تحلیل اقتصادی برداشت آب باران در ساختمان‌های مسکونی

کاوه جمالی*[۱]، بنفشه زهرایی[۲]

۱*-کارشناس ارشد عمران و مدیرعامل مهندسین مشاور راهدان سماء، *kauveh.jamali@outlook.com*

۲-دانشیار گروه مهندسی عمران دانشکده عمران دانشگاه تهران و مدیرکل دفتر مدیریت مصرف و ارتقاء بهره وری آب و آبفا وزارت نیرو، *banafsheh.zahraie@gmail.com*

چکیده

در این مقاله به تحلیل فنی و اقتصادی برداشت آب باران در ساختمان‌ها در چند اقلیم متفاوت در کشور پرداخته شده است. ببرای این تحلیل بر اساس داده‌های بارش، بهره‌وری سامانه برداشت آب باران، در احجام مخزن نگهداری گوناگون محاسبه ششده و ببر اساس تحلیل هزینه اجرا و راهبری سامانه، قیمت هر متر مکعب آب برداشت شده محاسبه شده است. سپس جذابیت اقتصادی ایین راهببرد برای شهروندان، از طریق مقایسه قیمت آب استحصال شده با هزینه آب آشامیدنی و هزینه دفع پساب مربوط، مورد بررسی قرار گرفتته است. بر اساس این تحلیل، برداشت آب باران در برخی مناطق پر باران ایران دارای توجیه اقتصادی و از منظر راهببردی مناسب اججرا تشخیص داده شده است. تحلیل اقتصادی صورت گرفته نشان داده است که سامانه‌های برداشت آب باران در ششرایط مطللوب اقلیممی برخی مناطق ایران، نسبت به قیمت‌های متعارف خرید تضمینی آب از آب شیرین‌کن‌ها و همچنین قیمت تمام شده آب در بسیاری از طرح‌های انتقال آب از دوردست دارای مزیت اقتصادی است. بر این اساس نتیجه‌گیری شده است که هر گونه سیاستگذاری صلبی یبا ایجابی در زمینه لزوم برداشت آب باران در ساختمانها باید مبتنی بر شرایط خاص اقلیمی محل قرارگیری ساختمان باششد. سیاستگذار میتواند اجرای سامانه برداشت آب باران را با توجه به وضعیت اقتصادی سامانه بر اساس قیمت آب آشامیدنی در نقطه مرزی که قیممت نهایی خوانده میشود، اجباری یا اختیاری تلقی کند. قیمت نهایی و میزان بارش در مناطق مختلف ایران متفاوتنند و تهییه فهرستی از مناطقی که مطابق مقررات، احداث سامانه برداشت آب باران در آنها باید اجباری تلقی شود، میتوانند ببه تتدریج ببه انججام رسسیده و از طریق به روزآوری دوره ای مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان اجرایی گردد.

واژه‌های کلیدی:

منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها، برداشت آب باران، استحصال آب باران

مقدمه

آب باران به ویژه در مناطقی که بارش مناسب و همچنین منظم داشته باشند، منبعی جذاب و در دسترس ببه نظر ممی‌رسد. آب باران عملاً پاک و عاری از آلودگی بوده و می‌تواند برای بسیاری از مصارف خانگی و حتی در صورت تصفیه و گندزدایی ببرای آشامیدن مورد استفاده قرار داده شود، اگر چه مصرف آن به عنوان آب آشامیدنی در اغلب مناطق توسعه یافته جهان معمول و قانونی نیست (Canada Mortgage and Housing Corporation، ۲۰۱۶). با این همه برداشت آب باران همانند همه راهکارهای فننی دیگگر، تنهها در صورتی قابلیت تبدیل به راهبردی ملی را پیدا می‌کند که به ابعاد اقتصادی آن در مقایسه با سایر راهکارها اندیشیده شده و توجیه‌پپذیر بودن این راهکار و اولویت اقتصادی آن به اثبات رسیده باشد. در غیر این صورت با توجه به محدودیت منابع مالی، صرف هر گونه هزینه در این زمینه به معنی کاهش منابع قابل تخصیص به راهبردهای دارای اولویت بیشتر بوده و به نوعی اتلاف منابع تلقی شده و از منظر کلان به عنوان سیاستی فراگیر و ملی قابل توجیه نیست.

در مورد سلامت آب باران جز در موارد خاص و همچنین مخاطرات ناچیز بهداشتی و زیست‌محیطلی ناشی از برداشت آب بباران، اختلاف نظر چندانی در میان صاحب‌نظران به چشم نمی‌خورد. اگر چه در برخی از مطالعات، به افزایش اثرات زیست‌محیطی[1] و میییزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در صورت برداشت محلی آب باران در ساختمان، در مقایسه با جمع‌آوری و ممدیریت متمرککز آن در مقییاس شهری اشاره شده است (Hoare Lea، ۲۰۱۰). به همه این دلایل توجییه یپا عدم توجییه اقتصادی ایین راهببرد در مقایسه ببا دیگگر گزینه‌های در دسترس در سبد اقدامات مدیریت یکپارچه آب آشامیدنی، عملاً گلوگاه تشخیص سیاست مواجههه ببا ایین روش تتأمین غیرمتمرکز آب در ساختمان‌ها خواهد بود. بررسی‌های متعددی در زمینه تحلیل اقتصادی برداشت آب باران به ویژه در مناطق متتراکم شهری صورت گرفته است که اغلب بر نیاز به مواجهه محتاطانه با این راهبرد تأکید دارند. مناطق متراکم شهری ببه دلییل تتراکم زییاد جمعیت در واحد سطح، محدودیت فیزیکی برای ساخت مخازن ذخیره‌سازی و دسترسی عمومی و فراگیر به خدمات عمومی تأمین آب آشامیدنی دارای شرایطی ویژه هستند. مطالعات صورت گرفته در انگلستان نشان داده‌اند که سامانه‌های برداشت آب باران اغلب در دوره بهره‌برداری قادر به تأمین هزینه سرمایه‌گذاری صورت گرفته نبوده و فاقد توجیه اقتصادی هستند (Roebuck R M و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات مشابهی برای یکی از شهرهای اسپانیا در محدوده با بارش ۶۵۰ میلی‌متر در سال، نشان دهنده مشروط بودن توجیه اقتصادی برداشت آب باران به اتخاذ تدابیر ویژه فنی بوده‌اند. قیمت فعلی آب آشامیدنی در بارسلونا ۱/۱۲ یورو به ازای هر متر مکعب و قیممت-های آتی بر اساس تعرفه‌های در حال تدوین در زمان مطالعه یاد شده، ۴ یورو به ازای هر متر مکعب است. ایین بررسی نتیججه گرفتته است که با فرض نرخ بهره صفر تا ۳ درصد برای برآورد هزینه تأمین سرمایه، از بین پنج سناریوی مختلف برای برداشت آب بباران، در صورت افزایش تعرفه آب از ۱/۱۲ یورو به ازای هر متر مکعب به ۴ یورو به ازای هر متر مکعب، جمع‌آوری آب باران در یک محله و ققرار دادن یک مرکز شستشوی متمرکز لباس در آن محله، تنها سناریوی اقتصادی برای برداشت آب بباران ببوده و برداشت و ممدیریت آب باران در یک ساختمان به تنهایی قابل توجیه نیست. جالب این که برای همین سناریوی غیر متعارف، دوره برگشت سسرمایه، ۵۱ سال برای تأمین مالی با نرخ بهره ۳ درصد و ۲۷ سال برای تأمین مالی با نرخ بهره صفر محاسبه شده است(R. Farreny و همکاران، ۲۰۱۱).

پرکردن سیفون‌ها، شستشوی لباس، آبیاری فضای سبز و شستشوی خودرو به ترتیب معمول‌ترین کاربردهای آب بباران در جهان هستند (Canada Mortgage and Housing Corporation، ۲۰۱۶). بیشتر اجزاء سامانه برداشت آب باران، یا مثل بام و محوطه، جزئئی از ساختمان بوده و یا مثل ناودان‌ها و لوله‌کشی آب باران، به صورت تیپ انتخاب می‌شوند. مخزن جمع‌آوری آب باران تنها جزء سسامانه برداشت آب باران است که باید به دقت بر اساس نیاز آبی و الگوی بارش ماهانه طراحی ششود (Marsden Jacob، ۲۰۰۹). ابعاد مخخزن نقش اساسی در هزینه کلی سامانه داشته و کوچک یا بزرگ بودن آن می‌تواند به کاهش بهره‌وری سامانه یا افزایش شدید هزینه احداث آن منجر شود (Chao-Hsien Liaw، ۲۰۰۴).

دلایل اجرای مطالعه و روش تحلیل

برای شناخت همه جانبه مزایا و ملاحظات مربوط به کاربرد منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها، مطالعه‌ای دوساله توسط دفتتر مدیریت مصرف و ارتقاء بهره وری آب و آبفای وزارت نیرو با همکاری شرکت راهدان سسماء و حمایـت مـالی و تـدارکاتی شـرکت آب و

[1] Environmental footprint

فاضلاب استان آذربایجان شرقی به انجام رسیده و نتایج این مطالعه در قالب سند مفصلی مستند گردیده است. این مطالعه را ممی‌تتوان بخشی از ارزیابی‌های پیشا قانونگذاری در جهت انتخاب راهبرد مطلوب در مواجهه با منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها و در چچارچوب وظایف حاکمیتی وزارت نیرو در حوزه مدیریت آب ارزیابی نمود. آب خاکستری و آب باران منابع اصلی آب ججایگزین در ساختمان‌ها هستند و بررسی انجام گرفته بر ابعاد مختلف فنی، زیست محیطی و اقتصادی این دو راهبرد به عنوان اصلی‌ترین منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها و بخشی از راهبردهای مدیریت جامع آب آشامیدنی تمرکز داشته است. یکی از موضوعات مورد بررسی در مطالعه یاد شده، تحلیل فنی و اقتصادی برداشت آب باران در ساختمان‌ها در چند اقلیم متفاوت ایران به منظور ببرآورد میییزان ججذابیت اقتصادی ایین راهبرد برای شهروندان و همچنین ارزیابی میزان منافع اقتصادی حاصله برای بخش عمومی می‌باشد. ایین مقاللله ننه ببا هدف معرففی مطالعه یاد شده در حوزه منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها، بلکه تنها به منظور اشاره به آن بخش از مطالعه یاد ششده ککه ببه تحلییل اقتصادی برداشت آب باران پرداخته است، تنظیم گردیده است.

با توجه به دسترسی اغلب جمعیت ایران به شبکه آب آشامیدنی تحلیل‌ها بر اساس فرض دسترسی به آب آشامیدنی بننا ششده‌انند. مناطق روستایی دور افتاده، به ویژه در صورت وجود بارش بالای ۴۰۰ میلی‌متر در سال دارای ششرایط متففاوتی هستند. آب ببباران در برخی از این مناطق می‌تواند از مهمترین منابع آب در دسترس تلقی شده و برداشت از آن به شیوه‌های مختلفی که برداشت آب ببباران از سطوح آبگیر ساختمان تنها یکی از آن‌هاست، صورت بگیرد. انواع روش‌های برداشت آب باران در این مناطق، می‌تواند در مقایسه ببا توسعه زیرساخت عمومی و انتقال آب به این مناطق از منظر اقتصادی قابل بررسی به نظظر برسد. در ایین منناطق روش‌های مختللف برداشت آب باران شامل برداشت از سطوح آبگیر طبیعی، ساخت سدهای زیرزمینی و برداشت از سطوح آبگیر ساختمان در بسیاری از مناطق توسعه نیافته و در حال توسعه جهان توسط سازمان‌های مردم نهاد و دولت‌ها پشتیبانی شده و نتایج مثبتتی ببه هممراه داششته است. راهنماهای فنی مناسبی برای برداشت آب باران و ساخت مخازن بسیار ارزان آب ببباران در مننناطق روستایی تتدوین ششده و در دسترس هستند (Regional Land Management Unit، ۲۰۰۲).

از آنجا که بیشتر اجزاء سامانه برداشت آب باران در شرایط فرضی پیش گفته، بخشی از ساختمان محسوب می‌شوند، تأمین و نصب مخزن نگهداری آب باران مهمترین بخش از هزینه‌های ایجاد سامانه برداشت آب باران را به خود اختصاص می‌دهد. به طور کلی کارایی و اقتصادی بودن مخزن را می‌توان به میزان بارش سالانه، الگوی زمانی بارش، ابعاد سطح آبگیر به ویژه مساحت سقف، طراحی درست حجم مخزن، الگوی زمانی مصرف آب و هزینه تأمین و اجرای مخزن مرتبط دانست (Murray R. Hall، ۲۰۱۳).

برای تحلیل هزینه‌ها و منافع برداشت آب باران، ابتدا منافع و هزینه‌های بخش عمومی و خصوصی فهرست گردیده‌انند. ششخص یا مصرف کننده منفرد از طریق کاهش هزینه‌های پرداختی برای آب آشامیدنی و پساب، دارای منافع اقتصادی خواهد بود. همزمان همین شخص، بار اصلی هزینه‌های اجرا و نگهداری سامانه را بر دوش خواهد داشت. در مقابل، جامعه در صورت کاهش مصرف سرانه ببر اثثر استفاده از منابع جایگزین آب در ساختمان، از طریق تعویق یا لغو نیاز به توسعه ظرفییت تأسیسات آب دارای مننافع خواهد گردیید. فهرستی از این هزینه‌ها و منافع در جدول ۱ قابل مشاهده است.

سپس مقادیر کمّی اجزاء جدول ۱ برای دو ساختمان فرضی الف و ب با مشخصات و شرایط مندرج در جدول‌های ۲ و ۳ محاسبه شدند. سامانه برداشت آب باران از نوع توزیع مستقیم (بدون مخزن سقفی) در نظر گرفته شده است. با فرض استفاده از ببام ببه عننوان سطح آبگیر و ضرورت جمع‌آوری رواناب باران با لوله‌کشی جداگانه براساس مقررات ملی ساختمان در ایران، هزینه این بخش‌ها صفر در نظر گرفته شده است. به همین دلیل هزینه‌ی اصلی احداث سامانه مربوط به اجرای مخزن و تجهیز سامانه توزییع ببه لوللههها و پممپ خواهد بود. در مثال‌های مورد تحلیل اجرای سامانه هم زمان با اجرای ساختمان فرض شده است. هزینه‌های لوله‌کشی مورد نییاز ببرای برداشت آب باران، در ساختمان‌های در حال ساخت چندان قابل توجه نیست و به طور متوسط ببه ازای هر واحد آپارتممانی، اججرای سامانه لوله‌کشی مجزا برای آب غیر آشامیدنی ۹ متر لوله کشی آب، اضافه ببر میییزان معممول نییاز دارد (Syed Azizul Haq، ۲۰۱۷). علاوه بر این هزینه‌ها، باید هزینه پمپ، انرژی مصرفی پمپاژ و به ویژه هزینه تأمین و اجرای مخزن را در نظر گرفت. ببر اسساس الگگوی بارش و الگوی مصارف غیرآشامیدنی برنامه‌ریزی شده برای تأمین از طریق برداششت آب ببباران، میییزان بهههروری سسامانه ببرای احججام مختلف مخزن محاسبه شده است. بهره‌وری سامانه برداشت آب باران، بر اساس تعریف به نسسبت آب ببباران برداششت ششده، ببه ببارش دریافت شده توسط سطح آبگیر، گفته می‌شود. ابعاد مخزن یکی از پارامترهای اصلی تعیین کننده میزان بهره‌وری سامانه‌های برداشت آب باران بوده و کاهش حجم مخزن با افزایش احتمال وقوع سرریز می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری کلی سامانه گردد. هزیننه تصفیه

آب باران نزدیک به صفر در نظر گرفته شده است. تصفیه اولیه با استفاده از توری ریزدانه با دانه‌بندی ۰/۵ میلی متر، استفاده از مخزن انحراف بارش اولیه و در مرحله بعدی ترسیب ذرات بسیار ریز در مدت نگهداری آب باران در مخزن انجام می‌شود.

جدول ۱- فهرستی از هزینه‌ها و منافع برداشت آب باران برای فرد و جامعه

فرد بازیابی کننده	
سود	**هزینه**
کاهش هزینه آب مصرفی کاهش احتمالی هزینه پساب تولیدی (بسته به نظام تعرفه)	هزینه اجرای لوله‌کشی پیچیده‌تر برای توزیع آب باران تا نقطه مصرف هزینه لوله‌کشی جمع‌آوری آب باران (با توجه به جدا بودن لوله‌کشی رواناب در ساختمان‌ها بر اساس مقررات ملی ساختمان در ایران، از این بخش هزینه صرف نظر شده است.) هزینه اجرای مخزن هزینه‌های بهره‌برداری و انرژی مصرفی برای تصفیه و انتقال آب هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری هزینه استهلاک و تعمیرات
جامعه	
سود	**هزینه**
منافع حاصل از تعویق یا لغو نیاز به افزایش ظرفیت واحدهای تولید آب یا تصفیه پساب به دلیل کاهش سرانه کاهش هزینه انتقال آب به اماکن (قابل اغماض)	با توجه به پاکیزگی آب باران نیاز چندانی به نظارت در دوره بهره‌برداری نبوده و همچنین هزینه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی ناچیز در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۲- مشخصات و فرضیات ساختمان الف

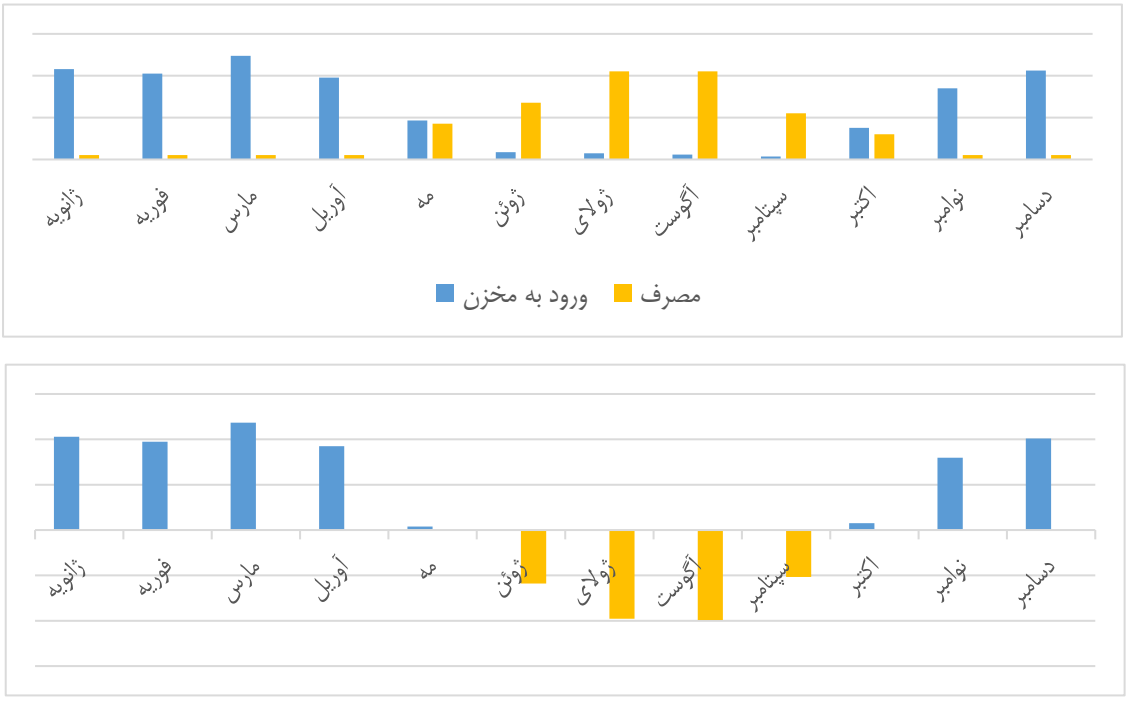
فرضیات	نوع کاربری:	ساختمان مسکونی ۴ واحدی فرضی در تهران	
	کاربرد آب:	آبیاری فضای سبز و شستشوی خودرو	
	نیاز آبی سالانه آبیاری:	۱۵۰۰۰ لیتر	
	نیاز آبی سالانه شستشوی خودرو:	۵۰ بار شستشو با واترجت یا سطل، ۲۵۰۰ لیتر	
	مساحت بام:	۱۱۰ متر مربع	
	مساحت محوطه:	۱۰۰ متر مربع شامل ۳۰ متر مربع گلکاری و فضای سبز، ۲۰ متر مربع مسیر تردد خودروها به پارکینگ و بقیه آن سنگفرش	
	نوع تصفیه اولیه رواناب بام:	مخزن ترسیب با حجم ۲۰۰ لیتر	
	نوع سقف:	مسطح با پوشش موزائیک صاف	
داده‌ها	میانگین تعداد روزهای بارانی سالانه:	۵۰ روز	داده هواشناسی
	میانگین بارش سالانه:	۲۲۹ میلی‌متر	داده هواشناسی
	میزان تلفات اولیه در هر بارش:	۰/۷۵ میلی‌متر	برآورد در مقایسه با پوشش سیمانی
	میزان تلفات مستمر:	۲۰ درصد	برآورد

با در نظر گرفتن الگوی ماهانه بارش باران، و توزیع فرضی مصرف آب (شکل ۱) و داده‌های جدول ۲، حجم مخزن مورد نیاز ساختمان الف برای بهره‌وری حداکثری سامانه، برابر ۱۵۳۸۵ لیتر محاسبه شده است. برای محاسبه حجم مخزن، علاوه ببر داده‌های بارش و توزیع فرضی مصرف، حجم مرده مخزن برابر ۲۰درصد و میزان بهره‌وری سامانه با تقریب ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. با مراجعه به چند شرکت تولید کننده مخازن پلی اتیلن آب آشامیدنی افقی و مکعبی، قیمت تقریبی مخزن عمودی استوانه‌ای پلی اتیلن به حجم ۶۰۰۰ لیتر، برابر ۳۱ میلیون ریال، مخزن عمودی استوانه‌ای پلی اتیلن به حجم ۱۰۰۰۰ لیتر، برابر ۵۵ میلیون ریال و مخزن عمودی استوانه‌ای پلی اتیلن به حجم ۲۰۰۰۰ لیتر، برابر ۱۰۰ میلیون ریال، برآورد می‌گردد. همچنین با در نظر گرفتن الگوی ماهانه بارش باران، و توزیع فرضی مصرف آب و داده‌های جدول ۳، حجم مخزن مورد نیاز ساختمان ب، برای بهره‌وری حداکثر سامانه برابر ۳۹۴۶۱ لیتر محاسبه شده است. بدیهی است که با در نظر گرفتن بهره‌وری کمتر حجم مخزن متفاوت خواهد بود. با مراجعه ببه چند شرکت تولید کننده مخازن پلی اتیلن آب آشامیدنی افقی و مکعبی، قیمت تقریبی مخزن افقی استوانه‌ای پلی اتیلن ببه حجم ۳۵۰۰۰

لیتر، برابر ۱۸۰ میلیون ریال، برآورد شده است. هزینه‌ها بر مبنای استعلام قیمت در تابستان ۱۳۹۷ برآورد گردیده‌اند. در اینن مقاله برای اختصار به جزئیات مربوط به محاسبات طراحی اجزاء سامانه که در پیوست ۳ سند "منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها" ارائه شده‌اند، اشاره نمی‌شود (راهدان سماء، ۱۳۹۷).

جدول ۳- مشخصات و فرضیات ساختمان ب

فرضیات	نوع کاربری:	ساختمان مسکونی ۴ واحدی در رشت	
	کاربرد آب:	پر کردن سیفون توالت	
	نیاز آبی سالانه پر کردن سیفون:	۳ بار تخلیه سیفون به ازای هر نفر در روز، حجم سیفون ده لیتر، بعد خانوار ۴ نفر و تعداد واحد ۴، مجموعاً ۱۷۵۲۰۰ لیتر	
	مساحت بام:	۱۱۰ متر مربع	
	مساحت محوطه:	۱۰۰ متر مربع شامل ۳۰ متر مربع گلکاری و فضای سبز، ۲۰ متر مربع مسیر تردد خودروها به پارکینگ و بقیه آن سنگفرش	
	نوع تصفیه اولیه رواناب بام:	مخزن ترسیب با حجم ۲۰۰ لیتر	
	نوع سقف:	مسطح با پوشش موزائیکی صاف	
داده‌ها	میانگین تعداد روزهای بارانی سالانه:	۱۳۸ روز	داده هواشناسی
	مبانگین بارش سالانه:	۱۳۳۲میلی‌متر	داده هواشناسی
	میزان تلفات اولیه در هر بارش:	۰/۷۵ میلی‌متر	برآورد در مقایسه با پوشش سیمانی
	میزان تلفات مستمر:	۲۰ درصد	برآورد



شکل ۱- مقایسه میزان ورود آب به مخزن و مصرف در ماه‌های مختلف سال (بالا) و بیلان آب در مخزن (پایین) در ساختمان فرضی الف

در قدم بعدی این هزینه‌ها به هزینه سالانه تبدیل شده‌اند تا تحلیل این آن‌ها در کنار هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری به سادگی قابل انجام باشد. برای این منظور نرخ سود بانکی ۱۸ درصد، نرخ تورم ۱۵ درصد و نرخ سود خالص ۳ درصد، ببرای محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن این فرضیات، هزینه سالانه تأمین مالی برای سرمایه‌گذاری در اجرای سامانه برداشت آب باران در ساختمان‌های الف و ساختمان ب به ترتیب برابر ۳،۴۳۸،۶۰۰ ریال و ۶،۴۰۸،۶۰۰ ریال محاسبه می‌شود. هزینه‌ی

بهره‌برداری و نگهداری سامانه برداشت آب باران بستگی به میزان انرژی مصرفی، نیروی انسانی مورد نیاز، هزینه قطعات نیازمند تعویض (مثل فیلترها) و سرویس‌های روزمره خواهد داشت. این هزینه‌ها ناچیز و نزدیک به صفر در نظر گرفته شده‌اند. سامانه طراحی شده بر اساس محاسبات طراحی، در ساختمان فرضی الف قادر به تأمین حدود ۲۰۰۰۰ لیتر و در ساختمان ب قادر به تأمین ۱۷۱۱۸۹ لیتر آب غیر آشامیدنی خواهد بود (راهدان سماء، ۱۳۹۷). فرض شده است که این میزان آب غیر آشامیدنی تأمین شده از محل برداشت آب باران، منجر به کاهش همین میزان مصرف در آب آشامیدنی خواهد گردید. اگر چه این تناظر انندکی مورد تردید بوده و برخی از مطالعات نشانگر عدم انعکاس مستقیم آب برداشت شده از محل جمع‌آوری آب باران با صرفه‌جویی حاصله در آب آشامیدنی هستند (Gato، ۲۰۱۶).

جدول ۴- هزینه‌های برآوردی لوله‌کشی، انتقال و نگهداری آب باران به هنگام اجرای ساختمان الف

	واحد	مقدار	هزینه واحد(ریال)	هزینه کلی(ریال)
لوله آب (پلی پروپیلن، سایز ۳/۴ اینچ)	متر	۶	۴۵،۰۰۰	۲۷۰،۰۰۰
پمپ شناور کوچک	قطعه	۱	۳،۰۰۰،۰۰۰	۳،۰۰۰،۰۰۰
مخزن و متعلقات (پلی‌اتیلن گرید خوراکی استوانه‌ای با حجم ۲۰ هزار لیتر)	واحد	۱	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰
اجرت نصب و اجرا				۲۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۱۲۳،۲۷۰،۰۰۰

جدول ۵- هزینه‌های برآوردی لوله‌کشی، انتقال و نگهداری آب باران به هنگام اجرای ساختمان ب

	واحد	مقدار	هزینه واحد(ریال)	هزینه کلی(ریال)
لوله آب (پلی پروپیلن، سایز ۳/۴ اینچ)	متر	۳۶	۴۵،۰۰۰	۱،۶۲۰،۰۰۰
پمپ (یک کیلو وات، هد ۵۰متر، دبی ۱۰۰لیتر در دقیقه)	قطعه	۱	۷،۰۰۰،۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰
مخزن و متعلقات (پل‌اتیلن گرید خوراکی افقی استوانه‌ای با حجم ۳۵ هزار لیتر)	واحد	۱	۱۸۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۸۰،۰۰۰،۰۰۰
اجرت نصب و اجرا				۲۵،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۲۱۳۶۲۰۰۰۰

جدول ۶- درآمد سالانه حاصل از برداشت آب باران برای شستشوی خودرو و آبیاری

	سالانه (لیتر)	تعرفه آب (ریال)	تعرفه فاضلاب (ریال)	جمع
درآمد آب بازیابی شده در ساختمان الف	۲۰۰۰۰	۵۱۰۰	۳۵۷۰	۱۷۳،۴۰۰ ریال
هزینه سالانه آب بازیابی شده در ساختمان الف	-	-	-	۳،۴۳۸،۶۰۰ ریال
درآمد آب بازیابی شده در ساختمان ب	۱۷۱۰۰۰	۵۱۰۰	۳۵۷۰	۱،۴۸۲،۵۷۰ ریال
هزینه سالانه آب بازیابی شده در ساختمان ب	-	-	-	۶،۴۰۸،۶۰۰ ریال

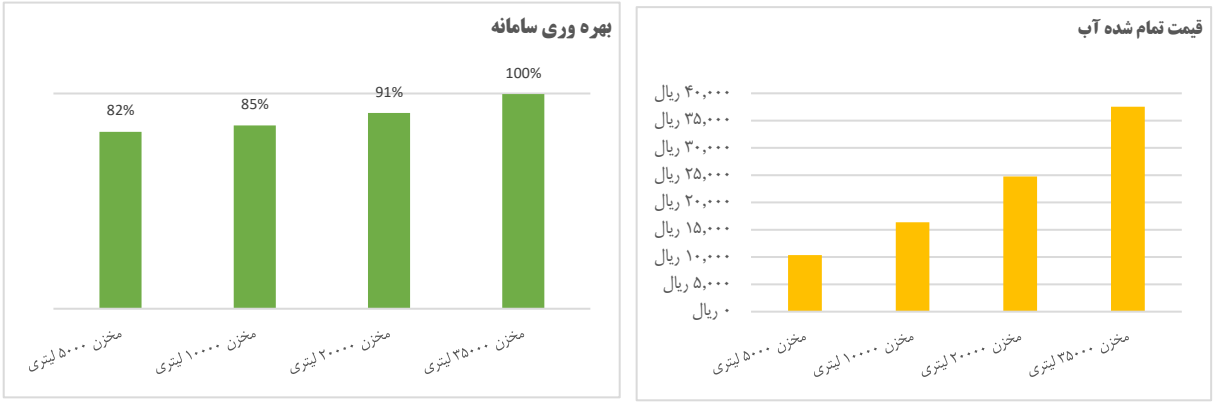
تحلیل اقتصادی برداشت آب باران

جاذبه اقتصادی ناشی از کاهش مصرف آب و به تبع آن کاهش هزینه آب و فاضلاب در کنار علاقه‌مندی فرهنگی به مشارکت در کاهش مصرف آب، انگیزه‌های اصلی ایجاد سامانه‌های برداشت آب باران در جهان هستند. مقایسه میزان درآمد حاصل از برداشت آب باران از محل کاهش هزینه آب و فاضلاب با هزینه‌ها، اجرای سامانه را از نظر اقتصادی برای شهروندان چندان جذاب نشان نمی‌دهد. بخش عمده‌ای از هزینه‌های اجرایی سامانه‌های برداشت آب باران مربوط به تأمین و اجرای مخزن نگهداری آب باران است. ککاهش هزینه‌ها تا حدودی با استفاده از مخازن ارزان‌تر و استفاده از مخزن کوچک‌تر در برخی از شرایط ممکن خواهد بود. استفاده از مخازن مدفون ساخته شده از سازه‌های سه بعدی جعبه‌ای که با استفاده از ژئوتکستایل پوشیده و آب‌بندی می‌شوند راه حلی نسبتاً ارزان برای نگهداری آب باران است که به صورت گسترده‌ای در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین کاهش ابعاد مخزن اگر چه ببه ککاهش بهره‌وری سامانه منجر خواهد شد، می‌تواند به کاهش هزینه اجرایی سامانه برداشت آب باران کمک کند. این روش منحصراً زمانی قابل

استفاده است که همزمانی نسبی میان مصرف و بارش وجود داشته باشد. در ساختمان الف، عدم همزمانی بسیار زیادی میان مصرف آب و بارش باران وجود داشته و عملاً کاهش ابعاد مخزن بی معنی است. در ساختمان ب، بخش زیادی از مصرف بها ببارش باران همزمان بوده و بنا بر این به قیمت کاهش بهره‌وری و راندمان سامانه، می‌توان از مخزن کوچکتری استفاده کرد. ارتباط صرفه اقتصادی سامانه از طریق مدل کردن قیمت تمام شده آب باران در احجام مختلف مخزن برای ساختمان‌های الف و ب به انجام رسیده است. نتیجه این محاسبات در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده هستند. این تحلیل نشان می‌دهد که اگر چه استفاده از مخزن با حجم کمتر در ساختمان ب در رشت باعث افزایش سرریز و کاهش راندمان سامانه شده است، اما این کاهش راندمان منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی سامانه نشده و قیمت تمام شده آب برداشت شده در مخازن کوچک‌تر کمتر است.

با توجه به شکل ۳ برای اقتصادی شدن برداشت آب باران در ساختمان ب، تغییر مختصری در تعرفه آب کافی است. مضاف بر این که در نظر گرفتن قیمت نهایی در نقطه سر به سر برای برآورد منافع بخش عمومی قطعاً به بهبود چشمگیر جذابیت اجرای این راهبرد در مثال فرضی ب خواهد انجامید. با توجه به اجرای گزینه‌های بسیار پر هزینه شیرین‌سازی آب دریا در بسیاری از شهرهای ساحلی ایران قیمت نهایی در نقطه سر به سر، به سادگی می‌تواند از مرز ۳۰۰۰۰ریال به ازای هر متر مکعب عبور کرده و افزایش بهره‌وری سامانه را دست کم از دید منافع عمومی واجد جذابیت اقتصادی قرار دهد.

شکل ۲- مقایسه بهره‌وری سامانه و قیمت تمام شده برداشت آب باران برای ساختمان الف با تغییر حجم مخزن



شکل ۳- مقایسه بهره‌وری سامانه و قیمت تمام شده برداشت آب باران برای ساختمان ب با تغییر حجم مخزن

نتایج و گام‌های پیش رو

برداشت آب باران به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آب جایگزین یا نامتعارف در ساختمان‌ها، در کنار ده‌ها راهبرد ناگزیر دیگر، جزئی از تصویری بزرگ‌تر است که مدیریت یکپارچه آب آشامیدنی نامیده می‌شود. همه اجزاء این تصویر بایید ببه صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و بر اساس اهمیت و اولویت فنی و اقتصادی و همچنین در نظر گرفتن همه عواید و مخاطرات، به کار گرفته شوند. از

آنجا که این ظرفیت‌ها بستگی به شرایط اقلیمی و شیوه مصرف آب دارند، ارزیابی پتانسیل‌های عملی این راهکارها برای به ککار گرفتته شدن در ایران و همچنین مطالعه جزئیات فنی مرتبط با این روش‌ها و مرور ملاحظات و فن‌آوری‌های مرتبط دارای اهمیت است.

تحلیل شکل ۳ نشان می‌دهد که برداشت آب باران در برخی مناطق کشور می‌تواند از نظر اقتصادی قابل توجیه بوده و همچنین به دلایل اقتصادی از منظر بخش عمومی در مقایسه با منابع آب نامتعارف و انتقال بین حوزه‌ای آب دارای جذابیت باشد. یککی از راه‌های اقتصادی شدن برداشت آب باران که در برخی نقاط جهان از جمله در کشور قبرس و برخی نقاط استرالیا تجربه شده است، اجرای سیاست‌های حمایتی مثل اعطای کمک‌های بلاعوض یا وام‌های بلند مدت به اشخاص برای اجرای سامانه‌های برداشت آب بباران است. همچنین استفاده از ابزارهای حاکمیتی و الزامات و مقررات ملی نظیر مقررات ملی ساختمان می‌تواند برای الزام اجباری شهروندان ببه مشارکت در تأمین بخشی از نیاز آبی در مناطق پر باران کشور مورد توجه قرار داده شود. این سیاست در صورتی که قیمت تمام شده برداشت آب باران، هم ردیف قیمت تمام شده مرزی تولید آب یا قیمت نهایی در مقیاس شهری باشد، در مقیاس ملی قابل توجیه است. تحلیل قیمت تمام شده آب در ساختمان ب نشان داد که تهیه مخازن بزرگ جمع‌آوری آب باران گاه نسبت ببه قیممت‌های متعارف خرید تضمینی آب از آب شیرین‌کن‌ها و همچنین قیمت تمام شده آب در بسیاری از طرح‌های انتقال آب از دوردست دارای مزیت اقتصادی است. بدیهی است که تحلیل انجام شده در مطالعات پیشا قانونگذاری، ببر اساس چچارچوبی کللی ببوده و تصمیم‌گیری در خصوص توجیه یا عدم توجیه دقیق اقتصادی چنین برنامه‌هایی نیازمند بررسی عیننی ببارش هر شهر و مششخص نمودن تیپیککال ساختمان‌های هدف طرح و اختصاص بهینه منابع بر اساس اولویت‌هاست. بر این اساس هرگونه رویه و سیاست‌گذاری صلبی یبا ایججابی در زمینه لزوم برداشت آب باران در ساختمان‌ها باید مبتنی بر شرایط خاص اقلیمی محل قرارگیری ساختمان باشد. سیاست‌گذار ممی-تواند اجرای سامانه برداشت آب باران را با توجه به وضعیت اقتصادی سامانه بر اساس قیمت آب آشامیدنی در نقطه ممرزی ککه قیممت نهایی[۲] خوانده می‌شود، اجباری یا اختیاری تلقی کند. قیمت نهایی و میزان بارش در مناطق مختلف ایران متفاوتند و تهیه فهرستی از مناطقی که مطابق مقررات، احداث سامانه برداشت آب باران در آن‌ها باید اجباری تلقی شود، می‌تواند به تتدریج ببه انججام رسسیده و از طریق به روزآوری دوره‌ای مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان اجرایی گردد. برای مثال اگر چه برداشت آب باران در شهر رشت با در نظر گرفتن قیمت آب بهای موجود برای شهروندان اقتصادی نیست، ولی با در نظر گرفتن قیمت آب آشامیدنی در نقططه ممرزی یبا قیممت نهایی، اجرای سامانه از نظر ملی اقتصادی خواهد بود. در چنین شرایطی دو راهکار برای اجرای سامانه‌های برداشت آب در چنین نواحی پر بارانی وجود خواهد داشت. نخست، سیاست‌گذار می‌تواند با وضع الزامات اجباری از طریق مقررات ملی ساختمان، ششهروندان را ببه مشارکت الزامی در ارتقاء بهره‌وری آب در ساختمان و کاهش سرانه از طریق ایجاد سامانه‌های برداشت آب بباران وادار کنند. همچننین بخش عمومی می‌تواند برداشت و مدیریت محلی آب باران در ساختمان را یک گزیننه ببرای ککاهش سسرانه و ککاهش نییاز ببه توسعه زیرساخت تأمین و توزیع آب تلقی کرده و از اجرای سامانه در نواحی پرباران حمایت مالی کند. این حمایت مالی از طریق مکانیزم‌های مختلفی قابل انجام است که اعطای مستقیم تسهیلات الزاماً بهترین آن‌ها نیست. همچنین در سایر مناطقی ککه برداششت آب بباران در مقیاس شخصی یا ملی اقتصادی نیست، سیاست‌گذار باید به تعیین چارچوب‌های فنی اجببای (آئیین‌نامه‌ها و مقررات) در خصوص برداشت آب باران اکتفاء کرده و شهروندان را در اتخاذ تصمیم در مورد اجرا یا عدم اجرای سامانه مختار بگذارد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برای انعکاس بخشی از تحلیل‌های صورت گرفته در مطالعات پیشا قانونگذاری مربوط به استفاده از منابع آب جـایگزین در ساختمان‌ها تنظیم گردیده است. این مطالعه تحت نظر دفتر مدیریت مصرف و ارتقاء بهره وری آب و آبفا وزارت نییرو و بـا حمایـت شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی توسط شرکت راهدان سماء صورت گرفته است.

منابع

- جمالی، ک. ۱۳۹۷. منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها. گزارش نهایی مطالعات پیشا قانونگذاری، وزارت نیرو، ۶۰۰ صفحه.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. 2016. Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook, 138 pages.

[2] Marginal Cost

- Hoare Lea. 2013. Grey Water for UK Housing, 80 pages.
- Roebuck R M, Oltean-Dumbrava C and Tait S. 2012. Can simplified design methods for domestic rainwater harvesting systems produce realistic water-savings and financial predictions?Water and Environmental Journal, 26 (3).
- R. Farreny, X. Gabarrell, J. Rieradevall. 2011. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean Neighbourhoods, Resources, Conservation & Recycling, 55: 686-694
- Chao-Hsien Liaw and Yao-Lung Tsai. 2004. Optimum Storage Volume of Rooftop Rainwater Harvesting Systems for Domestic Use. Journal of the AWWA. August: 901-912
- The cost effectiveness of residential rainwater tanks in Perth
- Marsden Jacob Associates. 2009. The cost effectiveness of residential rainwater tanks in Perth. 24 pages
- Regional Land Management Unit (RELMA). 2002. Low-cost methods of rainwater storage. 72 pages
- Murray R. Hall. 2013. Review of Rainwater Tank Cost-Effectiveness in South East Queensland. Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 105. 44 pages
- S. Gato-Trinidad, K. Gan. 2016. Preliminary analysis of the cost effectiveness of rainwater tanks rebate scheme in Greater Melbourne, Australia, WIT Transactions on Ecology and he Environment, T Vol 153: 127-138
- Syed Azizul Haq. 2017. Harvesting Rainwater from Buildings. Springer. 282 pages