



معرفی روشی مناسب در انتخاب مناطق مستعد جمع آوری آب باران در سواحل جنوبی خزر با تاکید بر ایستگاه سینوپتیک بابلسر

کریم سلیمانی^۱ فاطمه شکریان^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی می باشد

چکیده

مصرف آب به عنوان رکن اصلی حیات امری اجتناب ناپذیر در زندگی بشر به حساب می آید. بسیاری از مناطق ایران، از جمله مازندران، با مشکلات دسترسی به آب در فصل نیاز مواجهند. در مناطق مرطوب که از بارندگی سالانه مناسبی برخوردارند مدیریت صحیح منابع آب موجود و استحصال آب باران راهکاری مناسب می باشد. هدف این مطالعه تحلیل بارش طولانی مدت بابلسر بر اساس داده های سینوپتیک می باشد تا در پی آن مکان یابی مناطق مستعد استحصال آب باران در محدوده شهر انجام شود. در این پژوهش از سری زمانی داده های روزانه بارندگی در بازه ی زمانی ۶۸ ساله شامل سال های ۱۳۳۱-۱۳۹۸ استفاده و پارامتر اقلیمی بارش در سه مقطع ماهانه، فصلی و سالانه مورد تحلیل قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل ها موید اجرای سیستم های استحصال آب باران و مناطق مستعد برای این امر در شهر بابلسر بود. نتایج این تحقیق نشان داد که عملگر Gamma با ضریب ۰/۷ بهترین گزینه برای منطقه مورد مطالعه می باشد. بر اساس محاسبات انجام شده میزان رواناب در سطح این شهر حدود ۶۹۶۵۷۰ مترمکعب تخمین زده شد که برای استحصال آب باران بسیار مناسب می باشد.

واژه های کلیدی: تحلیل باران، عملگر گاما، GIS، شهر بابلسر

^۱ استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ۰۹۱۱۱۵۲۱۸۵۸، k.solaimani@sanru.ac.ir، solaimani2001@yahoo.co.uk

^۲ استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، *نویسنده مسئول (f.shokrian@sanru.ac.ir)، shokrian.f@gmail.com



مقدمه

Cheng and Hong, 2004; Stec and Zelenakova, Lade and Oloke, Zaizen et al., 1999) 2019
Moreira Neto et al. 2012; Ghisi et al., 2017;
(2009).

بنابراین، RWHS نه تنها منبع جایگزین آب به حساب می‌آید بلکه باعث کاهش چشمگیر خروج آب باران از سقف‌ها به سیستم فاضلاب شده و در نتیجه حجم آب شبکه فاضلاب و جریان رگباری را کاهش داده که نهایتاً موجب کاهش وقوع سیلاب های شهری می‌گردد (Sample and Liu 2014; Basinger et al. 2010;)
(Mahmoud et al., 2014).

در یک حوضه‌ی آبخیز، رواناب بدست آمده از رگبارها، یک منبع پتانسیل آب است که در صورت مدیریت درست می‌تواند به عنوان یک مکمل برای رفع نیازهای آبی استفاده شود. به این ترتیب جمع‌آوری رواناب یک انتخاب مناسب برای استحصال و ذخیره کردن آب‌های سطحی برای مصارف است (Winnar et al., 2007; Coskun and
(Musaoglu, 2004; Myers, 1964). تجزیه و تحلیل توسط Coombes و همکاران (۱۹۹۹) برای شهری در استرالیا انجام شد. در این تحقیق، ۲۷ ساختمان آپارتمان واقع در نیوکاسل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داد که آب باران می‌تواند ۶۰٪ از نیاز آبی ساکنان در این ساختمان‌ها را تامین نماید.

Fewkes (۱۹۹۹) برای مدت ۱۲ ماه، سامانه جمع-آوری آب باران را در مخزنی با ظرفیت 3 m^3 و تأمین آب برای شستشوی توالت در واحد مسکونی در ناتینگهام، انگلیس، مورد پایش قرار داده است. با توجه به فصل‌های سال، هزینه مصرف آب از ۴ تا ۱۰۰ درصد متغیر بوده است. Zhang و همکاران (۲۰۱۰) آزمایش شبیه‌سازی استفاده از آب باران را در ساختمان‌های مسکونی شهر کرانبروک (Cranbrook) در غرب استرالیا انجام دادند. صرفه‌جویی مصرف آب شهری هنگام استفاده از آب باران برای شستشوی توالت و آبیاری باغ (۲۵/۵ درصد) بود.

Eroksuz و Rahman (۲۰۱۰) دریافتند که مخازن بزرگ ذخیره باران با ظرفیت حداکثر ۷۰ متر مکعب می‌توانند ۵۰٪ از آب مورد نیاز برای شستشوی توالت، شستشو

رشد جهانی جمعیت، شهرنشینی و تغییر آب و هوا، منابع آب را به شدت کاهش داده است. به‌علاوه، تأمین آب شیرین برای مناطق شهری، اگر غیرممکن نباشد، دشوارتر شده است. بدون شک، آینده به اجرای فناوری‌های جدید مانند شیرین‌سازی و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده تکیه خواهد داشت.

شیرین‌سازی به‌ویژه در مناطق ساحلی، مؤثرترین راهکار برای تأمین پایدار آب برای طولانی‌مدت در مقایسه با سایر گزینه‌ها می‌باشد. تاریخچه تولید آب با فرآیندهای نمک‌زدایی در جهان به شکل صنعتی به اوایل قرن بیستم برمی‌گردد. تا سال ۱۹۵۳، حدود ۲۰۰ واحد نمک‌زدایی آب با ظرفیتی معادل ۱۰۰ هزار مترمکعب در روز در جهان موجود بود. بر اساس آخرین گزارش انجمن بین‌المللی شیرین‌سازی تا پایان سال ۲۰۱۸، تعداد ۱۹۷۴۴ واحد نمک‌زدایی در ۱۵۰ کشور جهان به میزان ۹۹/۷ میلیون مترمکعب در جهان امروز با مشکلات جدی محیط زیستی ناشی از تغییر اقلیم، رشد جمعیت، شهرنشینی و پدیده گرم شدن کره زمین مواجه است.

بنابراین، بهره‌برداری پایدار و حفظ این منابع برای توسعه و توجه به نسل‌های آینده بسیار مهم است (Morales and Tapia, 2019, Rockstrom, 2000)
(Urbaniec et al., 2017).

در جستجوی منابع آب جایگزین، توجه ویژه‌ای به آب باران شده است، که با آلودگی نسبتاً کم، به خصوص از پشت بام ساختمان‌ها، که نیازی به فرآیندهای تصفیه پیشرفته ندارد (Sahin and Manioğlu 2018; Zhang and Hu 2014; Mekonnen and Hoekstra 2016; Ercin and Hoekstra 2014; Vörösmarty, et al. 2000).

لذا آب باران به عنوان منبع جایگزین در انواع ساختمان‌ها به عنوان آب قابل شرب و غیر قابل شرب استفاده می‌شود

Campisano et al., 2017; Severis Fewkes, 2006
Martin et al. 2015; Ghisi and et al. 2019;
;Yana et (Sly's and Stec, 2014 ;Ferreira 2007
Ward et al. 2012; Lee et al., 2017 al., 2018;

که می‌توان با استفاده از آب باران استحصال شده در حدود ۱۰٪ مجموع آب آشامیدنی را فراهم کرد.

Mahmoud و Tang (۲۰۱۵) برای مطالعه‌ی مناطق مناسب جمع‌آوری آب باران در انگلیس از سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده کردند و نتایج نشان داد که مناطق شمال غربی انگلستان برای جمع‌آوری آب باران بسیار مناسب است.

Rashash و El-Nahry (۲۰۱۵) برای تعیین محل سد برای جمع‌آوری آب باران به منظور توسعه‌ی کشاورزی در سواحل شمال غربی مصر استفاده کرده و بیان کردند که رویکردهای مدل‌سازی، ابزارهای قدرتمندی برای تصمیم‌گیری در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند.

Rostad و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد سیستم جمع‌آوری آب باران در چهار کلان‌شهر ایالت متحده آمریکا پرداختند و نتایج نشان داد که یک سیستم عادی جمع‌آوری آب باران با مساحت سقفی در حدود ۱۰۰ متر مربع و متصل به مخزنی با حجم ۵ مترمکعب تا بیش از ۶۵ درصد می‌تواند میزان نیاز به آب شرب را کاهش دهد و در طبع آن رواناب را نیز کاهش دهد. Adham و همکاران (۲۰۱۸) از یک رویکرد مبتنی بر GIS برای شناسایی مناطق مستعد برای جمع‌آوری آب باران در بیابان غربی عراق پرداختند. نتایج شامل نقشه‌های استعداد جمع‌آوری آب باران بوده که برای هیدرولوژیست‌ها، تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در شناسایی سریع مناطقی با بالاترین پتانسیل برداشت آب باران مفید بوده و همچنین اجرای این روش‌ها باید هرگونه تغییرات سیاست به سمت پذیرش گسترده‌ی جمع‌آوری آب باران (RHW) را پشتیبانی کند. Wu و همکاران (۲۰۱۸) از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP برای تعیین مکان‌های بهینه‌ی جمع‌آوری آب باران در شمال شرقی گواتمالا (Guatemala) با استفاده از GIS استفاده کردند. نتایج ۴ منطقه را به صورت مطلوب و ۸ منطقه را بسیار مناسب معرفی کردند. Saha و همکاران (۲۰۱۸) برای شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه‌ی رودخانه‌ی مئاندری در منطقه‌ی کنگر، چاتیسگر، از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) استفاده کردند. نتایج

و فضای سبز در ساختمان‌های بزرگ مسکونی را تأمین کند.

Radhir و Sekar (۲۰۰۷) به ارزیابی مکانی پتانسیل جمع‌آوری آب باران در سیستم حوزه آبخیز پرداختند. نتایج نشان داد که برای به حداقل رساندن تلفات رواناب و ذخیره آن باید متغیرهای استراتژی جمع‌آوری آب باران مورد استفاده قرار گیرد.

Kahinda و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از ۳,۳ ArcView، به عنوان راه حل مناسب ارزیابی RWH و نیز تأمین آب تحت حالات مختلف (با تغییر و بدون تغییر آب و هوا) در منطقه جنوب آفریقا پرداختند و با ضرب مساحت پشت‌بام‌ها در متوسط بارندگی و ضریب رواناب، حجم آب باران جمع‌آوری شده از بام‌ها را محاسبه و به این نتیجه دست یافتند که ارزیابی RWH جهت بهبود دسترسی به آب آشامیدنی و سایر نیازهای اساسی موثر بوده و نیز برداشت آب باران از اقدامات موثر در آفریقا برای مقابله با تغییرات آب و هوایی در آینده است.

Raj (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مساحت سطوح مختلف را محاسبه کرد و در نهایت با ضرب متوسط بارندگی و ضریب رواناب سه سطح پشت‌بام و جاده و فضای باز و مساحت این سه سطح به ارزیابی قابلیت جمع‌آوری آب باران در منطقه Meerut Pallavapuram هند پرداخت و دریافت که آب جمع‌آوری شده از سطح پشت‌بام‌ها نسبت به سطوح دیگر آب پاک‌تری را فراهم می‌کند و همچنین برداشت آب باران، راه حل ایده‌آل برای بحران آبی است که در آینده به وجود می‌آید. Isioye و همکاران (۲۰۱۲) برای شناسایی مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران در نیجریه از سیستم پشتیبانی تصمیم چند معیاره (MDSS) مبتنی بر GIS و RS استفاده کردند. نتایج نشان داد که MDSS شرایط شناسایی بالقوه در استخرها، حوضه‌های آبریز و سدها را پشتیبانی می‌کند.

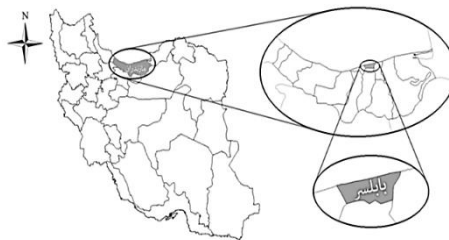
Belmeziti و همکاران (۲۰۱۳) با ضرب ضریب رواناب ساختمان‌ها و میانگین سالانه بارندگی و مساحت ساختمان‌های مسکونی شهر پاریس به ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران در سطح شهر پرداختند و نشان دادند

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر بابلسر با مساحت ۱۳۵۰ هکتار حدود ۶۰۰۰۰ نفر جمعیت دارد که معادل ۴/۴ درصد از جمعیت کل استان مازندران است. از نظر توپوگرافی تقریباً هموار بوده و با شیب

ملایمی از سمت جنوب به به شمال به دریای خزر امتداد دارد. ارتفاع این شهر ۲۱ متر پایین‌تر از سطح دریاها آزاد و ۶ متر بالاتر از سطح دریای مازندران قرار دارد. متوسط رطوبت نسبی آن ۷۹ درصد، حداکثر دمای سالانه ۲۷ و حداقل آن ۸ درجه سانتیگراد است که به ترتیب مربوط به ماه‌های مرداد و بهمن می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی بابلسر

این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2000). فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

H_0 : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).
 H_1 : داده‌ها دارای روند هستند. در این آزمون، اگر X_1, X_2, \dots, X_n مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به‌جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه‌ی موردنظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون برپایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل

نشان داد که تجزیه و تحلیل‌های چند معیاره در GIS برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در تعیین مناطق مناسب برای ساختارهای برداشت آب با توجه به ویژگی‌های خارجی حوضه استفاده می‌شود؛ علاوه بر این با استفاده از روش معمولی وزنی، حوضه در دسته‌های مناسب یا بسیار مناسب قرار گرفت. Chiu و Aghaloo (۲۰۲۰) برای شناسایی مناطق بهینه برای جمع‌آوری آب باران برای کشاورزی از روش منطق فازی و در یک سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند؛ نتایج نشان داد که در مقایسه با روش‌های سنتی، تجزیه و تحلیل حساسیت تأیید کرده است که DSS پیشنهادی نسبت به روش‌های سنتی مطمئن‌تر است.

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش

در این پژوهش از سری زمانی داده‌های روزانه بارندگی در ایستگاه سینوپتیک بابلسر استفاده شده است. این داده‌ها در بازه‌ی زمانی ۶۸ ساله شامل سال‌های ۱۳۳۱-۱۳۹۸ می‌باشند. در دوره مطالعاتی پارامتر اقلیمی بارش در سه مقطع ماهانه، فصلی و سالانه مورد توجه قرار گرفت. لذا با استفاده از داده‌های روزانه بارش، سری زمانی مجموع بارش‌های ماهانه، فصلی و سالیانه استخراج و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از روش‌های (میانگین متحرک، معادله خط رگرسیون و ...) به مطالعه و بررسی سری‌های مختلف زمانی پرداخته شد.

آزمون من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann, 1954; Kendall, 1975) بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است.

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i$$

که در آن ضرایب همبستگی با تأخیر i می‌باشد که از رابطه (rk) محاسبه می‌شود.

آزمون شیب سن

تخمین‌گر شیب سن به منظور تخمین شیب خط روند توسط Sen (۱۹۶۸) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده ارائه شد. این روش ناپارامتری با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌کند. با روش سن برای هر جفت داده متوالی، یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده، یک سری زمانی را تشکیل می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_l}{j - l} \right) \quad \forall j > l$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و X_j مقدار مشاهده j ام و X_l مقدار مشاهده l ام می‌باشد. z یک واحد زمانی بعد از l می‌باشد. مقادیر مثبت β نشان دهنده روند افزایشی در سری داده‌هاست (Sen, 1968). این آزمون به همراه آزمون من‌کندال در نرم‌افزار XLSTAT قابل اجرا می‌باشد؛ لذا به منظور بررسی نتایج آزمون ناپارامتری من‌کندال و شیب خط سن در این تحقیق، از نرم‌افزار XLSTAT بهره گرفته شده است.

آزمون پتیت

این تست توسط Pettitt (۱۹۷۹) ارائه شده است و در مکانی که در سری زمانی نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری موردنظر در آن مکان به دو جزء سری تقسیم می‌شود. در صورت معنی‌دار شدن نقطه شکست در سری مورد نظر، نسبت مقادیر میانگین اجزاء سری قبل و بعد از نقطه تغییر، برای تحلیل بزرگی شکست به کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌دار را نشان نمی‌دهد، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود. آماره K در آزمون پتیت طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$K = \max |u_k| \quad 1 \leq k \leq N$$

u_k معادل آماره من-ویتنی است که برای آزمون دو نمونه (X_1, X_2, \dots, X_T) و $(X_{T+1}, X_{T+2}, \dots, X_N)$ از یک جمعیت

بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

در رابطه بالا n : تعداد داده‌ها، m : تعداد گره‌ها و t : تعداد داده در هر گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m برابر t می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه (۸) بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که $S > 0$ باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که $S < 0$ باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. به منظور حذف اثرات ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده (Hamed and Rao, 1998) استفاده شده است. برای این کار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه k ام (r_k) بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

که در آن $k=1, 2, \dots, n/4$ می‌باشد. اگر

$$\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

باشد آنگاه داده‌ها در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه k ام غیر مستقل و معنی‌دار فرض شود، ابتدا واریانس اصلاح شده $\text{Var}(s)^*$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(s)^* = \text{Var}(s) \frac{n}{n^*}$$

عملگر گاما

این عملگر از بکارگیری دو عملگر حاصل جمع فازی و حاصل ضرب فازی بصورت رابطه زیر تعریف می شود.

$$\mu_{\text{combine}} = (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^{\gamma} * (\prod_{i=1}^n \mu_i)^{1-\gamma}$$

در اینجا γ پارامتری است که در بازه (۱ و ۰) انتخاب می گردد (Zimmermann & Zysno, 1980). زمانیکه γ برابر یک باشد، عمل ترکیب برابر حاصل جمع فازی می گردد و زمانیکه γ برابر صفر باشد، عمل ترکیب برابر حاصل ضرب فازی می گردد. مقادیر ارزش های خروجی بر اساس مقدار γ دارای مقادیر نوسانی می باشد. بطوریکه، در نتیجه تاثیر حاصل جمع فازی می تواند دارای مقادیر صعودی باشد و همچنین در نتیجه تاثیر حاصل ضرب فازی می تواند دارای مقادیر نزولی گردد. بطوری که در مثال قبل اگر مقدار گاما برابر ۰/۷ باشد، مقدار ارزش خروجی برابر ۰/۶۷۹ می گردد که مقداری بین ۰/۷۵ و ۰/۵ می باشد. در صورتی که مقدار گاما برابر ۰/۹۵ باشد، مقدار ارزش خروجی برابر ۰/۸۳۹ می گردد که یک مقدار صعودی بوده و اگر مقدار گاما برابر ۰/۱ باشد، مقدار ارزش خروجی برابر ۰/۴۰۸ می گردد که یک مقدار نزولی است.

نتایج

بررسی بارندگی ماهانه، سالانه و فصلی

بررسی بارش های سالانه در دوره ی زمانی مورد نظر نشان داد که متوسط بارندگی ۶۸ سال ۸۹۱/۰۲ میلی متر بوده است. بیشترین بارش سالانه با مقدار ۱۳۵۰/۹ میلی متر مربوط به سال ۱۳۸۱ و پس از آن مقدار ۱۳۴۶/۸ میلی متر مربوط به سال ۱۳۶۰ می باشد. کمترین بارش سالانه ثبت شده در این ایستگاه مربوط به سال ۱۳۳۱ به میزان ۵۱۸/۲ میلی متر و پس از آن در سال ۱۳۸۹ به مقدار ۶۱۹/۲ میلی متر بوده است (شکل ۲).

$$S = P \times A \times C_r/100$$

یکسان به کار می رود که N تعداد کل داده ها و T شماره ترتیب داده ای است که آماره آزمون پتیت به حداکثر مقدار خود رسیده است. u_k طبق رابطه زیر به دست می آید.

$$u_k = 2 \sum_{i=1}^k M_i - k(N + 1)$$

M_i رتبه داده مشاهده ام است. نقطه شکست در سری زمانی در نقطه ای رخ می دهد که u_k به حداکثر مقدار خود برسد. برای آزمون معنی داری آماری نقطه تغییر، مقدار محاسبه شده k با مقدار تئوری آن در سطح احتمال α طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$k_a = \left[\frac{-\ln \alpha (N^3 + N^2)}{6} \right]^{\frac{1}{2}}$$

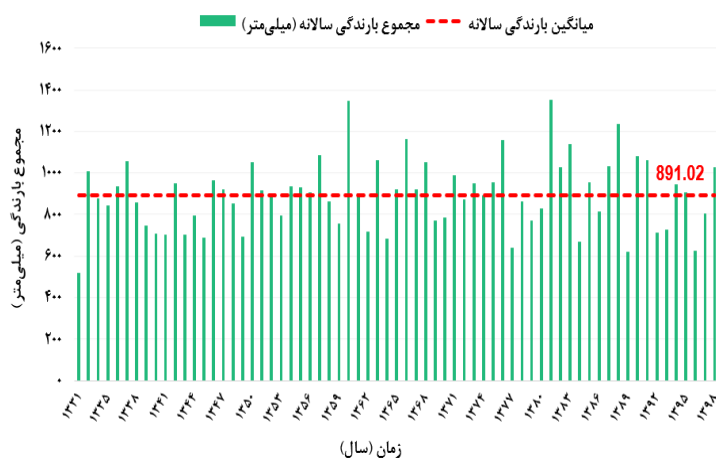
$$P \approx \exp \left[\frac{-6k^2}{N^3 + N^2} \right]$$

اگر P در آزمون پتیت کمتر از سطح معناداری ۵ درصد باشد، فرض صفر (عدم) رد می شود. این آزمون نیز توسط نرم افزار XLSTAT اجرا شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

محاسبه حجم آب باران قابل استحصال

به منظور محاسبه حجم آب قابل استحصال از باران، سه مؤلفه شامل داده بارش، مساحت پشت بام و ضریب رواناب سطح مورد نیاز است. برای محاسبه حجم آب قابل جمع-آوری از رابطه ۱ استفاده شد (ذوالفقاری ۱۳۹۰).

S متوسط آب باران استحصال شده برحسب مترمکعب،
 P متوسط بارش برحسب میلی متر، A مساحت حوضه جمع آوری کننده (بام) برحسب مترمربع، C_r ضریب رواناب سطح که برای سطوح بام ۰/۷ در نظر گرفته شد. برای سطوح شهری با شیب تا ۱۰ درصد ضریب رواناب ۰/۷ در نظر گرفته می شود (علیزاده ۱۳۹۴). ۱۰۰/ تبدیل به مترمکعب.



شکل (۲): نمودار بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک بابلسر

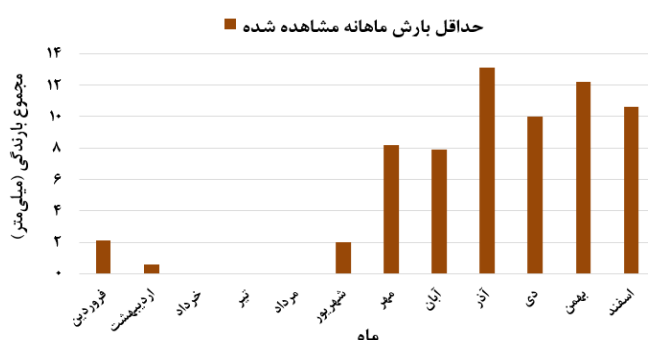
نتایج تجزیه و تحلیل آماری بارش دوره

در بررسی داده‌های ماهانه بارندگی بابلسر بیش‌ترین مقدار انحراف معیار محاسبه شده مربوط به ماه آبان به مقدار ۹۱/۲۸ و بعد ماه‌های مهر و آذر به ترتیب با مقادیر انحراف معیار ۷۸/۲۹ و ۶۹/۶۷ می‌باشد که نشان می‌دهد داده‌های بارندگی در ماه‌های آبان، مهر و آذر به طور میانگین به اندازه‌ی ۹۱/۲۸، ۷۸/۲۹ و ۶۹/۶۷ میلی‌متر از مقدار متوسط فاصله دارند. و نیز کمترین مقدار انحراف معیار محاسبه شده مربوط به ماه اردیبهشت به مقدار ۱۸/۰۴ میلی‌متر می‌باشد. هر چه مقدار انحراف معیار داده‌های به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر این امر است که پراکندگی داده‌ها اندک است و بالعکس انحرافات معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه در داده‌ها می‌باشد. نمودار حداکثر و حداقل بارندگی‌های ماهانه ثبت شده در شکل‌های ۳ و ۴ در دوره‌ی آماری مورد نظر در ماه‌های مختلف متفاوت بوده به طوری که بیشترین مقدار حداکثر بارندگی در ماه آبان به مقدار ۴۱۶ میلی‌متر و کمترین مقدار حداکثر بارندگی در ماه اردیبهشت به مقدار ۸۶/۶ میلی‌متر بوده است و در مقابل بیشترین مقدار حداقل بارندگی مشاهداتی در ماه آذر به مقدار ۱۳/۱ میلی‌متر و کمترین مقدار حداقل بارندگی مشاهده شده صفر بوده که مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بوده است. همچنین

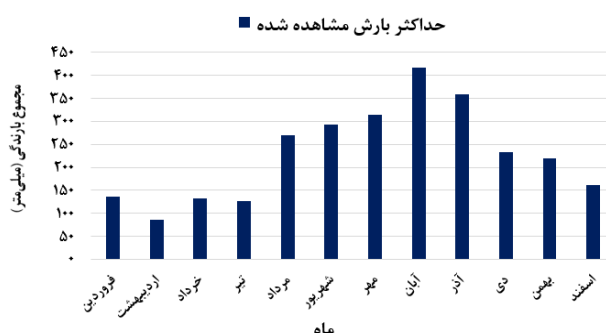
در بررسی توزیع ماهانه‌ی بارندگی، میانگین بارش‌ها ۷۵/۰۸۸ بوده و بیشترین بارندگی‌های ماهانه به ترتیب مربوط به ماه‌های آبان، آذر و مهر با ۱۴۸/۳۹، ۱۳۲/۹۸ و ۱۲۷/۸۲ میلی‌متر و ماه اردیبهشت با میانگین ۲۱/۵۷ میلی‌متر، کمترین متوسط بارش ماهانه در این دوره زمانی را دارد. نمودار بارش‌های فصلی در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه موید آن است که، بیشترین بارش فصلی مربوط به فصل پاییز و کمترین آن مربوط به فصل بهار می‌باشد. گرچه با توجه به خشکی و گرم بودن هوا در فصل تابستان انتظار می‌رود که این فصل کمترین میزان بارش را نسبت به فصل‌های دیگر داشته باشد در صورتی که کمترین بارش مربوط به فصل بهار می‌باشد؛ می‌توان احتمال داد که بیشتر بودن بارش تابستان نسبت به مقادیر بارش بهاره ممکن است بدلیل باران‌های سیلابی که گاه در ماه شهریور رخ می‌دهد، باشد. استفاده از منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی یکی از روش‌هایی است که برای تعیین الگوی زمانی بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از این منحنی‌ها می‌توان توزیع زمانی بارندگی را در تداوم‌های مختلف و از آن جمله در تداوم بسیار کوتاه برآورد کرد (موحد دانش، ۱۳۹۲).

ماه اردیبهشت با $۰/۶۷$ میلی‌متر کاهش بوده است. اما در ماه‌های دیگر بارندگی افزایش یافته است؛ به طوری که بیشترین مقدار آن در ماه مهر با $۳۶/۸۹$ میلی‌متر افزایش و کمترین آن در ماه دی با $۶/۶۴$ میلی‌متر افزایش رخ داده است.

میزان تغییرات بارندگی طی دوره ۶۸ ساله با توجه به برآزش معادله‌ی رگرسیونی نشان داده است که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مرداد و اسفند مقدار بارش کاهش یافته است که بیشترین مقدار کاهش بارندگی در ماه فروردین با $۲۰/۵۴$ میلی‌متر کاهش و کمترین مقدار آن در



شکل (۳): نمودار حدافل بارندگی مشاهده شده در سری زمانی داده‌های بارش ماهانه برای دوره‌ی زمانی ۱۳۳۱-۱۳۹۸.



شکل (۴): نمودار حداکثر بارندگی مشاهده شده در سری زمانی داده‌های بارش ماهانه برای دوره‌ی زمانی ۱۳۳۱-۱۳۹۸.

انحراف معیار بارندگی‌های سالانه $۱۷۲/۶۶$ میلی‌متر بوده است که نشان می‌دهد داده‌ها به طور میانگین $۱۷۲/۶۶$ میلی‌متر از مقدار متوسط فاصله دارند. حداکثر مقدار بارش مشاهده شده $۱۳۵۰/۹$ میلی‌متر و حداقل بارش مشاهده شده $۵۱۸/۲$ میلی‌متر می‌باشد و نیز مقدار بارندگی‌های سالانه در دوره‌ی آماری مورد نظر $۹۹/۷۴$ میلی‌متر افزایش یافته است.

نتایج دوره‌های ۵ ساله بارش

دوره مورد مطالعه را به ۱۳ دوره پنج ساله از ۱۳۳۸-۱۳۳۴ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۸ تقسیم کرده و میانگین هر یک از

در بررسی داده‌های فصلی نیز انحراف معیار محاسبه شده در فصل پاییز بیشترین مقدار ($۱۴۵/۲$) و در فصل بهار دارای کمترین مقدار ($۴۶/۹۷$) می‌باشد. بیشترین میزان حداکثر بارش مشاهده شده در فصل پاییز به مقدار $۹۴۰/۶$ میلی‌متر و کمترین مقدار حداقل بارش مشاهداتی در فصل تابستان به مقدار $۸/۳$ میلی‌متر بوده است. از نظر تغییرات بارندگی طی دوره‌ی مطالعاتی نیز بارندگی فصل بهار به مقدار $۳۳/۶۶$ میلی‌متر کاهش یافته است اما در فصل‌های دیگر افزایش بارندگی داشته‌ایم که بیشترین آن در فصل پاییز به مقدار $۸۶/۹۸$ میلی‌متر بوده است.



دوره‌ها را محاسبه و تفاوت آن با میانگین کل دوره مقایسه شده است. نتایج حاصل از اختلافات میانگین دوره‌های ۵ ساله با میانگین کل در جدول ۱ ارائه شده است.

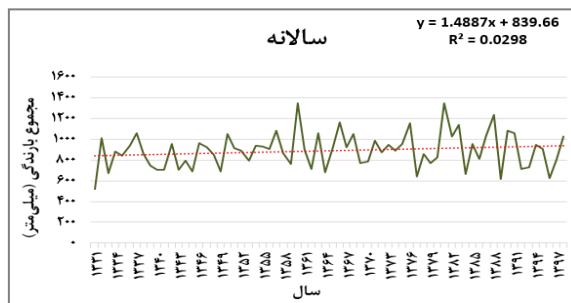
جدول (۱): اختلاف میانگین دوره‌های ۵ ساله بارش از متوسط کل بارش

دوره/فصل	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۳۳۴-۱۳۳۸	۱۵	۲۷/۱۲	-۱۶/۷	۱۵/۱	-۱۰/۴
۱۳۳۹-۱۳۴۳	-۱۳۷	۱۱/۷۰	-۲۷/۲	-۹۳/۷	-۲۷/۸
۱۳۴۴-۱۳۴۸	-۵۵	۳۰/۹۶	-۴۷/۶	-۵۵/۹	۱۷/۸
۱۳۴۹-۱۳۵۳	-۳۱	-۲۷/۰۴	-۳/۵	-۱۱/۸	۱۱/۲
۱۳۵۴-۱۳۵۸	۴۴	۱۴/۵۲	-۴۰/۶	۶۰/۴	۱۰/۳
۱۳۵۹-۱۳۶۳	۵۷	-۸/۴۶	۶۱/۵	-۱۵/۵	۱۹/۹
۱۳۶۴-۱۳۶۸	۴۹	-۲۶/۸۴	۴۰/۹	۱۳/۷	۲۱/۸
۱۳۶۹-۱۳۷۳	-۲۶	-۱۱/۴۴	-۳۶/۸	۹/۲	۱۲/۸
۱۳۷۴-۱۳۷۸	۳	-۱۹/۹۴	۳۲/۴	-۲۲/۴	۱۳/۱
۱۳۷۹-۱۳۸۳	۱۲۴	۱۵/۴۸	-۲۳/۱	۱۷۳/۶	-۴۱/۸
۱۳۸۴-۱۳۸۸	۴۲	-۲/۴۰	۴۹/۷	۷/۲	-۱۲/۶
۱۳۸۹-۱۳۹۳	-۵۹	-۱۴/۱۰	-۴۰/۴	-۱۳/۷	۹/۳
۱۳۹۴-۱۳۹۸	-۳۶	-۱۲/۱۰	-۷	-۳۳/۹	۱۶/۸
میانگین دوره	۸۹۹	۸۶/۴۰	۱۶۶	۴۰۷/۱	۲۳۹/۴

نتایج آزمون روند و رابطه‌ی رگرسیونی در سری‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه

مطالعه‌ی سری‌های زمانی داده‌های بارش در دوره‌ی آماری مورد نظر با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال نشان داده است که در مقیاس سالانه روند داده‌های بارندگی سیر صعودی و افزایشی داشته و با توجه به رابطه‌ی رگرسیونی بین بارش و زمان دارای شیب مثبت ۱/۴۸ بوده است (شکل ۵).

با توجه به جدول فوق دوره ۱۳۳۹-۱۳۴۳ به عنوان خشک‌ترین دوره ۵ ساله معرفی گردیده و حدود ۱۳۷ میلی‌متر کمتر از میانگین کل دوره بارش دریافت کرده است. میانگین دوره‌های ۵ ساله ۱۳۳۴-۱۳۳۸، ۱۳۵۸-۱۳۵۴، ۱۳۵۹-۱۳۶۳، ۱۳۶۴-۱۳۶۸، ۱۳۷۴-۱۳۷۸، ۱۳۷۹-۱۳۸۳ و ۱۳۸۴-۱۳۸۸ بیشتر از میانگین کل دوره ۵۵ ساله بوده به طوری که دوره ۵ ساله ۱۳۸۳-۱۳۷۹ به عنوان مرطوب‌ترین دوره بوده و حدود ۱۲۴ میلی‌متر بیشتر از میانگین کل دوره بارش دریافت کرده است. لذا در طی سال‌های مطالعاتی، بابل‌سر ۶ دوره خشک و ۷ دوره ۵ ساله‌ی مرطوب را پشت سر گذارنده است.



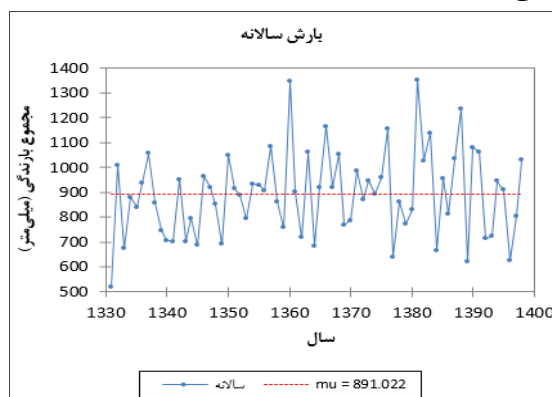
شکل (۵): نتایج آزمون من-کندال در سری زمانی مجموع بارندگی سالانه برای دوره‌ی زمانی ۱۳۹۸-۱۳۳۱.

بیشترین شیب کاهش و منفی مربوط به ماه فروردین و بیشترین شیب افزایشی و مثبت مربوط به ماه مهر می‌باشد.

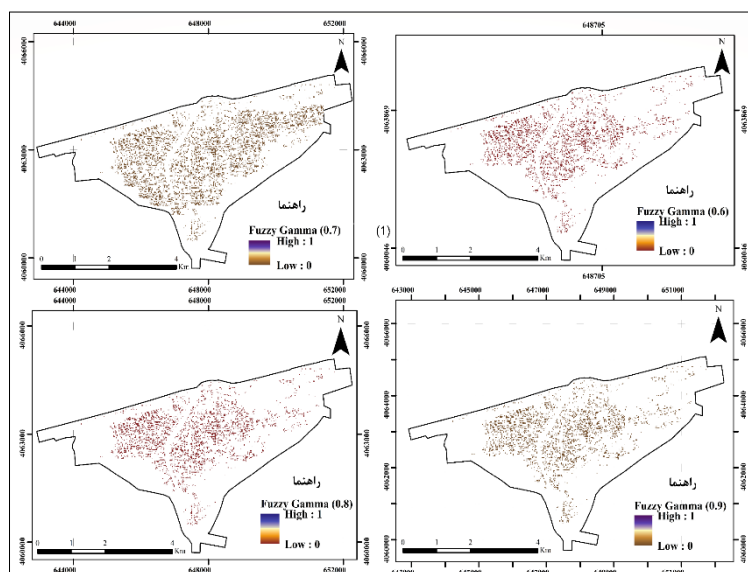
نتایج آزمون همگنی در سری زمانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه

بررسی همگنی در داده‌های بارندگی نیز نشان داده است که در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه (شکل ۶) هیچ تغییرات ناگهانی یا جهش در داده‌های بارندگی نشان داده نشده است و مقادیر بارندگی در تمامی مقیاس‌ها همگن بوده‌اند.

بررسی روند سری زمانی بارش‌های فصلی نشان داده است که فصل‌های تابستان، پاییز و زمستان دارای روند افزایش بوده و با توجه به رابطه‌ی رگرسیونی به ترتیب دارای شیب‌های ۰/۳، ۱/۲۹ و ۰/۳۹ می‌باشد؛ بنابراین بیشترین شیب افزایشی مربوط به فصل پاییز بوده است. اما فصل بهار دارای روند کاهش در دوره‌ی مورد نظر بوده که دارای شیب ۰/۵- می‌باشد که بیانگر کاهش بارندگی‌های بهاره در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های ابتدایی دوره‌ی مطالعاتی می‌باشد. بررسی روند در سری زمانی داده‌های ماهانه بارندگی دارای روند کاهش در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مرداد و اسفند بوده است در حالی که در مابقی ماه‌های سال روند افزایشی دیده شده است.



شکل (۶): نتایج آزمون پتیت در سری زمانی مجموع بارندگی سالانه برای دوره‌ی زمانی ۱۳۹۸-۱۳۳۱.



شکل (۷): نقشه نهایی مناطق مستعد جمع آوری آب باران با روش فازی عملگر Gamma در شهر بابلسر

بحث و نتیجه گیری

با توجه به یافته‌های بالا در بررسی سری زمانی بارش بابلسر در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه می‌توان اظهار داشت که به طور کلی میانگین بارندگی‌های ماهانه در طول دوره‌ی مطالعاتی، از فروردین ماه تا مرداد ماه کم بوده اما از ماه شهریور تا اسفند بالاتر می‌باشد که کم‌ترین میانگین بارش را در ماه خرداد و بیش‌ترین میانگین بارش را در ماه آبان شاهد بوده‌ایم و شدت‌های بسیار بالای بارش بیش‌تر در بارش‌های زیر ۱۰۰ دقیقه‌ای یا بارش‌های حدود ۱ ساعته بیش‌تر نمایان است. هم‌چنین با تکیه بر نتایج آزمون‌های روند، بیش‌ترین شیب‌های روند در فصل پاییز و کم‌ترین شیب‌های روند در فصل بهار دیده شده است؛ Salehi و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی روند و نقطه‌ی تغییر در بارش با استفاده از آزمون من-کندال، شیب خط سن و پتیت در ایران دریافتند که بیش‌تر بخش‌های کشور تغییرات ناگهانی مشاهده نشده است و یک روند رو به پایین بالا در بخش‌های شمالی ایران دیده شده است. بنابراین با توجه به رفتار وقایع بارشی و نوع اقلیم بابلسر می‌توان بیان کرد که در فصل‌های بهار و تابستان علاوه بر گرم‌تر بودن هوا که تبخیر آب را به دنبال دارد و نیز بدلیل این‌که دوره‌ی اصلی کشاورزی و زراعت در بابلسر در این فصل‌ها انجام می‌شود، کم‌بودن

مقادیر بارندگی به خودی خود با احتمال کمبود و بحران آب همراه خواهد بود. با این حال اکثر زمین‌های کشاورزی در این شهر زیر کشت برنج که محصولی با کشت غرقابی است و مصرف آب بالایی دارد، می‌باشد و با کاهش روند بارش‌های بهاره که زمان نشاکاری محصولات کشاورزی است، باعث می‌شود تنش‌های آبی وارده خسارت‌های جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. لذا با ذخیره‌ی آب باران با روش‌های مختلف و با صرفه‌ی اقتصادی در فصل‌ها و ماه‌های پرباران که نیاز آبی نیز در این ماه‌ها کم‌تر احساس می‌شود، می‌توان مشکلات وجود کمبود آب مناسب در فصل‌های خشک سال را جبران نمود. هم‌چنین با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی بابلسر، بیش‌ترین سطح از اراضی این شهر شامل منازل مسکونی و ساختمان‌ها می‌باشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد یکی از روش‌های به صرفه‌ی اقتصادی برای اجرای سیستم‌های استحصال آب باران، جمع آوری از طریق سقف‌ها و بام‌ها باشد. هم‌چنین در مناطقی که کمبود آب آنچنان قابل توجه نیست، سیستم‌های برداشت آب باران برای مصارف غیر قابل شرب و اغلب در سیستم‌های ترکیبی می‌تواند به عنوان سیستم‌هایی که منبع آب سنتی دارند استفاده شود. در این موارد، آب باران تصفیه شده در درجه اول برای شستشوی بهداشتی (Kaposztasova et al., 2014)، آبیاری مناطق سبز (Devkota et al., 2015)،



طبیعی انجام می‌گیرد و می‌توان گفت به همین دلیل این دو عامل در تولید نقشه نهایی تأثیر چندانی نداشتند و بیشترین عامل مربوط به فیزیک شهر و وجود مناطق نفوذناپذیر بوده است. بر اساس نقشه توپوگرافی مشخص گردید سطح کل پشت بام مناطق مسکونی در محدوده شهر بابلسر حدود ۲۱۴ هکتار می‌باشد که می‌تواند نقش قابل توجهی در تبدیل بارش به رواناب در منطقه داشته باشد. همانطور که از نقشه‌های تولید شده با استفاده از منطق فازی مشخص است اکثراً لایه کاربری اراضی شهری نقش مهمی در خروجی داشته است که لازم است مطالعات جامع‌تر و با جزئیات بیشتری در این زمینه در شهر بابلسر انجام گیرد. از طرفی با توجه به نقشه‌های تولید شده اراضی کشاورزی و باغات مجاور شهر مناطق خوبی برای استحصال آب باران تشخیص داده نشدند که از نظر طبیعی نیز این پیش‌بینی منطق فازی دارای صحت بالایی می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه مبین این مطلب است که روش فازی روشی با اعتبار بالا در تعیین مناطق مستعد استحصال آب باران می‌باشد. از طرفی بدلیل اینکه کلیه عملگرهای این روش اخیراً به عنوان الحاقیه به محیط نرم‌افزار ArcGIS اضافه گردیده است، استفاده از این نرم‌افزار جهت تهیه لایه‌های ورودی و تولید نقشه‌های نهایی لازم و ضروری است و سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک سیستم تصمیم یار مکانی مفید در مکان‌یابی مناطق مستعد استحصال آب باران به شمار می‌رود.

قدردانی: از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی در انجام این پروژه و از کمک‌های شهرداری بابلسر به خاطر همکاری‌های لازم سپاسگزاری می‌شود.

کارهای دیگر شستشو (Morales-Pinzón et al., 2014)، شستشوی اتومبیل (Ghisi et al., 2009) استفاده می‌شود و نیز به دلیل اینکه رشد نواحی شهری باعث افزایش نفوذناپذیری زمین گردیده که موجب شدت دبی جریان ناشی از باران به سیستم‌های فاضلاب می‌گردد. بنابراین، سیستم‌های جمع‌آوری آب باران نه تنها منبع جایگزین آب در این مناطق به حساب می‌آید بلکه باعث کاهش چشمگیر خروج آب باران از سقف‌ها به سیستم فاضلاب شده و در نتیجه حجم آب شبکه فاضلاب و جریان رگباری را کاهش داده که نهایتاً موجب کاهش وقوع سیلاب‌های شهری می‌گردد (Sample and Liu 2014). بر اساس داده‌های بارش و عملگر فازی می‌توان دریافت که شهر بابلسر در مجموع دارای مناطق مستعد برای جمع‌آوری آب باران با اهداف مختلف در مصرف آن می‌باشد. البته در این راستا نیازمند هماهنگی مدیران بخش شهری و آب به منظور فرهنگ سازی، آموزش و حمایت در اجرای این طرح می‌باشد. با توجه به نقشه‌های حاصل از عملگرهای مختلف منطق فازی می‌توان نتیجه گرفت که در بین عملگرهای Gamma نقشه Gamma با ضریب ۰/۷ دارای بیشترین سطح مستعد جهت استحصال آب باران بوده که با مساحت تولید بدست آمده از نقشه اولیه دارای دقت بالاتری می‌باشد و با کم شدن ضریب گاما دقت نقشه بالا می‌رود که با یافته‌های آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد.

با توجه به توسعه روز افزون شهرنشینی و رشد فیزیکی شهر بابلسر و همچنین با توجه به میزان بالای بارندگی و رطوبت این شهر می‌توان از طرح‌های جمع‌آوری آب باران استفاده کرد و با توجه به هزینه‌های تأمین آب کشاورزی و صنعت اجرای این طرح می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد. همچنین با توجه به شیب کم و ارتفاع کم منطقه مورد مطالعه متوسط حجم نگهداری آب در این مناطق به طور

منابع

- موحد دانش، ع.ا. ۱۳۹۲. هیدرولوژی آب‌های سطحی. چاپ هشتم، انتشارات سازمان سمت. ۳۸۶ ص.
- Adham, A.S., K. Naba, A. Rasha, Abdeladhim, Mohamed Arbi, Wesseling, Jan G. Riksen, Michel. Fleskens, Luuk. Karim, Usama. Ritsema, Coen J. (2018). A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq. *International Soil and Water Conservation Research*. 6(4): 297-304.
- Aghaloo, K and Y.R. Chiu. 2020. Identifying Optimal Sites for a Rainwater-Harvesting Agricultural Scheme in Iran Using the Best-Worst Method and Fuzzy Logic in a GIS-Based Decision Support



System. Water, 12(7):1-24.

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.

Bocanegra-Martínez A., J.M. Ponce-Ortega, F. Nápoles-Rivera, M. Serna-González, A.J. Castro-Montoya and M.M. El-Halwagi . 2014. Optimal Design of Rainwater Collecting Systems for Domestic Use into a Residential Development. *Resour Conserv Recycl*, 84:44–56.

Campisano A., D. Butler, S. Ward, M.J. Burns, E. Friedler, K. DeBusk, L.N. Fisher-Jeffes, E. Ghisi, A. Rahman, H. Furumai and M. Han. 2017. Urban Rainwater Harvesting Systems: Research, Implementation and Future Perspectives. *Water Res* 115:195–209.

Cheng, C and Y. Hong . 2004. Evaluating Water Utilization in Primary Schools. *Build Environ* 39:837–845.

Coombes, P.J., J.R. Argus and G. Kuczera. 1999. Figtree Place: a Case Study in Water Sensitive Urban Development. *Urban Water* 1:335–343.

Coskun, M and N, Musaoglu. 2004. Investigation of Rainfall Runoff Modelling of the Van Lake Catchment by Using Remote Sensing and GIS Integration”, In Twentieth International Society for ISPRS, In Turkey.

Devkota, J., H. Schlachter and D. Apul. 2015. Life Cycle Based Evaluation of Harvested Rainwater Use in Toilets and for Irrigation. *J Clean Prod*, 95:311–321.

Ercin A.E and A.Y. Hoekstra. 2014. Water Footprint Scenarios for 2050: a Global Analysis. *Environ Int* 64:71–82.

Eroksuz, E and A. Rahman. 2010. Rainwater Tanks in Multi-Unit Buildings: a Case Study for Three Australian Cities Resources, Conservation and Recycling, 54(12), 1449-1452.

Fewkes, A. 1999. The Use of Rainwater for WC Flushing: the Field Testing of a cCollection System. *Build Environ*, 34:765–77.2.

Fewkes, A. 2006. The Technology, Design and Utility of Rainwater Catchment Systems. In: Butler D, Memon FA (eds) *Water demand management*. IWA Publishing, London, UK.

Ghisi, E and S. Oliveira. 2007. Potential for Potable Water Savings by Combining the Use of Rainwater and Greywater in Houses in Southern Brazil. *Build Environ*, 42:1731–1742.

Hamed, K.H and A.R. Rao. 1998. A Modified Mann–Kendall Trend Test for Autocorrelated Data. *Journal of Hydrology*, 204:182–196.

Isioye, O and M.W. Shebe. 2012. A Multi Criteria Decision Support System (MDSS) for Identifying Rainwater Harvesting Site(s) in Zaria, Kaduna State, Nigeria. 1(1): 53-71.

Kahinda, J.M., A.E.Taigbenu and R.J. Boroto. 2010. Domestic Rainwater Harvesting as an Adaptation Measure to Climate Change in South Africa , *Physics and Chemistry of the Earth*, 35:742-751.

Kaposztasova, D. Z. Vranayova, G. Markovic and P. Purcz. 2014. Rainwater Harvesting, Risk Assessment and Utilization in Kosice-city. *Slovakia Procedia Eng*, 89:1500–1506.

Kendall, M.G. 1975 *Rank Auto-Correlation Methods*, Charles Griffin, London.

Lade, O and D. Oloke. 2017. Performance Evaluation of a Rainwater Harvesting System: a Case Study of University Collage Hospital, Ibdan City, Nigeria. *Curr J Appl Sci Technol* , 25:1–14.

Lee, M. M. Kim, Y. Kim and M. Han. 2017. Consideration of Rain Water Quality Parameters for Drinking Purposes: a Case Study in Rural Vietnam. *J Environ Manag*, 200:400–406.

López-Morales, C and L. Rodríguez-Tapia. 2019. On the Economic Analysis of Wastewater Treatment and Reuse for Designing Strategies for Water Sustainability: Lessons From the Mexico Valley Basin. *Resour Conserv Recycl*, 140:1–12.

Mahmoud, S.H and X. Tang. 2015. Monitoring Pprospective Sites for Rainwater Harvesting and Stormwater Management in the United Kingdom Using a GIS-Based Ddecision Support System. *Environ Earth Sci*, 73:8621–8638.

Mann, H.B. 1945 Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*. Journal of the Econometric Society. 245-259.



- Martin, E., S. Buchberger and D. Chakraborty. 2015. Reliability of Harvested Rainfall as an Auxiliary Source of non-Potable Water. *Procedia Eng*, 119:1119–1128.
- Mbilinyi, B.P., S.D. Tumbo, H.F. Mahoo, and F.O. Mkiramwinyi. 2007. GIS-Based Decision Support System for Identifying Potential Sites for Rainwater Harvesting. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 32(15): 1074-1081.
- Mekonnen, M.M and A.Y. Hoekstra. 2016. Four Billion People Facing Severe Water Scarcity. *Science Advances*, 2(2): DOI: 10.1126/sciadv.1500323.
- Morales-Pinzón, T., R. Lurueña, X. Gabarrell, C.M. Gasol and J. Rieradevall. 2014. Financial and Environmental Modelling of Water Hardness—Implications for Utilizing Harvested Rainwater in Washing Machines. *Sci Total Environ*, 470–471:1257–1271.
- Moreira Neto, R., M. Calijuri, I. Carvalho and A. Santiago. 2012. Rainwater Treatment in Airports Using Slow Sand Filtration Followed by Chlorination: Efficiency and Costs. *Resour Conserv Recycl*, 65:124–129.
- Myers, L.E. 1964. Harvesting Precipitation, International Assessment, Hydrology, Berkeley, Calif, Publition, 65: 343- 351.
- Pettitt, A.N. 1979 A non-Parametric Approach to Change Point Problem. *Applied Statistics*. 28: 126-135.
- Raj, S. 2011. Rain Water Harvesting Potential of Pallavapuram Area of Meerut: A GIS Study, 12th Esri India User Conference, 1-9pp.
- Rashash, A. and A. El-Nahry. 2015. Rainwater Harvesting Using GIS and RS for Agriculture Development in Northern Western Coast, Egypt. *J Geogr Nat Disast*, 5(2), 1-7.
- Roch strom, J. 2000. Water Resources Management in Small Holder Farms in Eastern and Southern Africa: An Overview. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25 (3), 275-283.
- Rostad, N., R. Foti, and F.A. Montalto. 2016. Harvesting Rooftop Runoff to Flush Toilets: Drawing Conclusions From four Major U.S. Cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 108: 97-106.
- Ipek Sahin, N and G. Maniog˘lu. 2018. Water Conservation through Rainwater Harvesting Using Different Building Forms in Different Climatic Regions. *Sustain Cities Soc*, 44:367–377.
- Saha, A., M. Patil, S. Pingale and S. Karwariya. 2018. Identification of Potential Sites for Water Harvesting Structures Using Geospatial Techniques and Multi-Criteria Decision Analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2018 ISPRS TC V Mid-term Symposium “Geospatial Technology – Pixel to People”, 20–23 November 2018, At: Dehradun, India Volume: XLII-5
- Salehi, S., M. Dehghani, S. M. Mortazavi and V.P. Singh. 2020. Trend Analysis and Change Point Detection of Seasonal and Annual Precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(1), 308-323.
- Sekar, I and I.O. Radhir. 2007. Spatial Assessment of Conjunctive Water Harvesting Potential in Watershed Systems. *J. Hydrol. Catena*, 50: 39-52.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficients Based on Kendall’s Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379–1389.
- Severis, R.M., F. da Silva. J. Wahrlich, E. Skoronski, F. Simioni. 2019. Economic Analysis and Risk- Based Assessment of the Financial Losses of Domestic Rainwater Harvesting Systems. *Resour Conserv Recycl*, 146:206–217.
- Slys˘, D and A. Stec. 2014. The Analysis of Variants of Water Supply Systems in Multi-Family Residential Building. *Ecol Chem Eng*, 21(4):623–635.
- Stec, A and M. Zelen˘aková. 2019. An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. *Water* 11:458.
- Urbaniec, K., H. Mikul˘ic, M.A. Rosen and N. Duic˘. 2017. A Holistic Approach to Sustainable Sevelopment of Energy, Water and Eenvironment System. *J Clean Prod*, 155:1–11.
- Vörösmarty, C.J., P. Green, J. Salisbury and R.B. Lammers. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289:284–288.
- Ward, S., F.A. Memon and D. Butler. 2012. Performance of a Large Building Rainwater Harvesting



System. Water Res, 46:5127–5134.

Winnar, G., G.P.W. de Jewitt and M. Horan. 2007. A GIS-Based Approach for Identifying Potential Run off Harvesting Sites in the Thukela River Basin, South Africa, *Physics and Chemistry of the Earth*, 32:1058– 1067.

Wu, R., G.L.L. Molina and F. Hussain. 2018. Optimal Sites Identification for Rainwater Harvesting in Northeastern Guatemala by Analytical Hierarchy Process. *Water Resour Manage* , 32, 4139–4153.

Yana, X., S. Ward, D. Butler and B. Daly. 2018. Performance Assessment and Life Cycle Analysis of Potable Water Production from Harvested Rainwater by a Decentralized System. *J Clean Prod*, 17:22167–22173.

Zaizen, M., T. Urakawa, Y. Matsumoto and H. Takai. 1999. The Collection of Rainwater from Dome Stadiums in Japan. *Urban Water*, 1:355–359.

Zhang, X and M. Hu. 2014. Effectiveness of Rainwater Harvesting in Runoff Volume Reduction in a Planned Industrial Park. *China Water Resour Manag*, 28:671–682.

Zhang, Y., A. Grant, A. Sharma, D. Chen and L. Chen. 2010. Alternative Water Resources for Rural Residential Development in Western Australia. *Water Resour Manag*, 24:25–36.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg and A. Niitsoo. 2000. Temperature and Rainfall Trends in Canada During the 20th Century. *Atmospheric Ocean*, 38: 395-429.



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

Karim Solaimani^۱, Fatemeh Shokrian^{*۲}

(This article is extracted from the authors research project)

Abstract

Consumption of water as the main request is unavoidable in human life. Many areas of Iran, including Mazandaran, faced problems with access to water in necessity seasons. In wet areas with good annual rainfall, proper management of available water resources and rainwater harvesting is a worthy solution. The aim of this study is to analyse the long-term rainfall in Babolsar based on synoptic data in order to select areas prone to rainwater harvesting in the city. In this study, the time series of daily rainfall data in a period of 68 years including the years 1952-201۹ has been used and the climatic parameter of precipitation in three periods of monthly, seasonal and annual has been analysed which indicated the implementation of rainwater harvesting systems and areas prone to this in the city of Babolsar. The results of this study showed that the Gamma operator with a coefficient of 0.7 is the best decision for the study area. According to the calculations, the amount of runoff in the city was estimated at 696,570 cubic meters, which is very suitable for rainwater harvesting.

Keywords: Rainfall Analysis, Gamma Operator, GIS, Babolsar City

^۱ - Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (solaimani2001@yahoo.co.uk, k.solaimani@sanru.ac.ir, 09111521858).

^۲ - Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*(Corresponding author: f.shokrian@sanru.ac.ir, shokrian.f@gmail.com, 09113513923).



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

Karim Solaimani¹, Fatemeh Shokrian^{*2}

Abstract

Consumption of water as the main request is unavoidable in human life. Many areas of Iran, including Mazandaran, faced problems with access to water in necessity seasons. In wet areas with good annual rainfall, proper management of available water resources and rainwater harvesting is a worthy solution. The aim of this study is to analyse the long-term rainfall in Babolsar based on synoptic data in order to select areas prone to rainwater harvesting in the city. In this study, the time series of daily rainfall data in a period of 68 years including the years 1952-2012 has been used and the climatic parameter of precipitation in three periods of monthly, seasonal and annual has been analysed which indicated the implementation of rainwater harvesting systems and areas prone to this in the city of Babolsar. The results of this study showed that the Gamma operator with a coefficient of 0.7 is the best decision for the study area. According to the calculations, the amount of runoff in the city was estimated at 696,570 cubic meters, which is very suitable for rainwater harvesting.

Keywords: Rainfall Analysis, Gamma Operator, GIS, Babolsar City

Introduction

Water demand has always been the main human need in agricultural and industrial activities and is also of great importance in drinking. Global population growth, urbanization and climate change have drastically reduced water resources. In addition, providing of fresh water to urban areas if not impossible, has become more difficult. Many areas of Iran, including Mazandaran, faced problems with access to water in necessity seasons. Undoubtedly, the future will depend on the implementation of new technologies such as desalination and reuse of treated wastewater. In a watershed, runoff obtained from storms is a source of water potential that can be used as a supplement to eliminate water needs if properly managed. Thus, runoff collection is a worthy technique to harvest and store surface water for use. In wet areas with sufficient annual rainfall, proper management of available water resources and rainwater harvesting is a worthy solution. The aim of this study is to analysis the long-term rainfall in Babolsar based on synoptic data in order to select areas prone to rainwater harvesting in the city.

Methodology

In this study, the time series of daily rainfall data has been used in Babolsar synoptic station. This data includes 1952-2019 in the 68-year period. In the study period, the climatic parameter of precipitation

¹ - Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (solaimani2001@yahoo.co.uk, k.solaimani@sanru.ac.ir, 09111521858).

² - Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University*(Corresponding author: f.shokrian@sanru.ac.ir, shokrian.f@gmail.com, 09113513923).



was considered in three periods of monthly, seasonal and annual. Therefore, using daily precipitation data, the total time series of monthly, seasonal and annual precipitations were extracted and for statistical analysis of methods (moving average, regression line equation, etc.) were studied different time series.

Discussion and Conclusion

Annual rainfall of the selected period showed that the average rainfall of 68 years was 891.02 mm. The maximum annual rainfall (1350.9 mm) was related to 2002 and then 1346.8 mm in 1981. The minimum annual rainfall recorded in this station was 518.2 mm in 1952 and 619.2 mm in 2010. In the study of monthly rainfall distribution, the average rainfall was 75.088 and the highest monthly rainfalls were related to November, December and October with 148.39, 132.98 and 127.82 mm, and May with an average of 21.57 mm had the lowest average monthly rainfall in this period.

In studying the time series of Babolsar precipitation in monthly, seasonal and annual scales, it can be stated that in general, the average monthly rainfall during the study period, from April to August is low, but from September to March is higher, which have seen the lowest average rainfall in June and the highest average rainfall in November, and very high intensities of precipitation are higher during 100 minutes or about 1-hour period of rainfall is more evident. According to the calculations, the amount of runoff in Babolsar urban area was estimated about 696,570 cubic meters, which confirms that the city is very suitable for rainwater extraction. According to land use maps, the most area of land in this city includes residential houses and buildings; therefore, it seems that one of the economically feasible methods for implementing rainwater harvesting systems is collection through the roofs. Based on rainfall data and fuzzy operator, it can be found that the city of Babolsar in general has areas prone to collect rainwater for various purposes in its consumption. According to the maps obtained from different fuzzy logic operators, it can be concluded that among the Gamma operators, the Gamma map with a coefficient of 0.7 has the highest level of potential for rainwater extraction, which has a higher accuracy with the production area obtained from the initial map. With increases of the gamma coefficient, the accuracy of the map improves. In this regard, it requires coordination of urban and water managers in order to create culture, education and support in the implementation of this plan.

Reference

- Adham, A.S., K. Naba, A. Rasha, Abdeladhim, Mohamed Arbi. Wesseling, Jan G.Riksen, Michel. Fleskens, Luuk. Karim, Usama. Ritsema, Coen J. (2018). A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq. *International Soil and Water Conservation Research*. 6(4): 297-304.
- Campisano A., D. Butler, S. Ward, M.J. Burns, E. Friedler, K. DeBusk, L.N. Fisher-Jeffes, E. Ghisi, A. Rahman, H. Furumai and M. Han. 2017. *Urban Rainwater Harvesting Systems: Research, Implementation and Future Perspectives*. *Water Res* 115:195–209.
- Lade, O and D. Oloke. 2017. Performance Evaluation of a Rainwater Harvesting System: a Case Study of University Collage Hospital, Ibdan City, Nigeria. *Curr J Appl Sci Technol* , 25:1–14.
- Salehi, S., M. Dehghani, S. M. Mortazavi and V.P. Singh. 2020. Trend Analysis and Change Point Detection of Seasonal and Annual Precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(1), 308-323.
- Wu, R., G.L.L. Molina and F. Hussain. 2018. Optimal Sites Identification for Rainwater Harvesting in Northeastern Guatemala by Analytical Hierarchy Process. *Water Resour Manage* , 32, 4139–4153.
- Yana, X., S. Ward, D. Butler and B. Daly. 2018. Performance Assessment and Life Cycle Analysis of Potable Water Production from Harvested Rainwater by a Decentralized System. *J Clean Prod*, 17:22167–22173.