DOI : 10.22034/jrenew.2024.193130

سال یازدهم، شماره دوم، پائیز و زمستان 1403، ص ص 46- 37

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: 1402/03/05

تاریخ پذیرش: 402/11/28

امکان‌سنجیِ پتانسیلِ جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام (مطالعه موردی: دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران)

مرجان رستمی گرجی[1]، فاطمه شعبان‌پور کاسگری[1]، مصطفی قلی‌پور گشنیانی[2*]

1 -دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

2- استادیار، مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

* بابلسر، 47411-51167 ، m.gholipour@umz.ac.ir

چکیده

اساسی‌ترین نیازِ انسان، آب است. حقیقتاً ارزش آب، به‌سان عنصری پایدار و سازنده برای زندگی است. در سال‌های اخیر، با تغییر اقلیم و کاهش بارندگی و استفاده ناصحیح از منابع، به‌ویژه در ایران که بخش زیادی از آن را مناطق خشک تشکیل داده است، با مشکل کم‌آبی، روبرو هستیم. با توجه به پیک بارش‌ها در زمان محدود که منجر به آب‌گرفتگی معابر می‌شوند؛ بنابراین مناسب است، تدابیری اندیشیده شود تا با برنامه‌ریزی صحیح، نیازهای آبی، بهبود یابند. از آن‌جایی که جمع‌آوری آب باران از زمان‌های دیرینه در ایران، نهادینه بوده است؛ و با در نظر گرفتن تازه‌ترین هشدارِ نشستِ سازمان ملل۲۰۲۳، در مورد وخیم‌تر شدن وضعیت کم‌آبی؛ هدف این پژوهش، بررسی یک سیستم جمع‌آوری آب باران برای دانشگاه مازندران است که در جهت رسیدن به فناوری‌های سبز انجام پذیرفته است. در این راستا، مطالعه حاضر به قابلیت جمع‌آوری آبِ باران و تحلیل کمی و کیفی آن، پرداخته است. یافته‌ها در این پژوهش حاکی از آن هستند که در فصل پاییز با حجم مخزن ۱۵۰۰ متر مکعب و فصل زمستان با حجم مخزن ۷۵۰ متر مکعب و در فصل بهار با حجم مخزن ۶۰۰ متر مکعب و در فصل تابستان ۳۶۰ متر مکعب مورد نیاز است که بدین ترتیب با یک مخزن ۱۵۰۰ متر مکعبی در دانشکده هنر و معماری دانشگاه مازندران که نمونه مطالعاتی این پژوهش است؛ می‌توان در فصول کم‌آبی و در مواقع بحرانی کمبود آب، از پتانسیل آب‌های جمع‌آوری شده، استفاده نمود.

کلیدواژگان: آب باران، استحصال آب، امکان‌سنجی، فناوری سبز

Feasibility of roof top rainwater harvesting potential (case study: Faculty of Arts and Architecture, University of Mazandaran)

Marjan Rostami Georgie[1], Fateme Shabanpour Kasgari[1], Mostafa Gholipour Gashniani[2*]

1- Master's student, Architectural Engineering, Mazandaran University, Babolsar, Iran

2- Assistant professor, Department of Architecture, Arts and Architecture, Mazandaran University, Babolsar, Iran

* P.O.B. 47411-51167 Mazandran, Iran, m.gholipour@umz.ac.ir

Received: 26 May 2023 Accepted: 17 Feb. 2024

Abstract

The most basic human need is water. In recent years, we have been facing the problem of water shortage due to climate change, decreased rainfall and improper use of resources, especially in Iran, where a large part of the country consists of dry areas. At Mazandaran University, we have consistently witnessed surface runoff flooding. Therefore, it is appropriate to consider of a water management plan to address these needs through proper planning. rainwater harvesting has been an institutionalized practice in Iran since ancient times in Iran, and in light of the United Nation’s latest warning at the 2023 Water Conference regarding the worsening of the water shortage situation, the objective of this paper is to investigate a rainwater harvesting system for Mazandaran University to reach green technologies. the current paper focuses on the feasibility to rainwater harvesting, as well as quantitative and qualitative analysis. The findings in this study indicate that during the fall season, with a tank volume of 1500 cubic meters is recommended, while during the winter season, a tank volume of 750 cubic meters is enough. For the spring season, a tank volume of 600 cubic meters is recommended, and for the summer season, a tank volume of 360 cubic meters is sufficient, By implementing a 1500 cubic meter tank in the Faculty of Arts and Architecture, it is possible to harness the potential of harvesting water during periods of water shortage.

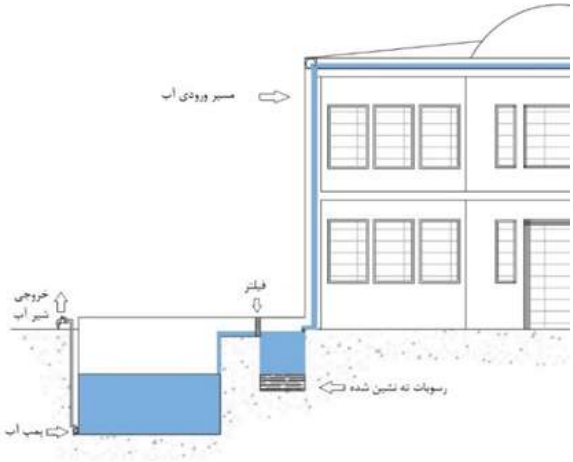
Keywords: Rainwater harvesting, Feasibility, Green technology

1- مقدمه

آب، این منبع گران‌بها که بدون آن قادر به زنده بودن نیستیم، نقش عمده‌ای در توسعهِ تمدن دارد. ولی شوربختانه توجه زیادی به آن نمی‌شود. تنش آبی در شهرهای جهان در قالب مصرف آب، طی ۱۰۰ سال گذشته، شش برابر افزایش یافته‌اند. تغییرات اقلیمی، منجر به بحران‌های جدیدی شده‌اند که خود را به‌صورت؛ موج گرما، رویدادهای بارندگی بی‌سابقه و سیل‌های ساحلی نشان داده و تا سال 2050 پیش بینی می‌شود که بیش از دو سوم جمعیت جهان، در مناطق شهری زندگی خواهند کرد و این بدان معنی است که شاهد تشدید بحران خواهیم بود[1].

با توجه به هشدارهای مسئولان و مدیران مرکز نظارت بر طرح‌های عمرانی از سال 1399 درخصوص مشکلات تأمین آب در شهرستان‌های بابلسر و هم‌چنین کاهش منابع آب در سایت پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی و خوابگاه‌ها، درخواست حداکثر صرفه‌جویی در مصرف آب را صادر کرده‌اند[2]. ازاین‌رو با توجه به این‌که دانشگاه مازندران با داشتن بیش از 13000 نفر دانشجو که مصرف‌کننده آب و با سطح اراضی 95 هکتار است و با توجه به اینکه پژوهش‌های اندکی در مورد پتانسیل برداشت آب باران از بام به‌ویژه در سطح موسسات دولتی گزارش شده اند، ضرورت دارد تا به بررسی چگونگی جمع‌آوری آب باران پرداخته شود.

از آن‌جایی که با بحران چشم‌گیر آب در کشور مواجه هستیم، پسندیده است تا نگرش پر رنگ‌تری در جهت بهره‌برداری و استفاده از آب باران؛ در جهت کاهش مصرف آب شهری و در مقیاس کلان‌تر به منظور جلوگیری از مشکل کم آبی تحقق پذیرد. از سویی دیگر شهر بابلسر که یکی از شهرهای استان شمالی است و از سرانه بارش باران نسبتاً مناسبی برخوردار است، به همین منظور، در این پژوهش، دانشکده هنر و معماری از دانشگاه مازندران به‌عنوان نمونه موردی در شهر بابلسر در نظر گرفته شد و قصد برا این است تا با امکان-سنجی استحصال آب باران از روی سقف‌های این دانشکده، به یک مدل مفهومی برای استفاده در کل دانشگاه و به تبع؛ مراکز آموزشی دست یافت. آب شرب مصرفی در ایران از آب‌های سطحی و منابع زیرزمینی تامین می‌شود؛ و این مطالعه در جهت کاهش استفاده از آن و در عوض؛ استفاده از آب باران است، چراکه با وجود میزان مجموع بارش سالانه بابلسر 896 میلیمتر که مقدار مناسبی است؛ این ایده قابل دستیابی به نظر می‌رسد است[3]. هدف از این مقاله، استحصال آب باران برای مصارف کاربردی «فلاش تانک‌ها و آبیاری» برای مجموعه هنر و معماری است که بسته به نوع تقاضا و میزان استحصال و زمان مصرف بررسی می‌شود. از این رو، نخست به بررسی سقف‌ها پرداخته می‌شود و سپس بسته به مساحت پشت بام‌ها، میزان جمع‌آوری آب باران مورد بررسی میدانی قرار می‌گیرد. این پژوهش به سبب ایجاد یک مدیریت جامع‌تر برای منابع آبی انجام می‌گیرد. روند کار بدین صورت است که از روان‌آب اولیه به‌دلیل دارا بودن غلظت بالای آلودگی در یک ساعت نخست، صرفه نظر می‌شود. اما در ساعات بعدی، میزان آلودگی به صورت تابع نمایی، کاهش می‌یابد. حجم ضروری رواناب اولیه، برای بیرون رانده شدن، متناسب با شدت بارندگی، شیب سقف و مقدار آلودگی تعیین می‌شود. سازمان محیط زیست ایالات متحده، برای مصارف غیرآشامیدنی، فیلتر رسوبی کوچکتری از 50 میکرون را تعیین کرده است [4]. طبق شکل 1، آب باران، به‌وسیله ناودانی و لوله‌ها به مخزن نخستین وارد شده که رسوبات در آن ته‌نشین می‌شود. سپس، از یک فیلتر شنی عبور کرده و سرریز آب، وارد مخزن اصلی شده و در نهایت به‌وسیله پمپ به مصرف می‌رسد.



شکل 1 جزییات مسیر رواناب و ذخیره در مخزن

2- پیشینه پژوهش

بررسی چگونگی جمع‌آوری آب باران از سقف‌های مسکونی شهرهای ساحلی پرباران، به‌وسیله روش شبیه‌سازی، تعبیه مخازن و استفاده از آب جمع‌آوری شده در فصل غیر موسمی صورت گرفته است و منتج به این شده است که برای شهرهای شمالی این روش مطلوب بوده و در نواحی خشک جنوب کشور نامناسب است [5]. ارزیابی اقتصادی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در مناطق خشک و نیمه خشک با هدف حفظ و جمع‌آوری آب مورد نیاز مصارف کشاورزی مناطق کم‌آب صورت پذیرفت و به جمع‌آوری آب‌های سطحی پرداخت. پس از اولویت‌بندی شاخص‌های موثر بر هزینه‌های سیستم جمع‌آوری آب، دریافته‌اند که عواملی چون میزان بارش، توپوگرافی، کاربری، نحوه مصرف آب و شرایط اقتصادی و اجتماعی نیز بر نوع کارکرد این سیستم‌ها تاثیر داشته است و سیستمی قابل اجرا است که هزینه استقرار پایین‌تری دارد [6].

در پژوهشی که با هدف تأمین نیاز آبی برای آبیاری فضاهای سبز شهری با استفاده از سیستم استحصال آب باران در کرمانشاه انجام گرفت، ابتدا مساحت سقف‌های کرمانشاه استخراج شده؛ سپس براساس آمار بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در بازه زمانی 65 ساله، حجم آب باران قابل استحصال از سطوح بام‌ها محاسبه شد. هم‌چنین میزان مصرف آب برای فضای سبز توسط سازمان فضای سبز استخراج شد. در نهایت مکان‌های مناسب برای ذخیره آب باران تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد حدود 58.4 درصد امکان استحصال آب باران از سطوح بام‌های شهر قابل جمع‌آوری است و اراضی داخل و حاشیهٔ شهر کرمانشاه به منظور احداث مخازن آب باران مناسب‌تر هستند [7]. در تحقیقی که به منظور تعیین مناطق مستعد برای استحصال روان‌آب از سیستم اطلاعات

جغرافیای جی‌آی‌اس[1] استفاده شد، با تهیه نقشه‌های مناطق استحصال آب و با در نظر گرفتن متغیرهای شدت بارش در بازه‌های زمانی متفاوت و دیگر عواملی چون بارش متوسط سالانه، متوسط شیب، نفوذپذیری خاک، سنگ‌شناسی سطحی و دما، به زمین‌های مناسب برای استحصال آب باران رسیدند و به این نتیجه دست یافتند که در مناطق شمالی استان اردبیل به‌دلیل اراضی گسترده‌تر، زمان بارش بیشتر، دما متوسط بالاتر و با ارتفاع روان‌آب ۷ سانتی متر، در این مناطق بیشترین پتانسیل به این منظور وجود دارد [8]. در پژوهشی دیگر به منظور مکان‌یابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران در پردیس دانشگاه حکیم سبزواری در سبزوار، از طریق مدل‌سازی با سیستم عامل مکانی به این نتیجه دست یافتند که با استفاده از مدل‌سازی؛ شرایط بارندگی برای محدوده مورد نظر و با در نظر گرفتن مساحت آب‌خیز، می‌توان مکان‌های مناسب استحصال را یافت و از این طریق اثبات شد که زمین‌های بایر و خالی جنوب دانشگاه با داشتن شیب ملایم و قرار داشتن در مسیر روان‌آب، بیشترین پتانسیل را برای جمع‌آوری آب باران دارند [9]. پژوهشی در جهت امکان‌سنجی جمع‌آوری آب باران از پشت بام خانه‌های روستایی در شهرستان مشهد انجام شد. ابتدا حجم نمونه از فرمول کوکران به دست آمد و پس از تشریح پرسش-نامه، تخمین زده شد که با این روش می‌توان 32/90 متر مکعب در سال صرفه‌جویی کرد. نتایج این تحقیق موجب اشتیاق مردم روستایی برای ترویج این عمل و صرفه جویی هرچه بیشتر در مصرف آب شده است [10]. پژوهشی با هدف امکان‌سنجی استحصال آب باران از روی بام‌های منطقه اهواز انجام شده است. پوشش بام‌ها با لایه ایزوگام عایق‌بندی بوده است و روان آب‌ها توسط لوله‌ای از پشت‌بام به مخزن هدایت می‌شده است. با اندازه گیری مقدار آب قابل استحصال در بازه زمانی مهر 1397 تا خرداد 1398 و با در نظر گرفتن اطلاعات سینوپتیک اهواز و ضرایب روان‌آب در هر ماه، نتایج نشان می‌دهند که علاوه بر تامین آب مصارف خانگی به جز آب‌شرب، از این آب جمع‌آوری شده، می‌توان در تامین آب مصرفی در حوزه‌های عمومی، آبیاری، تجاری و صنعت نیز بهره برد [11]. تحقیقی برای به‌دست آوردن مناطق مناسب و مستعد بارش باران و امکان جمع‌آوری آب باران در سواحل جنوبی دریای خزر، برای مدیریت در مصرف آب و جلوگیری از هدر رفت آن انجام شد. در پی آن با استفاده از داده‌های سینوپتیک ایستگاه هواشناسی بابلسر در بازه زمانی 68 ساله، اطلاعات بارش ماهانه، فصلی و سالانه جمع‌آوری شد. در نتیجه این تحقیق، شهر بابلسر به عنوان بیشترین پتانسیل بارش باران قرار گرفت و مقدار روان‌آب در سطح شهر حدود 696570 مترمکعب تخمین زده شد [12]. در مطالعه‌ای با هدف تعیین ضرایب روان‌آب سطوح مختلف بام‌ها انجام شده است که در جهت برداشتن گامی برای استحصال آب باران در منطق کم باران صورت گیرد. طبق آمار به‌دست آمده درصد روان‌آب هر کرت محاسبه گردید و به این نتیجه رسیدند که درصد روان‌آب قابل جمع‌آوری بر سطح پلاستیک پوشش شنی دارای بیشترین مقدار می‌باشد [13]. در ارزیابی اقتصادی بودن و قابل اطمینان بودن استحصال آب باران، از آن‌جایی که اندازه بهینه مخزن آب بر اساس منطقه جمع‌آوری شده، شرایط آب و هوایی، متفاوت است، راستی‌آزمایی برای حجم مخزن‌های مختلف بررسی شده است و مساحت استحصال سقف حداقل 250 متر مربع و اندازه مخزن 120 مترمکعب و بالاتر برای دستیابی به اطمینان بیش از 50٪ توصیه می‌شود. نصب سیستم‌های استحصال با دوره بازپرداخت کمتر از 4 سال قابل اجرا است. دوره بازگشت سرمایه برای مناطقی که بارندگی زیاد دارند کوتاه‌تر است [14]. در بررسی عملکرد زیست محیطی یک سیستم ترکیبی، که جمع‌آوری آب باران را با استفاده مجدد از آب خاکستری ترکیب می‌کند، با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر؛ فرآیند ارزیابی اثراتی که یک محصول بر محیط زیست در طول دوره عمر خود دارد و در نتیجه کارایی استفاده از منابع را افزایش و تعهدات را کاهش می‌دهد؛ این کار را انجام داده و آن را با یک سیستم متمرکز مقایسه می‌کند. در نتیجه فرآیند تصفیه آب آشامیدنی و فاضلاب به طور قابل توجه‌ای بر اثرات زیست محیطی تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی، مزیت آن به‌عنوان جایگزین برجسته‌ای برای مدیریت آب شهری است [15]. جمع‌آوری آب باران یک راه حل مبتنی بر طبیعت است که قابلیت جایگزینی برای استفاده در فلاش تانک سرویس بهداشتی را دارد. مصرف روزانه آب غیر شرب در مجموعه‌ای متشکل از چهار خانوار طی 24 ماه بررسی شد. یک روش استاندارد برای پیش‌بینی کارایی فشار آب به‌وسیله جمع‌آوری آب باران برای هر مکان دیگر و در نتیجه برای توسعه نمودارهای عرضه ملی در ایرلند استفاده شد [1]. برای کاهش میزان آلاینده‌های موجود در آب باران ناشی از برخورد آن با سقف، مطالعه‌ای انجام شد که مبنی بر آن، اثر تعداد مخازن را بر توزیع ذرات در سیستم‌های چند مخزن بررسی کردند. در اولین خروج آب از سیستم جمع‌آوری، می‌توان تا حدی از این هجوم ناگهانی آلاینده جلوگیری کرد، مشروط بر اینکه شرایط بارندگی برای عملکرد آن مساعد باشد. نتایج نشان می‌دهند بیش از 60 درصد از جرم ذرات ورودی در مخزن اول حفظ شده است. توصیه می‌شود، که حداقل از سه مخزن برای به دست آوردن مزایای این سیستم چند ذخیره‌ای استفاده شود [16]. برای مقابله با کم‌آبی، استحصال آب باران توسط دولت اتیوپی به عنوان یک جایگزین عملی و موثر برای بهبود معیشت با هزینه کم و با حداقل ورودی‌های خارجی پیشنهاد شده است. استحصال آب باران می‌تواند با در دسترس قرار دادن آن در طول دوره‌های خشک، تولید کشاورزی را بهبود بخشد. استحصال یکی از گزینه‌های استفاده بهتر از رواناب با جمع‌آوری و ذخیره‌سازی در زمانی که بارندگی فراوان است، برای فصل غیر موسمی مناسب است [17]. سیستم‌های جمع‌آوری باران توسط بسیاری از دولت‌ها برای کاهش کمبود آب شهری ترویج می‌شوند. با این حال، واریانس‌های مکانی و زمانی به طور قابل توجه‌ای بر عملکرد اقتصادی و فشار آب تأثیرگذار است. این مطالعه یک سیستم مبتنی بر شبیه‌سازی اس‌پی‌اس‌اس[2] را پیشنهاد می‌کند که از تحلیل اقتصادی برای حمایت از تصمیم‌گیری استحصال استفاده می‌کند و آن را با استحصال‌های پشت بام هفت دانشگاه در منطقه تایپه که به عنوان بخشی از پروژه پردیس پایدار اعمال می‌شود؛ تطبیق می‌دهد. نرم افزار اس‌پی‌اس‌اس پشتیبانی جامع‌تری را برای تصمیم‌گیری کاربران نهایی و سیاست‌گذاران فراهم می‌کند [18]. چرخه آبی که در آن روان‌آب شهری ممکن است به‌طور موقت در داخل شهر ذخیره استفاده شود، از خطر سیل و آلودگی می‌کاهد. مدیریت آب باران ابتکارات متنوعی دارد که سیستم‌های جمع‌آوری آب سطحی موجود را به چالش می-کشد. در جمع‌آوری آب باران شهری یک رویکرد آب پایدارتر را نوید می‌دهد. تنوع گسترده‌ای در سیستم‌های جایگزین مدیریت باران وجود دارد که از مخازن آب باران برای آبیاری باغ‌ها گرفته تا سازه‌های جمع آوری و ذخیره سازی رواناب در مقیاس بزرگ در محله‌های جدید را پوشش می‌دهد [19]. درتحقیقی که

1. GIS
2. SPSS

برای بررسی تاثیر آلاینده‌های آب باران جمع آوری شده از طریق پشت بام، که در آن استحصال از طریق مخزن آب باران، فیلتراسیون با استفاده از فوم شیشه بازیافتی و ژئوفابریک انجام شده است. در آزمایش کارایی فیلتر فوم شیشه بازیافتی سقف، مشخص شده است که از طریق چنین فیلتراسیون اکثر غلظت آلاینده‌ها در آب باران حدود 50٪ کاهش می‌یابد. برای غلبه بر شست‌وشوی این آلاینده‌ها، استفاده از لایه ژئوتکستایل با محیط فیلتر 30 سانتی‌متری، کاهش قابل توجهی از آلاینده‌ها از جمله حذف 87 درصدی تعداد باکتری‌های دفع شده را امکان‌پذیر می‌کند [20].

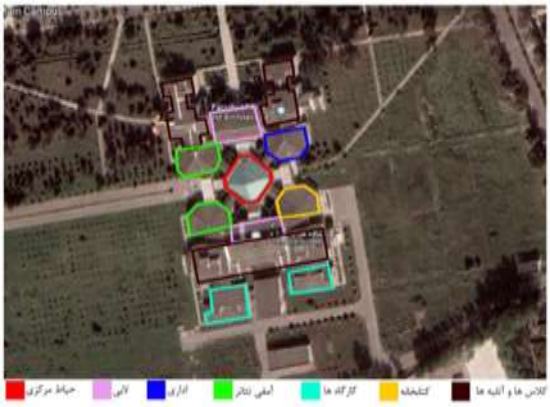
در نوشتار پیش رو، میزان تقاضای فعلی آب و همسو با آن، میزان آب ناشی از روزهای بارانی بررسی شده است که با آنالیز این موارد می‌توان به میزان قابلیت جمع‌آوری آب باران رسید. بنابراین مواردی که باید مورد کاوش قرار گیرند به ترتیب زیر است: الف) بررسی میزان آب مصرفی برای آبیاری ب) میزان آب مصرفی برای فلاش‌تانک‌ها پ) پیشنهاد حجم مخزن آب مصرفی آبیاری و فلاش‌تانک‌ها که متناظر با نمودار بارندگی سنجیده شده و حجم مخزن مناسب پیش بینی شده است.

3- منطقه مورد مطالعه

پردیس دانشگاه مازندران در شهرستان بابلسر در استان مازندران با موقعیت جغرافیایی °36 '42 1/79 "E °52 '38 26.39" N واقع شده است. جدول 1، داده‌های هواشناسی شهرستان بابلسر را نشان می‌دهد. دانشکده هنر و معماری در ضلع جنوب غربی این دانشگاه با مساحت حدود 7.3 هکتار است. این دانشکده از بخش‌های اداری، خدماتی، کلاس‌ها و آتلیه‌ها، کارگاه‌ها و حیاط میانی تشکیل شده است. اطلاعات مربوط به جمعیت دانشکده هنر و معماری حدود 800 دانشجوی معماری، 200 اساتید و نیروی خدماتی و 1500 دانشجوی حقوق که در حال تحصیل در این دانشکده هستند، که در مجموع 2400 نفر است. نقشه گوگل‌ارث[1] که بخش‌های مختلف از دانشکده مورد مطالعه را در محوطه دانشگاه نشان می‌دهد در شکل 2 نشان داده شده است. میانگین بارندگی در این منطقه 896 میلی‌متر با رطوبت 80٪ درصد گزارش شده است و توپوگرافی بستر نیز به صورت هموار با شیب 1٪ به سمت دریای خزر است [2].

جدول 1 داده های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

مقدار	میانگین	ملاحظات
میانگین بارندگی	896 میلی متر	فروردین 1331 تا اسفند 1396
رطوبت	80%	
دما	17.5 درجه سانتی گراد	
باد	1.4 متر بر ثانیه	باد غالب غربی
توپوگرافی		هموار
زمین شناسی		خاک ماسه‌ای

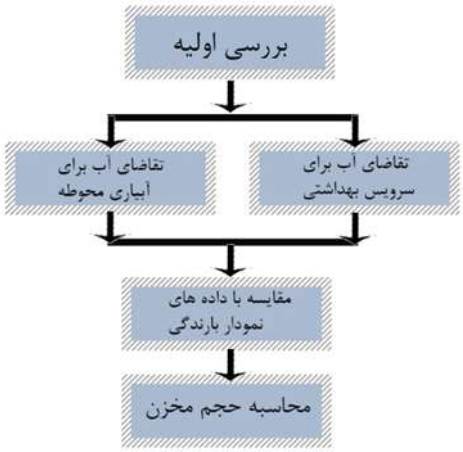


شکل 2 حوزه بندی بخش‌های پشت‌بام‌های دانشکده هنر و معماری

4- روش شناسی

در این مطالعه که به روش توصیفی انجام شده است، مطابق شکل 3 نخست برای جمع‌آوری داده‌ها، مشاهدات اولیه‌ی وضعیت فعلی و سنجش مساحت پشت بام از گوگل‌ارث و همسو با آن مصاحبه با دپارتمان فنی دانشگاه مازندران و برداشت‌های میدانی انجام شد. همگام با آن، داده‌های سینوپتیک اداره هواشناسی شهرستان بابلسر در دو دوره 70 ساله و 4 ساله، جمع‌آوری شد. در این راستا، با استعلام از واحد آموزش، تعداد مصرف‌کنندگان و تعداد سرویس-های بهداشتی، بدست آمد.

مطابق با ضوابط موجود در سرانه و مقایسه با دبی پشت‌باها و میزان مصرف فلاش تانک‌ها، قابلیت جمع‌آوری آبِ باران و حجم مخزن برآورد شد.



شکل 3 دیاگرام بررسی امکان‌سنجی جمع‌آوری آب باران

4-1- تجزیه و تحلیل کیفیت رواناب

نمونه گیری آب باران در آزمایشگاه بر اساس نوع پوشش بام صورت می‌گیرد؛ بنابراین حجم نمونه 1000 سی سی آب باران از بام ایرانیتی ساختمان‌های

1. Google earth

هنر و معماری در سه نوبت جمع‌آوری می‌شود و برای ویژگی‌های مختلف آب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. جدول زیر، نتایج توصیفی تجزیه و تحلیل خصوصیات بر روی رواناب بام است. با توجه به نتایج آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه آب باران از بام ایرانیتی که دامنه‌ی پ-هاش در بازه 2.84 الی 8.1 قرار گرفته است که می‌تواند برای آبیاری و دامنه‌ی سختی در بازه 52-53 است که برای فلاش‌تانک مناسب خواهد بود. بدیهی است برای استفاده های غیرشرب نمونه گیری های کیفی ضرورتی ندارد. [21].

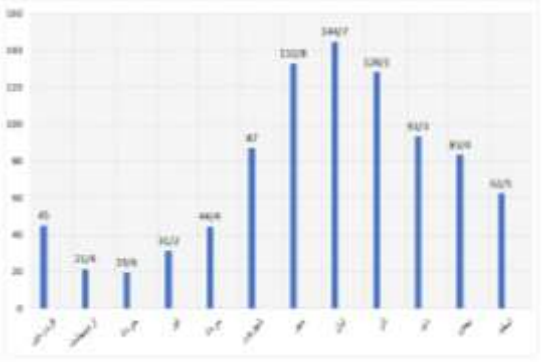
جدول ۲ نتایج آزمایش کیفیت شیمیایی نمونه آب باران از بام ایرانیتی

شماره	پارامترها	یکا	دامنه
۱	پی-هاش PH	-	۷.۸۴-۸.۱
۲	ای- سی EC	میلی موس بر سانتی متر	۰.۰۵۳-۰.۰۷۲
۳	کدورت N.T.U		۵-۲۰
۴	اکسیژن محلول	میلی گرم بر لیتر	۸ -۱۱
۵	شوری	درصد	۰
۶	سختی	میلی گرم بر لیتر	۵۲-۵۳

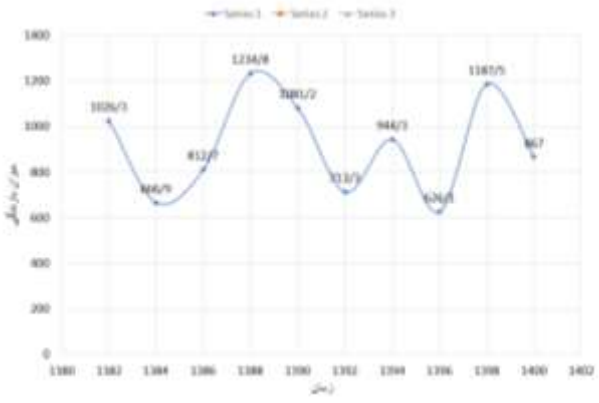
بعد از نمونه گیری و تعیین مواد تشکیل دهنده آب و مشخص شدن مقادیر پی-هاش، ای-سی، کدورت، اکسیژن محلول، شوری، سختی؛ به تجزیه و تحلیل و ارائه یک واحد فیلتر 50 میکرونی برای به دام انداختن رسوبات سقف، قبل از ورود به مخزن ذخیره توصیه می‌شود.

4-2- آمار بارندگی

داده‌های بارندگی از اداره هواشناسی بابلسر به مدت 70 سال (فروردین 1330 تا اسفند 1400) جمع‌آوری و به‌عنوان داده‌های استحصال آب باران در نظر گرفته شد. شکل 4 آمار بارش 70 ساله را با میانگین بارندگی بر حسب میلی‌متر در هر ماه و شکل 5 نمودار میزان بارندگی به تفکیک سال‌های 1382 تا 1400 را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

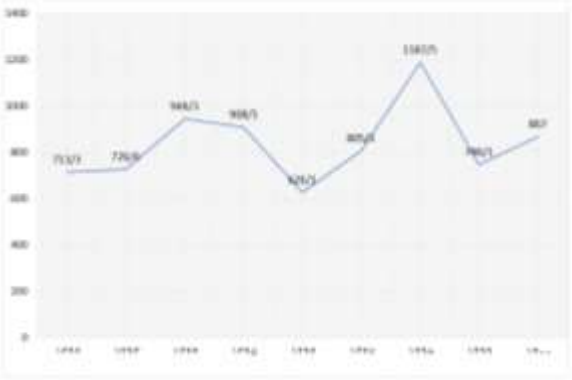


شکل 4 میانگین آمار ماهانه بارش 70 ساله



شکل 5 نمودار بارندگی 1400-1382

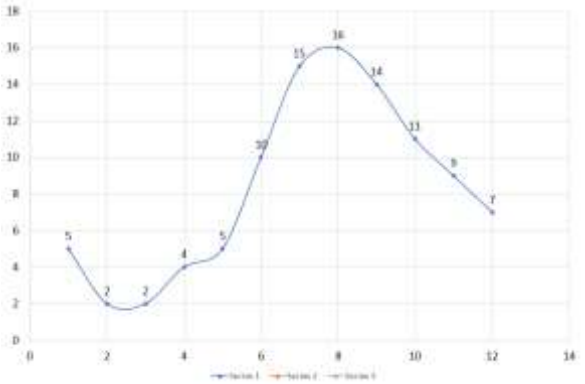
داده‌ها نشان‌دهنده میزان کم‌ترین بارش در طول سال‌های 1393-1396 است که در طی سال‌های 1397-1400 به میزان 100 میلی‌متر افزایش یافته است. شکل 6 نمودار میانگین بارندگی را از سال 1392 تا سال 1400 را گویا است.



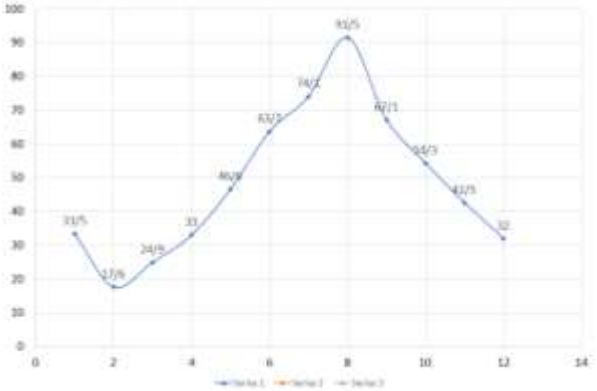
شکل 6 نمودار بارندگی سالانه 1400-1392

از طریق تجزیه و تحلیل آماری می‌توان نتیجه گرفت که مقدار میانگین تخمینی بارندگی (901میلی‌متر) در مقایسه با میانگین بارندگی سالانه بابلسر (887.7میلی‌متر) بسیار بالاتر بوده است.

در حالی که طبق شکل 7 که نمودار درصد بارندگی و شکل 8 که نمودار انحراف معیار را در 70 سال اخیر نشان می‌دهند، درصد وقوع 100 و انحراف معیار 171.8 نیز نوسانات را در رویدادهای بارندگی سالیانه نشان می‌دهند.



شکل7 نمودار درصد بارندگی 1330-1400



شکل 8 نمودار انحراف معیار بارندگی 1330-1400

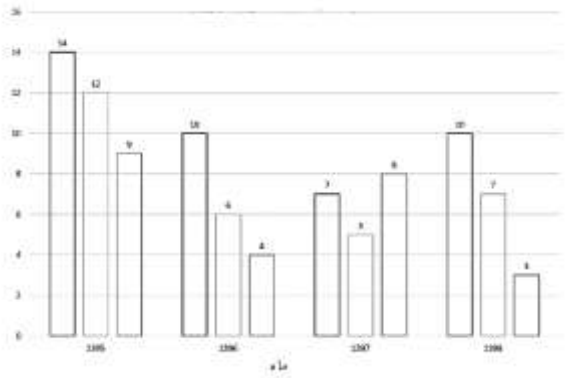
هم‌چنین میانگین حداکثر بارندگی1350.9 و حداقل آن 518.2 میلی-متر در شکل شماره 9 مشاهده شده است.

نتیجه داده‌های موجود، به وضوح نشان می‌دهد که ماه‌های آبان و آذر (حدود 416 میلی‌متر) بیشترین رویدادهای بارندگی را در مقایسه با ماه‌های دیگر ثبت کردند.

شکل 9 نمودار میانگین حداقل و حداکثر بارندگی

نکته حائز اهمیت این است که هر ساله فصل‌های بارانی از تیر ماه شروع و به‌طور کلی تا دی ماه غالب هستند. معمولاً در فصول بارندگی (مرداد الی دی‌ماه) کمبودی در منابع آبی وجود نخواهد داشت. در طول فصل تابستان، پردیس دانشگاه، برای پاسخگویی به تقاضای معمول آب با مشکلات کمبود آب مواجه است. تجزیه و تحلیل نمودارها بر روی داده‌های میانگین بارندگی ماهانه نشان دهنده مقدار میانگین 130.8 میلی‌متر است که عمدتاً به دلیل سه ماه پاییز، در اوج بارندگی بوده است.

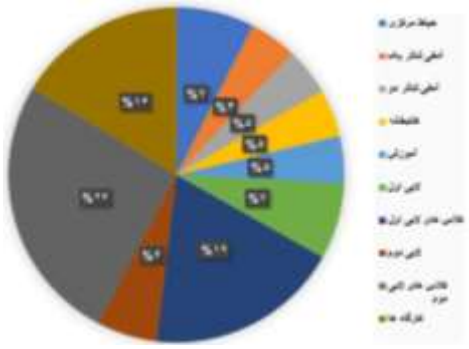
روزهای بارندگی سالانه ثبت شده برای سال‌های 1395 تا 1398 در شکل10 ارائه شده است. این الگو کاهش تدریجی روزهای بارندگی را با پیشرفت سال بیان می‌کند.



شکل 10 نمودار روزهای بارانی 1395-1398

4-3- منطقه مفید پشت‌بام

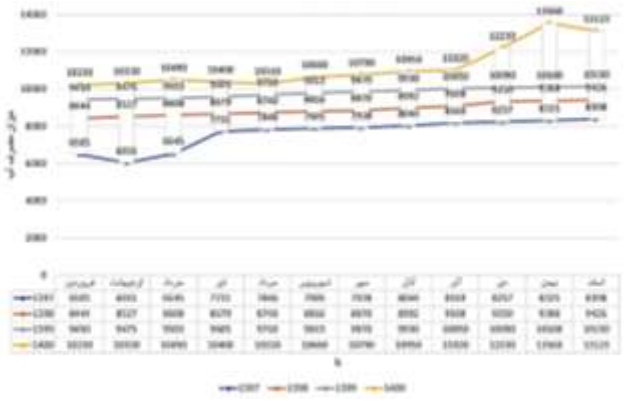
پس از بررسی میدانی مقدماتی، 10 واحد ساختمانی با مساحت مفید سقف برای مطالعه استحصال باران انتخاب شدند. مناطق پشت‌بام هر واحد ساختمانی در شکل 11 نشان داده شده است. حداکثر درصد مساحت سقف هر ساختمان برای مطالعه استحصال باران برآورد شدند. مساحت سقف‌های بزرگتر در این دانشکده به عنوان مساحت موثر در جمع آوری آب باران انتخاب شدند.



شکل 11 واحدهای دانشکده هنر و معماری با مقادیر مساحت سقف

4-4- تقاضای آب

عمده‌ترین عوامل موثر بر تقاضای آب، جمعیت ساکن در ساختمان است که به‌عنوان مصرف‌کننده به شمار می‌آیند. برآورد نیاز آب در دانشگاه‌ها یک عمل چالش برانگیز است؛ زیرا مصرف آب در این مکان‌ها متنوع است. داده‌های مستند تقاضای ماهانه آب از دفتر فنی دانشگاه استخراج شده است که در شکل 12 مشاهده می‌شود.

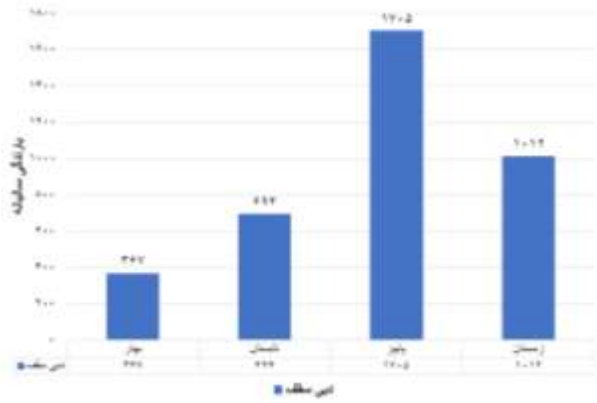


شکل 12 نمودار مصرف ماهیانه آب (1400-1397)

طبق آمار به دست آمده از داده‌های مصرفی آب دانشگاه، کم‌ترین میزان مصرف در ماه‌های اردیبهشت تا تیر با عدد (6031) در سال 1397 ثبت شده و بیشترین میزان مصرف از دی تا اسفند با عدد (13560) در سال 1400 گزارش شده است. میانگین مصرفی آب دانشکده هنر و معماری در بازه 1397 تا 1400، 9795 متر مکعب است.

4-5- میزان جمع‌آوری آب باران

با توجه به این‌که سال تحصیلی از مهر ماه آغاز می‌شود، بنابراین اوج حضور دانشجویان و زمان حداکثر مصرف، از این ماه در نظر گرفته می‌شود که تا خرداد ماه ادامه می‌یابد. طبق نمودار میانگین بارندگی، در بهار، کم‌ترین میزان بارندگی دیده می‌شود. در این راستا، سال تحصیلی با چهار بخش سه ماهه توزیع شده است. سپس به محاسبه دبی پشت بام‌های هنر و معماری در این سه ماه متوالی پرداخته شد. طبق فرمول(1) عرضه آب برای پاییز 1705 متر مکعب، زمستان 1012 متر مکعب، بهار 367 متر مکعب و تابستان 694 متر مکعب جمع آوری می‌شود.



شکل 13 نمودار مصرف ماهیانه 1400-1397

4-6- محاسبه میزان جمع‌آوری آب باران از بام

پتانسیل استحصال آب باران با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌شود. علاوه بر این، شیوه محاسبه جرم منحنی برای تخمین حجم مخزن استفاده می‌شود. در نهایت این تحقیق به یک مطالعه کاربردی و الگوی مفهومی برای قابلیت استحصال آب باران که می‌تواند در دانشکده‌های دیگر پردیس این دانشگاه مورد سنجش قرار گیرد، می‌رسد. بر اساس بارش محلی، پتانسیل برداشت آب باران پشت‌بام را می‌توان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد.

$$Q = CIA \quad (1)$$

در اینجا (Q) نشان دهنده دبی کل پشت‌بام بر حسب مترمکعب بر ثانیه، (C) نشان‌دهنده ضریب رواناب، (I) شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر و (A) نشان‌دهنده مساحت کل آبریز پشت‌بام است. برای مطالعه حاضر، پشت‌بام ساختمان با ورق آهن گالوانیزه پوشانده شده که دارای ضریب رواناب 0.9 است [22].

4-7- محاسبه قطر نامی لوله‌های قائم و افقی باران

طبق جدول محاسبه قطر لوله قائم باران بر اساس حداکثر تصویر سطح بام بر صفحه افقی برای سقف 220 مترمربعی، لوله دو اینچ، برای سقف 367 متر مربعی، لوله دو و یک دوم اینچ و به همین صورت برای سقف 1286 متر مربعی، لوله چهار اینچ مناسب است که در کل از دو تا چهار اینچ را شامل می‌شود و برای لوله‌های افقی بر اساس مساحت‌های متفاوت بام دانشکده هنر و معماری لوله‌های سه و چهار و پنج اینچ مناسب هستند [23].

4-8- محاسبه آب مصرفی برای آبیاری

با توجه به مصاحبه با دفتر فنی دانشگاه و محاسبه براساس تعداد پرسنل و ساعات آبیاری، می‌توان به دبی آب دست یافت. محوطه دانشکده به‌طور هفتگی، در کل شش روز، توسط 7 پرسنل، طی دو مرتبه و به مدت 1 ساعت در طول روز آبیاری می‌شود. قطر شلنگ، سه چهارم اینچ است که با توجه به ضوابط، معادل 5 گالن بر دقیقه و معادل 18.9 لیتر بر دقیقه، دبی آب محاسبه می‌شود.

برای یک ساعت آبیاری 1134 لیتر بر ساعت و برای هر 30 متر طول شلنگ میزان 0.3 افت فشار وجود دارد. حال مصرف روزانه آبیاری به ازای دو بار آبیاری به مدت دو ساعت و به ازای 7 نفر 4762 لیتر محاسبه است و در طول یک ماه محاسبه شود که 24 روز را در برگیرد، 112.8 متر مکعب است.

بنابر اظهارت بخش فنی، موسم آبیاری 15 فروردین تا 15 بوده است. بنابراین در پاییز و زمستان، مصرف آبیاری وجود ندارد که در این ماه‌ها تقاضا صفر در نظر گرفته می‌شود [24].

4-9- محاسبه آب مصرفی فلاش تانک‌های سرویس‌های بهداشتی

در یک بررسی میدانی که برای دانشکده هنر و معماری انجام شد، تعداد 50 سرویس بهداشتی وجود دارد. به ازای هر سرویس بهداشتی عمومی، مقدار 5 گالن بر دقیقه مصرف آب در نظر گرفته می‌شود. بنابراین 945 لیتر بر دقیقه معادل با 1000 لیتر و یک متر مکعب برای هر مصرف کننده در هر بار مصرف روزانه است. از سوی دیگر، اگر تعداد جمعیت مصرف کننده در دانشکده معادل 2400 نفر باشد، طبق نکته مذکور، 2400 متر مکعب آب در هر بار مصرف حاصل می‌شود و توجه به این نکته ضروری است که صرفاً میزان مصرف برای فلاش تانک‌ها در نظر گرفته شده است. چرا که از امکان تصفیه آب باران برای مصارف دیگر چشم‌پوشی شده است [24].

4-10- مکان یابی مخزن ذخیره سازی

در دانشگاه مازندران چندین نقطه برای مخزن در وضعیت فعلی وجود داشته که به‌واسطه‌ی گروه فنی مهندسی دانشگاه اجرا شده است. معمولاً معیار انتخاب موقعیت مخزن براساس جریان ثقلی آب تعیین می‌شود که در جهت به حداقل رسانی هزینه پروژه، با کاهش هد پمپاژ و فاصله پمپاژ است که در ساخت این مخازن، با صرفه نظر از شیب کمتر از 1٪ بنا شده‌اند.

4-11- طراحی مخزن ذخیره سازی

حجم مخزن ذخیره‌سازی بهینه با داشتن ورودی و تقاضای آب به‌عنوان یک معیار تصمیم‌گیری طراحی می‌شود. برای غلبه بر عوارض تعمیر و نگهداری،

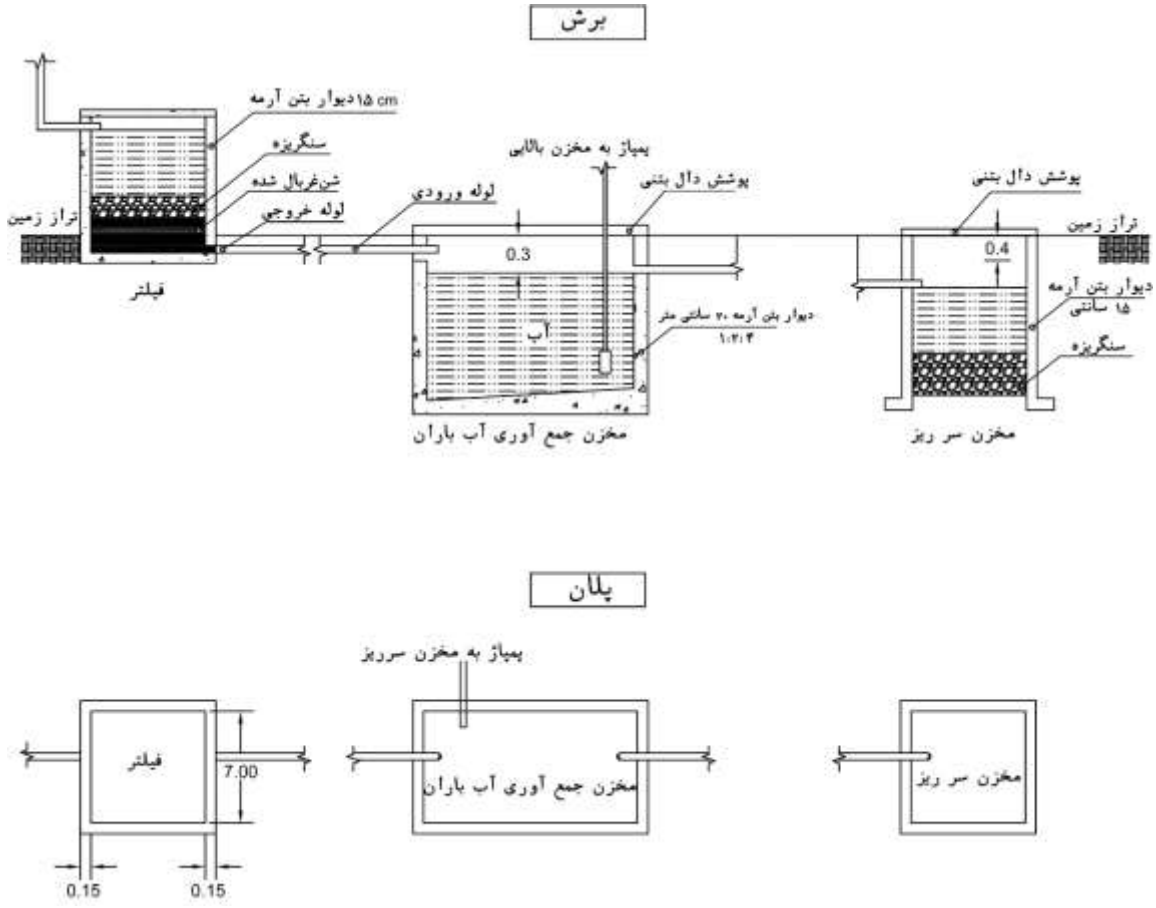
حجم آن؛ به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شود. بنابراین مخازن ذخیره، دارای دو قسمت، درنظر گرفته می‌شوند که در کنار هم، عملکردی بهینه ایجاد می‌کنند. نمودار شماتیک طراحی مخزن ذخیره پیشنهادی برای مخزن در شکل 15 ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کیفیت آب باران، یک فیلتر لایه‌ای شنی برای طراحی به کار گرفته شده است که متشکل از سنگریزه‌ها و شن غربال شده است. تمیز کردن مواد فیلتر برای کارایی سیستم فیلتراسیون موثر توصیه می‌شود. دیوارهای مخزن با بتن مسلح ساخته شده است. دال بالا و پایین توسط بتن سیمانی مسلح ساخته می‌شود. این روش ساخت در منطقه قابل اجرا و متداول هستند.

طبق میانگین آمار بارش 70 ساله، محاسبه مخزن آب از رابطه (2) به‌دست می‌آید:

$$V = \frac{nV^{\circ}}{2} \qquad (2)$$

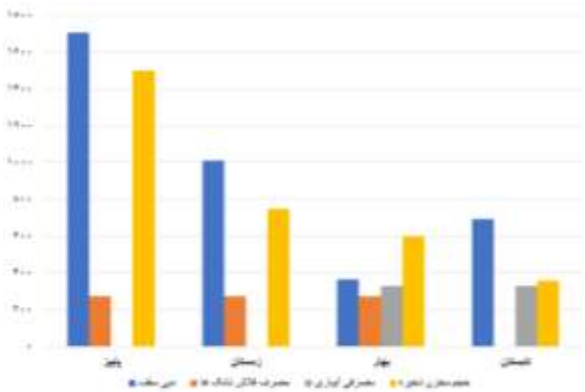
n تعداد استفاده کننده‌گان وV°سرانه مصرف عمومی فلاش تانک‌ها که معادل 18 لیتر و Vحجم مخزن را نشان می‌دهد. بر اساس مصاحبه با واحد آموزش دانشکده، جمعیت ماهانه دانشکده 51200 نفر است که با قراردهی در رابطه(۲) مقدار 460800 لیتر حاصل می‌شود. از آنجایی که همه مصرف‌کنندگان در آن واحد، فعال نمی‌باشند، در ضریب تقاضا که برابر 0.2 است ضرب می‌شود که عدد 932 متر مکعب برای مصرف در یک ماه فلاش تانک به‌دست می‌آید [24]. شکل 14 نمودار مقدار عرضه و تقاضا 4 فصل از سال تحصیلی را نشان می‌دهد.

شکل 15 نمودار



شماتیک مخزن ذخیره سازی آب باران

4-12- محاسبه مخزن ذخیره



شکل 14 نمودار عرضه و تقاضا در سه ماهه پاییز و زمستان و بهار و تابستان

بر اساس نمودار عرضه و تقاضا به دست آمده از داده‌های جمع‌آوری شده، در پاییز ماه دبی پشت‌بام 1705متر مکعب و مصرف فلاش تانک‌ها برای این سه ماه 276متر مکعب و مقدار مصرفی آبیاری صفر است. بر این اساس حجم مخزن 1500متر مکعب به‌دست می‌آید که این مقدار آب برای زمان کم‌آبی ذخیره می‌شود. به همین ترتیب برای فصل زمستان، دبی پشت‌بام 1012متر مکعب و مصرف فلاش تانک‌ها، برای این سه ماه 276متر مکعب و مقدار مصرفی آبیاری صفر است که حجم مخزن برای ذخیره آب 750متر مکعب محاسبه می‌شود. هم‌چنین برای فصل بهار دبی پشت بام 367متر مکعب و مصرف فلاش تانک‌ها برای این سه ماه 267متر مکعب و مقدار مصرفی آبیاری 330متر مکعب است که با 230 متر مکعب کسری بر اساس اختلاف موجود بین میزان بارندگی و میزان مصرف مواجه است. به همین دلیل در این سه ماه می‌بایست به مقدار کسری محاسبه شده از آب درون مخزن بهره برد. بر این اساس در این فصل حجم مخزن محاسبه شده، 600 متر مکعب است. این اطلاعات در فصل تابستان دارای دبی پشت‌بام 694 متر مکعب، بدون مصرف فلاش تانک به دلیل تعطیل بودن دانشگاه و مقدار مصرف آبیاری 330 متر مکعب است. با توجه به میزان 364 متر مکعب مازاد، این مقدار آب ذخیره خواهد شد. در نتیجه حجم مخزن در فصل تابستان برابر 360 متر مکعب خواهد بود. حجم مخزن نهایی از این چهار فصل برابر با 1500 متر مکعب می‌شود که پاسخگوی نیازهای دانشکده خواهد بود.

باید توجه داشت که براساس داده‌های هواشناسی، علی‌رغم آن‌که در سه ماهه پاییز، بیشترین میزان بارندگی وجود داشته؛ اما از سه ماهه بارندگی زمستان به‌علاوه فروردین ماه، استفاده شده؛ چراکه پیک مصرف آب در تابستان بوده است. نکته حائز اهمیت آن است که نمی‌توان برای تمامی فصول مخزن فراهم کرد چراکه هزینه بسیار زیاد آن توجیه اقتصادی نخواهد داشت و مسئله جدی راکد شدن آب اولویت داشته و نیز مصرف و جایگزین شدن مداوم آن مد نظر بوده که این امر را غیرمنطقی جلوه می‌دهد.

5-بحث و نتیجه‌گیری

با هدف ایجاد شیوه‌ای سبز در جهت حفظ و پایاسازی منابع و دستیابی به میزانی قابل قبول از ذخیره آب و صرفه‌جویی بهینه در مصرف آب و استفاده کمتر از منابع زیززمینی؛ این پژوهش انجام گرفت و در آن با بررسی کمی و کیفی و با جمع‌آوری داده‌ها، بررسی میدانی و مصاحبه و سپس محاسبه مساحت سقف‌ها و رسیدن به پتانسیل حجم جمع‌آوری آب باران و هم‌چنین بعد از بررسی سرانه مصرفی فلاش تانک‌ها و آب مصرفی در آبیاری محوطه دانشکده، درنهایت حجم پیشنهادی مخزن و برش و پلان شماتیک مخزن جمع‌آوری آب باران ارائه شد.

6- فهرست علائم

Q دبی سطح (m^3/s)

C ضریب روان‌آب

I شدت بارندگی (mm)

A مساحت (m^2)

n تعداد

V حجم (m^3)

$V°$ سرانه مصرف (L)

7-قدردانی

نویسندگان از مدیریت وقت دفتر فنی دانشگاه مازندرن، آقای مهندس مجید حق‌پناه و نیز آقای مهندس حجت رستمی گرجی و خانم مهندس میترا رستمی گرجی به پاس همه حمایت‌های مشتاقانه که نشان از مهرورزی به این مرز و بوم دارد سپاسگزاری می‌کنند.

8 -مراجع

[1] L. McCarton, S. O'Hogain, and A. Nasr, Special issue: NBS for resilient cities and communities the circular economy of water investigating the spatial variation of rainwater harvesting systems in Ireland. *Nature-Based Solutions*, 2022; https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100018

[2] *The system of management and supervision of the development of the provinces of the country*, Accessed 20 July 2023; https://nezarat.moi.ir/login?backUrl=/

[3] *Mazandaran Meteorology*, Accessed 11 march 2023; http://www.mazmet.ir/babolsar-climate/

[4] M. Sarafzade, and M. Rezaii, Assessing the quality of rainwater collected from the roofs and its treatment method, , *Rain catchment surface systems*, pp. 41–52, 2014. (in Persian).

[5] M. H. Rashidi, B. Saghafian, and M. S. Sadeghian, Performance Evaluation of Rainwater Harvesting on the Rooftops of Residential Buildings to Enhance Non-potable Water Demand in the Coastal Cities of Iran, *Scientific Quarterly Journal of Water Resources Engineering*, pp. 1-16, 2013. (in Persian)

[6] S. Nazarian, A. Najafi nejad, and R. Jolaii, Economic Evaluation of Rain Water Harvesting Systems in Arid and Semi-Arid areas, case study: Aq Emam Watershed, Golestan Province, *Journal of natural resource economics,* V: 2 I: 3, pp. 1-20, 2014. (in Persian)

[7] M. A. Parandin, H. Zolfaghari, and A. Fathnia, Rainwater Harvesting from Kermanshah City Roofs and Recognizing the Suitable Places for Water saving in Order to irrigate Urban Green Spaces, *Physical Geography Research Quarterly,* Volume:51 Issue: 109, 2019. (in Persian)

[8] A. Esmali Ouri, M. Golshan, and K. Khorshidi Mianaee, Zoning suitable sites for runoff harvesting with GIS and AHP (case study: Samborchay watershed, Ardabil Province), *Journal of Geography and Planning,* Volume:21 Issue: 61, pp. 37-56, 2017. (in Persian)

[9] A. Amir-Ahmadi, M. Ebrahimi, F. Beiramali, Site Selection Potential for Rain Water Harvesting Agent Based Spatial Modeling (Case Study: Pardis Hakim Sabzevari University), (76), 21, pp. 19-33, 2021, DOI:10.52547/GeoSpa.21.4.19. (in Persian)

[10] A. Adalatian, M. A. Ahmadian, A. Behniyafar, and M. Jahani Sani, Examining the Probability of the Villages' Water Use from Rooftop Aquifer Basin (A Case Study of Razaviyeh Division of Mashhad City). *Arid Regions Geographic Studies*; 8 (32), pp. 16-35, 2018. (in Persian)

[11] A. Assareh, and S. Jahangiri, Feasibility of Rainwater Extraction from Roof Insulation Surfaces in Ahwaz Weather Conditions, *Climatology Research Institute*, (13) 49, pp. 163-176, 2022. (in Persian)
[12] K. Solaimani, and F. Shokrian, Introducing a suitable method in selecting areas prone to rainwater harvesting on the southern coasts of the Caspian Sea with emphasis on Babolsar synoptic station, *Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran*, (11) 44, 2021. (in Persian)
[13] D. Niknezhad, and A. Nasseri, Determining Runoff Coefficient for Different Surfaces of Catchment Systems to Harvest Rain Water for a Dryland Region, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 2 (2) PP. 39-50, 2014. DOR: 20.1001.1.24235970.1393.2.2.1.6. (in Persian)
[14] S. C. Muhirirwe , V. Kisakye, and B. V. D. Bruggen, Reliability and economic assessment of rainwater harvesting systems for dairy production Resources, *Conservation & Recycling Advances*, (16), 2022, Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200079.
[15] G. M. Monsalve, L. G. Domínguez, X. Yan, S. Ward, O. E. R. Oca˜na,O, Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: A case study on a high water consumption household in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, (345), 2022, Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131125.
[16] J. Dissanayake, and M. Han, The effect of number of tanks on water quality in rainwater harvesting systems under sudden contaminant input, *Science of the Total Environment*, 2021, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144553.
[17] T. T. Tolossa, F. B. Abebe, and A. A. Girmal, Review: Rainwater harvesting technology practices and implication of climate change characteristics in Eastern Ethiopia, *Cogent Food and Agriculture*, 6:1, 1724354, 2021. DOI: 10.1080/23311932.2020.1724354.
[18] Y. R. Chiu, Simulation-based Spatial System for Rainwater Harvesting Systems In the Sustainable Campus Project, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 11:1, 213-217, 2012, DOI: 10.3130/jaabe.11.213.
[19] L. Suleiman, B. Olofsson, and D. Saurí, L, Palau-Rof, N. G. Soler, O. Papasozomenou, and T. Moss, Diverse pathways—common phenomena: comparing transitions of urban rainwater harvesting systems in Stockholm, Berlin and Barcelona, *Journal of Environmental Planning and Management*, 63:2, pp. 369-388, 2020. DOI: 10.1080/09640568.2019.15894322006.
[20] M. A. Imteaz, A. Arulrajah, and A. G. Yilmaz, Pollutant treatment efficiencies through rainwater tank, recycled foamed glass and geofabrics, *International Journal of Sustainable Engineering*, 14:5, 963-969, 2021. DOI: 10.1080/19397038.2020.1838660.
[21] Saadaldin, Amir, Bai, Mahbobeh, Naimi, Asghar, Biroudian, Nader, Karimi, Dawood and Jandaghi, Nader (2013). Evaluating the quantity and quality of rainwater that can be collected from the roof surfaces of buildings (case study: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources campuses), Water and Soil Conservation Research, 21(6), p.24 .(in Persian).
[22] S. S. Anchan, H. C. Shiva Prasad, Feasibility of roof top rainwater harvesting potential - A case study of South Indian University, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100206.
[23] D. Hadizade, *Complete facility reference*, Noavar: second edition, 2011. (in Persian)
[24] M. Tabatabai, *Calculation of building facilities*. Edit 6. Karon Publishing: National Library of the Islamic Republic of Iran, pp. 44, 1999.