نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها (مطالعه موردی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

امیر سعدالدین[1]*، محبوبه بای[2] و اصغر نعیمی[3]

[1]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [2]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [3]کارشناس آزمایشگاه گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/٦/٤

چکیده

کمبود آب شیرین در بعضی مناطق بحرانی جدی است. یکی از روش‌های کاهش اتکا به منابع آب معمول، جمع‌آوری آب باران است. این مقاله به پژوهشی در خصوص روش‌های امکان‌سنجی اجرای سامانه جمع‌آوری آب باران از بام ساختمان‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌پردازد. در آن از تجزیه و تحلیل بیلان آب در پردیس‌های دانشگاه، ارزیابی کیفی و میکروبیولوژیکی آب باران در چند نمونه از آب جمع‌آوری شده از بام‌های مختلف و نیز برای بررسی توجیه اقتصادی از تجزیه و تحلیل نسبت منفعت به هزینه استفاده شده است. نتایج محاسبه بیلان آبی نشان داد که جمع‌آوری آب باران به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای حتی در ماه‌های خشک میزان تکیه بر منابع آب شیرین شهری را کاهش می‌دهد. نتایج بررسی پارامترهای کیفیت شیمیایی و میکروبیولوژیک، لزوم توجه دقیق‌تر به آلودگی‌های احتمالی آب، به‌دلیل وجود عوامل بیماری‌زا به‌ویژه کلیفرم‌ها و ای‌کولی برای مصرف شرب را نشان می‌دهد. بنابراین، لازم است در سامانه‌های جمع‌آوری آب باران به نصب فیلتر و انحراف‌دهنده اولیه توجه خاص شود. تجزیه و تحلیل نسبت منفعت به هزینه نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، احداث سامانه یاد شده توجیه اقتصادی دارد، اگرچه این نسبت در بخشی از افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله برای گزینه‌های قیمت‌گذاری بر مبنای بهای آب شهری گرگان (نرخ یارانه‌ای)

* مسئول مکاتبه: amir.sadoddin@gmail.com

کم‌تر از یک می‌باشد. این مقاله توجه سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب شهری نسبت به دانش و راه‌حل‌های منطبق بر محیط زیست در راستای معرفی و استفاده از منابع آبی مختلف را افزایش می‌دهد، تا زمینه‌ساز تأمین اعتبار لازم و توجه کافی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: جمع‌آوری آب باران، کیفیت آب، آلودگی آب، بیلان آب، نسبت منفعت به هزینه، گرگان

مقدمه

امروزه یک میلیارد نفر در جهان از دسترسی به منابع پایدار و مقرون به صرفه آب محروم هستند، با ادامه این روند، تا سال ۲۰۲۵ میلادی، دو سوم از جمعیت جهان دچار بحران خواهند شد (کویلنس تایرنا و همکاران، ۱۹۹۷). یکی از روش‌هایی که به‌طور مستقیم باعث کاهش اتکاء به منابع آب معمول می‌شود، جمع‌آوری آب باران است. سیستم جمع‌آوری باران، به جمع‌آوری رواناب جریان‌های سطحی از یک سطح (بام، محوطه اطراف خانه و سطوح آزاد زمین) و استفاده مفید از آن می‌گردد (فیلیپس، ۲۰۰۵) و به‌عنوان روش قدیمی و حفاظتی برای تسکین کمبود آب و حفاظت از محیط زیست به‌طور فزاینده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (سی‌ور، ۲۰۰۹). یکی از محورهای مهم مطالعات امکان‌سنجی فعالیت‌های مختلف، توجیحات اقتصادی آن است که اطمینان از سودمند بودن سرمایه‌گذاری و پایداری و ماندگاری آن را فراهم می‌نماید (رشیدی‌مهرآبادی، ۲۰۱۲) و نیز منجر به ایجاد یک روش منطقی و قابل اعتماد برای مدیران برای اخذ تصمیمات و نیز سرمایه‌گذاری منطقی می‌گردد (وزارت نیرو، ۲۰۱۱). عبدولال و همکاران (۲۰۰٦) امکان‌سنجی سامانه جمع‌آوری آب باران به‌منظور حل مشکلات محیط زیستی و کاهش نیاز به مصارف آب شهری در دانشگاه دالهوس[1] کانادا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که احداث سامانه در ساختمان‌های جدید به نسبت ساختمان‌های قدیمی اقتصادی و به‌صرفه می‌باشد. تانگ (۲۰۰۹) به مطالعه کیفیت آب و تجزیه و تحلیل درآمد به هزینه سامانه جمع‌آوری آب باران در هندوستان پرداخت. نتایج نشان می‌دهد الگوهای متفاوت مصارف خانگی آب در مقابل سرمایه‌گذاری و هزینه انجام شده برای سامانه جمع‌آوری آب

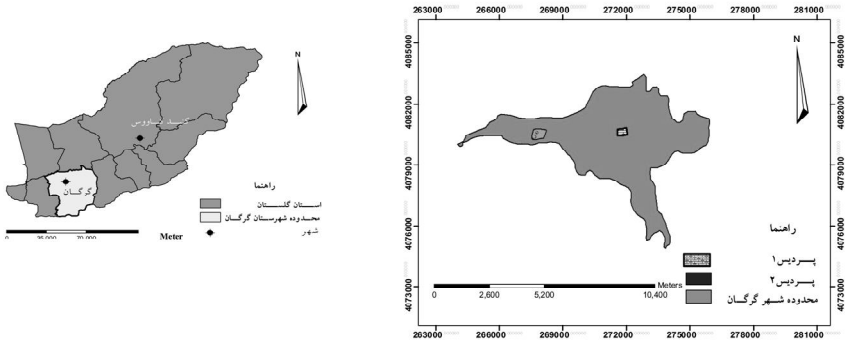
1- Dalhousie University

باران سودمند خواهد بود. نتایج کیفیت آب نیز نشان داد که آب باران جمع‌آوری شده می‌تواند منبع آب مناسب برای شرب به‌شمار رود. طباطبایی‌یزدی و همکاران (۲۰۰۷) مطالعه موردی در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خراسان شمالی با هدف تحلیلی اقتصادی روش‌های استحصال آب باران برای استفاده‌های کشاورزی انجام دادند. نتایج نشان داد که حداکثر بازدهی سامانه‌های سطوح آبگیر پیش‌بینی شده برای کشت گیاه بادام به‌دست می‌آید.

براساس مرور منابع علمی صورت گرفته، خلأ مطالعه‌ای که بتواند به‌صورت یک‌پارچه به همه جنبه‌های (بیلان آب، کیفیت شیمیایی و میکروبی آب، مالی و کمیت آب) موضوع بپردازد، احساس می‌گردد. بنابراین مطالعه با هدف بررسی فن‌آوری مناسب برای جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها و امکان‌سنجی اجرای آن در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت گرفته است. شایان به ذکر است جامعه هدف ساختمان‌های بخش اداری شهر گرگان می‌باشد. بدین منظور با اطلاع از روش‌های مختلف جمع‌آوری آب و ارزیابی کارایی آن‌ها از نظر جنبه‌های مختلف به‌ویژه کیفیت فیزیکوشیمیایی، میکروبی و تحلیل اقتصادی با روش‌های کارآمد می‌توان به بهترین گزینه‌های طراحی و در نتیجه حرکت به سوی توسعه منابع آبی کشور دست یافت. نتایج این پروژه باعث افزایش توجه سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب شهری نسبت به راه‌حل‌ها و دانش منطبق بر محیط زیست در راستای معرفی و استفاده از منابع آبی مختلف را فراهم خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه برای انجام این مرحله از پژوهش، پردیس‌های ۱ (قدیم) و ۲ (جدید) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد. شهرستان گرگان در ۳۶ درجه و ٤٤ دقیقه تا ۳٦ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی ٥٤ درجه و ۱۰ دقیقه تا ٥٤ درجه و ٤٥ دقیقه با مساحتی حدود ۳۲ کیلومترمربع، مرکز استان گلستان است متوسط دمای سالانه ۱۷/٦ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۵۲۹ میلی‌متر می‌باشد (بدیعی‌زاده، ۲۰۱۲). این پردیس‌ها به‌ترتیب در مرکز شهر و در ابتدای ورودی به شهر گرگان (جاده ساری- گرگان) واقع شده‌اند. مساحت پردیس‌های ۱ و ۲، به‌ترتیب حدود ۷ و ۳۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و شهرستان گرگان.

روش تحقیق

تعیین مقادیر مقدار آب باران قابل جمع‌آوری در محل پردیس‌های ۱ و ۲ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: در این پژوهش از آمار شش ایستگاه هم‌جوار شهر گرگان با پایه زمانی مشترک (۷۸-۱۳۵۸) استفاده شد. تصادفی بودن داده‌ها، رفع نواقص آماری انجام شد و سپس ایستگاه معرف (شاهد) انتخاب گردید تا بتوان مقادیر بارش (مقادیر میانگین و میانه) در پردیس ۱ و ۲ برای ماه‌های مختلف را محاسبه نمود. برای کسب اطلاعات بیش‌تر به مطالعه سعدالدین و همکاران (۲۰۱۲) مراجعه شود. براساس مقادیر بارش ماهانه (مقادیر میانگین و میانه) در محل پردیس‌های ۱ و ۲ و با در نظر گرفتن مساحت انواع مختلف بام‌ها (ایزوگام، ایرانیتی و حلبی گالوانیزه) و مقادیر ضریب رواناب متناظر بام‌های مورد مطالعه (سعدالدین و همکاران، ۲۰۱۲) براساس جدول ۱ و رابطه ۱، مقدار آب باران قابل جمع‌آوری از سطح بام‌ها به‌دست خواهد آمد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات و خصوصیات بام در منطقه مورد مطالعه ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات و مساحت انواع سطوح بام‌ها در پردیس‌های ۱ و ۲.

پارامتر / مکان	ضریب رواناب در هر یک از سطوح*			ارتفاع (متر)	میانه بارش (میلی‌متر)	میانگین بارش (میلی‌متر)
	۰/۸	۰/۹	۰/۹۵			
	مساحت سطح ایزوگام (مترمربع)	مساحت سطح ایرانیتی (مترمربع)	مساحت سطح حلبی (مترمربع)			
پردیس ۱	۲٦۷٥/۹٦	۱۱۹٤/۸٥	۱۰۸۸٦/۲٤	۱۳٥	٦۱۹/۱۲	٦۲۸
پردیس ۲	۷۳۰٥/٥٥	٥۲۹۱/٥	-	۸۰	٥٤۷/٦	٥٥٥/٤٥

* دیبری، ۱۹۹۰

رابطه ۱

ضریب رواناب × مساحت سطح جمع‌آوری (میلی‌مترمربع) × مقدار بارش ماهانه (میلی‌متر) = مقدار آب باران قابل جمع‌آوری (لیتر)

تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب باران قابل جمع‌آوری در پردیس‌های ۱ و ۲ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: برای بررسی تأثیر انواع پوشش بام و نیز تأثیر رنگ مخازن ذخیره آب بر روی کیفیت آب مخزن (در زمان نگهداری)، از رواناب خروجی از بام‌های مختلف تاریخ ۸۷/۹/۲۶ نمونه‌برداری شده است. آزمایش‌های مورد انجام گرفته بر حسب نوبت در فواصل زمانی (نوبت اول، پنج دقیقه و نوبت دوم، حداقل ده دقیقه) از شروع بارندگی انجام گرفت. باران جمع‌آوری شده در فضای باز (بدون برخورد به هرگونه بام) به‌عنوان شاهد لحاظ گردید. برای بررسی اثر مدت زمان نگهداری آب بر خصوصیات کیفیت آب از مخازن پلی‌اتیلنی تیره و روشن (به‌مدت چهار هفته) استفاده گردید. پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد بررسی در این مرحله شامل پارامترهای نیترات، سولفات، سختی، قلیائیت، پتاسیم، شوری، کدورت[1]، کل ذارت معلق[2]، دما، ذرات معلق، pH، TDS[3] و Ec است.

در مورد آزمایش‌های میکروبی، تعداد باکتری، وجود و یا نبود باکتری‌های کلیفرم و ای‌کلی[4] مورد آزمایش قرار گرفته است. اطلاعات بیش‌تر در زمینه دستگاه‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری در مطالعه سعدالدین و همکاران (۲۰۱۲) ارایه شده است. بدیهی است برای استفاده‌های غیرشرب در اداره‌ها تکرار نمونه‌گیری‌های کیفی ضرورتی ندارد. برای مصارف محدود شرب که فقط در موارد خاص قابل فرض می‌باشد برنامه کلرزنی به‌صورت دایم باید انجام شود و نمونه‌گیری کیفی برای اطمینان از حصول استانداردهای لازم به‌طور ادواری قابل توصیه نمی‌باشد. شایان ذکر است که کنترل مواردی مانند توری‌ها، فیلترها و کلرزنی مناسب نیاز به کنترل کیفی آب را تا حد زیادی کاهش خواهد داد.

1- Nephelometric Turbidity Units (N.T.U)
2- Total Suspended Solids
3- Total Suspended Solids (TSS)
4- E-coli

تحلیل مالی سامانه جمع‌آوری آب باران از بام‌ها در محل پردیس‌های ۱ و ۲ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: روش‌های تحلیل سودآوری طرح‌های سرمایه‌گذاری شامل ارزش زمانی پول (پویا) و شاخص‌های بدون توجه به زمان و نیز نرخ تنزیل (ایستا) می‌باشد. از جمله روش‌های پویا می‌توان به نسبت منفعت به هزینه[1] اشاره نمود (ایرلوزاده و صالح، ۲۰۱۲). در تحلیل اقتصادی تعیین دوره بررسی[2] (دوره‌ای که پیامدهای طرح مورد بررسی منظور می‌شوند)، باید به شیوه‌ای انتخاب شود که از عمر فیزیکی طرح فراتر نرود و منجر به افزایش عدم قطعیت نگردد و سرمایه‌گذاری منطقی باشد (احمدی، ۲۰۰۷). دوره مورد بررسی یا افق برنامه‌ریزی برای سامانه جمع‌آوری آب باران براساس عمر مفید پروژه ۲۰ سال انتخاب شد. مقادیر هزینه‌ها برای هر لیتر براساس سال ۱۳۸۷ تعیین شد. سپس در افق برنامه‌ریزی جریان پولی هزینه‌ها با احتساب نرخ تنزیل ۷/۲ درصد (عبدلی، ۲۰۰۹) به‌دست خواهد آمد. همچنین جریان پولی درآمدها در همان افق برنامه‌ریزی محاسبه شد، تا بدین ترتیب محاسبه نسبت منفعت به هزینه مقدور گردد. شایان ذکر است تحلیل مالی برای بامی از جنس ایرانیت با مساحت ۱۰۰ مترمربع در پردیس ۱ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با میزان بارش متوسط ۰/٦۲۷ و ضریب رواناب ۰/۹ (بام ایرانیتی) به‌عنوان نمونه انجام گرفت. سال مبنا در تحلیل مالی براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، سال ۱۳۸۷ منظور شده است. همان‌طورکه اشاره شد به‌منظور محاسبه ارزش فعلی درآمد و هزینه به‌دست آمده از اجرای طرح جمع‌آوری آب باران، از رابطه ۲ استفاده شده است.

$$PV = \sum_{t=1}^{T} \frac{X_t}{(1+i)^t} \qquad (۲)$$

که در آن، PV: ارزش فعلی (درآمد یا هزینه در سال ۱۳۸۷)، T: مدت زمان لازم برای بهره‌وری اقتصادی از عملیات مورد نظر، X_t: درآمد و هزینه به‌دست آمده از اجرای عملیات مورد نظر در سال t می‌باشد (نورمن و همکاران، ۲۰۰۲).

با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۷/۲ درصد و آب‌بهاء مصارف ادارات عمومی و دولتی به‌ازای یک مترمکعب (٤٥۹۰ ریال بدون در نظر گرفتن یارانه) نسبت منفعت به هزینه محاسبه گردید. هزینه‌های مربوط به اجرای طرح سامانه جمع‌آوری آب باران بسته به مصالح و ابزار مورد نیاز،

1- Benefit Cost Ratio (BCR)
2- Period of analysis

متفاوت است. با مقایسه‌ای که بین هزینه‌های نصب و از طرفی درآمد ناشی از اجرای طرح حاصل می‌شود، توجیه اقتصادی اجرای این گونه طرح‌ها را می‌توان بررسی نمود. نسبت منفعت به هزینه برای چهار گزینه مختلف به این صورت محاسبه شد که، در گزینه اول هدف استفاده از آب قابل جمع‌آوری توسط سامانه جمع‌آوری آب باران در محوطه پردیس ۱ با استفاده از پمپ است. مقادیر هزینه‌ها براساس هزینه خرید مخزن، پمپ، لوله پلیکا، انواع اتصالات، هزینه‌های سیم‌کشی، هزینه‌های نصب و نگهداری تعیین شده است. در این بین هزینه پمپ آب و هزینه‌های نصب آن در سال دهم نیز تکرار می‌شود. در گزینه اول آب‌بهای لوله‌کشی شهری به‌ازای یک مترمکعب ٤٥٩٠ ریال در نظر گرفته شده است. در گزینه دوم مانند گزینه اول، هدف استفاده از آب قابل جمع‌آوری توسط سامانه در محوطه پردیس ۱ بدون استفاده از پمپ است. محاسبه مقادیر هزینه‌ها همانند گزینه اول می‌باشد. اما در این حالت هزینه احداث پایه برای استقرار مخزن در ارتفاع بالاتر از سطح زمین به‌جای استفاده از پمپ در نظر گرفته شده است. گزینه سوم همانند گزینه اول است ولی هدف آن استفاده از آب قابل جمع‌آوری برای مصارف درون ساختمان‌های پردیس ۱ می‌باشد. علاوه‌بر هزینه‌های گزینه اول، هزینه‌های مستمر کلرزنی به‌صورت سالانه نیز در نظر گرفته شده است.

گزینه چهارم نیز، با هدف استفاده از آب جمع‌آوری شده در داخل ساختمان‌های پردیس ۱ در نظر گرفته شده است، با این تفاوت که درآمد حاصله از جمع‌آوری آب با توجه به قیمت آب بطری (تجاری) در بازار (١٦٣٠٠٠٠ریال به‌ازای یک مترمکعب) در نظر گرفته شده است. هزینه‌های کلرزنی برای مخزن با حجم ۵۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شده است تا به غلظت کلر به مقدار ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برای حالت پیش‌گیری برسد (کمیسیون کیفیت محیط زیست تگزاس[1]، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

مقادیر آزمایش‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی آب ذخیره شده در مخازن طی زمان‌های ذخیره در محل پردیس‌های ۱ و ۲ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان: نتایج مربوط به تغییرات کیفیت آب از نظر میکروبیولوژیکی در مخازن و آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب قابل جمع‌آوری از سطح انواع بام‌ها در جدول‌های ۲ تا ٦ آورده شده است.

1- Commission on Environmental Quality Texas

جدول ۲- تغییرات کیفیت آب از نظر میکروبیولوژیکی در مخازن نگهداری آب.

تاریخ آزمایش	منبع نمونه	تعداد باکتری	وجود کلیفرم
۸۷/۹/۳۰	آب باران	۳۵۰	کلیفرم مدفوعی
۸۷/۱۰/۱۵	مخزن روشن	۲٦	–
۸۷/۱۰/۱۵	مخزن تیره	٤۹	کلیفرم مدفوعی
۸۷/۱۱/٦	مخزن روشن	بیش از ۵۸۰۰	–
۸۷/۱۱/٦	مخزن تیره	۲٤۰	کلیفرم مدفوعی

جدول ۳- نتایج آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه شاهد (فضای باز).

تاریخ	نوبت نمونه‌برداری	دما (درجه سانتی‌گراد)	سختی (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	EC (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	کدورت (N.T.U)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	شوری (درصد)
۸٦/۱/۲۲	۱	۱٤/٤	–	۸/۲۳	۰/۰۷۹	–	۷/۹	۰
	۲	۱٤/۳	۷۵	۸/۰۳	۰/۰۲۲	٦	۸/٦	۰
۸٦/۲/۲۵	۲	۱٤/۳	۳۷	۷/۲٤	۰/۰۳۷	۱٦	۷/٤	۰

جدول ٤- نتایج آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب از بام ایرانیتی.

تاریخ	نوبت نمونه‌برداری	دما (درجه سانتی‌گراد)	سختی (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	EC (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	کدورت (N.T.U)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	شوری (درصد)
۸٦/۱/۲۲	۱	۱۲	–	۸/۱۳	۰/۱۱٦	٦	۸/۵	۰
	۲	۱۲	۵۳	۸/۱	۰/۰۵۳	۵	۸	۰
۸٦/۲/۲۵	۲	۱۰/۳	۵۲	۷/۸٤	۰/۰۷۲	۲۰	۱۱	۰

جدول ۵- نتایج آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب از بام ایزوگامی.

تاریخ	نوبت نمونه‌برداری	دما (درجه سانتی‌گراد)	سختی (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	EC (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	کدورت (N.T.U)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	شوری (درصد)
۸٦/۱/۲۲	۱	۱۱/۳	–	۸/۲۳	۰/۱۹۸	۵	۸/۵	۰
	۲	۱۲/۵	۳۲	۷/۸۵	۰/۰٦٦	۱۱	۸	۰
۸٦/۲/۲۵	۲	۱۳	۷۵	۷/۹۹	۰/۱۲۷	٤/۵	۱۱	۰

جدول ٦- نتایج آزمایش میکروبی نمونه‌های آزمایش دوم (٨٦/٢/٢٥).

آزمایش	نام نمونه		
	پست برق ٢	آزمایشگاه ٢	شاهد ٢
(pour plate) cfu/1ml	٧٠	٤٠٠٠	٤٠٠
(surface of the plate) cfu/1ml	١٠٠	٣٠٠٠	٢٥٠
پنج لوله‌ای (cfu/100 ml)	١٧٠	٤٩	٣٣
سود و موناس در محیط آسپاراژین براث	–	–	–
سود و موناس در محیط استامید براث	–	–	–
وجود یا نبود کلیفرم مدفوعی	+	+	+

نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی آب باران ذخیره شده در مخازن مختلف طی زمان: نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی آب باران قابل جمع‌آوری در فواصل زمانی یک روز، دو هفته و چهار هفته بعد از نمونه‌گیری در هر یک از مخازن تیره و روشن در جدول ٧ ارایه شده است. ارزیابی نتایج جدول نام‌برده در بخش بحث ارایه شده است.

جدول ٧- نتایج آزمایش فیزیکوشیمیایی در مخازن نگهداری آب.

زمان اندازه‌گیری	روز بعد از جمع‌آوری	دو هفته بعد از جمع‌آوری		چهار هفته بعد از جمع‌آوری	
نمونه	اولیه	مخزن تیره	مخزن روشن	مخزن تیره	مخزن روشن
تاریخ آزمایش	٨٧/٩/٢٧	٨٧/١٠/١٤	٨٧/١٠/١٤	٨٧/١١/٨	٨٧/١١/٨
دما (درجه سانتی‌گراد)	١٥/١	١٧/١	١٨	١٨/٣	١٨/٤
کدورت (N.T.U)	١	٠	٠	٠	٠
pH	٧/٣٤	٧/٣٢	٦/٩٤	٦/٧٩	٦/٨٩
سختی (میلی‌گرم بر لیتر)	٣٧	٤٠	٣٧	٤١	٣٨
قلیاییت (میلی‌گرم بر لیتر)	٤٤	٤٦	٤٤	٥٣	٤٥
(p.p.m) K	٠/٤٦	١/٠٨	١/٥١	١/٢٠	٠/٨٢
(p.p.m) TDS	٧	–	–	٦	٣
EC (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	٥٨	٥٩	٥٩	٧٣	٥٢
شوری (درصد)	٠	٠	٠	٠	٠
سولفات (p.p.m)	٠	٠	٠	٠	٠
ذرات معلق (p.p.m)	٠	٠	٠	٠	٠

مقادیر جریان پولی هزینه‌های استقرار و درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب باران: مقادیر جریان پولی هزینه‌های استقرار و درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب باران براساس میانگین بارش سالانه پردیس ۱ با در نظر گرفتن نرخ تنزیل و برای افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله و برای مصارف بیرون و درون ساختمان و نیز مقدار نسبت منفعت به هزینه در افق برنامه‌ریزی بیست ساله در جدول‌های ۸ و ۹ ارایه شده است.

در تجزیه و تحلیل کیفی آب باران جمع‌آوری شده از بام‌ها مشخص شد، رواناب جمع‌آوری شده به‌ویژه بخش اول مناسب نمی‌باشد و باید با نصب فیلتر و انحراف‌دهنده اولیه با طراحی مناسب قبل از ورود به مخزن اصلی از ورود آن به سامانه ذخیره آب خودداری گردد. در نمونه‌های مربوط به بام‌های مختلف نیز می‌توان مشاهده نمود که مقدار pH در نوبت دوم نمونه‌برداری تا حدی کاهش یافته است. این روند را می‌توان به پارامترهایی چون سختی نیز تعمیم داد. پارامتر شوری تقریباً برای همه نمونه‌های اندازه‌گیری شده صفر می‌باشد.

به مرور زمان با ادامه بارندگی در پوشش بام ایزوگامی میزان کدورت افزایش می‌یابد. برخلاف سختی و pH تقریباً به مرور زمان افزایش می‌یابد. مقدار Ec در بام‌هایی از جنس ایرانیت در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. مقدار Ec در بام‌هایی از جنس ایزوگام همین روند را طی می‌کند. مقدار اکسیژن محلول در بام‌هایی از جنس ایرانیت و ایزوگام در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. یکی از دلایل این تفاوت تغییر درجه حرارت سطح‌بام و رواناب حاصل بین زمان شروع بارش و دوره‌های زمانی بعد از آن می‌باشد. بدیهی است که با افزایش درجه حرارت آب، میزان انحلال اکسیژن کاهش می‌یابد.

همچنین آب دارای کلیفرم مدفوعی می‌باشد که این باکتری از بام ساختمان‌ها وارد آب باران شده است و نوشیدن آن برای بدن خطرناک می‌باشد، در نتیجه آب قبل از مصرف باید توسط کلر و دیگر مواد ضدعفونی‌کننده کاملاً ضدعفونی شود و بعد از آن استفاده گردد.

مخازن پلی‌اتیلنی به‌دلیل عدم زنگ‌زدگی و پوسیدگی مخزن، خواص شیمیایی آب را چندان تغییر نمی‌دهند، اگرچه تغییراتی در مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی در هنگام انجام آزمایش مشاهده شده است ولی این تغییرات چندان خواص شیمیایی آب را دست‌خوش تغییر نمی‌کند به‌طوری‌که آب غیرقابل شرب شود (با توجه به کیفیت اولیه آب که طبق استانداردهای بین‌المللی برای شرب مطلوب می‌باشد). در هر حال آب در این مخازن تا حدودی دارای طعم، مزه و بوی نامطلوب می‌شود.

جدول ۸- جریان پولی هزینه‌های استقرار و درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب باران در حالت میانگین بارش سالانه برای مصارف بیرون از ساختمان در پردیس ۱.

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۰	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
نصب پمپ با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢٦١/٠٠	٥٣/٦	٥٧/٤٦	٦١/٦	٦٦/٠٣	٧٠/٧٩	٧٥/٨٨	٨١/٣٥	٨٧/٢	٩٣/٤٨	٩٠٠/٠٠
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢٦١/٠٠	٦٣١٤/٦	٦٤٢٩/٥٢	٦٤٩١/١١	٦٥٥٧/١٥	٦٦٢٧/٩٣	٦٧٠٣/٨١	٦٧٨٥/١٦	٦٨٧٢/٣٦	٦٩٦٥/٨٤	٧٨٦٥/٨٤
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٢٥٩/٤٣	٢٧٨/١١	٢٩٨/١٣	٣١٩/٥٩	٣٤٢/٦١	٣٦٧/٢٧	٣٩٣/٧٢	٤٢٢/٠٦	٤٥٢/٤٥	٤٨٥/٠٣	٥١٩/٩٥
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٢٥٩/٤٣	٥٣٧/٥٣	١١٣٣/٧٩	١٤٥٣/٣٩	١٧٩٥/٩٩	٢١٦٣/٢٦	٢٥٥٦/٩٨	٢٩٧٩/٠٤	٣٤٣١/٥	٣٩١٦/٥٣	٤٤٣٦/٤٨
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	٠/٠٤	٠/٠٩	٠/١٨	٠/٢٢	٠/٢٧	٠/٣٣	٠/٣٨	٠/٤٤	٠/٥	٠/٥٦٢	٠/٥٦٤

ادامه جدول ۸-

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
نصب پمپ با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۰۷/٤۳	۱۱۵/۱٦	۱۲۳/٤۵	۱۳۱/۳٤	۱٤۱/۸۷	۱۵۲/۰۹	۱٦۳/۰٤	۱۷٤/۷۷	۱۸۷/۳٦	۲۰۰/۸۵
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۷۹۷۳/۲۷	۸۰۸۸/۱۳	۸۲۱۱/۸۹	۸۳٤٤/۲۳	۸٤۸٦/۱	۸٦۳۸/۱۸	۸۸۰۱/۲۲*	۸۹۷۵/۹۹	۹۱٦۳/۳۵	۹۳٦٤/۲
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۵۵۷/۳۹	۵۹۷/۵۲	٦٤۰/۵٤	٦۸٦/٦٦	۷۳٦/۱	۷۸۹/۱	۸٤۵/۹۱	۹۰٦/۸۲	۹۷۲/۱۱	۱۰٤۲/۱
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٤۹۹۳/۸٦	۵۵۹۱/۳۸	٦۲۳۱/۹۳	٦۹۱۸/۵۹	۷٦۵٤/٦۹	۸٤٤۳/۷۸	۹۲۸۹/۷*	۱۰۱۹٦/۵۲	۱۱۱٦۸/٦۳	۱۲۲۱۰/۷۳
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	۰/٦۳	۰/٦۹	۰/۷٦	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۹۸	۱/۰٦*	۱/۱٤	۱/۲۲	۱/۳۰

ادامه جدول ۸-

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۰	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
بدون نصب پمپ با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢١١,٠٠	٥٣/٦	٥٧/٤٦	٦١/٦	٦٦/٠٣	٧٠/٧٩	٧٥/٨٨	٨١/٣٥	٨٧/٢	٩٣/٤٨	١٠٠/٢١
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بازای ٥٦/٥٢ متر مکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢١١,٠٠	٦٦٦٤/٦	٦٣٧٩/٥٢	٦٤٤١/١١	٦٥٠٧/١٥	٦٥٧٧/٩٣	٦٦٥٣/٨١	٦٧٣٥/١٦	٦٨٢٢/٣٦	٦٩١٥/٨٤	٧٠١٦/٠٥
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٢٥٩/٤٣	٢٧٨/١١	٢٩٨/١٣	٣١٩/٥٩	٣٤٢/٦١	٣٦٧/٢٧	٣٩٣/٧٢	٤٢٢/٠٦	٤٥٢/٤٥	٤٨٥/٠٣	٥١٩/٩٥
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٢٥٩/٤٣	٥٣٧/٥٣	١١٣٣/٧٩	١٤٥٣/٣٩	١٧٩٥/٩٩	٢١٦٣/٢٦	٢٥٥٦/٩٨	٢٩٧٩/٠٤	٣٤٣١/٥	٣٩١٦/٥٣	٤٤٣٦/٤٨
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	٠/٠٤	٠/٠٩	٠/١٨	٠/٢٣	٠/٢٨	٠/٣٣	٠/٣٨	٠/٤٤	٠/٥	٠/٥٧	٠/٦٣

ادامه جدول ۸-

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
بدون نصب پمپ با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۰۷/٤۳	۱۱٥/۱٦	۱۲۳/٤٥	۱۳۲/۳٤	۱٤۱/۸۷	۱٥۲/۰۹	۱٦۳/۰٤	۱۷٤/۷۷	۱۸۷/۳٦	۲۰۰/۸٥
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥۲ متر مکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۷۱٦۳/٤۸	۷۲۳۸/٦٤	۷۳٦۲/۱	۷٤۹٤/٤٤	۷٦۳٦/۳۱*	۷۷۸۸/۳۹	۷۹٥۱/٤۳	۸۱۲٦/۲	۸۳۱۳/٥٦	۸٥۱٤/٤۱
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٥٥۷/۳۹	٥۹۷/٥۲	٦٤۰/٥٤	٦۸٦/٦٦	۷۳۳/۱	۷۸۹/۱	۸٤٥/۹۱	۹۰٦/۸۲	۹۷۲/۱۱	۱۰٤۲/۱
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٤۹۹۳/۸٦	٥٥۹۱/۳۸	٦۲۳۱/۹۳	٦۹۱۸/٥۹	۷٦٥٤/٦۹*	۸٤٤۳/۷۸	۹۲۸۹/۷	۱۰۱۹٦/٥۲	۱۱۱٦۸/٦۳	۱۲۲۱۰/۷۳
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	/۷۰	۰/۷۷	۰/۸٥	۰/۹۲	۱*	۱/۰۸	۱/۱۷	۱/۲٦	۱/۳٤	۱/٤۳

*بازگشت سرمایه

جدول ۹- جریان پولی هزینه‌های استقرار و درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب باران در حالت میانگین بارش سالانه برای مصارف داخل از ساختمان در پردیس ۱.

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۰	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
نصب پمپ به همراه کلر زنی با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵۶/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٦٦١,٠٠	٨٦/٥٧	٩٢/٨	٩٩/٤٨	١٠٦/٦٤	١١٤/٣٢	١٢٢/٥٥	١٣١/٣٨	١٤٠/٨٣	١٥٠/٩٧	٩٣٠/٧٥
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵۶/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٦٦١,٠٠	٦٣٤٧/٥٧	٦٥٣٣/١٦	٦٦٣٢/٦٤	٦٧٣٩/٢٨	٦٨٥٣/٦	٦٩٧٦/١٥	٧١٠٧/٥٣	٧٢٤٨/٣٦	٧٣٩٩/٣٤	٨٣٣٠/٠٩
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵۶/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٢٥٩/٤٣	٢٧٨/١١	٢٩٨/١٣	٣١٩/٥٩	٣٤٢/٦١	٣٦٧/٢٧	٣٩٣/٧٢	٤٢٢/٠٦	٤٥٢/٤٥	٤٨٥/٠٣	٥١٩/٩٥
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵۶/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٦٦١,٠٠	٨٦/٥٧	٩٢/٨	٩٩/٤٨	١٠٦/٦٤	١١٤/٣٢	١٢٢/٥٥	١٣١/٣٨	١٤٠/٨٣	١٥٠/٩٧	٩٣٠/٧٥
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	٠/٠٤	٠/٠٨	٠/١٧	٠/٢٢	٠/٢٧	٠/٣٢	٠/٣٧	٠/٤٢	٠/٤٧	٠/٥٣	٠/٥٣

ادامه جدول ۹-

گزینه‌های مورد بررسی	سال / پارامتر	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
نصب پمپ به همراه کلر زنی با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۷۳/٥	۱۸٥/۹۹	۱۹۹/۳۸	۲۱۳/٧٤	۲۲۹/۱۲	۲٤٥/٦۲	۲٦۳/۳۱	۲۸۲/۲٦	۳۰۲/٥۹	۳۲٤/۳۷
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۸٥۰۳/٥۹	۸٦۸۹/٥۸	۸۸۸۸/۹٦	۹۱۰۲/٦۹	۹۳۳۱/۸۲	۹٥۷۷/٤٤	۹۸٤۰/۷٤	۱۰۱۳۳/۰۱*	۱۰٤۲٥/٥۹	۱۰۷٤۹/۹۷
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٥٥۷/۳۹	٥۹۷/٥۲	٦٤۰/٥٤	٦٧٦/٦٦	۷۳٦/۱	۷۸۹/۱	۸٤٥/۹۱	۹۰٦/۸۲	۹۷۲/۱۱	۱۰٤۲/۱
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۷۳/٥	۱۸٥/۹۹	۱۹۹/۳۸	۲۱۳/٧٤	۲۲۹/۱۲	۲٤٥/٦۲	۲٦۳/۳۱	۲۸۲/۲٦*	۳۰۲/٥۹	۳۲٤/۳۷
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	۰/٥۹	۰/٦٤	۰/۷	۰/۷٦	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۹٤	۱/۰۱*	۱/۰۷	۱/۱٤

ادامه جدول ۹-

گزینه‌های مورد بررسی / پارامتر / سال	۰	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
نصب پمپ به همراه کلرزنی با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب تجاری به‌عنوان درآمد											
هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بهازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢٦١,٠٠	٨٦/٥٦	٩٢/٧٩	٩٩/٤٧	١٠٦/٦٤	١١٤/٣٢	١٢٢/٥٥	١٣١/٣٧	١٤٠/٨٣	١٥٠/٩٧	٩٣٠/٧٥
مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بهازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٦٢٦١,٠٠*	٦٣٤٧/٥٦	٦٤٤٠/٣٦	٦٥٣٩/٨٤	٦٦٤٦/٤٨	٦٧٦٠/٨٠	٦٨٨٣/٣٥	٧٠١٤/٣١	٧١٥٥/٥٦	٧٣٠٦/٥٤	٨٢٣٧/٢٩
درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بهازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٩٢١٢٧/٦	٩٨٧٣٠/٧٨	١٠٥٨٧١/٥٦	١١٣٤٩٤/٣١	١٢١٦٦٥٩٠	١٣٠٤٢٥/٨٥	١٣٩٨١٦٥١	١٤٩٨٨٣٣٠	١٦٠٦٧٤٩٠	١٧٢٢٤٣٤٩	١٨٤٦٤٥٠٢
مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب بهازای ٥٦/٥٢ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	٩٢١٢٧/٦*	١٩٠٨٨٨٣٨	٢٩٦٧٥٩٩٥	٤١٠٢٥٤٣٧	٥٣١٩٢٠١٧	٦٦٣٣٤٧٠٣	٨٠٢١٦٢٥٤	٩٥٢٠٤٥٨٤	١١١٦٧٢٠٧٤	١٢٨٤٩٦٤٣٤	١٤٦٩٦٠٩٣٦
نسبت منفعت به هزینه سالانه	١٤/٧١*	٣٠/٠٧	٤٦/٠٨	٦٢/٢٣	٨٠/٠٣	٩٧/٩٦	١١٦/٥٣	١٣٥/٧٢	١٥٥/٥٠	١٧٥/٨٦	١٧٨/٤١

ادامه جدول ۹-

گزینه‌های مورد بررسی	پارامتر / سال	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
نصب پمپ به همراه کلرزنی با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب تجاری به‌عنوان درآمد	هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۷۳/۵۰	۱۸۵/۹۹	۱۹۹/۳۷	۲۱۳/۷۳	۲۲۹/۱۲	۲٤۵/٦۲	۲٦۳/۳۰	۲۸۲/۲٦	۳۰۲/۵۸	۳۲٤/۳۷
	مقادیر تجمعی هزینه به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۸٤۱۰/۷۹	۸۵۹٦/۷۸	۸۷۹٦/۱٦	۹۰۰۹/۸۹	۹۳۳۹/۰۲	۹٤۸٤/٦۳	۹۷٤۷/۹٤	۱۰۰۳۰/۲۰	۱۰۳۳۲/۷۹	۱۰٦۵۷/۱٦
	درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱۹۷۹۳۹/٤۸	۲۱۲۱۹۱/۱۱	۲۲۷٤٦۸/۸۷	۲٤۳۸٤٦/٦۷	۲٦۱٤۰۳/۵۸	۲۸۰۲۲٤/٦٤۲	۳۰۰٤۰۰/۸۱٦	۳۲۲۰۲۹/٦۷۵	۳٤۵۲۱۵/۸۱۱	۳۷۰۰۷۱/۳۵۰
	مقادیر تجمعی درآمد به‌دست آمده از جمع‌آوری آب به‌ازای ۵٦/۵۲ مترمکعب غیریارانه‌ای براساس میانگین بارش سالانه (بر حسب هزار ریال)	۱٦٦۷۵٤۸/۷۳	۱۸۷۹۳۳۹/۸٤	۲۱۰۷۲۰۸۷۰	۲۳۵۱۰۵۵/۳۳	۲٦۱۲٤۵۸/۹۲	۲۸۹۲٦۵۳/۵٦	۳۱۹۳۰۸٤/۳۷	۳۵۱۵۱۱٤/۰۵	۳۸٦۰۳۳۹/۸٦	٤۲۳۰٤۰۱/۲۱
	نسبت منفعت به هزینه سالانه	۱۹۸/۲٦	۲۱۸/٦٦	۲۳۹/۹٤	۲٦۰/۹٤	۲۸۲/۷٦	۳۰٤/۹۹	۳۲۷/۵٦	۳۵۰/٤۵	۳۷٤/٦۰	۳۹٦/۹۵

*بازگشت سرمایه

نتایج اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی در مدت چهار هفته در دو مخزن تیره و روشن نشان می‌دهد که سختی و قلیائیت هر دو به مرور زمان افزایش پیدا می‌کنند و همچنین افزایش جزیی در مقدار pH در هر دو مخرن دیده می‌شود. Ec در مخزن تیره دارای افزایش جزیی با گذشت زمان می‌باشد. ولی در مخزن روشن دارای نوساناتی می‌باشد به این ترتیب که ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. کدورت در ابتدا N.T.U ۱ بوده و با گذشت هفته دوم در هر دو مخزن صفر شده است. TDS در هر دو مخزن در هفته دوم افزایش و در هفته چهارم کاهش پیدا کرده است. پتاسیم در مخزن تیره تا هفته چهارم افزایش پیدا کرده است، ولی در مخزن روشن ابتدا افزایش ولی سپس نسبت به پایان هفته دوم مقداری کاهش پیدا کرده است. نیترات در هر دو مخزن، ابتدا در هفته دوم افزایش و در هفته چهارم افت محسوسی داشته است.

با توجه به نتایج آزمایش میکروبی مشخص می‌شود که با گذشت زمان تعداد باکتری‌ها در مخازن افزایش پیدا کرده است که دلیل این امر نیز ورود آلودگی از بیرون به داخل مخزن و دلیل دیگر آن رشد جلبک می‌باشد که البته جلبک در مخزن روشن رشد خیلی بیش‌تری داشته است (به‌دلیل فراهم بودن نور برای رشد جلبک). همچنین نتایج نشان می‌دهد که تعداد باکتری‌ها در هفته دوم در هر دو مخزن کاهش یافته، ولی در هفته چهارم با افزایش نسبی در مخزن تیره و یک افزایش غیرمعمول در مخزن روشن همراه بوده است. کلیفرم مدفوعی در مخزن تیره تا پایان هفته چهارم زنده مانده است در حالی‌که در مخزن روشن در هفته دوم و چهارم کلیفرم مشاهده نشده است. همچنین با مشاهده داخل هر دو مخزن تیره و روشن مشاهده شد که تا هفته دوم هیچ‌گونه جلبکی در داخل مخازن رشد نکرده است و در هفته چهارم در مخزن تیره مقدار کمی جلبک می‌باشد، ولی در مخزن روشن جلبک‌های فراوانی دیده شد به‌طوری‌که کناره‌های مخزن و همچنین کف مخزن جلبک‌های فراوانی موجود بوده است.

در نهایت با توجه به نتایج آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژی می‌توان نتیجه گرفت که می‌شود از مخازن پلی‌اتیلینی برای نگهداری آب شرب استفاده کرد البته به شرط آن که از مخازن با رنگ تیره استفاده شود تا از رشد جلبک به‌میزان زیادی جلوگیری شود و کیفیت آب دچار افت میکروبی نشود و همچنین تدابیری اندیشید تا از ورود میکروب و آلودگی به داخل مخازن جلوگیری شود. همچنین استفاده از درپوش‌های مناسب و نصب شیرهایی در پایین مخازن به‌منظور سهولت در استفاده از آب داخل مخزن و جلوگیری از ورود آلودگی به داخل مخازن نگهداری آب راه‌های دیگر جلوگیری از آلودگی می‌باشند.

بازدهی اقتصادی و سودآوری طرح‌ها و فعالیت‌ها از جمله مباحث مهم و مطرح به‌شمار می‌رود. برآورد هزینه‌های استقرار سامانه جمع‌آوری آب باران در افق ۲۰ ساله نیز نشان می‌دهد بازگشت سرمایه در هر یک از گزینه‌های اول تا سوم به‌ترتیب در سال‌های هفدهم، پانزدهم و هجدهم بعد از استقرار سامانه می‌باشد و برای گزینه چهارم بازگشت سرمایه تا پایان سال استقرار سامانه اتفاق خواهد افتاد. در گزینه چهارم (نصب پمپ به همراه کلرزنی با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب تجاری به‌عنوان درآمد) در مقایسه با گزینه اول (نصب پمپ با در نظر گرفتن قیمت یک مترمکعب آب شهری گرگان به‌عنوان درآمد) حتی با وجود هزینه مربوط به کلرزنی، بازگشت سرمایه تا پایان سال اول اتفاق خواهد افتاد. در مجموع با وجود این‌که در بخشی از افق ۲۰ ساله برنامه‌ریزی، برای گزینه‌های قیمت‌گذاری بر مبنای بهای آب شهری (نرخ یارانه‌ای) گرگان نسبت منفعت به هزینه کم‌تر از یک به‌دست آمد، احداث سامانه یاد شده توجیه اقتصادی دارد. مزید توجه است که محاسبات توجیه اقتصادی با نرخ تمام شده واقعی به‌جای نرخ یارانه‌ای آب به شرایط واقعی نزدیک‌تر می‌باشد که در این صورت توجیه اقتصادی سامانه جمع‌آوری آب باران با سهولت بیش‌تری امکان‌پذیر می‌باشد.

با توجه به مشکلات کمبود آب شیرین و هدررفت مقادیر قابل‌توجهی از بارش به‌صورت هرزآب، جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها را می‌توان یکی از راه‌حل‌های کاهش این مشکل دانست به‌طوری‌که این سامانه را می‌توان سامانه سازگار در مناطق پرباران (به لحاظ جلوگیری از هدررفت) و نیز در مناطق نیمه‌خشک و خشک (به لحاظ ذخیره آب) (دستورانی، ۲۰۱۰) و در مجموع به‌عنوان منبع پایدار آب و کم‌هزینه تلقی نمود. به‌منظور بررسی فن‌آوری مناسب جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها و امکان‌سنجی آن، این پژوهش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد که نتایج آن نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مخازن پلی‌اتیلنی نسبت به سایر انواع مخازن، ضرورت احداث فیلتر قبل از ورود آب به مخازن و ضدعفونی کردن آب جمع‌آوری شده می‌باشد. دانش بومی جمع‌آوری آب باران را که نتیجه سال‌ها تجربه و مسأله‌گشایی براساس آزمون و خطا به‌وسیله مردم می‌باشد را باید قدر دانسته و مورد توجه کافی قرار داد. بنابراین توجه به دانش بومی با هدف ارتقا آنان به‌عنوان روشی کم‌هزینه و پایدار همواره باید مد نظر متخصصین و برنامه‌ریزان کشور قرار بگیرد. با انجام مطالعات امکان‌سنجی و تحلیل مالی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی و نیز تخصیص منابع و امکانات به‌صورت منطقی و اصولی براساس نیازهای مختلف فراهم خواهد شد. مطالعات توجیه اقتصادی این گونه طرح‌ها، مبنایی برای صلاحیت بخشیدن به اجرای طرح و تعیین اولویت برای تأمین اعتبار لازم در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها است.

انجام این پژوهش با موضوعاتی مواجه شد که این موضوعات لازم است در قالب موارد پیشنهادی ارایه گردند. از جمله اقدامات حفاظتی که برای جمع‌آوری آب باران لازم است می‌توان به مواردی چون، به‌دام انداختن رسوبات و پاک کردن آن‌ها به‌صورت منظم، برداشتن رسوبات و تمیز کردن دیواره‌های داخلی مخزن قبل از شروع فصل بارندگی اشاره نمود. بهینه‌سازی سامانه‌های بومی و رفع نواقص احتمالی آن‌ها با ارایه کمک‌های فنی و مالی به کاربران محلی، معرفی، آموزش و ترویج استفاده از این سامانه‌ها برای مصارف خانگی در سطح مراکز آموزشی از دیگر موارد مورد تأکید می‌باشد. اجرای چنین سیستم‌هایی در مناطق نیمه‌خشک که مواجه با مشکل کمبود آب به‌خصوص در ماه‌های گرم سال مواجه هستند، به‌منظور تأمین و ذخیره آب در فصل بارش و دوره‌های ترسالی و استفاده آن در ماه‌های خشک‌تر قابل توصیه می‌باشد. البته در این گونه مناطق پژوهش‌ها بیش‌تر در خصوص بیلان آبی و نیز ارزیابی مالی این گونه سامانه‌ها ضروری است یک نمونه کوچک از سامانه جمع‌آوری آب باران به‌عنوان نمونه در مجاورت ساختمان دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شده و به بهره‌برداری رسید (شکل ۲). با انتقال آب جمع‌آوری شده در یک مخزن ۵۰۰۰ لیتری از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای ردیف درختان پالونیای کاشته شده در حوطه دانشکده آبیاری می‌شوند.

شکل ۲- اجرای نمونه سامانه جمع‌آوری آب باران در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همه کسانی که در مراحل مختلف این پژوهش ما را به نحو مؤثری یاری نمودند، به‌ویژه آقایان دکتر نادر بیرودیان، مهندس داوود کریمی، مهندس نادر جندقی و مهندس رئوف مازندرانی صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. انجام این پژوهش بدون زحمات و پشتیبانی این عزیزان مقدور نبود. اعتبار مالی این پژوهش از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تأمین شده است.

منابع

1.Abdoli, Gh. 2009. Social discount rate for Iran. J. Econ. 3: 135-156. (In Persian)
2.Abdulal, H., Arsenault, L., Bachiu, T., Garrey, S., MacGillivray, M., and Uloth, D. 2006. Rainwater collection system: a feasibility study for Dalhousie University. Environmental Problem Solving II, 52p.
3.Ahmadi, H. 2007. Monitoring and evaluation of the most important process in sustainable watershed management. The 4th National Conference on Science and Engineering of Watershed Management, Tehran, 2p. (In Persian)
4.Badiezadeh, S. 2012. Determination of optimal drainage networks by simulation of surface runoff using SWMM model in Gorgan city, Golestan Province, Iran. M.Sc. Thesis Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, 210p. (In Persian)
5.Commission on Environmental Quality, Texas. 2007. Harvesting, storing, and treating rainwater for domestic indoor use. Texas Commission on Environmental Quality, Texas Publisher, 52p.
6.Dastorani, M.T. 2010. Evaluation of the new and sustainable methods to supply water for green areas development. The 3th National Congress Green Area and Urban Landscapes, Pp: 260-271. (In Persian)
7.Debarry, P. 2004. Watersheds: processes, assessment, and management. John Wiley and Sons, Inc, 700p.
8.Irilouzadeh, R., and Saleh, I. 2012. Economic evaluation of industrial animal husbandry projects in Tehran Province. http://www.confbank.um.ac.ir, (Available online: 2013). 14p. (In Persian)
9.Kuylenstierna, J.L., Bjorklund, G., and Najlis, P. 1997. Sustainable water future with global implications: everyone's responsibility. Natural Resources Forum, 21: 181-190.
10.Ministry of Energy. 2011. Guidelines for economic analysis of plans for water resources development, first revision. Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater, 214p.

11. Norman, D.W., Burton, R.O.J., Freyenberger, S.G., Jones, R.D., and Jost, J. 2002. Financial analysis for sustainable agriculture. Kansas Centre for Sustainable Agriculture and Alternative Crops, Kansas State University, 17p.
12. Philips, A.A. 2005. City of Tucson water harvesting guidance manual. City Department of Transportation, Storm Water Management Section, Tucson, 41p.
13. Rashidi Mehrabadi, M. 2012. Assessment of rainwater harvesting for residential areas to supply the non-potable water needs of residents in the warm and dry regions (Case study: Kerman Province). The 5th National Conference on Watershed and Soil and Water Resources Management, Kerman. (Abstract). (In Persian)
14. Sadoddin, A., Beyrodiyan, N., Karimi, D., Naeimi, A., Bai, M., and Jandaghi, N. 2012. Feasibility study of appropriate technology for rooftop rainwater harvesting system for The Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource (Research report), 103p. (In Persian)
15. Sadoddin, A., Naeimi, A., Bai, M., Beyrodiyan, N., Karimi, D., and Jandaghi, N. 2012. Assessment the quality and quantity of harvested rainfall from rooftops (Case study: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources). The First Iranian National Conference on Rainwater Catchment Systems, 10p. (In Persian)
16. Saour, W.H. 2009. Implementing rainwater harvesting systems on the Texas A and M Campus for irrigation purposes. B.Sc. Thesis, the Texas A and M University, 43p.
17. Tabtabaee Yazdi, T., Davary, K., and Yahya, R. 2007. Economic analysis for using rainwater harvesting methods in agriculture: (Case study: North Khorasan, Natural Resources Research Center). The 6th National Conference on Agricultural Economics, 9p. (In Persian)
18. Tabatabaee Yazdi, J., Haghayeghi, S.A., Ghodsi, M., and Afshar, H. 2010. Rainwater harvesting for supplementary irrigation of rained wheat in Mashhad Region. J. Water Soil. 24: 198-207. (In Persian)
19. Tang, Ch. 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.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Technical and economic feasibility study of rooftop rainwater harvesting system (Case Study: The Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources)

***A. Sadoddin[1], M. Bai[2] and A. Naeimi[3]**

[1]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Research Assistant, Dept. of Fisheries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/03/2013; Accepted: 08/26/2014

Abstract

Shortage of freshwater in some parts of Iran is quite serious that needs to be addressed adequately. Rainwater harvesting is considered to be one of the effective ways to reduce the dependence on the conventional fresh water resources. This paper focuses on the feasibility study for implementing rainwater collection systems from rooftops at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR). The paper is consisted of water balance analysis on two campuses of the university, water quality and microbiology assessment of rainwater for a few samples collected from different rooftops as well as a cost-benefit analysis to determine financial justification. The analysis reveals that rainwater harvesting can reduce the pressure on the municipal water consumption significantly even during dry months. The water quality and microbiology analyses show that careful considerations need to be taken for the possible contamination by pathogens mainly by coliforms and E-coli if drinking consumption is meant. Additionally, in a roof rainwater harvesting system it is essential to design and assemble a filter and a first flush device properly. The cost-benefit analysis shows that a rainwater harvesting system is economically feasible for the study area although the ratio is negative for a proportion of planning horizon for subsidised pricing. This paper increases the awareness of policy makers and managers of municipal water resources towards knowledge and environmental-based solutions in line with utilising alternative water resources. This can provide the required basis for fund allocation and adequate consideration in policy making and planning programs.

Keywords: Rainwater harvesting systems, Water quality, Water contamination, Coliform

* Corresponding Author; Email: amir.sadoddin@gmail.com