Archive of SID

پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸
ص ۴۹۶- ۴۸۳

برآورد آب باران قابل استحصال از بام‌های کرمانشاه و شناسایی مکان‌های مستعد ذخیرهٔ آب برای آبیاری فضای سبز شهری

محمدامین پرندین- کارشناس‌ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
حسن ذوالفقاری*- دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
امان‌الله فتحنیا- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۲۲

چکیده

آب باران در شهرهای ایران عمدتاً به رواناب یا سیلاب تبدیل می‌شود و از طریق کانال‌های آبی یا شبکهٔ فاضلاب از سطح شهر خارج می‌شود. استحصال آب باران از نظر حفاظت و مدیریت منابع آبی و از جنبهٔ اقتصادی اهمیت فراوانی دارد. این پژوهش با هدف تعیین میزان آب باران قابل استحصال از پشت‌بام‌های شهر کرمانشاه برای تأمین نیاز آبی فضاهای سبز شهری انجام گرفت. نخست، با استفاده از تصویر ماهواره‌ای، مساحت بام‌های شهر کرمانشاه استخراج شد. براساس آمار بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه (۱۳۳۰ تا ۱۳۹۵)، حجم آب باران قابل استحصال از سطوح بام‌ها برای مناطق هشت‌گانهٔ شهرداری کرمانشاه محاسبه شد. داده‌های مساحت و نیاز آبی فضاهای سبز مناطق شهرداری از سازمان پارک‌ها و فضای سبز کرمانشاه دریافت شد. مکان‌های مستعد برای ذخیرهٔ آب باران در سطح شهر با استفاده از مدل WLC تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد از مجموع ۱۰۶۲۰۰۰۰ متر مکعب نیاز آبی سالانهٔ فضاهای سبز شهری کرمانشاه حدود ۶۲۰۰۰۰۰ متر مکعب یا حدود ۵۸/۴درصد آن از طریق استحصال آب باران از سطح بام‌های شهر تأمین‌شدنی است. همچنین، با توجه به معیارهای مختلف محیطی، حدود ۴۲۰۰۰ متر مربع از اراضی داخل و حاشیهٔ شهر کرمانشاه برای احداث مخازن آب باران مناسب‌تر تشخیص داده شد که اغلب در منطقهٔ ۵ شهرداری کرمانشاه واقع شده است.

واژگان کلیدی: استحصال آب باران، سطح بام، فضای سبز شهری، کرمانشاه، نیاز آبی.

مقدمه

آب عاملی مهم و تعیین‌کننده در تداوم زندگی انسان‌ها، حیوانات، و گیاهان بر روی کرهٔ زمین و بیوسفر به‌شمار می‌رود. این مادهٔ حیاتی، با برطرف‌کردن نیازهای اولیهٔ بشر، مثل شرب، کشاورزی، و صنعت، این نقش مهم خود را ایفا می‌کند. امروزه، یک میلیارد نفر در جهان از دسترسی به منابع آب پایدار و بهداشتی محروم‌اند. در صورت تداوم وضعیت کنونی تا سال ۲۰۲۵ میلادی، دوسوم جمعیت جهان با این بحران روبه‌رو خواهند بود (کویلنس‌تایرنا، ۱۹۹۷: ۱۸۲). متوسط آب قابل دسترس سرانهٔ کشور به‌علت مصرف بی‌رویه طی نیم قرن اخیر به یک‌چهارم کاهش یافته است. تقریباً بیشتر منابع نزدیک و مجاور شهرها استفاده شده و بخشی از آن‌ها به‌علت آلودگی از مدار بهره‌برداری خارج شده‌اند. امروزه، در کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، تأمین آب چالشی اساسی است. با توجه به وضعیت اقلیمی و مصارف بی‌رویه در بیشتر شهرهای بزرگ، می‌توان مشکل کم‌آبی را تا حد مطلوبی با جمع‌آوری آب باران کاهش داد. از آنجا که حجم آب

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۱۳۲۳۹۵۴ Email: h.zolfaghari@razi.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

قابل استحصال از پشت‌بام در بعضی از مناطق کشور قابل توجه است، می‌توان برخی از نیازهای غیرشرب ساکنان را تأمین کند (رشیدی مهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱). مفهوم اساسی استحصال آب باران ساده است؛ به‌طوری‌که آب باران از پشت‌بام ساختمان‌ها و دیگر سطوح مناسب جمع‌آوری و به‌وسیلهٔ لوله‌هایی به سمت پایین‌دست هدایت می‌شود. این آب در مکان مناسبی ذخیره و در زمان مناسب استفاده می‌شود. اگر آب ذخیره‌شده برای مصارف غیرشرب درنظر گرفته شود، نیازی به تصفیهٔ آن نیست و رسوب‌زدایی آن کفایت می‌کند. ولی برای شرب بایستی با روش‌های مناسب تصفیه شود. سابقهٔ استفاده و به‌کارگیری روش‌های استحصال آب باران به زمان‌های دور برمی‌گردد که نشان از اهمیت این موضوع در بین مردمان قدیم دارد؛ به‌طوری‌که فالکن‌مارک و همکاران (۲۰۰۱: ۹۷) بر آن‌اند که سرمنشأ اولین تکنیک‌های جمع‌آوری آب باران مربوط به کشور عراق و دارای قدمتی بیش از ۵۰۰۰ سال است. کاهیندا و همکاران (۲۰۰۷: ۱۰۵) به مطالعهٔ استحصال آب باران در روستاهای افریقای جنوبی پرداختند. آنها اظهار کردند که در جنوب افریقا ۲۰درصد از مردم (۷٫۹ میلیون نفر) دسترسی به آب کافی ندارند و با استفاده از آب باران می‌توان بخشی از نیاز آبی خانواده‌های فقیر را برطرف کرد. وینار و همکاران (۲۰۰۷: ۱۰۵۸) با بررسی ویژگی خاک، کاربری اراضی، بارش، و شیب براساس قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی به این نتیجه رسیدند که حدود ۱۸درصد از مساحت حوضهٔ پوتشینی رودخانهٔ توکلا در افریقای جنوبی برای جمع‌آوری رواناب مناسب است. سانگ و همکاران (۲۰۰۸: ۲۳۲) استحصال آب باران برای تأمین آب شهر بانداآچه در کشور اندونزی را مطالعه کردند. آن‌ها دریافتند که با ارائهٔ آموزش‌های مناسب می‌توان منابع آب ایمن‌تری برای استفاده فراهم آورد که به هزینهٔ کمتری نیاز دارد. استورم و همکاران (۲۰۰۹: ۷۷۶) توان و ذخیرهٔ آب باران برای مصرف شرب در شهر برازیلیا را مطالعه کردند و نتیجه گرفتند به‌طور متوسط ۷٫۳۲درصد از آب باران برای مصرف شرب قابلیت ذخیره دارد. عبدالله و شریف (۲۰۰۹: ۱۹۵) جمع‌آوری آب باران در مناطق مسکونی دوازده استان در کشور اردن را مطالعه کردند. نتایج نشان داد می‌توان حداکثر ۵٫۱۵ میلیون متر مکعب آب باران از پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی جمع‌آوری کرد که معادل ۶٫۵درصد از کل آب ذخیره‌شده در سال ۲۰۰۵ است. اروکسوز و رحمان (۲۰۱۰: ۱۴۴۹) با مطالعهٔ توان ذخیرهٔ آب باران در مخازن در سه شهر سیدنی، نیوکاسل، و ولونگونگ دریافتند که توان ذخیرهٔ آب باران حتی در سال‌های خشک وجود دارد. راج (۲۰۱۱: ۸) با محاسبهٔ مساحت پشت‌بام، جاده، و فضای باز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، در منطقهٔ میروت کشور هند و واردکردن داده‌های بارندگی و ضریب رواناب، مقدار استحصال آب باران را برآورد کرد. بررسی پتانسیل برداشت آب باران از سطح پشت‌بام در سراسر کشور اردن نشان داد حجم آب باران قابل استحصال حدود ۷٫۱۴ میلیون متر مکعب است که این رقم ۶٫۰ از هزینهٔ کشور اردن در زمینهٔ آب را کاهش می‌دهد (ابوزریگ، ۲۰۱۳: ۱۰۵). زانک و همکاران (۲۰۱۴: ۱۷۸) با برررسی کیفیت آب برداشت‌شده از سقف و بام در سطوح بتنی، آسفالت، و سرامیک در مقایسه با بام سبز نتیجه گرفتند که سقف سرامیکی برای جمع‌آوری آب باران مناسب است. همچنین، کیفیت آب برداشت‌شده متأثر از مواد پشت‌بام است و آلاینده‌های رواناب پشت‌بام در تابستان و پاییز کمتر از زمستان و بهار هستند. محمود و همکاران (۲۰۱۴: ۸۹) پتانسیل استحصال آب باران در شهر خارطوم سودان را با هدف مدیریت رواناب مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که استحصال آب باران می‌تواند منبعی جای‌گزین برای مقابله با خشک‌سالی باشد. اکتر و احمد (۲۰۱۵: ۸۴) امکان‌پذیری استفاده از سیستم‌های استحصال آب باران در شهر چیتاگنگ بنگلادش با بارش سالانهٔ ۳۰۰۰ میلی‌متر را مطالعه کردند. آنها نتیجه گرفتند استفاده از سیستم استحصال آب باران می‌تواند سیلاب را حداکثر ۲۶درصد کاهش دهد و تا ۲۰ لیتر برای هر نفر در روز به تأمین آب شهری کمک کند.

بیادی و همکاران (۱۳۸۷: ۲۲) روش مناسب استحصال آب باران و رواناب سطحی برای تأمین آب با کمترین هزینه را

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه کردند که بتواند جای‌گزین مناسبی برای تأمین آب شهری به‌خصوص فضای سبز باشد و، علاوه بر این، سبب کاهش اثرهای مخرب سیلاب‌های شهری شود. ذوالفقاری (۱۳۹۰: ۱) روش جمع‌آوری آب باران برای مصارف خانگی را مطالعه و گام‌های طراحی و اجرای یک سیستم جمع‌آوری آب باران را تشریح کرد. کردوانی و کردپور (۱۳۹۱: ۱) تأمین آب مورد نیاز سالانهٔ ایستگاه هواشناسی شهرستان جوانرود از محل بارش باران را مطالعه و برآورد کردند سالانه به‌صورت میانگین حدود ۶۰۰۰۰ لیتر باران از سطح پشت‌بام ساختمان اداری ایستگاه قابلیت ذخیره دارد. زهتابیان و همکاران (۱۳۹۲: ۱۴) به این نتیجه دست یافتند که روش جمع‌آوری آب باران از سقف‌های حلبی نسبت به سایر روش‌ها در شرایط سخت بیابانی، مناطق مرتفع کوهستانی، مناطق با آب‌زیرزمینی بد کیفیت و سفره‌های آبی خیلی عمیق، اراضی لسی و شهرک‌های تازه‌تأسیس برای تهیهٔ آب آشامیدنی ارزان‌تر است. سعدالدین و همکاران (۱۳۹۳)، با مطالعهٔ امکان اجرای سامانهٔ جمع‌آوری آب باران از بام ساختمان‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، به این نتیجه رسیدند که آب باران جمع‌آوری‌شده حتی در ماه‌های خشک نیز به بیلان آب شهری کمک می‌کند. کومه و همکاران (۱۳۹۴) دربارهٔ جمع‌آوری آب باران از سطح پشت‌بام ساختمان‌ها در شهر بیرجند و حجم بهینهٔ مخازن با روش منحنی جرم در سال‌های خشک و تر مطالعه کردند. رشیدی مهرآبادی و همکاران (۱۳۹۲: ۹) تأمین نیاز آبی غیرشرب روزانهٔ ساکنان ساختمان‌های مسکونی شهر رشت را با درنظرگرفتن حجم مخازن، شرایط فیزیکی ساختمان، و شرای هیدرولوژیکی از طریق جمع‌آوری آب باران مطالعه کردند. حنیفه‌پور و همکاران (۱۳۹۴: ۱) انتخاب روش مناسب استحصال آب باران در استان زنجان را منوط به ویژگی‌هایی از قبیل مقدار و نحوهٔ توزیع بارندگی، توپوگرافی زمین، و غیره دانستند. نتایج نشان داد حدود ۷۲درصد حجم آب جمع‌آوری‌شده تبخیر و بقیه به مقدار ۲۰ میلیارد متر مکعب است که برای کشاورزی، شرب، صنعتی، و غیره قابل استفاده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد در صورت جمع‌آوری رواناب کل سطح شهر بناب، نیاز آبی همهٔ مراکز عمومی، تجاری، و صنعتی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تأمین می‌شود. همچنین، ذخیرهٔ آب باران نیاز آبی فضای سبز شهری را در همهٔ ماه‌ها تأمین می‌کند (تاران و مهتابی، ۱۳۹۵: ۴۰). شادمهری طوسی و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعهٔ پتانسیل جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام ساختمان‌ها از منطقهٔ ۹ شهر مشهد به این نتیجه رسیدند که حداقل ۲۶ و حداکثر ۶۶درصد از نیاز آبی ماه‌های پُرباران از طریق ساختمان‌های مسکونی قابل جمع‌آوری است.

وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی و کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی در بیشتر مناطق ایران از جمله شهر کرمانشاه لزوم استفاده و به‌کارگیری روش‌های استحصال آب باران برای تأمین بخشی از نیازهای آبی را ضرورت می‌بخشد. بنابراین، برای مناطق خشک و نیمه‌خشکی چون شهر کرمانشاه استحصال آب باران از سطوح پشت‌بام‌ها برای تأمین نیاز آبی فضاهای سبز و آبیاری درختان شهری می‌تواند گره‌گشای بخشی از مسئلهٔ مهم کم‌آبی باشد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام‌شده در ارتباط با شهر کرمانشاه نبوده و عمدتاً روش و مقدار آب قابل استحصال در شهرهای دیگر مطالعه شده‌اند، هدف از تحقیق حاضر بررسی مقدار آب قابل استحصال و نیاز آبی فضای سبز شهر کرمانشاه، همچنین تعیین مکان‌های مستعد ذخیرهٔ آب باران است.

مواد و روش‌ها

الف) داده‌ها

داده‌های اقلیمی مورد نیاز در این تحقیق آمار بارش ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در یک دورهٔ آماری ۶۵ساله از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۵ است که به‌صورت میانگین سالانه و ماهانه استفاده شد. با توجه به اقلیم شهر کرمانشاه، دورهٔ بارش به ماه‌های مهر تا خرداد محدود می‌شود. حتی دو ماه ابتدایی و پایانی برخی از سال‌ها بدون بارش یا بارش ناچیزی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های شهری مورد استفاده شامل مساحت پشت‌بام‌ها، مساحت فضای سبز و درختان در محدودهٔ شهر، و میزان حجم آب مورد نیاز برای آبیاری است. داده‌های شهری مربوط به مساحت فضای سبز و درختکاری از سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری کرمانشاه اخذ شد. مساحت سطوح پشت‌بام‌ها با استفاده از گوگل‌ارث و با کمک نرم‌افزار Stitch Maps تصاویر سطح شهر استخراج شدند و در نرم‌افزارGlobal Mapper مختصات داده به فرمت GeoTiff تبدیل شدند. سرانجام، در محیط ArcGIS پلی‌گون سطوح پشت‌بام ساختمان‌ها ترسیم شد.

ب) روش کار

۱. محاسبهٔ حجم آب باران قابل استحصال

به‌منظور محاسبهٔ حجم آب قابل استحصال از باران، سه مؤلفه شامل دادهٔ بارش، مساحت پشت‌بام، و ضریب رواناب سطح مورد نیاز است. برای محاسبهٔ حجم آب قابل جمع‌آوری از رابطهٔ ۱ استفاده شد (ذوالفقاری، ۱۳۹۰: ۴).

$$S = P \times A \times C_{r/100} \qquad (۱)$$

S متوسط آب باران استحصال‌شده بر حسب مترمکعب، P متوسط بارش بر حسب میلی‌متر، A مساحت حوضهٔ جمع‌آوری‌کننده (بام) بر حسب متر مربع، Cr ضریب رواناب سطح که برای سطوح بام ۷/۰ درنظر گرفته شد. برای سطوح شهری با شیب تا ۱۰درصد ضریب رواناب۷/۰ درنظر گرفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۴: ۵۲۲). 100/ تبدیل به متر مکعب.

۲. محاسبهٔ نیاز آبی فضاهای سبز شهری

آبیاری گیاهان پیرو شرایط محیطی انجام می‌پذیرد. شرایط دمایی و حداقل و حداکثرهای آن در این زمینه مهم است. بین ارقام چمن از نظر واکنش به دماهای کاردینال (دامنهٔ دمای زیستی) تنوع وجود دارد؛ به‌طوری‌که دامنهٔ این تنوع در دمای حداقل بین ۴ تا ۷/۸ درجهٔ سانتی‌گراد قرار دارد. دمای مطلوب بین ۲۳ تا ۵/۳۰ درجه متغیر است. در ارقام چمن سردسیری بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و در رقم گرمسیری در دمای ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. بیشترین طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، و شاخص بنیهٔ گیاهچه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد حاصل می‌شود. بیشترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه به‌دست می‌آید (خاوری و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۴۸). طبق دستورالعمل باغبانی و آبیاری این سازمان، براساس شرایط محیطی شهر کرمانشاه، دورهٔ آبیاری ممتد و مداوم فضاهای سبز شهری از بیستم اردیبهشت تا اواخر مهر است. آبیاری پارک‌ها و بوستان‌ها اصولاً از طریق پمپ و لوله‌های انتقال و در بلوارها و باغ‌راه‌ها از طریق تانکر انجام می‌گیرد. مقدار آب مورد نیاز در شبانه‌روز برای هر متر مربع حدود ۱۲ لیتر است. در دورهٔ سرد سال (دی، بهمن، و اسفند)، با وجود نزولات جوی و آستانهٔ دمایی رشد گیاهان، امر آبیاری متوقف می‌شود. در ماه‌های پاییز و بهار نیز مقدار آب مورد استفاده به‌دلیل هوای معتدل و بارش به‌صورت میانگین ۴ لیتر به ازای هر متر مربع است (شهرداری کرمانشاه، ۱۳۹۱). در این پژوهش از نیاز آبی ارائه‌شده استفاده شد.

۳. مکان‌یابی مخازن ذخیرهٔ آب

در این پژهش به‌منظور انتخاب محل مناسب ذخیرهٔ آب باران از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP[1] (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۵) و روش ترکیب خطی وزن‌دار WLC[2] استفاده شده است. روش AHP شامل مراحل اصلی زیر است:

1. Analytic Hierarchy Process
2. Weighted Linear Combination

www.SID.ir

Archive of SID

تولید ماتریس مقایسهٔ زوجی: مقیاسی بین ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار به‌کار می‌رود؛

- محاسبهٔ وزن‌های معیار؛
- تخمین نسبت توافق.

متغیرهای مورد ارزیابی در این تحقیق برای تعیین مکان مناسب ذخیرهٔ آب باران شامل فضای سبز، فضای آزاد، کشاورزی محدودهٔ شهری، کشاورزی حاشیهٔ شهر، شیب و نزدیکی به پشت‌بام از طریق پرسش‌نامه از کارشناسان شهرداری و سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهری کرمانشاه استخراج شد. براساس نظر کارشناسان، اهمیت معیارها براساس روش AHP به‌دست آمد. تعداد افراد شرکت‌کننده ۲۵ نفر بود و بیشتر افراد دارای تحصیلات کارشناسی ارشد و دکترا در رشته‌هایی همچون جغرافیا، عمران، مهندسی معماری، زمین‌شناسی، و منابع طبیعی بودند و برخی از آن‌ها دارای سمت‌هایی بودند همچون شهردار، معاونت عمرانی، و مهندس ناظر استانداری.

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است. تحلیلگر مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس، از طریق ضرب‌کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه یک مقدار نهایی برای هر گزینه به‌دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهند بود (شهابی و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۴). در این روش قاعدهٔ تصمیم‌گیری مقدار هر گزینهٔ A_i را با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌کند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۵).

$$Ai = \sum nwj \times xij \qquad (۲)$$

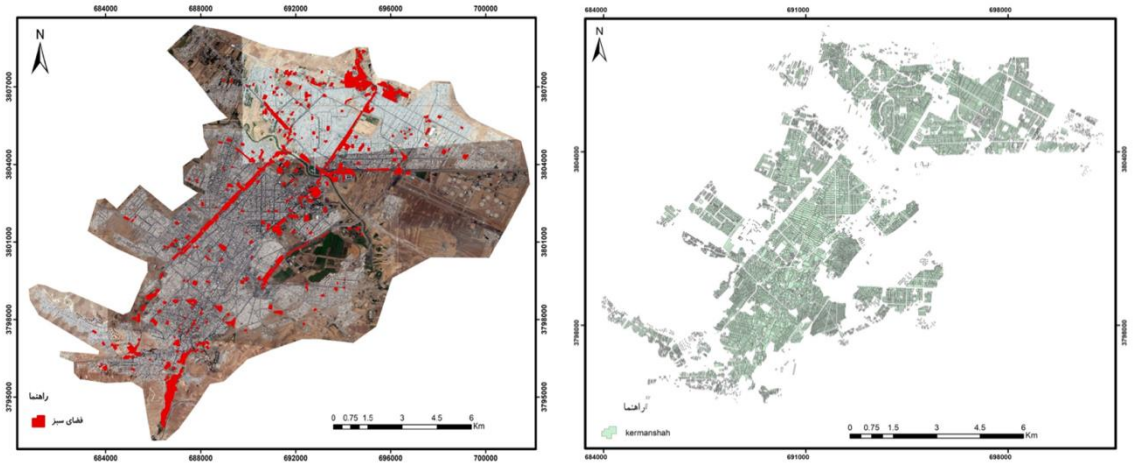
در این رابطه wj وزن شاخص j ام، xij مقداری است که مکان iام در رابطه با شاخص j ام به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر، این مقدار می‌تواند بیانگر درجهٔ مناسب‌بودن مکان iام در ارتباط با شاخص j ام باشد. n تعداد کل شاخص‌ها و Ai مقداری است که در نهایت به مکان iام تعلق می‌گیرد. در این روش باید مجموع وزن‌ها برابر یک باشد که در صورت نبود چنین شرایطی باید در مرحلهٔ آخر Ai بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم شود. در این صورت Ai نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. سرانجام، گزینهٔ ایده‌آل گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین Ai باشد (پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۱۳۸۵: ۷۳). ذکر این نکته لازم است که برخی مناطق مانند سطوح آسفالت، سطوح پشت‌بام ساختمان‌ها، و انواع کاربری‌های خدماتی در سطح شهر جزو مناطق ممنوعه برای ذخیرهٔ آب باران لحاظ شدند.

یافته‌های پژوهش

با پردازش انجام‌گرفته روی تصویر ماهواره‌ای شهر کرمانشاه (شکل ۱ الف) محدودهٔ پشت‌بام‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS برداشت گردید و لایهٔ پراکندگی فضاهای سبز شهری (شکل ۱ ب) تشکیل شد و مساحت هریک از مناطق هشت‌گانهٔ شهرداری کرمانشاه جداگانه رقومی گردید. شهر کرمانشاه بیشتر به‌صورت شمالی- جنوبی گسترش یافته است و ارتفاع متوسط آن ۱۴۳۰ متر است. در سمت شمالی این شهر رودخانهٔ قره‌سو به‌صورت غربی- شرقی جریان دارد. شیب عمومی منطقهٔ شمالی به سمت جنوب و منطقهٔ جنوبی به سمت شمال جریان سطحی را به داخل رودخانهٔ قره‌سو زهکشی می‌کند. مساحت کلی شهر کرمانشاه ۱۰۸۳۶۵۲۳۸ متر مربع است.

www.SID.ir

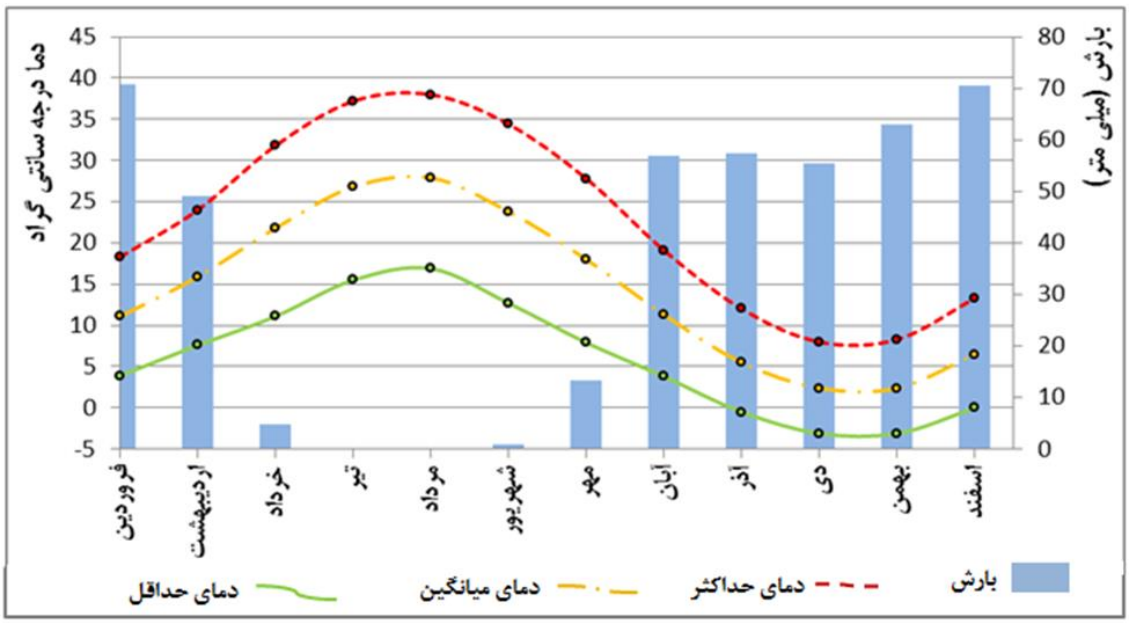
Archive of SID



شکل ۱. الف) محدودهٔ رقومی‌شدهٔ سطوح بام‌های شهر کرمانشاه ب) تصویر ماهواره‌ای و توزیع فضای سبز شهری

۱. حجم آب باران قابل استحصال، مساحت فضاهای سبز، و نیاز آبی

حداکثر مقدار بارش شهر کرمانشاه بر طبق دورهٔ آماری مربوط به اسفند و فروردین‌ماه به مقدار ۶/۷۰ میلی‌متر و کمترین مقدار مربوط به ماه‌های تیر و مرداد است. میانگین بارش سالانه حدود ۴۴۱ میلی‌متر است (ادارهٔ کل هواشناسی کرمانشاه). با توجه به شکل ۲، می‌توان گفت که حداکثر درجهٔ حرارت شهر کرمانشاه ۳۸ درجهٔ سانتی‌گراد در مردادماه و حداقل درجهٔ حرارت ۶/۳ـ درجهٔ سانتی‌گراد در دی‌ماه اتفاق می‌افتد.



شکل ۲. میانگین بارش، دمای حداکثر، حداقل، و متوسط ماهیانهٔ کرمانشاه

مقدار حجم آبی که در طول سال از سطوح پشت‌بام قابل استحصال است با استفاده از مساحت هر محدوده و روابط محاسباتی برای مناطق هشت‌گانهٔ شهرداری کرمانشاه محاسبه شد (جدول ۱). همچنین، مساحت فضاهای سبز، تعداد درختان، و نیاز آبی آنها در جدول ۱ بیان شده است. بیشترین مساحت کل مربوط به منطقهٔ ۳ شهرداری کرمانشاه به

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار ۲۱٫۲۸ کیلومتر مربع و بیشترین نسبت مساحت بام مربوط به منطقهٔ ۴ شهرداری به مقدار ۲۳٫۸ درصد (بیشترین تراکم ساختمانی) و بیشترین نسبت فضای سبز مربوط به منطقهٔ ۵ شهرداری به مقدار ۶٫۴درصد در این منطقه قرار دارد. منطقهٔ ۵، ۴، و ۳ شهرداری به‌ترتیب در شمال شرقی، جنوب شرقی، و شرق شهر کرمانشاه واقع شده‌اند (شکل ۴). بیشترین نیاز آبی مربوط به منطقهٔ ۵ شهرداری به‌دلیل وجود فضای سبز و تعداد درختان بیشتر (۸۱۱۰ اصله) به مقدار ۱۴٫۷درصد است. بیشترین نسبت حجم آب باران قابل استحصال از منطقهٔ ۴ شهرداری (به‌دلیل تراکم ساختمانی بیشتر) و کمترین مربوط به منطقهٔ ۸ شهرداری (به‌دلیل تراکم کم ساختمان) مشاهده می‌شود. نسبت مساحت فضای سبز شهری کرمانشاه حدود ۴٫۳درصد و نسبت نیاز آبی حدود ۹٫۸درصد است.

جدول ۱. داده‌های استخراج‌شده برای مناطق هشت‌گانه و نسبت آن به مساحت کل شهر

مناطق	مساحت کل (Km^2)	مساحت بام (Km^2)	نسبت مساحت بام به کل شهر	مساحت فضای سبز (m^2)	نسبت فضای سبز به کل شهر	حجم باران قابل استحصال (m^3)	نسبت حجم باران به کل شهر (٪)	نیاز آبی (m^3)	نسبت نیاز آبی به کل شهر (٪)	تعداد درختان
یک	۱۳/۹۴	۳/۱	۲۲/۳٪	۵۷۹۰۰۰	۴/۲٪	۹۵۹۰۰۰	۶/۹	۱۳۲۲۰۰۰	۹/۵	۵۳۳۰
دو	۱۰/۷۵	۲/۰۲	۱۸/۸٪	۴۱۱۰۰۰	۳/۸٪	۶۲۵۰۰۰	۵/۸	۹۳۶۰۰۰	۸/۷	۳۶۵۰
سه	۲۱/۲۸	۳/۰۶	۱۴/۴٪	۵۵۲۰۰۰	۲/۶٪	۹۴۷۰۰۰	۴/۵	۱۲۶۱۰۰۰	۵/۹	۴۲۸۰
چهار	۹/۷۶	۲/۳۲	۲۳/۸٪	۴۰۹۰۰۰	۴/۲٪	۷۱۷۰۰۰	۷/۳	۹۳۴۰۰۰	۹/۶	۴۱۲۰
پنج	۱۶/۴	۳/۶۹	۲۲/۵٪	۱۰۵۶۰۰۰	۶/۴٪	۱۱۳۸۰۰۰	۶/۹	۲۴۱۱۰۰۰	۱۴/۷	۸۱۱۰
شش	۷/۴۶	۱/۶۹	۲۲/۶٪	۴۶۳۰۰۰	۶/۲٪	۵۲۵۰۰۰	۷	۱۰۵۸۰۰۰	۱۴/۲	۳۲۱۰
هفت	۱۸/۸۱	۲/۹۵	۱۵/۷٪	۷۶۳۰۰۰	۴/۱٪	۹۱۶۰۰۰	۴/۹	۱۷۴۳۰۰۰	۹/۳	۶۲۶۰
هشت	۹/۹۶	۱/۳۱	۱۳/۲٪	۴۱۸۰۰۰	۴/۲٪	۴۱۰۰۰۰	۴/۱	۹۵۵۰۰۰	۹/۶	۳۱۰۵
جمع	۱۰۸/۳۷	۲۰/۱۵	۱۸/۶٪	۴۶۵۴۰۰۰	۴/۳٪	۶۲۵۵۰۰۰	۵/۸	۱۰۶۲۰۰۰۰	۹/۸	۳۸۰۶۵

براساس جدول ۲، بیشترین حجم باران قابل جمع‌آوری مربوط به منطقهٔ ۵ و کمترین مقدار مربوط به منطقهٔ ۸ شهرداری می‌شود. در بین ماه‌ها نیز، اسفندماه، که دارای بالاترین میانگین بلندمدت بارش است، بیشترین مقدار آب باران نیز در این ماه قابل استحصال است. در این محاسبات، علاوه‌بر وسعت مناطق، پوشش و تراکم بیشتر سازه‌های ساختمانی- که سطح آبگیر جهت استحصال آب باران قلمداد می‌شود- دارای اهمیت است. بیشترین و کمترین درصد تأمین نیاز آبی فضای سبز به‌ترتیب مربوط مناطق ۴ و ۸ شهرداری کرمانشاه در دورهٔ بارشی مهر تا خرداد می‌تواند با استفاده از آب باران فراهم شود.

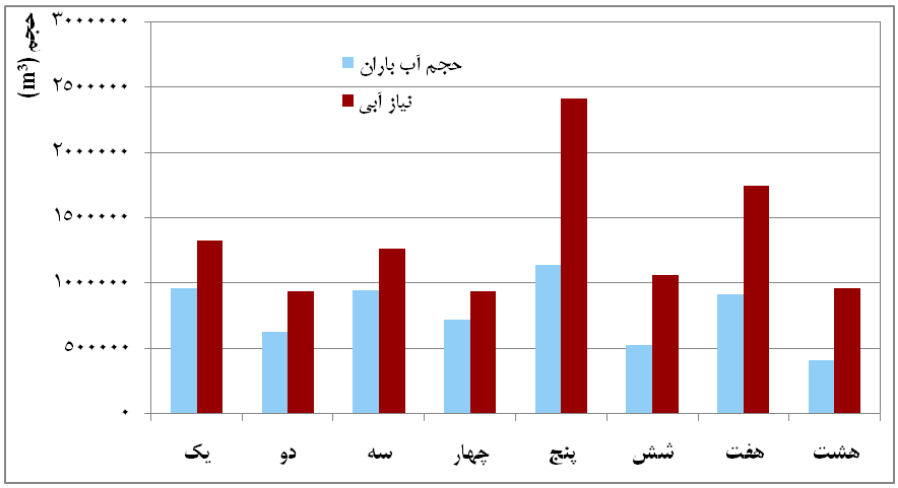
مقدار نیاز آبی و حجم آب باران قابل استحصال در دوره بارشی برحسب متر مکعب برای مناطق هشت‌گانهٔ شهرداری کرمانشاه در شکل ۳ ارائه شده است. طبق نمودار در بیشتر مناطق از طریق استحصال آب باران بیش از ۵۰درصد نیاز آبی فضاهای سبز را می‌توان برطرف کرد. بیشترین درصد تأمین نیاز آبی مربوط به منطقهٔ ۴ در جنوب شرقی شهر با میزان ۷۶٫۵درصد و در درجهٔ دوم مربوط به منطقهٔ ۳ در شرق شهر است، کمترین درصد تأمین نیاز آبی مربوط به منطقهٔ ۸ شهرداری واقع در جنوب غربی شهر کرمانشاه است. این امر از این جهت اهمیت دارد که محدودهٔ فضای سبز ممکن است از مناطق جمع‌آوری آب باران دور باشد که نیازمند انتقال و ذخیرهٔ آن با توجه به متغیرهای تأثیرگذار است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. حجم آب باران قابل استحصال در ماه‌های بارشی (مهر تا خرداد) برحسب m^3

ماه / مناطق	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	جمع	درصد تأمین
یک	۲۸۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۱۲۴۷۰۰	۱۱۹۲۰۰	۱۳۶۰۰۰	۱۵۳۰۰۰	۱۵۲۵۰۰	۱۰۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۹۵۴۴۰۰	۷۲/۲
دو	۱۸۰۰۰	۸۲۰۰۰	۸۱۰۰۰	۷۷۹۰۰	۸۸۹۰۰	۱۰۰۰۰۰	۹۹۰۰۰	۶۸۵۰۰	۶۸۰۰	۶۲۲۱۰۰	۶۶/۵
سه	۲۷۸۰۰	۱۲۴۰۰۰	۱۲۳۰۰۰	۱۱۷۹۰۰	۱۳۴۷۰۰	۱۵۱۴۰۰	۱۵۰۵۰۰	۱۰۳۸۰۰	۱۰۰۰۰	۹۴۳۱۰۰	۷۴/۸
چهار	۲۱۰۰۰	۹۴۰۰۰	۹۳۰۰۰	۸۹۳۰۰	۱۰۱۹۰۰	۱۱۴۶۰۰	۱۱۴۰۰۰	۷۸۶۰۰	۷۷۰۰	۷۱۴۱۰۰	۷۶/۵
پنج	۳۳۵۰۰	۱۴۹۶۰۰	۱۴۸۰۰۰	۱۴۱۹۰۰	۱۶۲۰۰۰	۱۸۲۰۰۰	۱۸۱۰۰۰	۱۲۴۹۰۰	۱۲۰۰۰	۱۱۳۴۹۰۰	۴۷/۱
شش	۱۵۰۰۰	۶۸۵۰۰	۶۷۸۰۰	۶۴۹۰۰	۷۴۰۰۰	۸۳۴۰۰	۸۲۹۰۰	۵۷۰۰۰	۵۶۰۰	۵۱۹۱۰۰	۴۹/۱
هفت	۲۶۸۰۰	۱۱۹۹۰۰	۱۱۸۶۰۰	۱۱۳۷۰۰	۱۲۹۸۰۰	۱۴۵۹۰۰	۱۴۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۹۹۰۰	۹۰۹۶۰۰	۵۲/۲
هشت	۱۱۹۰۰	۵۳۰۰۰	۵۲۶۰۰	۵۰۰۰۰	۵۷۶۰۰	۶۴۷۰۰	۶۴۵۰۰	۴۴۰۰۰	۴۴۰۰	۴۰۲۷۰۰	۴۲/۲
جمع	۱۸۲۰۰۰	۸۱۷۰۰۰	۸۰۸۷۰۰	۷۷۴۸۰۰	۸۸۴۹۰۰	۹۹۵۰۰۰	۹۸۹۴۰۰	۶۸۱۸۰۰	۶۶۴۰۰	۶۲۰۰۰۰۰	۵۸/۴



شکل ۳. میزان برآوردی تأمین نیاز آبی فضای سبز مناطق شهر کرمانشاه از استحصال آب باران

با توجه به جدول‌های ۲ و ۳، حجم کلی نیاز آبی حدود ۱۰۶۲۰۰۰۰ متر مکعب و حجم آب باران قابل استحصال ۶۲۰۰۰۰۰ متر مکعب است که ۵۸/۴درصد از نیاز آبی را پوشش می‌دهد. این مقدار آب، که از باران قابل حصول است، با مدیریت صحیح در جهت رفع مشکلات منابع آب بسیار کارآمد است و فشار بر منابع تأمین آب برای فضاهای سبز را کاهش می‌دهد. آبی را که از طریق استحصال آب باران به‌دست می‌آید جهت مصرف فضاهای سبز در روزهای بدون بارندگی می‌توان به‌کار برد.

۲. مکان‌یابی مخازن ذخیرهٔ آب باران

انتخاب مکان‌های مناسب جهت احداث مخازن ذخیرهٔ آب باران گام آخر در این پژوهش است. متغیرهای مؤثر در مکان‌یابی مخازن ذخیرهٔ آب باران به همراه میزان اهمیت آنها به منظور مکان‌یابی بهینه در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳ وزن هریک از متغیرهای مورد بررسی برای مکان‌یابی مناطق مستعد احداث مخزن ذخیرهٔ آب باران را نشان می‌دهد. براساس پرسش‌نامهٔ تکمیلی توسط کارشناسان، ماتریس مقایسهٔ زوجی متغیرها به روش AHP تشکیل شد و وزن هریک از آنها مشخص شد. بیشترین اثرگذاری در مکان‌یابی مربوط به شاخص مکان‌های دارای فضای سبز در

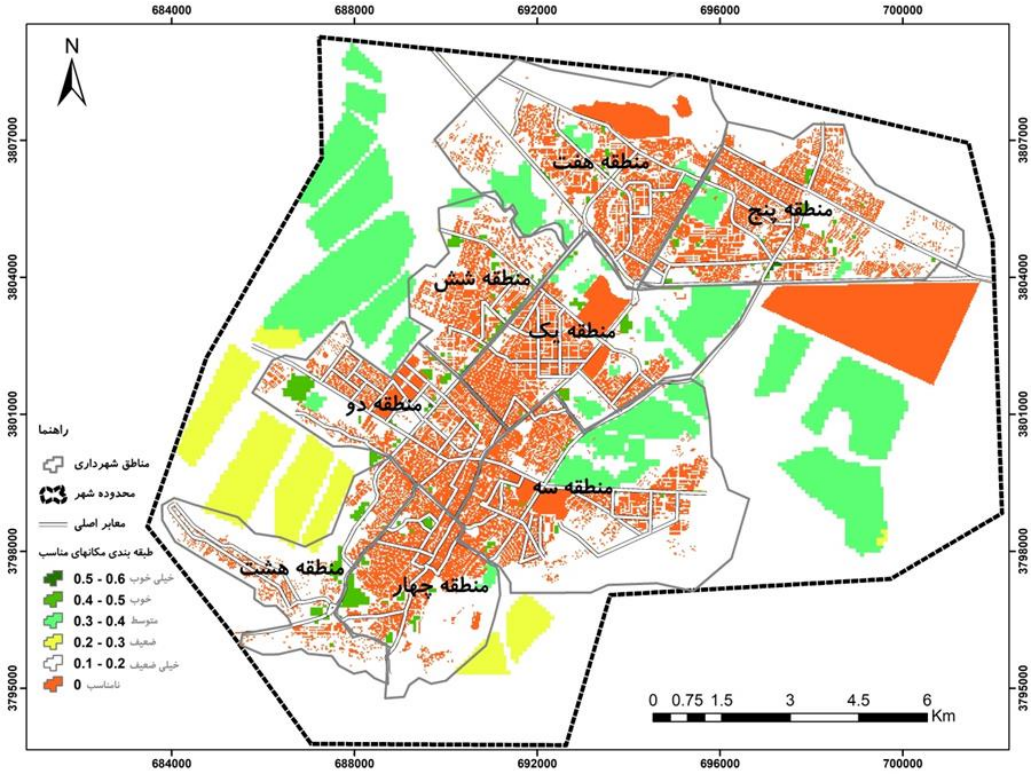
www.SID.ir

Archive of SID

سطح شهر است، زیرا جمع‌آوری آب باران با هدف آبیاری فضای سبز است. فضای آزاد سطح شهر و اراضی کشاورزی به‌دلیل قابلیت راحت‌تر ایجاد مخازن از نظر اقتصادی در اولویت بعدی احداث مخازن ذخیره قرار دارند. هر چه شیب کمتر باشد اراضی مناسب‌تری برای ایجاد مخزن وجود دارد. نزدیکی به محل جمع‌آوری آب باران (پشت‌بام ساختمان‌ها) از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر است.

جدول ۳. اهمیت متغیرهای مؤثر در مکان‌یابی ذخیرهٔ آب باران براساس روش AHP

لایه‌ها	نزدیکی به فضای سبز	فضای آزاد	کشاورزی محدودهٔ شهر	کشاورزی حاشیهٔ شهر	شیب	نزدیکی به پشت‌بام
وزن	۰/۴۵۲	۰/۲۷۹	۰/۱۰۶	۰/۰۵۸	۰/۰۷۱	۰/۰۴۲



شکل ۴. نقشهٔ استعداد مناطق از نظر احداث مخزن ذخیرهٔ آب باران به روش WLC

شکل ۴ نقشهٔ نهایی استعداد مناطق مختلف شهر کرمانشاه برای احداث مخزن ذخیرهٔ آب باران را نشان می‌دهد. براساس مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)، استعداد مناطق از مقدار ۰ تا ۱ ارزش‌گذاری شده است؛ به‌طوری‌که بیشترین استعداد مقدار یک و نواحی بدون استعداد مقدار صفر دریافت کرده‌اند. مناطق با بیشترین استعداد عمدتاً مناطق نزدیک به فضای سبز درون شهر یا اراضی کشاورزی هستند، که اغلب در بخش غربی و شرقی شهر پراکنده‌اند. استعداد این نواحی بین ۰٫۶–۰٫۵ است و مقدار مساحت آن حدود ۴۲ هزار متر مربع است. بهترین استعداد نواحی ۰٫۶ در سطح شهر شناسایی شد. مناطق بدون استعداد منطبق بر پشت‌بام ساختمان‌ها، فرودگاه، پالایشگاه، بیمارستان‌ها، خیابان‌ها، و دیگر مراکز حساس شهری است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مساحت تناسب اراضی (متر مربع) برای احداث مخازن ذخیرهٔ آب باران در محدودهٔ مناطق شهرداری

طبقه‌بندی مکان‌ها / مناطق	۰/۵-۰/۶ خیلی خوب	۰/۴-۰/۵ خوب	۰/۳-۰/۴ متوسط	۰/۲-۰/۳ ضعیف
یک	۲۱۰۰	۳۸۰۰۰۰	۲۴۵۰۰۰۰	۰
دو	۶۷۰۰	۲۲۲۰۰۰	۱۷۵۰۰۰	۴۰۰
سه	۳۶۵۰	۷۳۰۰۰	۳۱۱۱۰۰۰	۴۸۰
چهار	۳۱۵۰	۳۱۰۰۰۰	۱۲۲۰۰۰	۰
پنج	۱۴۴۰۰	۱۸۱۰۰۰	۵۶۵۰۰۰	۲۰۰
شش	۳۴۰۰	۱۹۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰	۷۰۰
هفت	۵۶۰۰	۹۲۰۰۰	۱۶۱۷۰۰۰	۰
هشت	۳۰۰۰	۱۵۲۰۰۰	۲۵۰۰۰	۹۵۰
مجموع	۴۲۰۰۰	۱۶۰۰۰۰۰	۸۱۶۶۰۰۰	۲۷۳۰

با توجه به جدول ۴، بیشترین و کمترین وسعتی که در محدودهٔ ارزشی ۰٫۵ تا ۰٫۶ (درجهٔ خیلی خوب) قرار دارند به‌ترتیب مربوط به منطقهٔ ۵ شهرداری واقع در شمال شرق شهر کرمانشاه و منطقهٔ ۱ شهرداری واقع در مرکز شهر کرمانشاه است. اما در مجموع حدود ۴۲ هزار متر مربع از سطح شهر کرمانشاه استعداد بیشتری برای ایجاد مخزن آب باران دارد. نقاط با ارزش ۰٫۴ تا ۰٫۵ (درجهٔ خوب) در اولویت بعدی قرار دارد که دارای مساحتی حدود ۱۶۰۰۰۰۰ متر مربع است. بیشترین استعداد در این طبقه مربوط به منطقهٔ ۱ شهرداری و کمترین آن مربوط به منطقهٔ ۳ شهرداری کرمانشاه است. مساحت این نواحی ۲۰۰۰ هکتار است. نقاط دارای ارزش صفر در نقشه شامل مناطق مسکونی و معابر، مراکز درمانی، خدماتی، پالایشگاه، و فرودگاه است که قابلیت استفاده به‌عنوان مکان ذخیرهٔ آب باران را ندارند؛ مساحت این نواحی ۴۲ میلیون متر مربع است. بر همین اساس، با ارزش صفر و رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

آب دارای نقش حیاتی در زندگی بشر است و عاملی مهم و تعیین‌کننده در تداوم زندگی انسان‌ها، حیوانات، و گیاهان بر روی کرهٔ زمین به‌شمار می‌رود. در شرایطی که مصرف آب در بخش‌های مختلف روز به روز بیشتر می‌شود و منابع آبی در معرض خطر جدی قرار دارد، توجه به راهکارها و تدابیر مناسب برای کاهش فشار به منابع آب امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در این زمینه استحصال آب باران از سطوح مختلف روشی مناسب برای مدیریت منابع آب است. در این پژوهش، که برای شهر کرمانشاه انجام شد، پتانسیل و حجم آب باران که می‌توان از سطح بام‌ها جمع‌آوری کرد بررسی شد. با استخراج مساحت سطح بام ساختمان‌ها با تصویر گوگل ارث برای هر یک از مناطق هشت‌گانهٔ شهرداری کرمانشاه، میانگین بارش ماهانهٔ ایستگاه کرمانشاه و داده‌های مساحت فضاهای سبز شهری و نیاز آبی، میزان تأمین آب باران برای آبیاری فضاهای سبز به‌دست آمد. بر طبق نتایج، در همهٔ مناطق شهرداری کرمانشاه، به غیر از مناطق ۵، ۶ و ۸، بیش از ۵۰درصد از نیاز آبی فضای سبز از طریق استحصال آب باران تأمین‌شدنی است. برای کل فضای سبز شهر کرمانشاه، در طی سال با استحصال ۶۲۰۰۰۰۰ متر مکعب می‌توان ۵۸٫۴درصد از مجموع ۱۰٫۶۲۰٫۰۰۰ متر مکعب نیاز آبی این فضاها را با این روش تأمین کرد. توجه به این مورد ضروری است که این حجم آبی فقط مربوط به جمع‌آوری آب باران از سطوح بام ساختمان‌هاست. بنابراین، اگر حجم آب باران بر همهٔ سطوح شهری (پشت‌بام، خیابان، پیاده‌رو، و مانند آن) محاسبه شود، بی‌شک کل نیاز آبی فضاهای سبز را می‌توان تأمین کرد. مهم‌ترین متغیر مؤثر در تعیین مکان‌های مناسب

www.SID.ir

Archive of SID

برای ذخیرهٔ آب باران براساس مدل AHP نزدیکی به فضای سبز و کم‌اهمیت‌ترین متغیر نزدیکی به پشت‌بام است. براساس مدل ترکیب خطی وزن‌دار، حدود ۴۲ هزار متر مربع به‌عنوان مکان‌های ذخیرهٔ آب باران ایده‌آل‌تر تشخیص داده شد که اغلب این سطح در منطقهٔ ۵ شهرداری در شمال شرق شهر کرمانشاه قرار گرفته است. در درجهٔ دوم اهمیت حدود ۱۶۰۰۰۰۰ متر مربع از سطح شهر کرمانشاه برای ذخیرهٔ آب باران خوب تشخیص داده شد. نتایج و روش برآورد مطالعهٔ حاضر با مطالعهٔ راج (۲۰۱۱)ـ که در منطقه‌ای از کشور هند انجام داده بود و در آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مساحت سطوح آبگیر بام، فضای آزاد، و جاده را استخراج کردـ مطابقت دارد. وی با ضرب مساحت سطوح، متوسط بارش، و ضریب رواناب مقدار آب باران قابل استحصال را محاسبه کرد. از نظر وی، آب جمع‌آوری‌شده از سطح بام نسبت به دیگر سطوح کیفیت بهتری دارد و همچنین برداشت آب باران راه‌حلی ایده‌آل برای بحران آبی است که در آینده به‌وجود می‌آید. مطالعهٔ حاضر با تحقیقات عبدالله و شریف (۲۰۰۹) در کشور اردن، اروکسوز و رحمان (۲۰۱۰) در کشور استرالیا، راج (۲۰۱۱) در کشور هند، زانک و همکاران (۲۰۱۴) در کشور چین، کردوانی و کردپور (۱۳۹۱) در ایستگاه هواشناسی شهرستان جوانرود، سعدالدین و همکاران (۱۳۹۳) در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، کومه و همکاران (۱۳۹۴) در شهر بیرجند، و شادمهری طوسی و همکاران (۱۳۹۶) در منطقهٔ ۹ شهر مشهد از این نظر شباهت دارد که روش جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام ساختمان‌ها را مطالعه کردند. علاوه‌براین، در تحقیق حاضر مکان‌های مستعد ذخیرهٔ آب برای آبیاری فضای سبز در شهر کرمانشاه مطالعه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

بیادی، ح.؛ ثنایی‌نژاد س.ح. و احمدیان طبسی، م.ج. (۱۳۸۷). بهره‌گیری از رواناب شهری در تأمین تقاضای محلی آب، سازمان هواشناسی کشور.

پرهیزگار، ا. و غفاری گیلانده، ع. (۱۳۸۵). سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، تهران: سمت.

تاران، ف. و مهتابی، ق. (۱۳۹۵). بررسی تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف شهر از طریق استحصال آب باران: مطالعهٔ موردی شهر بناب، فصل‌نامهٔ علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۷(۲۵): ۵۳-۴۰.

حنیفه‌پور، م.؛ خدابنده‌لو، ر. و حمیدی، م. (۱۳۹۴). برآورد آب قابل استفاده از استحصال آب باران جهت استفاده در امورکشاورزی (مطالعهٔ موردی: زنجان)، دومین همایش بین‌المللی پژوهش‌های‌کاربردی در کشاورزی، ۹-۱.

خاوری، ه.؛ گلدانی، م.؛ خواجه حسینی، م. و شور، م. (۱۳۹۴). تعیین درجهٔ حرارت‌های کاردینال و واکنش جوانه‌زنی بذور به درجهٔ حرارت‌های مختلف در پنج رقم بذر چمن، نشریهٔ علوم باغبانی، ۳۰(۴): ۶۵۰-۶۴۳.

ذوالفقاری، ح. (۱۳۹۰). نگاهی به روش‌های جمع‌آوری آب باران برای مصارف خانگی، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای زنجان: ۱-۱۱.

رسولی، ع.ا.؛ محمودزاده، ح.؛ یزدچی، س. و زرین‌بال، م. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزن‌دار در مکان‌یابی محل دفن مواد زاید شهری (مطالعهٔ موردی: مرند)، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، ۴: ۵۲-۴۱.

رشیدی مهرآبادی، م.ح.؛ ثقفیان، ب. و صادقیان، م.ص. (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد سطوح آبگیر پشت‌بام ساختمان‌های مسکونی در تأمین نیاز غیرشرب ساکنین در شهرهای ساحلی کشور، نشریهٔ مهندسی منابع آب، ۶(۱۹): ۱-۱۵.

زهتابیان، غ.؛ مسعودی، ر. و خسروی، ح. (۱۳۹۲). بررسی روش جمع‌آوری آب باران از سقف خانه‌ها (DRWH) (مطالعهٔ موردی: استان گلستان)، مجلهٔ سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱(۳): ۲۰-۱۴.

سعدالدین، ا.؛ بای، م. و نعیمی، ا. (۱۳۹۳). امکان‌سنجی فنی و اقتصادی جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها (مطالعهٔ موردی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)، نشریهٔ پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱(۶): ۲۷-۵۰.

شادمهری طوسی، ا.ح.؛ دانش، ش. و حسینی، س.م. (۱۳۹۶). بررسی پتانسیل جمع‌آوری آب باران از سطح ساختمان‌ها (مطالعهٔ موردی: یکی از نواحی چندگانهٔ شهرداری مشهد)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، ۱-۱۲.

شهابی، ه.؛ خضری، س. و نیری، ه. (۱۳۸۷). بررسی فاکتورهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های امداد و نجات جادهٔ سقز- سنندج با استفاده از مدل ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران و پدافند غیرعامل در پایداری ملی، تهران.

شهرداری کرمانشاه (۱۳۸۸). آیین‌نامهٔ ساختمان، معاونت معماری و شهرسازی شهرداری کرمانشاه.

شهرداری کرمانشاه (۱۳۹۱). دستورالعمل باغبانی و آبیاری سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری کرمانشاه، واحد فضای سبز سازمان پارک‌ها و فضای سبز کرمانشاه.

علیزاده، ا. (۱۳۹۴). اصول هیدرولوژی کاربردی، ویرایش هفتم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.

www.SID.ir

Archive of SID

کردوانی، پ. و کردپور، ب. (۱۳۹۱). استفادهٔ بهینه از منابع آبی در ناحیهٔ اورامانات (ذخیرهٔ باران)، فصل‌نامهٔ جغرافیایی سرزمین، ۹(۳۵): ۱-۱۸.

کومه، ز.؛ معماریان، ه. و تاج‌بخش، س.م. (۱۳۹۴). بررسی عملکرد سیستم استحصال آب باران از سطح پشت‌بام و بهینه‌سازی حجم مخزن (مطالعهٔ موردی: شهرستان بیرجند)، مجلهٔ سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۳(۷): ۲۳-۳۲.

مرکز آمار ایران (۱۳۷۸). آمار نامهٔ استان کرمانشاه.

Abdulla, F.A. and Al-Shareef, A.W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan, J. Desalin, 243: 195-207.

Abu-Zreig, M.; Hazaymeh, A. and Shatanawi, M. (2013). Evaluation of residential rainfall harvesting systems in Jordan, Urban Water Journal, 10: 105-111.

Akter, A. and Ahmed,Sh. (2015). Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh, Journal of Hydrology, 528: 84-93.

Alizadeh, A. (2015). Principles of Applied Hydrology, 7 Editions, Astan Quds Publication, Mashhad.

Bayadi, H.; Sanaeinezhad, S.H. and Ahmadian Tabasi, M.J. (2008). Utilization of urban runoff in supplying local water demand, Iran Meteorological Organization, pp: 22-32.

Eroksuz, E. and Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities, J. Resour. Conserv. Recycl, 54: 1449-1452.

Falkenmark, M.; Patrick, F.; Gunn, P. and Rockstrom, J. (2001). Water harvesting for upgrading rain-fed agriculture: problem analysis and research needs, *Stockholm*, Sweden: Stockholm International Water Institute. 94 P.

Hanifehpour, M.; Khodabandehlo, R. and Hamidi, M. (2015). Estimation of water available for use in rainwater harvesting for agricultural (case study: Zanjan province), Second International Conference on Applied Research in Agriculture, pp: 1-9.

Iran Statistics Organization (2008). Statistics of the province of Kermanshah.

Kahinda, J.M.; Taighenu, A.E. and Boroto, J.R. (2007). Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa, J. Phys. Chem. Earth, 32: 1050-1057.

Kardovani, P. and Kurdpoor, B. (2012). Optimum use of water resorce Auramanat zone(Rain Reservoir), Journal of Territory, 9(3): 3-18.

Khavari, H.; Goldani, M.; Khajehossaini, M. and Shour, M. (2017). Determination of Cardinal Temperatures and Germination Respond to Different Temperature for Five Lawns Cultivars, Journal Of Horticulture Science, 30(4): 643-650.

Koumeh, Z.; Memarian H. and Tajbakhsh, M. (2015). Investigation Performance of Rooftop Water Harvesting Systems and Reservoir Volume Optimization (Case Study: Birjand, Iran), *Iranian* Journal of Rainwater Catchment Systems, 3(2): 23-32.

Kuylenstierna, J.L.; Bjorklund, G. and Najlis, P. (1997). Sustainable water future with global implications: everyone's responsibility, Natural Resources Forum, 21: 181-190.

Mahmoud, W.H.; Elagib, N.A.; Gaese, H. and Heinrich, J. (2014). Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum, Resources, Conservation and Recycling, 91: 89-99.

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, translate: Parhizkar, A., and Ghafari Gilandeh, A., Samt press, p: 598.

www.SID.ir

Archive of SID

Municipality of Kermanshah (2009). Building Regulations, Deputy of Architecture and Urban Development of Municipality Kermanshah.

Municipality of Kermanshah (2012). Gardening and Irrigation Recipes of Parks and Greenery organization of the Municipality of Kermanshah.

Palla, A.; Gnecco, I. and Lanza, L.G. (2011). Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems, Journal of Hydrology, 401: 65-76.

Parhizgar A; Ghafari gilandeh A, (2006). Geographic Information System and Multi-criteria Analysis: Tehran, Samt 18-24.

Raj, S. (2011). Rain Water Harvesting Potential of Pallavapuram Area of Meerut: A GIS Study Proceedings of 12th Esri India User Conference, 8-11.

Rashidi Mehrabadi, M.H.; Saghafian, B. and Sadeghian, M.S. (2013). Performance Evaluation of Rainwater Harvesting on the Rooftops of Residential Buildings to Enhance Non-potable Water Demand in the Coastal Cities of Iran, Journal Water Resources Engineering, 6(19): 1-15.

Rasouli, A.A.; Mahmoudzadeh, H.; Yazdchi, S. and Zarinbal, M. (2012). The Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Linear Combination (WLC) methods for landfill of Urban Solid Waste materials Case Study: Marand County, Geography And Territorial Spatial Arrangement, 2(4): 41-52.

Sadoddin, A.; Bai, M. and Naeimi, A. (2015). Technical and economic feasibility study of rooftop rainwater harvesting system (Case Study: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources), Journal of Water and Soil Conservation, 21(6): 27-50.

Shadmeheri Toosi, A.; Danesh, S. and Hosseini, S.M. (2017). Evaluation of potential for rainwater harvesting (case study: a municipality district in the city of Mashhad), 4th International Conference on Environmental Planning & Management, Tehran, Tehran university, pp: 1-12.

Shahabi, H.; Khezri, S. and Nayeri, H. (2008). Investigation of effective factors in locating rescue stations of Saqez-Sanandaj Road using WLC, 4th International Conference on Integrated Management of Passive Crisis and Passive Defense in National Sustainability, Tehran.

Song, J.; Han, M.; Kim, T. and Song, J. (2008). Rainwater harvesting as a sustainable water supply option in Banda Aceh, J. Desalin, 248: 233-240.

Sturm, M.; Zimmermann, M.; Schutz, K.; Urban, W. and Hartung, H. (2009). Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia, J. Phys. Chem. Earth, 34: 776-785.

Taran, F. and Mahtabi, G. (2016). Investigation of Supplying Water Requirements in Different Parts of a City through Rainwater Harvesting ;a Case Study Bonab, Iran, Journal of Irrigation & Water Engineering, 7(1): 40-53.

Winnaar, G.; Jewitt, G.P.W. and Horan, M. (2007). A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 32(15): 1058-1067.

Zehtabian, Gh.; Masudei, R. and Khosravi, H. (2013). The study of the method of collecting rainwater from the roof of houses (DRWH) (case study: Golestan province), Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems, 1(3): 14-20.

Zhang, Q.; Wang, X.; Hou, P.; Wan, W.; Li, R.; Ren, Y. and Ougang, Z. (2014). Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic, tile and green roofs in Chongqing china, Journal of environmental management, 132: 178-187.

Zolfaghari, H. (2012). A look at ways to collect rainwater for home use, Second National Conference on Iranian Water Resources Research, Regional Water Company of Zanjan, pp: 1-11.

www.SID.ir