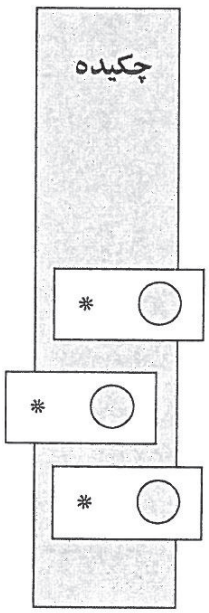
بهره گیری از رواناب شهری در تامین تقاضای محلی آب

حسن بیادی[1]، سیدحسین ثنایی نژاد[2]، محمدجواد احمدیان طبسی[3]

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۷/۴/۲۴)

چکیده

در این مقاله روشی مناسب جهت تامین آب با استفاده از پتانسیل‌های منابع آب و مصارف محلی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش از جمله روش‌های موسوم به استحصال مستقیم آب باران و رواناب سطحی است که با توجه به بحران‌های روزافزون آب، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله موارد اصلی که می‌بایست در رویکردهای اجرای چنین طرحی در نظر گرفته شود، نظیر مکان مناسب، محاسبات هیدرولوژیکی و ارزیابی اقتصادی، بررسی و در قالب یک مطالعه موردی در شهر مشهد، چگونگی توجه به این موارد بحث شده است. علاوه بر این یک نمونه اجرایی از چنین طرحی در شهر کاشمر ارایه و معرفی گردیده است. تاکید این مقاله بر ارایه طرحی جهت تامین آب با کمترین هزینه است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای تهیه و تامین آب شهری بخصوص فضای



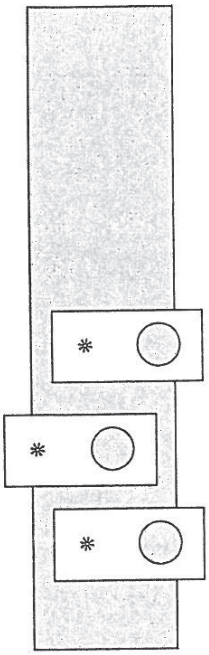
۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع (مدیریت سیستم و بهره وری)

۲- استادیار دانشگاه فردوسی

۳- رئیس اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی خراسان رضوی

سبز باشد و علاوه بر این سبب کاهش اثرات مخرب سیلاب‌های شهری شود. استفاده از امکانات یک منطقه و چالش موجود در آن (جاری شدن رواناب) در جهت استفاده بهینه و تبدیل این چالش به یک نکته مثبت و قابل بهره‌برداری، تعیین بهترین نقطه ذخیره جهت انتقال آب جمع‌آوری شده و توزیع آن که از هزینه‌های حمل و نقل نیز خواهد کاست، از مهمترین مشخصه‌های این طرح می‌باشد. مطالعه موردی شهر مشهد و نمونه اجرایی در شهر کاشمر می‌تواند به عنوان الگویی برای اجرای طرح‌های مشابه مد نظر قرار گیرد. با استفاده از تمهیدات خاص برای سایر مناطق مشابه می‌توان با این روش علاوه بر تامین آب، با احداث مخازن مناسب از قدرت تخریب رواناب‌ها و سیلاب‌های حاصل از آن در مناطق شهری کاست.

کلمات کلیدی: استحصال آب باران، رواناب شهری، مخازن ذخیره، مشهد.



مقدمه

عواملی همچون افزایش جمعیت، گسترش شهرها، رشد صنعت، افزایش سطح کشت محصولات کشاورزی و بهبود سطح بهداشت باعث افزایش روزافزون تقاضای جهانی آب گردیده است. توسعه، رفاه و امنیت، بدون تامین منابع آبی مورد نیاز امکانپذیر نبوده و به همین دلیل دانشمندان معتقدند که در آینده‌ای نه چندان دور مسئله تامین آب مشکلی جدی برای بسیاری از جوامع بوده و باعث چالش‌های بین المللی خواهد شد. مدیریت مصرف بهینه از منابع محدود آب، افزایش کارایی و بهره گیری از روش‌های غیرمتعارف چاره ساز بسیاری از مشکلات آینده خواهد بود.

ایران عمدتا دارای آب و هوایی خشک و نیمه خشک با متوسط بارندگی کمتر از یک سوم دنیا و حدود یک سوم قاره آسیا، همراه با توزیع زمانی و مکانی نامناسب بارش است. متوسط آب قابل دسترس سرانه کشور به علت مصرف بی رویه طی نیم قرن اخیر به یک چهارم کاهش یافته است. نیاز به آب هر روز بیشتر و دسترسی به منابع، پرهزینه تر و

مشکلتر می‌شود و قیمت تمام شده آب در چنین طرح‌هایی در حدی است که هیچکس نمی‌تواند تمام یا حتی نیمی از آن را از مصرف کننده مطالبه کند. تقریبا اکثر منابع نزدیک و مجاور شهرها مورد استفاده قرار گرفته و حتی بخشی از آنها به علت مسائل آلودگی از مدار بهره برداری خارج شده‌اند.

در نیمه دوم قرن بیستم تلاش چشمگیر سازمان‌های بین المللی و دولت‌ها در زمینه توسعه، برنامه ریزی، سرمایه گذاری و احداث سدهای بزرگ و تاسیسات عظیم تامین آب همراه با توسعه سریع دانش و تکنولوژی در بخش آب، منجر به ایجاد تعداد قابل ملاحظه‌ای مخازن ذخیره آب سطحی بزرگ حتی در کشورهای فقیر و درحال توسعه گردید. مجموعه عوامل فوق ذهن پویای دانشمندان و مجامع حرفه‌ای و دانشگاهی فعال در این بخش را به سمت ارایه راهکارهایی فراتر از پروژه‌های پرهزینه منابع آب و احداث سدها و تاسیسات جدید هدایت نموده است.

از سویی دیگر، از میان همه بلایایی که هم اکنون کره زمین را تهدید می کند کمبود و آلودگی آب (به عنوان یک بحران) به معضلی بزرگ تبدیل خواهد شد. سازمان ملل متحد پیش‌بینی کرده است که در سال ۲۰۵۰ میلادی بیش از ۵/۴ میلیارد نفر از مردم جهان در معرض صدمات و زیان‌های جدی ناشی از کمبود و آلودگی آب قرار خواهند گرفت. هم اکنون نیز در هرسال ۲ میلیون کودک به دلیل عدم دسترسی به آب آشامیدنی سالم جان خود را از دست می‌دهند، روزانه ۱۰ هزار کودک به دلیل ابتلا به اسهال ناشی از مصرف آب آلوده می‌میرند و یک سوم بستری شدگان در بیمارستان‌ها به دلیل بیماری‌هایی است که علت اولیه آن به نحوی مربوط به آب می‌باشد. کارشناسان معتقدند که در قرن آینده آب به عنوان یک موضوع سیاسی در میان کشورها مطرح و ارزش اقتصادی آن در سال‌هایی نه چندان دور فراتر از منابع گرانبهای امروز خواهد بود. تهیه آب آشامیدنی سالم در اغلب موارد پرهزینه است و حدود نیمی از مردم جهان بدان دسترسی ندارند[۶]. متاسفانه در اغلب شهرهای ما از آب به درستی استفاده نمی‌شود و عمده آن هدر رفته یا برای مصارف غیرضروری استفاده می‌شود.

در این میان یکی ازروش‌هایی که از دیر باز مورد توجه بشر بوده و با رشد شهرنشینی و بر هم زدن تعادل طبیعی چرخه آب، در سال‌های اخیر نیز دوباره مورد توجه قرار گرفته است، استحصال مستقیم آب باران یا رواناب حاصل از آن است. از آن جا که ضریب

رواناب (نسبت رواناب حاصل از یک بارش به میزان بارش) در مناطق شهری بسیار زیاد است، رواناب حاصل از بارش نیز در چنین مناطقی زیاد بوده و درصورت قابل توجه بودن میزان بارش، مخاطرات زیادی را برای سیستم‌های شهری ایجاد می‌کند. بنابراین در مناطق شهری جمع‌آوری و استفاده مستقیم از رواناب شهری نه تنها یکی از روش‌های تامین آب، بلکه روشی برای کاهش اثرات منفی سیلاب‌های شهری خواهد بود.

در آلمان برای ساخت مخازن آب باران و چاه‌های نفوذ فاضلاب، یارانه دولتی در اختیار خانوارها قرار می‌گیرد. به دلیل صرفه جویی در هزینه آب مصرفی و دیگر مزایا، این سرمایه گذاری طی ۱۲ سال جبران می‌شود[۳]. در ژاپن ۷۰٪ آب مصرفی تجهیزات سالن کشتی سوموی ریوگوکوگکان در توکیو از آب باران تامین می‌شود[۳]. جمع‌آوری آب باران از طریق سقف خانه‌ها، تانک‌ها و سایر روش‌ها از جمله منابع جایگزین در تامین منابع آب در چین و شمال تایلند است. در آرژانتین، برزیل و پاراگوئه استخرهای طبیعی و مصنوعی برای ذخیره آب باران جهت استفاده در کشاورزی و مصارف روزمره وجود دارد. در نواحی نیمه خشک آرژانتین، برزیل و ونزوئلا رواناب حاصل از باران توسط کانال‌های خیابانی و زهکش‌ها جمع‌آوری و به مناطق کشاورزی منتقل می‌شود. در استان گانسو در چین، ۲۹٪ از مصارف روزمره و آبیاری در مناطق تحت خشکسالی، از آب باران تامین می‌شود. در سال ۱۹۹۵ در این استان برای مقابله با خشکسالی پروژه‌ای اجرا شد که در آن از مخازن زیرزمینی سیمانی برای جمع‌آوری و هدایت آب باران به مزارع استفاده گردید[۵].

جمع‌آوری آب باران[1] و استفاده مستقیم از آن یکی از شیوه‌های موثر در استفاده بهینه از آب ناشی از ریزش‌های جوی است که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به عنوان راهکاری جدی برای مقابله با خشکسالی و کم آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه، پروژه‌های بزرگی در مناطق شهری کشورهای اروپایی نظیر آلمان و کشورهای آسیای شرقی نظیر چین اجرا شده است. علی رغم سابقه اجرای اینگونه طرح‌ها در نقاط مختلف دنیا، مطالعه و اجرای آن در ایران بسیار محدود بوده و برای رفع این مشکل برنامه‌ریزی جدی صورت نپذیرفته است.

---

1. Rainwater Harvesting

در سال ۲۰۰۰ کمیسیون جهانی سدها گزارش جامعی از بررسی سابقه بیش از ۵۰ سال سدسازی در دنیا ارایه نمود. براساس نتایج این بررسی تاکید اصلی این گزارش به عنوان یک بیانیه جهانی بر استفاده از شیوه‌های محلی استحصال آب نظیر استحصال مستقیم از آب باران بود.

مواد و روش‌ها

جمع آوری و استفاده از رواناب نیازمند اقداماتی برمبنای مطالعه مکانی است که در ادامه بصورت مطالعه موردی ذکر شده است. یکی از روش‌های ساختمانی کنترل رواناب، احداث حوضچه‌ها یا استخرهای کنترل است که برای تعدیل شدت سیلاب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دو صورت قابل اجرا است:

۱- ذخیره سازی در داخل بستر رودخانه که بیشتر در بخش‌های بالادست حوضه‌ها با احداث بندهای کوتاه یا سدهای چند منظوره در عرض رودخانه و همچنین احداث دیواره سیل بند در طول رودخانه صورت می‌پذیرد. در مواردی که هدف تنها کنترل طغیان است، پس از فروکش کردن جریان، آب موجود در مخزن را به پایین دست هدایت و مخزن را جهت کنترل طغیان بعدی خالی نگه می‌دارند. در مواردی که اهداف دیگری نظیر تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی یا مصارف کشاورزی مورد نظر است، شیوه عمل متفاوت بوده و از آب مخزن به تدریج استفاده می‌شود.

۲- ذخیره‌سازی از طریق انحراف و هدایت آب به استخرهای طبیعی یا مصنوعی شیوه‌ای است که بیشتر در مناطق مسطح، دشت‌ها و داخل شهرها کاربرد دارد. به این طریق بخشی از جریان سیلابی را می‌توان از مسیر اصلی رودخانه خارج کرده و یا از ورود مقداری از رواناب به مسیر اصلی جلوگیری نمود که درنتیجه از بار هیدرولوژیکی رودخانه کاسته می‌شود. گودال‌های طبیعی، باتلاق‌ها، نقاط کم‌ارزش کشاورزی که با خاکریزها محصور شده‌اند، دریاچه‌ها و یا حوضچه‌ها، آب انبارها و مخازنی که در نواحی مسکونی به همین منظور تهیه می‌شوند همگی نقاط بالقوه مناسبی برای پذیرش سیلاب‌های مخرب و استثنایی محسوب می‌شوند که جریان آنها به پایین دست درصورت عدم کنترل با خسارات فراوان همراه

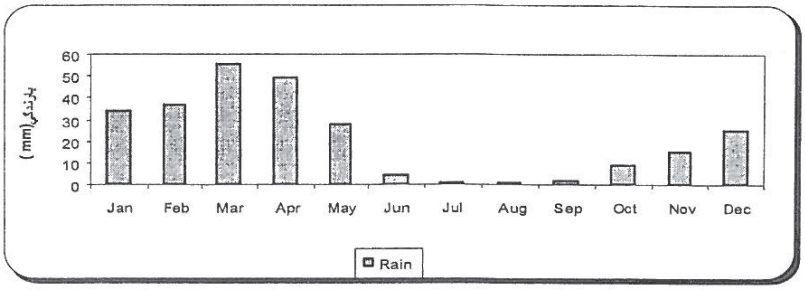
است. مهمترین اثر حوضچه‌های کنترل، تعدیل هیدروگراف سیل و به‌کارگیری رواناب و سیلاب برای مصارف دیگر است[۲].

مطالعه مکانی در سه بخش انجام می‌شود: انتخاب محل مناسب، محاسبات هیدرولوژیکی و ارزیابی اقتصادی. اجرای یک نمونه ذخیره سازی می‌تواند صحت مطالعات را به اثبات برساند. لذا با رعایت روند ذکر شده مطالعه موردی برای شهر مشهد و نمونه اجرایی در شهرستان کاشمر بررسی شده است.

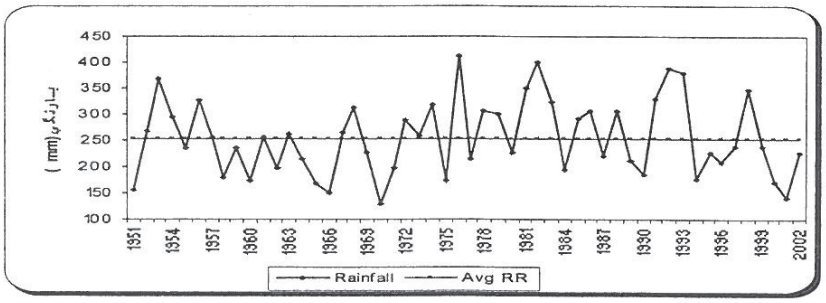
شهرستان مشهد با ۲۵۰۰۰۰۰ نفر جمعیت ساکن و سالانه ۱۵۰۰۰۰۰۰ نفر مسافر و زائر، شهری مذهبی-توریستی است که به دلیل وجود پربرکت امام هشتم شیعیان، علی‌بن‌موسی‌الرضا (ع)، آهنگ رشد جمعیت و همچنین وسعت این شهر بسیار سریع است. ارتفاع متوسط این شهرستان از سطح دریا ۱۰۱۰ متر بوده و با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی دارای وسعتی معادل ۲۰۰ کیلومترمربع است.

شهر مشهد در حوالی مرکز دشت مشهد واقع شده که خود جزء حوضه آبریز کشف‌رود می‌باشد. این حوضه در شمال استان خراسان بزرگ و در حدود طول جغرافیایی ۵۸/۲۰ تا ۶۰/۸۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۴۰ تا ۳۶/۳۰ درجه شمالی واقع است. حدود اربعه این حوضه با عوارض طبیعی شامل شمال، خط‌الرأس ارتفاعات هزارمسجد، جنوب، خط‌الرأس ارتفاعات بینالود، شرق، حوضه آبریز جام‌رود و غرب، حوضه آبریز رودخانه اترک مشخص می‌شود. وسعت کل حوضه ۱۶۵۰۰ کیلومترمربع است که کمتر از یک سوم آن دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. ارتفاع حوضه از ۳۳۰۰ متر در قله بینالود تا ۵۸۰ متر در پل خاتون متغیر است. وسعت شهر مشهد در حدود ۲۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. با توجه به بارش سالانه ۲۵۹ میلیمتری در سطح شهر می‌توان نتیجه گرفت که سهم این شهر از نزولات جوی سالانه حدود ۵۱۸۰۰۰۰۰ متر مکعب است.

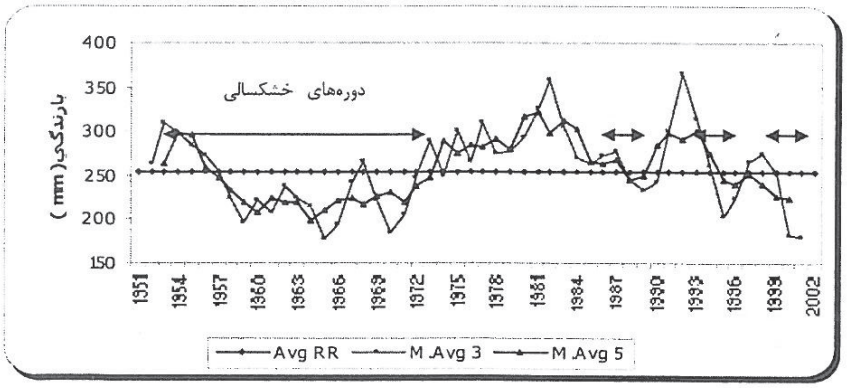
رژیم ماهانه بارش و تغییرات سالانه بارندگی مشهد، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است[۱ و ۴]. همچنین به منظور نمایش دوره‌های خشک و تر در این شهر، میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله بارش سالانه ترسیم شده و در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس شکل ۳، در ۴۰ سال اخیر ۴ دوره خشکسالی در محدوده حوضه این شهر رخ داده است.



شکل۱- تغییرات بارش ماهانه مشهد



شکل۲- تغییرات بارش ماهانه مشهد

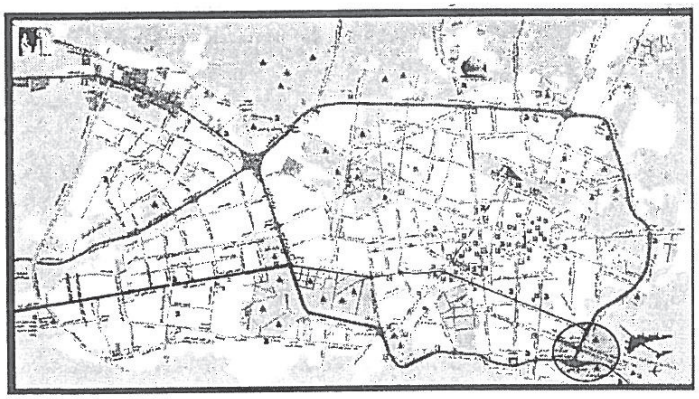


شکل۳- میانگین متحرک ۳ ساله و ۵ ساله بارش مشهد

به علت اهمیت بسیار زیاد مذهبی و توریستی شهر مشهد، ایجاد فضای سبز در این شهر و توجه به آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به عنوان نمونه، جهت آبیاری کمربند سبز در سال ۷۸ ده میلیارد ریال هزینه آبیاری پرداخت شده است. این درحالی است که در بسیاری از مناطق شهر جهت آبیاری فضای سبز از شبکه آب شرب استفاده می‌شود.

جهت انجام یک مطالعه موردی، منطقه‌ای واقع درجنوب غربی شهر مشهد در محدوده فرودگاه بین‌المللی شهید هاشمی‌نژاد انتخاب شده است که به لحاظ موقعیت جغرافیایی و نزدیکی به مناطق مصرفی مانند فضای سبز و پارک جنگلی، موقعیت مناسبی برای احداث مخازن جمع‌آوری آبهای سطحی می‌باشد. علی رغم وجود فضای سبز مناسب در این منطقه، به کرات مشاهده می‌شود که در زمان‌های مختلف به دلیل کمبود آب، بسیاری از این درختان خشک شده و از بین می‌روند. این درحالی است که این منطقه در زمان بارش دچار آبگرفتگی شده و رواناب سطحی تبدیل به فاضلاب می‌شود. علاوه بر خروج آب حاصل از باران از شهر، این آب خسارات فراوانی را به ساکنین و تاسیسات و ابنیه‌های موجود وارد ساخته و عبور و مرور را مختل می‌سازد. موقعیت محل مورد مطالعه در شهر مشهد در شکل ۴ نشان داده شده است.

با مطالعه این طرح می‌توان از ذخیره رواناب‌های فصلی که از نزولات جوی حاصل می‌شود جهت تامین آبیاری فضای سبز این بخش از شهر مشهد که می‌تواند الگوی دیگر شهرهای مذهبی جهان باشد استفاده کرد.



شکل۴- محل مورد بررسی در شهر مشهد

محاسبه حجم مخزن پیشنهادی

حدود ۱۰ هکتار از منطقه مورد مطالعه تقریبا غیرقابل نفوذ است و بقیه به فضای سبز اختصاص یافته و تاسیسات چندانی در آن وجود ندارد. جهت انجام محاسبات مربوط به رواناب حاصل از بارش در منطقه مورد مطالعه بایستی سه عامل اصلی شامل میزان بارش، هیدروگراف واحد و میزان تلفات تعیین شوند.

با توجه به آمار ثبت شده در این منطقه و اطلاعات جمع‌آوری شده، میزان بارش‌های محتمل در منطقه مشخص شد. اطلاعات رگبارهای مختلف با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال از اطلاعات ثبت شده برای شهر مشهد جمع‌آوری گردید. تعداد متوسط روزهای با رگبار قابل ملاحظه (که منجر به ایجاد رواناب سطحی می‌شود) نیز از اطلاعات ثبت شده استخراج گردید. به عنوان نمونه متوسط روزهایی که مشهد با رگبارهایی که بیش از ۱۰ میلیمتر باران ایجاد می‌کنند، همراه است ۸ روز در سال می‌باشد. این بارش‌ها بصورت رگبارهای مختلف در ماه‌های گوناگون سال هستند. شدت این رگبارها با احتمال وقوع آنها نسبت عکس دارد. بارش در نظر گرفته شده در این تحقیق براساس نتایج حاصل از تحلیل سری‌های بارش ایستگاه‌های بارانسنجی بصورت نمودارهای شدت-تداوم دوره بازگشت به دست آمده است. برای تعیین رگبارهایی که منجر به ایجاد رواناب می‌شوند، از رگبارهای ۲ تا ۱۰۰ ساله استفاده شده است. شایان ذکر است که تمامی بارش‌ها سبب ایجاد رواناب یا سیل در مناطق شهری نمی شوند و بسیاری از آنها قابل استحصال مجدد نیز نیستند زیرا درصد تلفات زیادی دارند.

همانطورکه ذکر شد، یکی دیگر از اجزای مهم محاسباتی برای تبدیل و شبیه سازی بارش رواناب، هیدروگراف واحد است. هیدروگراف واحد درحقیقت معیاری است برای تبدیل هر بارش به رواناب. هیدروگراف واحد را از روی اندازه‌گیری مشاهداتی در حوضه بدست می‌آورند. در مواقعی که اندازه‌گیری خاصی از حوضه موجود نباشد، محققین پیشنهاد استفاده از هیدروگراف واحد مصنوعی را داده‌اند که از روی خصوصیات فیزیکی حوضه قابل محاسبه است. در این تحقیق به دلیل عدم وجود اطلاعات اندازه‌گیری شده از حوضه مورد مطالعه، از هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده شده است.

محاسبه تلفات، با استفاده از روش SCS (سرویس حفاظت خاک امریکا) انجام شده است. در این روش، دو پارامتر شماره منحنی و درصدی از منطقه مورد مطالعه که

نفوذناپذیر است مورد نیاز می‌باشد. به ازای هر رگبار با استفاده از اطلاعات فیزیوگرافی و هیدروگراف واحد حوضه، حجم سیلاب محاسبه شد. جدول ۱ میزان حجم رواناب ایجاد شده به ازای هر رگبار با دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۱- میزان حجم ایجاد شده براساس رگبارهایی با دوره بازگشت‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
حجم رواناب حاصله (مترمکعب)	۱۰۸۸	۲۷۷۲۰	۳۰۴۹۲	۳۳۲۶۴	۳۶۰۳۶	۳۸۸۰۸

براساس احتمال وقوع هر رگبار (که متناسب با عکس دوره بازگشت آن است)، حجم سیلاب متناظر با آن و متوسط تعداد روزهایی که در فصل بارندگی در حوضه سیلاب ایجاد می‌شود، بصورت امید انتظار مقادیر ارایه شده در جدول ۱ محاسبه شد. حجم رواناب مورد انتظار و قابل استحصال در هر فصل بارندگی برای حوضه مورد مطالعه با حدود ۱۰ هکتار مساحت، حدود ۱۷۰۰۰ مترمکعب به دست آمد. بنابراین احداث مخازنی مجموعا با حداکثر حجم ۱۷۰۰۰ مترمکعب در حوضه مورد بررسی، منطقی می‌باشد.

بنابر اعلام مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب مشهد هزینه هر مترمکعب آب شرب ۲۱۲۰ ریال است. بنابراین تامین ۱۷۰۰۰ مترمکعب آب از محل آب شهری برای ۲۰ سال، معادل ۷۲۰ میلیون ریال هزینه خواهد داشت. اگر این مسئله را در کنار کمبود آب و افزایش روز افزون تقاضا قرار دهیم، هزینه احداث چنین مخزنی کاملا توجیه‌پذیر خواهد بود.

یک نمونه اجرایی

ایستگاه جدید هواشناسی کاشمر در سال ۱۳۶۴ در زمینی به وسعت ۱۰۰۰۰ مترمربع با زیربنای ۲۱۰ مترمربع احداث شده که محل آن حاشیه جاده امامزاده و در حومه شهر است. با توجه به بعد مسافت، آبرسانی به این ایستگاه هزینه سنگینی در بردارد از طرفی احداث فضای سبز و درختکاری نیز در محوطه ضروری می‌باشد. لذا پس از بررسی، جهت تامین آب مورد نیاز فضای سبز، ساخت آب انبار در داخل ایستگاه پیشنهاد شد.

با توجه به هدف تامین آب، منبع آب زیرزمینی با حجم ۱۲۵ مترمکعب احداث گردید.

رواناب ناشی از بارندگی‌های زمستانی در سطوح نفوذناپذیر این اداره نظیر پشت بام و محوطه اداری به داخل آب انبار هدایت شد. بدین ترتیب، طی فصل خشک، آب ذخیره شده توسط پمپ به مصرف آبیاری فضای سبز ایستگاه می‌رسد و هزینه آب را به مقدار زیادی تقلیل می‌دهد. احداث این مخزن، اثربخشی قابل توجهی در رفع مشکل کمبود آب آن ایستگاه داشته است.

خلاصه و جمع بندی

در این مقاله به یکی از روش‌های استحصال آب باران به منظور بهره‌گیری از پتانسیل آب‌های سطحی شهری پرداخته شده است. هدف و تاکید از ارایه این مقاله توجه به راه حل‌های محلی و کم هزینه برای مقابله با معضلات کم آبی بوده است. استفاده از روش هایی مبتنی بر استحصال آب باران به دلایل زیر و براساس نتایج حاصل از این مطالعه توصیه می‌شود:

- تامین آب با کمترین هزینه انجام می‌شود،
- از امکانات و پتانسیل‌های محل استفاده می‌شود و خطر سیلاب را نیز کاهش می‌دهد،
- امکان استفاده از موقعیت‌های طبیعی موجود نظیر گودال‌ها و عوارض مصنوعی فراهم می‌آید،
- جایگزین نمودن پروژه‌های کوچک و کم هزینه با راندمان بالا به جای پروژه‌های عظیم و هزینه بر امکانپذیر است،
- با ایجاد و تقویت فرهنگ مشارکت مردمی و صرفه‌جویی در آب همراه است.

با توجه به مطالعات انجام شده پیشنهاد می‌شود جمع‌آوری رواناب شهری، هدایت آن به مخازن و آب انبارها و استفاده از آن در فصل خشک به شهرداری‌ها و صاحبان مجتمع‌های بزرگ جدا توصیه شود. نمونه مطالعاتی حاضر و نمونه اجرایی اشاره شده می‌تواند راهنمای این کار باشد.

همچنین، موارد زیر جهت انجام مطالعات فنی پیشنهاد می‌شود:

- بررسی و یافتن مناطق مختلف موجود در شهر که دارای پتانسیل مناسب و مشابه محل مورد مطالعه در این پروژه باشند به منظور اجرای پروژه‌های مشابه،
- طراحی نوعی خاص و محلی خاص برای مخزن بطوری که علاوه بر جمع‌آوری آب

از قدرت پیک و حجم سیل‌های حاصل نیز کاسته شود،

- استفاده از موقعیت‌های طبیعی موجود مانند گودال‌ها یا عوارض طبیعی و مصنوعی برای احداث چنین مخازنی،
- استفاده از چندین پروژه کوچک و کم هزینه به عنوان جایگزین یک پروژه عظیم و پرهزینه،
- توجه به تاثیر استحصال آب باران در قالب پروژه‌های بزرگ بر تعادل سفره‌های زیرزمینی،
- بهره‌گیری از روش‌های پویایی سیستم‌ها در بررسی کمیت و کیفیت بهره‌گیری مستقیم از رواناب شهرها،
- برخورد سیستماتیک برای راه اندازی چنین پروژه‌هایی در مقیاس بزرگ.

امید است که روش و نتایج ارایه شده در این مقاله گامی در جهت بهبود وضعیت تامین آب مناطق شهری بخصوص مناطقی که دارای اقلیم خشک هستند، باشد.

منابع

۱- احمدیان طبسی، جواد، ۱۳۷۹، پتانسیل‌ها و محدودیت‌های اقلیمی مشهد، بولتن علمی پژوهشکده اقلیم شناسی، شماره ۲.

۲- طاهری بهبهانی، محمدطاهر، بزرگ زاده، مصطفی، ۱۳۷۵، سیلاب‌های شهری، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.

۳- کدیور، محمدسعید، ۱۳۸۶، سدها و توسعه، چارچوب جدید برای تصمیم گیری، کمیسیون جهانی سدها، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی.

۴- گزارش داخلی اداره تحقیقات هواشناسی استان خراسان، ۱۳۷۹، مرکز ملی اقلیم شناسی، مشهد.

5- Gould, 1999, Contributing Paper for WCD Thematic Review.

6- United Nations, ESCAP, 1984, Proceedings of the Seminar on Flood Vulnerability Analysis and on the Principles of Flood Plain Management for Flood Loss Prevention W.R.S , No. 58.