ارزیابی قابلیت جمع‌آوری آب باران در حوضه‌ی آبخیز شهری ساری

کاکا شاهدی*[۱]، سجاد روزبه کوهشاهی [۲]، مهسا خنکدار [۳]
۱*-دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (*Email:kaka.shahedi@gmail.com*)
۲-دانشجوی مقطع دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

تامین آب برای بخش‌های مصرف خانگی، کشاورزی و صنعت در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها در بسیاری از مناطق جهان بویژه کشور ایران است. بسیاری از صاحب‌نظران معتقد هستند که آب باران می‌تواند یکی از منابع جانشین آب شیرین محسوب شود. بنابراین هدف از پژوهش حاضر برآورد پتانسیل جمع‌آوری آب باران در حوضه‌های بام‌ها، جاده‌ها، فضای سبز و اراضی کشاورزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهرستان ساری واقع در استان مازندارن می‌باشد. در پیژوهش حاضر جهت محاسبه حجم آب باران جمع‌آوری شده، از دو روش (با در نظر گرفتن دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۵، ۲) و بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت) استفاده شد. ابتدا با تعیین مساحت سطوح مختلف استحصال آب باران با استفاده از GIS، سپس تخمین مقادیر بارندگی با نرم افزار SMADA و همچنین برآورد متوسط بارندگی سالانه با استفاده از نقشه همباران و ضریب رواناب سطحی با استفاده از فرمول استدلالی و Rational، حجم آب باران سالانه و فصلی هر یک از سطوح برحسب مترمکعب محاسبه و در نهاییت حجم کل رواناب سالانه و فصلی برحسب متر مکعب برآورد گردید. براساس نتایج پژوهش حاضر، حجم آب باران استحصال شده از پشت بام‌ها، خیابان‌ها، فضای سبز، اراضی کشاورزی به ترتیب ۳۷۸۶۷۸۲,۰۵، ۲۷۹۲۵۷۷,۹۹، ۲۰۹۸۲,۱۴ و ۱۳۹۵۶۲۲,۷۰ مترمکعب می‌باشد. حجم کل آب باران قابل استحصال از سطوح جمع‌آوری‌کننده، ۷،۹۹۵،۹۶۴،۸۸ مترمکعب برآورد گردیده است. نتتایج پیژوهش حاضر توجه سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب شهری نسبت به دانش و راه‌حل‌های منطبق بر محیط زیست در راستای معرففی و استفاده از منابع آبی مختلف را افزایش می‌دهد، تا زمینه‌ساز تامین اعتبار لازم و توجه کافی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی:
جمع‌آوری آب باران، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرمول استدلالی و Rational، شهرستان ساری

مقدمه

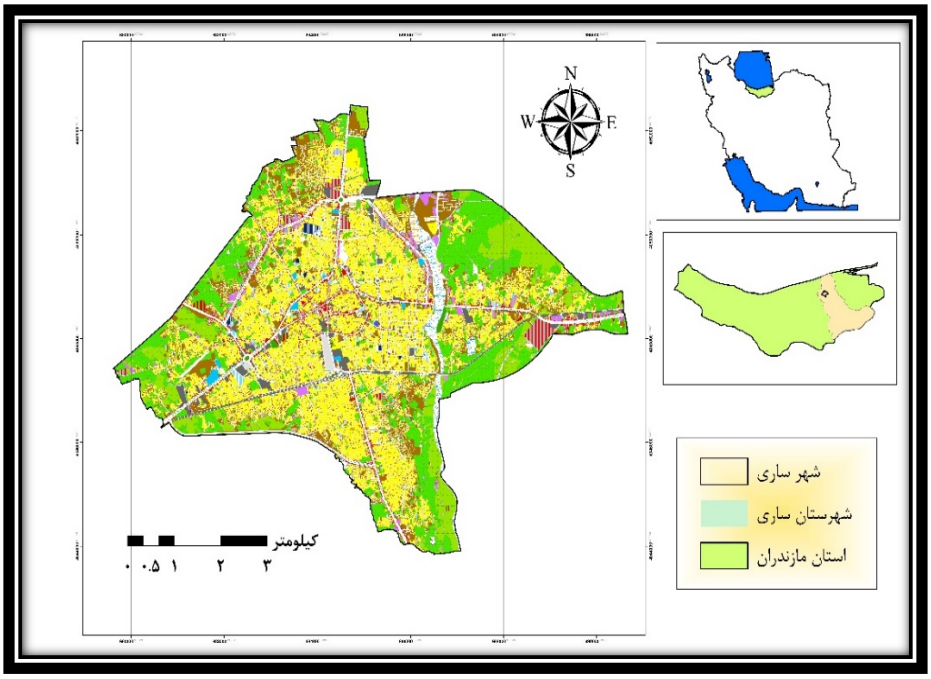
با وجود کمبود روز افزون منابع آب، برداشت آب باران به عنوان یک راه حل جایگزین عملی و امیدوارکننده برای مقابله با کمبود آب می‌باشد (Oni و همکاران ، ۲۰۰۸). شواهد تاریخی حاکی از این است که روش‌های جمع‌آوری آب باران روشی متداول برای تأمین آب با به کارگیری انواع سطوح آبگیر، در مناطق دارای محدودیت وجود رودخانه و منابع آب زیر زمینی بوده است (Evenari و همکاران، ۱۹۸۲) . اصطلاح RWH تمرکز، جمع آوری، ذخیره‌سازی و استفاده از آب باران را توصیف می‌کند که در مصارف خانگی و کشاورزی به کار می‌رود (Gould و Nissen-Petersen،۱۹۹۹). امروزه، جمع‌آوری آب باران (RWH) به عنوان یک گزینه مناسب جهت تامین آب در کشورهای در حال توسعه و حتی توسعه یافته، عمدتاً در محلی که در آن منابع آب کافی وجود ندارد و یا هزینه‌های سنگینی دارد، می‌باشد (Yaziz و همکاران، ۱۹۸۹؛Younos و Lawson ، ۲۰۱۱) . برداشت آب باران، جایگزین طبیعی است که موجب حل مشکلات تامین آب ساکنان جوامع روستایی، نیمه شهری و شهری می‌شود (Oni و همکاران، ۲۰۰۸) و به عنوان یکی از استراتژهای مناسب ذکر شده که بخشی از این آب برای مقابله با تغییرات آب و هوایی در آینده مورد نیاز است (Pandey و همکاران، ۲۰۰۳؛ Rutashobya، ۲۰۰۸؛ Mukheibir، ۲۰۰۸؛ Salas و همکاران، ۲۰۰۹). شناسایی پتانسیل برداشت آب باران در حفاظت و بهره‌برداری از آن برای مقاومت در برابر تقاضای رو به رشد آب به خصوص در زمان خشکسالی، موثر می‌باشد (Narain و همکاران ،۲۰۰۵). کشور ایران به دلیل کمبود ریزش‌های جوی و پراکنش زمانی و مکانی آن، در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. از طرفی به دلیل رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعت، درنهایت با افزایش تقاضای آب مواجه است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه شناسایی پتانسیل برداشت آب باران در سطح جهان و اثرات احتمالی آن روی تغییر منابع آب متمرکز شده است. شاهینی (۱۳۹۰) به بررسی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران با استفاده از آبخیز پشت بامی در روستای اینچه برون واقع در استان گلستان با تعیین سطح حوضه بام‌ها و مقادیر بارش سالیانه در منطقه و ضریب رواناب پرداخت. نتایج حاصل از تحقیق آن نشان داد که این روش به عنوان یکی از روش‌های توسعه سیستم‌های سنتی جمع‌آوری آب باران و راهکاری مناسب برای مقابله با پدیده خشکسالی دراستان گلستان می‌باشد. در تحقیق دیگری رشیدی مهرآبادی و ثقفیان (۱۳۹۱) با استفاده از ضریب رواناب، مقدار بارندگی روزانه و مساحت حوضه بام‌ها به محاسبه حجم استحصال آب باران از بام‌ها در تهران پرداختند. نتایج آنها حاکی از آن بود که در مناطق دارای بارندگی با توزیع زمانی مناسب، می‌توان به بیشترین درصد تامین نیاز غیر شرب ساکنین دست یافت. در تحقیق دیگری Raj (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، مساحت سطوح مختلف پشت بام و جاده و فضای باز را محاسبه و در نهایت با ضرب متوسط بارندگی و ضریب رواناب منطقه Meerut Pallavapuram واقع در هند به ارزیابی قابلیت جمع آوری آب باران در منطقه مورد مطالعه پرداخت، نتایج آن حاکی از آن بود که که برداشت آب باران، راه حل ایده آل برای بحران آبی است که در آینده به وجود می‌آید. در تحقیق دیگری Belmeziti و همکاران(۲۰۱۳) با ضرب ضریب رواناب ساختمان‌ها و میانگین سالانه بارندگی و مساحت ساختمان‌های مسکونی شهر پاریس به ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران در سطح شهر پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که می‌توان با استفاده از آب باران استحصال شده تقریبا۱۰٪ مجموع آب آشامیدنی را فراهم کرد. با توجه به اهمیت بالای مسائل بررسی شده، هدف از پژوهش حاضر برآورد پتانسیل جمع آوری آب باران در سطوح مختلف با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهرستان ساری واقع در استان مازندارن می‌باشد. نتایج این پژوهش باعث افزایش توجه سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب شهری نسبت به راه‌حل‌ها و دانش منطبق بر محیط زیست در راستای معرفی و استفاده از منابع آبی مختلف را فراهم می‌سازد.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

شهر ساری، واقع در استان مازندران، از شمال و شمال شرقی به دریای مازندران، از جنوب و جنوب شرقی به رشته کوه‌های البرز و استان سمنان، از مشرق به شهرستان بهشهر و نکا و از مغرب به شهرستان‌های قائم شهر، سواد کوه و جویبار محدود است و در موقعیت جغرافیایی'۵°۵۳ طول شرقی و'۳۶°۳۴ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع شهر ساری از سطح دریای آزاد ۲۰ متر است. بر اساس آمار ۱۰ ساله ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۷ ایستگاه سینوپتیک ساری، در شهر ساری متوسط بارندگی سالیانه ۷۳۰/۹ میلی متر بوده است.

مساحت کل حوضه شهری ساری حدود ۴۱۸۷ هکتار می باشد. موقعیت حوضه آبخیزشهری ساری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) محدوده شهر ساری بر روی استان و ایران

روش تحقیق

حجم آب باران استحصال شده:

میزان آب باران قابل استحصال بستگی به میزان باران، سطح حوضه آبگیر و ضریب رواناب دارد در این رابطه تلفات آب از طریق تبخیر، نفوذ از سطوح نادیده گرفته شده است. حجم آب باران استحصال شده از طریق ضرب متوسط بارش سالانه، مساحت حوضه و ضریب رواناب محاسبه می‌شود (فرمول ۱):

$$S=R \times A \times Cr \qquad (۱)$$

S= حجم آب باران استحصال شده بر حسب متر مکعب در سال، R= متوسط بارش سالانه بر حسب میلیمتر، A= مساحت حوضه جمع آوری کننده (بام ها، جاده ها، فضای سبز) بر حسب متر مربع، Cr = ضریب رواناب.

در این پژوهش از ۲ روش برای محاسبه حجم آب باران جمع آوری شده از سطوح استفاده گردید. در روش اول حجم آب باران استحصال شده از هر سطح در دوره بازگشت‌های ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۵، ۲ برآورد گردید. اما در روش دوم حجم آب باران استحصال شده از هر سطح بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت محاسبه شد. در هر دو روش، مساحت حوضه از یک روش مشابه، متوسط بارش و ضریب رواناب از دو روش متفاوت بدست آمد و در فرمول جای‌گذاری شد.

برآورد مساحت سطوح:

یکی از پارامترهای مهم جهت محاسبه حجم آب باران، مساحت سطوح پشت بام‌ها، خیابان‌ها، اراضی کشاورزی و فضای سبز می‌باشد. در هر دو روش برای تهیه‌ی نقشه‌ی هر سطح، از طرح تفضیلی شهر ساری در سال ۱۳۸۵ و مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده گردید. جهت محاسبه مساحت حوضه‌های پشت بام‌ها و خیابان‌ها از نقشه طرح تفضیلی، پلی‌گون بام‌ها و خیابان‌ها در محیط نرمافزار ArcGIS نسخه ۱۰ استخراج شد. همچنین برای تعیین مساحت فضای سبز و اراضی کشاورزی از طرح تفضیلی شهر ساری، کاربری‌های مذکور تفکیک شد. سپس شیب منطقه به ۳ طبقه ۰-۲ درصد ، ۲-۷ درصد و بیشتر از۷ درصد کلاس‌بندی شد و مساحت هر طبقه در محیط ArcGIS10 محاسبه گردید و سپس از نقشه‌های مذکور خروجی گرفته شد.

ضریب رواناب:

برای هر کدام از روش‌ها (محاسبه حجم آب قابل استحصال با در نظر گرفتن دوره بازگشت و محاسبه حجم آب قابل استحصال بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت) جهت به دست آوردن ضریب رواناب سطوح از فرمول‌های جداگانه استفاده گردید.

الف- ضریب رواناب برای محاسبه آب قابل استحصال در دوره بازگشت های مختلف

در روش اول از فرمول استدلالی(جدول chow) استفاده گردید. در این فرمول ضریب رواناب به ۳ عامل شیب، پوشش گیاهی و دوره بازگشت بستگی دارد که با تهیه نقشه شیب در محیط Arc Gis ۱۰ و با در نظر گرفتن پوشش گیاهی و دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ضرایب رواناب بدست آمد.

ب- ضریب رواناب برای محاسبه آب قابل استحصال بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت

در روش دوم از فرمول rational استفاده شد. در این فرمول ضریب رواناب خیابان‌ها براساس جنس سطح و ضریب اراضی کشاورزی براساس ردیف کشت تعیین گردید جدول (۱).

جدول (۱) ضریب رواناب سطوح آبگیر شهر ساری با استفاده از فرمول Rational

سطوح مختلف		ضریب رواناب
بام‌ها	-	۰/۰-۷۵/۹۵
خیابان‌ها	آسفالت	۰/۰-۷۰/۹۵
	بتون	۰/۰-۷۰/۹۵
فضای سبز	-	۰/۱۰-۰/۵
اراضی کشاورزی	خاک‌های سنگین، هیچ محصول	۰/۰-۳۰/۶۰
	خاک‌های سنگین با محصول	۰/۰-۲۰/۵۰
	خاک شنی، هیچ محصول	۰/۰-۱۰/۴۰
	خاک شنی با محصول	۰/۰-۱۰/۲۵

- برآورد میزان بارندگی:

برآورد میزان بارندگی جهت محاسبه آب قابل استحصال در دوره بازگشت های مختلف

در روش اول محاسبه حجم آب باران قابل استحصال از سطوح مختلف از نرم افزار SMADA برای تعیین بهترین توزیع آماری و سپس برآورد میزان بارندگی شهر ساری، استفاده گردید.

- تعیین بهترین توزیع آماری:

جهت براورد میزان بارندگی، آمار جدید بارندگی سالانه (۳۰ ساله) از سازمان آب منطقه‌ای شهر ساری تهیه گردیده و سپس در نرم‌افزار SMADA، ۶ تابع توزیع فراوانی شامل توابع نرمال، لوگ نرمال ۲ و ۳ پارامتری، پیرسون تیپ ۳، لوگ پیرسون تیپ ۳ و گمبل بر روی داده‌ها، برازش گردیده و بهترین توزیع طبق فرمول۲ (پارامتر آماری میانگین مربع خطا) و مشاهده میزان انطباق منحنی داده های مشاهده ای و داده های محاسباتی تعیین گردید:

$$RMS = \left[\frac{\sum(X_{mi}-X_{pi})^2}{n}\right]^{0.5} \quad (۲)$$

که در آن RMS میانگین مربع خطا، X_m داده های واقعی، X_p داده های تخمین زده شده، n تعداد داده ها و i شماره ردیف داده‌هاست.

میزان بارندگی برای هر دوره بازگشت بر مبنای بهترین تابع توزیع احتمالاتی توسط نرم افزار SMADA ، براورد شده است.

برآورد میزان بارندگی برای محاسبه آب قابل استحصال بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت

- برآورد متوسط بارندگی:

جهت برآورد میانگین بارندگی سالانه از میزان بارندگی و ارتفاع ۶ ایستگاه بارندگی (ساری – دارابکلاء – کردخیل – ریگ چشمه – آبلو – لاریم) استفاده گردید و سپس با قراردادن رابطه این دو پارامتر در محیط ArcGis، نسخه ۱۰ و با روش IDW نقشه همباران تهیه شد و با استفاده از نقشه خطوط همباران و فرمول شماره ۲، متوسط بارندگی شهر ساری بدست آمد.

$$P = \frac{(P1A1)+ (P2A2)+\cdots+(PnAn)}{(A1+A2+\cdots+An)} \qquad (۲)$$

- حجم کل آب باران قابل استحصال:

حجم کل آب باران جمع آوری شده، از مجموع حجم کل رواناب پشت بام‌ها، خیابان‌ها، فضای سبز (چمنزار و پارک) و اراضی کشاورزی محاسبه گردید.

حجم کل آب باران = حجم آب پشت بام ها + حجم آب جاده‌ها + حجم آب فضای سبز + اراضی کشاورزی

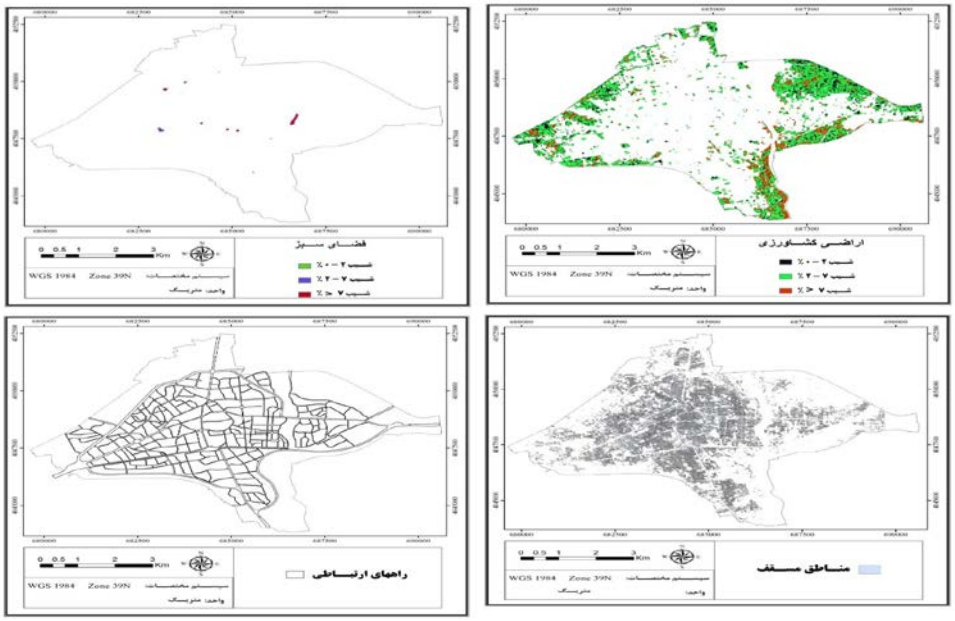
- حجم آب باران فصول:

میانگین بارندگی فصل بهار، تابستان، پائیز و زمستان از اداره آب منطقه‌ای شهر ساری تهیه گردید و سپس در مساحت سطوح استحصال آب باران (بام‌ها، خیابان‌ها، پارک و فضای سبز، اراضی کشاورزی) و ضریب رواناب هر سطح ضرب گردید و در نهایت حجم کل آب باران استحصال شده از سطوح آبگیر در هر فصل بدست آمد.

نتایج و بحث

- محاسبه مساحت سطوح:

ابتدا نقشه‌های سطوح مختلف با استفاده از نرم افزار ArcGIS10، استخراج گردید (شکل ۲). سپس مساحت پشت بام‌ها، خیابان‌ها، فضای سبز و اراضی کشاورزی در ۳ کلاس استخراج گردید جدول (۲).



شکل ۲- نقشه‌های سطوح مختلف جمع‌آوری آب باران

جدول ۲- مساحت حوضه‌های جمع‌آوری‌کننده آب باران شهر ساری

پشت بام‌ها	۶۰۵۴۳۵۶,۵۳۰۳۳۵
جاده‌ها	۴۶۲۸۱۵۶,۸۰۶۰۹۵
پارک و فضای سبز	۹۵۰۴۸,۴۵۵۳۰۱
-پوشش تنک(کمتر از ۵۰٪ تاج پوشش)	
شیب کم، صفرتا۲ درصد	۶۶۲۷,۴۰۱۵۱۱
شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۳۷۵۵۸,۷۰۴۷۷۸
شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۵۰۸۶۲,۳۴۹۰۱۳
اراضی کشاورزی	۱۱۱۵۶۶۹۸,۹۱۲۳۶۳
شیب کم، صفرتا۲ درصد	۲۰۱۹۳۳۱,۲۷۴۰۱۳
شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۷۲۵۴۶۰۹,۱۴۱۴۲۵
شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۱۸۸۲۷۵۸,۴۹۶۹۲۵

- تعیین ضریب رواناب با در نظر گرفتن دوره بازگشت‌های مختلف:

تعیین ضریب رواناب برای سطوح مختلف:

با در نظر گرفتن ۳ کلاس شیب (۰-۲درصد، ۲-۷ درصد ، بیشتر از ۷ درصد) و نقشه پوشش گیاهی، ضریب رواناب پارک و فضای سبز با استفاده از فرمول استدلالی (جدول chow) بدست آمد جدول (۳). همچنین برای تعیین ضریب رواناب اراضی کشاورزی با در نظر گرفتن ۳ کلاس شیب (۰-۲درصد، ۲-۷ درصد ، بیشتر از ۷ درصد) و با استفاده از فرمول استدلالی (جدول chow) ضریب رواناب اراضی کشاورزی بدست آمد جدول (۳). همچنین برای تعیین ضریب رواناب پشت بام‌ها و جاده‌ها از فرمول استدلالی (جدول chow)، استفاده شد جدول (۳).

جدول ۳- ضریب رواناب برای سطوح مختلف در دوره بازگشت‌های مختلف

مشخصات سطح		دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
مناطق شهری	آسفالت	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۹۵
	بتون- پشت بام	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۷
فضای سبز(چمنزار، پارک) -پوشش تنک(کمتر از ۵۰٪ تاج پوشش)	شیب کم، صفرتا۲ درصد	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۴	۰/۴۷
	شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۵۳
	شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۵
اراضی کشاورزی	شیب کم، صفرتا۲ درصد	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۷
	شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱
	شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۴

-تعیین ضریب رواناب بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت‌های مختلف:

با استفاده از جدول (۱) ضریب پشت بام‌ها و فضای سبز شهر ساری به ترتیب ۰/۹۵- ۰/۷۵ و ۰/۵-۰/۱۰ و به دلیل اینکه جنس خیابان‌های این شهر از آسفالت و ردیف کشت کشاورزی این شهر از خاک شنی با محصول می‌باشد به ترتیب ۰/۷۰-۰/۹۵ و ۰/۲۵-۰/۱۰ بدست آمده است جدول (۴). برای بدست آوردن ضریب رواناب نهایی از متوسط دو عدد استفاده شد که برای بام‌ها ۰/۸۵، خیابان ها۰/۸۲، فضای سبز۰/۳و برای اراضی کشاورزی ۰/۱۷ بدست آمد.

جدول ۴- ضریب رواناب سطوح آبگیر شهر ساری با استفاده از فرمول **Rational**

سطوح مختلف		ضریب رواناب
بام‌ها		۰/۷۵-۰/۹۵
خیابان‌ها	آسفالت	۰/۷۰-۰/۹۵
فضای سبز		۰/۱۰-۰/۵
اراضی کشاورزی	خاک شنی با محصول	۰/۱۰-۰/۲۵

- بارندگی سالانه شهر ساری با دوره بازگشت‌های مختلف

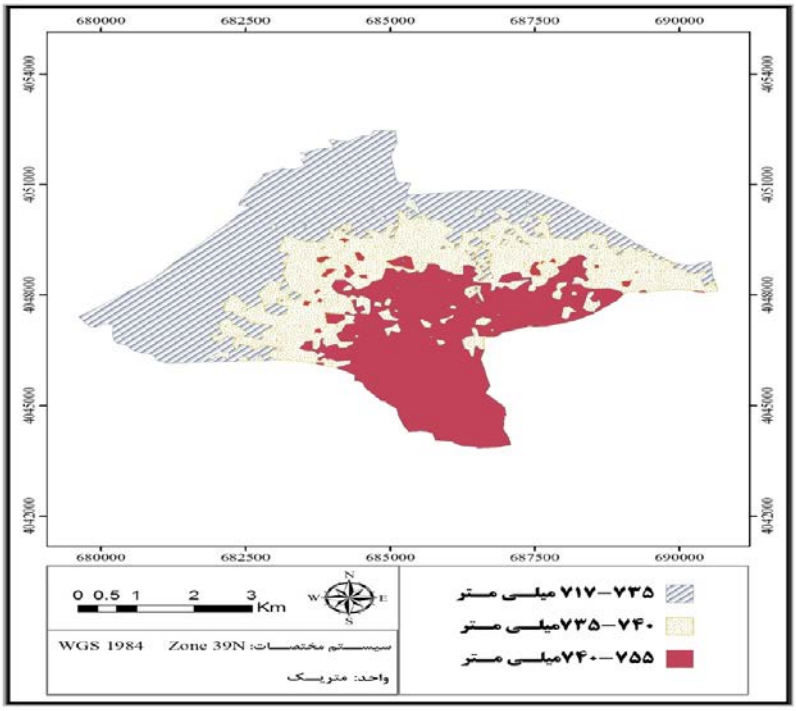
بهترین توزیع آماری برای ۳۰ سال از بین۶ توزیع مورد نظر، با استفاده از آزمون RSS، توزیع گامبل انتخاب گردید که در جدول (۵) نشان داده شده است. درنتیجه با توجه به توزیع گامبل، با احتمالات وقوع مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ مقادیر بارش شهر ساری تعیین شد جدول (۵).

جدول ۵- تعیین مقدار **RSS** برای توزیع های آماری و میزان بارندگی سالانه شهر ساری با دوره بازگشت‌های مختلف

توابع احتمالی	RMS	دوره بازگشت	مقادیر بارندگی
نرمال	۳۸/۶۲	۱۰۰	۱۱۸۴,۴۳
لوگ نرمال۲	۳۲/۰۸	۵۰	۱۱۰۴,۵۹
لوگ نرمال۳	۳۱/۳۰	۲۵	۱۰۲۴,۱۶
پیرسون تیپ۳	۳۰/۸۵	۱۰	۹۱۵,۷۴
لوگ پیرسون تیپ۳	۳۱/۹۶	۵	۸۲۹,۹۳
		۲	۷۰۰,۳۲

-محاسبه متوسط بارندگی شهر ساری بدون دوره بازگشت:

متوسط بارندگی شهر ساری با استفاده از فرمول (۲) و نقشه خطوط همباران، ۷۳۵,۸ میلیمتر در سال برآورد گردید شکل (۲).



شکل ۲- نقشه همباران شهر ساری

- محاسبه حجم آب باران قابل استحصال سطوح در دوره بازگشت‌های مختلف :

در روش اول حجم رواناب بام‌ها، خیابان‌ها، فضای سبز و اراضی کشاورزی به متر مکعب با ضرب مساحت هریک از سطوح برحسب متر مربع در میزان بارندگی سالانه بر حسب میلی متر و ضریب رواناب برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله بدست آمده است جدول (۶).

جدول ۶- حجم آب استحصال شده از سطوح مختلف برای دوره بازگشت های مختلف برحسب m^3

مشخصات سطح		دوره بازگشت (سال)					
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
مناطق شهری	آسفالت	۲۳۶۶,۰۷	۲۹۵۷,۶۰	۳۴۳۲,۹۳	۴۰۷۶,۳۷	۴۶۰۰,۱۰	۵۲۰۷,۶۴
	بتون- پشت بام	۳۱۷۹,۹۹	۴۰۱۹,۷۵	۴۶۰۱,۷۰	۵۴۵۶,۵۵	۶۱۵۲,۵۷	۶۹۵۵,۸۴
فضای سبز(چمنزار، پارک) -پوشش تنک(کمتر از ۵۰٪ تاج پوشش)	شیب کم، صفرتا۲ درصد	۱۴۸۵,۲۲	۱۸۷۰,۰۹۴	۲۲۴۵,۵۳	۲۷۱۵	۳۲۲۱,۰۴۸	۳۶۸۹,۳۶
	شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۹۷۳۲,۱۶	۱۲۴۶۸,۴۴	۱۴۷۸۹,۴۳	۱۷۶۹۴,۴۱۷	۲۰۳۲۸,۶۱	۳۵۷۷,۴۰
	شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۱۳۱۷۹,۳۷	۱۶۸۸۴,۸۸	۱۹۵۶۲,۲۰	۲۳۹۶۱,۹۴	۲۷۵۲۹۲	۳۳۱۳,۳۶
اراضی کشاورزی	شیب کم، صفرتا۲ درصد	۴۳۸۳۹۵,۲۰	۵۶۹۸۰۷,۲۲	۶۶۵۷۰۵,۶۸	۸۲۷۲۴۷,۳۳	۹۵۹۱۲۹,۲۴	۱۱۲۴۱۲۵,۵۷
	شیب متوسط، ۲تا۷ درصد	۱۷۷۸۱۹۱,۷۵	۲۲۸۷۹۱۰,۷۵	۲۷۲۳۷۶۷,۶۶	۳۲۶۹۱۴۷,۴۲	۳۸۴۶۴۱۶,۹۸	۴۳۸۲۲۱۴,۱۱
	شیب زیاد، بیش از ۷ درصد	۵۱۴۲۲۸,۰۳	۶۵۶۲۷۴,۲۵	۷۵۸۶۱۱,۶۰	۹۲۵۵۵۸,۰۵	۱۰۶۰۶۳۴,۸۷	۱۲۰۴۱۹۷,۶۴

- محاسبه حجم کل آب باران استحصال شده :

با جمع حجم آب باران استحصال شده همه سطوح در هر دوره بازگشت، پتانسیل استحصال آب باران شهر ساری بدست آمد جدول (۷).

جدول ۷- حجم کل آب استحصال شده برای دوره بازگشت های مختلف برحسب m^3

دوره بازگشت	حجم کل رواناب m^3
۱۰۰	۱۸۹۳۴۴۱۱,۷۳
۵۰	۱۶۶۷۰۸۲۹,۲۶
۲۵	۱۴۵۹۹۲۵۵,۲۰
۱۰	۱۲۵۵۳۶۰۸,۶۰
۵	۱۰۵۲۲۵۷۴,۸۹
۲	۸۳۰۱۲۷۱,۲۳

حجم آب استحصال شده سطوح بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت :

در روش دوم با ضرب میانگین بارندگی سالانه (حاصل از نقشه همباران) در مساحت و ضریب رواناب هر سطح حجم آب استحصال شده هر سطح محاسبه شد (جدول ۸). با جمع آب باران استحصال شده از بام‌ها، خیابان‌ها، پارک و فضای سبز و اراضی کشاورزی حجم کل آب باران یا پتانسیل جمع‌آوری آب باران شهر ساری $۷,۹۹۵,۹۶۴,۸۸ m^3$ بدست آمد.

جدول ۸- حجم آب استحصال شده سطوح بدون در نظر گرفتن دوره بازگشت

	مساحت (مترمربع)	بارندگی سالانه	ضریب رواناب	حجم آب استحصال شده (مترمکعب)
بام‌ها	۶۰۵۴۳۵۶,۵۳۰۳۳۵	۷۳۵,۸۴	۰,۸۵	۳۷۸۶۷۸۲,۰۵
خیابان‌ها	۴۶۲۸۱۵۶,۸۰۶۰۹۵	۷۳۵,۸۴	۰,۸۲	۲۷۹۲۵۷۷,۹۹
فضای سبز	۹۵۰۴۸,۴۵۵۳۰۱	۷۳۵,۸۴	۰,۳	۲۰۹۸۲,۱۴
اراضی کشاورزی	۱۱۱۵۶۶۹۸,۹۱۲۳۶۳	۷۳۵,۸۴	۰,۱۷	۱۳۹۵۶۲۲۷۰۵,۷۰
پتانسیل آب باران استحصال شده کل سطوح با استفاده از روش دوم :				۷،۹۹۵،۹۶۴،۸۸m^3

براساس نتایج، حجم آب باران استحصال شده از پشت بام‌ها ۳،۷۸۶،۷۸۲،۰۵ مترمکعب ،خیابان ها ۲،۷۹۲،۵۷۷،۹۹ مترمکعب، فضای سبز ۲۰،۹۸۲،۱۴ مترمکعب و اراضی کشاورزی ۱،۳۹۵،۶۲۲،۷۰ مترمکعب می باشد. باتوجه به نتایج، بام‌ها دارای مساحت و ضریب رواناب بیشتری نسبت به سطوح دیگر می‌باشند و چون حجم آب استحصال شده با مساحت سطوح و ضریب رواناب ارتباط مستقیم دارد، بنابراین پشت بام‌ها پتانسیل بیشتری برای جمع‌آوری آب باران دارند و همچنین پشت بام‌ها، در مقایسه با سطوح دیگر به دلیل اینکه از منابع آلودگی غیر نقطه‌ای فاصله دارند بنابراین احتمال انواع آلودگی‌های آن بسیار کم است و آب با کیفیت مناسب را فراهم می‌کند، بنابراین دارای کارایی بیشتری برای مصارف خانگی می‌باشد و برداشت آب باران پشت‌بام تاثیر بالقوه بر روی کاهش حجم رواناب شهری دارد. که این نتایج مطابق نتایج، Raj (۲۰۱۱) ، Younos و Lawson (۲۰۱۱) و ذولفقاری (۱۳۹۰) در ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد. حجم کل آب باران جمع‌آوری شده از سطوح جمع آوری‌کننده، ۷،۹۹۵،۹۶۴،۸۸ مترمکعب برآورد شد، بنابراین با توجه به حجم بالای قابل استحصال آب باران از بام‌ها، جاده‌ها، فضای سبز و اراضی کشاورزی شهر ساری، می‌توان نتیجه گرفت که شهر ساری دارای پتانسیل خوبی از نظر جمع آوری آب باران می‌باشد. که این نتایج مطابق نتایج، Raj (۲۰۱۱)، Lange و همکاران (۲۰۱۱)، Inamdar و همکاران (۲۰۱۱)، میرشریف (۱۳۹۱) و ذولفقاری (۱۳۹۰) در ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران مورد بررسی در این تحقیق، می‌باشد.

حجم آب استحصال شده در فصول مختلف :

برای بدست آوردن حجم آب باران برای هر فصل از میانگین بارندگی ۴ فصل استفاده گردید. سپس با ضرب میانگین بارندگی هر فصل در ضریب رواناب و مساحت هر سطح حجم کل آب باران در هر فصل و برای هر سطح برآورد گردید جدول (۹). در نهایت حجم کل آب باران قابل استحصال در فصول مختلف از مجموع حجم آب باران استحصال شده از همه سطوح در هر فصل بدست آمد جدول (۹).

جدول ۹- حجم آب باران قابل استحصال در فصول و سطوح مختلف سال به m^3

فصول سال	حجم آب باران سطوح مختلف به m^3					حجم کل آب باران
	متوسط بارندگی	پشت بام‌ها	خیابان‌ها	پارک و فضای سبز	اراضی کشاورزی	
بهار	۱۷۰/۸۰	۸۷۸،۹۷۱،۴۹	۶۴۸،۱۱۷،۶۴	۴،۸۷۰،۲۹	۳۲۳،۹۴۵،۹۰	۱،۸۵۵،۹۰۵،۳۲
تابستان	۷۸/۷۰	۴۰۵،۰۰۶،۱۸۰	۲۹۸،۶۷۳،۴۸	۲،۲۴۴،۰۹	۱۴۹،۲۶۵،۴۸	۸۵۵،۱۸۹،۲۳
پائیز	۱۹۱/۱۰	۹۸۳،۴۳۹،۴۰۳	۷۲۵،۲۴۱،۴۳	۵،۴۴۹،۱۳	۳۶۲،۴۴۷،۶۸	۱،۰۹۳،۱۳۸،۲۴
زمستان	۲۹۳/۵۰	۱،۵۱۰،۴۱۰،۵۶۰	۱،۱۱۳،۸۵۸،۴۹	۸،۳۶۹،۰۱	۵۵۶،۶۶۳،۵۰	۳،۱۸۹،۳۰۱،۶۰

براساس نتایج، حجم آب باران جمع‌آوری شده در فصل بهار ۱،۸۵۵،۹۰۵،۳۲ مترمکعب، فصل تابستان ۸۵۵،۱۸۹،۲۳ مترمکعب، فصل پائیز ۱،۰۹۳،۱۳۸،۲۴ مترمکعب و در فصل زمستان ۳،۱۸۹،۳۰۱،۶۰ مترمکعب برآورد شده است که با توجه به نتایج حاضر، فصل زمستان بیشترین پتانسیل استحصال آب باران را دارد و بعد از آن به ترتیب پاییز، بهار و سپس تابستان بیشترین پتانسیل را دارند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت جمع‌آوری آب باران از طریق روش‌های RWH، در طی فصول مختلف سال متفاوت است و بنا جمع‌آوری آب باران در فصول پرباران و استفاده آن در مصارف خانگی می‌توان در هزینه آب صرفه جویی کرد. که این نتایج با نتایج منابعی از قبیل شاهینی (۱۳۹۰) و Oni و همکاران (۲۰۰۸) در خصوص جمع‌آوری و ذخیره آب باران از سطوح آبگیر در فصول پرباران و برای استفاده آن در مصارف خانگی در فصول کم باران در این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تکنیک‌های استحصال آب باران همواره در حال پیشرفت بوده و امروزه با رویکردی جدید در بسیاری از کشورهای جهان، از این منبع آبی کم هزینه و مفید استفاده می‌شود. کشورهای توسعه یافته و قدرتمند اقتصادی در کنار کشورهای فقیر و کم توان از نظر اقتصادی به این منبع ارزشمند روی آورده‌اند. با توجه به افزایش جمعیت شهر ساری، ارتقای استانداردهای زندگی مردم در کنار بالا بودن نرخ مصرف آب در همه بخش ها از جمله بخش خانگی و کشاورزی همراه با مشکلات مضاعف ناشی از تاثیرتغییرات اقلیمی و بروز خشکسالی‌های پی در پی، فشارهای زیادی را بر منابع محدود آب شیرین کشور تحمیل می‌کند. بنابراین، توجه به منابع جایگزین برای آب شیرین به هر مقدار ممکن با در نظر گرفتن جمیع شرایط، امری ضروری است و از اقدامات موثر برای مقابله با تغییرات آب و هوایی در آینده است. در حال حاضر با توجه به اینکه تامین آب شرب مصرفی مردم ساری از چاه‌های حفر شده در میانبند مناطق هولار و تنگه لته تامین می‌شود بنابراین برای اینکه از افت زیاد سطح سفره و شور شدن آن جلوگیری به عمل آید می‌توان از آب باران جمع آوری شده از سطوح مختلف آبگیر برای مصارف خانگی، آبیاری فضای سبز و درختان استفاده کرد، زیرا روش‌های استحصال آب باران می‌تواند به کاهش اتکاء به این منابع کمک شایانی نماید. با توجه به سوابق موجود از استحصال آب باران در کشور، می‌توان با اطمینان از مفید بودن این روش و با استفاده از دستاوردهای روز دنیا، از آن برای تامین آب جبرانی بسیاری از طرح‌ها در شرایط کمبود ناشی از خشکی و خشکسالی بهره‌برداری نمود. پیشنهاد می‌شود ارزیابی پتانسیل جمع آوری آب باران در مناطق شهری برای دیگر شهرهای کشور به خصوص مناطق خشک و نیمه خشک صورت گیرد. همچنین بررسی سطوح مختلف جمع‌آوری آب از نظر مصالح و تاثیر آن بر میزان و کیفیت آب استحصالی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- ذوالفقاری، ح. ۱۳۹۰ . نگاهی به روشهای جمع آوری آب باران برای مصارف خانگی. دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. ۱۱ص.
- شاهینی، غ. ۱۳۹۰ . استحصال آب باران با استفاده از حوضه های آبخیز پشت بامی. همایش یافته های پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۹ص.
- مهرآبادی، م.ح. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۱ . بهینه سازی مخازن سطوح آبگیر منازل مسکونی در شهرها، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۹ص.
- میرشریف، ع. ۱۳۹۱. لزوم استفاده از تکنیک‌های صرفه جویی در مصرف آب بمنظور توسعهٔ منظر سبز شهری. دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. ۹ ص.
- Belmeziti, A., O. Coutard and B.D. Gouvello. 2013. A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region). ISSN 2073-4441.
- Evenari, M and L. Shanan and N.Tadmor.1982.The Negev,The Challenge of a Desert.2nd Edition , Harvard University.press,Cambridge,Massanz.
- Gould, J and E. Nissen-Petersen. 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply ITDG Publishing, London, United Kingdom.
- Inamdar, P.M., S. Cook., A. Sharma., N. Corby., J. O'Connor and B.J.C. Perera. 2011. Development of a GIS based screening tool for evaluating stormwater harvesting sites in urban areas, 3307-3313pp.
- Lange, J., S. Husary., A.Gunkel., D. Bastian., T. Grodek. 2011. Potentials and limits of urban rainwater harvesting in the Middle East, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 8 :10369–10396.
- Mukheibir, P. 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South

Africa. Water Resources Management, 22: 1259–1276.

- Narain, P., M.A. Khan and G. Singh. 2005. Potential for water conservation and harvesting against drought in Rajasthan, India. Working Paper 104 (Drought Series: Paper 7). Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI),1-25pp.
- Oni, S. I., E. Ege., Ch. Asenime and S.A. Oke. 2008 . Rainwater Harvesting Potential for Domestic Water Supply in Edo State,Indus Journal of Management & Social Sciences,2(2): 87-98 pp.
- Pandey, D.N., A.K. Gupta and D.M. Anderson. 2003. Rainwater harvesting as adaptation to climate change. Current science, 85 (1): 46–59.
- Raj , S. 2011. Rain Water Harvesting Potential of Pallavapuram Area of Meerut: A GIS Study,12th Esri India User Conference,1-9pp.
- Rutashobya, D.G .2008. Climate change scenarios. Impacts and adaptation strategies in Africa. In: Petermann, T. (Ed.), Towards Climate Change Adaptation–Building Adaptive Capacity in Managing African Transboundary River Basins. Case Studies From African Practitioners and Researchers. InWEnt – Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH Capacity Building International, Germany. ISBN: 978-3-939394-28-0.
- Salas, J.C., K.W. K nig and A. Lo .2009. Rainwater harvesting providing adaptation opportunities to climate change. In: Barron, J. (Ed.), Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-being. A Report Prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute York, UK/Stockholm Resilience Centre, Stockholm, Sweden. ISBN: 978-92-807-3019-7.
- Yaziz, M. I ., H. Gunting , N. Sapari and A. W. Ghazali .1989. Variations in rainwater quality from roof catchments," Water Research, 23: 761-765pp.
- Younos, T., S. Lawson. 2011. Rainwater Harvesting A Holistic Approach for Sustainable Water Management in Built Environments. 6PP.