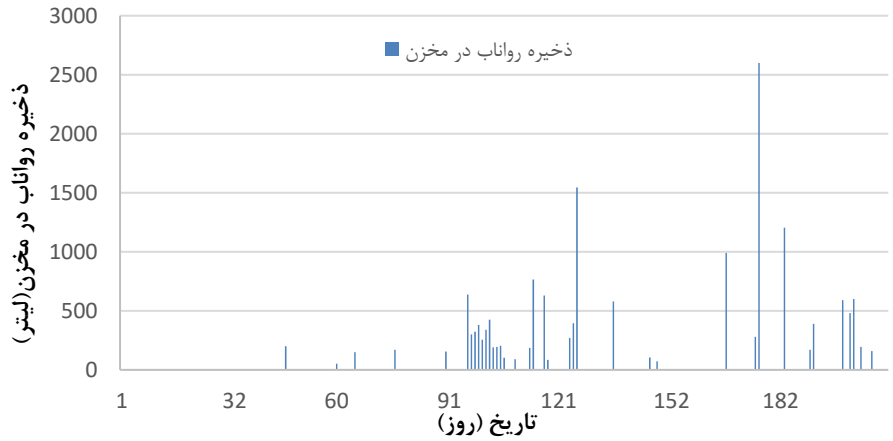
داده‌های ثبت‌شده از مخزن متصل به پشت‌بام سالن ورزشی

داده‌های جمع‌آوری‌شده حاصل از مخزن ساختمان سالن‌ورزشی که به پشت‌بام با مساحت ۱۰۰ متر مربع متصل می‌باشد، در جدول (۳) ارائه شده‌است. همچنین شکل‌های (۴) و (۵) به‌ترتیب میزان ذخیره رواناب و سرریز آن از مخزن را برای بازه زمانی تحقیق نشان می‌دهند. با توجه به نتایج جدول (۳) می‌توان اظهار داشت که مخزن مورد نظر ۹۷/۷ درصد از کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام را در خود ذخیره می‌کند و همچنین از شکل ۵ پیداست که تنها یک روز از مخزن سرریز صورت می‌گیرد که میزان آن ۲/۳ درصد از حجم کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام است. شکل (۴) نشان می‌دهد که مخزن مورد نظر در ماه اول تحقیق کاملاً خالی می‌باشد (در این بازه از تحقیق میزان بارندگی صفر یا آنقدر کم بوده که روانابی از پشت‌بام ایجاد نشده‌است). افزایش ظرفیت مخازن آب باران سبب دسترسی بیش‌تر به آب باران و کاهش سرریز آن از مخزن می‌شود، با این‌حال، نیازی به استفاده از ظرفیت‌های بیش از حد مخزن نیست، زیرا برای پشت‌بام با مساحت نسبتاً کوچک افزایش در اندازه مخزن به‌منظور دسترسی به آب باران بیشتر میسر نخواهد

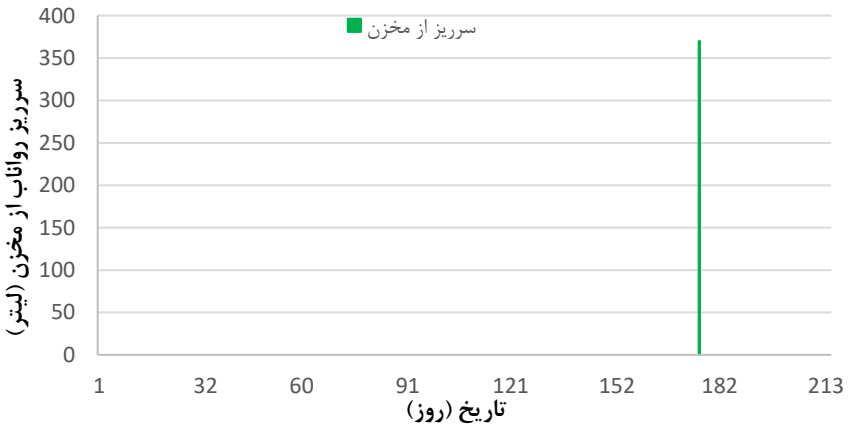
شد (Ghisi و همکاران ، ۲۰۰۷). به‌همین منظور و با توجه به شکل (۴) و (۵) می‌توان اظهار داشت که مخزن ۲۶۰۰ لیتری برای شرایط موجود از کارآیی بالایی برخوردار خواهد بود. زیرا علاوه بر پتانسیل ذخیره‌سازی بالا ، از اندازه مناسبی برخوردار می‌باشد. اندازه مناسب مخزن از دیدگاه اقتصادی سبب کاهش هزینه اولیه سیستم (هزینه ساخت مخزن) خواهد شد.

جدول۳- داده‌های ثبت‌شده سیستم جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام سالن‌ورزشی

کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام (لیتر)	ذخیره رواناب در مخزن (لیتر)	سرریز از مخزن(لیتر)
۱۵۸۶۲	۱۵۴۹۲	۳۷۰



شکل ۴- ذخیره رواناب در مخزن ساختمان سالن‌ورزشی (شروع از آبان‌ماه)



شکل ۵- سرریز رواناب از مخزن متصل به سالن‌ورزشی (شروع از آبان‌ماه)

داده‌های جمع‌آوری‌شده از مخزن متصل به کل پشت‌بام موتورخانه

برای این ساختمان فرض شد دو ناودانی که در دو جهت ساختمان قرار دارند توسط ناودان جمع‌آوری به یک ناودان واحد تبدیل شود. در این‌صورت رواناب جاری‌شده از کل مساحت پشت‌بام به یک مخزن ۱۱۷۰ لیتری (مجموع دو ظرفیت مخزن (۱۱۷۰= ۲۲۰ + ۹۵۰)) منتقل می‌شود. جدول (۴) اطلاعات مربوط به سیستم جمع‌آوری آب باران را برای کل مساحت پشت‌بام موتورخانه ارائه می‌دهد. همان‌طور که از نتایج جدول مشخص است، بخش اعظم رواناب جاری‌شده از پشت‌بام در مخزن ذخیره می‌شود (۸۹/۲۵ درصد از کل حجم رواناب).

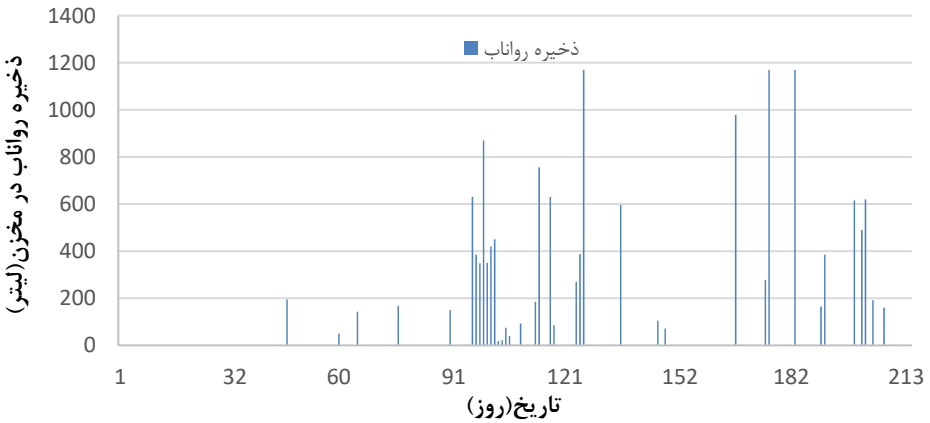
شکل (۶) ذخیره رواناب در مخزن و شکل (۷) سرریز رواناب از مخزن را برای مساحت کل پشت‌بام موتورخانه نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل (۶) مشخص می‌باشد بیش‌ترین و کم‌ترین ذخیره رواناب در مخزن به‌ترتیب در بهمن وآبان‌ماه صورت می‌گیرد.

با توجه به شکل (۷) می‌توان بیان داشت که تنها ۳ روز از کل زمان مورد مطالعه از مخزن سرریز صورت گرفته که مقدار آن ۱۰/۷۵ درصد از کل حجم رواناب جاری‌شده از پشت‌بام می‌باشد. میزان جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام ساختمان‌ها علاوه بر مساحت پشت‌بام و اندازه مخزن به نوع اقلیم منطقه هم بستگی دارد (Rahman و همکاران، ۲۰۱۰).

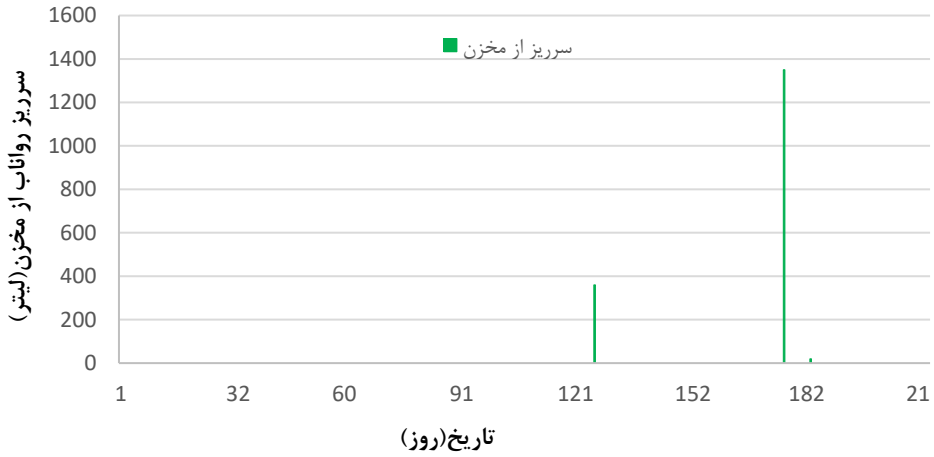
جدول۴- داده‌های ثبت‌شده سیستم استحصال باران از پشت‌بام موتورخانه

کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام (لیتر)	ذخیره رواناب در مخزن (لیتر)	سرریز از مخزن(لیتر)
۱۶۱۰۲	۱۴۳۷۲	۱۷۳۰

شکل‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب ذخیره رواناب و سرریز رواناب از مخزن ساختمان موتورخانه را ارائه می‌دهند.



شکل ۶- ذخیره رواناب در مخزن ساختمان موتورخانه



شکل۷- سرریز رواناب از مخزن ساختمان موتورخانه

۵- نتیجه‌گیری

این پژوهش پتانسیل ذخیره‌سازی آب باران مخازن در دو نقطه مختلف از دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری رواناب جاری‌شده از پشت‌بام ۱۰۰ متر مربعی سالن ورزشی نشان داد که امکان استحصال و بهره‌برداری از آب باران در دوره تحقیق با استفاده از مخزنی به حجم ۲۶۰۰ لیتر برابر با ۱۵۸۶۲ لیتر است. برای پشت‌بام ۱۰۵ متر مربعی ساختمان موتورخانه با یک مخزن ۱۱۷۰ لیتری حجم استحصالی آب باران در دوره مورد نظر برابر با ۱۶۱۰۲ لیتر بود. همچنین ۹۷/۷ درصد از کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام سالن‌ورزشی در مخزن ذخیره شد و تنها یک روز از این مخزن سرریز صورت گرفت. برای پشت‌بام ساختمان موتورخانه بیش‌ترین و

کم‌ترین میزان ذخیره‌سازی رواناب به‌ترتیب در بهمن و آبان بود. همچنین ۸۹/۲۵ درصد از کل رواناب جاری‌شده از پشت‌بام سالن‌ورزشی در مخزن ۱۱۷۰ لیتری ذخیره شد.

دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال‌های اخیر با مشکل جدی کمبود آب برای آبیاری فضای سبز و سایر مصارف غیر شرب مواجه بوده است. به نحوی که سطح آب سه حلقه چاه موجود در دانشکده طی ۱۰ سال اخیر حدود ۴۵ متر افت نموده است و موجب طرح زمزمه‌هایی مبنی بر خشکانیدن فضای سبز دانشکده شده است. با توجه به میزان متوسط بارش در این منطقه و وسعت سطوح نفوذناپذیر می‌توان سالانه حجم قابل توجهی از بارش‌ها که در حال حاضر به‌صورت رواناب تلف می‌شود را جمع‌آوری و در مصارفی نظیر آبیاری فضای سبز، شستشو، فلاش تانک و ... مورد استفاده قرار داد.

منابع

- Ghisi E, Bressan DL and Martini M., 2007. ‘Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil’, Building and Environment, 42:1654–66.
- Komeh, Z. … Tajbakhsh, S.M., 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.
- Lee K.E., Mokhtar M., Hanafiah M.M., Halim A.A. and Badusah J. 2016. ‘Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development’, Journal of Cleaner Production 126, 218-222.
- Mahmood, A. and Hossain, F., 2017. ‘Feasibility of managed domestic rainwater harvesting in South Asian rural areas using remote sensing’, Resources, Conservation and Recycling, 125: 157–168.
- Mehrabadi, M.H.R. and Fashi, F.H., 2013. ‘Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions’, Resources, Conservation and Recycling, 73: 86–93.
- Rahman, A. and Imteaz, M.A., 2010. ‘Sustainability of rainwater harvesting systems in multistorey residential buildings’, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 3: 73–82.
- Vaes G.and Berlamont J., 2001. ‘The effect of rainwater storage tank on design storms’, Urban Water, 3:303.