



Using the combination of genetic algorithm and artificial neural network to estimate scour depth around bridge foundations

Saeedeh Naseri ¹, Javad Zahiri ², Ahmad Jafari ³

¹ M. Sc graduated of Water structures, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: naseri.star2020@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: j.zahiri@asnrkh.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: jafary_ahmad@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

Scouring is a natural phenomenon that occurs as a result of the erosive action of water flow in alluvial waterways. This phenomenon is considered a serious threat to the stability of structures located in the flow path, such as the foundations of bridges. Among the various reasons for the destruction of hydraulic structures, hydraulic factors play a major role, and among the hydraulic factors, scour plays the most important role.

Methodology

In this research, the combination of genetic algorithm and multi-layer perceptron neural network is used. Determining the number of neurons in the input and output layers is simple, as it is induced to the model by the input and output variables. But it is not possible to determine the number of hidden layers and their neurons easily. In most of the past studies, the trial and error method has been used to determine the number of neurons and hidden layers. In this research, since two activation functions (sigmoid function) and tanh (hyperbolic tangent) are used, the number of executions of different models is large. Based on this and according to the studies done in the past, the number of hidden layers was considered equal to one layer. In this research, genetic algorithm was used to optimize the error function.

Results and discussion

In this research, $1.5 > DR > 0.5$ is considered as accuracy in each model. The relationship of Shen et al. (1969) has an accuracy of 32%. This is while the overestimation and underestimation occurred in this model is 58.7% and 9.5%, respectively, which can be understood that in most cases, the scour depth is calculated more than the actual value. The relationship of Melville (1997) and Melville and Chiu (1988) has an equivalent accuracy of 20.5% and 24.5%, respectively. This is while the overestimation and underestimation occurred in these models are 79.5% and 75.6%, respectively, which means that these two equations can be classified as medium accuracy equations. The relationship of Melville and Sutherland (1988) with an accuracy equal to 45.3% has been the most accurate experimental relationship in this section. Also, in this model, overestimation and underestimation equal to 54.7% occurred, which shows the relatively good symmetry of this model. The relationships of HEC-18 and Ansari and Ghadar (1994) with an accuracy of 11 and 12.6% respectively have the lowest prediction accuracy among the selected empirical relationships. In these models, with an overestimation of 89 and 82.9 percent, respectively, it can be seen that a lot of overestimation has occurred in these two models, and these models do not have proper symmetry, and often the estimates of these two models are higher than the actual values. have been. The intelligent model used in this research with an accuracy of 53.7% has the highest level of accuracy compared to experimental relationships. The overestimation and underestimation occurred in this model are 43.7% and 2.6%, respectively.

Conclusions

Comparing the values of the difference ratio between the proposed neuro-genetic model and the existing common equations shows that the accuracy of the neuro-genetic model has a higher efficiency compared to other equations. The root mean square error in the proposed model was calculated as 0.51, while this value was calculated above 0.89 for the existing experimental equations.

Keywords: Bridge breaking, artificial intelligence, genetic algorithm, multilayer perceptron neural network

Article Type: Research Article

Article history: Received: 06 August 2022 Revised: 25 September 2022 Accepted: 02 October 2022 ePublished: 22 November 2022

Cite this article: Naseri, S., Zahiri, J., & Jafari, A. (2022). Using the combination of genetic algorithm and artificial neural network to estimate scour depth around bridge foundations, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 1-13. DOI: 10.22126/ATWE.2022.8416.1029

Publisher: Razi University

© The Author(s).





استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد عمق آب شستگی اطراف پایه های پل

سعیده ناصری^۱ ID، جواد ظهیری^۲ ID، احمد جعفری^۳ ID

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران. رایانامه: naseri.star2020@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران. رایانامه: j.zahiri@asnruk.ac.ir

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران. رایانامه: jafary_ahmad@yahoo.com

چکیده

پل ها یکی از مهم ترین سازه های رودخانه ای هستند که به عنوان کلید راه های ارتباطی اهمیت زیادی دارند. سالانه بسیاری از پل ها در مواقع سیلابی تخریب شده و مشکلات عدیده ای را به وجود می آورند. یکی از مهم ترین و مؤثرترین عوامل تخریب و شکست پل ها، آب شستگی اطراف پایه های پل و تکیه گاه ها است. روند آب شستگی اطراف پایه های پل بسیار پیچیده است و رابطه جامع و کاملی برای تخمین آن وجود ندارد. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی، استفاده از سیستم های هوشمند کامپیوتری برای مدل سازی پدیده های پیچیده و غیرخطی از اهمیت روزافزونی برخوردار شده اند. در این تحقیق با استفاده از داده های واقعی، کارایی سیستم های هوش مصنوعی که شامل ترکیبی از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و الگوریتم ژنتیک بوده مورد بررسی قرار گرفته شده است. جهت بررسی کارایی مدل های داده کاوی مورد استفاده و مقایسه نتایج آن ها با روش های متداول موجود از آنالیزهای آماری استفاده شده است. از میان مدل های با تعداد نرون های مخفی متفاوت، شبکه عصبی مصنوعی با سه نرون مخفی دارای کمترین خطا است. مقایسه مقادیر نسبت اختلاف میان مدل عصبی-ژنتیک پیشنهادی و معادلات متداول موجود نشان می دهد که دقت مدل عصبی-ژنتیک از کارایی بالاتری در مقایسه با سایر معادلات برخوردار است. جذر میانگین مربعات خطا در مدل پیشنهادی ۰/۵۱ محاسبه گردید در حالیکه این مقدار برای معادلات تجربی موجود بیش از ۰/۸۹ محاسبه شد.

واژه های کلیدی: شکست پل، هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۵ مرداد ۱۴۰۱ اصلاح: ۰۳ مهر ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ مهر ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: ناصری، س، ظهیری، ج، و جعفری، ا. (۱۴۰۱). استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد عمق آب شستگی اطراف پایه های پل، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۳(۳)، ۱-۱۳. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.8416.1029



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

آب شستگی یک پدیده طبیعی است که در نتیجه عمل فرسایش دهنده جریان آب در آبراهه‌های آبرفتی رخ می‌دهد. این پدیده یک تهدید جدی برای پایداری سازه‌های واقع در مسیر جریان مانند پایه‌ی پل‌ها محسوب می‌شود. از میان دلایل مختلف تخریب سازه‌های هیدرولیکی، عوامل هیدرولیکی سهم عمده‌ای دارند و از میان عوامل هیدرولیکی، آب شستگی بیشترین نقش را دارد. آمار نشان می‌دهد که از ۳۸۳ پل که در آمریکا منهدم شده‌اند، ۷۲ درصد ناشی از آب شستگی تکیه‌گاه بوده است. در نیوزیلند هم ۷۰ درصد خسارت‌های تخریب پل به علت آب شستگی تکیه‌گاه پل بوده است (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در داخل کشور بر اساس گزارش سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۶ درصد تخریب پل‌های کشور ناشی از آب شستگی پایه‌های میانی و کناری بوده است (خادمی و همکاران، ۱۳۸۹). تخریب و شکست پل‌ها که اغلب در هنگام سیلاب اتفاق می‌افتد، خسارات و ضررهای مالی فراوانی به دنبال دارد. علاوه بر این قطع راه‌های ارتباطی، کمک به مناطق سیل‌زده را با مشکلات فراوانی روبرو کرده و از این نظر عواقب اجتماعی نیز به دنبال دارد (زارع و هنر، ۱۳۹۴). در اثر آب شستگی حفره‌ای در اطراف پایه پل ایجاد شده که باعث تضعیف پایداری آن می‌شود و ممکن است در اثر یک سیل بزرگ تخریب گردد. این تخریب‌ها و خسارات وارده علاوه بر تلفات جانی و ضررهای مالی، سبب قطع راه‌های ارتباطی شده که حمل‌ونقل را نیز مختل می‌کند. به‌طور کلی برخورد و جدا شدن جریان از پایه پل دو عامل اصلی در ایجاد آب شستگی در اطراف پایه پل می‌باشند. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب‌های بر خاستگی می‌شود (مفتاح‌هلقی و حاجبی، ۱۳۹۳). با کنترل و محافظت از پایه‌های پل در برابر آب شستگی و ارائه روش‌های مناسب پیش‌بینی آب شستگی، می‌توان از وارد آمدن این خسارات پیشگیری کرد.

باینکه طی سال‌های اخیر اساس تئوری طراحی سازه‌های پل‌ها پیشرفت چشمگیری داشته است، تخمین دقیق عمق فرسایش اطراف پایه‌ها که ناشی از طبیعت پیچیده مسئله فرسایش است، هنوز هم موضوع مطالعات محققین است. در چند دهه اخیر، برای یافتن روابط معتبر و دقیق جهت برآورد عمق آب شستگی در اطراف پایه‌های پل تحقیقات آزمایشگاهی و صحرایی زیادی انجام شده است. در نتیجه این تحقیقات تاکنون محققین برای پیش‌بینی عمق آب شستگی اطراف پایه‌های پل روابط زیادی ارائه کرده‌اند. اما برای داده‌های میدانی غیرقابل کنترل و تأثیرگذاری پارامترهای متعددی از قبیل ویژگی‌های هیدرولیکی سیال، مشخصات هندسی پایه و مواد رسوبی و همچنین به دلیل عدم قطعیت در عملکرد، تاکنون روابط موجود به نتایج جامع و قابل قبولی منجر نشده است. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی و گسترش استفاده از سیستم‌های کامپیوتری، ابزارهای محاسباتی نرم برای مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده و غیرخطی کاربرد فراوانی داشته است. داده‌کاوی فرایندی تحلیلی است که برای کاوش داده‌ها صورت می‌گیرد و هدف اصلی آن پیش‌بینی است. در واقع این سیستم‌ها فرایندی هستند که با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی، دانش را از مجموعه‌ای از داده‌ها استخراج می‌کنند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) به‌عنوان یکی از شاخه‌های اصلی این سیستم‌ها از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته شده که به‌صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. این شبکه‌ها از انواع مدل‌های محاسباتی هستند که قادرند رابطه میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم فیزیکی (هرچند پیچیده و غیرخطی) را توسط شبکه‌ای از گره‌ها که همگی به هم متصل هستند، تعیین نمایند (روشنگر و روح‌پرور، ۱۳۹۲). بر همین اساس در کنار معادلات تجربی، محققین از مدل‌های شبکه عصبی و مدل‌های فازی جهت مدل‌سازی این پدیده استفاده کرده‌اند (باتنی و همکاران، ۲۰۰۷ و فیرات و گنگور، ۲۰۰۹). نتایج مدل‌های عصبی مورد استفاده نشان می‌دهد که این مدل‌ها می‌توانند عمق آب شستگی در اطراف پایه‌های پل را با خطای کمتری نسبت به معادلات متداول

¹ Bateni et al

² Firat & Gungor

برآورد نمایند. حسن و همکاران (۲۰۲۲) جهت شبیه‌سازی عمق آب شستگی اطراف پایه‌های پل از برنامه‌نویسی بیان ژن و شبکه‌های عصبی استفاده کردند. نتایج مطالعه صورت گرفته نشان می‌دهد که شبکه عصبی قدرت بالاتری در مقایسه با بیان ژن در مدل‌سازی عمق آب شستگی اطراف پایه‌های پل دارد. در مطالعه‌ای از دو مدل ناپامتریک درخت‌های تصمیم CART و M5 جهت برآورد عمق آب شستگی استفاده گردید که دارای الگوریتم درختی بوده و فضای مسئله را به شاخه‌های متعدد تقسیم‌بندی می‌کنند. طبق این تحقیق مشخص شد که مدل CART نسبت به مدل M5 دارای گره‌های بیشتری بوده که استفاده از این مدل را دچار مشکل می‌کند. درحالی‌که مدل M5 چهار رابطه جهت تخمین عمق آب شستگی ارائه کرده که به راحتی می‌توان از این روابط در مدل‌های دیگر استفاده نمود. مقایسه تحلیل‌های آماری بر الگوریتم‌های درختی و معادلات تجربی به کاررفته نشان داد که مدل‌های ارائه شده عمق آب شستگی اطراف پایه‌های پل را با دقت بهتری برآورد نمایند (ظهیری، ۱۳۹۴) به منظور پیش‌بینی عمق آب شستگی در مطالعه‌ای از تکنیک ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. محققین در این تحقیق از داده‌های میدانی جمع‌آوری شده توسط اداره کل بزرگراه‌های فدرال^۲ که مربوط به پل‌های موجود در ایالات متحده است، استفاده کردند. ۷۰٪ (۳۳۶ عدد) از داده‌ها برای آموزش، ۱۵٪ (۷۱ عدد) برای ارزیابی و ۱۵٪ (۷۱ عدد) برای آزمایش مدل SVM^۳ و مقایسه با روابط تجربی استفاده شد. محققین دو سری پارامترهای با بعد و بی‌بعد را انتخاب کرده، سپس با استفاده از سه روش آزمون گاما (GT)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و رگرسیون گام‌به‌گام (FS) پارامترهای مؤثر بر آب شستگی از بین کل پارامترها انتخاب شد. نتایج حاصله حاکی از آن است که پارامترهای بی‌بعد تعیین شده توسط هر سه روش دقت کمی در تخمین عمق آب شستگی دارند اما روش بردار پشتیبان توانسته با استفاده از پارامترهای دارای بعد تخمین قابل قبولی از عمق آب شستگی ارائه دهد. همچنین تکنیک SVM نسبت به روابط تجربی از قابلیت بالایی در تخمین عمق آب شستگی با استفاده از پارامترهای دارای بعد برخوردار است (سیدیان، ۱۳۹۴).

هدف از مطالعه حاضر برآورد عمق آب شستگی پای پل با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فرا کاوشی و مدل‌های داده کاوی است تا بتوان از این روش به عنوان جایگزینی برای روش‌های موجود استفاده نمود.

روش پژوهش

عمق نهایی آب شستگی اطراف پایه‌های پل تابعی از مشخصات جریان، رسوبات بستر و مشخصات پایه است (ملویل و کلمن، ۲۰۰۰). عمق آب شستگی (Y_s) اطراف پایه استوانه‌ای را می‌توان به صورت تابعی از پارامترهای زیر نوشت:

$$Y_s = f(\rho, \mu, g, V, D, Y, D_{50}, \sigma) \quad (1)$$

در رابطه فوق Y_s = عمق آب شستگی نهایی، ρ و μ = چگالی و لزوجت دینامیکی جریان، V = سرعت جریان در بالادست پایه، Y = عمق جریان در بالادست پایه، g = شتاب ثقل زمین، D = عرض پایه، D_{50} = اندازه متوسط ذره و σ = ضریب یکنواختی رسوبات می‌باشند. با استفاده از آنالیز ابعادی و انتخاب D, ρ, μ به عنوان پارامترهای بی‌بعد به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$\frac{Y_s}{D} = f(Fr_p, Re_p, Fr, Re, F_g, \frac{Y}{D}, \frac{D}{D_{50}}, \sigma) \quad (2)$$

$$Re_p = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3)$$

$$Fr_p = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (4)$$

$$Re = \frac{\rho V Y}{\mu} \quad (5)$$

¹ Hassan et al

² Federal Highway Administration

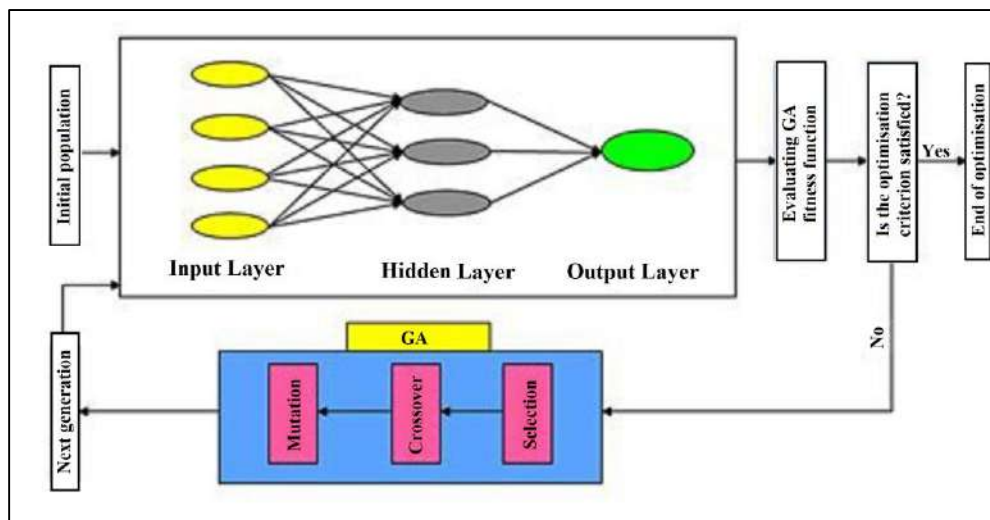
³ Support Vector Machine

⁴ Melville & Coleman

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}} \quad (6)$$

$$F_g = \frac{V}{\sqrt{gD_{50}}} \quad (7)$$

در روابط اخیر: Fr_p = عدد فرود پایه، Re_p = عدد رینولدز پایه، Fr = عدد فرود جریان، Re = عدد رینولدز جریان و F_g = عدد فرود ذره می‌باشند. متغیر خروجی نیز عمق آب شستگی در نظر گرفته شد. می‌توان از متغیرهای بی‌بعد و یا متغیرهای بعددار جهت معرفی پارامترهای ورودی استفاده نمود که در این تحقیق از متغیرهای بی‌بعد به‌عنوان متغیرهای ورودی جهت ارائه به مدل‌های داده‌کاوی استفاده گردید. در این تحقیق از ترکیب الگوریتم ژنتیک^۱ و شبکه عصبی پرسپترون^۲ چندلایه استفاده شده است. تعیین تعداد نرون‌ها در لایه‌های ورودی و خروجی ساده بوده، همچنان توسط متغیرهای ورودی و خروجی به مدل القاء می‌شود. اما تعیین تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های آن‌ها به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. در اکثر مطالعات گذشته از روش سعی و خطا جهت تعیین تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهان استفاده شده است. در این تحقیق از آنجاکه دو تابع فعال‌ساز (تابع سیگموئید) Sigmoid و (تانژانت هپربولیک) tanh^۳ به‌کاررفته، تعداد اجرای مدل‌های مختلف زیاد است. بر این اساس و با توجه به مطالعات صورت گرفته در گذشته تعداد لایه‌های مخفی برابر یک لایه و از تابع سیگموئید به‌عنوان تابع فعال‌ساز استفاده گردید. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تابع خطا استفاده گردید. نحوه ترکیب شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و الگوریتم ژنتیک در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله

داده‌های مورد استفاده

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق توسط سازمان فدرال معابر آمریکا (FHWA)^۴ ارائه شده و مربوط به پل‌های موجود در ایالات متحده است. مشخصات اطلاعات مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. از آنجاکه کلیه اطلاعات مورد استفاده، اطلاعات واقعی بوده و بازه وسیعی از شرایط هیدرولیکی و رسوبی را شامل می‌شود، می‌توان از این اطلاعات جهت ساخت و واسنجی مدل‌های پیشنهادی استفاده نمود. این اطلاعات جمعاً شامل ۴۷۵ داده بوده که ۳۰۹ داده آن جهت آموزش مدل‌های عصبی، ۷۲ داده به‌عنوان مجموعه آزمون و ۹۴ داده باقیمانده جهت

¹ Genetic Algorithm

² Perceptron

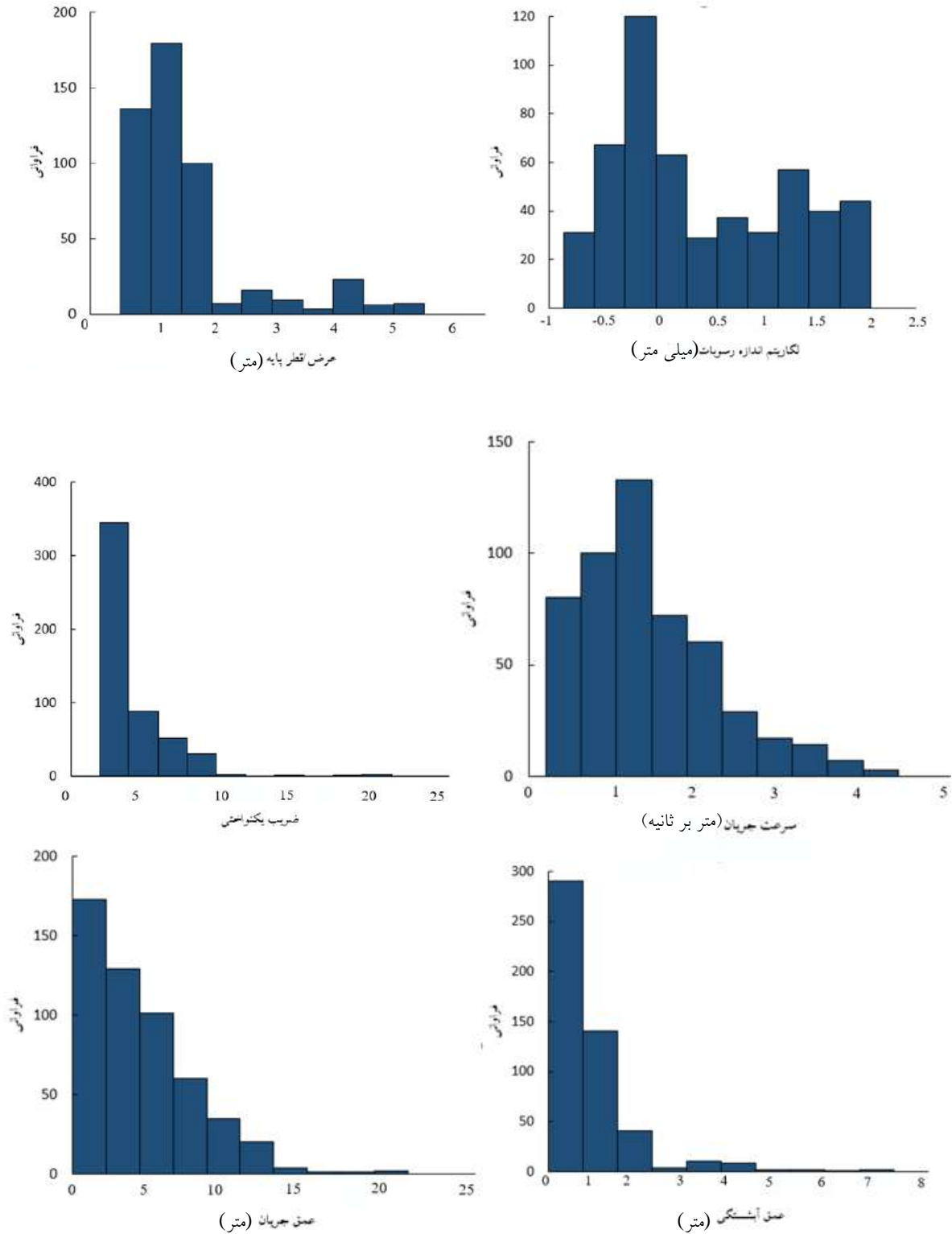
³ Hyperbolic Tangent

⁴ Federal high way administration

صحت سنجی مدل های مختلف به کار خواهند رفت. در شکل ۲ هیستوگرام های مربوط به توزیع فراوانی هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی مورد استفاده جهت ساخت و صحت سنجی مدل های عصبی-ژنتیک ارائه شده است که با استفاده از آن می توان به توزیع متغیرها و نیز نقص موجود در داده ها پی برد. محور عمودی در تمامی شکل ها میزان فراوانی اطلاعات مورد استفاده است.

جدول ۱. اطلاعات مورد استفاده جهت ساخت و صحت سنجی مدل های داده کاوی

متغیر آماری	عرض پایه (m)	سرعت جریان (m/s)	عمق جریان (m)	اندازه ذرات (mm)	ضریب یکنواختی	عمق آب شستگی (m)	F_{dm}	y/b	d_s/b
حداکثر	۵/۵	۴/۵	۲۰/۰	۹۵/۰	۲۱/۸	۴/۳	۳۷/۲	۱۱/۰	۳/۰
حداقل	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲	۱/۲	۰/۲	۰/۲۸	۰/۱	۰/۱۲
میانگین	۱/۱۸	۱/۳۲	۳/۶۵	۱۲/۷۵	۳/۴۲	۰/۸۴	۵/۲۰	۳/۳۵	۰/۷۸
انحراف معیار	۰/۸۷	۰/۷۵	۳/۱۰	۲۱/۲۲	۲/۵۱	۰/۷۹	۵/۳۷	۲/۲۴	۰/۴۸



شکل ۲. هیستوگرام مربوط به توزیع فراوانی متغیرهای مؤثر بر آب شستگی

معیارهای خطا

جهت تعیین کارایی و صحت سنجی مدل های عصبی-ژنتیک و مقایسه نتایج از معیارهای متفاوتی استفاده می شود که سه معیار از آن ها بیشترین کاربرد را دارند. این سه معیار عبارتند از: میانگین مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و نسبت اختلاف (DR) که در این تحقیق از این معیارها جهت مقایسه کارایی روش پیشنهادی با معادلات تجربی موجود استفاده می شود. جذر میانگین مربعات خطا، مجموع مربعات خطا و خطای مطلق میانگین از شاخص های آماری هستند که بیانگر میزان خطا، بین داده های مشاهده ای و پیش بینی شده هستند و در مهندسی کاربرد فراوانی دارند. مدل بهینه، مدلی است که دارای ضریب همبستگی بالاتر و کمترین مقدار خطا باشد. یکی از مهم ترین شاخص های آماری مورد استفاده در این مطالعه، نسبت اختلاف (DR) است. DR از معیارهای قدرتمند آماری بوده که توسط وایت و همکاران (۱۹۷۳) پیشنهاد شده است (اعتماد شهیدی و تقی پور، ۲۰۱۲) این کمیت جهت بررسی کارایی مدل های مختلف به حساب می آید و برابر با نسبت لگاریتم مقادیر محاسباتی به مشاهده ای است. هرچه DR به عدد یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده مطابق بودن نتایج مدل و مقادیر واقعی است. در غیر این صورت، اگر $DR > 1$ باشد، مدل مورد نظر آب شستگی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و اگر $DR < 1$ باشد، آب شستگی کمتر از مقدار واقعی محاسبه شده است. در این تحقیق $1.5 > DR > 0.5$ به عنوان دقت در هر مدل در نظر گرفته شده است که مطابق دقت تعریف شده توسط سئو و چونگ (۱۹۹۸) است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - t_i| \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - t_i)^2} \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (11)$$

$$DR = \frac{t_i}{O_i} \quad (12)$$

در روابط فوق O_i و t_i به ترتیب مقادیر واقعی و خروجی شبکه و \bar{O}_i متوسط مقادیر واقعی و N تعداد کل داده ها است. آموزش مدل های شبکه عصبی زمانی که خطای قابل قبولی حاصل شود و یا اینکه تعداد تکرارها از مقدار حداکثر تجاوز کند، خاتمه می یابد. بهترین مدل، مدلی است که مقادیر MAE و RMSE کمتری داشته و مقدار R^2 آن به یک نزدیک تر باشد.

روابط تجربی مورد بررسی در تحقیق

به دلیل پیچیدگی شرایط جریان در اطراف پایه های پل، پارامترهای متعددی توسط محققین مختلف جهت استخراج روابط مربوط به آب شستگی پایه های پل پیشنهاد شده است. در اغلب روابط پیشنهادی، پارامترهای مؤثر به شکل پارامترهای بدون بعد ارائه شده است. جدول ۲، ارائه کننده برخی از روابط تجربی موجود در تخمین عمق آب شستگی پای پل است. در تمامی معادلات تجربی ارائه شده، d_s : عمق آب شستگی پایه های پل است.

¹ Mean Error Absolute

² Root Mean Square Error

³ Correlation coefficient

جدول ۰۲. روابط تجربی مورد استفاده در تحقیق

رابطه ارائه شده	محقق
$d_s = 0.000223 \times Re_p^{0.619}$	Shen et al. (1969)
$d_s = 2.0y_0K_1K_2K_3K_4\left(\frac{b}{y_0}\right)^{0.65} Fr_1^{0.43}$	Hec-18(FHWA,1995)
$d_s = 0.86b_p^3 \quad b_p < 2 \cdot 2m$ $d_s = 3.60b_p^{0.4} \quad b_p > 2 \cdot 2m$	Ansari & Qadar (1994)
$d_s = K_tK_dK_yDb$	Melville (1997)
$d_s = K_tK_dK_yK_aK_s b$	Melville & Sutherland (1988)

معرفی داده‌ها به مدل عصبی-ژنتیک

برای استفاده از مدل‌های داده‌کاوی دو مرحله اصلی وجود دارد. مرحله اول ساخت و یا آموزش مدل و مرحله دوم صحت‌سنجی یا تست مدل است. برای طی کردن این دو مرحله، ابتدا می‌بایست کل مجموعه داده‌های مورد مطالعه را به دودسته تقسیم کرد. در این پروسه بر اساس مجموعه داده‌های آموزشی، مدل اولیه ایجاد می‌شود سپس این مدل برای دسته‌بندی داده‌های جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب با به‌کارگیری مدل به‌دست‌آمده تعلق داده‌های جدید به دسته معین قابل پیش‌بینی است. به عبارت دیگر با بررسی ویژگی‌های یک گره جدید توانایی تخصیص آن به یکی از مجموعه‌های از پیش تعیین شده حاصل می‌شود. به همین دلیل از مجموع اطلاعات در دسترس ۸۰٪ (۳۸۷ سری از داده‌ها) جهت آموزش مدل‌ها و ۲۰٪ باقیمانده (۹۸ سری از داده‌ها) جهت صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین اشاره به این نکته که مدل‌های داده‌کاوی غالباً توانایی برون‌یابی را نداشته و تنها قادر به درون‌یابی مسئله هستند، ضروری است. پس می‌توان دریافت که عضوهایی که دارای بیشترین و کمترین مقدار می‌باشند را می‌بایست در قسمت شبیه‌سازی و آموزش به کاربرد تا محدوده مسئله برای مدل تعریف شود و مدل شروع به درون‌یابی کند. به همین دلیل در این تحقیق، ابتدا عضوهای ماکزیمم و مینیمم جدا شده و در بالای مجموعه کل قرار گرفته و بعد از آن باقی مجموعه به صورت تصادفی چیده شدند. سپس ۸۰٪ از داده‌های بالایی (شامل ماکزیمم و مینیمم) برای آموزش و ۲۰٪ باقی‌مانده برای صحت‌سنجی مدل‌ها به کار گرفته شدند. اطلاعات آماری مربوط به این دو مجموعه به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۰۳. اطلاعات آماری مورد استفاده در مرحله آموزش

متغیر آماری	Fr	Fr_p	F_g	Re_p	σ	$\frac{D}{D_{50}}$	$\frac{Y}{D}$
حداکثر	۰/۸۱	۱/۰۶	۱/۸۶	۱۶۰۱۹۹۰۰	۲۱/۸	۱۴/۳۳	۲۳/۲۵
حداقل	۰/۰۳	۰/۲۲۹	۰/۰۲۲	۱۱۹۴۰۲	۱/۲	۰/۰۰۸	۰/۱
میانگین	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۳۳	۲۲۲۳۵۷۸	۳/۲۶	۱/۹۲	۳/۷۸
انحراف معیار	۰/۱۵	۰/۱۹۹	۰/۳۴	۲۹۲۴۴۱۴	۲/۳۷	۳/۳۶	۳/۰۶

جدول ۴. اطلاعات آماری مورد استفاده در مرحله صحت سنجی

F_g	Re_p	σ	$\frac{D}{D_{50}}$	$\frac{Y}{D}$	Fr	Fr_p	متغیر آماری
۱/۶۹	۸۹۵۵۲	۲۰/۳	۱۴/۳۳	۱۱/۷۵	۰/۷۵	۱/۰۷	حداکثر
۰/۰۲۵	۱۲۴۰۷۹۶۰	۱/۲	۰/۰۰۸	۰/۴	۰/۰۲۶	۰/۰۵	حداقل
۰/۲۸	۱۷۹۰۹۴۲	۳/۸۱	۱/۸۰	۳/۶۷	۰/۲۳	۰/۳۹	میانگین
۰/۲۶	۲۲۰۸۱۶۶	۳/۲۵	۳/۰۳	۲/۴۸	۰/۱۵	۰/۲۳	انحراف معیار

یافته‌ها

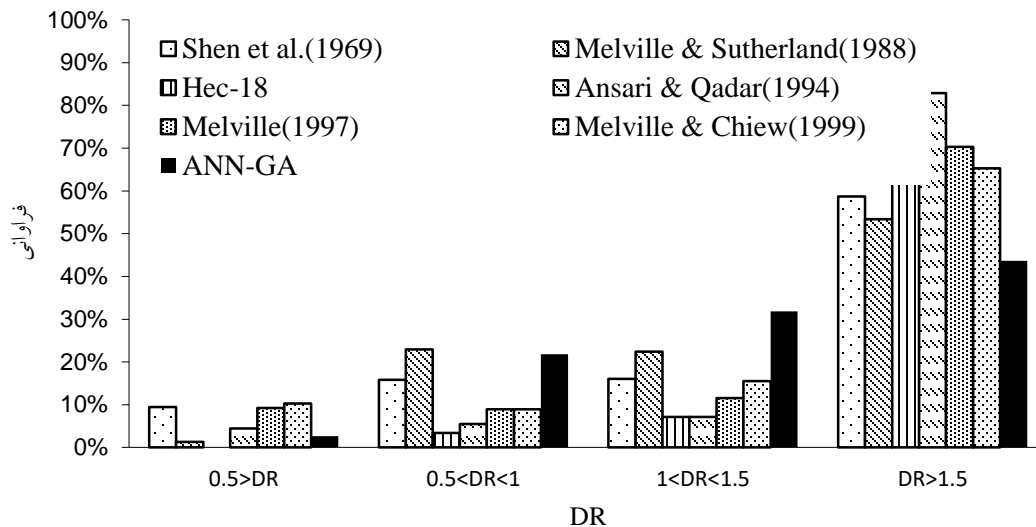
در این تحقیق پس از بررسی‌های صورت و با توجه به مطالعات صورت گرفته در گذشته، یک لایه پنهان برای شبکه عصبی انتخاب گردید. جهت تعیین تعداد نورون‌های لایه پنهان از سعی و خطا استفاده شد. بدین صورت که تعداد نورون‌های این لایه بین یک تا پنج نورون انتخاب گردید. لازم به ذکر است تابع محرک مورد استفاده در لایه پنهان تابع سیگموئید بوده که در اغلب کارهای مهندسی از این تابع استفاده می‌شود. پس از ساخت مدل عصبی، این مدل جهت برآورد عمق آب شستگی با استفاده از داده‌های آموزشی و صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با تعداد نرون ۳ در هر دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی دارای نتایج مطلوب و نزدیک به یکدیگر بوده و دقت بیشتری در برآورد عمق آب شستگی نسبت به سایر مدل‌ها دارد. جهت بررسی عملکرد مدل پیشنهادی در مقایسه با معادلات متداول موجود از تحلیل‌های آماری متنوعی استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مقایسه کارایی مدل‌های تخمین عمق آب شستگی در اطراف پایه‌های پل

شماره	رابطه تجربی	R^2	RMSE	MAE	%DR
۱	Shen et al. (1969)	۰/۰۰۶	۱/۱۹۸	۰/۸۸۲	۳۲
۲	Hec-18	۰/۲۹۴	۲/۵۹۷	۲/۰۳۵	۱۱
۳	Ansari & Qadar (1994)	۰/۰۷۵	۴/۰۱۵	۲/۸۷۸	۱۲/۶
۴	Melville (1997)	۰/۴۹۸	۲/۳۱۹	۱/۴۰۶	۲۰/۵
۵	Melville & Chiew (1999)	۰/۵۰۴	۲/۲۰۷	۱/۳۳۱	۲۴/۵
۶	Melville & Sutherland (1988)	۰/۴۴۳	۰/۸۹۵	۰/۵۹۲	۴۵/۳
۷	ANN-GA	۰/۷۷۱	۰/۵۰۸	۰/۳۸۵	۵۴/۱

هیستوگرام فراوانی نسبت اختلاف (DR) مدل‌های محاسباتی و مدل هوشمند موردنظر در شکل ۳ نشان داده شده است. رابطه شن و همکاران (۱۹۶۹) دارای دقتی معادل ۳۲ درصد بوده است. این درحالی است که بیش برآورد و کم برآورد رخ داده در این مدل به ترتیب ۵۸/۷ و ۹/۵ درصد است که می‌توان دریافت این رابطه در اکثر حالات عمق آب شستگی را بیشتر از مقدار واقعی محاسبه کرده است. رابطه ملویل (۱۹۹۷) و ملویل و چیو (۱۹۸۸) دارای دقتی معادل به ترتیب ۲۰/۵ و ۲۴/۵ درصد بوده است. این در حالی است که بیش برآورد و کم برآورد رخ داده در این مدل‌ها به ترتیب ۷۹/۵ و ۷۵/۶ درصد است که این دو معادله را در زمره معادله‌های با دقت متوسط می‌توان طبقه‌بندی کرد. رابطه ملویل و ساترلند (۱۹۸۸) با دقتی معادل ۴۵/۳ درصد دقیق‌ترین رابطه تجربی در این بخش بوده است. همچنین در این مدل بیش برآورد و کم برآوردی معادل ۵۴/۷ درصد رخ داده که نشان‌دهنده تقارن نسبتاً خوب این مدل است. رابطه‌های HEC-18 و انصاری و قدار (۱۹۹۴) با دقتی به ترتیب ۱۱ و ۱۲/۶ درصد دارای کمترین دقت پیش‌بینی در میان روابط تجربی منتخب بوده است. در این مدل‌ها با بیش برآورد به ترتیب ۸۹ و ۸۲/۹ درصدی می‌توان دریافت که بیش برآورد زیادی در این دو مدل رخ داده است و این مدل‌ها دارای تقارن مناسبی نبوده و غالباً تخمین‌های مربوط به این دو

مدل از مقادیر واقعی بیشتر بوده است. مدل هوشمند مورد استفاده در این پژوهش با دقتی معادل ۵۳/۷ درصد دارای بیشترین میزان دقت نسبت به روابط تجربی است. بیش برآورد و کم برآورد رخ داده در این مدل به ترتیب ۴۳/۷ و ۲/۶ درصد است.



شکل ۳. مقایسه نسبت اختلاف (DR) مدل‌های محاسباتی و شبکه عصبی.

بحث

در این تحقیق پس از بررسی‌های صورت و با توجه به مطالعات صورت گرفته در گذشته، یک لایه پنهان برای شبکه عصبی انتخاب گردید. جهت تعیین تعداد نورون‌های لایه پنهان از سعی و خطا استفاده شد. بدین صورت که تعداد نورون‌های این لایه بین یک تا پنج نرون انتخاب گردید. لازم به ذکر است تابع محرک مورد استفاده در لایه پنهان تابع سیگموئید بوده که در اغلب کارهای مهندسی از این تابع استفاده می‌شود. پس از ساخت مدل عصبی، این مدل جهت برآورد عمق آب شستگی با استفاده از داده‌های آموزشی و صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با تعداد نرون ۳ در هر دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی دارای نتایج مطلوب و نزدیک به یکدیگر بوده و دقت بیشتری در برآورد عمق آب شستگی نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق ارائه روشی بر مبنای ANN-GA جهت محاسبه عمق آب شستگی اطراف پایه‌های پل است. بر همین اساس مدل‌هایی با یک لایه پنهان و تعداد نرون‌های متغیر بین ۱ تا ۵ نرون جهت این منظور استفاده گردید. پس از بررسی تمامی مدل‌های تجربی و هوشمند مشخص شد در همه مدل‌های هوشمند، میزان دقت مدل‌های ساخته شده بالاتر از روابط تجربی است. RMSE از شاخص‌های آماری قدرتمند است که جهت مقایسه مدل‌های گوناگون با یکدیگر در بسیاری از مسائل مهندسی و آماری به منظور انتخاب بهترین مدل استفاده می‌شود. این شاخص هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده مطلوبیت مدل خواهد بود. همچنین نزدیک بودن RMSE در هر دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی نسبت به یکدیگر بیانگر مطلوبیت بیشتر مدل است. با توجه به محاسبات صورت گرفته کمترین مقدار RMSE در دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی مربوط به مدل ANN-GA با ۳ نرون بوده است و مقدار آن در دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۴۷۸ و ۰/۶۰۷ است که این مقادیر نشان‌دهنده بهترین عملکرد در مقایسه با دیگر مدل‌ها است. علاوه بر این سایر شاخص‌های آماری مربوط به این مدل مطلوب بوده که باعث گردید این مدل به عنوان بهترین مدل انتخاب گردد. در این مدل در دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی مقدار R^2 به یک

نزدیکتر است و مقدار آن در دو مرحله آموزش و صحت سنجی به ترتیب ۰/۷۷۳ و ۰/۷۴۱ محاسبه گردید. علاوه بر این میزان دقت محاسبه شده بر اساس نسبت اختلاف برای روش پیشنهادی معادل ۵۳/۷ درصد محاسبه گردید که در مقایسه با سایر روش ها، مقدار بالاتری را نشان می دهد.

منابع

- خادمی، خیراله، خزیمه نژاد، حسین، و شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۸۹). برداشت بیرویه مصالح رودخانه‌های در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبستنگی پای پله‌ای بزرگ. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. <https://civilica.com/doc/111696>
- رضضانی، یوسف، قمشی، مهدی، و موسوی جهرمی، سید حبیب. (۱۳۹۳). پیش بینی عمق آبستنگی تکیه‌گاه پل در کانال‌ها با مقطع مرکب. مجله پژوهش آب ایران، ۸(۱)، ۱۱۷-۱۰۹. http://iwj.sku.ac.ir/article_10975.html
- روشنگر، کیومرث، و روح پرور، بهزاد. (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد سیستم های هوش مصنوعی برای شبیه‌سازی آبستنگی پایه‌های پل در خاک‌های چسبنده. نشریه دانش آب و خاک، ۳(۲۳)، ۱۸۲-۱۶۹. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_536.html
- زارع، معصومه، و هنر، تورج. (۱۳۹۴). اثر آبشکن بر کاهش عمق آبستنگی اطراف پایه پل‌ها در پیچ رودخانه‌ها. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۹(۷۴)، ۱۷۷-۱۶۷. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.74.14>
- سیدیان، مرتضی. (۱۳۹۴). استفاده از روش‌های نوین در تعیین پارامترهای مؤثر بر آبستنگی پایه پل. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵(۵)، ۱۹-۱۶. http://www.waterjournal.ir/article_73653.html
- ظهیری، جواد. (۱۳۹۴). اربرد مدل‌های ناپارامتریک CART و $M5'$ در محاسبه عمق آبستنگی اطراف پایه های پل. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۵(۴)، ۵۰-۳۵. http://www.waterjournal.ir/article_73790.html
- مفتاح‌هلقی، مهدی، و حاجبی، فاطمه. (۱۳۹۳). شبیه سازی سه بعدی عددی آبستنگی اطراف پایه های پل در تنگ شدگی های طولانی با استفاده از مدل عددی SSIIM، پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۱(۵)، ۲۵۶-۲۴۱. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2134.html

References

- Ansari, S.A., & Qadar, A. (1994). Ultimate Depth of Scour around Bridge Piers. ASCE, Hydraulic Engineering, 51-55. <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0089351>
- Arneson, L.A., Zevenbergen, L.W., Lagasse, P.F., & Clopper, P.E. (2012). Evaluating Scour at Bridges (No. FHWA-HIF-12-003). National Highway Institute (US). <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/42053>
- Batani, S.M., Jeng, D.S., & Melville, B.W. (2007). Bayesian Neural Networks for Prediction of Equilibrium and Time-dependent Scour Depth around Bridge Piers. Advances in Engineering Software, 38(2), 102-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2006.08.004>
- Etemad-Shahidi, A., & Taghipour, M. (2012). Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams Using $M5'$ Model Tree. Journal of Hydraulic Engineering, 138(6), 542-554. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000550](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000550)
- Firat, M., & Gungor, M. (2009). Generalized Regression Neural Networks and Feed Forward Neural Networks for Prediction of Scour around Bridge Piers. Advances in Engineering Software. 40(8), 731-737. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.12.001>
- Hassan, W.H., Hussein, H.H., Alshammari, M.H., Jalal, H.K., & Rasheed, S.E. (2022). Evaluation of Gene Expression Programming and Artificial Neural Networks in PyTorch for the Prediction of Local Scour Depth around a Bridge Pier. Results in Engineering, 13, 100353. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100353>

- Khademi, Kh., Khuzimanejad, H., & Shafai Bajestan, M. (2010). Harvesting of river sediments in Khuzestan province is one of the main factors of washing the foot of a big step. The 3rd National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks, School of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. <https://civilica.com/doc/111696> [In Persian]
- Meftah, M., & Hajebi, F. (2014). 3D numerical simulation of scouring around pier within a long contraction with applying numerical model SSIIM. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), 241-256. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2134.html [In Persian]
- Melville, B. W. (1997). Pier and Abutment Scour: Integrated Approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(2), 125-136. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1997\)123:2\(125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:2(125))
- Melville, B.W., & Coleman, S.E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publications, 550. <https://www.wrpllc.com/books/bsr.html>
- Melville, B.W., & Sutherland, A.J. (1988). Design Method for Local Scour at Bridge Piers. *American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulic Division*, 114(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1988\)114:10\(1210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:10(1210))
- Ramezani, Y., Ghomeshi, M., & Musavi Jahromi, S. (2014). Prediction of scour depth at bridge abutment in compound channels. *Iranian Water Researches Journal*, 8(1), 109-117. http://iwrij.sku.ac.ir/article_10975.html [In Persian]
- Roshanghar, K., & Rohparvar, B. (2013). Evaluation of Artificial Intelligence Systems for Simulation of Bridge Piers Scouring in Cohesive Soils. *Water and Soil Science*, 23(3), 169-182. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_536.html [In Persian]
- Seo, I.W., & Cheong, T.S. (1998). Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(1), 25-32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:1\(25\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:1(25))
- Seyedian, M. (2015). Determinations of Affecting Parameters on Bridge Pier Scour Using New Methods. *Irrigation and Water Engineering*, 5(3), 1-16. http://www.waterjournal.ir/article_73653.html [In Persian]
- Shen, H., Schneider, V.R., & Karaki, S. (1969) Local Scour around Bridge Piers. *Journal of the Hydraulics Division*, 95, 1919-1940. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2277044](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2277044)
- Zahiri, J. (2015). Nonparametric CART and M5' Methods Application on Bridge Piers Scour Depth Computation. *Irrigation and Water Engineering*, 5(4), 35-50. http://www.waterjournal.ir/article_73790.html [In Persian]
- Zare, M., & Honar, T. (2016). The Effect of Groyne on Reduction of the Scour Depth around Bridge Piers in River Bends. *JWSS*, 19(74), 167-192. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.74.14> [In Persian]



Estimation of precipitation using the combined method of Support Vector Machine- Simulated Annealing algorithm (case study: Gorgan synoptic station)

Saeed Azadi ¹ , Maryam Vafae ² , Hamed Nozari ³

¹ Ph. D graduated of Water Resources Engineering, Department of Water science engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: s_azadi_ir@yahoo.com

² Ph. D graduated of Water Resources Engineering, Department of Water science engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: ma.vafae2014@gmail.com

³ Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water science engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: h.nozari@basu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Precipitation is one of the essential components of the water cycle and is considered one of the most critical input components of the hydrological cycle. Artificial intelligence methods have a comprehensive ability to model and predict complex problems. These methods are based on dynamic systems. They can create a relationship between dependent and independent variables by analyzing input data and the results without considering the physical process governing the system. The SVM intelligent hybrid models and the SA optimization algorithm are intelligence methods algorithms that have been used separately or in combination in water science and engineering. In the current research, the accuracy of the Simulated Annealing algorithm based on a Support Vector Machine (SVM-SA) was evaluated in the simulation of precipitation changes.

Methodology

To verify the results, we used the precipitation data of the Gorgan synoptic station during the 40 years from 1971 to 2010. Non-precipitation meteorological data have been used to estimate rainfall, including cloud cover, maximum and minimum temperature, water vapor pressure, wind speed, maximum and minimum relative humidity, and dew point. The SVM-SA algorithm can avoid the time-consuming trial and error phase to obtain the results and minimize the estimation error. In this method, the input parameters are first determined in the SVM algorithm; then, the initial parameters σ and γ are specified. The SVM finds the hyperplane that gives the most considerable minimum distance to the training data. SA algorithm avoids wasting time trying to find the optimum values of σ and γ parameters.

In this research, the skewness and elongation of the data in SPSS software indicated the normal distribution of the studied parameter. Therefore, due to the non-normality of the data, the normalization of non-rainfall meteorological data was done using the minimum-maximum conversion method (Eq. 1) based on the maximum and minimum values.

$$Y_t = \frac{x_t - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Where, Y_t is the normalized value, x_t is the value of each data, x_{min} is the lowest value of the data, and x_{max} is the highest value of the data. So, the scale of both features is 0 to 1, and different classification algorithms on the data can now be implemented fairly.

The root mean square error (RMSE), standard error (SE), and correlation coefficient (R2) were used to evaluate the model's validity (Eq. 2 to 4). After normalizing the data, the effective meteorological parameters on rainfall using SPSS software were determined. Then, the value of the Pearson correlation coefficient between non-precipitation meteorological parameters is at a significant level of 99% for the selection of input parameters to the algorithm was calculated.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{n}} \quad (2)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad (4)$$

Where n represents the number of days in the study period, Y_m is the measured values for each day, Y_p is the predicted values by model, \bar{Y}_m is the average of measured data, and \bar{Y}_p is the average of the predicted data.

Results and discussion

The results of Pearson's correlation coefficient showed that out of the eight considered parameters, cloudiness parameters, average maximum temperature, water vapor pressure, maximum relative humidity, and dew point have the most significant correlation at the 99% level with rainfall, so parameters The inputs were considered to predict the rainfall parameter in the SVM-SA algorithm. Based on the results, using five non-precipitation meteorological parameters, including cloud cover, maximum temperature, water vapor pressure, maximum relative humidity, and dew point, the RMSE, SE, and R^2 in the training section are equal to 6.02 mm, 0.01, and 0.999. In the testing section, 18.72 mm, 0.03, and 0.925 mm, were calculated, respectively.

Conclusions

The results showed that the SVM-SA could be highly accurate in simulating precipitation changes in the study area, and this model can be introduced as a new hybrid algorithm in engineering sciences.

Keywords: Artificial intelligence; Precipitation; Simulated Annealing; Simulation; Support Vector Machine

Article Type: Research Article

Article history: Received: 01 September 2022 Revised: 01 November 2022 Accepted: 09 November 2022 ePublished: 22 November 2022

Cite this article: Azadi, S., Vafae, M., & Nozari, H. (2022). Estimation of precipitation using the combined method of Support Vector Machine- Simulated Annealing algorithm (case study: Gorgan synoptic station), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 14-34, DOI: 10.22126/ATWE.2022.8393.1028

Publisher: Razi University

© The Author(s).





برآورد بارندگی با استفاده از روش ترکیبی ماشین بردار پشتیبان - الگوریتم تبرید (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک گرگان)

سعید آزادی^۱ ، مریم وفايي^۲ ، حامد نوزدي^۳ ✉

^۱ دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: s_azadi_ir@yahoo.com
^۲ دانش آموخته دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: ma.vafae2014@gmail.com
^۳ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: h.nozari@basu.ac.ir

چکیده

بارندگی یکی از اجزای اساسی چرخه آب است و به عنوان یکی از مهم ترین مؤلفه های ورودی چرخه هیدرولوژیکی به شمار می رود. در تحقیق حاضر دقت الگوریتم هیبریدی شبیه سازی تبرید بر پایه ماشین بردار پشتیبان (SVM-SA) در شبیه سازی تغییرات بارندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور واسنجی و صحت سنجی نتایج از آمار و اطلاعات بارندگی ایستگاه سینوپتیک گرگان طی دوره ۴۰ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. در روند تحقیق ابتدا پارامترهای هواشناسی مؤثر بر مقدار بارندگی تعیین شد. سپس به منظور انتخاب پارامترهای ورودی به الگوریتم مورد نظر، با استفاده از نرم افزار SPSS مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای هواشناسی در سطح معنی داری ۹۹ اعمال گردید. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که از هشت پارامتر مورد نظر، پارامترهای ابرناکی، میانگین دمای حداکثر، فشار بخار آب، رطوبت نسبی حداکثر و نقطه شبنم بیشترین همبستگی معنی دار در سطح ۹۹ درصد را با بارندگی دارند. بنابراین به عنوان پارامترهای ورودی برای پیش بینی پارامتر بارندگی در الگوریتم SVM-SA در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج، با استفاده از ۵ پارامتر هواشناسی مذکور، مقدار شاخص های SE ، $RMSE$ و R^2 در بخش آموزش به ترتیب برابر با ۶/۰۲ میلی متر، ۰/۰۱ و ۰/۹۹۹ و در بخش آزمون مقدار این شاخص ها به ترتیب ۱۸/۷۲ میلی متر، ۰/۰۳ و ۰/۹۲۵ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که روش ترکیبی SVM-SA می تواند در شبیه سازی تغییرات بارندگی در منطقه مورد مطالعه از دقت بالایی برخوردار باشد و این مدل را به عنوان الگوریتم هیبریدی جدید در حوزه علوم مهندسی می توان معرفی کرد.

واژه های کلیدی: بارندگی، شبیه سازی، ماشین بردار پشتیبان، هوش مصنوعی، هیبریدی شبیه سازی تبرید

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ اصلاح: ۱۰ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۸ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: آزادی، س، وفايي، م، و نوزدي، ح. (۱۴۰۱). برآورد بارندگی با استفاده از روش ترکیبی ماشین بردار پشتیبان - الگوریتم تبرید (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک گرگان)، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۳(۳)، ۱۴-۳۴، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.8393.1028



© نویسنده گان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

محدودیت منابع آبی جهت تأمین آب موردنیاز کشاورزی و غیر کشاورزی موجب بروز مشکلات عمده‌ای شده است. لذا پیش‌بینی بارندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی موجود (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۳) برای اهداف مختلفی نظیر برآورد سیلاب، خشک‌سالی، مدیریت حوضه آبریز، کشاورزی و غیره دارای اهمیت است و پیش‌بینی بارندگی در مقیاس‌های مختلف یکی از اقدامات مفید و مؤثر جهت برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان اقتصادی و اجتماعی است (جباری^۲، ۲۰۰۵).

روش‌های هوش مصنوعی قابلیت وسیعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی مسائل پیچیده دارند. این روش‌ها مبتنی بر سیستم‌های دینامیکی بوده و با تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی و نتایج نظیر آن‌ها و بدون در نظر گرفتن فرآیند فیزیکی حاکم بر سیستم، قادر به ایجاد رابطه بین متغیر وابسته و مستقل هستند (پالمر^۳، ۲۰۲۰). از جمله روش‌های هوش مصنوعی، الگوریتم SVM است. این روش به‌نوبه خود به‌ویژه زمانی که روابط فیزیکی کاملاً شناخته‌شده نیست به کار گرفته می‌شود. این روش نیازی به دانستن فرآیند پدیده ندارد و زیرمجموعه روش‌های جعبه سیاه است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی از موارد کاربرد روش SVM و الگوریتم بهینه‌سازی SA^۴ به‌صورت جداگانه یا ترکیبی در علوم و مهندسی آب صورت گرفته است. به‌عنوان مثال دیبیک و همکاران^۵ (۲۰۰۱) در تحقیقی از مدل SVM در مدل‌سازی بارندگی- رواناب استفاده کردند. در تحقیقی دیگر، آسفا و همکاران^۶ (۲۰۰۶) از SVM برای پیش‌بینی دبی جریان استفاده نمودند که نتایج مطلوب به‌دست‌آمده، نشان از توانایی این تکنیک دارد.

تریپاتی و همکاران^۷ (۲۰۰۶) جهت برآورد ماهانه بارندگی در هند از مدل SVM استفاده کردند. در این مطالعه محققان پیشنهاد کردند که SVM به‌عنوان گزینه برتر نسبت به سایر روش‌های معمول برای پیش‌بینی بارندگی مورد استفاده قرار گیرد. یو و لینگ^۸ (۲۰۰۶) از مدل SVM به‌منظور پیش‌بینی سری زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی استفاده نمودند. چن و همکاران^۹ (۲۰۱۰)، با مدل SVM ریز مقایس نمودن بارندگی روزانه را بررسی و با روش آنالیز چند متغیره مقایسه نمودند. نتایج نشان داد پیش‌بینی‌های حاصل از مدل SVM دقیق‌تر از روش آنالیز چند متغیره است. حمیدی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۴) به پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه و نوزه در استان همدان با دو مدل SVM و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج نشان داد مدل SVM نسبت به شبکه عصبی از کارایی بالاتری برخوردار است. ضابط پیشخانی و همکاران (۱۳۹۵) به مقایسه الگوسازی بارندگی ماهانه با مدل‌های SVM و ANFIS^{۱۱} در شهر گنبد کاووس پرداختند. نتایج پیش‌بینی بارندگی با بارندگی ایستگاه‌های منطقه برای هر دو روش قابل قبول بود. نتایج نشان داد که SVM عملکرد بهتری نسبت به ANFIS در پیش‌بینی بارندگی داشته است. عیسی زاده و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی تأثیر نرمال‌سازی توزیع احتمالاتی رواناب ماهانه بر عملکرد مدل‌های SVM و ANN^{۱۲} در شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه‌ها در حوزه زربینه‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SVM از دقت بالاتری برخوردار است. نوذری و توکلی (۱۳۹۸) به ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف خطی و غیرخطی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه در تغییرات اقلیم استان همدان پرداختند. در این مطالعه، به‌منظور پیش‌بینی مقادیر ماهانه بارندگی از مدل‌های SVM، SVM تلفیق شده با تبدیل

¹ Wang et al

² Jabbari

³ Palmer

⁴ Support Vector Machine

⁵ Simulated Annealing

⁶ Dibike et al

⁷ Asefa et al

⁸ Tripathi et al

⁹ Yu & Liang

¹⁰ Chen et al

¹¹ Hamidi et al

¹² Adaptive neuro fuzzy inference system

¹³ Artificial neural network

موجک (W-SVM)، ARIMA^۲ و ARMAX استفاده گردید. در نهایت نتایج نشان داد، مدل SVM دارای پارامترهای قابل تنظیم کمتری نسبت به مدل های دیگر است. لذا این مدل با سهولت بیشتر و در زمان کمتری قادر به پیش بینی بارندگی بوده و از این نظر نسبت به سایر روش ها ارجحیت دارد.

شرفی و همکاران (۱۳۹۹) به پیش بینی بارندگی ماهانه شهر اردبیل با استفاده از مدل های برنامه ریزی ژنتیک و SVM پرداختند. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل SVM برای مدل سازی و پیش بینی بارندگی ماهانه استان اردبیل مناسب تر بوده است و این مدل به عنوان یک ابزار بسیار مؤثر برای مدل سازی سیستم برای پیش بینی بارندگی ماهانه است.

اما در مورد استفاده و تلفیق مدل SVM و الگوریتم بهینه سازی SA مطالعاتی توسط محققین انجام شده است که از آن جمله می توان به تحقیق پی و هونگ^۳ (۲۰۰۶) اشاره کرد. آن ها از الگوریتم هیبریدی شبیه سازی تبرید بر پایه ماشین بردار پشتیبان (SVM-SA) برای حل مسائل رگرسیون غیرخطی و سری زمانی استفاده کردند. نتایج نشان داد که این روش به پیش بینی های بهتری نسبت به SVM به صورت مجزا منجر می شود.

لین و همکاران^۵ (۲۰۰۸) از روش الگوریتم بهینه سازی SA برای تعیین پارامتری الگوریتم SVM، به نام SVM-SA استفاده کردند. روش پیشنهادی با جستجوی شبکه ای که یک روش مرسوم برای اجرای تنظیمات پارامتر در سیستم است مقایسه شد. نتایج نشان داد که طبقه بندی روش SVM-SA از جستجوی شبکه و سایر رویکردها دقیق تر است.

جیا و همکاران^۶ (۲۰۱۱) ویژگی های شیرهای هیدرولیک را با روش الگوریتم SVM-SA بررسی کردند. نتایج نشان داد که SVM-SA در مقایسه با ANFIS و شبکه عصبی مصنوعی از دقت بالاتری برخوردار است. جیا و همکاران^۷ (۲۰۲۰) به بررسی و تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از داده های هواشناسی برای سواحل غربی شبه جزیره مالزی پرداختند. در این تحقیق آن ها از مدل های SVM-Mak^۸، SVM-HS^۹، SVM-Rom^{۱۰} و SVM-SA استفاده نمودند. نتایج نشان داد تلفیق مدل SVM با مدل های دیگر می تواند از دقت بیشتر و خطای کمتری جهت تخمین تبخیر و تعرق برخوردار باشد. همچنین چن^{۱۱} (۲۰۱۶) با استفاده از SVM-SA به استخراج داده های هیدرولوژیکی و انتقال آن ها در حوادث سیل در حوضه رودخانه یانگ تایوان را مورد بررسی قرارداد و نشان داد که این الگوریتم در حل مسائل مختلف توانمند است.

مهربانی بشار و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۲) به ارزیابی عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب روستایی استان همدان با استفاده از مدل های هیبریدی هوشمند پرداختند. در این مطالعه، اثر عوامل بر تقاضای آب شرب روستایی با استفاده از روش ANFIS و مدل های ترکیبی مانند ANFIS-GA، ANFIS-PSO و SVM-SA مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی مصرف آب آشامیدنی پنج عامل بارندگی، رطوبت نسبی، دما، تعداد مشترکین و قیمت آب انتخاب شدند. نتایج نشان داد مدل ترکیبی SVM-SA عملکرد و دقت بالاتری نسبت به مدل های دیگر در بررسی عوامل مؤثر بر مصرف آب شرب روستایی داشته است.

محمدی و حیدر پور (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر سنجه های اقلیمی بر روی تخمین دمای خاک توسط الگوریتم SVM-SA پرداختند. نتایج نشان داد که الگوریتم SVM-SA می تواند به عنوان ابزاری کارآمد در مدل سازی دمای اعماق خاک استفاده شود.

¹ Wavelet- Support Vector Machines

² Autoregressive Integrated Moving Average

³ Pai & Hong

⁴ Support Vector Machines - Simulated Annealing Algorithm

⁵ Lin et al

⁶ Jia et al

⁷ Chia et al

⁸ Support Vector Machines- Makkink

⁹ Support Vector Machines- Hargreaves-Samani

¹⁰ Support Vector Machines- Romanenko

¹¹ Chen

¹² MehrabaniBashar et al

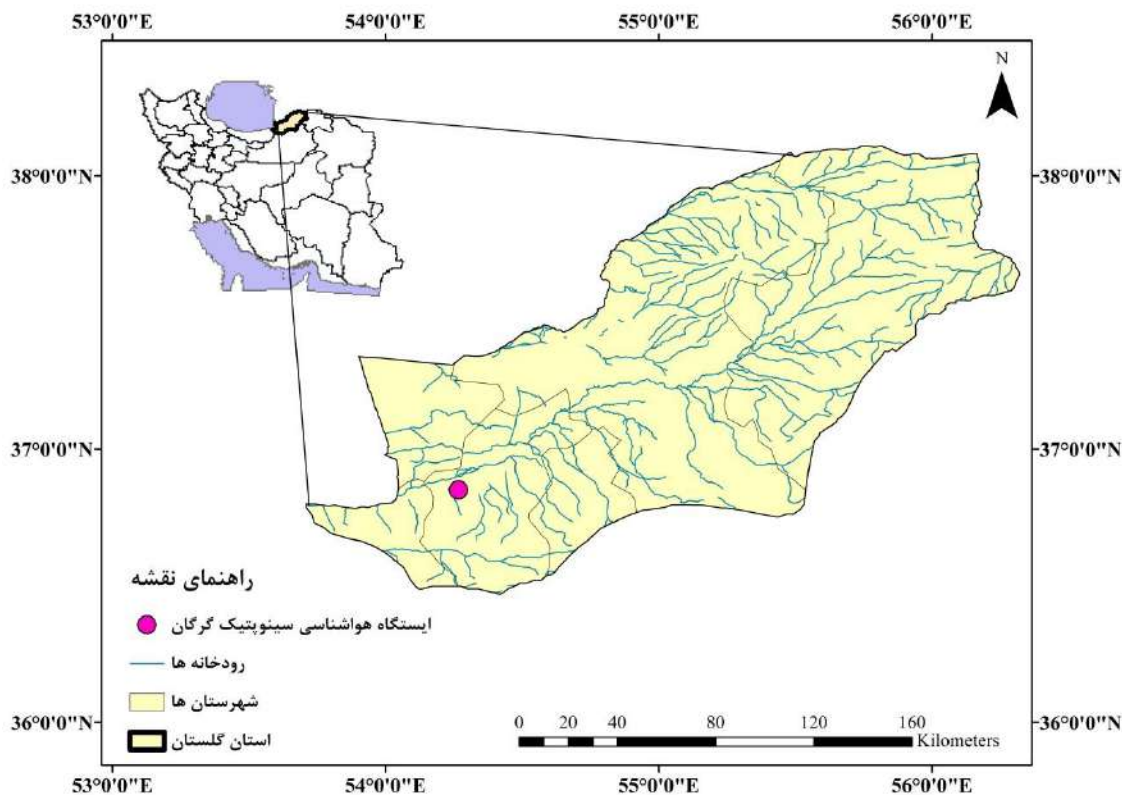
محمدی و مؤذن‌زاده (۱۳۹۸) نیز به پیش‌بینی جریان با استفاده از مدل‌های ترکیبی هوشمند در مقیاس ماهانه در منطقه رودخانه زرین رود پرداختند. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی و سری زمانی ماهانه دبی رودخانه زرین رود (ایستگاه صفوانکه) آذربایجان شرقی استفاده شد. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی الگوریتم ترکیبی SVM-SA نسبت به سایر مدل‌های هیبریدی هوشمند عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی دبی جریان دارد.

بررسی منابع نشان از کارایی SVM و SA به‌صورت جداگانه یا ترکیبی در زمینه آب را دارد. باید خاطر نشان کرد، با توجه به مطالعات صورت گرفته تحقیقی جهت پیش‌بینی تغییرات بارندگی با روش ترکیبی SVM-SA تاکنون صورت نگرفته است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی قابلیت مدل ترکیبی SVM-SA در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی غیر بارندگی در برآورد بارندگی است. نتایج این مطالعه می‌تواند در تعیین نوع و تعداد پارامترهای مؤثر در تخمین بارندگی ایستگاه سینوپتیک مفید واقع گردد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

شهر گرگان از لحاظ مختصات جغرافیایی در محدوده ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. این شهر مرکز استان گلستان محسوب می‌شود و با مساحت حدودی ۴۰ کیلومتر مربع در جنوب استان واقع شده است. گرگان از شمال با شهرستان‌های آق‌قلا و بندر ترکمن، از جنوب با استان سمنان، از شرق با شهرستان علی‌آباد و از غرب با شهرستان کردکوی همسایه است. از نظر اقلیم طبیعی، شهر گرگان به سه دسته کوهستانی، جلگه‌ای و کوهپایه‌ای تقسیم می‌شود و دارای هوای معتدل مدیترانه‌ای است. بیشترین میزان رطوبت هوا در ماه‌های فروردین، آبان و بهمن است. بارش باران در ماه‌های فروردین و دی به بیشترین حد خود می‌رسد. ایستگاه هواشناسی این شهر از نوع سینوپتیک بوده و موقعیت مکانی آن در ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه طول غربی قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق از داده‌های سالانه بارندگی ایستگاه سینوپتیک گرگان طی دوره آماری ۴۰ ساله ۱۹۷۱-۲۰۱۰ استفاده شده است. جهت تخمین بارندگی از داده‌های هواشناسی غیر بارندگی شامل: ابرناکی، میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، فشار بخار آب، سرعت باد، رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و نقطه شبنم استفاده شده است.

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

SVM یک الگوریتم یادگیری کارآمد بر مبنای نظریه بهینه‌سازی مقید است که از اصل استقرای کمینه‌سازی خطای ساختاری استفاده می‌کند و منجر به یک جواب بهینه کلی می‌شود (نوری، ۲۰۱۱). این روش، یک تکنیک یادگیری برای کلاسه‌بندی داده‌های نهان به‌طور صحیح است. برای این کار، SVM یک ابر صفحه ایجاد می‌کند که داده‌ها را به دسته‌های مختلف جدا می‌نماید و مجموعه داده‌ها ممکن است به‌طور خطی از هم جدا باشند (پولت و گیونس، ۲۰۰۷).

در مدل رگرسیونی SVM، تابعی مرتبط با متغیر وابسته y که خود تابعی از چند متغیر مستقل x است، برآورد می‌شود. مشابه سایر مسائل رگرسیونی، فرض می‌شود که رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته با تابع جبری (رابطه ۱) به‌علاوه مقداری اغتشاش به‌عنوان خطای مجاز (ϵ) به نام $noise$ (رابطه ۲) تعریف شده است (نوری، ۲۰۱۱).

¹ Nouri et al

² Polat & Gunes

$$f(x) = w^T \times \phi(x) + b \quad (۱)$$

$$y = f(x) + \text{noise} \quad (۲)$$

در این روابط w بردار ضرایب، b ثابت مشخصه‌های تابع رگرسیونی و $\phi(x)$ تابع کرنل و هدف پیدا کردن تابع $f(x)$ است. این هدف با آموزش مدل SVM توسط مجموعه‌ای از نمونه‌ها (مجموعه آموزش) محقق می‌شود. برای محاسبه w و b می‌توان نوشت:

$$w^T \times \phi(x_i) + b - y_i \leq \varepsilon + \varepsilon_i^* \quad (۳)$$

$$\frac{1}{2} \times w \times w + C \sum_{i=1}^n \varepsilon_i + C \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^* \times y_i - w^T \times \phi(x_i) - b \leq \varepsilon + \varepsilon_i^* \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ and } \varepsilon_i, \varepsilon_i^* \geq 0 \quad (۴)$$

در روابط فوق C ، عددی صحیح و مثبت است که عامل تعیین جریمه در هنگام رخ دادن خطای آموزش مدل است، n تعداد نمونه‌ها، ε_i و ε_i^* متغیرهای کمبود هستند که حد بالا و پایین خطای آموزش مرتبط با مقدار خطای مجاز ε را مشخص می‌کنند. در نهایت تابع SVM را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i \times \phi(x_i)^T \times \phi(x) + b \quad (۵)$$

$\bar{\alpha}_i$ میانگین ضرایب لاگرانژ است که فقط مجموعه داده‌هایی که ضرایب $\bar{\alpha}_i$ آن‌ها غیر صفر است در معادله رگرسیون نهایی وارد می‌شوند. این مجموعه داده‌ها به عنوان بردارهای پشتیبان شناخته می‌شوند (فلچر، ۱۹۸۷). همچنین محاسبه $\phi(x)$ در فضای تابع هدف بسیار پیچیده است و برای حل این مشکل روند معمول در مدل SVM انتخاب یک تابع کرنل است. متداول‌ترین تابع کرنل برای SVM، تابع RBF_kernel (رابطه ۶)، تابع RBF_kernel به همراه γ با یک مشخصه هدف (رابطه ۷) و تابع Polynomial_kernel (رابطه ۸) می‌باشند:

$$\phi(x, x_i, \sigma) = e^{-\frac{|x-x_i|^2}{\sigma^2}} \quad (۶)$$

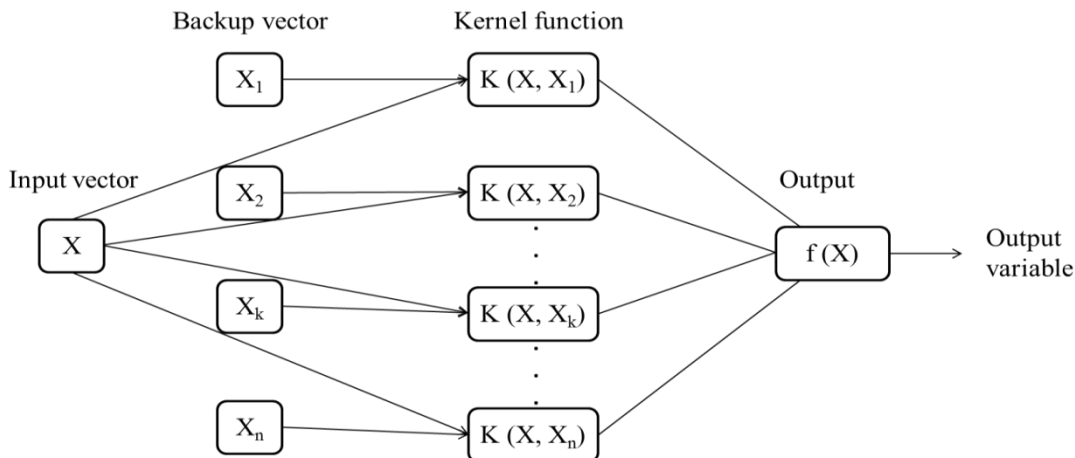
$$\phi(x, x_i, \gamma) = e^{-\gamma |x_i - x|^2} \quad (۷)$$

$$\phi(x, x_i, p) = (1 + x_i \cdot x_i)^p \quad (۸)$$

در روابط فوق σ و γ پارامترهای قابل تنظیم و کنترل‌کننده نتایج و تعمیم دهنده مدل SVM برای هسته‌های RBF_kernel می‌باشند. p پارامتر قابل تنظیم برای هسته Polynomial_kernel است. در این تحقیق، از تابع هسته RBF_kernel برای SVM استفاده شده است، زیرا تابع هسته RBF می‌تواند داده را با ابعاد بالا آنالیز کند و در این تابع باید مشخصه‌های σ و γ بهینه شوند (پولت و گیونس، ۲۰۰۷). در شکل ۲ ساختار کلی الگوریتم SVM نشان داده شده است. لازم به ذکر است فرآیند محاسبات الگوریتم SVM، به صورت کد نویسی در نرم‌افزار MATLAB انجام و پارامترهای تابع کرنل از طریق سعی و خطا بهینه می‌شود.

¹ Fletcher

² Radial Basis Function



شکل ۲. ساختار الگوریتم SVM

الگوریتم بهینه‌سازی باز پخت (SA)

روش الگوریتم SA یک روش بهینه‌سازی بر مبنای روش مونت کارلو است (گونزالو و همکاران؛^۱ ۲۰۰۱). این الگوریتم یک روش جستجوی محلی است که سعی در به دست آوردن جواب بهینه سراسری دارد. اساس الگوریتم SA بر مبنای رابطه بین ساختار اتمی، آنتروپی و دما در طول تبرید یک ماده و شباهت آن با پدیده آنیلینگ است (تران و همکاران؛^۲ ۲۰۰۳).

مفهوم اصلی الگوریتم SA از فرآیند فیزیکی تبرید فلزات مذاب سرچشمه می‌گیرد. در فرآیند تبرید، یک فلز مذاب با دمای بسیار بالا به تدریج خنک می‌شود. در دماهای بالا، اتم‌های سازنده فلز به صورت تصادفی قرار گرفته‌اند و لذا می‌توانند به آسانی با یکدیگر جابه‌جا شوند. با کاهش تدریجی دما، حرکت اتم‌ها محدود می‌شود به طوری که اتم‌ها شروع به مرتب شدن نموده و تشکیل کریستال می‌دهند. سطح انرژی کریستال تشکیل شده، به سرعت سرد کردن فلز بستگی دارد. اگر کاهش دما خیلی سریع صورت بگیرد، ممکن است ساختار کریستالی، تشکیل نشده و به جای آن ساختاری غیر کریستالی با سطح انرژی بالا تشکیل شود. بنابراین برای رسیدن به کمترین میزان سطح انرژی، فرآیند سرد کردن باید به آرامی صورت پذیرد (فابیان؛^۳ ۱۹۹۷). تابع کاهش دما و حرکت به سمت سرد شدن سیستم، نیازمند ضابطه‌ای است که در رابطه ۹ ارائه شده است.

$$T_i = \alpha \times (T_{i-1}) \quad , \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (9)$$

در رابطه فوق α ضریب تبرید یا ضریب کاهش دما است که مقدار آن کمتر از یک بوده و معمولاً بین ۰/۵ تا ۰/۹۹ در نظر گرفته می‌شود (کریک‌پاتریک و همکاران؛^۴ ۱۹۸۳). T نشان‌دهنده دمای سیستم و n تعداد دفعات کاهش سطح دمای سیستم است. روش الگوریتم SA از توزیع احتمالی بولتزمن، که در رابطه زیر نشان داده شده است استفاده می‌کند.

$$P(E) = \exp\left(-\frac{E}{k_b \times T}\right) \quad (10)$$

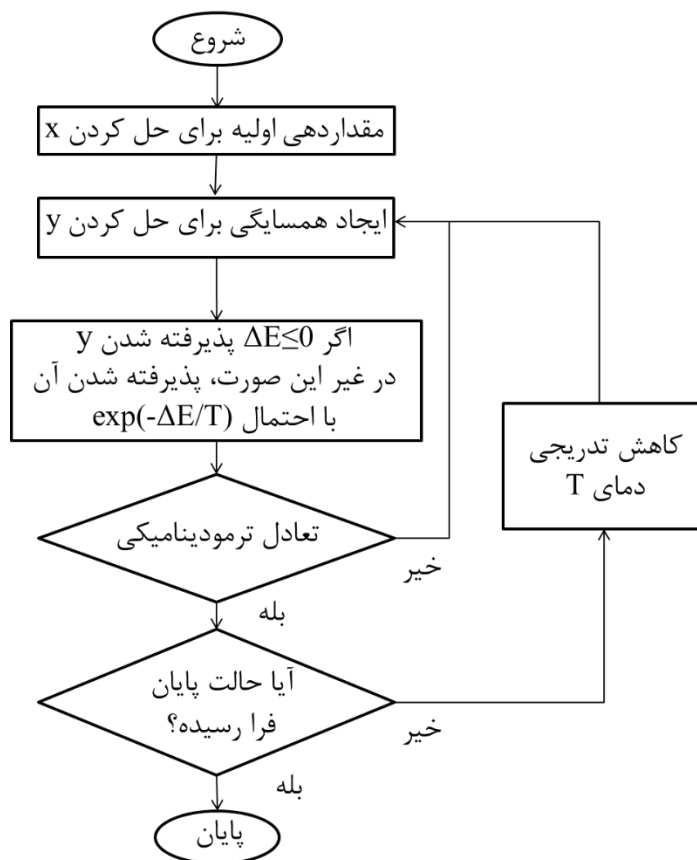
¹ Gonzalez et al

² Tran et al

³ Fabian

⁴ Kirkpatrick et al

E در رابطه فوق نشان‌دهنده انرژی سیستم و k_B نشان‌دهنده ثابت بولتزمن است. این توزیع بر این نکته تأکید می‌کند که وقتی یک سیستم در دمای T در تعادل گرمایی قرار دارد، یک توزیع انرژی وجود دارد که در بین کل حالات مختلف انرژی توزیع داده شده است. همیشه این امکان وجود دارد که حتی در یک دمای پایین، حالت انرژی سیستم بالا باشد. بنابراین شانس اینکه سیستم از یک مقدار انرژی مینیمم موضعی بیرون آمده و به یک مقدار مطلق همگرا شود وجود دارد (دوران و ویت، ۲۰۰۰). شکل ۳ فلوجارت الگوریتم SA را نشان می‌دهد. مطابق با شکل ۳ الگوریتم SA ابتدا از یک جواب اولیه (x_0) شروع می‌کند و سپس در یک حلقه تکرار t به سوی جواب‌های همسایه $N(x_t)$ حرکت می‌کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به‌عنوان جواب فعلی قرار می‌دهد. در غیر این صورت الگوریتم آن جواب را با احتمال $\exp(-\frac{\Delta E}{T})$ به‌عنوان جواب فعلی می‌پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است. در هر دما T ، چندین تکرار اجرا و سپس دما به آرامی کاهش داده می‌شود. در گام‌های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال بیش‌تری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام‌های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود دارد، بنابراین الگوریتم به سمت یک جواب خوب همگرا می‌شود (کریک‌پاتریک و همکاران، ۱۹۸۳). با توجه به توضیحات فوق درباره الگوریتم SA، برخلاف روش‌های بهینه‌سازی موضعی که فقط می‌توانند یک مقدار مینیمم نزدیک به حدس اولیه را پیدا کنند، این روش مقدار مینیمم مطلق را پیدا می‌کند (تران و همکاران، ۲۰۰۳).



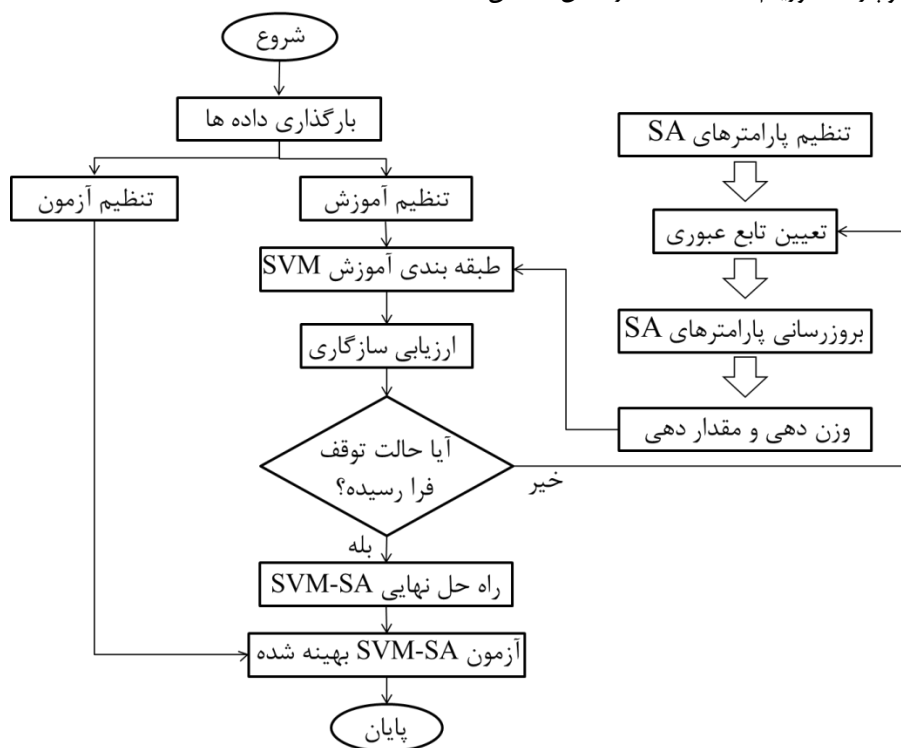
شکل ۳. فلوجارت الگوریتم SA

¹ Durand & White

الگوریتم هیبریدی شبیه‌سازی تبرید بر پایه ماشین بردار پشتیبان (SVM-SA)

الگوریتم SVM-SA، با تلفیق SVM و الگوریتم SA می‌تواند از زمان بر بودن مرحله سعی و خطا برای دریافت نتایج و کمینه شدن خطای تخمین جلوگیری نماید (تران و همکاران، ۲۰۰۳). در این روش در گام اول پارامترهای ورودی SVM تعیین و مقدار پارامترهای اولیه σ و γ مشخص می‌شوند. لذا در این روش در گام اول در الگوریتم SVM پارامترهای ورودی تعیین می‌شود و در گام دوم مقدار پارامترهای اولیه σ و γ مشخص می‌شوند. الگوریتم SVM به این صورت است که در فاز آموزش سعی می‌کند که مرز تصمیم‌گیری به گونه‌ای انتخاب گردد که حداقل فاصله آن با هر یک از طبقه‌بندی داده‌های موردنظر ماکزیمم شود به همین دلیل برای رسیدن به جواب بهینه به تکرارهای دیگر جهت یافتن بهترین پارامترهای اولیه برای شبیه‌سازی نیاز است.

در گام سوم برای جلوگیری از اتلاف زمان در تکرارهای متعدد با استفاده از الگوریتم SA به‌طور مستقیم با روش سیمپلکس مقداردهی جدید پارامترهای σ و γ به‌صورت بهینه (نقطه بهینه مطلق) تعیین می‌شود. درنهایت با جایگزین کردن پارامترهای به‌دست‌آمده از الگوریتم SA در الگوریتم SVM، بهترین حالتی که پایین‌ترین درصد خطا با تابع کرنل پایه‌ای شعاعی رادار است به دست آورده و با ترکیب دو الگوریتم بهینه-سازی برای بخش آموزش و آزمون با کمترین اختلاف خطا و بهترین مقادیر خطا با توجه به تعداد ورودی‌ها، مدل بهینه را می‌توان با دقت بالاتری تخمین زد. فلوچارت الگوریتم SVM-SA در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. فلوچارت الگوریتم SVM-SA

روش نرمال‌سازی داده‌ها

توزیع نرمال یکی از متداول‌ترین توزیع‌های آماری است که اولین بار توسط گوس^۱ ارائه و در تئوری خطای اندازه‌گیری به کار گرفته شد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶). عملیات نرمال‌سازی قبل از بسیاری از الگوریتم‌های داده‌کاوی بایستی انجام گیرد تا ابعاد مختلف به‌صورت عادلانه توسط

^۱ Guos

الگوریتم بررسی شوند و تأثیر یکی بیشتر از بقیه نباشد. در این تحقیق از روش نرمال سازی تبدیل مینیمم- ماکزیمم که روشی رایج در هیدرولوژی است استفاده شده است.

این روش، تبدیل خطی را روی داده اصلی انجام می دهد و ارتباط بین مقادیر اولیه را حفظ می کند. اگر یک مقدار ورودی در خارج از محدوده اولیه قرار گیرد، خطای خارج محدوده رخ خواهد داد (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۳). در این روش، داده ها به مجموعه جدیدی تبدیل می شوند که در آن، همه مقادیر بین صفر و یک هستند. فرمول کلی روش نرمال سازی تبدیل مینیمم - ماکزیمم برای تبدیل داده ها به بازه موردنظر به صورت رابطه زیر است (اکسوی و هارالیک، ۲۰۰۱):

$$Y_t = \frac{x_t - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (11)$$

در رابطه فوق Y_t مقدار نرمال شده، x_t مقدار هر یک از داده ها، x_{min} کمترین مقدار داده ها و x_{max} بیشترین مقدار داده ها است. یعنی مقیاس هر دو ویژگی در بازه ۰ تا ۱ قرار گرفته و حالا می توان الگوریتم های مختلف خوشه بندی یا طبقه بندی را بر روی آن ها به صورت منصفانه اجرا کرد.

شاخص های آماری

به منظور ارزیابی و اعتبار یابی نتایج مدل، از شاخص های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{n}} \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2} \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad (14)$$

در این روابط، n تعداد روزهای دوره مورد مطالعه Y_m مقادیر اندازه گیری شده، Y_p مقدار پیش بینی شده با استفاده از مدل، \bar{Y}_m میانگین داده های اندازه گیری شده و \bar{Y}_p میانگین داده های پیش بینی شده است.

یافته ها

همان گونه که پیشتر اشاره شد، در این تحقیق با استفاده از الگوریتم SVM-SA به پیش بینی بارندگی پرداخته شد. جهت تخمین بارندگی در الگوریتم SVM-SA از داده های غیر بارندگی ایستگاه سینوپتیک گرگان استفاده شده است. روند کار شامل سه مرحله است: در مرحله اول به منظور تعیین پارامترهای هواشناسی مؤثر بر مقدار بارندگی از داده های هواشناسی غیر بارندگی شامل ابرناکی، میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، فشار بخار آب، سرعت باد، رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل، نقطه شبنم استفاده شد. جدول ۱ خلاصه آماری پارامترهای مورد استفاده شامل میانگین، حداقل، حداکثر، چولگی و کشیدگی پارامترهای هواشناسی مورد استفاده را نشان می دهد.

¹ Aksoy & Haralick

جدول ۱. نتایج مشخصات آماری پارامترهای هواشناسی از مدل SPSS

پارامتر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
ابرناسی	ساعت	۱۴/۱	۹۱/۰	۱۴۹/۰	۰/۳۳	-۰/۷۴۸
میانگین دمای حداکثر	درجه سانتی گراد	۲۲/۸	۲۱/۵	۲۵/۱	۰/۱۷	۰/۰۸۳
میانگین دمای حداقل	درجه سانتی گراد	۱۲/۷	۱۱/۲	۱۴/۵	۰/۱۶	-۰/۲۵۲
فشار بخار آب	هکتو پاسکال	۱۴/۹	۱۳/۶	۱۶/۱	-۰/۲۸	-۰/۷۴۰
سرعت باد	متر بر ثانیه	۲/۲	۰/۵	۵/۷	۱/۰	-۰/۳۹۲
رطوبت نسبی حداکثر	درصد	۸۶/۰	۷۵/۰	۹۳/۰	-۰/۸	-۰/۳۸۵
رطوبت نسبی حداقل	درصد	۵۳/۳	۴۸/۰	۵۸/۰	-۰/۱۰	-۰/۵۸۹
نقطه شبنم	درجه سانتی گراد	۱۱/۵	۹/۹	۱۲/۸	-۰/۴۶	-۰/۶۲۲
بارندگی	میلی متر	۵۵۸	۳۱۴/۶	۷۹۲/۶	-۰/۰۰۹	-۰/۳۵۳

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، میانگین بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۵۵۸ میلی‌متر است. حداکثر دمای هوای ثبت شده طی دوره مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ برابر ۲۵/۱ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. میانگین کمترین دمای هوای ثبت شده طی ۴۰ سال معادل ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد است. مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها بیان‌گر توزیع نرمال پارامترهای مورد مطالعه می‌باشند.

در مرحله دوم، قبل از استفاده داده‌ها باید از نرمال بودن آن‌ها مطمئن شد. به دلیل نرمال نبودن داده‌ها، نرمال‌سازی داده‌های هواشناسی غیر بارندگی با استفاده از روش تبدیل مینیمم-ماکزیمم (رابطه ۱۱) انجام شد. در نظر گرفتن بازه ۰ تا ۱ جهت نرمال‌سازی، باعث می‌شود شاخص‌های آماری با خطای کمتر و دقت بالاتری برآورد شوند. نتایج نرمال‌سازی نشان داد این روش از دقت بالایی جهت نرمال نمودن و آماده‌سازی داده‌ها برخوردار است.

همچنین در تحقیقی بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) به تعیین اثر پیش پردازش داده بر عملکرد شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی بارندگی ماهانه در شهرستان آبادیه پرداختند. ایشان برای نرمال‌سازی داده‌ها از سه روش تبدیل مینیمم-ماکزیمم، نرمال‌سازی رتبه‌ای و تبدیل نرمال استاندارد استفاده کردند. نتایج نشان داد روش مینیمم-ماکزیمم در مقایسه با روش‌های دیگر به‌عنوان بهترین روش در نرمال‌سازی داده‌ها جهت شبیه‌سازی در شبکه عصبی انتخاب شد.

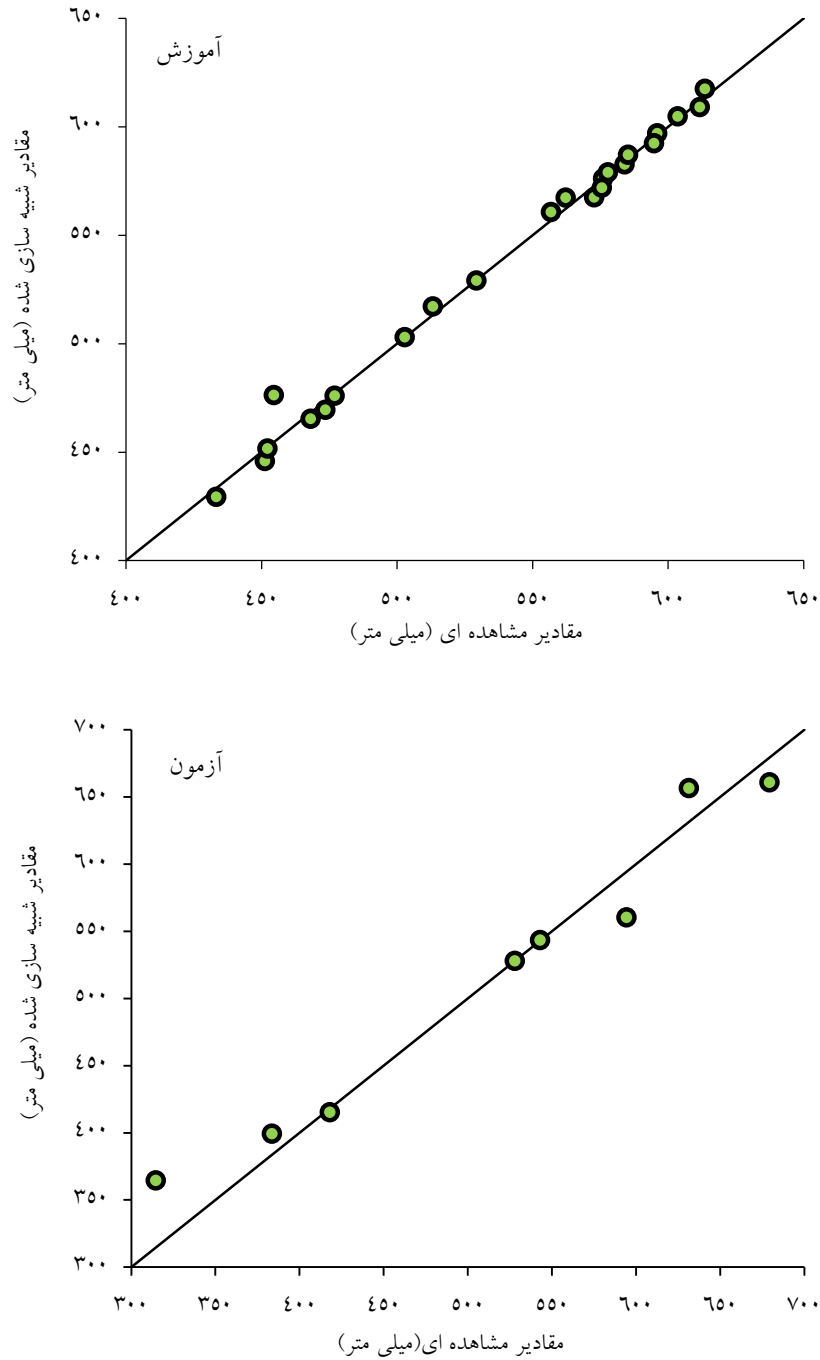
در نهایت، در مرحله سوم پس از نرمال‌سازی داده‌ها جهت تعیین پارامترهای مؤثر با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای هواشناسی و بارندگی در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بررسی شد. جدول ۲ نتایج ضریب همبستگی پارامترهای هواشناسی، به‌منظور انتخاب پارامترهای ورودی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ماتریس همبستگی پارامترهای هواشناسی در نرم افزار SPSS

ابرناکی	میانگین دمای حداکثر	میانگین دمای حداقل	فشار بخار آب	سرعت باد	رطوبت نسبی حداکثر	رطوبت نسبی حداقل	نقطه شبنم	بارندگی
۱								
میانگین دمای حداکثر	۱							
میانگین دمای حداقل	۰/۵۲۸**	۱						
فشار بخار آب	۰/۵۱۴**	۰/۰۷۰	۱					
سرعت باد	۰/۵۶۵**	-۰/۰۳۷	۰/۴۶۵**	۱				
رطوبت نسبی حداکثر	۰/۱۳۲	-۰/۴۴۱**	۰/۷۸۱**	۰/۳۶۴**	۱			
رطوبت نسبی حداقل	-۰/۴۷۲**	-۰/۴۷۴**	-۰/۴۴۱**	-۰/۰۹۷	-۰/۶۷۷**	۱		
نقطه شبنم	-۰/۵۳۷**	۰/۰۸۲	-۰/۹۷۸**	-۰/۴۹۲**	۰/۸۰۰**	-۰/۴۴۸**	۱	
بارندگی	-۰/۵۰۲**	۰/۱۹۳	۰/۴۷۱**	-۰/۴۰۱*	-۰/۴۸۷**	۰/۰۵۱	-۰/۴۴۳**	۱

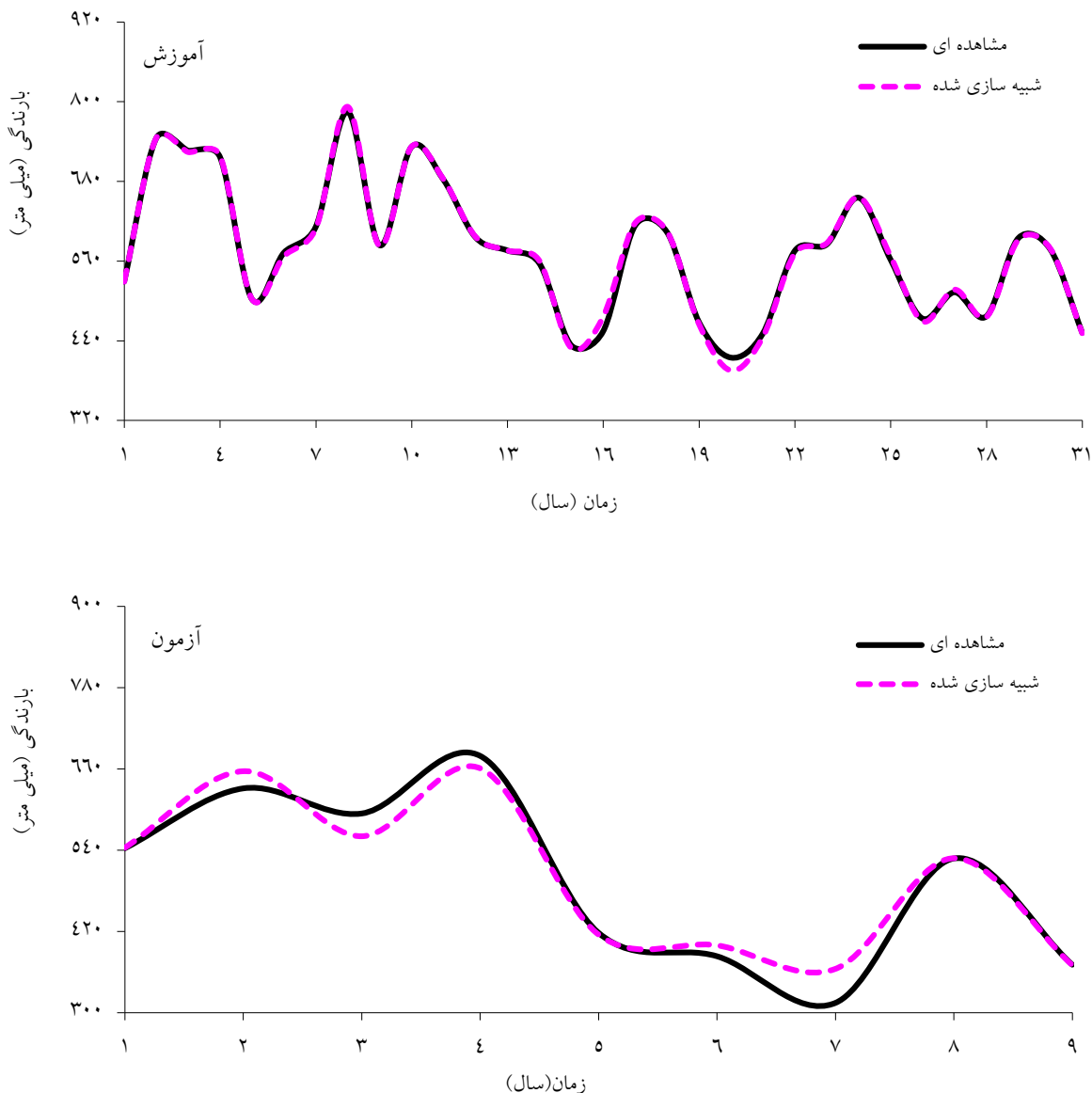
** پارامترهای پرننگ در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشند و به عنوان ورودی نرم افزار SPSS، برای پارامتر مؤثر بر بارندگی مورد استفاده قرار می گیرند.

همان گونه که جدول ۲ نشان می دهد، پارامترهای ابرناکی، میانگین دمای حداکثر، فشار بخار آب، رطوبت نسبی حداکثر و نقطه شبنم بیشترین همبستگی معنی دار در سطح ۹۹ درصد را با بارندگی دارند که در جدول به صورت پرننگ و دو ستاره نشان داده شده اند. بنابراین از ۸ پارامتر، ۵ پارامتر فوق به عنوان پارامترهای ورودی برای پیش بینی پارامتر بارندگی در الگوریتم SVM-SA در نظر گرفته شد. پس از انتخاب پارامترهای ورودی مناسب، در الگوریتم SVM-SA به تعیین مقادیر σ و γ که پارامترهای اولیه مدل بهینه SVM می باشند، پرداخته شد. در این راستا، ۷۵ درصد داده ها در بخش آموزش و ۲۵ درصد داده ها در بخش آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. در ابتدا مقادیر σ و γ به ترتیب برابر با ۳/۰۷ و ۴۹۸/۹۶ فرض شد و در نهایت پس از اجرای مدل، مقادیر بهینه محاسبه شده توسط الگوریتم SA به ترتیب برابر با ۲/۵۴ و ۴۲۳/۲۸ محاسبه گردید. با جایگزین کردن مقادیر بهینه این دو پارامتر در الگوریتم SVM، شبیه سازی انجام شد. شکل ۵ پیش بینی پارامتر بارندگی با مدل الگوریتم SVM-SA را در بخش آموزش و آزمون در مقابل داده های مشاهده ای نشان می دهد.



شکل ۵. مقادیر شبیه سازی شده تغییرات بارندگی با مدل SVM-SA در مرحله آموزش و آزمون

همچنین شکل ۶، سری زمانی تغییرات مقادیر بارندگی شبیه سازی شده توسط مدل الگوریتم SVM-SA در بخش آموزش و آزمون در برابر داده های مشاهده ای را نشان می دهد.



شکل ۶. تغییرات سری زمانی مقادیر بارندگی مشاهده‌ای در برابر مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مدل SVM-SA در مرحله آموزش و آزمون

مطابق با شکل‌های ۵ و ۶ ملاحظه می‌شود که تغییرات بارندگی شبیه‌سازی‌شده، تطابق بسیار خوبی با مقادیر مشاهده‌ای دارد. همچنین برای ارزیابی دقت عملکرد مدل SVM-SA، از شاخص‌های آماری RMSE، SE و R^2 استفاده شد. در جدول ۳ مقدار شاخص‌های آماری در بخش‌های آموزش و آزمون نشان داده شده است. مقادیر SE بین صفر و یک متغیر بوده و هرچه قدر مقدار این پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تطابق خوب بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده است. لذا با توجه به جدول ۳ بر اساس نتایج شاخص‌های آماری می‌توان انطباق بین نتایج شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهده‌ای در تحقیق حاضر را با روش ترکیبی SVM-SA بسیار خوب ارزیابی کرد که نشان از ارتباط قوی بین مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای است.

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های آماری تغییرات پارامتر بارندگی برای مدل SVM-SA

آزمون			آموزش			مرحله
R ²	SE	RMSE	R ²	SE	RMSE	شاخص
۰/۹۲۵	۰/۰۳	۱۸/۷۲	۰/۹۹۹	۰/۰۱	۶/۰۲	مقدار

بحث

بارندگی یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی است. با توجه به اینکه کشور ایران جزء کشورهای خشک به شمار می‌رود، برآورد صحیح میزان بارندگی اهمیت بسزایی دارد. این تحقیق باهدف برآورد بارندگی و استفاده از متغیرهای ورودی پارامترهای هواشناسی غیر بارندگی طی دوره ۴۰ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ با استفاده از SVM-SA در منطقه گرگان صورت پذیرفت. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، جهت تعیین پارامترهای مؤثر با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای هواشناسی و بارندگی در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بررسی گردید. پس از شبیه‌سازی، میزان برازش میان مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده، با شاخص‌های آماری RMSE، SE و R² محاسبه شد.

نتیجه‌گیری

بارش یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی است. با توجه به اینکه کشور ایران جزء کشورهای خشک به شمار می‌رود، برآورد صحیح میزان بارش اهمیت بسزایی دارد. این تحقیق باهدف برآورد بارش و استفاده از متغیرهای ورودی پارامترهای هواشناسی غیربارشی طی دوره ۴۰ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ با استفاده از SVM-SA در منطقه گرگان صورت پذیرفت. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، جهت تعیین پارامترهای مؤثر با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای هواشناسی و بارندگی در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بررسی گردید.

نتایج مقدار شاخص‌های آماری RMSE، SE و R² در پیش‌بینی تغییرات بارندگی با استفاده از داده‌های هواشناسی در بخش آموزش به ترتیب برابر با ۶/۰۲ میلی‌متر، ۰/۰۱ و ۰/۹۹۹ است. همچنین مقادیر این شاخص‌ها در بخش آزمون برابر با ۱۸/۷۲ میلی‌متر، ۰/۰۳ و ۰/۹۲۵ به دست آمد. حلییان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های هواشناسی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه اصفهان با شبکه عصبی مصنوعی میزان شاخص آماری R² در شبیه‌سازی بارندگی را ۰/۸۷ گزارش نمودند. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان انطباق بین نتایج شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهده‌ای در تحقیق حاضر را بسیار خوب ارزیابی کرد.

محمدی و حیدرپور (۱۳۹۸) اذعان داشتند که الگوریتم SVM-SA می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در شبیه‌سازی نسبت به شبیه‌سازی مدل‌های دیگر باشد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر تطابق دارد. همچنین تحقیق محمدی و مؤذن‌زاده (۱۳۹۸) نیز نشان داد که در بین مدل‌های مختلف با ساختار ورودی یکسان، شبیه‌سازی الگوریتم ترکیبی SVM-SA نسبت به سایر مدل‌های هیبریدی هوشمند عملکرد بهتری برای در شبیه‌سازی دارد. لذا با توجه به این تحقیقات و نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر می‌توان گفت شبیه‌سازی در روش ترکیبی SVM-SA از دقت بالایی برخوردار است.

نتایج نشان داد که با یافتن روابط بین پارامترهای هواشناسی می‌توان دقت برآورد الگوریتم را افزایش داد. با توجه به قابلیت و دقت بالای مدل ترکیبی در تخمین بارندگی می‌توان گفت نتیجه‌گیری این تحقیق با نتیجه‌گیری سلیمی‌سرتاخطی و همکاران (۲۰۱۱)، یوتاو و لین (۲۰۲۱) و مارک و همکاران (۲۰۲۱) تطابق دارد و این مدل را به‌عنوان الگوریتم هیبریدی جدید در حوزه علوم مهندسی می‌توان معرفی کرد.

¹ Salimisartakhti et al

² Youtao & Lin

³ Mahareek et al

از قابلیت مدل ترکیبی تهیه شده در این تحقیق، علاوه بر شناسایی روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، می توان به سرعت بالا در محاسبات موازی، مقاومت در برابر تغییر پارامترها و قابلیت تعمیم اشاره کرد. لذا می توان استفاده از این مدل را در مدیریت منابع آب و برنامه ریزی به منظور استفاده بهینه از منابع آب منطقه توصیه نمود.

تقدیر و تشکر

در پایان از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه ای استان گلستان که اطلاعات مورد نیاز این پژوهش را در اختیار قرار دادند، سپاسگزاری می گردد.

منابع

- بهرامی، مهدی، امیری، محمدجواد، رضایی مہارلویی، فاطمه، و غفاری، کرامت اله. (۱۳۹۶). تعیین اثر پیش پردازش داده بر عملکرد شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی بارندگی ماهانه در شهرستان آباء. نشریه اکوهیدرولوژی، ۴(۱)، ۳۷-۲۹. <https://dx.doi.org/10.22059/IJE.2017.60880.29-37>
- حلبیان، امیر، حسین، و دارند، محمد. (۱۳۹۱). پیش بینی بارندگی اصفهان با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۶). <https://www.sid.ir/paper/102413/fa>
- شرفی، میلاد، صمدیان فرد، سعید، و هاشمی، سجاد. (۱۳۹۹). پیش بینی بارندگی ماهانه با استفاده از مدل های برنامه ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان. نشریه سامانه های نوین سطوح آبگیر باران، ۸(۴)، ۷۱-۶۳. <https://www.sid.ir/paper/958629/fa>
- ضابط پیشخانی، نسرين، سیدیان، سیدمرتضی، حشمت پور، علی، و روحانی، حامد. (۱۳۹۵). مقایسه الگوسازی بارندگی ماهانه با مدل های SVM و ANFIS (مطالعه موردی: شهر گنبد کاووس). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۰(۱)، ۲۴۶-۲۳۶. <https://civilica.com/doc/666817.236-246>
- عیسی زاده، محمد، احمدزاده، حجت، و قربانی، محمدعلی. (۱۳۹۶). ارزیابی تأثیر نرمال سازی توزیع احتمالاتی رواناب ماهانه بر عملکرد مدل های SVM و ANN در شبیه سازی جریان ماهانه رودخانه ها (مطالعه موردی: حوزه زرينه رود). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۸(۱۶)، ۳۳-۲۲. https://jsw.um.ac.ir/article_38332.html
- محمدی، بابک، و مودن زاده، روزبه. (۱۳۹۸). پیش بینی جریان جریان با استفاده از مدل های ترکیبی هوشمند در مقیاس ماهانه (مطالعه موردی: رودخانه زرين رود). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱(۹)، ۸۱-۷۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JEST.2020.24315.3331>
- محمدی، بابک، و حیدرپور، باقر. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر سنجه های اقلیمی بر روی تخمین دمای خاک توسط الگوریتم هیبریدی شبیه سازی تبرید. مجله علمی و ترویجی نیوار، ۱۰۵-۱۰۴. <https://doi.org/10.30467/nivar.2019.83519.104-105>
- ناظری تهرودی، محمد، خلیلی، کیوان، عباس زاده افشار، مرضیه، و ناظری تهرودی، زهرا. (۱۳۹۳). مقایسه تبدیل های نرمال ساز جهت نرمال کردن داده های بارندگی ماهانه مناطق مختلف ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۲)، ۳۷۲-۳۶۵. <https://www.sid.ir/paper/141631/fa>
- نوذری، حامد، و توکلی، فاطمه. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی مدل های مختلف خطی و غیرخطی در پیش بینی بارندگی ماهانه در تغییرات اقلیم استان همدان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۲۰)، ۱۲-۱۱. <https://doi.org/10.29252/jwmr.10.20.19.1-12>

References

- Aksoy, S., & Haralick, M. (2001). Feature Normalization and Likelihood-based Similarity Measures for Image Retrieval. *Journal Pattern Recognition Letters*, 22(5), 563-582. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(00\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(00)00112-4).
- Asefa, T., Kemblowski, M., McKee, M., & Khalil, A. (2006). Multi-time scale stream flow predictions: The support vector machines approach. *Journal of Hydrology*, 318, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.001>

- Bahrami, M., Amiri, M., J., RezaeiMaharloui, F., & Ghafari, K.A. (2017). Determining the effect of data preprocessing on the performance of artificial neural network in order to predict monthly rainfall in Abadeh city. *Journal of Ecohydrology*, 4(1), 29-37. <https://dx.doi.org/10.22059/IJE.2017.60880> [in Persian]
- Chen, S., T., Yu, P., Sh., & Tang., H.,Y. (2010). Statistical downscaling of daily Precipitation using support vector machines and multivariate analysis. *Journal of Hydrology*, 385, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.021>
- Chen, sh. (2016). Application Hydrologic Data Mining Using Artificial Neural Network. *Entropy*. 12, 83-98. <https://www.earticle.net/Article/A241921>
- Chia, M., Y., Huang, Y., F., & Koo, C., H. (2020). Support vector machine enhanced empirical reference evapotranspiration estimation with limited meteorological parameters. *Journal Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105577. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105577>
- Dibike, Y., B., Velickov, S., Solomatine, D., & Abbott, M., B. (2001). Model induction with support vector machines: introduction and applications. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15, 208-216. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:3\(208\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:3(208))
- Durand, M., D., & White, S., R. (2000). Trading accuracy for speed in parallel simulated annealing with simultaneous moves. *Elsevier Parallel Computing*, 26, 135-150. [https://doi.org/10.1016/S0167-8191\(99\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8191(99)00099-X)
- Eysazadeh, M., Ahmadzadeh, H., & Ghorbani, M., A. (2017). Evaluation of the effect of normalizing the distribution of monthly runoff probabilities on the performance of SVM and ANN models in simulating the monthly flow of rivers (Case study: Zarinneh Rood basin). *Watershed Management Journal*, 8(16), 22-33. https://jsw.um.ac.ir/article_38332.html [in Persian]
- Fabian, V. (1997) Simulated Annealing Simulated. *Computers & Mathematics with Applications*, 33, 81-94. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(96\)00221-0](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(96)00221-0)
- Fletcher, R. (1987). *Practical Methods of Optimization*. 2nd Edition, John Wiley and Sons, Chichester. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje)))
- Gonzalez, R., C., & Perez, V., S. (2001). Two procedures for stochastic simulation of vuggy formations. (2001) SPE 69663, Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Buenos Aires, Argentina, pp. 25-28 March. <https://doi.org/10.2118/69663-MS>
- Guo, H., C., Liu, L., Huang, G., H., Fuller, G., A., Zou, R., & Yin, Y., Y. (2001). A system dynamics approach for regional environmental planning and management: A study for the Lake Erhai Basin. *Journal of Environmental Management*, 61, 93-111. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0400>
- Halabian, A., H., & Darend, M. (2012). Rainfall forecasting in Isfahan using artificial neural networks. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 12(26). <https://www.sid.ir/paper/102413/fa> [in Persian]
- Hamidi, O., J., Poorolajal, M., Sadeghifar, H., Abbasi, Z., Maryanaji, H., Faridi, R., & Tapak, L. (2014) . A comparative study of support vector machines and artificial neural networks for predicting precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 723-731. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-014-1141-z>
- Harris, R., & Jarvis, C. (2011). *Statistics for Geography and Environmental Science*. ed: 1st Edition, London ,Routledge, 280. <https://doi.org/10.4324/9781315847610>
- Jia, Zh, y., Ma, J, w., Wang, F, J., & Liu, W. (2011). Hybrid of simulated annealing and SVM for hydraulic valve characteristics prediction. *Journal Expert Systems with Applications*, 38, 8030-8036. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.132>

- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., D., & Vecchi, M., P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220, 671–680. <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>
- Lin, S., W., Lee, Z., J., Chen, S., C., & Tseng, T., Y. (2008). Parameter determination of support vector machine and feature selection using simulated annealing approach. *Applied Soft Computing*, 8(4), 1505-1512. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.10.012>
- Mahareek, E., A., Desuky, A., S., & AbdullahEl-Zhni, H. (2021). Simulated annealing for SVM parameters optimization in student performance prediction. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(3), 1211-1219. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i3.2855>
- Mehrabani Bashar, A., Nozari, H., Marofi, S., Mohamadi, M., & Ahadiiman, A. (2022). Investigation of factors affecting rural drinking water consumption using intelligent hybrid models. *Journal Water Science and Engineering*. <https://www.sciencedirect.com/journal/water-science-and-engineering>
- Mohammadi, B., & Heydarpour, B. (2019). Investigating the influence of climate parameters on the estimation of soil temperature by hybrid refrigeration simulation algorithm. *Nivar scientific and promotional magazine*, 105-104. <https://doi.org/10.30467/nivar.2019.83519> [in Persian]
- Mohammadi, B., & Mouzenzadeh, R. (2019). Stream flow forecasting using intelligent hybrid models on a monthly scale (case study: Zarin Rood River). *Environmental Science and Technology Quarterly*, article, 21 (9), 71-81. <https://dx.doi.org/10.22034/JEST.2020.24315.3331> [in Persian]
- Nazeri Tahrudi, M., Khalili, K., AbbaszadeAfshar, M., & NazeriTahrudi, Z. (2014). Compared to the normal mechanism becomes the normal monthly rainfall data from different regions of Iran. *Journal of Water and soil*, 28 (2), 365- 372. <https://www.sid.ir/paper/141631/fa> [in Persian]
- Nouri, R., Karbassi, A., R., Moghaddamnia, A., Han, D., Zokaei-Ashtiani, M., H., Farokhnia, A., & GhafariGousheh, M. (2011). Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test, and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. *Journal of Hydrology*, 401, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.021>
- Nozari., H., & Tavakoli., F. (2019). Evaluation of the Efficiency of Linear and Nonlinear Models in Predicting Monthly Rainfall (Case Study: Hamedan Province). *jwmr*, 10(20), 1-12. <https://doi.org/10.29252/jwmr.10.20.19> [in Persian]
- Pai, P., F., & Hong,W., CH. (2006).Software reliability forecasting by support vector machines with simulated annealing algorithms. *Journal of Systems and Software*, 79, 747–755. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.02.025>
- Palmer, T. (2020). A vision for numerical weather prediction in 2030.arXiv preprint arXiv:2007.04830.
- Polat, K., & Gunes., S. (2007). Classification of epileptic form EEG using a hybrid system based on decision tree classifier and fast Fourier transform. *Applied Mathematics and Computation*, 187(2), 1017-1026. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.09.022>
- Salimisartakhti, J., Zangooei, M., H., & Mozafari, K. (2012) Hepatitis disease diagnosis using a novel hybrid method based on support vector machine and simulated annealing (SVM-SA). *Computer methods and programs in biomedicine*, 108, 570–579. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2011.08.003>
- Sharfi, M., SamadianFard, S., & Hashemi, S. (2020). Forecasting monthly rainfall using genetic programming models and support vector machine. *Rain catchment surface systems*, 8(4), 71-63. <https://www.sid.ir/paper/958629/fa> [in Persian]
- Tran, N., H., Chen, Z., & Rahman, S., S. (2003). Characterizing and Modeling of Naturally Fractured Reservoirs with the use of Object-Based Global Optimization. *Petroleum Society's Canadian International Petroleum Conference*, Calgary, Alberta, Canada, 10 – 12. <https://doi.org/10.2118/2003-179>

- Tripathi, Sh., Srinivas, V., & Nanjundiah, R., S. (2006). Downscaling of precipitation for climate change scenarios: A support vector machine approach. *Journal of Hydrology*, 330, 62- 640. 21- Vapnik V.N. 1998. *Statistical learning theory*. 1st Ed., Wiley, New York. <https://doi.org/10.1016/j.jhydro.2006.04.030>
- Wang, S., Feng, J., Liu, G, J., M., & Modelling, C. (2013). Application of seasonal time series model in the precipitation forecast. 58(3-4), 677-683. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.10.034>
- Youtao, X., & Lin, C. (2021). Forecast of natural gas market yield based on data analysis. *Resources & Industries*, 23(1), 79-86. <https://doi.org/10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20201211.001>
- Yu, X., & Liang, S.,Y. (2006). Forecasting of hydrologic time series with ridge regression in feature space. *Journal of Hydrology*, 332, 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.jhydro.2006.07.003>
- ZabetPishkhani, N., Seydian, S., M., Heshmatpour, A., & Rouhani, H. (2016). Comparison of monthly rainfall patterning with SVM and ANFIS models (case study: City Gonbadkavos). *Water and soil magazine*. 30(1), 236-246. <https://civilica.com/doc/666817> [in Persian]



Investigation of factors affecting the acceptance of smart water gauge among farmers in mahidasht plain

Sepideh Amiri¹ , Ali Asghar Mirakzadeh^{2✉} 

¹ MS.c. Student of Sustainable Agriculture and Natural Resources Extension, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail : Sepidehamiri388@gmail.com

² Corresponding Author, Assistant professor, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail : Mirakzadeh@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Due to the drought in the country and the indiscriminate use of groundwater resources in the agricultural sector (Investigations have shown that the level of underground water has decreased in many areas of Iran due to unconventional extraction of water resources.), the installation of smart water gauge for optimal use of water wells in the Mahidasht plain seems necessary. However, how much of these technologies are welcomed and accepted by the target society and what factors are involved in the acceptance of these technologies is something that should be investigated. The aim of this study was to investigate the factors affecting the acceptance of smart water gauge among farmers in Mahidasht plain.

Methodology

The present research has a quantitative approach and in terms of paradigm, and in terms of purpose, it is part of applied causal research. In terms of the method of data collection, it is descriptive (non-experimental) of survey-cross-sectional type. 185 farmers were selected using random cluster sampling method. Research Instrument was research made questionnaire. The validity of the questionnaire assessed by content method and its reliability calculated by calculating Cronbach's alpha coefficient. In order to examine the hypotheses according to the personal and professional characteristics of farmers, data was collected by descriptive and correlation method and measuring the relationships between variables. Descriptive and inferential statistics analysis was performed with SPSS and AMOS statistical software.

Results and discussion

The results of path analysis showed that the variables of perceived usefulness, perceived ease of use and attitude towards using smart water gauge have a positive and significant effect on the tendency to use meters. The results also showed that there is a positive and significant relationship between contextual factors, perceived usefulness and perceived ease of use. Based on the overall results, farmers' attitudes have had the greatest impact on the willingness to use smart water gauge and thus its acceptance, so it seems necessary to change farmers' attitudes about the role of smart water gauge. To this end, farmers' relationships and interactions with exemplary farmers and agricultural extension and service centers can be effective.

Conclusions

The results of the research have confirmed the necessity of using technology acceptance models in introducing water-based technologies to farmers. It suggests that for the initial introduction of the smart water gauge to the farmer, agricultural Extension agents, who have been trained in the introduction of technology to the villagers and the extension techniques, should be used. In the next step, regional water experts should be participate for technical training on how to use the smart water gauge. Also considering the effect of perceived ease of use on the attitude towards the use of smart water gauge, it suggested having technical experts in agricultural service centers for continuous training of the farmer regarding the correct use and easy access of the farmer to the relevant expert in case of problems. It seems necessary to work with the smart water gauge in order to change the farmer's attitude while understanding the ease of using the smart water gauge.

Keywords: Groundwater Management, Mahidasht, Smart Water gauge, Sustainable Agriculture, Technology Acceptance Model.

Article Type: Research Article


Article history: Received: 02 June 2022 Revised: 20 July 2022 Accepted: 01 September 2022 ePublished: 22 November 2022

Cite this article: Amiri, S. & Mirakzadeh A. A. (2022). Investigation of factors affecting the acceptance of smart water gauge among farmers in mahidasht plain, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 36-53. DOI: 10.22126/ATWE.2022.7873.1020





بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت

سپیده امیری^۱ , علی اصغر میرک زاده^۲ 

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ترویج کشاورزی پایدار و منابع طبیعی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: Sepidehamiri388@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: Mirakzadeh@razi.ac.ir

چکیده

با توجه به بروز خشک‌سالی در کشور و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، نصب کنتور هوشمند آب جهت استفاده بهینه از چاه‌های آب در دشت ماهیدشت ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش باهدف بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند در بین کشاورزان دشت ماهیدشت صورت گرفته است. در این پژوهش از روش پیمایشی استفاده شد. با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی ۱۸۵ کشاورز انتخاب گردید. روایی پرسشنامه به روش محتوایی و پایایی آن با محاسبه ضریب آلفای کرونباخ بررسی شد. تجزیه و تحلیل آمار توصیفی و استنباطی با نرم‌افزارهای آماری SPSS و AMOS انجام شد. یافته‌های حاصل از تحلیل مسیر نشان داد که متغیرهای سودمندی درک شده، آسانی استفاده درک شده و نگرش نسبت به استفاده از کنتور هوشمند تأثیر مثبت و معناداری بر تمایل به استفاده از کنتور دارد. همچنین نتایج نشان داد بین عوامل زمینه‌ای، سودمندی درک شده و نیز آسانی استفاده درک شده رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. بر اساس نتایج کلی به‌دست‌آمده، نگرش کشاورزان بیشترین تأثیر را بر تمایل به استفاده از کنتور هوشمند و در نتیجه پذیرش آن داشته است لذا تغییر نگرش کشاورزان در رابطه با نقش کنتور هوشمند ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور، ارتباطات کشاورزان و تعاملات آن‌ها با کشاورزان نمونه و مراکز ترویج و خدمات کشاورزی می‌تواند تأثیرگذار باشد. نتایج تحقیق لزوم کاربرد مدل‌های پذیرش فناوری در معرفی تکنولوژی‌های آب محور به کشاورزان را تأیید کرده است.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، کنتور هوشمند، ماهیدشت، مدل پذیرش فناوری، مدیریت آب زیرزمینی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۱ اصلاح: ۲۹ تیر ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ شهریور ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: امیری، س و میرک زاده، ع. الف. (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت. فناوری‌های پیشرفته در

بهره‌وری آب، ۳(۳)، ۵۳-۳۶، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7873.1020



مقدمه

امروزه با توجه به وجود محدودیت‌های شدید منابع آبی، مصرف آب در سطح جهان هم‌زمان با رشد جمعیت و به دنبال آن گسترش شهرنشینی، ارتقاء سطح زندگی، گسترش صنعت و کشاورزی، روبه‌روز در حال افزایش است. از طرفی در اکثر نقاط جهان بیشترین میزان آب مصرفی مربوط به بخش کشاورزی بوده که این مقدار برای کشور ایران حدود ۹۲ درصد است. این در حالی است که میزان وابستگی اراضی کشاورزی مجهز به سیستم آبیاری، به منابع آب زیرزمینی به‌طور متوسط در جهان ۳۷/۸ درصد، در خاورمیانه ۴۶/۲ درصد و در ایران ۶۲/۱ درصد است که این موضوع گواهی بر مصرف بالای آب در بخش کشاورزی ایران است (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). در بخش کشاورزی ایران یکی از روش‌های برداشت آب از منابع زیرزمینی، حفر چاه است که در حال حاضر در اکثر مناطق کشور حفر چاه‌های غیرمجاز رو به ازدیاد است (عبداللهی عزت‌آبادی و سلطانی، ۱۳۸۷). از طرفی به دنبال برداشت‌های نامتعارف از منابع آب زیرزمینی، بررسی‌های صورت گرفته نشان از کاهش تراز سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق ایران دارد. بر اساس نتایج مطالعه رنجبرمنش و همکاران (۱۳۹۲) افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت ماهیدشت استان کرمانشاه، بسیار چشمگیر بوده است. به‌طوری‌که در سال پایانی مطالعه آن‌ها (۸۹-۹۰) میزان افت تراز سطح آب‌های زیرزمینی به حدود ۱۰ تا ۳۲ متر رسیده است. در این راستا به‌منظور کنترل برداشت آب از چاه‌ها در بسیاری از دشت‌های کشور، بخش مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی ایران، بیش از نیمی از دشت‌های کشور را ممنوعه اعلام نموده است. بر این اساس، حفر چاه جدید و کف شکنی چاه‌ها در نقاط ممنوعه، غیرقانونی تلقی می‌شود.

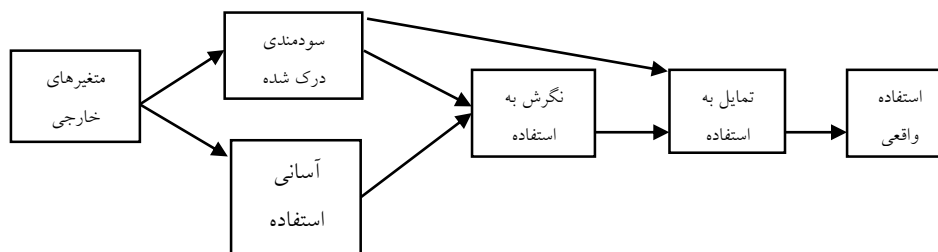
بنابراین باید در پی راهکارهایی بود که بتوان مصرف بالای آب و برداشت نامتعارف از آب‌های زیرزمینی را کاهش داد و حجم برداشت آب از چاه‌ها را کنترل نمود. تکنولوژی‌های نوین کاربردی در جهان مانند سیستم سنسور، تصاویر ماهواره‌ای و تکنولوژی‌های نوین مانند کنتورهای هوشمند از جمله روش‌های اساسی در رابطه با کنترل میزان برداشت آب از چاه‌های کشاورزی است. حال آنکه چه میزان از این تکنولوژی‌ها، مورد استقبال و پذیرش جامعه هدف قرار می‌گیرد و چه عواملی در پذیرش این تکنولوژی‌ها دخیل هستند، امری است که باید بررسی گردد. در این ارتباط، هرگونه استفاده از تکنولوژی‌های نوین در مرحله اول بایستی موردپذیرش کل جامعه هدف قرار گیرد. هر نوع تکنولوژی هرچند کارآمد اگر در بین مخاطبان ذینفع موردپذیرش قرار نگیرد، ابعاد و فواید کاربرد آن نیز مبهم خواهد بود. بنابراین هر تکنولوژی که در زمینه کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد در مرحله اول باید موردپذیرش جامعه کشاورزان قرار گیرد. باوجود اهمیت استفاده از کنتور هوشمند آب، جامعه کشاورزان همچنان قادر به درک مزایای استفاده از این تکنولوژی در مزارع کشاورزی خود نیستند، به‌علاوه شناسایی عوامل مؤثر بر استفاده از کنتور هوشمند آب همچنان با نقصان روبروست. این در حالی است که کشاورزان به‌عنوان بهره‌برداران اصلی از آب‌های زیرزمینی، نقش مهمی را در استفاده از کنتورهای هوشمند جهت مدیریت مصرف بهینه از منابع آب زیرزمینی دارند. از طرفی پذیرش کنتورهای هوشمند توسط اقشار مختلف کشاورزان به‌عنوان فناوری جدید، یکی از چالش‌های درون‌داد نظام کشاورزی است. لذا تحقیق حاضر بر آن است تا عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های آب کشاورزی در دشت ماهیدشت را با استفاده از مدل پذیرش فناوری (TAM) بررسی نماید.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، گسترش شهرنشینی و بروز تغییرات آب و هوایی، انتظار می‌رود رقابت جهت دسترسی به منابع آب، با تأثیر ویژه‌ای بر بخش کشاورزی افزایش یابد. پیش‌بینی‌های صورت گرفته حکایت از آن دارد که جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۱۰ میلیارد نفر افزایش می‌یابد و این جمعیت برای تأمین نیازهای اساسی خود به مواد غذایی احتیاج دارند. بنابراین وجود مدیریت مؤثر و عادلانه در این زمینه و با توجه به کمبود منابع آب ضروری به نظر می‌رسد (مهدی زاده ملاباشی، ۱۳۹۴). در راهبردهای مدیریت مصرف آب، سعی بر این است که با استفاده از تکنولوژی‌های کاربردی، ابزارهای کاهش‌دهنده مصرف، بالا بردن آگاهی مصرف‌کنندگان، اعمال تعرفه‌ها و نیز

¹ Technology Acceptance Model

رویکردهای مدیریتی، آب را به یک کالای ارزشی تبدیل کرده و با بهبود راندمان مصرف آب، از هدر رفت این منابع جلوگیری گردد (وستیر و مانگینول، ۲۰۰۶). در این زمینه طرح‌های متعددی مبتنی بر فناوری‌های نوین از سوی شرکت‌های دانش‌بنیان به ستاد توسعه فناوری آب، خشک‌سالی، فرسایش و محیط‌زیست ارائه شده که می‌تواند برای رفع مشکلات کم‌آبی و مقابله با پدیده خشک‌سالی به کار گرفته شود. از جمله این طرح‌ها می‌توان به طراحی و ساخت کنتورهای هوشمند قابل نصب بر روی چاه‌های کشاورزی اشاره کرد (انجمن مهندسی آب، ۱۳۹۳). این کنتور با اندازه‌گیری پارامترهای مصرفی دبی لحظه‌ای و حجم آب مصرفی را محاسبه و ثبت می‌نماید. معمولاً این نوع از کنتورها، بر سر راه خروجی چاه‌های کشاورزی قرار داده می‌شوند و نشان‌دهنده میزان مصرف آب کشاورزان هستند. در ادبیات نظام برنامه‌ریزی فناوری و تکنولوژی، پذیرش به‌عنوان یکی از مراحل اصلی در فرآیند پیاده‌سازی و استقرار فناوری معرفی شده است. برای توصیف فرآیند مذکور، یک ساختار چندمرحله‌ای را پیشنهاد می‌شود. این مراحل شامل معرفی، انطباق، تصویب، عادی‌سازی و القاء سیستم جدید در سازمان است (چنگالور و دوشسی، ۱۹۹۹). در خصوص مدل‌های پذیرش فناوری، محققان نظریه‌های متعددی را پیشنهاد نموده‌اند که با استفاده از این نظریه‌ها تحقیقات زیادی انجام شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به تئوری انتشار نوآوری راجرز (۲۰۰۳، ۱۹۹۵)، تئوری شناخت اجتماعی بندورا (۱۹۸۶)، مدل پذیرش تکنولوژی دیویس (۱۹۸۹)، مدل ثانویه پذیرش تکنولوژی ونکاتش و همکاران (۲۰۰۳)، تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده آجرن (۱۹۹۱)، تئوری عمل مستدل فیشبن و آجرن (۱۹۷۵) اشاره نمود. این مدل‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند مدل‌های پذیرش سازمانی و فردی. در خصوص مدل‌های فردی با توجه به اینکه مدل‌های متنوعی در این دسته قرار دارند و با توجه به نوع پژوهشی که محقق می‌خواهد انجام دهد، مدل پذیرش تکنولوژی دیویس، مدلی منطقی و قابل فهم بوده و با داشتن قابلیت کاربرد آسان، بیشتر محققین ترجیح می‌دهند از مدل مذکور استفاده نمایند (امیری و نصیرزونی، ۱۳۹۵). مدل پذیرش تکنولوژی (TAM) اولین بار توسط دیویس در سال ۱۹۸۹ جهت پژوهش در زمینه روانشناسی اجتماعی مطرح شد. این مدل تئوریک همچنان به‌طور گسترده‌ای توسط محققان مورد استفاده قرار می‌گیرد. TAM به‌عنوان یک مدل فشرده، پیش‌گویانه و قدرتمند برای توضیح و پیشگویی رفتار در زمینه تصمیم‌گیری و پذیرش استفاده از یک تکنولوژی خاص خلق شده است. این مدل ادعا می‌کند که تصمیم یک فرد برای استفاده از تکنولوژی به دو باور رفتاری بخصوص شامل سودمندی ادراک شده^۱ و آسانی استفاده ادراک شده^۲ بستگی دارد. سودمندی ادراک شده عبارت است از انتظار ذهنی استفاده‌کننده یک تکنولوژی از این که استفاده از آن تکنولوژی خاص، عملکرد وی را بهبود بخشد. آسانی استفاده ادراک شده عبارت است از میزان انتظار فرد از این که استفاده از آن تکنولوژی، بی‌زحمت و آسان باشد. گذشته از این، مدل فوق ادعا می‌کند که سودمندی ادراک شده یک تکنولوژی، تحت تأثیر آسانی استفاده ادراک شده آن قرار دارد، چراکه هرچه قدر استفاده از یک تکنولوژی برای یک فرد آسان‌تر باشد، آن تکنولوژی برای فرد سودمندتر به نظر خواهد رسید (کلسکا و دبریکا، ۲۰۰۸). پژوهش حاضر نیز بر اساس مدل پذیرش تکنولوژی است.



شکل ۱. شمای کلی از مدل پذیرش تکنولوژی (دیویس، ۱۹۸۹)^۶

¹ Vestier and Montginoul

² Chengalur & Duchessi

³ Perceived usefulness

⁴ Perceived ease of use

⁵ Colesca & Dobrica

⁶ Davis

پژوهش‌های مختلفی در راستای به‌کارگیری فناوری‌های مرتبط با مدیریت مصرف بهینه آب صورت گرفته است از جمله: رزاقی بورخانی و میرترابی (۱۳۹۹) در بررسی مدل یابی بهینه به‌کارگیری فناوری‌های نوین حفاظت آب در میان با استفاده از تحلیل مسیر در تحقیق خود نشان دادند که درک از سودمندی و درک از آسانی استفاده بر نگرش به استفاده اثرگذار است. یافته‌های دهقان پور و زیبایی (۱۳۹۷) در بررسی عوامل مؤثر بر انگیزش کشاورزان در به‌کارگیری فناوری‌های حفاظت آب و خاک با استفاده از مدل تحلیل مسیر نشان داد که متغیر نگرش کشاورز اثر مثبت و معنی‌دار را بر تمایل کشاورز در به‌کارگیری فناوری حفاظت از آب و خاک دارد. همچنین نتایج پژوهش قربان نژاد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان داد که متغیر نگرش با تمایل به پذیرش فناوری رابطه مثبت و معنی‌داری دارد. موحدی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود تحت عنوان عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار در بین کشاورزان شهرستان اسداباد نشان دادند که متغیرهای سودمندی درک شده، سهولت درک شده و نگرش به استفاده اثر مثبت و معناداری بر تصمیم به استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار و پذیرش آن دارد همچنین اثر متغیر تحصیلات بر متغیر سودمندی درک شده مستقیم و مثبت بوده است. نتایج پژوهش قبادپور و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی عوامل مؤثر بر رضامندی کشاورزان از نصب کنتور هوشمند بر چاه‌های زیرزمینی دهستان ماهیدشت مشخص نمود که به ترتیب نگرش کشاورز نسبت به حفاظت آب بیشترین تأثیر مثبت و معنی‌داری در میزان رضامندی کشاورزان از کنتور هوشمند آب بر چاه کشاورزی داشته است همچنین عوامل فردی از ویژگی‌های شخصی از جمله سطح تحصیلات و درآمد کشاورزان تأثیر زیادی بر سطح رضامندی کشاورزان از کنتور هوشمند داشته است. بهرامی و نور محمدی (۱۳۹۳) در بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت در مدیریت آبیاری با تأکید بر کنتور هوشمند در منطقه تاکستان نشان دادند که متغیر نگرش در تشخیص تمایل بهره‌برداران به مشارکت در مدیریت آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است همچنین متغیر سطح مزارع، میزان تحصیلات بیشترین اهمیت را در تشخیص تمایل بهره‌برداران به مشارکت در مدیریت آبیاری دارند. حیدریه و همکاران (۱۳۹۲) نیز در تحقیق خود بیان کردند که هر چه کاربر فناوری را سودمندتر و ساده‌تر بیابد، نگرش بهتری نسبت به آن خواهد داشت و درجه سودمند دانستن و نگرش مربوطه منجر به افزایش گرایش رفتاری شده و از این راه کاربر به استفاده از فناوری روی می‌آورد. محمدی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه خود مهم‌ترین دلیل عدم مشارکت کشاورزان در مدیریت منابع آب، وجود اختلاف بین بهره‌برداران در توزیع آب و حس فردگرایی دانسته‌اند. افراخته و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود در زمینه عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های حفاظت از آب بر نقش مروجان تأکید کرده است. شاهزادی (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با عنوان عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری به‌وسیله کشاورزان نتیجه گرفت که متغیر اندازه زمین، تسهیلات بانکی و درآمد تأثیر معنی‌داری بر پذیرش فناوری از طرف کشاورزان دارد. ریچاردسون (۲۰۰۹) در بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌ها در کامبوج نشان داد عواملی مثل مزیت‌های یک فناوری جدید، تصویر مناسب از پذیرندگان جامعه، کاربری آسان فناوری و داوطلبانه بودن پذیرش نقش مهمی در تمایل به پذیرش فناوری دارد. چنین مطالبی در تحقیقات مشابه دیگر مانند سوانسون (۲۰۰۶) و دران (۲۰۰۶) نیز تأیید شده است. مکینون و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که تمایل به پذیرش تکنولوژی‌های نوین آبیاری به منافع درک شده از ذخیره آب و کاهش هزینه‌های آبیاری بستگی دارد. مطالعات سنگستام (۲۰۰۹) نشان داد پارامتر درآمد، در زیرمجموعه سرمایه‌های مالی قرار گرفته و بالا بودن سرمایه مالی و افزایش تحصیلات کشاورز سبب بالا رفتن سرمایه انسانی در مقابله با بحران کمبود آب و اقدام حفاظت از آب می‌گردد. همین‌طور کایزر (۲۰۰۶) درآمد را مؤثر دانست و بر آن تأکید نمود. منگیسونی (۲۰۰۶) میزان دسترسی به اطلاعات در مورد فناوری، شرکت در کلاس‌ها و برنامه‌های آموزشی -

1 Shahzadi

2 Richardson

3 Swanson

4 Doran

5 Mackinnon et al

6 Sengestam

7 Kaiser

8 Mangisoni

ترویجی و ارتباط بیشتر با مروجان را بر پذیرش فناوری‌های حفاظت از آب مؤثر می‌داند. فورسون (۱۹۹۹) نیز در پژوهش خود نتیجه گرفت که در پذیرش فناوری حفاظت آب و خاک عواملی مانند آموزش‌های ترویجی، میزان تمایل به کار در شغل کشاورزی، تطبیق فناوری با شرایط اجتماعی و اقتصادی کشاورز نقش دارند. فیدر و آماچار (۱۹۹۴) در تحقیق خود نشان دادند که آگاهی کشاورزان از مزایای نوآوری نقش مهمی در پذیرش دارد و معتقدند که برای پیش بردن و تشویق آن‌ها به پذیرش نوآوری باید یک برنامه آموزشی مناسب ارائه شود. همان‌طور که اشاره شد، در مطالعات گذشته تاکنون اگرچه در زمینه به‌کارگیری فناوری‌های مرتبط با مدیریت مصرف بهینه آب و نیز رضامندی کشاورزان نسبت به استفاده از کنتورهای هوشمند آب تحقیقاتی صورت گرفته است اما در رابطه با پذیرش کنتورهای هوشمند آب و عوامل مؤثر بر آن توسط بهره‌برداران تحقیقی صورت نگرفته است. لذا تحقیق حاضر در راستای پر کردن خلأ پژوهشی فوق‌الذکر بر آن است تا عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند توسط بهره‌برداران بر روی چاه‌های آب در دشت ماهیدشت را با استفاده از الگوی پذیرش فناوری (TAM) بررسی نماید که ضمن بررسی ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کشاورزان اهداف اختصاصی زیر را در برمی‌گیرد: ۱. تحلیل وضعیت پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت ۲. کاربرد نظریه پذیرش فناوری (TAM) در مورد کنتورهای هوشمند آب در دشت ماهیدشت. در روند جمع‌آوری یافته‌ها و اطلاعات تحقیق دو دیدگاه رفتاری سودمندی ادراک‌شده که متأثر از هنجارهای رفتاری است و آسانی استفاده ادراک‌شده استفاده از کنتورهای هوشمند آب مدنظر قرار گرفت. مدل مفهومی تحقیق حاضر بر اساس مدل پذیرش فناوری (TAM) که توسط دیویس و همکارانش بنا شده است. این مدل استاندارد پارها توسط محققین استفاده شده است و روایی آن بارها مورد تأیید قرار گرفته است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر با رویکرد کمی و از لحاظ پارادایم، اثبات‌گرایانه و از نظر هدف جز تحقیقات علی کاربردی است همچنین از لحاظ شیوه گردآوری داده‌ها توصیفی (غیرآزمایشی) از نوع پیمایشی - مقطعی است. جهت بررسی فرضیه‌ها با توجه به ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کشاورزان، به گردآوری داده‌ها به روش توصیفی و همبستگی و سنجش روابط میان متغیرها پرداخته شد. جامعه آماری تحقیق ۳۵۲ نفر از کشاورزان ماهیدشت از ۱۵۱ روستای این منطقه است که طبق آمار موجود از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، کنتورهای هوشمند را بر روی چاه‌های زمین کشاورزی خود نصب کرده‌اند. روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی انتخاب شد و بدین منظور، افراد جامعه در دسته‌هایی خوشه‌بندی و سپس از میان خوشه‌ها نمونه‌گیری انجام شد. جهت تعیین حجم نمونه با استفاده از جدول مورگان با درصد خطای ۵ صدم، حجم جامعه موردنظر برابر با ۱۸۵ نفر محاسبه گردید. ابزار گردآوری داده‌ها مشتمل بر پرسشنامه محقق ساخته بود. روایی پرسشنامه نیز به روش محتوایی انجام شد. جهت پایایی پرسشنامه، در یک مطالعه راهنما تعداد ۳۰ پرسشنامه جمع‌آوری و ضریب آلفای کرونباخ محاسبه گردید مقدار آلفای کرونباخ برای سؤالات مربوط به متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش شامل سودمندی درک شده، آسانی استفاده درک شده، نگرش به استفاده و تمایل به استفاده به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۴، ۰/۸۰ و ۱/۸۷ محاسبه گردید که مطابق آن تمامی مقیاس‌های اندازه‌گیری شده از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار بود. پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش شامل دودسته پرسش‌های مرتبط با مشخصات عمومی و پرسش‌های مربوط به مدل پذیرش فناوری بود. پرسش‌های دسته اول شامل: جنسیت، سن، سطح تحصیلات، میزان درآمد، میزان زمین زراعی آبی و دیم بود. برای ارزش‌گذاری پاسخ پرسش‌های تخصصی از طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت استفاده شد. پرسش‌های دسته دوم شامل سؤالاتی در خصوص برداشت ذهنی کشاورزان نسبت به سودمندی استفاده از کنتورهای هوشمند آب، برداشت ذهنی کشاورزان نسبت به سهولت استفاده از کنتورهای هوشمند آب و نیز نگرش کشاورزان نسبت به فناوری کنتورهای هوشمند آب و میزان تمایل به استفاده کشاورزان از کنتورهای هوشمند آب اختصاص یافت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS.16 و AMOS.18 صورت

¹ Forson

² Feader & amachar

گرفت. سپس با استفاده از روش تحلیل مسیر فرضیه‌های پژوهش بررسی شدند. در تمامی مراحل تحقیق سعی گردید که اجزای مدل TAM مدنظر قرار گرفته و در طی انجام تحقیق به کار گرفته شوند.

منطقه مورد مطالعه

ماهیدشت در غرب ایران قرار گرفته است و یکی از بخش‌های شهرستان کرمانشاه محسوب می‌گردد که در ۲۴ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمانشاه واقع شده است. دشت ماهیدشت به علت وسعت زیاد و نزدیکی به شهر کرمانشاه دارای تأسیسات صنعتی متعددی بوده و از اهمیت کشاورزی بالایی برخوردار است. این منطقه از شمال و شرق به حومه کرمانشاه بخش مرکزی و از جنوب به بخش سر فیروزآباد و از غرب به شهرستان اسلام‌آباد غرب محدود می‌گردد. توسعه فعالیت‌های انسانی و برداشت‌های بی‌رویه از چاه‌های آب و بروز خشک‌سالی‌ها در چند دهه‌ی گذشته سبب کاهش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در این حوضه آبریز شده است. همان‌طور که بیان شد، سطح آب زیرزمینی در دشت ماهیدشت رو به تنزل است و علاوه بر نقش خشک‌سالی، برداشت‌های بی‌رویه در کاهش سطح آب چاه‌ها تأثیرگذار بوده است. به همین دلیل طی چند سال اخیر دشت ماهیدشت، به‌عنوان یکی از دشت‌های ممنوعه‌ی اعلام‌شده که این موضوع شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه را بر آن داشته تا با معرفی کنتورهای هوشمند از سال ۱۳۸۸ کشاورزان چاه دار این منطقه را تشویق به نصب کنتور هوشمند آب نماید. پژوهش حاضر نیز بر آن است تا عوامل مؤثر بر پذیرش نصب کنتورهای هوشمند توسط کشاورزان بر روی چاه‌های آب کشاورزی در دشت ماهیدشت را بررسی نماید.

یافته‌ها

ویژگی‌های جمعیت شناختی جامعه مورد مطالعه

یافته‌ها نشان داد از مجموع ۱۸۵ نفر پاسخ‌دهنده، ۱۰ درصد زنان و ۹۰ درصد را مردان تشکیل داده‌اند. همچنین یافته‌ها نشان داد که کشاورزان مورد مطالعه دارای میانگین سنی ۴۹-۴۰ سال و با انحراف معیار ۰/۷۸ می‌باشند. کمترین و بیشترین گروه سنی در جامعه مورد بررسی به ترتیب مربوط به سنین ۳۹-۲۰ و ۶۰ سال به بالا بود. از نظر میزان تحصیلات نیز بالاترین درصد فراوانی مربوط به مقطع دیپلم و با میزان ۴۶ درصد بود. یافته‌های حاصل از بررسی میزان درآمد کشاورزان نشان داد که نزدیک به نیمی از جامعه آماری مورد مطالعه، میزان درآمد متوسطی دارند. همچنین یافته‌های حاصل از بررسی میزان زمین کشاورزی آبی و دیم نشان داد که میزان زمین کشاورزی آبی بین ۱۰ تا ۱۵ هکتار بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده است. میانگین زمین آبی کشاورزان مورد مطالعه ۱۳/۶۶ هکتار و انحراف معیار ۰/۷۵۵ بود. در حالیکه بیشترین فراوانی میزان زمین کشاورزی دیم کمتر از ۵ هکتار و به‌طور میانگین ۳/۹۸ هکتار و دارای انحراف معیار ۰/۸۵۵ بود.

آمار توصیفی مربوط به کنتورهای هوشمند

نتایج حاصل از بررسی میزان آشنایی کشاورزان مورد مطالعه با کنتور هوشمند نشان داد که ۴۴ درصد از افراد به میزان کم و خیلی کم با کنتور هوشمند آشنا هستند و ۴۰ درصد نیز تا حدودی با کنتور آشنایی دارند. ۱۶ درصد نیز به میزان زیاد و خیلی زیاد با کنتور آشنا هستند. همچنین یافته‌های حاصل از بررسی مرحله پذیرش کنتورهای هوشمند در جامعه آماری نشان داد که تنها ۱۰ درصد از کشاورزان اقدام به نصب کنتور هوشمند نموده و در حال استفاده از آن می‌باشند همچنین ۶ درصد نیز در حال اقدام و پیگیری جهت نصب هستند. ۳۴ درصد از کشاورزان دشت ماهیدشت از قبل کنتور هوشمند را نصب نموده اما در حال حاضر از آن استفاده نمی‌کنند. ۴۱ درصد از کشاورزان نیز با کنتور هوشمند آشنایی دارند اما تمایلی به نصب آن ندارند. ۹ درصد از جامعه مورد بررسی با کنتور هوشمند اصلاً آشنا نبوده و نصب ننموده‌اند. یافته‌ها نشان داد بیشترین میزان آشنایی کشاورزان با کنتورهای هوشمند از طریق کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای صورت گرفته است. همچنین از نظر ۵۱ درصد از جامعه آماری به ترغیب و تشویق دیگر کشاورزان جهت نصب کنتور هوشمند به میزان متوسط پرداخته‌اند و در

حدود ۳۴ درصد در حد کم و خیلی کم نصب کنتورهای هوشمند را به دیگران توصیه می‌کنند. همچنین حدود ۱۷ درصد از کشاورزان دشت ماهیدشت برای آبیاری از منابع آبی غیر از چاه عمیق استفاده می‌کنند به عبارت دیگر منبع اصلی آبیاری ۸۳ درصد از کشاورزان چاه عمیق است. یافته‌ها نشان داد اکثر کشاورزان (۸۲/۵ درصد) از کشاورزان دشت ماهیدشت آموزش‌های قبل از نصب مربوط به استفاده از کنتورهای هوشمند را دریافت نکرده‌اند. همچنین ۷۶/۲۵ درصد از جامعه آماری تحقیق بعد از نصب نیز آموزش‌های لازم را دریافت نکرده‌اند. بر اساس گفته‌های کشاورزان دشت ماهیدشت اغلب آن‌ها (۷۳/۳۳ درصد) تحت حمایت مالی دولت در خصوص نصب کنتور هوشمند قرار نگرفته‌اند. طبق یافته‌های حاصل از پژوهش ۳۹ درصد از کشاورزان دشت ماهیدشت در دسته مصرف‌کنندگان آب به میزان خیلی زیاد و ۳۵ درصد در دسته مصرف‌کنندگان به میزان زیاد قرار دارند. ۱۴ درصد از کشاورزان به میزان متوسط و درصد کمی از کشاورزان کم‌مصرف هستند. یافته‌ها نشان داد حدود ۵۶/۶۷ درصد از کشاورزان به میزان خیلی زیاد و ۲۳/۳۳ درصد به میزان زیاد در برخورد با مشکلاتشان با کارشناسان مشورت می‌کنند. همچنین زمان آشنایی کشاورزان دشت ماهیدشت با کنتورهای هوشمند بین سال‌های ۹۴ تا ۹۶ برای ۳۶/۶۷ درصد از آن‌ها و پس‌از آن ۳۳,۳۳ درصد از کشاورزان در سال‌های ۹۰ الی ۹۳ بود همچنین ۳۰ درصد کشاورزان نیز در سه سال اخیر با کنتورهای هوشمند آشنا شده‌اند.

وضعیت کشاورزان منطقه از نظر استفاده از کنتورهای هوشمند

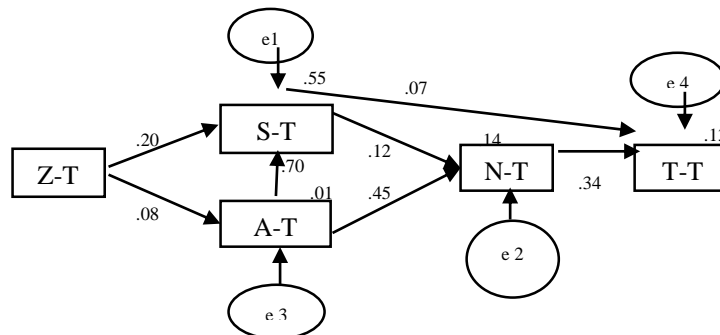
در جدول ۱، درصد فراوانی کشاورزان برحسب وضعیت پذیرش کنتورهای هوشمند نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود وضعیت عدم استفاده از کنتور هوشمند آب تاکنون ۵۰ درصد مورد تأیید قرار گرفته است. وضعیت نصب و نگهداری آگاهانه و بدون اجبار را ۱۵ درصد افراد تأیید نموده‌اند. وضعیت نصب و استفاده با اجبار کارشناسان در ۳۵ درصد از افراد تأیید شد. وضعیت تصمیم به استفاده از کنتور هوشمند در آینده نیز ۱۵ درصد تأیید شد که نشان می‌دهد بسیاری از کشاورزان با شرایط موجود، تمایلی به استفاده کنتور در آینده ندارند و باید در زمینه آگاهی و آموزش به آن‌ها اقداماتی صورت گیرد. در وضعیت آشنایی و استفاده از طریق مشاهده در زمین دیگران ۲۹ درصد از افراد تأیید نمودند. وضعیت نصب در صورت آگاهی از مزایا و محاسن کنتور ۷۳ درصد کشاورزان تأییدکننده آن بودند و بیان کردند در صورت آگاهی از مزایا تمایل به نصب کنتور دارند.

جدول ۱. وضعیت پذیرش کنتورهای هوشمند در جامعه مورد مطالعه

وضعیت پذیرش	تأیید	عدم تأیید
عدم استفاده تاکنون	۵۰	۵۰
استفاده از کنتور هوشمند به دلخواه و بدون اجبار	۱۵	۸۵
نصب و استفاده به اجبار	۳۵	۶۵
تصمیم به استفاده در آینده	۱۵	۸۵
آشنایی و استفاده از طریق مشاهده در زمین دیگران	۲۹	۷۱
نصب در صورت آگاهی از مزایا و محاسن کنتور هوشمند	۷۳	۲۷

عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند در بین کشاورزان

جهت تعیین عوامل مؤثر بر پذیرش کنترلهای هوشمند در بین کشاورزان دشت ماهیدشت، از مدل پذیرش فناوری (TAM) استفاده شد. در این تحقیق متغیر وابسته، پذیرش کنترلهای هوشمند آب توسط کشاورزان دشت ماهیدشت و متغیرهای مستقل شامل عوامل زمینه‌ای، سودمندی درک شده، آسانی استفاده درک شده، نگرش نسبت به کاربرد و تمایل به استفاده از کنترلهای هوشمند آب می‌باشند. به منظور بررسی رابطه علی بین متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش، از مدل تحلیل مسیر از طریق نرم افزار AMOS.18 استفاده شد. شکل ۴، مدل خروجی تحلیل مسیر به همراه ضرایب مسیر (بتا) و ضرایب تبیین (R²) را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مدل پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد و ضرایب تبیین

به منظور بررسی برازندگی مدل، از شاخص‌های مختلفی استفاده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. به منظور ارزیابی برازش مدل، از ۴ شاخص شامل شاخص‌های برازش مقایسه‌ای (CFI)، شاخص توکر لوئیس (TLI)^۳، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSEA)^۴ و کای دو نرمال شده بر درجه آزادی استفاده شد (λ/df). اگر CFI و TLI بالای ۰/۹ باشد، نشان‌دهنده تناسب بسیار خوب مدل است. همچنین RMSEA باید کوچک‌تر مساوی ۰/۱ باشد. در نهایت، λ/df باید کمتر از ۵ باشد. هنری و استون (۱۹۹۴)، هو و بنتلر (۱۹۹۹)، وستون و گور (۲۰۰۹). طبق جدول ۲ برازش مدل در وضعیت مناسبی قرار دارد.

جدول ۲. شاخص‌های برازش مدل

λ/df	RMSEA	TLI	CFI	شاخص‌های برازندگی
$5 >$	$0.1 \geq$	≥ 0.9	≥ 0.9	مقدار پیشنهاد شده
۴/۷۷	۰/۱۴۳	۰/۸۱۶	۰/۹۴۵	مقدار برآورد شده

جدول ۳، ضرایب مسیر و سطح معناداری متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد که جهت بررسی آزمون فرضیات پژوهش استفاده شدند.

¹ Path analysis

² Comparative fit index

³ Tucker Lewis index

⁴ root mean square error

⁵ Henry and ston

⁶ Hu and Bentler

⁷ Weston and Gore

جدول ۳. نتایج حاصل از مدل تحلیل مسیر

	Estimate	S.E.	C.R.	P
A-T ← Z-T	۰/۵۹۲	۰/۱۴۸	۳/۹۹۳	***
S-T ← A-T	۰/۶۳۶	۰/۰۴۵	۱۴/۰۷۲	***
S-T ← Z-T	۰/۲۷۰	۰/۲۴۱	۱/۲۲۰	***
N-T ← S-T	۰/۸۹	۰/۰۷۳	۱/۲۲۵	***
N-T ← A-T	۰/۳۰۴	۰/۰۶۶	۴/۵۸۸	***
T-T ← N-T	۰/۲۷۹	۰/۰۵۸	۴/۸۲۲	***
T-T ← S-T	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۹۷۵	***

در رابطه با اثرگذاری‌های مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش (از دیدگاه کشاورزان) بر پذیرش کنتور هوشمند می‌توان بیان نمود، با توجه به شکل ۴ و جدول ۳ تا ۶، متغیر عوامل زمینه‌ای موردنظر در تحقیق که شامل (سطح تحصیلات، نوع شغل اصلی، میزان درآمد، اندازه مزرعه، میزان برخورداری از آموزش قبل و بعد از نصب کنتور، میزان حمایت دولت) می‌شود که به اندازه $(\beta=0/082, P=0,000)$ اثر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر آسانی استفاده دارد. متغیر آسانی استفاده $(\beta=0/689, P=0,000)$ دارای تأثیر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر سودمندی استفاده است. متغیر عوامل زمینه‌ای $(\beta=0/198, P=0,000)$ تأثیر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر سودمندی استفاده دارد. متغیر سودمندی استفاده $(\beta=0/120, P=0,000)$ اثر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر نگرش به استفاده دارد. متغیر آسانی استفاده $(\beta=0/339, P=0,000)$ دارای تأثیر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر تمایل به استفاده دارد. متغیر سودمندی استفاده $(\beta=0/068, P=0,000)$ اثر مستقیم مثبت و معنادار بر متغیر تمایل به استفاده دارد. نتایج پژوهش نشان داد که متغیر عوامل زمینه‌ای $(\beta=0/058, P=0,000)$ تأثیر غیرمستقیم مثبت و معنادار بر متغیر سودمندی استفاده دارد. متغیر آسانی استفاده $(\beta=0/084, P=0,000)$ تأثیر غیرمستقیم مثبت و معنادار بر متغیر نگرش به استفاده دارد. متغیر سودمندی استفاده $(\beta=0/041, P=0,000)$ تأثیر غیرمستقیم مثبت و معنادار بر متغیر تمایل به استفاده دارد. در رابطه با اثرگذاری کل متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش بر متغیر تمایل به استفاده نیز می‌توان گفت، بیشترین اثرگذاری بر متغیر تمایل به استفاده توسط نگرش به استفاده $(\beta=0/339, P=0,000)$ اعمال می‌شود که دارای تأثیر معنادار است.

جدول ۴. اثرات مستقیم متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش

	Z-T	A-T	S-T	N-T
A-T	۰/۰۸۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
S-T	۰/۱۹۸	۰/۶۹۸	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
N-T	۰,۰۰۰	۰/۴۴۹	۰/۱۲۰	۰,۰۰۰
T-T	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰/۰۶۸	۰/۳۳۹

جدول ۵. اثرات غیرمستقیم متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش

	Z-T	A-T	S-T	N-T
A-T	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
S-T	۰/۰۵۸	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
N-T	۰/۰۰۶	۰/۰۸۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
T-T	۰/۰۲۰	۰/۱۷۱	۰/۰۴۱	۰,۰۰۰

جدول ۶. اثرات کل متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش

	Z-T	A-T	S-T	N-T
A-T	۰/۰۸۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
S-T	۰/۲۵۶	۰/۶۹۸	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
N-T	۰/۰۰۶	۰/۳۵۶	۰/۱۲۰	۰,۰۰۰
T-T	۰/۰۲۰	۰/۱۷۱	۰/۰۲۸	۰/۳۳۹

بحث

استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور از جمله دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه سبب شده که سطح آب زیرزمینی با استمرار افت مواجه گردیده و کیفیت آب برداشتی نیز کاهش یابد و در نتیجه این منطقه در وضعیت بحرانی قرار گیرد. این مسئله باعث شده که دشت ماهیدشت از سوی سازمان آب منطقه‌ای در گروه دشت‌های ممنوعه کشور قرار گرفته و علاوه بر این که حفر چاه‌های جدید ممنوع اعلام شده، برای برداشت از چاه آبی موجود نیز محدودیت‌هایی ایجاد گردیده است. از این حیث کنتور هوشمند از سوی سازمان آب منطقه‌ای به‌عنوان راهکاری جهت جلوگیری از برداشت بی‌رویه از چاه‌های آب به کشاورزان معرفی و آن‌ها را ملزم به نصب کنتور هوشمند نموده است. این کنتور با اندازه‌گیری پارامترهای مصرفی دبی لحظه‌ای، حجم آب مصرفی را محاسبه و ثبت می‌کند و در صورت اتمام حجم مصرفی تعیین شده، برق موردنیاز جهت برداشت آب از چاه قطع شده و عملاً استفاده از آب را غیرممکن می‌سازد و از این طریق از اضافه برداشت آب توسط بهره‌برداران جلوگیری می‌نماید. بنا بر آنچه گفته شد، این مطالعه باهدف کلی بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت با استفاده از الگوی پذیرش فناوری (TAM) انجام شد.

نتیجه‌گیری

برحسب نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش، تمام فرضیه‌های موردنظر در رابطه با پذیرش کنتور هوشمند در بین کشاورزان دشت ماهیدشت مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس پذیرش فرضیه اول مشخص شد که بین آسانی استفاده درک شده از کنتور هوشمند آب و سودمندی درک شده رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی متغیر آسانی استفاده درک شده به‌اندازه $0/7$ به‌صورت مستقیم و در جهت مثبت بر متغیر سودمندی درک شده اثرگذار است. طبق نتیجه به‌دست‌آمده از پژوهش اندازه اثر آسانی استفاده درک شده بر سودمندی درک شده بسیار پایین است که علت آن عدم آموزش و توجیه قبل از نصب کنتور به اکثر کشاورزان توسط مروجان کشاورزی و همچنین عدم ارائه آموزش‌های بعد از نصب کنتور و عدم همراهی و پشتیبانی لازم به کشاورز از طریق مروجان و متخصصان فنی است و همین‌طور عدم ارائه آموزش‌های مداوم جهت تثبیت رفتار پذیرش در کشاورز بوده است. بنابراین می‌توان گفت هرچه آسانی استفاده از کنتور هوشمند برای کشاورز دشوار باشد، اثر کمتری بر سودمندی استفاده از کنتور می‌گذارد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج موحدی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار در بین کشاورزان شهرستان اسدآباد همسو است. یافته‌های تحقیق آن‌ها نشان داد که متغیر سهولت استفاده درک شده دارای تأثیر مستقیم و مثبت بر سودمندی درک شده است. همچنین نتیجه به‌دست‌آمده با یافته‌های تحقیق فیدر و آماچار (۱۹۹۴)، منگیسونی (۲۰۰۶)، افزاخته و همکاران (۲۰۱۵) همسو است. بر اساس پذیرش فرضیه دوم بین آسانی استفاده درک شده از کنتور هوشمند آب و نگرش نسبت به استفاده از آن رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی متغیر آسانی استفاده درک شده به‌اندازه $0/۴۵$ به‌طور مستقیم و در جهت مثبت و در جهت مثبت بر نگرش نسبت به استفاده از آن رابطه مثبت و غیرمستقیم و در جهت مثبت بر متغیر نگرش به استفاده اثرگذار است. با توجه به‌اندازه اثر پایین آسانی استفاده درک شده بر نگرش می‌توان گفت کشاورزان مورد مطالعه آسانی استفاده از کنتور را به‌خوبی درک نموده‌اند که علت آن عدم آموزش و توجیه قبل از نصب کنتور به اکثر کشاورزان توسط مروجان کشاورزی و همچنین عدم ارائه آموزش‌های بعد از نصب کنتور و عدم همراهی و پشتیبانی لازم به کشاورز از طریق مروجان و متخصصان فنی است در نتیجه هرچه آسانی استفاده از کنتور هوشمند برای کشاورز دشوار باشد، اثر کمتری بر نگرش نسبت به استفاده از کنتور می‌گذارد. همچنین بر اساس پذیرش فرضیه سوم پژوهش بین سودمندی درک شده از کنتور هوشمند آب و نگرش نسبت به استفاده از آن رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی سودمندی درک شده به‌اندازه $0/۱۲$ به‌صورت مستقیم و در جهت مثبت بر نگرش به استفاده اثرگذار است. علت پایین بودن اندازه اثر سودمندی درک شده بر نگرش استفاده از کنتور به علت عدم آگاهی کشاورز از تأثیر کنتور بر کاهش مصرف آب، جلوگیری از هدر رفتن آب و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، پایین آمدن سطح زیر کشت محصولات، نامنظم شدن میزان آبیاری در مزرعه، کاهش درآمد کشاورزان در اثر استفاده از کنتور هوشمند و همچنین عدم محاسبه منطقی آب توسط کنتور، عدم پاسخگویی حجم تعیین شده با توجه به سطح زیر کشت و نیاز آبی گیاهان و نیز عدم حمایت مالی دولت به کشاورزان سبب شده که استفاده از کنتور هوشمند برای آن‌ها سودمند تلقی نشده و به میزان کمی نگرش آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج به‌دست‌آمده از فرضیه دوم و سوم با نتایج رزاقی بورخانی و میر ترابی (۱۳۹۹)

نیز همسو است. آن‌ها با استفاده از تحلیل مسیر در تحقیق خود نشان دادند که درک از سودمندی و درک از آسانی استفاده بر نگرش به استفاده اثرگذار است.

همچنین یافته‌های به‌دست‌آمده با یافته‌های پژوهش حمید پور و سعیدنیا (۱۳۹۴) و نیز حیدریه و همکاران (۱۳۹۲) هم‌راستا است. بر اساس پذیرش فرضیه چهارم پژوهش بین سودمندی درک شده از کنتور هوشمند آب و تمایل به استفاده از آن رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی سودمندی درک شده به‌اندازه ۰٫۰۷، به‌صورت مستقیم و در جهت مثبت و نیز به‌اندازه ۰٫۰۴۱ به‌طور غیرمستقیم و در جهت مثبت بر تمایل به استفاده اثرگذار است. با توجه به پایین بودن اندازه اثر سودمندی درک شده بر تمایل به استفاده می‌توان گفت که کشاورزان استفاده از کنتور هوشمند را در سطح مزرعه خود سودمند نمی‌دانند که این مسئله ناشی از عدم وجود مشوق‌ها در جهت ترغیب کشاورزان و نیز پایین بودن درآمد آن‌ها است. البته اینکه در منطقه مورد مطالعه بسیاری از کشاورزان از راه‌های غیرمعارف به استفاده از منابع آبی می‌پردازند نیز دلیلی بر این امر است و کشاورز نه تنها سودمندی، که ممانعت نصب کنتور را بیشتر درک کرده است. شرایط متغیر اقتصادی و تغییرات مکرر هزینه‌ها و قیمت خدمات و نهاده‌ها نیز سودمندی بلندمدت کنتورها در دشت را از چشم کشاورزان دور داشته است و به همین دلیل هیچ فایده‌ای برای کنتورها متصور نیستند مگر اندک افرادی که کنتور را عاملی برای کنترل کشورشان متخلف می‌دانند. بنابراین پایین بودن اندازه اثر سودمندی درک شده بر تمایل به استفاده از کنتور هوشمند قابل توجیه است. یافته‌های مکینون و همکاران (۲۰۰۹) نتایج به‌دست‌آمده را تأیید می‌نماید. آن‌ها بیان کردند که تمایل به پذیرش تکنولوژی‌های نوین آبیاری به منافع درک شده از ذخیره آب و کاهش هزینه‌های آبیاری بستگی دارد نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش‌های ریچاردسون (۲۰۰۹)، سوانسون (۲۰۰۶)، دران (۲۰۰۶) نیز تأیید شده است. بر اساس پذیرش فرضیه پنجم پژوهش بین نگرش نسبت به استفاده از کنتور هوشمند آب و تمایل به استفاده از آن رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی نگرش به استفاده از کنتور هوشمند به‌اندازه ۰٫۳۴ به‌طور مستقیم و در جهت مثبت بر تمایل به استفاده از آن اثرگذار است. دلیل پایین بودن اندازه اثر این است که کشاورز نسبت استفاده از کنتور به‌عنوان ابزاری جهت کاهش مصرف آب، مطلوبیت و کارایی استفاده از کنتور هوشمند، درک کشاورز مدیریت استفاده از آب‌های زیرزمینی همچنین رضایت او از استفاده کنتور و عاقلانه بودن استفاده از کنتور با توجه به شرایط اقلیمی منطقه نگرش مطلوبی نداشته است بنابراین پایین بودن نگرش اثر ضعیفی بر تمایل به استفاده گذاشته است. نتیجه به‌دست‌آمده با یافته‌های دهقان پور و زیبایی (۱۳۹۷) در بررسی عوامل مؤثر بر انگیزش کشاورزان در به‌کارگیری فناوری‌های حفاظت آب‌و‌خاک با استفاده از مدل تحلیل مسیر همسو است. آن‌ها نشان دادند که متغیر نگرش کشاورز اثر مثبت و معنی‌دار را بر تمایل کشاورز در به‌کارگیری فناوری حفاظت از آب‌و‌خاک دارند. همچنین این نتایج با نتایج تحقیق بهرامی و نور محمدی (۱۳۹۳) و نتایج پژوهش قربان نژاد و همکاران (۱۳۹۷) همسو است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش و پذیرش فرضیه ششم و هفتم بین عوامل زمینه‌ای تحقیق (سطح تحصیلات، نوع شغل اصلی، میزان درآمد، اندازه مزرعه، میزان برخورداری از آموزش قبل و بعد از نصب کنتور، میزان حمایت دولت) با سودمندی و آسانی استفاده درک شده رابطه مثبت و معناداری وجود دارد. به عبارتی عوامل زمینه‌ای به‌اندازه ۰٫۰۲ به‌طور مستقیم و در جهت مثبت بر سودمندی درک شده اثرگذار است. همچنین اثر عوامل زمینه‌ای بر آسانی استفاده درک شده به‌اندازه ۰٫۰۸ و به‌طور مستقیم و در جهت مثبت است. همچنین اثر عوامل زمینه‌ای بر آسانی استفاده به‌اندازه ۰٫۰۶ و به‌طور غیرمستقیم است. یکی از دلایل پایین بودن اثرات عوامل زمینه‌ای بر سودمندی و آسانی استفاده درک شده پایین بودن سطح تحصیلات اکثر افراد مورد مطالعه است. اشتغال بیش از نیمی از افراد به شغل غیر کشاورزی، پایین بودن درآمد اکثر افراد، بالا بودن وسعت زمین کشاورزی آبی آن‌ها، عدم آموزش قبل و بعد از نصب کنتور به اکثر کشاورزان و عدم حمایت مالی دولت در خصوص نصب کنتور در بین کشاورزان، میزان بالای مصرف آب در بیش از نیمی از کشاورزان، کافی نبودن حجم آب تعیین‌شده از سوی کنتور هوشمند است. در این راستا نتایج پژوهش موحدی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار بین کشاورزان اسدآباد با نتیجه به‌دست‌آمده همسو است. نتایج حاصل از تحلیل مسیر در پژوهش آن‌ها نشان داد که اثر متغیر عوامل بیرونی از جمله تحصیلات بر متغیر سودمندی درک شده مستقیم و مثبت بوده است. نتایج پژوهش قباد پور و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که عوامل فردی از ویژگی‌های شخصی از جمله سطح تحصیلات و درآمد کشاورزان تأثیر زیادی بر سطح رضامندی کشاورزان از کنتور هوشمند داشته است. بهرامی و نور محمدی (۱۳۹۳) نشان دادند که متغیر سطح مزارع، میزان تحصیلات بیشترین اهمیت را در تشخیص تمایل بهره‌برداران به مشارکت در مدیریت آبیاری دارند. شاهزادی (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با عنوان عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری به‌وسیله کشاورزان نتیجه

گرفت که متغیر اندازه زمین، تسهیلات بانکی و درآمد تأثیر معنی‌داری بر پذیرش فناوری از طرف کشاورزان دارد. همچنین نتایج تحقیقات گودری و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که عواملی از قبیل آموزش، اعتبارات و بهبود ساختار نظام‌های بهره‌برداری بر کاهش چالش‌های مدیریت آب کشاورزی تأثیرگذار است. همچنین بر اساس مطالعات سنگستام (۲۰۰۹) پارامتر درآمد، در زیرمجموعه سرمایه‌های مالی قرار گرفته و بالا بودن سرمایه مالی و افزایش تحصیلات کشاورز سبب بالا رفتن سرمایه انسانی در مقابله با بحران کمبود آب و اقدام حفاظت از آب می‌گردد. همین‌طور کایزر (۲۰۰۶) درآمد را مؤثر دانست و بر آن تأکید نمود فورسون (۱۹۹۹) نیز در پژوهش خود نتیجه گرفت که در پذیرش فناوری حفاظت آب‌و‌خاک عواملی مانند آموزش‌های ترویجی، میزان تمایل به کار در شغل کشاورزی، تطبیق فناوری با شرایط اجتماعی و اقتصادی کشاورز نقش دارند در رابطه با اثرگذاری کل متغیرهای چارچوب مفهومی پژوهش بر متغیر تمایل به استفاده از کنتور هوشمند آب می‌توان گفت، بیشترین اثرگذاری بر متغیر تمایل به استفاده توسط نگرش به استفاده به‌اندازه ۰/۳۴/۰ اعمال می‌شود که دارای تأثیر مثبت و معنادار است. به‌طور کلی نگرش مقدمه رفتار است بنابراین در زمینه پذیرش کنتور هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت می‌توان گفت کشاورزان استفاده از کنتور هوشمند را به‌عنوان ابزار کنترلی و محدودکننده درکشت و کار خود می‌دانند و نگرش مثبتی در این خصوص ندارند علت پایین بودن اندازه اثر نگرش بر تمایل به استفاده از کنتور نیز به همین علت است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان دشت ماهیدشت تمایل زیادی نسبت به پذیرش کنتور نداشته‌اند چراکه نگرش آن‌ها نسبت به کنتور مطلوب نیست. نگرش کشاورز به‌قصد پذیرش کنتور هوشمند تحت تأثیر عوامل متعددی است و در صورتی که به‌درستی توسط مسئولان و کارشناسان و سایر گروه‌های تأثیرگذار مدیریت شود، می‌تواند کشاورزان را به سمت پذیرش سوق دهد و موجب حفاظت از منابع آبی زیرزمینی گردد. در این راستا دهقان پور و زیبایی (۱۳۹۷) در بررسی عوامل مؤثر برانگیزش کشاورزان در به‌کارگیری فناوری‌های حفاظت آب‌و‌خاک با استفاده از مدل تحلیل مسیر نشان دادند که متغیر نگرش کشاورز بیشترین اثر کلی مثبت و معنی‌دار را بر تمایل کشاورز در به‌کارگیری فناوری حفاظت از آب‌و‌خاک دارند. همچنین نتایج پژوهش قربان نژاد و همکاران (۱۳۹۷) و قباد پور و همکاران (۱۳۹۵) نیز با نتایج به‌دست‌آمده همسو است.

طبق یافته‌های حاصل از پژوهش و به‌منظور پذیرش بیشتر و پایدار کنتور هوشمند آب جهت مدیریت مصرف بهینه آب‌های زیرزمینی در بین کشاورزان دشت ماهیدشت پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. با توجه به تأثیر عوامل زمینه‌ای بر سودمندی و آسانی استفاده درک شده از کنتور هوشمند پیشنهاد می‌گردد مدیران محلی، مسئولان سازمان‌های ذی‌ربط و نماینده کشاورزان در مراحل آگاهی بخشی و معرفی تکنولوژی شرایط زمینه‌ای پذیرش تکنولوژی را بررسی و اقدامات لازم تدبیر شود.

۲. با توجه به اثر آسانی استفاده درک شده بر سودمندی درک شده به طراحان کنتور هوشمند پیشنهاد می‌شود دو عامل برداشت ذهنی از آسانی استفاده و برداشت ذهنی از سودمندی استفاده را در طراحی و ساخت کنتور هوشمند متناسب با نیاز کشاورزان در سطح مزرعه در نظر بگیرند و طوری کنتور را طراحی نمایند که در عین سودمندی، کسب مهارت در خصوص نحوه استفاده و نگهداری از کنتور برای کشاورز آسان باشد.

۳. با توجه به اثر آسانی استفاده درک شده بر نگرش به استفاده از کنتور هوشمند پیشنهاد می‌شود حضور متخصصان فنی در مراکز خدمات کشاورزی جهت آموزش مداوم به کشاورز در خصوص استفاده صحیح و دسترسی به‌موقع و آسان کشاورز به کارشناس مربوطه جهت مراجعه در صورت بروز مشکل در حین کار با کنتور ضروری به نظر می‌رسد تا موجبات تغییر نگرش کشاورز ضمن درک از آسانی استفاده از کنتور صورت گیرد.

۴. با توجه به اثر سودمندی درک شده بر نگرش به استفاده از کنتور هوشمند توصیه می‌گردد حین برگزاری کلاس‌های آموزشی الگوهای روشن و عینی از کاربرد کنتور هوشمند در سطح مزرعه ارائه گردد تا حین درک سودمندی استفاده از کنتور هوشمند شرایط تغییر نگرش کشاورزان فراهم گردد.

۵. با توجه به نتیجه کلی به‌دست‌آمده از آمار استنباطی، نگرش کشاورزان یکی از عوامل تعیین‌کننده بر تمایل افراد جهت پذیرش کنتور هوشمند است. لذا به‌منظور افزایش تمایل به استفاده از کنتور هوشمند بین کشاورزان، درک نگرش آن‌ها نسبت به نقش کنتور هوشمند در مدیریت مصرف بهینه آب در کشاورزی مهم است. به نظر می‌رسد در دشت ماهیدشت سیاست‌گذاری‌ها در راستای مدیریت آب در زمینه به‌کارگیری کنتور هوشمند آب موفق نخواهد بود مگر این‌که نگرش مناسب و مثبتی در ذهن همه کشاورزان به وجود آید. نگرش کشاورزان بیشتر تحت تأثیر جامعه پذیرنده

قرار می‌گیرد. بنابراین ارتباطات کشاورزان و تعاملات آن‌ها با اعضاء خانواده، کشاورزان نمونه، جهاد کشاورزی و مراکز ترویج و خدمات کشاورزی می‌تواند بر نگرش و تمایل کشاورزان جهت پذیرش کنتور هوشمند تأثیرگذار باشد. همچنین استفاده از وسایل ارتباط جمعی به‌ویژه رادیو و تلویزیون از جمله عوامل مهمی هستند که در تغییر نگرش کشاورزان مؤثرند و می‌توانند با شفاف‌سازی، آگاهی بخشی و تحریک حس مسئولیت‌پذیری و آینده‌نگری مردم و ایجاد فضای همدلی، باعث تغییر نگرش کشاورزان به پذیرش کنتور هوشمند شوند.

۶ به شرکت آب منطقه‌ای پیشنهاد می‌شود در ابتدا جهت معرفی اولیه کنتور هوشمند به کشاورز از همکاری از مروجان کشاورزی که در امر معرفی تکنولوژی به روستاییان و استفاده از فنون ترویجی آموزش دیده‌اند بهره گرفته و در قدم بعدی جهت آموزش‌های فنی نحوه استفاده از کنتور از کارشناسان آب منطقه‌ای استفاده گردد.

تقدیر و تشکر

از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه که اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت انجام این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- افراخته، حسن، آرمن، مریم، و عسکری بزایه، فاطمه. (۱۳۹۴). واکاوی عوامل مؤثر بر پذیرش و کاربرد آبیاری بارانی توسط کشاورزان در شهرستان فامنین. مجله بین المللی مدیریت و توسعه کشاورزی، ۵(۲)، ۹۹-۸۹. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=248097>
- امیری، غلامرضا، و نصیرنوزوی، علی. (۱۳۹۵). مروری بر مدل‌های فردی و سازمانی پذیرش فناوری اطلاعات. چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری. برلین-آلمان. <https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=63149>
- انجمن مهندسی آب. (۱۳۹۳). پژوهش‌های منابع آب. <https://www.irwva.com/&ved=2ahUKEwjQkL2Eg7v2AhWuwQIHHV81ALkQAQ&usg=AOvVaw2NkysGh9PJ8UhyxGgd4iN4>
- بهرامی، ناهید، و نورمحمدی، ابوالفضل. (۱۳۹۳). بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت در مدیریت آبیاری با تأکید بر کنتورهای هوشمند (مطالعه موردی کشاورزان منطقه تاکستان). کنفرانس بین المللی توسعه پایدار. راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری. تبریز. <https://civilica.com/doc/354556>
- حیدریه، سید عبدالله، ع، سید حسینی، سید محمد، و شهابی، علی. (۱۳۹۲). شبیه سازی مدل پذیرش فناوری در بانکداری ایران با تأکید بر پویایی سیستم. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری. ۱(۱)، ۹۸-۶۷. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=359574>
- دفتر مطالعات شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه. ایران. نمودار هیدروگرافیک سالیانه سطح آب زیرزمینی دشت ماهیدشت. ۳ خرداد ۱۳۹۹.
- دهقانپور، حامد، زیبایی، منصور. (۱۳۹۷). بررسی عوامل مؤثر بر انگیزش کشاورزان در به کارگیری فناوری‌های حفاظت آب و خاک. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۸(۱۱۰)، ۱۴۶-۱۲۱. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=529766>
- رزاقی بورخانی، فاطمه، و میرترابی، مهدیه السادات. (۱۳۹۹). مدل یابی بهینه به کارگیری فناوری‌های نوین حفاظت آب در میان کشاورزان. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۵۱(۴)، ۷۱۴-۷۰۱. <https://dx.doi.org/10.22059/ijaedr.2020.306553.668930>
- رنجبرمنش، نسربین، انتظاری، مژگان، و رامشت محمد حسین. (۱۳۹۲). بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکنیکی در دشت ماهیدشت. نشریه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱(۲)، ۱۸-۱. <http://journals.hsu.ac.ir/agi/article-1-46-fa.html>
- عبداللهی عزت آبادی، محمد، و سلطانی فسقندیس، غلامرضا. (۱۳۸۷). محاسبه هزینه‌های جنبی آب کشی بیش از حد از منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی شهرستان رفسنجان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۰(۱)، ۴۴-۳۵. https://jijas.ut.ac.ir/article_13559.html
- قبادیور، روشنک، اسکندری، فرزاد، و جلالی، محمد. (۱۳۹۶). رضایت مندی کشاورزان از نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های آب زیرزمینی (مورد مطالعه: دهستان ماهیدشت استان کرمانشاه). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۲(۱)، ۵۵-۴۳. <https://www.doi.org/10.22067/jead2.v32i1.66512>
- قربان نژاد، مهناز، و چوبچیان، شهلا، و فرهادیان، همایون. (۱۳۹۷). تحلیل موانع توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر از دیدگاه کشاورزان. پژوهش‌های روستایی، ۲(۲)، ۳۰۸-۳۲۲. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=352546>

- محمدجانی، اسماعیل، و یزدانیان، نازنین. (۱۳۹۳). تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن (روند پژوهش‌های اقتصادی). ۲۱(۶۵-۶۶)، ۱۱۷-۱۴۴.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=236410>.
- محمدی، یاسر، و شعبانعلی فمی، حسین، و اسدی، علی. (۱۳۸۸). بررسی میزان مهارت کشاورزان در بکارگیری فناوری‌های مدیریت آب کشاورزی در شهرستان زرین دشت، استان فارس. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۵(۱)، ۹۷-۱۰۷.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=110822>
- موحدی، رضا، و ایزدی، نسیم، و وحدت ادب، رضا. (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار بین کشاورزان شهرستان اسدآباد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۱(۲)، ۲۸۷-۳۰۰.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=310436>.
- مهدی زاده ملاباشی، تورج. (۱۳۹۴). حکمرانی و مدیریت جامع منابع آب در فضای پسا برجام. فصلنامه صدای آب، ۴(۱)، ۱۰.
<http://ab-ostan.blogfa.com/category/5>

References

- Abdollahi Ezatabadi, M., & Soltani, Gh. (2018). Calculating the side costs of over-drainage from groundwater resources: A case study of Rafsanjan city. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 30 (1), 35-44. https://jijas.ut.ac.ir/article_13559.html [In Persian]
- Afrakhteh, H., Armand, M., & Askari Bozayeh, F. (2015). Analysis of Factors Affecting Adoption and Application of Sprinkler Irrigation by Farmers in Famenin county, Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 5(2), 89-99.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=248097> [in Persian]
- Amiri, G., & Nasirzouzi, A. (2015). A review of individual and organizational models of information technology acceptance. *International conference on new researches in management, economy and accounting*. Course 4. <https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=63149> [In Persian]
- Bahrami, N., & Nourmohammadi, A. (2014). Investigating the effective factors on participation in irrigation management with emphasis on smart meters (Case study of farmers in Takestan region). *International Conference on Sustainable Development. Solutions and challenges focusing on agriculture, natural resources, environment and tourism*. Tabriz. Accessed at <https://civilica.com/doc/354556> [In Persian]
- Chengalur-Smith, I., & Duchessi, P. (1999). The Initiation and Adoption of Client-Server Technology in Organizations. *Information & Management*, 35, 77-88.
https://www.academia.edu/30483195/The_initiation_and_adoption_of_client_server_technology_in_organizations
- Colesca, S. E., & Dobrica, L. (2008). Adoption and use of e-government services: The case of Romania. *Journal of Applied Research and Technology*, 6(3), 204-217.
<http://dx.doi.org/10.22201/icat.16656423.2008.6.03.526>
- Davis, F.D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, And User Acceptance. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Dehghanpour, H., & Zibaei, M. (2019). Investigating the effective factors on farmers' motivation in using water and soil protection technologies. *Agricultural Economics and Development*, 28 (110), 121-146.
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=529766> [In Persian]
- Doran, A. (2006). Agricultural Extension and Development on Soudan. *Journal of Middle Eastern Studies*, 20(2). <http://www.bees.org/index.html>
- Forson, J.B. (1999). Factors influencing adoption of land –enhancing technology in the sahel: Lesson from a case study in niger. *Agricultural Economics*, 20(3), 231-239.
<https://econpapers.repec.org/scripts/redirect.pf?u=https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.1111%2Fj.1574-0862.1999.tb00569.x;h=repec:bla:agecon:v:20:y:1999:i:3:p:231-239>

- Ghobadpour, R., Eskandari, F., & Jalali, M. (2017). Satisfaction of farmers with the installation of smart meters on groundwater wells (Case study: Mahidasht village, Kermanshah province). *Journal of Agricultural Economics and Development*, 32(1), 43-55. <https://www.doi.org/10.22067/jead2.v32i1.66512> [In Persian]
- Ghorbannejad, M., Choobchian, Sh., & Farhadian, H. (2018). Analysis of barriers to the development of renewable energy technology from the perspective of farmers. *Quarterly Journal of Rural Research*, 9 (2), 308-322. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=352546> [In Persian]
- Henry, J. W., & Stone, R. W. (1994). A structural equation model of end-user satisfaction with a computer-based medical information systems. *information resource management Journal*, 7(3), 21-33. <https://doi.org/10.4018/irmj.1994070102>
- Heydari, S. A., Seyed Hosseini, S. M., & Shahabi, A. (2013). Simulation of Technology Acceptance Model in Iranian Banking with Emphasis on System Dynamics. *Technology Development Management Quarterly*, 1, 67-98. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=359574> [In Persian]
- Kaiser, F. G. (2006). A moral extension of the theory of planned behavior: norms and anticipated feelings of regret in conservationism. *Personality and Individual Differences*, 41(1), 71-81. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.paid.2005.11.028>
- Mackinnon, D., Mallawaarachchi, T., & Ashton, D. (2009). Irrigation in the Murray-Darling Basin: Investment in on-farm irrigation infrastructure. 2006-07. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences (ABARES). Canberra ACT. https://www.researchgate.net/publication/237628749_Irrigated_agriculture_in_the_Murray-Darling_Basin_a_farm_level_analysis_by_region_and_industry
- Mangisoni, J. M. (2006). Impact of treadle pump irrigation technology on smallholder poverty and food security in Malawi: A case study of Blantyre and Mchinji districts, Pretoria: international water management institute (IWMI), Southern Africa Sub-regional office. <https://doi.org/10.3763/ijas.2008.0306>
- Mehdizadeh Malabashi, T. (2015). Governance and comprehensive management of water resources in the post-Burjam space. *Water Sound Quarterly*, 4,10. <http://ab-ostan.blogfa.com/category/5> [In Persian]
- Mohammadi, Y., Shaban Ali Fami, H., & Asadi, A. (2009). Survey of farmers' skills in using agricultural water management technologies in Zarrin Dasht city of Fars province. *Iranian Agricultural Extension and Education Sciences*, 5 (1), 97-107. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=110822> [In Persian]
- Mohammadjani, A., & Yazdani, N. (2014). Analysis of the water crisis in the country and its management requirements. *Trend Quarterly*, 21 (65 & 66), 119-121. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=236410>. [In Persian]
- Movahedi, R., Izadi, N., & Vahdat Adab, R. (2017). Study of effective factors on the acceptance of pressurized irrigation technology among farmers in Asadabad. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31 (2), 287-300. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=310436> [In Persian]
- Feather, P.M., & Amacher, G.S. (1994). Role of Information in the Adoption of Best Management Practices for Water Quality Improvement. *Agricultural Economics*, 11,159-170. <https://econpapers.repec.org/scripts/redir.pf?u=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2F0169-5150%2894%2900013-1;h=repec:eee:agecon:v:11:y:1994:i:2-3:p:159-170>
- Ranjbarmanesh, N., & Entezari, M. (2013). Crisis caused by falling groundwater level due to tectonic activity in Mahidasht plain. *Applied Geomorphology of Iran*, 1 (2), 1-18. <http://journals.hsu.ac.ir/agi/article-1-46-fa.html> [In Persian]

- Razzaqi Borkhani, F., & Mirtorabi, M. A. (2020). Optimal modeling of the use of new water protection technologies among farmers. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 51 (4), 701-714. <https://dx.doi.org/10.22059/ijaedr.2020.306553.66893> [In Persian]
- Richardson, J.W. (2009). Technology Adoption in Cambodia: Measuring Factors Impacting Adoption Rates. *Journal of International Development*. Published online in Wiley Inter. www.interscience.wiley.com <https://doi.org/10.100/jid.1661>
- Sengestem, R. (2009). Viability of the technology acceptance model in multimedia learning environments: Comparative study. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, 37, 175-184. <https://doi.org/10.28945/3076>
- Shahzadi, E. (2013). Investigating factors in influencing adoption of pressurized irrigation systems by farmers case study: Gramsar county, Iran. *American Eurasian J. Agric and Environment*. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2013.13.01.1900>
- Swanson, E.B. (2006). Extension Strategies for Poverty Alleviation: Lessons from China and India. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 12(4), 285-299. Available on www.Journal of Agricultural Education and Extension. <https://doi.org/10.1080/13892240601062488>
- Vestier, R., & Montginoul, P. (2006). Content-based positioning in learning networks. In Kinshuk, R., Koper, P., Kommers, P., Kirschner, D., Sampson, & Didden, W. (Eds.), *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Kerkrade, the Netherlands: IEEE. https://www.academia.edu/13147307/Content_Based_Positioning_in_Learning_Networks
- Water Engineering Association. (2013). Water resources research. Access at: <https://www.irwwa.com/&ved=2ahUKEwjQkL2Eg7v2AhWuwQIHVV81ALkQAQ&usg=AOvVaw2NkysGh9PJ8UhyxGgd4iN4> [In Persian]
- Westone, R., & Gore, P. (2006). A brief guide to structural equation modeling. *The counseling psychology*, 34, 719-751. <https://doi.org/10.1177%2F0011000006286345>



Investigation Using AWBM Model for Monthly Runoff Simulation of Urmia Lake Basin in Kurdistan Province

Meysam Parvaz¹ , Vahid Shahoei² 

¹ Corresponding Author, Graduated from the Department of Civil Engineering (Engineering and Management of Water Resources), Institute of Higher Education, Knowledge Development, Sanandaj, Iran. E-mail: Parvazmaysam29@gmail.com.

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering (Engineering and Management of Water Resources), Institute of Higher Education; Knowledge Development, Sanandaj, Iran. E-mail: vahid.shahoei@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

Demand for freshwater is rising with factors, such as population growth, water pollution, and economic, as well as technological progress, changes in community conditions, population growth, inappropriate and unprincipled use of available water resources and climate change are known the reasons for the decrease in available water resources in recent years. Due to the problem of lack of water in Iran and the control of surface water, the need to identify and model the reactions of the basin to precipitation for long-term planning of the potential of the basin is strongly felt. There are various methods for estimating rainfall-runoff in watersheds. One of these traits is the use of computer models. Computer models provide the ability to simulate the runoff-precipitation process by simulating the runoff-precipitation process in areas where river flow has been measured with minimal time and minimum cost.

Hence the need for integrated management of existing water resources is quite obvious. One of the important parameters for sustainable planning and management of water resources is the estimation of river flow. In recent decades and with the increasing development of computer technologies, many rainfall-runoff models have been developed for different purposes, each of which has advantages and disadvantages. Simulation is to understand the relationships governing the process of runoff. Simulation is used when the goal is not to involve the main system or the main system is not available. The simulation itself has been a major issue in terms of runoff forecasting and management in hydrological research. One of the most basic topics in hydrological sciences is understanding and recognizing and understanding the processes of production and input and output flow transfer.

Methodology

In this research, to simulate the rainfall-runoff process, a model under the optimization method of genetic AWBM algorithm and competitive accessibility algorithm of co-occurrences under Lake Urmia basin of Kurdistan province located in northwestern Iran has been used.

The AWBM model, developed by Button in 1990, is the most commonly used water balance method in Australia. AWBM model is a type of rainfall-runoff model that has the power to calculate runoff from hourly or daily rainfall. Using the results of the daily type of the model in water management and extraction studies and the results of the hourly type of the model for flood design calculations. This model divides the effect of variability of runoff storage capacity of each of the dimensions by using the daily data of discharge, evaporation and transpiration and with the help of optimizing its parameters in the basins. This model has three surface water storage tanks (S1, S2, and S3). The water balance of each is estimated independently, resulting in three surpluses. One part of these surpluses is transformed into run-off (Qs), and the other part percolates to a groundwater storage tank or aquifer (G), which in turn goes to groundwater run-off (Qg). Total flow (Q) is obtained by adding both run-offs.

This model has three surface water-storage tanks (S1, S2, and S3). The water balance of each is estimated independently, resulting in three surpluses. One part of these surpluses is transformed into run-off (Qs), and the other part percolates to a groundwater storage tank or aquifer (G), which in turn goes to groundwater run-off (Qg). Total flow (Q) is obtained by adding both run-offs.

The maximum capacity of each storage is obtained by Equation.

$$A_1=0.133 A_2=0.433 A_3=0.433 \quad (1)$$

$$C_1=0.1 \frac{C_{ave}}{A_1} C_2=0.33 \frac{C_{ave}}{A_2} C_3=0.66 * \frac{C_{ave}}{A_3} \quad (2)$$

where C_{ave} is the average soil water capacity and A_1 , A_2 , and A_3 are the area of each tank.

Results and discussion

The results of this model in Australian areas show that the model has an acceptable ability to predict runoff. In this research, three sub-basins upstream of Urmia Lake in Kurdistan province, namely Safakhaneh station have been used. Daily data on runoff, evapotranspiration, and transpiration for a period of about 9 years were considered. Daily precipitation was regionalized with the help of necessary rituals and daily discharges were calculated as special discharges. Then, in parallel with the model and by optimizing the model parameters, the accuracy and efficiency of the model in estimating the correlation coefficient between the observed and estimated runoff were measured. The calculation results showed that the model can have a reliable simulation in our country and with available information to calculate the response of statistics-free areas and has good merit in design and exploration.

Conclusions

The time series of observational and simulated discharges of the hospital station is shown in Figure 0 26. Looking at the diagrams, it is clear that unfortunately the model does not have the ability to simulate peak discharges. Several factors can be attributed to this defect. First of all, the

amount of rainfall recorded at the stations is not a good indicator of rainfall in the basin. Although in the AWBM model, it is possible to change the amount of input data with the Data Scaling tool, and from this tool, the results were obtained by defining the appropriate scale, but due to limitations, this scaling could not calculate the precipitation values in the months with peak flow. Increase in such a way that the simulated flow approaches the peak flow. On the other hand, because all three sub-basins are mountainous and there is a large difference in altitude in the basin, so considerable rainfall at higher altitudes is obvious, and since other than the data scaling tool, another tool to approximate rainfall values There is no entrance to the realities of the region. In some hydrological models such as SWAT, for hydrological simulation in mountainous areas, it is possible to define altitude bands and also to define the altitude gradient of precipitation, and this causes the precipitation modeled at altitudes far from the precipitation recorded in more stations to be considered. Overall, the performance of the AWBM model in precipitation-runoff simulation of the upstream basin station in the calibration period with a Nash-Sutcliffe index value greater than 0.7 is very good.

Keywords: Rainfall - runoff, water resources management, modeling, simulation, Urmia Lake catchment, Kurdistan, AWBM

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 05 May 2022 **Revised:** 17 June 2022 **Accepted:** 23 October 2022 **ePublished:** 22 November 2022

Cite this article: Parvaz, M., & Shahoei, S.V. (2022). Investigation Using AWBM Model for Monthly Runoff Simulation of Urmia Lake Basin in Kurdistan Province, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 53-72, DOI: 10.22126/ATWE.2022.7762.1018

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی دقت شبیه سازی رواناب ماهانه حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل یک پارچه AWBM در استان کردستان

میثم پرواز^۱، وحید شاهویی^۲

^۱ نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران. (مهندسی و مدیریت منابع آب)، مؤسسه آموزش عالی توسعه دانش سندج. رایانامه: Parvazmaysam29@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی عمران. (مهندسی و مدیریت منابع آب)، مؤسسه آموزش عالی توسعه دانش سندج. رایانامه: vahid.shahoei@gmail.com

چکیده

افزایش جمعیت در کنار برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و سطحی موجب گردیده است تا کشور در شرایط بحران مدیریت آب قرار بگیرد. مجموع این شرایط می‌تواند وضعیت هیدرولوژیکی و فرایندهای هیدرولوژیکی منابع تأمین‌کننده آب را تحت تأثیر قرار دهند. یکی از روش‌های اساسی در مدیریت آب برآورد جریان رودخانه به‌عنوان عاملی اساسی است. روش‌های مختلفی برای برآورد جریان رودخانه وجود دارد که با گسترش تکنولوژی و دانش کامپیوتری، مدل‌های بارش-رواناب به دلیل پاسخگویی به بسیاری از سؤالات، به عنوان راهکار اساسی انتخاب گردیده‌اند. از مجموع مدل‌های گروه دوم می‌توان به مدل فرایند شبیه‌سازی بارش رواناب AWBM اشاره نمود که در این مطالعه از این روش برای شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب حوضه آبریز دریاچه ارومیه در استان کردستان استفاده شده است. داده‌های روزانه بارش-رواناب و تبخیر و تعرق در بازه زمانی نه سال مدنظر قرار گرفت. سپس با توجه به شبیه‌سازی انجام‌شده توسط مدل و با بهینه‌سازی پارامترهای مدل، معیار دقت و کارایی مدل در تخمین همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده موردسنجش قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از مدل برآورد شده نشان می‌دهد که میان نتایج به‌دست‌آمده و مقادیر مشاهده‌شده در حوضه بالادست دریاچه ارومیه در استان کردستان نتایج قابل قبولی را نشان داده و قابلیت بالایی در پیشگویی روان‌آب‌های منطقه مورد مطالعه دارا است. پارامتر BFI هرچه به مقدار عددی واحد نزدیک می‌شود، حساسیت و دقت بهتری نسبت به واقعیت داشته و نتایج مطلوب‌تری را نشان می‌دهد. در مقابل نتایج پارامترهای ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در مقادیر پایین کرانه نتایج قابل قبول‌تر بوده و شبیه‌سازی به‌دست‌آمده تخمین قابل قبول‌تری دارد. حساسیت مقادیر تابع هدف به مقادیر پارامتر BFI کاملاً برعکس پارامترهای A1 و A2 است بطوریکه هرچه مقدار این پارامتر به یک نزدیک می‌شود، مقادیر تابع هدف بهینه‌تر می‌شود. تغییر پارامترهای KBase و KSurf نیز در محدوده‌های ۰.۸ تا ۱ مقادیر بهتری از تابع هدف را منجر خواهند شد. بررسی دبی‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز این مهم را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بارش-رواناب، مدیریت منابع آب، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، حوضه دریاچه ارومیه، کردستان، AWBM

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۱ اصلاح: ۲۷ خرداد ۱۴۰۱ پذیرش: ۰۱ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: پرواز، م. و شاهویی، و. (۱۴۰۱). بررسی دقت شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل یک‌پارچه AWBM در استان کردستان، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، (۳)، ۷۲-۵۳، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7762.1018



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

تغییرات شرایط جوامع، افزایش جمعیت، استفاده نابجا و غیراصولی از منابع آب موجود و تغییرات اقلیمی از دلایل کاهش منابع آب در دسترس در سال های اخیر شناخته می شود. از این رو نیاز به یک مدیریت یکپارچه برای منابع آب موجود کاملاً عیان است. از پارامترهای مهم برای برنامه ریزی و مدیریت پایدار منابع آب، می توان به برآورد جریان رودخانه اشاره نمود. برآورد مناسب رواناب برای طراحی، برنامه ریزی و مدیریت کارآمد پروژه های حوضه رودخانه ای که با حفظ و استفاده از آب برای اهداف مختلف سروکار دارند، مورد نیاز است (شریفی و اروندی، ۱۳۹۸). برای تعیین دقیق مقدار رواناب سطحی که در هر حوضه رودخانه ای اتفاق می افتد، درک رابطه پیچیده بین فرآیندهای بارندگی و رواناب که به بسیاری از عوامل ژئومورفولوژیکی و اقلیمی بستگی دارد، ضروری است. برای شبیه سازی سری های زمانی، به مدلی نیاز است که به اندازه کافی برای درک و استفاده ساده و در عین حال به اندازه کافی پیچیده باشد که بیانگر یک سیستم باشد. مدل های مفهومی بارش-رواناب ابزارهای مفیدی برای مهندسی مسئول پروژه های منابع آب هستند (بین و همکاران، ۲۰۲۲). در دهه های اخیر و با توسعه روزافزون تکنولوژی های کامپیوتری، مدل های بارش-رواناب زیادی جهت اهداف مختلف توسعه داده شده است که هر کدام دارای مزیت ها و عیب هایی می باشند. مدل های مفهومی حوضه بارندگی-رواناب، مدل های هیدرولوژیکی مبتنی بر رایانه هستند که برای پیش بینی هیدرولوژیکی و مدیریت سیستم های آب در میان هیدرولوژیست های مجرب و مهندسان منابع آب رایج شده اند. مدل های بارش-رواناب را می توان در دو گروه کلی مدل های رخداد محور و پیوسته^۱ گروه بندی نمود. گروه اول فقط برای شبیه سازی رویدادهای کوتاه مدت مانند سیلاب استفاده دارند که از آن ها می توان برای طراحی سرریز سدها، احداث و مدیریت سدهای کنترل سیلاب، احداث پل ها، برآورد خسارات سیل و دیگر مصارف عمرانی استفاده نمود. از مهم ترین و پرکاربردترین مدل ها در زمینه شبیه سازی پیوسته جریان می توان به مدل هایی همچون SWAT، TOPMODEL، TANK، IHACRES اشاره نمود. یکی از ساده ترین و کاربردی ترین مدل های پیوسته که در سال های اخیر در بخش های مختلف دنیا به ویژه استرالیا مورد توجه ویژه ای قرار گرفته است، مدل AWBM است که توسط موسسه CRCCH استرالیا برای شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه های آبریز توسعه داده شده است. مدل هیدرولوژیکی AWBM با وجود دارا بودن ساختار ساده، با دقت مناسبی بارش اضافه را محاسبه می نماید.

شبیه سازی به منظور پی بردن به روابط حاکم بر فرآیند بارش رواناب است زمانی از شبیه سازی استفاده می شود که هدف عدم درگیر کردن سیستم اصلی باشد و یا سیستم اصلی در دسترس نباشد. شبیه سازی به خودی خود یک موضوع اساسی از نظر پیش بینی رواناب و مدیریت آن در تحقیقات هیدرولوژیکی بوده است.

وابستگی بین بارش و رواناب از اهمیت ویژه ای برخوردار است به سبب اینکه داده های بارش در پیش بینی های مربوط به سیلاب ها استفاده دارند، می توان از اطلاعات موجود برای پر کردن خلأ های آماری داده های رواناب استفاده کرد. برای این هدف ها نیز رابطه بارش رواناب بسیار با اهمیت و کلیدی است (پور خیرالله و همکاران، ۱۳۹۶) همچنین مشابه سازی فرآیند بارش رواناب در حوضه های آبریز، اهمیت خاصی در مدیریت منابع آب و مهندسی رودخانه همواره داشته است. به علت بی شماری عوامل هیدرولوژیکی اثرگذار در حوضه های آبریز، عکس العمل اغلب حوضه ها در برابر نزولات جوی، پیچیده و ناهمگون است. تنها منبع تأمین کننده آب حوضه های آبریز، بارش است که از نظر زمان و منطقه اثرگذاری بر حوضه ها، به گونه های متفاوت عمل می کند بنابراین وجود داده های دقیق و کنترل شده بارش می تواند در فرآیند شبیه سازی رواناب به عنوان اولین تغییردهنده، مورد بهره برداری واقع شود (شریفی، ۱۹۹۷).

توسط محققان مدل های بسیاری برای شبیه سازی فرآیند بارش رواناب ارائه گردیده است که عموماً بر پایه روش های مرسوم آماری پایدارند (محمدی وند و همکاران، ۱۳۹۸). از راه رابطه بین حجم رواناب و بارش می توان با شناخت بارش، جریان های سیلابی و کل حجم جریان را برآورد کرد. تخمین صحیح جریان رودخانه در مسئله های مرتبط به مدیریت آب از سیل کمک بسیاری می کند (به منش و همکاران، ۱۳۹۱).

¹ Yin et al

² Event based

³ Continuous

بنابراین در این پژوهش به شبیه‌سازی رواناب ماهانه در حوضه دریاچه ارومیه استان کردستان با استفاده از مدل AWBM پرداخته می‌شود (نبی زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی توسط پژوهشگران و اساتید صاحب‌نظر علم مدیریت منابع آب در ایران انجام گرفته است که در ذیل به برخی از پژوهش‌های مربوط به موضوع تحقیق ما اشاره می‌شود.

طهماسبی و همکاران (۱۳۸۵)، در تحقیق تحت عنوان، ارزیابی کاربرد مدل AWBM در برآورد رواناب جهت طراحی سامانه‌های کوچک‌مقیاس سطوح آبیگر باران، مدل AWBM که مدلی برای شبیه‌سازی بارش رواناب است. جهت معین سازی جوانب سطوح آبیگر باران روی شیب‌های گوناگون اراضی و با اندازه‌های مختلف تراکم گیاهی ارزیابی شده است. که در گام اول اقدام به ایجاد ۲۰ کرت آزمایشی در ۳ کلاس شیب، ۳ گروه تراکم پوشش گیاهی طبیعی و ۵ گروه بافت خاک به‌عنوان سطوح آبیگر در منطقه لشگرک واقع در شمال شرق تهران با اقلیم نیمه‌خشک گردید. مقدار رواناب‌های سطحی ناشی از هر واقعه بارش ۲۴ ساعته منتهی به تولید رواناب در انبارهای ایجاد شده ذخیره آب از نوع شیرهای هموار احدائی در پایین‌ترین قسمت سطوح آبیگر اندازه‌گیری و ثبت شد. بنابراین با اجرای مدل AWBM که در آن شرایط مختلف آزمایش مشتمل بر ۸ گروه سطح آبیگر با ابعاد مختلف، ۳ گروه شیب، ۳ گروه تراکم پوشش گیاهی ۵ نوع بافت خاک است از دید اندازه نفوذ آب در خاک و تبخیر، مبادرت به برآورد رواناب گردید. در انتها مقادیر رواناب اندازه‌گیری شده با ارزیابی رواناب بوسیله تجزیه و تحلیل آماری مورد مقایسه قرار گرفت. حصول نتایج در این پژوهش نشان داد که باوجود خطا مدل AWBM در برآورد رواناب ماهانه، دقت کمتر ولی دقت مدل در برآورد مقدار رواناب سالانه در سطح ۹۵ درصد قابل‌پذیرش است.

اسلامیان و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی با اسم تحلیل ضرایب رواناب و همبستگی بین رواناب و بارش حوضه بازفت به این نتیجه رسیدند که نقشه‌های بارش فصلی و سالانه برای تعیین ضریب رواناب از نقشه‌های هم بارش ماهانه ارزشمندتر هستند. در زیر حوضه‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان به این نتیجه رسیدند که مدل AWBM در برآورد ضریب همبستگی بین بارش و رواناب دارای توانایی لازم را دارا است. شاه‌محمدی حیدری و پنجک (۱۳۸۷) ارزیابی تخمین هرز آب سالانه در حوضه‌های آبخیز دشت خوزستان را با روابط تجربی واسنجی کردند و در نهایت این پژوهش نشان داد که ضرایب روش کتاین ۲/۰۶، جاستین ۰/۶۳، روش موسسه علوم زراعی هندوستان ۴/۶۷ است. این ضرایب نشان داد که در سه روش ترتیب ۹۰ درصد سطح اعتماد و در روش موسسه علوم زراعی هندوستان ۹۵ درصد سطح اعتماد حاصل گردید. شاهویی و همکاران (۱۳۹۵) دو مدل هیدرولوژیکی AWBM و SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره‌سو، استان کرمانشاه را در تحقیق خود مورد بررسی و قیاس قرار دادند. پس از بررسی و ارزیابی‌های دقیق در پژوهش خود به این عملکرد رسیدند که شبیه‌سازی رواناب هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبار سنجی در مدل هیدرولوژیکی SWAT عملکرد بهتر و بهینه‌ای نسبت به مدل هیدرولوژیکی AWBM دارد. که مقادیر شاخص‌های آماری NS و R² در دوره واسنجی مدل SWAT به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ و در دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹ معین شد. در این ارزیابی پس از حصول نتایج این امر محقق گردید که مدل AWBM یک مدل یک‌پارچه است در حالی که مدل SWAT یک مدل نیمه توزیعی است. مدل AWBM شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های آبریز را با کمک دو متغیر بارندگی و تبخیر انجام داده و در سوی مقابل مدل SWAT شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی را با استفاده از مشخصات فیزیکی حوضه (نظیر خاک، کاربری اراضی و شیب) و اطلاعات آب و هواشناسی (شامل بارندگی، درجه حرارت، باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی) انجام می‌دهد.

شاهویی و پرهمت (۱۳۹۸) رواناب ماهانه حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه را به‌وسیله دو مدل AWBM و SWAT شبیه‌سازی نموده‌اند. با استفاده از متغیرهای بارندگی و تبخیر برای مدل AWBM و مشخصات فیزیکی حوضه و اطلاعات آب و هواشناسی بررسی نموده‌اند. ایشان در مطالعه خود نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین R² مورد ارزیابی قرار داده که مقایسه نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده در مطالعه مشخص شد که مدل SWAT دارای نتایج

بهتری در شبیه سازی رواناب ماهانه در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی بوده و مقدار ضریب NSE برای این مدل در این دو دوره به ترتیب ۷/۰ و ۸۱/۰ و برای مدل AWBM به ترتیب ۶۳/۰ و ۵/۰ تعیین گردیده است.

شریفی و اروندی (۱۳۹۸)، در مطالعه ی خود فرایندهای هیدرولوژیکی و ظرفیت های آبی را به منظور برآورد آبدهی و شبیه سازی رفتار حوضه های آبخیز در استان گلستان را با استفاده از تعدادی از مدل های شبیه سازی SFBM، AWBM2002، SCS و ISDI تحلیل نموده اند. نتایج روابط بین آستانه شروع رواناب با عوامل مورفواقلیمی در این مطالعه نشان می دهد، آستانه شروع رواناب، بیشترین همبستگی را با عمق بارش دارد. دیگر نتایج این مطالعه نشان داد که در مرحله اعتبارسنجی مدل با ضریب همبستگی بالا دبی را شبیه سازی کرده است.

یونسی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود از مدل های مفهومی AWBM، SACRAMENTO، SIMHYD، SMAR و TANK در دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ و برای حوضه آبخیز دشت سیلاخور (ایستگاه رحیم آباد) استفاده نموده اند. برای تمام مدل های مفهومی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ به عنوان دوره تعادل سنجی، از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ به عنوان واسنجی و از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ به عنوان دوره صحت سنجی انتخاب شد. در مدل SIMHYD ضریب ناش- ساتکلیف در روش بهینه ساز جست و جوی مستقیم در مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۶۸ به دست آمد که نشان دهنده توانایی نسبی این مدل در شبیه سازی رواناب در بین سایر مدل ها است. ضریب RMSE، ضریب همبستگی و ضریب ناش ساتکلیف برای مدل AWBM در دوره واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۴۷، ۰/۵۳، ۰/۵۱، ۰/۵۱ و ۰/۵۱ است که نشان می دهد مدل AWBM نتوانسته به خوبی الگوی رواناب حوضه را شبیه سازی نماید.

قربانی فرد (۱۴۰۰)، در مطالعه خود به بررسی کرد دو مدل بارش-رواناب AWBM و IHACRES در مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز کن پرداخته است. نتایج به دست آمده ضریب ناش ساتکلیف و ضریب همبستگی برای مدل AWBM به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۸۷ و برای مدل IHACRES به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۸۴ است. در نهایت، نتایج نشان می دهد که مدل ها، تطبیق قابل قبولی با شرایط منطقه مورد مطالعه دارند.

سجادی و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه ای عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی یکپارچه و مفهومی بارش-رواناب AWBM و MIKE NAM در شبیه سازی متوسط دبی روزانه جریان در حوضه کوچک کوهستانی گنبد همدان را مورد ارزیابی قرار می دهند. در این مطالعه نتایج شبیه سازی رواناب در دوره واسنجی و صحت سنجی با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و درصد انحراف (PBIAS) مورد ارزیابی قرار گرفته است. به ترتیب ضریب ناش ساتکلیف و درصد انحراف در دوره واسنجی و صحت سنجی برای مدل MIKE NAM مقادیر ۰/۸، ۰/۳، ۶/۳ و ۰/۷۱، ۰/۲- و برای مدل AWBM مقادیر ۰/۶، ۱۴/۲ و ۰/۵۵ و ۰/۲- به دست آمد. نتایج نشان داد؛ که مدل MIKE NAM نسبت به مدل AWBM دارای قابلیت بهتری در شبیه سازی رواناب روزانه حوضه گنبد همدان است.

راگونات^۱ (۱۹۹۷) به رابطه خوزلا اشاره کرده و این گونه نتیجه می گیرد که خوزلا داده های درجه حرارت، بارندگی و رواناب را تجزیه نمود تا یک ارتباط تجربی بین رواناب و بارندگی به دست آورد. این فرمول روی تعداد متعددی از حوضه ها در هند آزمایش گردید و نتایج قابل قبولی را جهت محاسبه کارکرد آب سالانه ارائه داد.

فرماندز و پیزارو^۲ (۱۹۹۶) مدل های تابع انتقال خطی (TF) با سری های بارندگی را به عنوان ورودی برای برآورد خصوصیات آماری متوالی رواناب اعلام کردند. روابط تجربی بر اساس معلومات آبخیزها در منطقه کوهستانی شیلی برای برآورد پارامترهای مدل های TF با رتبه پائین و بعضی خصوصیات آن ها پیشنهاد شد.

انچین و همکاران^۳ (۲۰۰۶) روابط رگرسیونی بین رواناب با بارندگی و درجه حرارت را در حوضه شمال اوراسیا^۴ تشریح کرده است. وی رواناب سه رودخانه روسیه در تایگا سبیری مرکزی (کورکا، کارابولا، اریا) را جهت تحلیل مدل سازی نموده است. علاوه بر این، سه رودخانه (راین، ماس

¹ Raghunath

² Fernandez & Pizarro

³ low order

⁴ Onuchin et al

⁵ Eurasia

و اودرا) در اروپای غربی به‌طور مشابه به‌عنوان شاهد ارزیابی می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده بیان می‌کند که بارندگی به‌عنوان عامل اصلی در شکل‌گیری رواناب رودخانه، تحت شرایط اقلیمی اقیانوسی است.

جانز و همکاران (۲۰۰۶) در عنوانی بانام تحلیل حساسیت متوسط رواناب سالانه به تغییرات اقلیم، تغییر در درصد متوسط رواناب را که ناشی از تغییرات اقلیمی بوده، به توان دو پارامتر توده‌ای بارش رواناب SimHyd و AWBM حدس زد این تغییرات در ۲۲ حوضه آبریز در استرالیا که فراوانی اقلیمی گرم تا سرد و خشک تا مرطوب را زیر چتر حمایتی خود قرار می‌دهند برآورد گردید، نتایج نمایش دادند که مدل‌ها سیاست‌های مختلفی به تغییرات بارش و تبخیر پتانسیل نشان می‌دهند و از نتایج این پژوهش می‌توان در آنالیز حساسیت مدل‌های بالا در اقلیم‌های متنوع سهم برد.

کونات و الدو^۲(۲۰۱۹)، در مطالعه خود عملکرد سه مدل مفهومی، یعنی GR4J، مدل تعادل آب استرالیا (AWBM) و ساکرامنتو را برای شبیه‌سازی رواناب مقایسه می‌کنند. این مطالعه چهار حوضه آبریز کوچک و یک حوضه آبریز متوسط در حوضه رودخانه گداوری را برای مطالعه انتخاب نموده است. در این مطالعه مدل‌ها با استفاده از بازده روزانه ناش-سوتکلیف (NSE) کالیبره شده‌اند. مدل‌های GR4J، AWBM و Sacramento به ترتیب دارای چهار، هشت و بیست‌ودو پارامتر برای بهینه‌سازی در طول کالیبراسیون هستند. نتایج نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها نتایج رضایت‌بخشی را در حوضه‌های منتخب در این مطالعه ارائه می‌کنند. باین‌حال، مشخص شد که عملکرد مدل GR4J از نظر پیش‌بینی و کارایی محاسباتی در مقایسه با مدل‌های AWBM و Sacramento مناسب‌تر است.

جیسوال و همکاران^۳(۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای تلاش می‌کند دو مدل مفهومی شامل مدل مخزن و تعادل آب استرالیا (AWBM) و یک مدل SWAT برای حوضه تاندولا در چاتیسگار (هند) را مقایسه نماید. داده‌های روزانه سطوح مخازن، تبخیر، نشست و رهاسازی در یک مدل بیلان آب برای محاسبه رواناب از حوضه برای دوره ۲۴ ساله از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ در این مطالعه استفاده شد. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که مدل TANK از RRL عملکرد مناسب‌تری نشان داده است. باین‌حال، مدل SWAT با داده‌های مکانی و اقلیمی می‌تواند برای ارزیابی تأثیر تغییرات ناشی از اقلیم و کاربری اراضی در حوضه استفاده شود.

لی^۴(۲۰۲۱) به مقایسه عملکرد دو مدل بارش-رواناب شامل مدل Tanh و مدل AWBM برای شبیه‌سازی جریان حوضه فرعی رودخانه تولراپ در مرکز ویکتوریا می‌پردازد. مدل Tanh یک مدل تجربی ۲ پارامتری و AWBM یک مدل مفهومی ۹ پارامتری است. مدل Tanh به‌عنوان یک رابطه ساده بارش-رواناب برای حوضه آبریز Tullaroop Creek استفاده می‌شود و رواناب سالانه را با استفاده از برازش منحنی نمودار رواناب بارندگی تخمین می‌زند. مدل AWBM برای دو دوره کالیبره و اعتبارسنجی شده است: ۱۹۷۴-۱۹۸۷ و ۱۹۸۷-۲۰۰۰. کارایی Nash-Sutcliffe برای ارزیابی کارایی پیش‌بینی‌های مدل محاسبه می‌شود. از نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد که مدل AWBM می‌تواند تخمین مناسبی از رواناب سالانه در حوضه‌های مورد مطالعه نسبت به مدل Tanh ارائه دهد.

در مطالعه آنشمان و همکاران^۵(۲۰۲۱)، عملکرد دو مدل مفهومی بارش-رواناب، GR4J (Génie Rural) و AWBM (مدل تعادل آب استرالیا)، در دو حوضه گوداوری و ماهاراشترا، هند ارزیابی می‌شود. مدل‌ها برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۷ کالیبره شده و برای سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های جریان مشاهده‌شده اعتبارسنجی شده‌اند. ترکیبی از Shuffle Complex Evolution (SCE) و معادله Rosenbrock برای کالیبره کردن هر مدل در چارچوب Source استفاده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد که مدل AWBM جریان مناسبی را نمایش می‌دهد.

¹ Jones et al

² Kunnath & Eldho

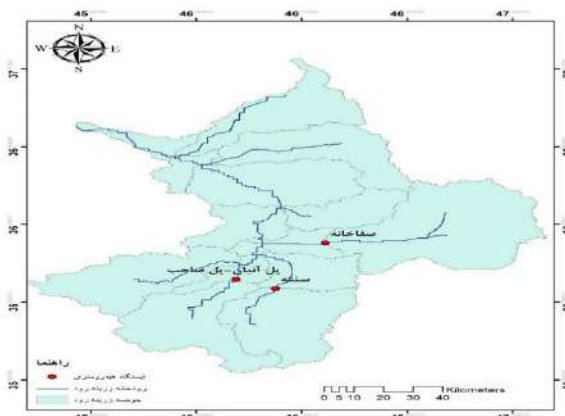
³ Jaiswal et al

⁴ Li

⁵ Anshuman et al

روش پژوهش

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در شمال غرب ایران قرار گرفته است. وسعت این حوضه ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است که ۳/۱۵ درصد مساحت کل کشور را در برمی گیرد (گلپیان و همکاران، ۱۳۸۶). از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه است که با ارتفاع آب دریاچه رابطه دارد و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می کند (مهسافر و همکاران، ۱۳۹۰). پژوهش حاضر شبیه سازی بارش رواناب بالادست ایستگاه هیدرومتری صفاخانه در بخش جنوبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه استان کردستان انجام خواهد گرفت موقعیت حوضه آبریز و ۳ ایستگاه هیدرومتری در شکل ۱ آورده شده است.

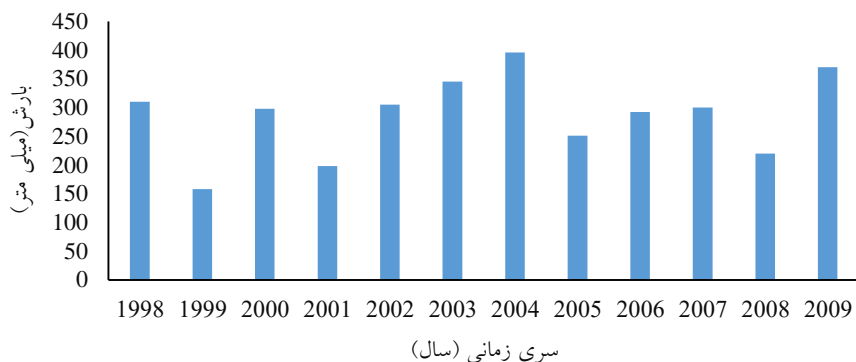


شکل ۱. موقعیت ایستگاه های هیدرومتری و حوضه بالادست آن ها

مقادیر سالانه بارش و پتانسیل تبخیر تعرق

همان طور که در بخش های قبل اشاره شد به منظور شبیه سازی فرآیند بارش رواناب با مدل AWBM نیاز به داده های بارش، پتانسیل، تبخیر، تعرق جهت مدل سازی و رواناب خروجی از ایستگاه هیدرومتری جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل است. بدین منظور برای مدل سازی حوضه بالادست ایستگاه صفاخانه از داده های بارش ایستگاه سینوپتیک تکاب استفاده شد. هرچند که داده های ایستگاه های باران سنجی وزارت نیرو در بالادست این حوضه ها نیز در دسترس بود اما از یک طرف چون تعداد داده های گم شده این ایستگاه ها زیاد بوده و به نحوی بارش مدل سازی شده با استفاده از این ایستگاه ها معرف مناسبی برای حوضه مورد نظر نبود در نتیجه سعی شد از داده های نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیک به این حوضه ها استفاده شود.

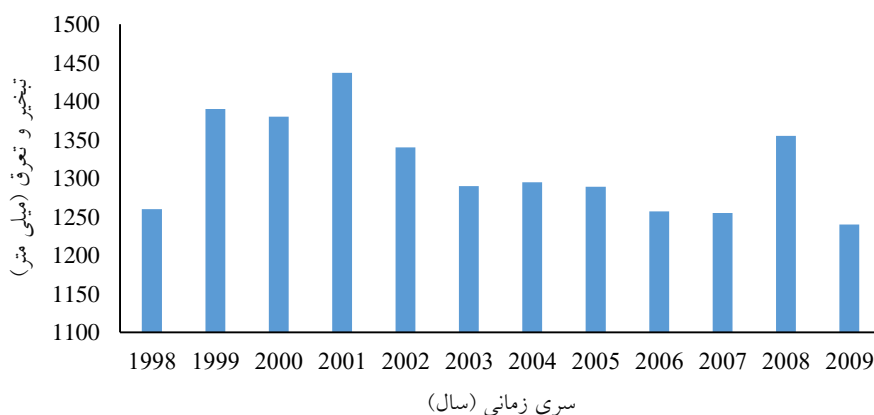
در Error! Reference source not found. سری زمانی بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک تکاب به صورت نمودار میله ای نشان داده شده است. در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ میانگین بارش سالانه ایستگاه ۲۹۰ میلی متر است. کمترین و بیشترین میزان بارش سالانه دوره مذکور در ایستگاه نیز این مقادیر به ترتیب ۱۵۷/۷ و ۳۹۵/۸ برای سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۴ است.



شکل ۲. سری زمانی بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک تکاب

از دیگر ورودی‌های مدل سری زمانی میزان متغیرهای مختلف از جمله آمار مختلف از جمله تبخیر و تعرق حوضه است. از آنجا که روش‌های متنوعی برای محاسبه تبخیر، تعرق، پتانسیل وجود دارد، در این تحقیق از قوی‌ترین روش محاسبه یعنی روش پنمن - مانتیث استفاده شد. از آنجا که این روش به داده‌های هواشناسی زیادی نظیر بارش، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، میزان تابش خورشیدی و... درمقیاس روزانه نیاز دارد و کلیه این داده‌ها در ایستگاه سینوپتیک تکاب در دسترس بود در نتیجه از تبخیر تعرق پتانسیل محاسبه شده بر مبنای داده‌های این ایستگاه برای مدل‌سازی حوضه استفاده گردید.

در شکل سری زمانی تبخیر تعرق پتانسیل به روش پنمن - مانتیث برای ایستگاه سینوپتیک نمایش داده شده است. کمترین و بیشترین میزان این پارامتر بترتیب ۱۲۵۷ و ۱۴۳۷ میلی‌متر برای سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۱ است.



شکل ۳. سری زمانی تبخیر تعرق پتانسیل سالانه ایستگاه سینوپتیک تکاب محاسبه شده به روش پنمن - مانتیث

معیارهای آماری ارزیابی عملکرد مدل ضریب ناش - ساتکلیف (NSE)

تابع هدف را اندازه‌گیری خوبی برازش گویند و مقدارهای بهینه پارامترها مقادیری هستند که مقدار حداقل تابع را نشان می‌دهند. در هر حوضه، مقدار تابع هدف به مقادیر تعیین شده پارامترها بستگی دارد. نقطه‌ای که تابع هدف به ازای پارامترهای مربوط حداقل می‌شود به نام نقطه بهینه

پارامترها است. رایج ترین تابع هدف استفاده شده برای واسنجی مدل های هیدرولوژیکی ضریب کارایی Nash – Sutcliffe است. ضریب NSE ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده را نشان می دهد. در این مطالعه جهت ارزیابی نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهده ای در دوره آماری انتخابی از این ضریب استفاده شده است که فرمول محاسبه آن در زیر نمایش داده شده است.

$$NSE=1-\frac{\sum_i(Q_{m,i}-Q_s)_i^2}{\sum_i(Q_{m,i}-\bar{Q}_m)^2} \quad (1)$$

• \bar{Q}_m : میانگین دبی مشاهده ای

• Q_s : نشان دهنده دبی محاسباتی

• $Q_{m,i}$: مقادیر مشاهده شده دبی در طول دوره شبیه سازی

و هر سه بر حسب m^3/s می باشند. محدوده عملکرد شاخص ارزیابی NSE در شبیه سازی صورت گرفته توسط مدل در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. محدوده عملکرد و ارزیابی شاخص ناس ساتکلیف (کولت و همکاران؛ ۲۰۱۴)

نتیجه ارزیابی	ضریب ناس ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	$NSE \geq 1 > 0.75$
خوب	$0.75 > NSE \geq 0.65$
رضایت بخش	$0.65 > NSE \geq 0.50$
غیر قابل قبول	$NSE < 0.50$

شبیه سازی بارش – رواناب

مدل AWBM که اولین بار توسط بوتون^۱ (۱۹۹۳) ارائه شد یک مدل رایانه ای که کارکرد آبی برای مشابه سازی بارش رواناب محسوب می شود. مدل AWBM مدلی است که سطوح جزئی جریان سطحی انبوه است که از بارش روزانه و ساعتی، تبخیر متوسط ماهانه و رواناب روزانه و ساعتی برای محاسبات استفاده می گردد. مکانیسم تولید رواناب دارای دو نظریه است: ۱- نظریه هورتون^۲ (۱۹۳۳) که بر اساس این نظریه رواناب دیده می شود که شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر است. ۲- تئوری جریان سطحی اشباع هولت و هیبرت^۳ (۱۹۶۷) بر طبق این نظریه زمانی رواناب به وجود می آید که خاک از آب اشباع شود. مدل AWBM بر مبنای نظریه جریان از سطوح جزئی اشباع که شبیه نظریه جریان سطحی اشباع است، توسعه یافته و برتری های آن بر سایر مدل های شبیه سازی بارش رواناب عبارتند از:

- ✓ داده های مورد نیاز مدل به آسانی در دسترس هستند
- ✓ مدل سه پارامتری است و در رودخانه های فصلی که آب پایه ندارد، مدل یک پارامتری می شود
- ✓ ساختار مدل به نسبت ساده است
- ✓ مدل رواناب را در زمان های مختلف از مناطق مختلف محاسبه می کند.

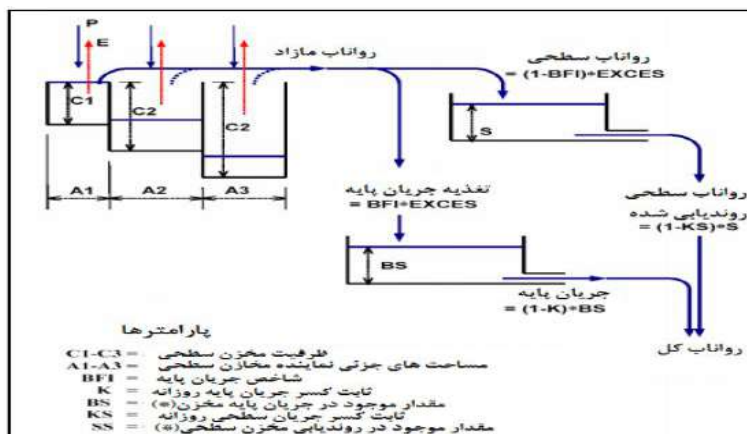
¹ Kult et al

² Boughton

³ Horton

⁴ Hewlett & Hibbert

در این مدل فرض بر این است که دو منبع اصلی آب پایه و رواناب سطحی اجزا تشکیل دهنده رواناب هستند. شکل (۴).



شکل ۴: ساختار مدل بارش رواناب AWBM

مدل AWBM از ظرفیت‌های ذخیره سطحی (C_3, C_2, C_1) با مساحت‌های (A_3, A_2, A_1) برای شبیه‌سازی سطوح رواناب استفاده می‌شود و کارکرد آبی هر سطح ذخیره‌ای را مستقل از بقیه در گام‌های زمانی روزانه (یا ساعتی) محاسبه می‌شود. معادله بیلان آبی هر سطح به‌طوری است که بارش به ذخیره سطحی اضافه و تبخیر و تعرق از آن کم می‌شود. معادله بیلان آبی در حالتی که n تعداد ذخیره در حوضه باشد به‌صورت زیر است:

$$\text{Store}_{n+1} = \text{Store}_n + \text{Rain} - \text{Evan} \quad (n=1,2,3) \quad (2)$$

که در آن، زمانی صفر در نظر گرفته می‌شود که میزان رطوبت ذخیره منفی باشد اما اگر رطوبت ذخیره بیش از ظرفیت مخزن باشد، رطوبت مازاد به رواناب تبدیل شده و رطوبت ذخیره معادل ظرفیت مخزن باقی می‌ماند (بوتون، ۲۰۰۴). در مدل، فرض آن است که دو منبع اصلی رواناب سطحی و آب‌پایه، رواناب تأمین می‌شود. این مدل سه ظرفیت ذخیره سطحی (C_3, C_2, C_1) و ۳ سطح متناظر با ظرفیت‌های ذخیره سطحی (A_3, A_2, A_1) و یک ظرفیت ذخیره متوسط (C_{ave}) دارد، رابطه‌های که بین این اجزا برقرار است:

$$A_1 = 0/133 \quad A_2 = 0/433 \quad A_3 = 0/433 \quad (3)$$

$$C_1 = 0/01 \frac{C_{ave}}{A_1} \quad C_2 = 0/33 \frac{C_{ave}}{A_2} \quad C_3 = 0/66 \frac{C_{ave}}{A_3} \quad (4)$$

کالیبره کردن این مدل با زیر برنامه AWBM2002 است. در ابتدا این زیر برنامه یک C_{ave} در نظر گرفته و با استفاده از BFI و K به‌دست‌آمده از زیر برنامه NBFLOW را به کمک رابطه‌های ۲ و ۳، مقادیر C_3, C_2, C_1 را با سطوح فرضی $A_1 = 0/133, A_2 = 0/433, A_3 = 0/433$ محاسبه نموده و در نهایت این سه لوح را تصحیح می‌کند. C_{ave} در ابتدا از بین مقادیر مفروض ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ که به‌صورت پیش‌فرض در مدل در نظر گرفته شده‌اند، به شکلی محاسبه می‌گردد که رواناب به‌دست‌آمده و رواناب واقعی به‌دست‌آمده از رابطه زیر دارای کم‌ترین اختلاف باشند:

$$\text{Act} = e_1 A_1 + e_2 A_2 + e_3 A_3 \quad (5)$$

- Act : مقدار رواناب واقعی ماهانه
- e_n : رواناب محاسباتی ماهانه از هر یک از سطوح ذخیره

• A_n : سطح هر ظرفیت ذخیره است (بوتون، ۲۰۰۴).

زمان استفاده از مدل اول پارامترهای بهینه مدل در هر حوضه مشخص کردیم، بعد ارزیابی مدل در پیش‌بینی رفتار حوضه‌ها با استفاده از پارامترهای بهینه‌شده انجام گرفت و در نهایت رواناب خروجی شبیه‌سازی شده هر حوضه به دست آمد.

پارامترهای مدل AWBW

۳ پارامتر مدل عبارت‌اند از:

(۱) شاخص جریان پایه

(۲) ثابت خشکیدگی روزانه جریان

(۳) ظرفیت‌های ذخیره سطحی (C_3, C_2, C_1) و سطوح متناظر با این ظرفیت‌ها (A_3, A_2, A_1)

برای محاسبه این پارامترها مدل از روش رگرسیون چند متغیره خودکار استفاده می‌کند (بوتون، ۲۰۰۴).

ذخیره اول در مدل نشان‌دهنده مکان‌هایی در سطح حوضه است که دارای کمترین میزان نفوذپذیری بوده و به سرعت از آب پر می‌شوند. سطح ذخیره دوم حالت بینابینی داشته و سطح ذخیره سوم که در مدل در انتها پر می‌شود نشان‌دهنده جاهایی در سطح حوضه است که بیشترین میزان نفوذپذیری را دارا هستند و در شکل‌گیری رواناب سهم کمتری رادارند.

اطلاعات ورودی مدل

داده‌های موردنیاز مدل AWBM برای مشابهت‌سازی عبارت است از اطلاعات بارش روزانه، رواناب روزانه و ماهانه و تبخیر ماهانه در هر حوضه. فایل ورودی اطلاعات برای استفاده در مدل تبدیل به ۴ فایل بارش روزانه، تبخیر ماهانه، رواناب روزانه و رواناب ماهانه است (بوتون، ۲۰۰۴). لازم به ذکر است که دبی روزانه باید به صورت دبی ویژه و بارش روزانه هم به صورت منطقه‌ای باید تهیه گردد.

محاسبه دبی ویژه: میزان ارتفاع رواناب به میلی‌متر را که به صورت روزانه در هر ایستگاه برآورد گردیده را دبی ویژه گویند. برای محاسبه

دبی ویژه از رابطه زیر استفاده گردید:

$$\text{دبی ویژه} = \frac{86/4Q}{A} \quad (۶)$$

که در آن، Q : دبی روزانه به مترمکعب بر ثانیه و A مساحت حوضه بالادست به کیلومتر مربع است.

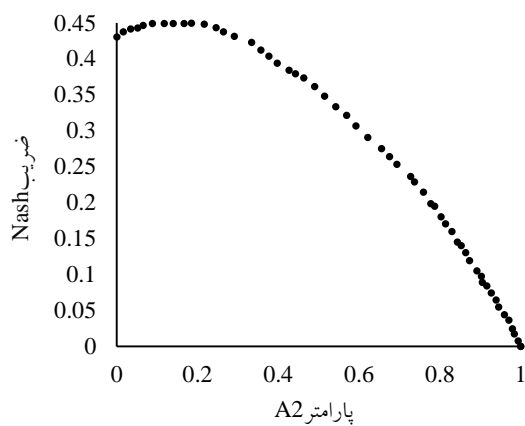
یافته‌ها

حساسیت‌سنجی پارامترهای مدل

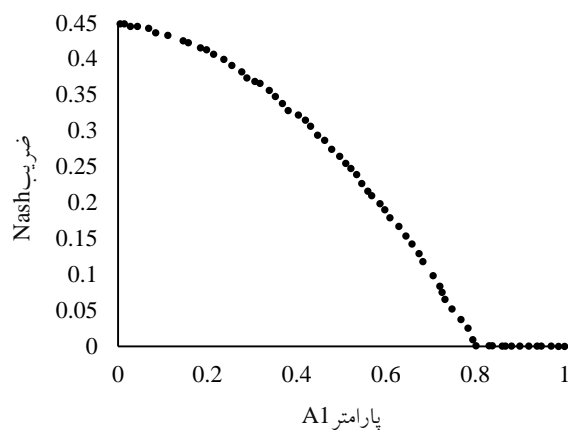
به منظور حساسیت‌سنجی پارامترهای مدل ابتدا دامنه تغییراتی را برای هر یک تعریف کرده و با تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی و تعریف تعداد تکرار، فرآیند بهینه‌سازی جواب هدف یعنی معیار ناش-ساتکلیف برای هر تکرار محاسبه می‌شود و بر اساس تغییرات هر پارامتر و جواب متناظر رسم می‌شود می‌توان با استفاده از این نمودار، تحلیل حساسیت تابع هدف را نسبت به پارامتر موردنظر تجزیه و تحلیل نمود. برای ایستگاه صفاخانه، نتایج حساسیت‌سنجی به صورت کامل در اشکال ۵-۱۲ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است تابع هدف به تغییرات مقادیر A_1 حساس بوده به قسمی که هر چه به سمت کران پایین محدوده تغییرات میل می‌کند مقادیر تابع هدف بهتر می‌شود که نتیجتاً برای مرحله واسنجی محدوده تغییرات پارامتر تغییر می‌کند. پارامتر A_2 نیز مانند A_1 است با این تفاوت که محدوده بهینه تغییرات مابین ۰ تا ۰/۳ است. حساسیت مقادیر تابع هدف به مقادیر پارامتر BFI کاملاً برعکس پارامترهای A_1 و A_2 است بطوریکه هرچه مقدار این پارامتر به یک نزدیک می‌شود مقادیر تابع هدف بهینه‌تر می‌شود. حساسیت مدل به پارامترهای C_1, C_2 و C_3 اما در طیف وسیعی از محدوده تغییراتشان کم

¹ Boughton

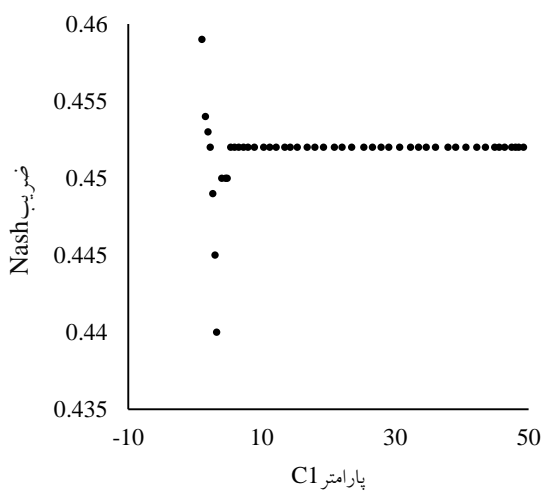
است که در مورد پارامترهای C2 و C3، از مقادیری بالاتر، تغییرات مقدار ناش-ساتکلیف بیشتر و به سمت مقادیر بهینه‌تر میل می‌کند. تغییر پارامترهای Ksurf و Kbase نیز در محدوده‌های ۰/۸ تا ۱ مقادیر بهتری از تابع هدف را منجر خواهند شد.



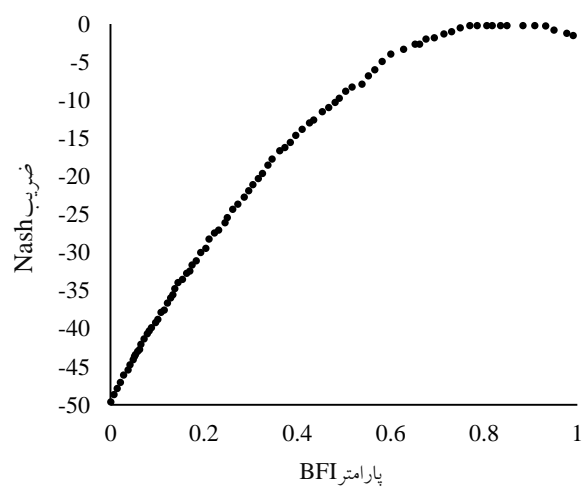
شکل ۶. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر A2



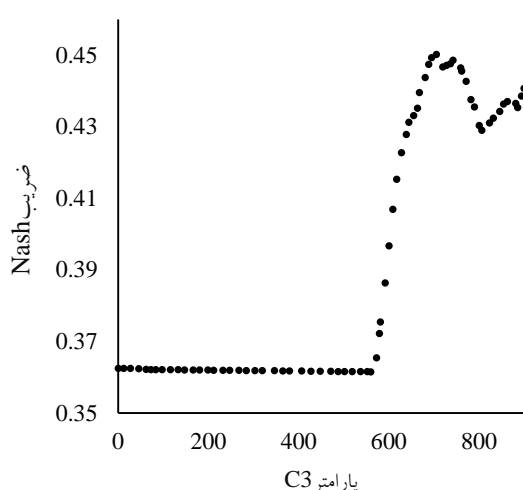
شکل ۵. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر A1



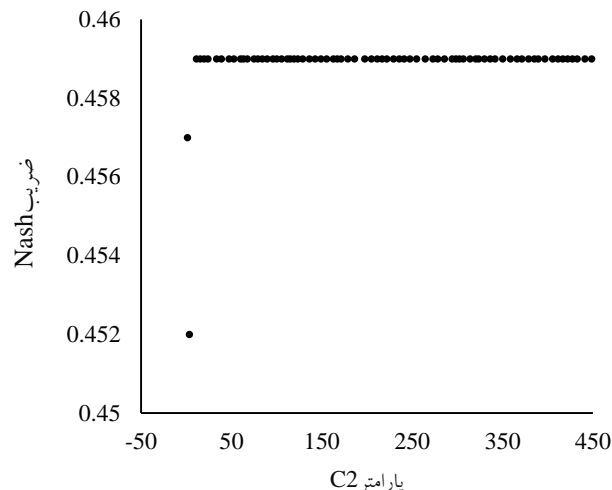
شکل ۸. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر C1



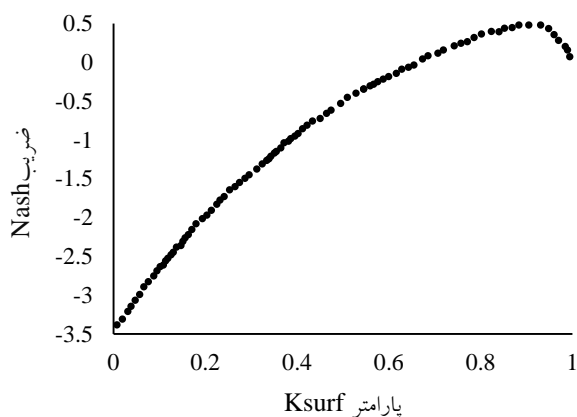
شکل ۷. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر BFI



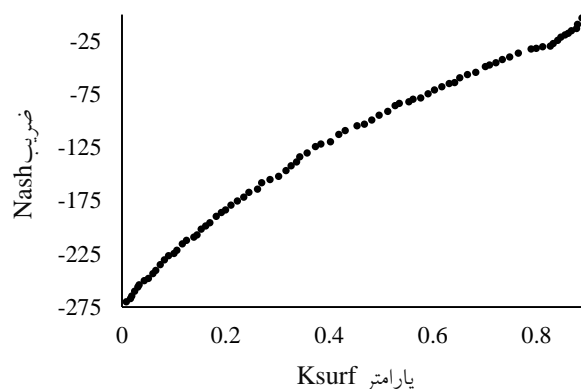
شکل ۱۰. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر C3



شکل ۹. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر C2



شکل ۱۲. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر Ksurf



شکل ۱۱. حساسیت سنجی نتایج مدل به تغییرات پارامتر Ksurf

پیش‌بینی دبی

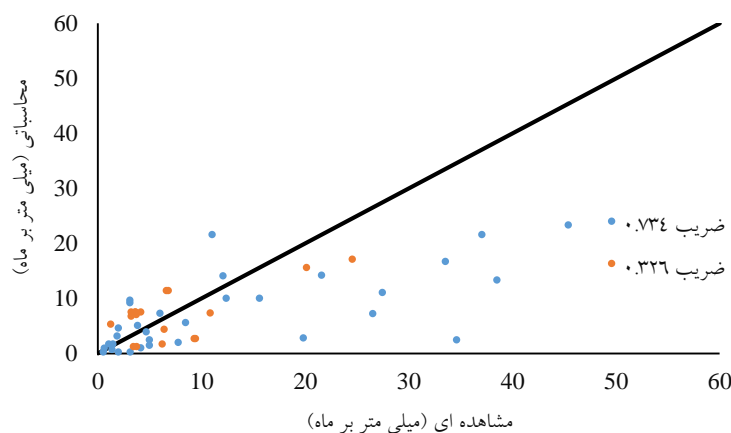
پس از مرحله حساسیت سنجی، محدوده تغییرات بهینه پارامترها مشخص و پس از تنظیم این محدوده‌ها اقدام به واسنجی یا کالیبراسیون پارامترهای مدل به صورت بهینه‌سازی شاخص ناش-ساتکلیف مقادیر ماهانه رواناب خروجی از ایستگاه‌ها شبیه‌سازی شده و مقادیر بهینه پارامترها به شرح جدول ۲ و نیز مقادیر بهینه معیار ناش-ساتکلیف به شرح شکل ۱۳ گردید.

برای تعیین دوره واسنجی و اعتبارسنجی معمولاً ۷۰ درصد دوره داده‌های مشاهده ای را به عنوان دوره واسنجی و ۳۰ درصد باقیمانده را برای دوره اعتبار سنجی مدل در نظر می‌گیرند. متأسفانه باوجود داده‌های مربوط به سال ۱۹۹۸ میلادی تا سال ۲۰۱۵ و کالیبراسیون‌های اولیه این امر منتج به نتایج خوبی نشد. از این رو دوره واسنجی از ابتدای سال ۱۹۹۸ میلادی تا ۲۲ سپتامبر سال ۲۰۰۲ (انتهای سال آبی تعریف شده در وزارت نیرو) و دوره اعتبارسنجی نیز از ۲۳ سپتامبر سال ۲۰۰۲ تا ۲۲ سپتامبر سال ۲۰۰۹ در نظر گرفته شد. یکی از دلایل اینکه مدل برای دوره‌هایی

بزرگ‌تر غیر از دوره واسنجی در نظر گرفته شده نتایج خوبی نداشت را می‌توان به این امر نسبت داد که از یک طرف دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی رفتار متفاوتی دارند و از طرف دیگر قابلیت مدل در Scaling داده‌های هواشناسی ورودی زیاد نیست. زیر حوضه‌های در نظر گرفته شده این مطالعه مناطقی کوهستانی و با تغییرات ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ متر هستند.

جدول ۲. مقادیر نهایی پارامترهای کالیبره شده- ایستگاه صفاخانه

پارامتر	محدوده تغییرات اولیه	مقادیر نهایی
A1	۱-۰	۰/۰۰۱۹۶
A2	۱-۰	۰/۲۱۱۳۵
BFI	۱-۰	۰/۸۷۸۴۳
C1	۱۰۰۰-۰	۸/۶۰۴۰۴
C2	۱۰۰۰۰-۰	۳۳۳/۵۴۱۶۴
C3	۵۰۰۰-۰	۷۰۲/۹۴۷۹۷
Kbase	۱-۰	۱
Ksurf	۱-۰	۰/۸۷۴۵۱



شکل ۱۳. Scatter Plot مقادیر دبی مشاهده ای و شبیه‌سازی شده به همراه مقادیر شاخص

ناش- ساتکلیف دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی

با توجه به شکل ۱۳ که مقادیر ناش - ساتکلیف دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی و مقایسه با مقادیر تأیید شده برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی مشخص می‌گردد که در دوره واسنجی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه بالادست ایستگاه عملکرد خوب و قابل قبولی داشته اما در

دوره اعتبار سنجی عملکرد مدل رضایت بخش نبوده است، تفاوت در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی از دو طرف، در دسترس نبودن اطلاعات دقیق از سوی دیگر و محدودیت‌های مدل از جمله عوامل مؤثر بر عدم کارایی در اعتبارسنجی مدل هستند. از سوی دیگر مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌ها معرف مناسبی برای بارش حوضه نیستند. هرچند که در مدل AWBM قابلیت تغییر مقادیر داده‌های ورودی با ابزار Data Scaling وجود دارد و از این ابزار با تعریف Scale مناسب نتایج ارائه شده به دست آمد اما بازهم این Scaling به دلیل محدودیت نتوانسته در ماه‌های با دبی پیک مقادیر بارش را به نحوی افزایش دهد که اعتبارسنجی مناسبی حاصل آید.

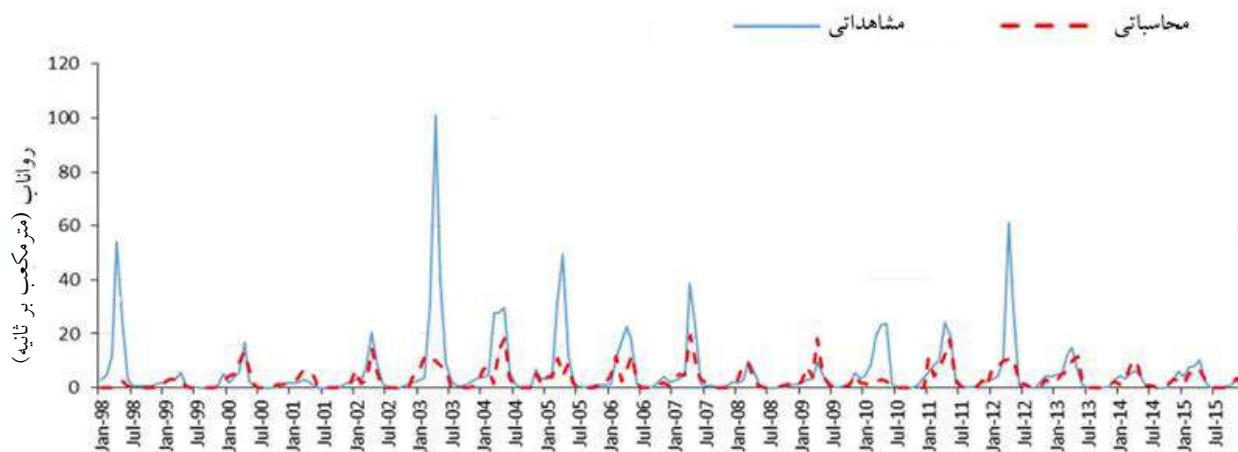
از طرف دیگر به دلیل اینکه هر سه زیر حوضه موردبررسی کوهستانی بوده و اختلاف ارتفاع زیادی در حوضه وجود دارد، لذا بارش قابل ملاحظه‌تر در ارتفاعات امری بدیهی است و از آنجا که به جز ابزار Data Scaling ابزار دیگری برای نزدیک کردن مقادیر بارش ورودی به واقعیات منطقه وجود ندارد این امر سبب می‌شود که بارش مدل شده در ارتفاعات دچار انحراف باشد.

بحث

تعیین رواناب حاصل از بارش یکی از موارد بسیار مهم در تحلیل مسائل هیدرولوژی و مدیریت منابع آب است. استفاده از مدل‌های تجربی به منظور برآورد رواناب سالانه در حوضه‌هایی که فاقد ایستگاه‌های آب‌سنجی است از دیرباز در مطالعات هیدرولوژی مورد توصیه قرار گرفته است. در این تحقیق با بکار بستن مدل AWBM در برآورد روان آب و مقایسه نتایج حاصل از این مدل‌ها با نتایج حاصل از تحلیل آمار ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز دریاچه ارومیه استان کردستان اقدام به انتخاب روش تجربی مناسب جهت برآورد رواناب شد.

نتیجه‌گیری

سری زمانی دبی‌های مشاهده ای و شبیه‌سازی شده ایستگاه صفاخانه در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۴. سری زمانی مقادیر دبی مشاهده ای و شبیه‌سازی شده

با نگاهی به نمودارها مشخص می‌شود که متأسفانه مدل توانایی شبیه‌سازی دبی‌های پیک را ندارد. چندین عامل را می‌توان دلیل این نقص دانست. ابتدای امر اینکه مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌ها معرف مناسبی برای بارش حوضه نیستند. هرچند که در مدل AWBM قابلیت تغییر مقادیر داده‌های ورودی با ابزار Data Scaling وجود دارد و از این ابزار با تعریف Scale مناسب نتایج ارائه شده به دست آمد اما باز این Scaling به دلیل محدودیت نتوانسته در ماه‌های با دبی پیک مقادیر بارش را به نحوی افزایش دهد که دبی شبیه‌سازی شده به دبی پیک نزدیک شود.

از طرف دیگر به دلیل اینکه هر سه زیر حوضه موردبررسی کوهستانی بوده و اختلاف ارتفاع زیادی در حوضه وجود دارد، لذا بارش قابل‌ملاحظه‌تر در ارتفاعات امری بدیهی است و از آنجاکه به‌جز ابزار Data Scaling ابزار دیگری برای نزدیک کردن مقادیر بارش ورودی به واقعیات منطقه وجود ندارد. در بعضی مدل‌های هیدرولوژیکی مانند SWAT، برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در مناطق کوهستانی امکان تعریف باندهای ارتفاعی و نیز تعریف گرادیان ارتفاعی بارش وجود دارد و این امر سبب می‌شود که بارش مدل شده در ارتفاعات به‌مراتب از بارش ثبت‌شده در ایستگاه بیشتر در نظر گرفته شود.

در کل عملکرد مدل AWBM در شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه بالادست ایستگاه صفاخانه در دوره واسنجی با مقدار شاخص ناش - ساتکلیف بیشتر از ۰.۷ بسیار خوب ارزیابی می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه و با توجه به این که حوزه دریاچه ارومیه استان کردستان از نظر سیل‌خیزی و گردشگری در منطقه و سطح کشور حائز اهمیت می‌باشند، جهت مدیریت بهتر منابع آب و کنترل سیلاب‌ها، کارایی و دقت این روش‌ها و روش‌های تجربی دیگر برای تعداد بیشتری از حوضه‌های آبخیز منطقه مورد مطالعه نیز موردبررسی قرار گیرد و این روش در ایستگاه‌های هیدرومتری سایر حوضه‌های آبخیز در سطح استان نیز انجام و با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

پیشنهاد می‌شود تخمین میزان رواناب سالانه برای مناطق مورد مطالعه با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی بر اساس آمار موجود در منطقه صورت گیرد و با نتایج این تحقیق مقایسه گردد و در کنار آن از روش‌های هوش مصنوعی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، به‌منظور پیش‌بینی ارتفاع رواناب استفاده گردد.

تقدیر و تشکر

در پایان از اساتید و دانشجویان گرامی که در بخش‌های مختلف تحقیق نویسندگان را یاری رسانده همچنین از سازمانهایی که اطلاعات موردنیاز این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- اسدی، تورج، و سمیعی، مسعود. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های تجربی برآورد رواناب درحوضه آبخیزبند بهمن در استان فارس. دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار، فرصتها و چالشهای پیشرو، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، شیراز. <https://civilica.com/doc/136846>
- اکبر پور، مهرداد، بهارلویی داریوش، و رستمی، رامین. (۱۳۸۵). بکارگیری روابط تجربی در تخمین رواناب آورد سالیانه رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداران بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود، شهرکرد. <https://civilica.com/doc/7607>
- پورخیرالله، زهره، حافظ پرست، مریم، و فاطمی، سید احسان. (۱۳۹۶). تغییر در پارامترهای بارش، دما و دبی تحت سناریوی تابش باعث تابش (منطقه مورد مطالعه: شهر دهلران). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد. <https://civilica.com/doc/661416>
- ربانی فرد، مهدی. (۱۴۰۰). مقایسه و ارزیابی مدل‌های AWBM و IHACRES در مدلسازی بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز کن). دهمین کنفرانس بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبریز باران. <https://civilica.com/doc/1411242>
- سجادی بومی، یاسمین، پرهت، جهانگیر، صدقی، حسین، و جلال‌کمالی، نوید. (۱۴۰۰). مقایسه عملکرد مدل‌های AWBM و MIKE NAM در شبیه‌سازی دبی روزانه در حوضه مرتفع گنبد همدان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۱۰(۳)، ۱-۱۴. https://journals.srbiau.ac.ir/article_17751.html
- سلامیان، سید سعید، مامن پوش، علیرضا، نصری، زهره، و اعتمادی، هادی. (۱۳۸۵). تحلیل ضرایب رواناب و همبستگی بین رواناب و بارش حوضه بازفت. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداران از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود (فرصتها و چالشها)، شهرکرد. <https://civilica.com/doc/7615>
- شاه محمدی حیدری، زمان، و پنجک، ناصر. (۱۳۸۷). واسنجی روابط تجربی تخمین هز آب سالانه در حوضه‌های آبخیز دشت خوزستان، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، زابل. <https://civilica.com/doc/64336>
- شاهویی، سید وحید، پرهت، جهانگیر، صدقی، حسین، و حسینی، مجید. (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه دو مدل هیدرولوژیکی AWBM و SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره سو، همایش ملی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دزفول. <https://civilica.com/doc/746374>
- شاهویی، سید وحید، و پرهت، جهانگیر. (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه دو مدل یک‌پارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه رودخانه قره سو در استان کرمانشاه. مجله محیط زیست و مهندسی آب، ۵(۱)، ۷۱-۸۲. <https://dx.doi.org/10.22034/jewe.2019.143387.1275>

- شریفی، فرود، و اروندی، سمانه. (۱۳۹۸). ارزیابی فرایندهای هیدرولوژیکی با تحلیل داده های اندازه گیری و مدل های شبیه سازی در حوضه های آبخیز استان گلستان. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۱)، ۴۳-۶۱. <https://dx.doi.org/10.22092/ijwmse.2018.101428.1013>
- طهماسبی، رمضان، شریفی، فرود، کاوه، فزیدون، و توسلی، ابوالقاسم. (۱۳۸۵). ارزیابی کاربرد مدل AWBM در برآورد رواناب جهت طراحی سامانه های کوچک مقیاس سطوح آبخیز باران. پژوهش و سازندگی، ۱۹(۳)، ۱۷۰-۱۶۱. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=59625>
- فتح زاده، علی. (۱۳۷۸). مقایسه روش های کلاسیک تورک و کوتاین با روش های تبدیلی آنها در مناطق خشک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی نور.
- گلیان، سعید، ابریشم چی، احمد، و تجربی، مسعود. (۱۳۸۶). تحلیل سیاست های بهره برداری از منابع آب در حوضه آبریز با روش پویایی سیستم، مجله آب و فاضلاب، ۱۸(۶۳)، ۸۰-۷۰. http://www.wjjournal.ir/article_1809.html
- محمدی وند، محمدرضا، عراقی نژاد، شهاب، ابراهیمی، کیومرث، و مدرس، فرشته. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد مدل های AWBM، Sacramento و SimHyd در شبیه سازی رواناب حوضه امامه با استفاده از بهینه ساز واسنجی خودکار الگوریتم ژنتیک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۷)، ۱۷۶۹-۱۷۵۹. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.258701.667923>
- مهرسافر، حمید، مکتون، رضا، و تقیان، بهرام. (۱۳۹۰). اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۱)، ۵۸-۴۷. http://www.iwrr.ir/article_16057.html
- نبی زاده، مرتضی، مساعی، ابوالفضل، و دهقانی، امیراحمد. (۱۳۹۱). تخمین هوشمند جریان جریان توسط سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱)، ۸۰-۶۹. <https://dx.doi.org/10.22059/jwim.2012.25093>
- یونسی، حجت الله، یوسفی سهزایی، حسین، ارشیا، آزاده، و یاراحمدی، یزدان. (۱۳۹۹). شبیه سازی بارش رواناب با استفاده از ابزار RRL (مطالعه موردی: ایستگاه رحیم آباد - دشت سیلاخور). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۴)، ۱۳۶۱-۱۳۴۸. https://idj.iaid.ir/article_114907.html

References

- Akbarpour, M., Baharloi D., & Rostami, R. (2006). Employing empirical relationships in estimating the annual runoff of rivers in arid and semi-arid areas. The first regional conference on the optimal use of water resources in the Karun and Zayandeh Rud basins, Shahrekord. <https://civilica.com/doc/7607> [In Persian]
- Anshuman, A., Kunnath-Poovakka, A., & Eldho, T. I. (2021). Performance evaluation of conceptual rainfall-runoff models GR4J and AWBM. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27(4), 365-374. <https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1556124>
- Asadi, T., & Sameei, M. (2010). Evaluation of experimental methods of runoff estimation in Bahman watershed in Fars province. Second National Conference on Agriculture and Sustainable development, Opportunities and Leading Challenges, Islamic Azad University of Shiraz, Shiraz. <https://civilica.com/doc/136846> [In Persian]
- Boughton, W. (2004). The Australian water balance model. *Environmental Modelling & Software*, 19(10), 943-956. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.10.007>
- Boughton, W.C. (1993). A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. *Institution of Engineers, Australia*, 93(14), 317-324. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543026556977024>
- Fathzadeh, A. (1999). Comparison of classic Turk and Kotain methods with their conversion methods in dry areas, master's thesis, Tarbiat Dares University, Noor Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. [In Persian]
- Fayaz, A., & Laith A.B. (2000). Application of a rainfall-runoff model to three catchments in Iraq. *Hydrological Sciences Journal*, 45(1), 13-25. <https://doi.org/10.1080/02626660009492303>
- Fernandez, B., & Pizarro, G. (1994) Estimation regional de recursos hidricos con modelos de función detransferencia. In: XVI IAHR Latinamerican Congress, 3, 233-244. [inSpanish]

- Golian, S., Abrishamchi, A., Tajrishy, M. (2007). A System Dynamics- Based Analysis of Operation Policies for Water Resources at River Basin Scale. *Journal of Water and Wastewater*; Ab va Fazilab, 18(3), 70-80. http://www.wwjournals.ir/article_1809.html [In Persian]
- Hewlett, J.D., & Hibbert, A.P. (1967). Factors affecting response of small watersheds to precipitation in humid areas. In *Forest Hydrology*, Edited by W.E. Sopper and H.W. Lull, 275-290. <http://soilandwater.bee.cornell.edu/research/VSA/papers/HewlettHibbert67.pdf>
- Horton, R.E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions of American Geophysical Union*, 1(14), 446-460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- Jaiswal, R.K., Ali, S., & Bharti, B. (2020). Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall-runoff models. *Appl Water Sci* 10, 48. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1122-6>
- Jones, R. N., F. H.S. Chiew, W. C. Boughton, L. Zhang. (2006). Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models, *Advances in Water Resources*, 29, 1419-1429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.11.001>.
- Kult, J., Choi, W., & Choi, J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. *Applied Geography*, 55, 30-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.011>
- Kunnath-Poovakka, A., & Eldho, T.I. (2019). A comparative study of conceptual rainfall-runoff models GR4J, AWBM and Sacramento at catchments in the upper Godavari river basin, India. *J Earth Syst Sci*, 128, 33. <https://doi.org/10.1007/s12040-018-1055-8>
- Li, Y. (2021). Performance evaluation of Tanh and AWBM rainfall-runoff models. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 768(1), 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/768/1/012048>
- Mahsifar, H., Maknoon, R., & Saghafian, B. (2010). The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level. *Iran-Water Resources Research*, 7(1), 47-58. http://www.iwrr.ir/article_16057.html [In Persian]
- Mohammadivand, M., Araghinejad, S., Ebrahimi, K., & Modaresi, F. (2019). Performance Evaluation of AWBM, Sacramento and SimHyd models in Runoff Simulation of the Amameh Watershed using Automatic Calibration Optimization Method of Genetic Algorithm. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(7), 1759-1769. [In Persian]
- Nabizadeh, M., Mosaedi, & A., Dehghani, A. (2012). Intelligent estimation of stream flow by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Water and Irrigation Management*, 2(1), 69-80. <https://dx.doi.org/10.22059/jwim.2012.25093> [In Persian]
- Onuchin, A., Balzter, H., Borisova, H., & Blyth, E. (2006). Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia. *Advances in Water Resources*, 29, 1314-1327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.10.006>
- Pourkhairullah, Z., Hafez Parast, M., & Fatemi, S.E. (2016). Change in precipitation, temperature and discharge parameters under the scenario of radiation causing radiation (study area: Dehhran city). Second National Conference of Iranian Hydrology, Shahrekord University, Shahrekord. <https://civilica.com/doc/661416> [In Persian]
- Rabbani Fard, M. (1400). Comparison and evaluation of AWBM and IHACRES models in rainfall-runoff modeling (case study: catchment basin). 10th International Conference on Rain Catchment Surface Systems. <https://civilica.com/doc/1411242> [In Persian]
- Raghunath, H.M., (1997). *Hydrology (Principal-Analysis-Design)*. New Age International Pub, India. https://www.academia.edu/9702447/Hydrology_Principles_Analysis_Design
- Sajai bami, Y., Porhemmat, J., Sedghi, H., & Navid Jalalkamali, N. (2020). Comparison of MIKE NAM and AWBM models performance in simulation of daily runoff in mountainous regions. *Journal of water and soil resources protection*, 10(3), 1-14. https://journals.srbiau.ac.ir/article_17751.html [In Persian]

- Salamian, S.S., Mamenposh, A., Nasri, Z., & Etimadi, H. (2006). Analysis of runoff coefficients and correlation between runoff and precipitation in Bazefat basin. The first regional conference on exploitation of water resources of Karun and Zayandeh Rud basins (opportunities and challenges), Shahrekord. <https://civilica.com/doc/7615> [In Persian]
- Shah Mohammadi Heydari, Z., & Panjke, N. (2008). Validation of empirical relationships of annual water waste estimation in Khuzestan plain watersheds, First International Water Crisis Conference, Zabol University, Zabol. <https://civilica.com/doc/64336> [In Persian]
- Shahavi, S.V., Parhamt, J., Sedki, H., & Hosseini, M. (2018) Evaluation and comparison of two hydrological models, AWBM and SWAT, in simulating the monthly runoff of Qarasu River, National Conference on Water and Hydraulic Structures, Dezful. <https://civilica.com/doc/746374> [In Persian]
- Shahoei, S., & Porhemmat, J. (2019). Comparison and Assessment of Two Lumped AWBM and Semi-Distributed SWAT Models in Monthly Runoff Simulation of Gharah-Sou River in Kermanashah Province, Iran. *Environment and Water Engineering*, 5(1), 71-82. <https://dx.doi.org/10.22034/jewe.2019.143387.1275> [In Persian]
- Sharifi, F. (1997). Evaluation of three continuous rainfall-runoff models, a new approach. *Proceeding of the 8th International Conference on Rainwater Catchments Systems*, Tehran, Iran. 10-14 April pp. 416-432. http://irca.ir/files/site1/english/conference/pdf/8th/0416_shrifi.pdf
- Sharifi, F., & Arvandi, S. (2018). Evaluation of hydrological processes by analyzing measurement data and simulation models in the watersheds of Golestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(1), 43-61. <https://dx.doi.org/10.22092/ijwmse.2018.101428.1013> [In Persian]
- Tahmasabi, R., Sharifi, F., Kaveh, F., & Tosli, A. (2007). Evaluation of the application of the Area Water Balance Model (AWBM) in the estimation of surface runoff for the design of small-scale catchment systems. *Research and Construction*, 19 (3), 161-170. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=84041> [In Persian]
- Yin, H., Wang, F., Zhang, X., Zhang, Y., Chen, J., Xia, R., & Jin, J. (2022). Rainfall-Runoff Modeling Using Long Short-Term Memory based Step-Sequence Framework. *Journal of Hydrology*, 127901. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127901>
- Yonesi, H., yousefi, H., Arshia, A., & Yarahmadi, Y. (2020). Runoff Rainfall Simulation using RRL Toolkit (Case Study: Rahim Abad Station - Silakhor Plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1348-1361. https://idj.iaid.ir/article_114907.html [In Persian]



Laboratory investigation of the effect of using riprap and vegetation on the scour around the bridge abutment

Elahe Alizadeh Mahani¹ , Kouros Qaderi² , Mohammad Mahdi Ahmadi³ ,
Mohammad Reza Madadi⁴ 

¹ Ph. D student of Hydraulic Structures, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: alizadee91@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor of Hydraulic Structures, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: kourosqaderi@uk.ac.ir

³ Associate Professor of Hydraulic Structures, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: ahmadi-mm@uk.ac.ir

⁴ Assistant Professor of Water Structures, Water Engineering Department, University of Jiroft, Jiroft, Iran. E-mail: madadi@ujroft.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

One of the most important factors of damage and failure of hydraulic structures is the occurrence of local scouring around them. Scour is a natural phenomenon that occurs due to the flow of water in rivers and streams. If a hydraulic structure such as a bridge pier or abutment is placed against the flow of water, the flow pattern near the structure changes and causes scouring phenomenon locally around these structures.

To control scouring around the bridge abutments, various methods have been proposed, which are generally divided into two categories: flow pattern modification methods and bed protection methods. Among the substrate protection methods that have been examined in this research is the use of riprap and vegetation, because riprap and vegetation are both fully available and inexpensive tools for protecting the base and abutment of the bridge are known to be washed away.

Methodology

The experiments were carried out in the hydraulics and water structures research laboratory of the water engineering department of Shahid Bahonar University of Kerman. In this study, two 90-degree rectangular abutment and a rectangular abutment with circular walls were used, both are galvanized with 10 cm long, 45 cm high and 6 cm wide dimensions (the abutment which is perpendicular to the flow was chosen as the width of the abutment). A long-term reference test has done during 12 hours at a flow rate of 34 liters per second for each of the abutments, the equilibrium time was estimated to be 5 hours. After the reference test for each of the abutments, it was observed that the maximum scour depth around the 90-degree rectangular abutment was 1.01 and the rectangular abutment with circular fins was 0.36. It should be noted that the numbers are dimensionless compared to the length of the abutment.

Generally, the purpose of the present study is to reduce erosion by means of two protection tools, riprap and vegetation around the bridge abutment, and for this purpose, during 30 tests and in three categories, the effect of using two riprap tools and Vegetation has been investigated separately and at the same time to control the scouring of 90 degree rectangular and rectangular abutment with circular walls. In the first group of experiments, riprap tests were performed, where riprap while sharp-edged were used in three diameters of 2.7, 6.81 and 12 mm and density of 2.65. The thickness of the riprap layer is twice the average diameter of the stone, with a rectangular arrangement and parallel to the bed material. In the second stage, the vegetation tests were performed and the vegetation was selected for both abutments under a checkerboard arrangement, in three density percentages of 0.64, 1.19 and 2.8, flexible and submerged. In the last stage of the experiments, the simultaneous effect of stonework and vegetation was investigated.

Results and discussion

As mentioned, the experiments were conducted in three phase, in the first phase, the effect of the riprap on the scour around the two abutments was investigated during 6 tests and it was observed that among the three available diameters, the 12 mm diameter riprap showed a better performance in scouring around both abutments and the scouring around the rectangular abutment was 85% compared to the control test, and the scour around the rectangular abutment with circular walls reduced by 53% compared to the control test.

In the second phase, the effect of vegetation protection measures on the scour around the abutments was investigated, and among the percentages used in this research, the percentage of 1.19% was the best for both abutments and it reduced the scour around the 90-degree rectangular abutment by 84%, and around the rectangular abutment with circular walls by 81% compared to the control test of each abutment.

In the last phase, the simultaneous effect of riprap and vegetation on the scuir around the abutments was investigated. According to the obtained results, for both abutments, the minimum scouring depth occurred in the case where riprap with a diameter of 6.81 mm and vegetation with a percentage of 1.19% was used, which reduced the scour around the 90-degree rectangular abutment by 93% and around the rectangular abutment with circular walls by 68% compared to the control test.

Conclusions

The purpose of this research was to investigate the impact of riprap (in three diameters of 2.7, 6.81, and 12 mm) and vegetation (in three density percentages of 0.64, 1.19, and 2.8) Separately and simultaneously on the local scour around bridge abutment. Two rectangular abutments including 90 degrees and a rectangular abutment with circular walls were used.

The following results were obtained:

- The 12 mm diameter riprap reduced scouring around the rectangular abutment by 85%, and scouring around the rectangular abutment with circular walls by 53% compared to the control test.

- Vegetation with a density percentage of 1.19% reduces scour around the 90-degree rectangular abutment by 84% and the scour around the rectangular abutment with circular walls by 81% compared to the control test of each abutment.

In case of simultaneous use of riprap and vegetation, riprap with a diameter of 6.81 mm and vegetation with a density of 1.19% scouring around the rectangular abutment 90 degrees 93% and around the reduced the rectangular abutment with circular walls by 68%.

Keywords: Vegetation, Bed protection, Riprap, Erosion, Laboratory model

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 11 August 2022 **Revised:** 10 October 2022 **Accepted:** 09 November 2022 **ePublished:** 22 November 2022

Cite this article: Alizadeh Mahani, E., Qaderi, K., Ahmadi, M.M., & Madadi, M.R. (2022). Laboratory investigation of the effect of using riprap and vegetation on the scour around the bridge abutment, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3),73-90. DOI: 10.22126/ATWE.2022.8429.1030

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از سنگ چین و پوشش گیاهی بر آب شستگی اطراف تکیه گاه پل

الهه علیزاده ماهانی^۱، کورش قادری^۲✉، محمد مهدی احمدی^۳، محمدرضا مددی^۴

^۱ دانشجوی دکتری سازه های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: alizadee91@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار سازه های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: kouroshqaderi@uk.ac.ir

^۳ دانشیار سازه های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: ahmadi-mm@uk.ac.ir

^۴ استادیار سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: madadi@ujiroft.ac.ir

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر استفاده از سنگچین و پوشش گیاهی بر کاهش آب شستگی اطراف تکیه گاه پل است. به همین منظور در ۳۰ آزمایش در سه گروه، از دو ابزار سنگچین و پوشش گیاهی به صورت جداگانه و هم زمان برای کنترل آب شستگی تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با دیواره های دایره ای استفاده شد. در ابتدا، آزمایش های سنگچین انجام شد. در این آزمایش ها سنگچین تیز گوشه در قطرهای ۲/۷، ۶/۸۱ و ۱۲ میلی متر و چگالی ۲/۶۵ مورد استفاده قرار گرفت. ضخامت لایه سنگچین دو برابر قطر متوسط سنگچین، چیدمان مستطیلی و هم تراز با مصالح بستر در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که سنگچین با قطر ۱۲ میلی متر آب شستگی اطراف تکیه گاه مستطیلی را ۸۵ درصد و اطراف تکیه گاه مستطیلی با دیواره های دایره ای را ۵۳ درصد کاهش داد. در مرحله دوم آزمایش های پوشش گیاهی انجام شدند و پوشش گیاهی برای هر دو تکیه گاه تحت آرایش شطرنجی، در سه درصد تراکم ۰/۶۴، ۱/۱۹ و ۲/۸، انعطاف پذیر و مستغرق انتخاب شد. مطابق نتایج حاصله، درصد تراکم ۱/۱۹ برای هر دو تکیه گاه بهترین عملکرد را داشته و آب شستگی را در اطراف تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه ۸۴ درصد و مستطیلی با دیواره های دایره ای ۸۱ کاهش داد. در آخرین مرحله از آزمایش ها، تأثیر هم زمان سنگچین و پوشش گیاهی بررسی شد. سنگچین با قطر ۶/۸۱ میلی متر و پوشش گیاهی با درصد تراکم ۱/۱۹ درصد بهترین نتیجه را داشته به گونه ای که آب شستگی در اطراف تکیه گاه مستطیلی ۹۳ درصد و اطراف تکیه گاه مستطیلی با دیواره های دایره ای را ۶۸ درصد کاهش داد.

واژه های کلیدی: پوشش گیاهی، حفاظت بستر، سنگچین، فرسایش، مدل آزمایشگاهی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۰ مرداد ۱۴۰۱ اصلاح: ۱۸ مهر ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۸ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: علیزاده ماهانی، ا.، قادری، ک.، احمدی، م.م.، مددی، م.ر. (۱۴۰۱). بررسی آزمایشگاهی تأثیر استفاده از سنگچین و پوشش گیاهی بر آب شستگی اطراف تکیه گاه

پل، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۲(۳)، ۷۳-۹۰. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.8429.1030



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب و تخریب سازه‌های هیدرولیکی وقوع آب شستگی موضعی در اطراف آن‌ها است. آب شستگی پدیده‌ای طبیعی است که در اثر جریان آب در رودخانه‌ها و نهرها اتفاق می‌افتد. چنانچه سازه هیدرولیکی نظیر پایه یا تکیه‌گاه پل در برابر جریان آب قرار گیرد، الگوی جریان در نزدیک سازه تغییر کرده و باعث ایجاد پدیده آب شستگی به صورت موضعی در پیرامون این سازه‌ها می‌گردد (سامر و فردسو، ۲۰۰۲). از مهم‌ترین عوامل ایجاد پدیده آب شستگی موضعی، جریان رو به پایین، جریان کم‌انرژی، گرداب نعل اسبی، گرداب ثانویه و گرداب بر خاستگی هستند (دی و باربوئی، ۲۰۰۴). مطالعات انجام‌شده نشان داده است که حدود هزار پل در طی ۳۰ سال گذشته در ایالات متحده آمریکا تخریب شده‌اند، که حدود ۶۰ درصد این تخریب‌ها به علت آب شستگی پایه و تکیه‌گاه پل بوده‌اند (گارسیا، ۲۰۰۸). در کشور ایران نیز مطابق گزارش اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، حدود ۳۷ درصد خرابی پل‌ها ناشی از آب شستگی پایه‌های میانی و کناری آن‌ها است (خادمی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، حفاظت از تکیه‌گاه‌های پل در مقابل آب شستگی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برای کنترل آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه‌های پل، روش‌های مختلفی ارائه گردیده است که به‌طور کلی به دودسته روش‌های اصلاح الگوی جریان و روش‌های حفاظت از بستر تقسیم می‌شوند. از جمله روش‌های حفاظت از بستر که در تحقیق حاضر بررسی شده است استفاده از سنگ‌چین و پوشش گیاهی است زیرا که سنگ‌چین و پوشش گیاهی هر دو به‌عنوان ابزاری کاملاً در دسترس و ارزان قیمت به‌عنوان حفاظت از پایه و تکیه‌گاه پل در برابر آب شستگی شناخته شده‌اند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه به‌طور گسترده توسط محققان زیادی مطالعه شده و همگی آن را به‌عنوان یک گزینه اقتصادی و زیست‌محیطی شناخته‌اند. از نقطه نظر هیدرولیکی، پوشش گیاهی باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و کاهش میزان انتقال جریان می‌شود. حضور پوشش گیاهی در طول یک رودخانه منجر به شرایط هیدرولیکی متغیر مکانی می‌شود، بنابراین در الگوهای مکانی فرسایش و ته‌نشینی رسوب اثر می‌گذارد. اثر مسدودکنندگی پوشش گیاهی داخل کانال باعث افزایش مقاومت برشی جریان، اتلاف انرژی و کاهش تنش برشی بستر می‌شود (نصیری ده‌سرخ و همکاران، ۲۰۱۱). پوشش گیاهی در چند دسته قابل تقسیم‌بندی است: پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق، انعطاف‌پذیر و صلب، پوشش گیاهی واقع در دیواره رودخانه و پوشش کف رودخانه. اغلب پژوهش‌ها پیرامون شناخت تعامل پوشش گیاهی و جریان تحت شرایط کنترل‌شده بر روی پوشش گیاهی مصنوعی و در فلوم آزمایشگاهی انجام شده‌اند مانند (قیسال برتی و نف، ۲۰۰۴) و (ارتیز و همکاران، ۲۰۱۳). بخشی (۱۳۹۰) تأثیر شکل هندسی تکیه‌گاه و پوشش گیاهی بر آب شستگی اطراف تکیه‌گاه پل را بررسی کرده و نشان داد که پوشش گیاهی موجب کاهش آب شستگی اطراف تکیه‌گاه شد. پنگ^۷ (۲۰۱۵) مطالعه‌ای آزمایشگاهی بر روی ویژگی‌های حفره‌های آب شستگی اطراف پوشش گیاهی با تراکم یکنواخت انجام داد. نتایج نشان داد که عرض حفره و پشته ایجادشده در اطراف پوشش گیاهی متناسب با

1 Sumer & Fredsoe

2 Dey & Barbuiya

3 Garcia

4 Nasiri Dehsorkhi et al

5 Ghisalberti & Nepf

6 Ortiz et al

7 Peng

تراکم پوشش گیاهی هستند و طول حفره و پشته ایجادشده در اطراف پوشش گیاهی با تراکم نسبت معکوس دارد. یاغچی و همکاران^۱ (۲۰۱۶) ویژگی‌های آب شستگی اطراف پوشش گیاهی را به‌صورت آزمایشگاهی مطالعه کردند. نتایج نشان داد خمیدگی پوشش گیاهی و افزایش اندازه آن باعث کاهش مشخصات آب شستگی در مقایسه باحالت بدون پوشش گیاهی می‌شود. رضانی و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر پوشش گیاهی دشت سیلابی بر آب شستگی تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب را بررسی کردند. نتایج نشان داد، در یک طول تکیه‌گاه و عمق آب ثابت، با افزایش تراکم پوشش گیاهی، عمق آب شستگی کاهش یافته که این کاهش عمق، دارای یک نرخ افزایشی است. رضانی و قمشی (۱۳۹۳) به مطالعه تنش برشی بستر اطراف تکیه‌گاه پل در حضور پوشش گیاهی صلب غیرمستغرق روی دشت سیلابی پرداختند و بیان کردند بیش‌ترین میزان تنش برشی در دماغه بالادست تکیه‌گاه بوده و در حضور پوشش گیاهی تنش برشی دماغه تکیه‌گاه کاهش یافته و تنش برشی در آبراهه اصلی مقطع مرکب افزایش پیدا کرده است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر پوشش گیاهی بستر آبراهه تحت شرایط مستغرق و در سه تراکم متفاوت را بر جریان و فرم بستر مطالعه کردند. آن‌ها اظهار کردند وجود پوشش باعث ایجاد مقاومت در برابر جریان و افزایش عمق شده و همچنین با افزایش تراکم پوشش گیاهی، مقدار فرسایش بستر نسبت به شرایط اولیه افزایش یافته است. نبئی (۱۳۹۶) از پوشش گیاهی به‌منظور بررسی ساختار جریان در آب شستگی موضعی تکیه‌گاه پل با مقطع نیم بیضی استفاده کردند و مشخص شد حضور پوشش گیاهی سبب کاهش عمق و زمان تعادل آب شستگی می‌گردد. امیر و همکاران^۲ (۲۰۱۸) با بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های آب شستگی اطراف دیواره‌ی کناری تکیه‌گاه پل به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی در کانال باعث کاهش آب شستگی موضعی در اطراف تکیه‌گاه پل می‌شود. توکلی نژاد الله‌آبادی و محسنی (۱۳۹۹) به مطالعه نیم‌رخ عمقی سرعت در آبراهه مرکب با پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت پرداختند و بدین منظور از پوشش گیاهی در دو چیدمان خطی و شطرنجی، سه تراکم و پنج عمق نسبی مختلف بهره بردند. بررسی تأثیر تراکم بر نیم‌رخ عمقی سرعت نشان داد که با افزایش تراکم، سرعت در آبراهه اصلی افزایش و در سیلاب‌دشت کاهش می‌یابد. رجبی‌زاده (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر طوق در حضور پوشش گیاهی صلب و انعطاف‌پذیر بر آب شستگی پایه پل پرداخت و گزارش کرد که ترکیب طوقه و پوشش گیاهی نسبت به حالت‌های استفاده مجزا از این اقدامات حفاظتی، تأثیر بیش‌تری در کاهش عمق و ابعاد حفره آب شستگی داشت. دانکو و همکاران (۱۴۰۱) تحقیقی را باهدف بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان نزدیک شونده به پایه پل در مقاطع مرکب با حضور پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت انجام داد. آزمایش‌ها با پوشش گیاهی صلب غیرمستغرق و چهار تراکم مختلف پوشش گیاهی انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که به دلیل زبری پوشش گیاهی درون سیلاب‌دشت با افزایش تراکم پوشش گیاهی مقدار تنش برشی ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. شهسواری (۱۴۰۱) ضمن تحقیق در مورد تأثیر پوشش گیاهی منعطف مستغرق در سیلاب‌دشت بر شرایط جریان و نقش آن در کانال‌های مرکب پیچان‌رود در دو عمق نسبی، اظهار داشت حضور پوشش گیاهی ظرفیت انتقال توسط کانال مرکب را به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان کاهش داده است.

همان‌طور که بیان شد، یکی از روش‌های حفاظتی مورد مطالعه در این پژوهش، سنگ‌چین است. اساس استفاده از سنگ‌چین بر پایه مقاوم‌سازی مصالح بستر توسط مصالحی تحت عنوان ریپرپ یا سنگ‌چین است. جهت کاهش احتمال شکست پل در پل‌هایی که در معرض آب شستگی قرار دارند از مصالح ریپرپ باقابلیت مقابله با تنش‌های برشی حاصل از جریان استفاده می‌گردد. لایه ریپرپ شکل‌پذیر بوده و با نشست یا جابجایی سطح زیر آن دچار خرابی نمی‌شود و خرابی‌های موضعی نیز به سهولت رفع شده و از لحاظ دوام و مقاومت در سطح بالایی قرار دارد. مصالح مورد استفاده به‌عنوان ریپرپ باید از جنس مناسب و از نوع سنگ سالم بدون درز و ترک و مقاوم در مقابل فرسایش، هوازدهی، خشک و تر شدن و انجماد و ذوب مکرر باشند. استفاده از سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه، مقاومت مواد بستر را در برابر فرسایش بالا برده و از حرکت ذرات

1 Yagci et al

2 Amir et al

جلوگیری می‌کند. آنگر و هانگر (۲۰۰۶) سه مکانیسم مختلف لغزش، تخریب زیرسطحی و غلط زدن را برای سنگ‌چین اطراف تکیه‌گاه‌های پل معرفی کردند. کاردوسو و فیل (۲۰۰۹) آزمایش‌هایی را در حضور چهار طول مختلف تکیه‌گاه، سه اندازه مختلف سنگ‌چین و دو نوع ماسه مختلف انجام داده و گزارش کردند که قطر سنگ‌چین به عدد فرود و به طول دیواره تکیه‌گاه بستگی دارد و با افزایش تعداد لایه‌های سنگ‌چین می‌توان فرسایش اطراف تکیه‌گاه را به حداقل رساند. منصوری و شفافی بجنستان (۱۳۹۲) تأثیر رقوم قرارگیری سنگ‌چین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰ درجه را بررسی کردند. در این تحقیق از سنگ‌چین در سه سطح هم‌تراز، بالاتر و پایین‌تر از رسوبات بستر در قطرها و چگالی‌های متفاوت استفاده شد و در نهایت سنگ‌چین هم‌تراز با بستر بیش‌ترین میزان پایداری و سنگ‌چین بالاتر از بستر کم‌ترین میزان پایداری را داشتند. ناصریان و مسجدی (۲۰۱۸) تحقیقی تحت عنوان بررسی اندازه قطر سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه انجام دادند و نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد با افزایش عدد فرود، قطر نسبی سنگ‌دانه‌ها در دو حالت آستانه حرکت و شکست افزایش می‌یابد. کریمیایی طبرستانی و همکاران (۱۳۹۴) با برآورد ابعاد مختلف سنگ‌چین بر روی پایه‌های پل با مقطع مستطیلی و در دو حالت محافظت‌شده با طوق و بدون طوق، نشان دادند که در حالت پایه‌های محافظت‌شده با طوق به علت حفاظت از بستر دور پایه توسط طوق، محدوده سنگ‌چین طراحی نسبت به حالت بدون طوق کمتر است که میزان کاهش بستگی به زاویه قرارگیری پایه دارد. حسین رضا و همکاران (۱۳۹۸) کاربرد هم‌زمان سنگ‌چین و المان‌های شش‌پایه در کنترل عمق آب شستگی اطراف تکیه‌گاه پل مستطیل شکل را به صورت آزمایشگاهی مطالعه کردند. مشاهدات نشان از تأثیر قابل ملاحظه‌ی ترکیب هم‌زمان سنگ‌چین و المان‌های شش‌پایه داشت به طوری که توانست تا ۹۷ درصد عمق آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه را کاهش دهد. ذوالقدر و همکاران (۱۳۹۹) با کمک المان‌های شش‌پایه و سنگ‌ریزه سعی کردند تا آب شستگی در اطراف دو تکیه‌گاه دیواره باله‌ای و قائم را مهار کنند. در پایان مشاهده گردید که کارگذاری سنگ‌ریزه و المان‌های شش‌پایه می‌تواند آب شستگی پیرامون تکیه‌گاه بالی شکل را به طور کامل حذف کرده و آب شستگی اطراف تکیه‌گاه دیواره قائم را تا ۷۰ درصد کاهش دهد.

در این پژوهش ۳۰ آزمایش در سه گروه استفاده از سنگ‌چین، استفاده از پوشش گیاهی به صورت منفرد، در نهایت ترکیب هم‌زمان سنگ‌چین و پوشش گیاهی انجام شدند. به طور کلی در آزمایش‌ها سه هدف ذیل دنبال شد:

۱. بررسی اثرات استفاده از پوشش گیاهی در حالت انعطاف‌پذیر و مستغرق بر میزان آب شستگی اطراف دو تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با باله‌های دایره‌ای.

۲. بررسی اثرات استفاده از سنگ‌چین در ابعاد مختلف بر میزان آب شستگی اطراف دو تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با باله‌های دایره‌ای.

۳. بررسی تأثیر استفاده هم‌زمان از سنگ‌چین و پوشش گیاهی بر میزان آب شستگی تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با باله‌های دایره‌ای.

در تحقیقات گذشته تأثیر هم‌زمان سنگ‌چین و پوشش گیاهی بر آب شستگی تکیه‌گاه پل بررسی نشده است اما در پژوهش حاضر به عنوان یک اقدام نوین، تأثیر سنگ‌چین و پوشش گیاهی به صورت منفرد و هم‌زمان بر آب شستگی اطراف دو تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و تکیه‌گاه مستطیلی با باله‌های دایره‌ای بررسی گردیده است تا بتوان نتایج هر سه حالت را باهم مقایسه نموده و به بهترین حالت ممکن به منظور کاهش آب شستگی اطراف تکیه‌گاه دست پیدا کرد.

1 Unger & Hager

2 Cardoso & Fael

3 Naserian & Masjedi

روش پژوهش تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر بر آب شستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه پل با گوشه‌ی قائم در حضور اقدام حفاظتی سنگ‌چین و پوشش گیاهی عبارت‌اند از:

$$d_s = f((h, U, \rho, g, \mu), (L_a, B_a), (d_{50}, \rho_s), (s, D_v, h_v), (d'_{50}, \rho'_s), B) \quad (1)$$

در رابطه (۱) حداکثر عمق آب شستگی، h عمق جریان، U سرعت جریان، ρ دانسیته جریان، g شتاب گرانش، μ لزجت دینامیکی سیال، L_a طول تکیه‌گاه، B_a عرض تکیه‌گاه، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی، ρ_s دانسیته رسوبات بستر، S تراکم پوشش گیاهی، D_v قطر پوشش گیاهی، h_v ارتفاع پوشش گیاهی، d'_{50} قطر متوسط ذرات سنگ‌چین، ρ'_s چگالی ذرات سنگ‌چین و B عرض کانال می‌باشد.

با اعمال قانون باکینگهام و با در نظر گرفتن (ρ, h, L_a) به‌عنوان متغیر تکراری در رابطه ۲ خواهیم داشت:

خواهیم داشت:

$$\frac{d_s}{L_a} = f\left(\frac{h}{L_a}, \frac{gL_a}{U^2}, \frac{\rho UL_a}{\mu}, \frac{d_{50}}{L_a}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{B_a}{L_a}, S, \frac{D_v}{L_a}, \frac{h_v}{L_a}, \frac{d'_{50}}{L_a}, \frac{\rho'_s}{\rho}, \frac{B}{L_a}\right) \quad (2)$$

که در آن $Re = \frac{\rho U h}{\mu}$ و $Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}}$ به ترتیب عدد فرود و عدد رینولدز جریان هستند. با توجه به اینکه عدد رینولدز در محدوده انجام این آزمایش‌ها بیش از ۲۰۰۰ است، جریان در محدوده آشفته بود. در این پژوهش عدد فرود کوچک‌تر از یک بوده و لذا جریان زیربحرانی است ($Fr < 1$). در این تحقیق پارامترهای مربوط به سیال (سرعت جریان، عمق جریان و دانسیته سیال)، پارامترهای هیدرولیکی، هندسه فوم، طول و عرض تکیه‌گاه، چگالی ذرات سنگ‌چین، قطر و ارتفاع پوشش گیاهی ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط حاکم بر آزمایش‌های این پژوهش و حذف پارامترهایی که تأثیری بر پدیده آب شستگی ندارند نتایج در قالب رابطه (۳) ارائه گردید:

$$\frac{d_s}{L_a} = f(S, \frac{d'_{50}}{L_a}) \quad (3)$$

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گردید. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده دارای طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر است. میزان جریان ورودی به مخزن توسط دبی سنج حجمی که روی لوله انتقال آب نصب شده قابل قرائت بود. از یک شیرفکله پروانه‌ای جهت تنظیم جریان ورودی به کانال استفاده شد. به‌منظور اطمینان از توسعه‌یافتگی کامل جریان، بستر رسوبی به طول سه متر در فاصله چهار متری از ابتدای ورودی کانال آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از فرسایش رسوبات در بالادست و پایین‌دست محدوده رسوبی از دو سطح شیب‌دار استفاده گردید. طول بستر رسوبی سه متر، ضخامت آن ۱۴ سانتی‌متر و عرض آن برابر عرض کانال (۸۰ سانتی‌متر) بوده است. بنا بر توصیه رادکیوی (۱۹۹۸) برای جلوگیری از تشکیل ریبیل روی بستر رسوبی، از ذرات رسوبی با اندازه بزرگ‌تر از ۰/۹ میلی‌متر استفاده شد. اندازه متوسط ذرات بستر رسوب ۰/۹۱ میلی‌متر و ضریب یکنواختی ۱/۴ است. معیار زمان تعادل در آزمایش‌ها این پژوهش معیاری است که کومار و همکاران در تحقیقات خود در نظر گرفتند و برابر مدت‌زمانی است

که تغییرات عمق آب شستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد (کومار و همکاران، ۱۹۹۹). در تحقیق حاضر نیز پس از انجام یک آزمایش بلندمدت ۱۲ ساعته در دبی ۳۴ لیتر بر ثانیه برای هر یک از تکیه‌گاه‌ها، زمان تعادل برابر ۵ ساعت برآورد شد. پس از انجام آزمایش شاهد برای هر یک از تکیه‌گاه‌ها ملاحظه گردید که حداکثر عمق آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه برابر ۱/۰۱ و تکیه‌گاه مستطیلی با باله‌های دایروی ۰/۳۶ به دست آمد. لازم به ذکر است کلیه عمق‌های به‌دست‌آمده، نسبت به عرض تکیه‌گاه بی‌بعد شده‌اند.

در این پژوهش از دو تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای استفاده شد که هر دو تکیه‌گاه از جنس گالوانیزه و به طول ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر و عرض ۶ سانتی‌متر استفاده گردید (بعدی از تکیه‌گاه که عمود بر جریان است، به‌عنوان عرض تکیه‌گاه انتخاب گردید). در شکل (۱) نمایی از دو تکیه‌گاه نشان داده شده است.

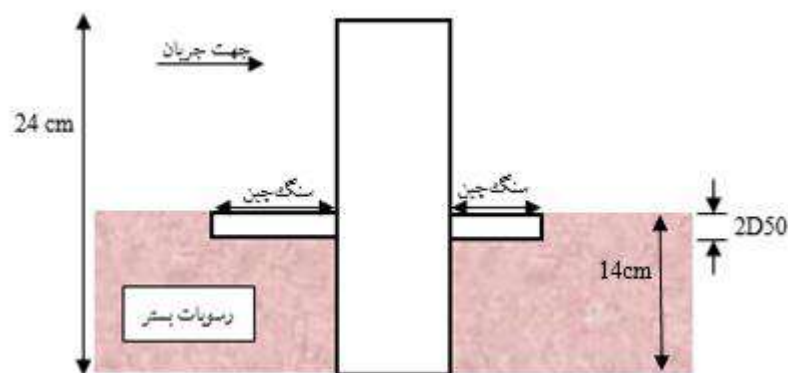


شکل ۱. نمایی از (a) تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و (b) تکیه‌گاه مستطیلی با باله‌های دایره‌ای

در این تحقیق از سنگ‌چین در سه قطر ۲/۷، ۶/۸۱ و ۱۲ میلی‌متر و چگالی ۲/۶۵ استفاده شد که همه آن‌ها تیز گوشه با دانه‌بندی یکنواخت بودند. برای تعیین وسعت سنگ‌چین ابتدا بایستی آزمایشی بدون قرارگیری سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه به‌منظور بررسی حداکثر ابعاد گودال آب شستگی اطراف تکیه‌گاه انجام می‌شد؛ لذا دو آزمایش مجزای ۱۲ ساعته برای هر تکیه‌گاه انجام شد تا در نهایت حداکثر ابعاد گودال آب شستگی برای هر یک از تکیه‌گاه‌ها به دست آمد. بعد از اتمام آزمایش ۱۲ ساعته (شاهد) عمق آب شستگی اطراف تکیه‌گاه اندازه‌گیری شد. بدین‌صورت محدوده چینش سنگ‌چین در اطراف هر تکیه‌گاه تعیین شد که برای تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه ابعاد این محدوده ۲۰cm×۴۴cm و برای تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایروی ۱۶cm×۳۴cm به دست آمد. پس از تعیین محدوده جایگذاری سنگ‌چین، بر اساس مطالعات ملویل و همکاران^۲ (۲۰۰۷) و منصوری و شفاعی بجستان (۱۳۹۲) شکل چیدمان سنگ‌چین در اطراف دو تکیه‌گاه به‌صورت مستطیلی و هم‌تراز با مصالح بستر در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به معیار ارائه‌شده توسط ملویل (۲۰۰۷) ضخامت لایه سنگ‌چین دو برابر قطر متوسط سنگ‌چین انتخاب شد. در شکل (۲) سنگ‌چین به‌کاررفته در اطراف تکیه‌گاه به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

¹ Kumar

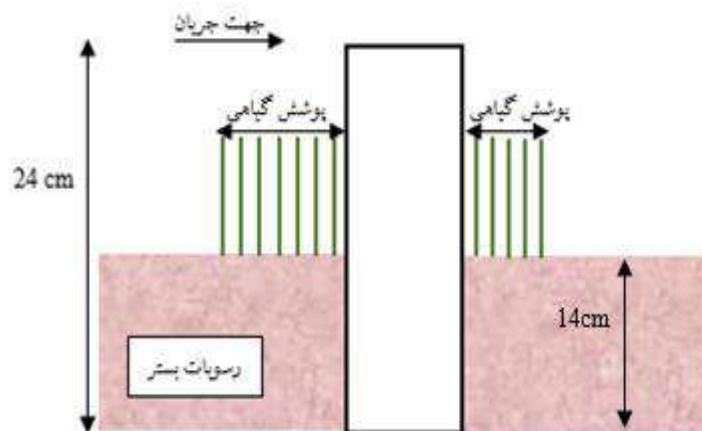
² Melville et al



شکل ۲. سنگ‌چین به‌کاررفته در اطراف تکیه‌گاه

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، محدوده کارگذاری سنگ‌چین در جلوی تکیه‌گاه وسیع‌تر از پشت تکیه‌گاه است، چراکه طول حفره آب شستگی در این قسمت بزرگ‌تر بود.

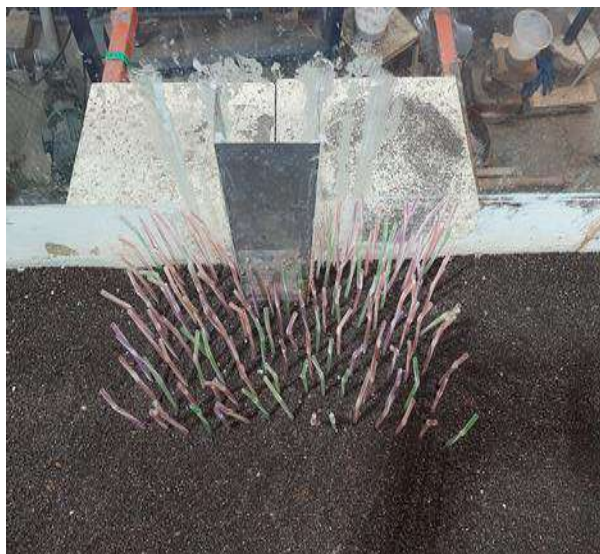
در مرحله‌ی بعدی آزمایش‌ها، یعنی آزمایش‌های تعیین مشخصات پوشش گیاهی نیز همانند آزمایش‌های مربوط به سنگ‌چین، ابتدا محدوده و ابعاد گودال آب شستگی توسط آزمایش شاهد برای دو تکیه‌گاه مستطیلی ساده و مستطیلی با دیواره‌های دایروی مشخص شد و سپس آزمایش‌ها مربوط به پوشش گیاهی آغاز گردیدند. در پژوهش حاضر حالت انعطاف‌پذیر و مستغرق پوشش گیاهی انتخاب شد و بدین منظور از میله‌های پلاستیکی نرم و منعطف برای مدل‌سازی پوشش گیاهی استفاده شد. در شکل (۳) نمای شماتیکی از پوشش گیاهی به‌کاررفته در اطراف تکیه‌گاه نشان داده شده است.



شکل ۳. پوشش گیاهی به‌کاررفته در اطراف تکیه‌گاه

در شکل (۳) نیز مانند حالت کارگذاری سنگ‌چین، ابعاد محدوده کارگذاری پوشش گیاهی در جلوی تکیه‌گاه بزرگ‌تر از پشت تکیه‌گاه است، چراکه حفره آب شستگی پیشروی کم‌تری به پشت تکیه‌گاه داشته است، بنابراین طول حفره در جلوی تکیه‌گاه بزرگ‌تر از پشت تکیه‌گاه است. پوشش گیاهی با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر و شعاع ۰/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که با این ارتفاع، پوشش گیاهی کاملاً در آب

به صورت مستغرق بود. در شکل (۴) نیز نمایی از پوشش گیاهی با درصد تراکم ۱/۱۹ در اطراف تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه نشان داده شده است.



شکل ۴. نمایی از پوشش گیاهی به کاررفته در اطراف تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه

برای هر دو تکیه گاه آرایش شطرنجی و از سه درصد تراکم ۰/۶۴، ۱/۱۹ و ۲/۸ استفاده گردید. نحوه محاسبه درصد تراکم از رابطه (۴) و پوشش گیاهی از رابطه (۵) به دست آمده است.

$$S = \frac{A_v}{A_T} \times 100 \quad (4)$$

$$A_v = N_v \times a_v \quad (5)$$

در این روابط، S درصد تراکم پوشش گیاهی، A_T مساحت محدوده استقرار پوشش گیاهی، A_v سطح اشغال شده توسط پوشش گیاهی، N_v تعداد المان های پوشش گیاهی و a_v سطح مقطع هر المان پوشش گیاهی است. با توجه به این که ابعاد گودال آب شستگی دو تکیه گاه باهم متفاوت بود، لذا مساحت محدوده استقرار پوشش گیاهی نیز برای هر تکیه گاه متفاوت خواهد بود (تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه ۸۲۰ سانتی متر مربع و تکیه گاه مستطیلی با باله های دایره ای ۴۷۰ سانتی متر مربع). تعداد المان های پوشش گیاهی و درصد تراکم مربوط به هر یک از تکیه گاه ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. درصد تراکم و تعداد المان های پوشش گیاهی به کاررفته برای هر تکیه گاه

تعداد المان	درصد تراکم	نوع تکیه گاه
۱۱۷	۲/۸	مستطیلی ۹۰ درجه
۵۰	۱/۱۹۷	مستطیلی ۹۰ درجه
۲۷	۰/۶۴	مستطیلی ۹۰ درجه
۶۷	۲/۸	مستطیلی با باله های دایره ای
۲۸	۱/۱۹۷	مستطیلی با باله های دایره ای
۱۵	۰/۶۴	مستطیلی با باله های دایره ای

یافته‌ها

همان‌طور که بیان شد در ابتدا دو آزمایش شاهد برای هر یک از تکیه‌گاه‌ها انجام شد تا حداکثر عمق آب شستگی تکیه‌گاه به دست آید. لازم به ذکر است که حداکثر عمق آب شستگی آزمایش شاهد تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه ۱/۰۱ و مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای ۰/۳۶ به دست آمد. شایان ذکر است که عمق‌های ارائه‌شده نسبت به عرض تکیه‌گاه بی‌بعد شده‌اند. پس از اتمام آزمایش‌های شاهد آزمایش‌ها با حضور اقدامات حفاظتی سنگ‌چین و پوشش گیاهی انجام شدند که نتایج هر یک ارائه‌شده است.

بررسی تأثیر استفاده از اقدام حفاظتی سنگ‌چین بر آب شستگی اطراف تکیه‌گاه

پس از اتمام آزمایش‌های این مرحله مشاهده گردید که حداکثر عمق آب شستگی در نزدیکی دماغه تکیه‌گاه به دلیل تشکیل گرداب‌های نعل اسبی و بر خاستگی، بیش‌تر است و با حرکت به سمت پایین‌دست میزان آب شستگی کاهش پیدا می‌کند. با کار گذاشتن سنگ‌چین در اطراف تکیه‌گاه و پس از اتمام آزمایش‌ها نیز مشاهده شد که آب شستگی و حرکت ذرات سنگ‌چین در این ناحیه بیشتر از سایر نقاط است. در این مرحله در مجموع ۶ آزمایش انجام شد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه‌شده است.

جدول ۲. درصد کاهش آب شستگی اطراف تکیه‌گاه‌ها

درصد کاهش آب شستگی (%)	d_s/L_a (آزمایش)	D_{50} سنگ‌چین (mm)	نوع تکیه‌گاه
۸۰	۰/۲	۲/۷	مستطیلی ۹۰ درجه
۸۳	۰/۱۷	۶/۸۱	مستطیلی ۹۰ درجه
۸۵	۰/۱۵	۱۲	مستطیلی ۹۰ درجه
۳۳	۰/۲۴	۲/۷	مستطیلی با دیواره‌های دایروی
۵۰	۰/۱۸	۶/۸۱	مستطیلی با دیواره‌های دایروی
۵۳	۰/۱۷	۱۲	مستطیلی با دیواره‌های دایروی

با توجه به جدول (۲) با مقایسه میزان آب شستگی اطراف دو تکیه‌گاه، مشاهده می‌شود ابزار حفاظتی سنگ‌چین، آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه را نسبت به تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای، بیشتر کاهش داده و روند قابل قبولی داشته است. همچنین از بین سه قطر موجود، سنگ‌چین با قطر ۱۲ میلی‌متر، در دبی ثابت ۳۴ لیتر بر ثانیه، کارکرد بهتری در آب شستگی اطراف هر دو تکیه‌گاه از خود نشان داده و آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی را نسبت به آزمایش شاهد ۸۵ درصد، و آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای را ۵۳ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش داده است، چراکه با افزایش قطر سنگ‌چین در دبی ثابت، جریان توان کافی برای حرکت ذرات سنگ‌چین را نداشته و لذا آب شستگی کاهش پیدا می‌کند. دو نکته مهم در مورد اندازه سنگ‌چین در کنترل آب شستگی اهمیت دارد: اول اینکه اندازه آن‌ها به حدی برسد که با عبور جریان حرکت نکنند، دوم آن که سرعت جریان عبوری از میان قطعات سنگ‌چین در حدی باشد که موجب فرسایش در لایه تحتانی یا خاک زیرین نگردد یا به بیان دیگر منجر به فرسایش زیرسطحی نگردد.

با توجه به نتایج حاصل از جدول (۲) در صورت استفاده از تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه، زمانی که از سنگ‌چین با قطر ۲/۷ میلی‌متر استفاده شد، آب شستگی ۸۰ درصد و در زمانی که از سنگ‌چین با قطر ۱۲ میلی‌متر استفاده گردید آب شستگی ۸۵ درصد کاهش یافت که با

افزایش قطر سنگ چین تنها ۵ درصد آب شستگی کاهش پیدا کرد، بنابراین با عنایت به ملاحظات اقتصادی، اگر هدف کاهش صددرصدی آب شستگی نباشد می توان از سنگچین با قطرهای کمتر از ۱۲ میلی متر استفاده کرد.

بررسی تأثیر استفاده از اقدام حفاظتی پوشش گیاهی بر آب شستگی اطراف تکیه گاه

در این مرحله نیز ۶ آزمایش انجام شد که نتایج به دست آمده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. درصد کاهش آب شستگی اطراف تکیه گاه ها

درصد کاهش آب شستگی (%)	d_s/L_a (آزمایش)	S (%)	نوع تکیه گاه
۶۲	۰/۳۸	۰/۶۴	مستطیلی ۹۰ درجه
۸۴	۰/۱۷	۱/۱۹	مستطیلی ۹۰ درجه
۶۰	۰/۴	۲/۸	مستطیلی ۹۰ درجه
۵۸	۰/۱۵	۰/۶۴	مستطیلی با دیواره های دایروی
۸۱	۰/۰۶۸	۱/۱۹	مستطیلی با دیواره های دایروی
۵۲	۰/۱۷	۲/۸	مستطیلی با دیواره های دایروی

از بین درصدهای تراکم استفاده شده در پژوهش حاضر، درصد تراکم ۱/۱۹ درصد برای هر دو تکیه گاه بهترین عملکرد را داشته و آب شستگی را در اطراف تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه ۸۴ درصد، و در اطراف تکیه گاه مستطیلی با دیواره های دایره ای ۸۱ درصد نسبت به آزمایش شاهد هر تکیه گاه کاهش داده است. با افزایش درصد تراکم پوشش گیاهی، المان های بیشتری به عنوان مدل پوشش گیاهی به کار می رود، که این افزایش جلوی حرکت جریان را گرفته و موجب افزایش تلاطم و تشکیل گرداب های قوی تری می شود، از طرفی با کاهش درصد تراکم و کم کردن تعداد المان های پوشش گیاهی، از تأثیر پوشش گیاهی بر جریان کاسته شده و نمی تواند به خوبی جلوی آب شستگی را بگیرد. بنابراین باید به یک درصد تراکم مطلوب رسید تا بتواند به خوبی بر آب شستگی تأثیر گذاشته و آن را کاهش دهد که در این پژوهش درصد تراکم ۱/۱۹ درصد از بین درصدهای تراکم مورد استفاده، توانست قابلیت بهتری نسبت به سایرین در کاهش آب شستگی اطراف هر دو نوع تکیه گاه داشته باشد.

بررسی تأثیر هم زمان سنگ چین و پوشش گیاهی بر آب شستگی اطراف تکیه گاه

در این مرحله ۱۸ آزمایش انجام شد که ۹ آزمایش بر روی تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه و ۹ آزمایش بر روی تکیه گاه مستطیلی با دیواره های دایره ای صورت گرفت و حالت های مختلف سنگچین و پوشش گیاهی به طور هم زمان بررسی شد و نتایج در دو جدول (۴) و (۵) برای هر یک از تکیه گاه ها ارائه شده است.

جدول ۴: درصد کاهش آب شستگی تکیه گاه مستطیلی ۹۰ درجه با حضور هم زمان سنگچین و پوشش گیاهی

درصد کاهش آب شستگی (%)	S (%)	D_{50} سنگچین (mm)
۸۲	۰/۶۴	۲/۷
۸۳	۱/۱۹	۲/۷
۶۷	۲/۸	۲/۷
۸۶	۰/۶۴	۶/۸۱
۹۳	۱/۱۹	۶/۸۱
۸۳	۲/۸	۶/۸۱
۷۰	۰/۶۴	۱۲
۹۰	۱/۱۹	۱۲
۸۳	۲/۸	۱۲

جدول ۵. درصد کاهش آب شستگی تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایروی با حضور هم‌زمان سنگ‌چین و پوشش گیاهی

درصد کاهش آب شستگی (%)	S (%)	D_{50} سنگ‌چین (mm)
۱۷	۰/۶۴	۲/۷
۵۸	۱/۱۹	۲/۷
۴۰	۲/۸	۲/۷
۵۴	۰/۶۴	۶/۸۱
۶۸	۱/۱۹	۶/۸۱
۴۰	۲/۸	۶/۸۱
۲۱	۰/۶۴	۱۲
۴۹	۱/۱۹	۱۲
۲۵	۲/۸	۱۲

مطابق نتایج به‌دست‌آمده، برای هر دو تکیه‌گاه حداقل عمق آب شستگی در حالتی رخ داد که از سنگ‌چین با قطر ۶/۸۱ میلی‌متر و پوشش گیاهی با درصد تراکم ۱/۱۹ درصد استفاده گردید، که آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه را ۹۳ درصد و در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایروی را ۶۸ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش داد.

از آنجاکه شرایط زیادی در یک پدیده هیدرولیکی و رسوبی می‌توانند دخیل باشند، بنابراین همیشه یک قاعده نمی‌تواند عمومیت داشته باشد، به‌عنوان مثال زمانی که از سنگ‌چین به‌تنهایی برای حفاظت از بستر و کاهش آب شستگی اطراف تکیه‌گاه استفاده شد، سنگ‌چین با قطر ۱۲ میلی‌متر توانست آب شستگی را نسبت به سایر قطرهای استفاده‌شده در آزمایش کاهش دهد، اما زمانی که تأثیر هم‌زمان سنگ‌چین و پوشش گیاهی بررسی گردید، ملاحظه شد که سنگ‌چین با قطر ۶/۸۱ عملکرد بهتری داشته و توانسته تأثیر بیشتری بر کاهش عمق آب شستگی داشته باشد. در مقایسه این دو تکیه‌گاه نیز، استفاده هم‌زمان از سنگ‌چین و پوشش گیاهی، تأثیر بیشتری بر کاهش بیشینه آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه نسبت به تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای از خود نشان داد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر سنگ‌چین (در سه قطر ۲/۷، ۶/۸۱ و ۱۲ میلی‌متر) و پوشش گیاهی (در سه درصد تراکم ۰/۶۴، ۱/۱۹ و ۲/۸) در حالت استفاده مجزا و هم‌زمان، بر آب شستگی اطراف دو تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای است و بدین منظور طی ۳۰ آزمایش و در سه گروه، تأثیر استفاده از دو ابزار سنگ‌چین و پوشش گیاهی به‌صورت جداگانه و هم‌زمان برای کنترل آب شستگی تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای بررسی شد. پس از انجام آزمایش‌ها نتایجی به شرح زیر به دست آمد:

- در مرحله‌ی اول از سری آزمایش‌ها تأثیر ابزار منفرد سنگ‌چین بررسی گردید که سنگ‌چین با قطر ۱۲ میلی‌متر آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی را ۸۵ درصد، و آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای را ۵۳ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش داد.

- در مرحله‌ی دوم از تأثیر پوشش گیاهی به‌تنهایی بررسی شد پوشش گیاهی با درصد تراکم ۱/۱۹ درصد آب شستگی را در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه و آب شستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای را ۸۱ درصد نسبت به آزمایش شاهد هر تکیه‌گاه کاهش داد.

- در مرحله‌ی آخر از این پژوهش تأثیر کاربرد هم‌زمان سنگ‌چین و پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت که در صورت استفاده هم‌زمان از سنگ‌چین و پوشش گیاهی، سنگ‌چین با قطر ۶/۸۱ میلی‌متر و پوشش گیاهی با درصد تراکم ۱/۱۹ درصد آب شستگی در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی ۹۰ درجه را ۹۳ درصد و در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی با دیواره‌های دایره‌ای ۶۸ درصد کاهش داد.

منابع

- ابراهیمی، نادرقلی، شیردلی، عظیم، نیکخواه جوان، ابراهیم، و حسینی، مجید. (۱۳۹۵). تأثیر پوشش گیاهی بستر آبراهه بر هیدرولیک جریان و فرم بستر. نشریه مهندسی و مدیریت آب، ۸(۲)، ۱۹۲-۱۸۲. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.118083.182-192>
- بخشی، سعید. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر شکل هندسی و پوشش گیاهی بر آب‌شستگی حول تکیه‌گاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- توکلی نژاد الله آبادی، فاطمه، و حسینی، مرضیه. (۱۳۹۹). بررسی آزمایشگاهی نیم‌رخ عمقی سرعت در آبراهه مرکب با پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت. نشریه هیدرولیک، ۱۵(۴)، ۴۵-۳۱. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.245051.1474.31-45>
- حسین رضا، علی اکبر، شفاعی بجستان، محمود، قمشی، مهدی، و فتحی مقدم، منوچهر. (۱۳۹۸). کاربرد هم‌زمان سنگ‌چین و المان‌های شش پایه در کنترل عمق آب‌شستگی اطراف تکیه‌گاه پل مستطیل شکل. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۲(۱)، ۹۹-۱۱۴. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.21193.1524>
- خادمی، خیرالله، شفاعی بجستان، محمود، و خزیمه نژاد، حسین. (۱۳۹۳). بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آب‌شستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با حضور صفحه‌ی مستغرق متصل به آن. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵(۱۷)، ۶۶-۵۶. http://www.waterjournal.ir/article_73368.html
- دانکو، علی، یونس، حجت‌الله، ترابی‌پوده، حسن، و صانعی، مجتبی. (۱۴۰۱). تأثیر جریان تحت فشار بر آب‌شستگی پایه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی. نشریه هیدرولیک، ۱۷(۱)، ۱۰۳-۸۹. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.304025.1550>
- ذوالقدر، مسیح، حسین رضا، علی اکبر، و شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۹۹). تثبیت بستر اطراف تکیه‌گاه با ترکیب المان‌های شش پایه و سنگ‌ریزه. مهندسی عمران فردوسی، ۳۳(۴)، ۴۸-۳۳. <https://doi.org/10.22067/jfcee.2021.61563.0>
- رجبی‌زاده، یوسف. (۱۳۹۸). مطالعه آزمایشگاهی تأثیر جداگانه و ترکیبی طوق با پوشش گیاهی بستر رودخانه در حالت صلب و انعطاف پذیر بر آب‌شستگی اطراف پایه پل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- رضانی، یوسف، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۳). مطالعه تنش برشی بستر پیرامون تکیه‌گاه پل در حضور پوشش گیاهی صلب غیر مستغرق روی دشت سیلابی. نشریه هیدرولیک، ۹(۱)، ۵۷-۴۵. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.7914>
- رضانی، یوسف، قمشی، مهدی، موسوی جهرمی، حبیب، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۳۹۳). تأثیر پوشش گیاهس دشت سیلابی بر آب‌شستگی تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب، نشریه آب و خاک، ۲۸(۳)، ۵۱۲-۵۰۳. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26239>
- شهسواری، حامد، خدانشناس، سعیدرضا، و اسماعیلی، کاظم. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات هیدرولیک جریان در آبراهه مرکب پیچانی با پوشش گیاهی انعطاف پذیر مستغرق. نشریه هیدرولیک، ۱۷(۱)، ۱۲۲-۱۰۵. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.304206.1551>

کریمائی طبرستانی، مجتبی، آذری میدخت، حمیدرضا، زراتی، امیررضا، انوری، صادق. (۱۳۹۴). طراحی بهینه گستره سنگچین با استفاده از ابعاد مختلف سنگ در اطراف پایه پل با مقطع مستطیلی با طوق محافظ و بدون آن. نشریه هیدرولیک، ۱۰(۴)، ۶۴-۵۱. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2016.33328>

منصوری، مهوش، و شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۹۲). مقایسه تاثیر سه رقوم قرارگیری سنگچین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰ درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگچین. نشریه تنش آب و خاک، ۲۳(۲)، ۱۹۵-۲۰۴. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_115.html

نبئی، فرهاد. (۱۳۹۶). تاثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان در آبستنگی موضعی با مقطع نیم‌بیضی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

References

- Amir, M. U. A. R., Hashmi, H. N., Baloch, M., Ehsan, M. A., Muhammad, U., & Ali, Z. (2018). Experimental investigation of channel bank vegetation on scouring characteristics around a wing wall abutment. *Technical Journal*, 23(01), 15-21. <https://tj.uettaxila.edu.pk/index.php/technical-journal/article/download/486/14>
- Bakhshi, S. (2011). Investigating the effect of geometric shape and vegetation on scour around the support, Master's Thesis, Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
- Cardoso, A. H., & Fael, C. M. (2009). Protecting vertical-wall abutments with riprap mattresses. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 457-465. <https://doi.org/10.1061/ASCEHY.1943-7900.0000040>
- Dankoo, A., Yonesi, H., Torabipodeh, H., & Saneie, M. (2022). The effect of pressure flow conditions on bridge pier scour in compound open channels with vegetation. *Journal of Hydraulics*, 17(1), 89-103. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.304025.1550>. [In Persian]
- Dey, S. Barbuiya., & A. K. (2004). Local scour at abutment: A review. *Sadhana*, 29(5), 449-476. <https://doi.org/10.1007/BF02703255>
- Duncan, k., & Nobert, J. (2015). Assessment of the impact of climate change and adaptation strategies on maize production in Uganda. *Physics and chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 93, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2015.09.005>
- Ebrahimi, N. Gh., Shirdeli, A., Nikkhah Javan, E., & Hosseini, M. (2016). The impact of waterways bed's vegetation on flow hydraulic and bed form. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), 182-192. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.118083>
- Garcia, M. (2008). Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice. *American Society of Civil Engineers*, 110, 1137. <https://doi.org/10.1061/9780784408148>
- Ghisalberti, M. & Nepf, H. M. (2004). The limited growth of vegetated shear layers, *Water Resour. Res.* 40(7), W07502. <http://dx.doi.org/10.1029/2003WR002776>
- Hosein Reza, A. A., Shafai Bejestan, M., Ghomeshi, M., & Fathi Moghadam, M. (2019). Investigation of the effect of six legged concrete (SLC) elements combined with riprap on scour depth at vertical wall bridge abutments. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 42(1), 99-114. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.21193.1524>. [In Persian]
- Karimaei Tabarestani, M., Azarmidokht, H. R., Zarrati, A. R., & Anvari, S. (2016). Optimum design of Sangchin span using different dimensions of riprap around the bridge abutment with a rectangular section with and without a protective collar. *Journal of Hydraulics*, 10(4), 51-64. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2016.33328>. [In Persian]

- Khademi, K. H., Shafai Bajestan, M., & Khozaymehnehad, H. (2014). Laboratory investigation of flow pattern and scour around bridge abutment in case of using attached submerged vane. *Irrigation and water engineering*, 5(17), 56-66. http://www.waterjournal.ir/article_73368.htm [In Persian]
- Kumar, V., Ranga Raju, K. G., & Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Eng.*, 125(12), 1302-1305. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:12\(1302\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:12(1302))
- Mansoori, M. & Shafai Bejestan, M. (2012). Comparison of the effect of three riprap placement levels on its stability at bridge abutment in a 90 bend based on incipient motion of riprap particles. *Knowledge of water and soil*, 23(2), 195-204. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_115.html. [In Persian]
- Melville, B. W., Van Ballegooy, S., Coleman, S. E., & Barkdoll, B. (2007). Riprap size selection at wing-wall abutments. *Journal of hydraulic engineering*, 133(11), 1265-1269. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:11\(1265\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:11(1265))
- Nabeie, F. (2017). The effect of vegetation on the flow structure in a local scour with a semi-elliptical section. Master's Thesis, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
- Naserian, M., & Masjedi, A. (2018). Investigation of Diameter of Riprap around the Bridge Abutment at 180-Degree River Bend. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 21(4), 229-241. <http://dx.doi.org/10.29252/jstnar.21.4.229>
- Nasiri Dehsorkhi, E. Afzalimehr, H., & Singh, V. P. (2011). Effect of bed forms and vegetated banks on velocity distributions and turbulent flow structure, *Journal of Hydrology Engineering* 16(6), 495-507. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000337](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000337)
- Ortiz, A. C. Ashton, A., & Nepf, H. (2013). Mean and turbulent velocity field near rigid and flexible plants and the implication for deposition. *Journal of Geophys. Res. Earth. Surf.*, 118, 2585-2599. <https://doi.org/10.1002/2013JF002858>
- Peng, C. C. (2015). Experimental study on the characteristics of scour hole around emergent vegetation with single-density. AGU Fall Meeting Abstracts. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015AGUFMEP51C0928P/abstract>
- Rajabizadeh, Y. (2020). Experimental study the effect of collar in the presence of rigid and flexible vegetation on bridge pier scour. Master's Thesis, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. [In Persian]
- Ramezani, Y., & Ghomeshi, M. (2014). Studying the shear stress of the bed around the bridge abutment in the presence of non-submerged rigid vegetation on the floodplain. *Journal of Hydraulics*, 9(1), 45-57. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2014.7914> [In Persian]
- Ramezani, Y., Ghomeshi, M., Musavi Jahrom, H., & Khozaymehnehad, H. (2014). Effect of vegetated floodplain on abutment scour in compound channels. *Journal of Water and Soil*, 28(3), 503-512. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26239> [In Persian]
- Raudkivi, A. J. (1998). *Loose boundary hydraulics*, CRC Press, Balkema, Rotterdam, Netherlands. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003077800/loose-boundary-hydraulics-arved-raudkivi>
- Shahsavari, H., Khodashenas, S. R., & Esmaili, K. (2021). Investigation of Hydraulic Changes in Flow in Meander Compound Channel with Flexible Submerged Vegetation, *Journal of Hydraulics*, 17(1), 89-103. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2021.304206.1551> [In Persian]

- Sumer, B. M. & Fredsoe, J. (2002). The mechanics of scour in the marine environment, *Adv. Ser. Ocean Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1142/4942>
- Tavakoli Nezhad Allah Abadi, F., & Mohseni. M. (2021). Experimental Study of Vertical velocity profiles in compound channels with vegetation on floodplains, *Journal of Hydraulics*, 15(4), 31-45. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.245051.1474> [In Persian]
- Unger, J., & Hager, W. H. (2006). Riprap failure at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(4), 354-362. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2006\)132:4\(354\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:4(354))
- Yagci, O., Celik, M. F., Kitsikoudis, V., Kirca, V. O., Hodoglu, C., Valyrakis, M. & Kaya, S. (2016). Scour patterns around isolated vegetation elements. *Advances in Water Resources*, 97, 251-265. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.10.002>
- Zolghadr, M., Hoseinreza, A., & Safai Bejestan, M. (2021). Bed Stabilization around Abutment Using Combination of Six-Legged Concrete Elements and Pebbles. *Ferdowsi Civil Engineering*, 33(4), 33-48. <https://doi.org/10.22067/jfcei.2021.61563.0> [In Persian]



Evaluation of precipitation data of Gamasiab basin synoptic stations in comparison with satellite data

Foroozan Payfeshorkeh¹ , Maryam Hafezparast Mavadat^{2✉} , Seyed Ehsan Fatemi³

¹ MSc student, water resources engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.payfeshorkeh@stu.razi.ac.ir

² Corresponding Author, Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: m.hafezparast@razi.ac.ir

³ Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: e_fatemi78@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

One of the most important advantages of remote sensing is better coverage of space and time, which can be easily achieved to indicate the dynamic nature of hydrological and meteorological variables.

Monitoring satellite-based precipitation in high resolution is very important for evaluating water and energy cycles on a global and regional scale.

In recent decades, satellite precipitation data has attracted the attention of hydrologists and engineers; this is because meteorological stations provide data on a point basis and it is not possible to estimate places that do not have stations, but satellites can provide data for all regions.

Methodology

Gamasiab basin is one of the main sub-basins of Karkheh basin. This basin has an area of 11459 square kilometers and is located in the range of longitude 47°04' to 49°15' and latitude 33°45' to 35°00'. Most of the Gamasiab watershed is located in Kermanshah province, and parts of it are located in Hamadan province.

In this study, the precipitation data of four synoptic stations in Gamasiab basin have been compared with the precipitation data of CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA satellites.

Monthly data for Harsin station from 2008, Kangavar from 2000, Sararud from 2004 and Songhor from 2005 to 2020 have been reviewed.

Error criteria

The error measurements used to evaluate the accuracy of the models, including Correlation Coefficient (CC), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE), of Root Mean Square Error (CV-RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Pearson Correlation Coefficient (PCC). Satellite high CC and PCC and values low MAE, CV-RMSE and RMSE have high accuracy of estimates. Also, positive and negative MBE means under and over estimated satellite data.

Probability criteria

Probability indicators for use in this area are: False Alarm Ratio (FAR), Probability of Detection (POD), Critical Success Index (CSI) and relative deviations (RBias). At best, POD, FAR, CSI, RBias are one, zero, one, and zero, respectively.

Results and discussion

The results showed that CHRIPS satellite had less probability of detection and relative deviation in the probabilistic criteria and PERSIAN and GSM have a higher probability of detection, but TERRA satellite has the best estimate for Songhar and Kangavar stations. This satellite has estimated the maximum rainfall at Harsin and Kangavar stations to be 128.6 and 189.8 mm, respectively, with a decrease of 124 and 110 mm by 3.5% and 18%, respectively.

ERA5 is also better for Sararud and Songhor stations according to the error and probability criteria. This satellite has estimated the maximum precipitation at Sararud and Songhor stations, which was 176.7 and 147.9 mm, respectively, with a decrease of 178 and 155 mm by 18 and 5%, respectively.

Conclusions

The error criteria of correlation coefficient and Pearson correlation coefficient for Sanghar and Harsin stations of TERRA satellite are 0.77, 0.77 and 0.77, 0.84 respectively and the lowest error criteria are mean square error 22.04 and 18.72, respectively. The coefficient of variation of the mean square error 78.06 and 60.65, the average absolute value of the error 11.31 and 10.34, as well as the average deviation of the error 0.05 and 0.11 and the probability measures of detection probability 0.97 and 0.96, critical success index 93 0.0 and 0.91 and the false alarm rate index and relative deviation have the best estimates, respectively 0.04, 101.14, 0.05 and 102.75.

This satellite has estimated the maximum rainfall, which was 128.6 and 147.9 mm in Harsin and Songhor stations, respectively, with a decrease of 110 and 124 mm by 3.5 and 26 percent.

For Sararud and Kangavar stations, according to the error criteria and the shape of the TRMM satellite diagram, with the correlation coefficient and Pearson correlation coefficient, for each station, 0.89, 0.89, 0.92, 0.93, and the lowest error criteria, the mean square Error 17.87 and 16.00, the coefficient of variation of the mean square error 54.93 and 45.405, the average absolute value of the error 11.021 and 13.46, also the average deviation of the error 0.154 and 0.145 had the best estimate. TERRA has been estimated to be superior.

TRMM satellite has estimated the maximum rainfall in two stations of Sararud and Kangavar, which was 176.2 and 189.7 mm, respectively, with an 18.7, 18 decrease of 155.49 and 143.59 mm. The results of this research are consistent with the research of Gorjizade et al. (2019) in the upstream of Maron Dam.

Keywords: Gamasiab, CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA.

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 13 June 2022 **Revised:** 23 October 2022 **Accepted:** 06 November 2022 **ePublished:** 22 November 2022

Cite this article: Payfeshordeh, F., Hafezparast Mavadat, M., & Fatemi, S.E. (2021). Evaluation of precipitation data of Gamasiab basin synoptic stations in comparison with satellite data, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(3), 91-112, DOI: 10.22126/ATWE.2022.7915.1021

Publisher: Razi University

© The Author(s).





ارزیابی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه گاماسیاب در مقایسه با داده‌های ماهواره

فروزان پای فشرده^۱، مریم حافظ پرست مودت^۲، سید احسان فاطمی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: foroozanpayfeshordeh@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: maryam.hafezparast@gmail.com

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e_fatemi78@yahoo.com

چکیده

امروزه علم سنجش‌ازدور موردبررسی بسیاری از دانشمندان و مهندسين قرار گرفته است. داده‌های ایستگاه‌های زمینی به‌صورت نقطه‌ای هست و همچنین در سطح وسیع و مناطق صعب‌العبور داده‌های کافی وجود ندارد. اما داده‌های ماهواره‌ای برای تمام مناطق قابل‌استفاده است. در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش چهار ایستگاه سینوپتیک در حوضه گاماسیاب با داده‌های بارش ماهواره‌های CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که هرچند ماهواره CHRIPS در معیارهای احتمالاتی شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی کمتری داشته است و PERSIAN و GSM احتمال آشکارسازی بالاتری دارند اما با در نظر گرفتن همه معیارها برای ایستگاه‌های هرسین و سنقر ماهواره TERRA با معیارهای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون بالاتر و کمترین معیارهای خطا و معیارهای احتمالاتی بهتر برآورد دقیق‌تری داشته‌اند. برای ایستگاه سرآرود و کنگاور نیز ماهواره TRMM بهترین برآورد را داشته است. این ماهواره بیش‌ترین بارش را در دو ایستگاه سرآرود و کنگاور که به ترتیب ۱۷۶/۲ و ۱۸۹/۸ میلی‌متر بوده است را با ۱۸ درصد کاهش ۱۴۳/۵۹ و ۱۵۵/۴۹ میلی‌متر برآورد کرده است.

واژه‌های کلیدی: بارش ماهواره‌ای، CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۱ اصلاح: ۰۱ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۱ آذر ۱۴۰۱

استناد: پای فشرده، ف.، حافظ پرست مودت، م.، و فاطمی، س.ا. (۱۴۰۱). ارزیابی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه گاماسیاب در مقایسه با داده‌های ماهواره . *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۳)، ۹۱-۱۱۲. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7915.1021



مقدمه

تکنیک‌های سنجش‌ازدور و داده‌های حاصل از آن کاربردهای بسیاری در مطالعات منابع آب دارند. برنامه‌های سنجش‌ازدور منابع آب از نقشه‌برداری منابع ساده گرفته تا تصمیم‌گیری پیچیده مربوط به توصیف و اولویت‌بندی حوزه آبخیز متغیر است. داده‌های سنجش‌ازدور که در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از حس‌گرهای مختلف فعال بر روی ماهواره‌های مختلف به دست می‌آیند. حسگرهای فعال ماکروویو، باقابلیت عملیاتی در تمام شرایط آب و هوایی، کاربردهای بالقوه‌ای را در خدمات آنالیز سیل و هشدار سیل دارند. مرور کلی برنامه‌های سنجش‌ازدور در زمینه‌های مختلف منابع آب، پتانسیل استفاده از این روش در مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های کاربرد سنجش از راه دور، پوشش بهتر مکانی و زمانی بوده‌اند که نشان‌دهنده ماهیت پویای متغیرهای حالت هیدرولوژیکی و هواشناسی بوده‌اند (کو مار و همکاران، ۲۰۱۳). نظارت بر بارش مبتنی بر ماهواره در رزولوشن مکانی بالا برای ارزیابی چرخه‌های آب و انرژی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای بسیار مهم بوده‌اند (تاؤ و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به این که ایستگاه‌های هواشناسی داده‌ها را به صورت نقطه‌ای در اختیار قرار می‌دهند و برای مکان‌هایی که ایستگاه نیست نمی‌توان برآوردی انجام داد اما داده‌های ماهواره‌ای برای تمام منطقه داده دارند (پای فشرده و همکاران، ۱۳۹۹).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متفاوتی در زمینه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و صحت سنجی و مقایسه این داده‌ها با داده‌های زمینی موجود است از جمله: بایتو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی دقت چهار محصول بارندگی ماهواره‌ای با وضوح بالا شامل، CMORPH، TMPA، و PERSIANN از طریق شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در حوضه کوهستانی با مساحت ۱۶۵۶ کیلومتر مربع در مدل هیدرولوژیکی MIKE SHE پرداختند. این مطالعه نشان دادند که در تخمین‌های بارش ماهواره‌ای و مقادیر بارندگی تغییرات زیادی وجود دارد که منجر به تغییرات در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی می‌شود. الگوریتم‌های بارندگی CMORPH و TMPA 3B42RT (که عمدتاً از داده‌های ماکروویو استفاده کردند عملکرد ثابت و بهتری را در شبیه‌سازی جریان نشان می‌دهند)، الگوریتم بارندگی که عمدتاً از داده‌های مادون قرمز استفاده کرده‌اند مانند PERSIANN عملکرد کمتری دارند و الگوریتم بارندگی که داده‌های ماهواره‌ای را با داده‌های گیج باران ادغام کرده‌اند مانند TMPA 3B42 ناهماهنگی‌ها بیشتر و عملکرد کمتری را نشان داده‌اند. یکی از ایرادهای کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی با داده‌های گیج باران و داده‌های بارش ماهواره‌ای مربوط به عملکرد شبیه‌سازی جریان ماهواره‌ای در مقایسه با مدل کالیبره شده با داده‌های باران سنخ بوده است که افزایش را نشان داده‌اند.

بایاسا و همکاران^۴ (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، عملکرد بارش ماهواره‌های CHIRPS و PERSIANN-CDR و TAMSAT^۵ را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با داده‌های اقلیمی ایستگاه ارزیابی کردند. توانایی آن‌ها برای بازتولید ویژگی‌های بارندگی مشاهده‌شده درازمدت (۲۰۱۳-۱۹۸۳) که از ۲۴ باران سنخ در نیجریه به دست آمده است نتایج نشان داده‌اند که همه محصولات از نظر ثبت چرخه سالانه مشاهده‌شده و روندهای فضایی در تمام ایستگاه‌های انتخابی عملکرد خوبی داشتند. ارزیابی آماری نشان داده که CHIRPS با بازتولید ویژگی‌های بارندگی محلی و مشاهداتی در همه مناطق اقلیمی هماهنگ بوده است. با این حال، عملکرد PERSIANN و TAMSAT با فصل و در مناطق آب و هوایی مختلف، تفاوت داشته‌اند.

ترامبلی و همکاران^۶ (۲۰۱۶) در پژوهشی برای اولین بار اعتبارسنجی پنج محصول مختلف بارش مبتنی بر ماهواره‌های TRMM-3B42، PERSIANN-CDR، RFE 2.0، v6، v7، CMORPH1.0 را در حوضه ۱۷۸۵ کیلومترمربعی Makhazine (مراکش) با چهار روش

¹ Kumar et al

² Tao et al

³ Bitew et al

⁴ Bayissa et al

⁵ TAMSAT African Rainfall Climatology And Time-series

⁶ Tramblay et al

درون‌یابی (معکوس فاصله، نزدیک‌ترین همسایگی، کریجینگ معمولی و کریجینگ باقی‌مانده با ارتفاع) بررسی کردند. در این مطالعه ابتدا محصولات بارش با مشاهدات زمینی مقایسه شد. نتایج نشان دادند که (۱) هر چهار روش درون‌یابی، به‌جز رویکرد نزدیک‌ترین همسایگی، تخمین‌های مشابه و معتبری از بارش در مقیاس حوضه ارائه داده‌اند. (۲) در میان تخمین‌های مختلف بارش مبتنی بر ماهواره، محصول TRMM-3B42 v7 نزدیک‌ترین محصول به بارش مشاهده‌شده است.

کین و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، چهار محصول بارش مبتنی بر ماهواره‌های TRMM-3B42، TRMM-3B42RT، CMORPH، GSMaP را با استفاده از تجزیه و تحلیل بارش مبتنی بر ایستگاه در سراسر چین طی سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۳ بررسی کردند. برای ارزیابی کمی محصولات بارش مبتنی بر ماهواره، از آمار راستی آزمایشی مستمر (مانند ME، RMSE، CC) و طبقه‌بندی مانند POD، FAR استفاده شد. نتایج نشان داد: (۱) GSMaP و CMORPH بارش را کمتر برآورد کردند (به ترتیب ۰/۵۳- و ۰/۱۴- میلی‌متر در روز)، در TRMM-3B42RT بارش بیش‌ازحد تخمین زده شد (حدود ۰/۷۳ میلی‌متر در روز) که تنها مجموعه داده تصحیح‌شده توسط ایستگاه است، بهترین تخمین بارندگی را در بین هر چهار محصول داشت. (۲) GSMaP، CMORPH و TRMM-3B42RT فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت کم را بیش‌ازحد برآورد کردند و TRMM-3B42 فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت کم را کمتر برآورد کرد. GSMaP فراوانی رویدادهای بارندگی با شدت بالا را کمتر و TRMM-3B42RT مقدار بارش را بیش‌ازحد برآورد کرد.

توت و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی، سه محصول بارش ماهواره‌ای دهروزه TARCAT را برای پیش‌بینی سیستم هشدار زود هنگام قحطی شبکه (FEWS NET) توسط گروه مخاطرات آب‌وهوایی (CHIRPS) با داده‌های بارش سال‌های (۲۰۱۲-۲۰۰۱) ایجاد کردند. این کار با استفاده از آمار مقایسه زوجی برای ارزیابی عملکرد در تخمین مقادیر بارندگی و آمارهای طبقه‌بندی برای ارزیابی قابلیت‌های تشخیص باران انجام شده است. به‌طور کلی، مشاهدات ماهواره‌ای در این پژوهش مقادیر کم بارندگی را بیش‌ازحد تخمین زده و مقادیر بالای بارندگی را کمتر نشان داده‌اند. محصولات RFE و CHIRPS مناسب‌تر بوده و به‌طور کلی از TARCAT در اکثر معیارهای آماری بهتر عمل کردند. TARCAT بسامد نسبی رویدادهای بارندگی را به بهترین شکل تشخیص دادند، درحالی‌که RFE فراوانی رویدادهای بارندگی را کمتر برآورد کرده و CHIRPS فراوانی رویدادهای بارندگی را بیش‌ازحد تخمین زد. تفاوت در عملکرد محصولات با بارندگی بیشتر از بین رفته و همه محصولات در فصل مرطوب نتایج بهتری داشتند. در طول فصل طوفان، CHIRPS بهترین نتایج را نشان دادند، درحالی‌که RFE نسبت به سایر محصولات برای بارندگی کمتر عملکرد بهتری داشته‌اند.

تافته و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای از ابزار Google Earth Engine و محصولات بارش حاصل از تصاویر ماهواره‌ای CHIRPS، TRMM و GPM به ترتیب در بازه‌های زمانی روزانه، دهروزه و ماهانه استفاده کردند و مقدار بارش در ایستگاه اهواز و ایذه را طی سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ - ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند شاخص توافق و کارایی مدل قابل قبول بوده است و از نظر آزمون F-Test تفاوت معنی‌داری بین داده‌های برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشاهده نشده است، ولی جهت افزایش دقت آن باید از مدل‌های عددی با دقت بالاتر مورد استفاده قرار دهند.

آموریا و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای برای درک کامل کاربرد محصولات سنجش‌ازدور بارش در مدل‌سازی و تصمیم‌گیری حوضه، یک ارزیابی کامل از دقت بارندگی مبتنی بر ماهواره و برآورد شبکه سنجش منطقه‌ای به تحلیل بارش چند ماهواره (TMPA) و (CHIRPS) با مشاهدات روزانه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. حوضه رودخانه مکونگ در جنوب آسیای شرقی در مقایسه ماهانه، فصلی و سالانه نشان دادند که TMPA اندازه‌گیری‌های روزانه بارش یا بدون بارندگی را ۶۴/۹ درصد از همه روزها و CHIRPS ۶۶/۸ درصد از همه روزها را به‌درستی تشخیص داده‌اند. دقت محصولات مبتنی بر ماهواره بین فصول مرطوب و خشک بسیار متفاوت بوده است. هر دو TMPA و CHIRPS همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی در طول فصل مرطوب (ژوئن - سپتامبر) در مقایسه با فصل خشک (نوامبر تا ژانویه) نشان دادند. علاوه بر این، هر دو در مقیاس زمانی ماهانه بهتر از مقیاس زمانی سالانه عمل کردند.

¹ Qin et al

² Toté et al

³ Amorim et al

چاو و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای از داده‌های ماهواره‌های مرکز پیش‌بینی آب‌وهوا (CMORPH) و اداره ملی اقیانوس‌شناسی و جوی ایالات‌متحده (NOAA) و نقشه‌برداری ماهواره‌ای جهانی (GSMaP) و آژانس اکتشاف هوافضای ژاپن (JAXA) برای ارزیابی در مقیاس زمانی ماهانه استفاده کرده‌اند و داده‌های باران سنج نقطه‌ای و شبکه‌ای به‌عنوان مجموعه داده مرجع در نظر گرفته شده است. آمار کلی نشان دادند مناطقی که پوشش باران سنج کم بود دقت کمتری را نشان دادند. به‌طور کلی، مجموعه داده‌های CMORPH و GSMaP به‌عنوان منابع مفید تخمین بارش ماهواره‌ای در استرالیا ارزیابی شدند.

جیانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۹) در یک پژوهش، بر نقش سنجش‌ازدور مبتنی بر ماهواره در شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی مدل‌سازی اشاره کردند. داده‌های سنجش‌ازدور برای بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، خواص برف، تغییر ذخیره آب زیرزمینی، دمای سطح زمین، عرض رودخانه و غیره در بهبود جریان شبیه‌سازی شده نقش مهمی دارند. یک چارچوب، با استفاده از مشاهدات از راه دور برای بهبود پیش‌بینی جریان در حوضه تنظیم‌شده است و برای مطالعات آینده پیشنهاد شده است.

میری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود، با مقایسه دقت سنجنده‌های TRMM و GPM در برابر داده‌های مشاهده‌ای نشان دادند که هرچند شباهت زیادی بین مقادیر بارش برآوردی GPM و TRMM وجود داشته است، ولی دقت داده‌های روزانه سنجنده GPM در سطح ایران نسبت به داده‌های TRMM بیشتر بودند؛ بهترین دقت پایگاه به داده‌های سنجش‌ازدور GPM و TRMM در غرب کشور و به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس بوده و همانند بسیاری از پایگاه داده‌های دیگر کمترین دقت در نواحی ساحلی و به‌ویژه سواحل دریای خزر مشاهده شده است.

عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله ارزشیابی داده‌های ماهواره‌ای CMORPH و TRMM 3B42RT V7 به‌منظور تخمین بارش در حوضه گرگان رود نشان دادند که داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی دقت بیشتری در مقایسه با مقیاس روزانه داشته‌اند. بررسی‌ها مشخص کردند که TRMM 3B42RT V7 و CMORPH مقدار بارش را کمتر از مقدار مشاهداتی نشان دادند. همچنین CMORPH در احتمال آشکارسازی و شاخص موقعیت بحرانی بهتر عمل کردند اما نرخ هشدار اشتباه بدتری نسبت به TRMM 3B42RT V7 داشته‌اند.

انوری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به‌منظور محاسبه میزان منابع و مصارف آب و محاسبه اجزای بیلان آب سطحی با استفاده ترکیبی از مدل هیدرولوژیکی MODSIM و داده‌های ماهواره‌ای و زمینی مختلف در حوضه آبریز آمودریا، مؤلفه‌های بیلان آب سطحی، منابع و مصارف آب (نظیر شرب، کشاورزی و صنعت) در این حوضه را با استفاده از اطلاعات TRMM، GPM و GLDAS استخراج و در نرم‌افزار MODSIM اجرا کردند. همچنین منابع آب سطحی و مصارف آن نیز مورد تفکیک قرار گرفتند و نتایج آن در نهایت مقدار تأمین نیازها و کمبودها در این حوضه آبریز مشخص کردند.

اردونی و همکاران (۱۴۰۰) باهدف ارزیابی داده‌های بارش ماهواره، مقدار بارش IMERG - GPM و مقایسه آن با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنج زمینی در استان گلستان- حوضه گرگان رود را تطبیق و صحت‌سنجی کردند. اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM با استفاده از معیارهای آماری MAE، RMSE، MBE و GPM نشان دادند که از دقت قابل قبولی برخوردار بوده‌اند. مقادیر POD نیز عملکرد قابل قبول داده‌های این ماهواره را نشان داده است. مطابقت نسبی و خوبی بین داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای GPM وجود داشته است.

اردونی و همکاران (۱۳۹۹) تحقیقی باهدف ارزیابی و مقایسه مقادیر بارندگی برآورده شده ماهواره هواشناسی GPM با ایستگاه‌های زمینی و با استفاده از آزمون نا پارامتری کلموگروف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای در حوزه آبخیز گرگانرود استان گلستان انجام شده است. مقادیر بارش ماهواره روزانه GPM با تفکیک مکانی ۰/۱ در محیط نرم‌افزار متلب تجزیه و تحلیل گردید و با استفاده از تابع توزیع تجمعی تجربی تخمین زده‌اند. نتایج حاصل از بررسی مقادیر P-value مربوط به مقایسه آمار روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با داده‌های ماهواره GPM، نشان دادند که این آماره با مقدار ۹۵٪ بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای را در ایستگاه حقالخواجه نشان دادند و کمترین میزان مطابقت با مقدار ۰/۰۰۱ مربوط به ایستگاه شیرآباد بوده است.

¹ Chua et al

² Jiang et al

قه‌رمان و همکاران (۱۳۹۷) در یک پژوهش به ارزیابی اطلاعات بارش برآوردی اصلاح‌شده از تصاویر ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در حوضه‌ی آبخیز شاپور استان فارس پرداختند. نتایج نشان دادند که مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کمی دارند. ضریب همبستگی مقادیر بارش برآوردی از ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ماهانه با داده‌های زمینی در تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده، ضریب همبستگی بیشتر از ۸۵٪ دارد و با اصلاح داده‌ی بارش ضریب تبیین نیز بهبود یافت. زنگنه اینانو و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی اطلاعات بارش مدل‌های CMORPH و PERSIANN در حوضه آبریز شاپور پرداختند. بدین منظور، از اطلاعات بارش روزانه و ساعتی ایستگاه‌های حوضه شاپور شامل ۲۸ رویداد بارش (مقیاس ساعتی) و وقایع بارش روزانه در بازه زمانی ۹۰-۹۵ برای ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی کازرون استفاده کردند. معیارهای ضریب همبستگی، میانگین مجذور مربع خطا، احتمال آشکارسازی، نرخ هشدار اشتباه و شاخص موفقیت بحرانی برای هر دو محصول بارش ماهواره‌ای محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که مدل‌های CMORPH و PERSIANN در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند و همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با CMORPH نسبت به PERSIANN بیشتر بوده است.

صوفی گردینی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک در استان هرمزگان در مقیاس ماهانه پرداختند. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های منتخب واقع در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین دقت ماهواره TRMM در فصل‌های زمستان و بهار و کمترین آن، در تابستان اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، عملکرد ماهواره TRMM در ماه‌های سرد سال بهتر از ماه‌های گرم سال است.

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی میزان صحت داده‌های باران ماهواره TRMM در مقیاس‌های روزانه و ماهانه را با مقایسه داده‌های روزانه TRMM-3B42 و ماهانه TRMM-3B43 انجام دادند. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی واقع در شش زون اقلیمی - ایران (بیابانی، نیمه بیابانی، کوهستانی، نیمه کوهستانی، بیابان ساحلی و مرطوب ساحلی) در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ انجام شد. نتایج تحقیق نشان دادند که ماهواره TRMM در دو مقیاس مشاهده‌ای ۶۸٪ بیشتر از ایستگاه‌ها برآورد کردند.

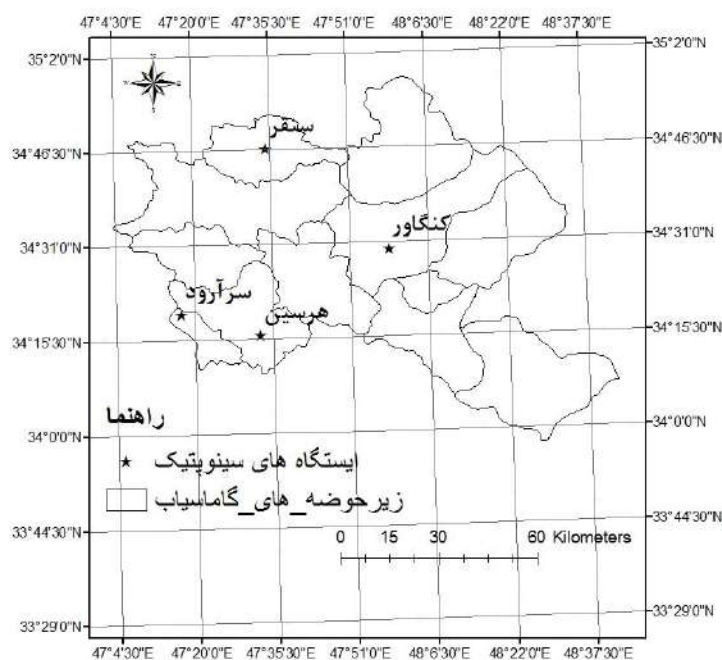
شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۸) داده‌های بارش ماهواره GPM با محصول IMERG و TRMM با محصول 3B42-7V را با داده‌های باران‌سنجی مقایسه و دو مدل کاربردی در ارزیابی مکانی به منظور پهنه‌بندی بارش در آب‌وهوای نیمه‌خشک استان خراسان رضوی ارزیابی کردند. داده‌های بارش اندازه‌گیری برای ۲ سال از ژانویه ۲۰۱۵ تا دسامبر ۲۰۱۶ مقایسه شده‌اند. نتایج تحلیل‌های آماری مقایسه دو روش با داده‌های تولیدات ماهواره‌ای نشان دادند که در مقیاس سالانه داده‌های ماهواره TRMM به داده‌های ماهواره GPM نزدیک بودند. اما داده‌های ماهواره TRMM با ضریب همبستگی کمی بالاتر و انحراف بایاس نسبی کمتر نسبت به داده‌های ماهواره GPM شبیه‌تر بودند.

گرجی زاده و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی دقت داده‌ها با وضوح مکانی بالا در ماهواره‌های ERA-Interim، PERSIANN و CHIRPS در بالادست سد مارون پرداختند و جهت ارزیابی از داده‌های بارش روزانه، ماهانه و سالانه سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ داده‌های باران‌سنجی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد در برآورد بارش سالانه داده‌های مدل‌های شبکه‌بندی شده عملکرد کمتری داشته و میانگین بارش سالانه را کمتر از میانگین بارش سالانه مشاهداتی برآورد نموده است. در برآورد بارش ماهانه با توجه به ضریب نش - ساتکلیف در ایستگاه‌های دهنو، ایدنک و مارگون مدل ERA-Interim عملکرد بهتری نسبت به CHIRPS نشان داد.

مقالات و پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که داده‌های بارش ماهواره‌ای برای مناطق مختلف نسبت به ماهواره‌های مورد استفاده نتایج متفاوتی دارد و روند مشخصی برای بیش برآوردی یا کم برآوردی وجود ندارد. از این رو در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌های CHIRPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA با داده‌های ۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه گاماسیاب در استان کرمانشاه پرداخته شد تا بتوان برای این حوضه ماهواره‌هایی که عملکرد بهتری در مقیاس‌های زمانی ماهانه دارند مشخص گردد.

روش پژوهش

حوضه گاماسیاب در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کرخه واقع شده است که از سراب سنگ سوراخ و چشمه سارهای اطراف نهند سرچشمه می گیرد (زارع زاده مهریزی و همکاران، ۱۳۹۶). در مسیر رودخانه گاماسیاب رشته های فرعی مختلفی به آن ملحق می شود در جنوب بیستون، شاخه فرعی رودخانه دینور به آن پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر می دهد و در نزدیکی فرامان به رودخانه قره سو متصل شده و بعد از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می شود. حوضه گاماسیاب یکی از زیر حوضه های اصلی حوضه کرخه است. این حوضه در محدوده بین شهرستان های کنگاور، صحنه، بیستون، هرسین، سنقر و کرمانشاه قرار گرفته، به طوری که از شمال به سنقر و استان کردستان، از جنوب به هرسین و استان لرستان، از شرق به کنگاور و استان همدان و از غرب به کرمانشاه محدود می شود. این حوضه ۱۱۴۵۹ کیلومتر مربع وسعت داشته و در محدوده طول جغرافیایی $47^{\circ}04'$ تا $49^{\circ}15'$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}45'$ تا $35^{\circ}00'$ قرار دارد؛ ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۴۲ تا ۳۵۸۰ است و متوسط نزولات جوی دریافت شده در این حوضه ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی متر است. تغییرات درجه حرارت در این حوضه بین $29/5$ - تا 47 درجه سانتی گراد می باشد. بیشتر سطح حوزه آبخیز گاماسیاب در استان کرمانشاه، و بخش هایی از آن در استان همدان قرار دارد. نقشه منطقه مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعاتی حوضه آبریز گاماسیاب (استان کرمانشاه)

داده های بارش برای ایستگاه هرسین از ۲۰۰۸، کنگاور از ۲۰۰۰، سرآرود از ۲۰۰۴ و سنقر از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ به صورت ماهانه مورد بررسی قرار گرفته است. که در جدول ۱ مشخصات ایستگاه ها و در جدول ۲ مشخصات ماهواره ها لحاظ شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های سینوپتیک منطقه

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	حداکثر بارش سالانه (میلی متر)	حداقل بارش سالانه (میلی متر)	میانگین بارش سالانه (میلی متر)
۱	هرسین	۲۷°۳۴'	۵۵°۴۷'	۳۸۳/۴	۱۶۶/۵	۳۷۲/۷
۲	سرآرود	۳۳°۳۴'	۲۹°۴۷'	۶۶۸/۴	۲۸۱/۱	۴۲۲/۹۳
۳	کنگاور	۵°۳۴'	۹۸°۴۷'	۵۶۹/۲	۲۴۷/۷۳	۳۹۰/۵۱
۴	سنقر	۷۸°۳۴'	۵۸°۴۷'	۵۵۶/۸	۲۸۶/۷	۳۷۶/۸

جدول ۲. مشخصات ماهواره‌های مورد استفاده

ردیف	نام ماهواره	واحد	باند	مدت زمان داده	آخرین تاریخ برآورد داده	اولین تاریخ برآورد داده	وضوح (درجه)
۱	TRMM/3B43V7	میلی متر بر ساعت	precipitation	ماهانه	۲۰۱۹/۰۱/۱۲	۱۹۹۸/۱/۱	۰/۲۵
۲	GSMaP Reanalysis	میلی متر بر ساعت	hourlyPrecipRate	سه ساعته	۲۰۱۴/۱۲/۳	۲۰۰۰/۱/۳	۰/۱
۳	GSMaP Operational	میلی متر بر ساعت	hourlyPrecipRate	سه ساعته	۲۰۲۱/۲/۳	۲۰۱۴/۱/۳	۰/۱
۴	GPM	میلی متر بر ساعت	precipitation	ماهانه	۲۰۲۰/۱/۱۱	۲۰۰۰/۱/۶	۰/۱
۵	PERSIANN-CDR	میلی متر	precipitation	روزانه	۲۰۲۰/۰۹/۳۰	۱۹۸۳/۱/۱	۰/۲۵
۶	CHIRPS	میلی متر بر روز	precipitation	روزانه	۲۰۲۱/۳/۱	۱۹۸۱/۱/۱	۰/۰۵
۷	TerraClimate	میلی متر	pr	ماهانه	۲۰۱۹/۱/۱۲	۱۹۵۸/۱/۱	۲/۵ دقیقه
۸	ERA5	متر	total_precipitation	روزانه	۲۰۲۰/۹/۷	۱۹۷۹/۲/۱	۰/۲۵

ماهواره TRMM

این ماهواره ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ میلادی پرتاب شد و در مدار قرار گرفت و از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ داده‌ها در دسترس قرار گرفت. این ماهواره محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار داد. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. بر طبق اطلاعات ارائه شده از طرف ناسا (۲۰۰۱) توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل $0.25^*0.25$ درجه و حداکثر ۵*۵ درجه است. این ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. تکرار برداشت‌ها و عبور این ماهواره برای مناطق مختلف کره زمین متفاوت است چرخش کامل زمین هر بار به مدت $91/538 \pm 0.26$ دقیقه زمان برده و ۱۶ مدار در روز طی می‌شود. زاویه میل ماهواره، ۳۵ درجه است.

ماهواره Persian

یک مجموعه داده بارش تقریباً جهانی با وضوح بالا برای مطالعات طولانی مدت است. PERSIANN-CDR (تخمین بارش از اطلاعات سنجنش‌ازدور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی - ثبت داده‌های آب‌وهوا) که توسط مرکز آب و هواشناسی و سنجنش‌ازدور (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا، ایروان (UCI) ایجاد شده است، تخمین‌های بارندگی روزانه ۰/۲۵ درجه را برای باند عرض جغرافیایی 60N-60S این ماهواره باهدف پرداختن به نیاز به مجموعه داده‌های بارندگی ثابت، بلندمدت، با وضوح بالا و جهانی برای مطالعه تغییرات و روند بارش‌های روزانه، به‌ویژه

رویدادهای بارش شدید، به دلیل تغییرات اقلیمی و تنوع طبیعی است. PERSIANN-CDR از الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های مادون قرمز GridSat-B1 تولید شده و با استفاده از محصول ماهانه پروژه جهانی بارش (GPCP) تنظیم شده است تا سازگاری دو مجموعه داده در مقیاس ۲/۵ درجه ماهانه در کل رکورد حفظ شود.

ماهواره CHIRPS

CHIRPS شامل تصاویر ماهواره‌ای با وضوح ۰/۰۵ درجه و با کمک داده‌های ایستگاه‌های مشاهداتی برای ایجاد سری‌های زمانی باران برای تجزیه و تحلیل روند و نظارت بر خشک‌سالی فصلی است. این مجموعه جهانی امکان ارزیابی دقیق و نظارت بر الگوهای بارشی در مقیاس گسترده و تجزیه و تحلیل چگونگی تأثیر آن‌ها بر تغییرات آب و هوایی را فراهم می‌کند. نسخه اولیه از داده‌های دو ایستگاه، سیستم جهانی ارتباطات جهانی (GTS) و سازمان هواشناسی جهانی (WMO) استفاده می‌کند. داده‌ها در قالب‌های مختلف برای بارگیری از طریق سایت FTP گروه Climate Hazard موجود است. برنامه SERVIR توانایی استخراج آمارهای منطقه‌ای را در یک منطقه مورد نظر توسط کاربر برای یک‌زمان خاص فراهم می‌کند.

ماهواره ERA5

ERA5 تخمین‌های ساعتی تعداد زیادی از متغیرهای جوی، زمینی و اقیانوسی را ارائه می‌دهد. داده‌ها زمین را در یک شبکه ۳۰ کیلومتری و جو را با استفاده از ۱۳۷ سطح تا ارتفاع ۸۰ کیلومتری پوشش می‌دهند. این ماهواره شامل اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت متغیرها در وضوح مکانی و زمانی است و به روزرسانی ماهانه تضمین شده آن از ۱۹۷۹ تاکنون ظرف ۳ ماه از زمان واقعی منتشر می‌شود. به روزرسانی‌های روزانه اولیه مجموعه داده ظرف ۵ روز در زمان واقعی در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره GPM

مأموریت اندازه‌گیری بارندگی جهانی (Global Precipitation Measurement) که به اختصار GPM نامیده می‌شود، شبکه‌ای بین‌المللی از ماهواره‌ها است که نسل بعدی مشاهدات جهانی باران و برف را فراهم می‌کند. این مأموریت که بر پایه موفقیت ماهواره TRMM بنا شده، با به‌کارگیری یک ماهواره اصلی و مرکزی که یک سیستم راديو متر و رادار پیشرفته را حمل می‌کند به اندازه‌گیری بارندگی از فضا می‌پردازد و به‌عنوان یک استاندارد مرجع برای تلفیق اندازه‌گیری‌های بارندگی از مجموعه‌ای از ماهواره‌های تحقیقاتی و عملیاتی عمل می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای با وضوح ۰/۱ درجه از تاریخ ۱۹۷۹/۲/۱ تا ۲۰۲۰/۹/۷ به صورت ماهانه در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره TERRA

ماهواره ترا ماهواره پژوهشی علمی چندملیتی ناسا است که در مدار خورشید آهنگ به دور زمین می‌گردد. این ماهواره سیستم فرماندهی دیدبانی زمین است. این ماهواره در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ از پایگاه نیروی هوایی وندنبرگ با موشک اطلس ۲ به فضا پرتاب گردید و از تاریخ ۲۴ فوریه ۲۰۰۰ آغاز به جمع‌آوری داده نمود. ترا دارای ۵ حسگر از راه دور برای نظارت بر وضعیت محیط‌زیست زمین و تغییرات اقلیمی است. تصاویر این ماهواره با وضوح ۲ دقیقه به صورت ماهانه در دسترس کاربران قرار می‌گیرد.

ماهواره GSM

این ماهواره نرخ بارندگی ساعتی جهانی را با وضوح ۰/۱ * ۰/۱ درجه ارائه می‌دهد و مشاهدات جهانی بارش را در فواصل سه‌ساعته ارائه می‌کند. مقادیر با استفاده از ماکروویو غیرفعال چند باندهای راديوترهای فرسوخ و با کمک مجموعه‌ای از ماهواره‌ها تخمین زده می‌شوند. الگوریتم بازیابی

نرخ بارش بر اساس یک مدل انتقال تابشی است. نرخ تعدیل شده توسط گنج بر اساس بهینه‌سازی انباشت ۲۴ ساعته نرخ باران ساعتی به بارش روزانه توسط اندازه‌گیری گنج NOAA/CPC محاسبه می‌شود.

معیارهای خطا

معیارهای خطا سنجی مورد استفاده جهت بررسی دقت مدل‌ها، شامل ضریب همبستگی^۱ (CC) میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین مجذور مربع خطا^۲ (RMSE)، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا^۴ (CV-RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا^۵ (MAE) و ضریب همبستگی پیرسون^۶ (PCC) می‌باشند (معادلات ۱ تا ۶). بالا بودن مقدار CC و PCC، کم بودن MAE و CV-RMSE و RMSE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند:

$$CC = \frac{COV(P^{est}, P^{obs})}{\sigma(P^{est}) \times \sigma(P^{obs})} \quad (۱)$$

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})}{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - P_t^{obs})^2}{T}} \quad (۳)$$

$$CV-RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\left[\frac{\sum_{t=1}^T P_t^{obs}}{T} \right]} \times 100 \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^T |P_t^{est} - P_t^{obs}|}{T} \quad (۵)$$

$$PCC = \frac{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - \overline{P^{est}})(P_t^{obs} - \overline{P^{obs}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (P_t^{est} - \overline{P^{est}})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T (P_t^{obs} - \overline{P^{obs}})^2}} \quad (۶)$$

در روابط فوق P^{est} و P^{obs} به ترتیب مقدار بارش مشاهداتی و تخمین زده شده ماهواره‌ای، $COV(P^{est}, P^{obs})$ کوواریانس آن‌ها، $\sigma(P^{est})$ و $\sigma(P^{obs})$ به ترتیب انحراف معیار بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، $\overline{P^{est}}$ و $\overline{P^{obs}}$ به ترتیب متوسط بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، t گام زمانی و T طول کل سری زمانی در نظر گرفته است.

معیارهای احتمالاتی

بسیاری از پدیده‌های آب و هوایی را می‌توان در حکم پیشامدهای دودویی ساده در نظر گرفت و هشدار در مورد این پیشامدها اغلب به صورت گزارش‌هایی کامل که این پدیده‌ها رخ می‌دهند یا نمی‌دهند صادر می‌شود. این نوع از پیش‌بینی‌ها گاهی اوقات با عنوان پیشامدهای دودویی یا

^۱ Correlation Coefficient

^۲ Mean Bias Error

^۳ Root Mean Square Error

^۴ CV (Coefficient of Variation) of Root Mean Square Error

^۵ Mean Absolute Error

^۶ Peasron Correlation Coefficient

پیش‌بینی‌های بله/خیر شناخته می‌شوند و برای محاسبه شاخص‌های احتمالاتی کاربرد دارد تقوی و همکاران (۲۰۱۲). شاخص‌های احتمالاتی مورد استفاده در این مطالعه عبارت‌اند از: شاخص نرخ هشدار اشتباه^۱ (FAR)، احتمال آشکارسازی^۲ (POD)، شاخص موفقیت بحرانی^۳ CSI و انحراف نسبی^۴ RBias (معادلات ۷ تا ۱۰). این شاخص‌ها نشان می‌دهند که توانایی تخمین‌های ماهواره‌ای در تشخیص وقوع و یا عدم وقوع بارش چه میزان است. شاخص POD نشان‌دهنده‌ی میزان دقت در تشخیص وقوع بارش، FAR بیانگر حالتهایی که در آن داده ماهواره‌ای وقوع بارش را نشان داده اما در ایستگاه بارشی رخ نداده، CSI بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط مدل‌ها به درستی تشخیص داده شده و RBias نشان‌دهنده‌ی مقدار اختلاف بین مقدار برآورد شده و مقدار واقعی است. برای محاسبه این شاخص‌ها از معادلات ۷ تا ۱۰ استفاده شد. در بهترین حالت ممکن مقادیر POD، FAR، CSI، RBias به ترتیب برابر یک، صفر، یک و صفر است.

$$POD = \frac{RR}{RR+RN} \quad (7)$$

$$FAR = \frac{NR}{RR+NR} \quad (8)$$

$$CSI = \frac{RR}{RR+NR+RN} \quad (9)$$

$$RBias(\%) = \frac{RR+NR}{RR+RN} \times 100 \quad (10)$$

در معادلات فوق RR نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل نیز وقوع بارش را نشان می‌دهد، NR نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ نداده است اما مدل وقوع بارش را نشان می‌دهد، RN نشان‌دهنده‌ی حالتی است که در ایستگاه بارش رخ داده است و مدل وقوع بارش را نشان نمی‌دهد.

توزیع تجربی

به کمک متغیر تصادفی، برای هر پیشامد، یک عدد از اعداد حقیقی در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که پیشامدها به صورت تصادفی رخ می‌دهند، طبیعی است برای هر کدام از آن‌ها، مقداری تصادفی در نظر بگیریم. برای متغیرهای تصادفی و توصیف رفتار تصادفی آن‌ها از تابع توزیع تجمعی که به اختصار CDF نامیده می‌شود، استفاده می‌کنیم. برای برآورد «تابع توزیع تجمعی» بر اساس داده‌های مشاهده شده، از تابع توزیع تجربی در آمار استفاده می‌کنیم. این تابع را با ECDF که مختصر عبارت Empirical Cumulative Distribution Function است، می‌شناسیم. تابع ECDF یکی از ابزارهای مهم در تجزیه و تحلیل داده‌ها در حوزه آمار و «داده‌کاوی» محسوب می‌شود. به کمک این توزیع‌ها ساختار داده‌ها و تمرکز و پراکندگی آن‌ها در تحلیل توصیفی داده‌ها (Explanatory Data Analysis) مشخص می‌شود. جدول فراوانی و ساختار آن اطلاعات زیادی در مورد پراکندگی داده‌ها و بخصوص فراوانی درصدی مربوط به هر رده در اختیارمان قرار می‌دهد.

یافته‌ها

نتایج مقایسه داده‌های ماهانه بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای

¹ False Alarm Ratio

² Probability of Detection

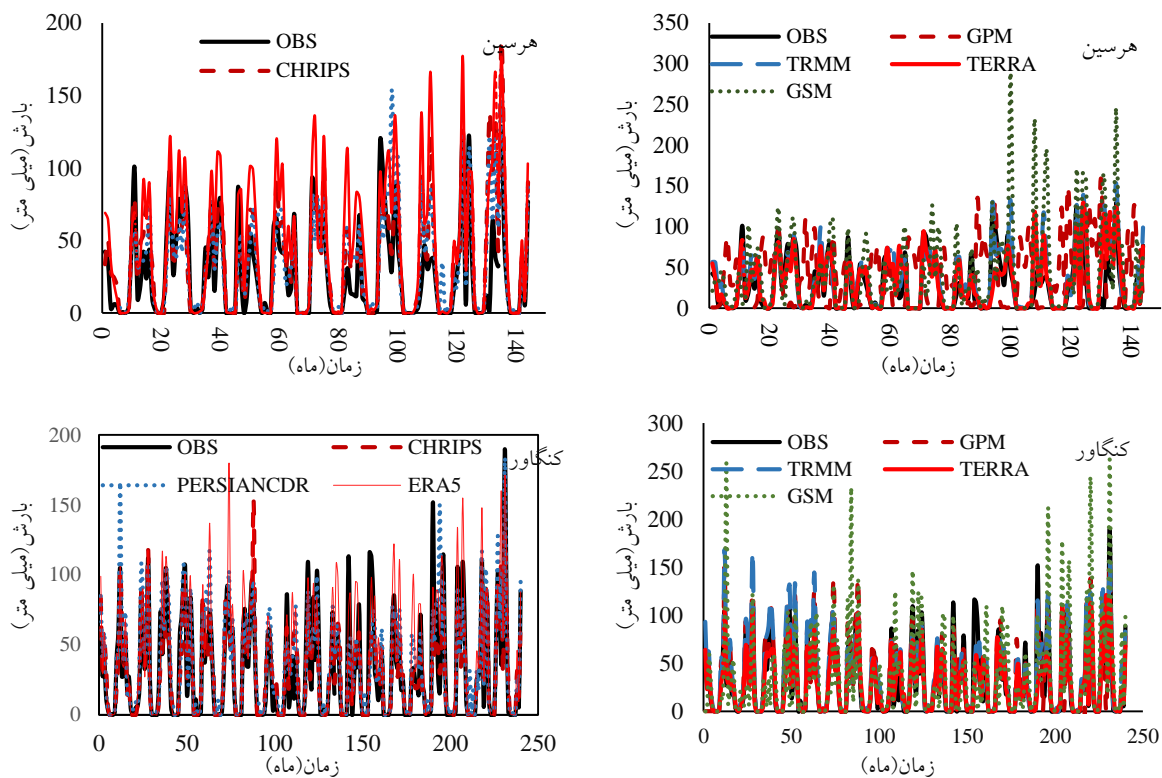
³ Critical Success Index

⁴ Relative Bias

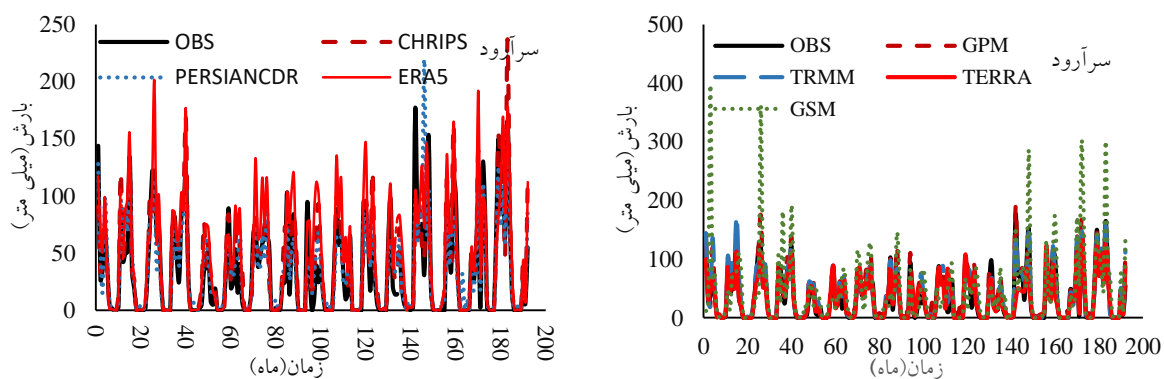
⁵ Cumulative Distribution Function

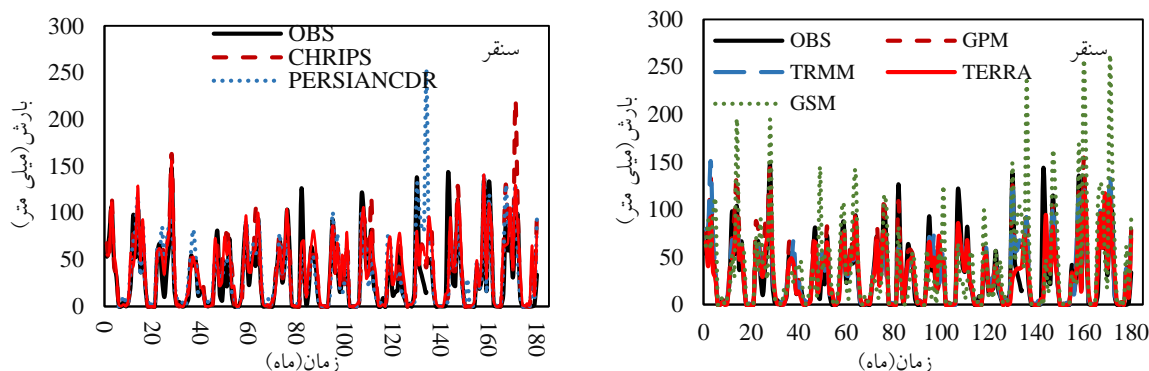
⁶ Data Mining

در شکل ۲ داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک موردنظر و داده‌های بارش ماهواره‌ها برای هر ایستگاه آورده شده است که به ترتیب از بالا به پایین ایستگاه هرسین، کنگاور، سرآرود و سنقر را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. نمودار ماهانه داده‌های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های CHRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA





ادامه شکل ۲. نمودار ماهانه داده‌های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های GPM, ERA5, PERSIAN_CDR, CHRIPS, GSM, TRMM, TERRA

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. در ایستگاه هرسین نتایج ماهواره TERRA نسبت به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است؛ ماکسیمم بارش در داده‌های مشاهداتی در مارس ۲۰۱۹، $128/6$ میلی‌متر بوده که در ماهواره TERRA بارش در این ماه 124 میلی‌متر بوده که $3/5$ درصد از داده بارش مشاهداتی کمتر است. میانگین بارش در مشاهداتی $28/23$ است که در ماهواره $31/23$ میلی‌متر حدود 11 درصد بیشتر برآورد شده است. برای ایستگاه کنگاور نیز ماهواره TRMM بیشترین نزدیکی را با داده‌های مشاهداتی دارد؛ ماکسیمم بارش در داده‌های مشاهداتی در مارس ۲۰۱۹، $189/8$ میلی‌متر بوده که در ماهواره TRMM برابر $155/49$ میلی‌متر بوده که حدود 18 درصد کمتر برآورد شده است و میانگین بارش در مشاهداتی $32/5$ میلی‌متر است که در ماهواره $37/5$ میلی‌متر حدود 15 درصد بیشتر از مشاهداتی برآورد شده است.

در ایستگاه سرآرود با توجه به نمودارها نتایج ماهواره GPM و TRMM نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی هستند؛ ماکسیمم بارش برای داده‌های مشاهداتی در اکتبر ۲۰۱۵، $176/2$ میلی‌متر بوده که ماکسیمم ماهواره GPM در این ماه $189/72$ و ماهواره TRMM برابر $143/59$ میلی‌متر است که به ترتیب 8 درصد بیشتر و 18 درصد کمتر برآورد شده است. اما با توجه به میانگین بارش در داده‌های مشاهداتی که $35/2$ میلی‌متر است و داده‌های TRMM، GPM که به ترتیب $40/4$ و $43/1$ میلی‌متر هستند داده‌های TRMM با 15 درصد اختلاف برآورد بهتری داشته‌اند. در ایستگاه سنقر با توجه به نمودارها ماهواره ERA5 و TERRA نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی هستند؛ ماکسیمم بارش برای داده‌های مشاهداتی در آوریل ۲۰۰۷، $147/9$ میلی‌متر بوده که ماکسیمم ماهواره ERA5 155 میلی‌متر در همین ماه است و 5 درصد بیشتر برآورد شده و برای TERRA در همین ماه در سال ۲۰۱۸ و در آوریل ۲۰۰۷، 110 میلی‌متر بوده که 26 درصد کمتر از مشاهداتی برآورد شده است. اما با توجه به میانگین بارش مشاهداتی که $31/4$ میلی‌متر است ماهواره TERRA با میانگین $30/38$ میلی‌متر با سه درصد کاهش مطابقت بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد.

نتایج معیارهای خطا

جدول ۳ معیارهای خطا برای چهار ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه گاماسیاب و داده‌های بارش ماهواره‌های ERA5, CHRIPS, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA را نشان می‌دهد.

جدول ۳. معیارهای خطای بارش مشاهداتی و ماهواره در مقیاس ماهانه

CHRIPS	PERSIANCDR	ERA5	GPM	TRMM	TERRA	GSM	معیار	ایستگاه
							ماهواره	
۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۹	-۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۶	CC(%)	هرسین
۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۵۳	MBE(%)	
۲۴/۱۰	۲۴/۵۰	۳۴/۰۷	۵۸/۱۹	۲۲/۶۲	۲۲/۰۴	۴۶/۱۹	RMSE(mm)	
۸۵/۳۵	۸۶/۷۷	۱۲۰/۶۹	۲۰۶/۱۴	۸۰/۱۲	۷۸/۰۶	۱۶۳/۶۳	CV_RMSE(%)	
۱۴/۰۵	۱۴/۵۰	۲۲/۱۶	۴۸/۳۵	۱۳/۴۶	۱۱/۳۱	۲۵/۶۵	MAE(mm)	
۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۹	-۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۷	PCC(%)	
۰/۸۵۱	۰/۸۴۸	۰/۸۴۳	۰/۸۷۰	۰/۸۹۲	۰/۸۵۳	۰/۶۲۴	CC(%)	کنگاور
-۰/۰۷۹	۰/۱۴۱	۰/۲۸۳	۰/۰۷۸	۰/۱۵۴	-۰/۱۰۵	۰/۱۱۱	MBE(%)	
۱۸/۸۶۹	۲۰/۱۳۲	۲۴/۰۶۴	۱۸/۵۸۴	۱۷/۸۷۶	۱۸/۹۴۴	۳۸/۳۱۶	RMSE(mm)	
۵۷/۹۸۳	۶۱/۸۶۲	۷۳/۹۴۴	۵۷/۱۰۷	۵۴/۹۳۰	۵۸/۲۱۲	۱۱۷/۷۳۸	CV_RMSE(%)	
۱۱/۰۹۲	۱۲/۱۰۵	۱۴/۴۳۹	۱۱/۴۲۹	۱۱/۰۲۱	۱۰/۲۱۳	۲۲/۳۵۶	MAE(mm)	
۰/۸۵۵	۰/۸۵۲	۰/۸۴۷	۰/۸۷۴	۰/۸۹۵	۰/۸۵۷	۰/۶۲۷	PCC(%)	
۰/۸۶۸	۰/۸۴۵	۰/۸۵۸	۰/۹۳۸	۰/۹۲۶	۰/۸۷۹	۰/۶۶۶	CC(%)	سرآرود
۰/۱۵۱	۰/۰۲۳	۰/۳۸۲	۰/۲۲۲	۰/۱۴۵	-۰/۰۵۱	۰/۳۱۷	MBE(%)	
۲۱/۵۵۳	۲۱/۵۰۶	۲۸/۱۰۳	۱۶/۲۳۰	۱۶/۰۰۳	۱۹/۰۱۱	۴۸/۳۹۸	RMSE(mm)	
۶۱/۱۵۳	۶۱/۰۱۹	۷۹/۷۳۷	۴۶/۰۴۹	۴۵/۴۰۵	۵۳/۹۴۰	۱۳۷/۳۲۲	CV_RMSE(%)	
۱۳/۰۶۷	۱۲/۰۰۸	۱۸/۱۷۱	۱۰/۸۹۲	۱۰/۰۶۱	۹/۶۵۰	۲۵/۴۸۳	MAE(mm)	
۰/۸۷۳	۰/۸۵۰	۰/۸۶۳	۰/۹۴۳	۰/۹۳۱	۰/۸۸۴	۰/۶۶۹	PCC(%)	
۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۶۵	CC(%)	سنقر
۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۳۱	MBE(%)	
۲۴/۱۸	۲۸/۱۱	۲۰/۸۹	۱۸/۱۷	۱۹/۰۲	۱۹/۵۹	۴۰/۲۷	RMSE(mm)	
۷۷/۰۰	۸۹/۵۱	۶۶/۵۰	۵۷/۸۵	۶۰/۵۸	۶۲/۳۹	۱۲۸/۲۳	CV_RMSE(%)	
۱۳/۰۷	۱۴/۳۴	۱۳/۰۳	۱۰/۷۲	۱۱/۱۸	۱۰/۳۵	۲۴/۵۱	MAE(mm)	
۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۶۵	PCC(%)	

همان‌طور که گفته شد، بالا بودن مقدار CC و PCC و کم بودن MAE، CV-RMSE و RMSE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. همچنین مقادیر منفی و مثبت MBE به ترتیب به معنای کم تخمینی و بیش تخمینی داده‌های بارش ماهواره‌ای هستند. برای ایستگاه هرسین ماهواره TERRA با داشتن ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون ۰/۷۷ و همچنین کمترین معیارهای خطای میانگین مجذور مربع خطا ۲۲/۰۴، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۷۸/۰۶، میانگین قدر مطلق خطا ۱۱/۳۱ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۱ بهترین برآورد را داشته است.

در ایستگاه کنگاور ماهواره TRMM با توجه به معیارهای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/89$ که بالاترین مقدار را داشته است و همچنین کمترین مقدار معیارهای میانگین مجذور مربع خطا $17/87$ ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $57/107$ ، همچنین مناسب بودن میانگین قدر مطلق خطا $11/021$ و میانگین انحراف خطای $0/154$ و بعد از آن TERRA بهترین برآورد را داشته‌اند.

در سرآرود هم ماهواره TRMM با داشتن معیارهای خطای مناسب، بالاترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/93$ و $0/92$ بعد از GPM و کمترین مقدار معیارهای خطای میانگین مجذور مربع خطا 16 ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $45/4$ و مقدار مناسب میانگین انحراف خطای $0/145$ و میانگین قدر مطلق خطا $10/61$ مناسب‌ترین برآورد را داشته‌است.

برای ایستگاه سنقر ماهواره GPM با توجه به چهار معیار خطای میانگین مجذور مربع خطا $18/16$ ، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا $57/84$ و میانگین قدر مطلق خطا $10/72$ و ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون $0/87$ و $0/88$ و میانگین انحراف خطای $0/147$ به نسبت بهترین برآورد را داشته‌اند.

نتایج معیارهای احتمالاتی

جدول ۴ معیارهای احتمالاتی برای چهار ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه واقع در حوضه گاماسیاب و داده‌های بارش ماهواره‌های CHIRIPS, ERA5, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA را نشان می‌دهد.

جدول ۴. معیارهای احتمالاتی داده‌های مشاهداتی و ماهواره در مقیاس ماهانه

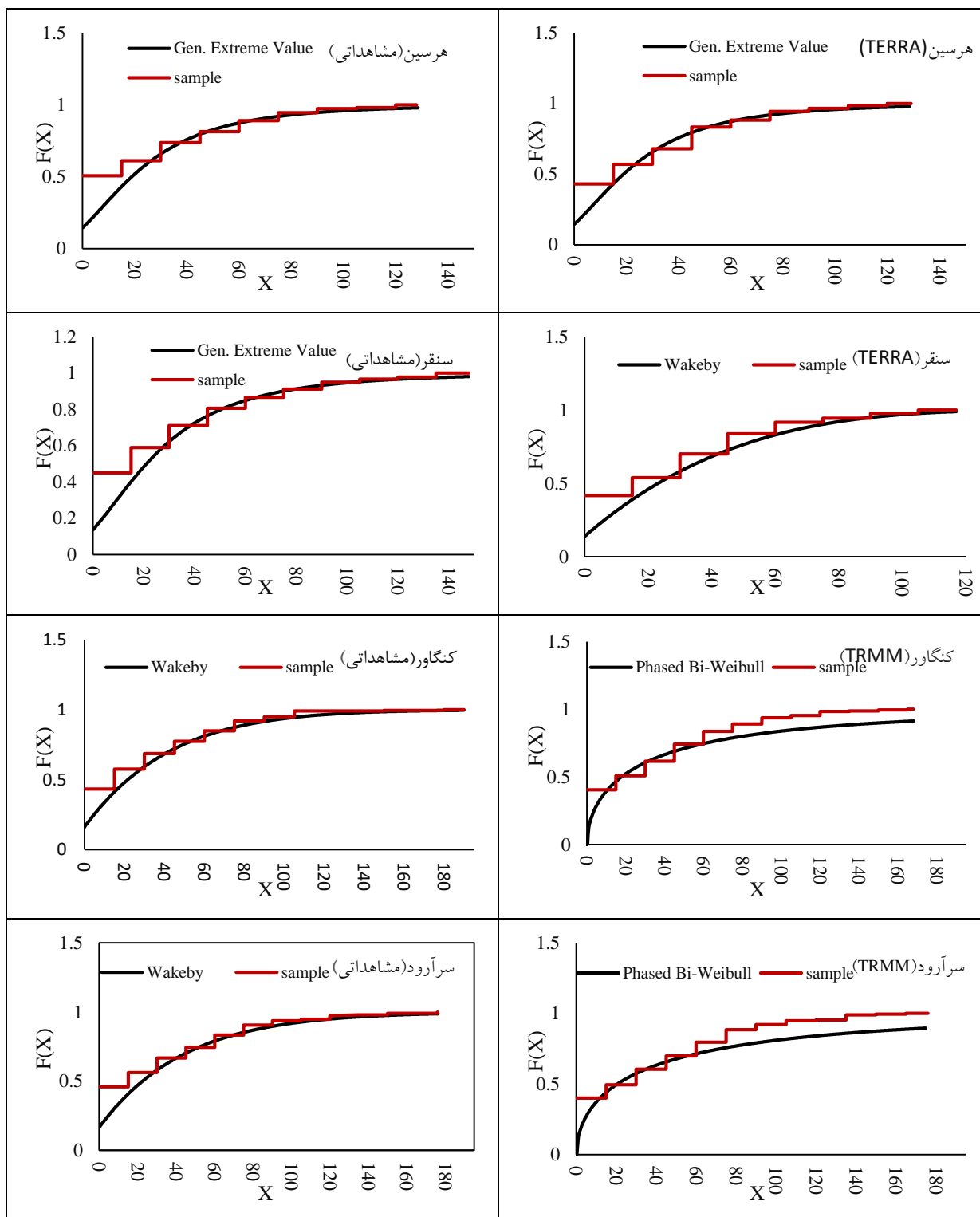
CHRIPS	PERSIAN_CDR	ERA5	GPM	TRMM	TERRA	GSM	معیار ماهواره	ایستگاه
$0/91$	$0/99$	$0/96$	$0/91$	$0/99$	$0/97$	$1/00$	POD	هرسین
$0/02$	$0/16$	$0/07$	$0/25$	$0/20$	$0/06$	$0/22$	FAR	
$0/90$	$0/83$	$0/89$	$0/69$	$0/80$	$0/92$	$0/78$	CSI	
$93/62$	$11/18$	$102/99$	$121/82$	$123/28$	$102/94$	$127/43$	Rbias	
$0/86$	$1/00$	$0/93$	$0/97$	$1/00$	$0/99$	$1/00$	POD	کنگاور
$0/00$	$0/08$	$0/05$	$0/08$	$0/08$	$0/01$	$0/10$	FAR	
$0/86$	$0/93$	$0/89$	$0/90$	$0/93$	$0/98$	$0/90$	CSI	
$86/25$	$108/11$	$98/68$	$105/41$	$108/11$	$100/00$	$111/11$	Rbias	
$0/90$	$0/99$	$0/94$	$1/00$	$0/99$	$0/95$	$1/00$	POD	سرآرود
$0/02$	$0/12$	$0/03$	$0/17$	$0/18$	$0/03$	$0/15$	FAR	
$0/88$	$0/88$	$0/91$	$0/83$	$0/82$	$0/93$	$0/85$	CSI	
$92/02$	$113/02$	$96/77$	$120/75$	$120/89$	$97/86$	$117/07$	Rbias	
$0/86$	$1/00$	$0/92$	$0/99$	$0/99$	$0/83$	$0/99$	POD	سنقر
$0/01$	$0/08$	$0/05$	$0/13$	$0/16$	$0/02$	$0/13$	FAR	
$0/86$	$0/92$	$0/88$	$0/86$	$0/83$	$0/82$	$0/86$	CSI	
$86/59$	$108/59$	$96/09$	$114/74$	$116/99$	$84/65$	$114/84$	Rbias	

با توجه به اینکه POD, FAR, CSI, RBias به ترتیب هرچه به یک، صفر، یک و صفر نزدیک‌تر باشد داده‌های برآورد شده مناسب‌تر و بیشتر به داده‌های مشاهداتی نزدیک است این معیارها برای هر یک از ایستگاه‌ها به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته که در جدول شماره ۴ لحاظ شده‌اند: در ایستگاه هرسین TERRA با احتمال آشکارسازی $0/97$ با اختلاف اندک از GSM و شاخص موفقیت بحرانی $0/91$ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب $0/057$ و $102/94$ با کمی اختلاف از ماهواره CHIRIPS دومین ماهواره با برآورد مناسب است. برای

کنگاور نیز ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی ۰/۹۶ با اختلاف اندک از PERSIAN شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۴ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۲۵، ۹۹/۱۴ با کمی اختلاف از ماهواره CHRIPS دارای برآورد مناسب است. برای سنقر ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی به ترتیب ۰/۹۷ و شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی ۰/۰۴، ۱۰۱/۱۴ با مقداری اختلاف از ماهواره CHRIPS برآورد مناسبی داشته است. ایستگاه سرآرود ماهواره TERRA با احتمال آشکارسازی ۰/۹۵ با اختلاف اندک از GSM و GPM شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۳، ۹۷/۸۶ با کمی اختلاف از ماهواره CHRIPS ماهواره‌ای با برآورد مناسب است.

نتایج بهترین توزیع تجربی داده‌ها در ایزی فیت

ایزی فیت نرم‌افزار مخصوصی است که برای ارائه تجزیه و تحلیل‌های قابل اطمینان از داده‌ها و انتخاب بهترین مدل، طراحی شده است. این نرم‌افزار کمک می‌کند خیلی راحت و سریع، بهترین توزیع احتمال متناسب با داده‌ها را انتخاب کرد و با این‌گونه، زمان تجزیه و تحلیل خود را نسبت به روش‌های دستی، حدود ۷۰-۹۵ درصد، کاهش داد. از ویژگی‌های کلیدی این نرم‌افزار می‌توان به قابلیت تطبیق خودکار بیش از ۵۵ توزیع برای داده‌های ساده و امکان انتخاب بهترین مدل، اشاره کرد. بهترین آزمون‌های تطبیق کای اسکور، اندرسون دارلین و کلمو گروف_اسمیرنوف است که کمک خواهند نمود تا به مقایسه و تطبیق مدل‌ها پرداخته و معتبرترین مدل را انتخاب کرد. در شکل ۳ نمودار توزیع تجمعی داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهواره‌های منتخب برای برآورد داده هر ایستگاه آورده شده است.



شکل ۳. نمودار بهترین توزیع تجمعی داده های بارش ۴ ایستگاه سینوپتیک و داده های ماهواره های ERA5, TERRA

با توجه به شکل ۳ برای دو ایستگاه کنگاور و سرآرود بهترین توزیع برای داده‌های بارش مشاهداتی و ماهواره‌های TRMM با توجه به آزمون کلموگروف_ اسمیرنوف توزیع Wakeby, Phased Bi-Weibull است که در داده‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط ماهواره متفاوت است اما در دو ایستگاه هرسین و سنقر که بهترین توزیع برای داده‌های مشاهداتی Gen.ExtremeValue است اما برای دو ماهواره این توزیع متفاوت است و برای ماهواره TERRA، در ایستگاه سنقر Wakeby و برای ماهواره TERRA، Gumbel Max بهترین توزیع هستند.

بحث

با توجه به گرم‌تر شدن زمین و کاهش بارش نیاز به پیش‌بینی‌های بلندمدت بارش برای برنامه‌ریزی و استفاده مناسب از منابع آبی در دسترس انسان برای منطقه موردنظر لازم و ضروری است. داده‌های ماهواره‌ای با سطح پوشش وسیع خود و همچنین سهولت دسترسی، قابلیت استفاده از آن‌ها در پیش‌بینی بارش و نیز پارامترهای هیدرولوژیکی و درنهایت در برنامه‌ریزی‌های منابع آب موردتوجه است. در این پژوهش به مقایسه داده‌های بارش چهار ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه که در حوضه گاماسیاب قرار دارند با داده‌های بارش ماهواره‌های ERA5, CHRIPS, PERSIAN_CDR, GPM, GSM, TRMM, TERRA پرداخته شده است که برای ایستگاه هرسین از ۲۰۰۸، کنگاور از ۲۰۰۰، سرآرود از ۲۰۰۴ و سنقر از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ داده‌های ماهانه موردبررسی قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که هرچند ماهواره CHRIPS در معیارهای احتمالاتی شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی کمتری داشته است و PERSIAN و GSM احتمال آشکارسازی بالاتری دارند اما با توجه به همه معیارها برای ایستگاه سنقر و هرسین ماهواره TERRA با معیارهای خطای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون برای هر ایستگاه به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۷ و ۰/۸۴ و کمترین معیارهای خطای به ترتیب میانگین مجذور مربع خطا ۰/۲۲/۰۴ و ۱۸/۷۲، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۷۸/۰۶ و ۶۰/۶۵، میانگین قدر مطلق خطا ۱۱/۳۱ و ۱۰/۳۴ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۱ و ۰/۰۵ و معیارهای احتمالاتی احتمال آشکارسازی ۰/۹۷ و ۰/۹۶، شاخص موفقیت بحرانی ۰/۹۳ و ۰/۹۱ و شاخص نرخ هشدار اشتباه و انحراف نسبی به ترتیب ۰/۰۴ و ۱۰/۱۴ و ۰/۰۵ و ۱۰۲/۷۵ بهترین برآورد را داشته است. این ماهواره بیش‌ترین بارش را که در ایستگاه هرسین و سنقر به ترتیب ۱۲۸/۶ و ۱۴۷/۹ میلی‌متر بوده با ۳/۵ و ۲۶ درصد کاهش ۱۲۴ و ۱۱۰ میلی‌متر برآورد کرده است. برای ایستگاه سرآرود و کنگاور نیز با توجه به معیارهای خطا و شکل نمودار ماهواره TRMM با ضریب همبستگی و ضریب همبستگی پیرسون به ترتیب برای هر ایستگاه ۰/۸۹، ۰/۸۹ و ۰/۹۲، ۰/۹۳ و کمترین معیارهای خطای به ترتیب میانگین مجذور مربع خطا ۱۷/۸۷ و ۱۶/۰۰، ضریب تغییرات میانگین مجذور مربع خطا ۵۴/۹۳ و ۴۵/۴۰۵، میانگین قدر مطلق خطا ۱۳/۴۶ و ۱۱/۰۲۱ و همچنین میانگین انحراف خطای ۰/۱۵۴ و ۰/۱۴۵ و بهترین برآورد را داشته است اما معیارهای احتمالاتی احتمال آشکارسازی در این دو ایستگاه TERRA را برتر برآورد کرده‌اند. ماهواره TRMM بیش‌ترین بارش را در دو ایستگاه سرآرود و کنگاور که به ترتیب ۱۷۶/۲ و ۱۸۹/۸ میلی‌متر بوده است را با ۱۸ درصد کاهش ۱۴۳/۵۹ و ۱۵۵/۴۹ میلی‌متر برآورد کرده است. نتایج این پژوهش با پژوهش گرجی زاده و همکاران (۱۳۹۷) در بالادست سد مارون در حوضه آبریز سر پوک مطابقت دارد. برای دو ایستگاه کنگاور و سرآرود بهترین توزیع برای داده‌های بارش مشاهداتی و ماهواره‌های TRMM با توجه به آزمون کلموگروف_ اسمیرنوف توزیع Wakeby, Phased Bi-Weibull است که در داده‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط ماهواره متفاوت است اما در دو ایستگاه هرسین و سنقر که بهترین توزیع برای داده‌های مشاهداتی Gen.ExtremeValue است اما برای دو ماهواره این توزیع متفاوت است و برای ماهواره TERRA، در ایستگاه سنقر Wakeby و برای ماهواره TERRA، Gumbel Max بهترین توزیع هستند.

منابع

- اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی، و پوررضا، محسن. (۱۳۹۹). صحت سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۷(۴)، ۱۶۶-۱۴۹.
<https://dx.doi.org/10.22069/jwsc.2020.17531.3301>
- اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی، و پوررضا، محسن. (۱۴۰۰). ارزیابی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره GPM با مقادیر بارندگی ایستگاه‌های زمینی با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف. مجله علمی سامانه‌های سطوح آبخیز باران، ۹(۲)، ۲۴-۱۱.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9>
- انوری، پوریا، علوی مقدم، محمدرضا، و حسینی، فرید. (۱۳۹۸). تلفیق بهره‌برداری از پایگاه داده ماهواره‌ای و زمینی در مدل‌سازی سامانه منابع آب حوضه آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آمودریا). هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب. <https://civilica.com/doc/1035393>
- پای فشرده، فروزان، و حافظ پرست، مریم. (۱۳۹۹). ارزیابی داده‌های بارش منطقه‌ای و داده‌های ماهواره‌های TRMM و PERSIAN و CHIRPS در حوضه آبریز جامیشان. پنجمین کنفرانس ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی، تربت حیدریه. <https://civilica.com/doc/1202746>
- تافته، آرش، ملاح، سینا، و ابراهیمی پاک، نیازعلی. (۱۳۹۹). بررسی نتایج داده‌های روزانه، ده روزه و ماهانه تصاویر ماهواره در تخمین مقدار بارش با استفاده از سامانه Google Earth Engine در استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۹(۳)، ۹۳-۱۰۴.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1399.9.3.6.8>
- زنگنه اینانلو، محمدرضا، قهرمان، بیژن، و فرید حسینی، علیرضا. (۱۳۹۷). مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات بارش ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاپور). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۴)، ۱-۱۳.
http://www.iwrr.ir/article_55184.html
- شیرمحمدی، علی، اکبرخانی، زهرا، صابر علی، سید فرهاد، و نستری نصرآبادی، حسین. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی داده‌های بارش ماهواره‌های GPM و TRMM 3B42 V7 در شمال شرق ایران. نشریه هواشناسی و علوم جو، ۲(۲)، ۱۹۱-۱۷۹.
http://www.ims-jmas.net/article_126709_3b2d3940afcc4382f5b3904b3ed81293.pdf
- صفوی گردینی، مریم، دلبری، معصومه، امیری، میثم، و پیری، جمشید. (۱۳۹۷). واسنجی داده‌های باران سری 3B43 ماهواره TRMM در استان هرمزگان. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۹(۳۵)، ۹۹-۱۱۲.
<https://doi.org/10.22125/iwe.2019.88673>
- عبداللهی، بنفشه، حسینی موغاری، سید محمد، و ابراهیمی، کیومرث. (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های ماهواره‌های TRMM ۷۲۲B۳ و CMORPH به منظور تخمین بارش در حوضه گرگانرود. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۱(۳۶)، ۶۸-۵۵.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1396.11.36.5.7>
- عرفانیان، مهدی، کاظم پور، سیما، و حیدری، حسن. (۱۳۹۴). واسنجی داده‌های باران سری B42۳ و B43۳ ماهواره‌های TRMM در زون‌های اقلیمی ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲(۴۸)، ۳۰۳-۲۸۷.
<https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=648922>
- قهرمان، بیژن، زنگنه اینانلو، محمدرضا، و فرید حسینی، علیرضا. (۱۳۹۷). بررسی تطابق داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM اصلاح‌شده با داده‌های بارش زمینی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبخیز رود شاپور استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۴)، ۵۷-۴۳.
<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.123063.1139>
- گرگی زاده، علی، آخوندعلی، علی محمد، شهبازی، علی، و مریدی، علی. (۱۳۹۷). مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های ERA-Interim، CHIRPS و PERSIANN-CDR در بالادست سد مارون، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۲۶۷-۲۷۹.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7>
- میری، مرتضی، رحیمی، مجتبی، و نوروزی، علی‌اکبر. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۹۸۳-۹۷۲.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469>

References

- Abdollahi, B., Hosseini-Moghari, S. M., & Ebrahimi, K. (2017). Assessment of TRMM 3B42RT V7 and CMORPH Satellites Precipitation Data in order to Estimate Precipitation in Gorganrood Basin-Iran.

- Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 11(36), 55-68.
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1396.11.36.5.7> [in Persian]
- Amorim, J. D. S., Viola, M. R., Junqueira, R., Oliveira, V. A. D., & Mello, C. R. D. (2020). Evaluation of Satellite Precipitation Products for Hydrological Modeling in the Brazilian Cerrado Biome. *Water*, 12(9), 2571. <https://doi.org/10.3390/w12092571>
- Anvari, P., Alavi Moghadam, M.R., & Hosseini, F. (2019). Combining the operation of satellite and terrestrial databases in modeling the catchment water resources system (Case study: Amu Darya catchment). the 7th Comprehensive Conference on Flood Management and Engineering.
<https://civilica.com/doc/1035393> [in Persian]
- Bayissa, Y., Tadesse, T., Demisse, G., & Shiferaw, A. (2017). Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing*, 9(7), 669. <https://doi.org/10.3390/rs9070669>.
- Bitew, M. M., & Gebremichael, M. (2011). Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, 47(6). 1-11. <https://doi.org/10.1029/2010WR009917>
- Chua, Z. W., Kuleshov, Y., & Watkins, A. (2020). Evaluation of satellite precipitation estimates over Australia. *Remote Sensing*, 12(4), 678. <https://doi.org/10.3390/rs12040678>
- Erfanian, M., Kazempour, S., & Heidari, H. (2016). Calibration of TRMM satellite 3B42 and 3B43 rainfall data in climatic zones of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2), 287-303. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=648922> [in Persian]
- Ghahraman, B., Zangeneh Inaloo, M. R., & Faridhoseini, A. R. (2018). An Evaluation of the Accordance of Modified TRMM Satellite Precipitation Data with Observational Data in the Shapour Basin in the Fars Province. *Watershed Management Research Journal*, 31(4), 43-57.
<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.123063.1139> [in Persian]
- Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A., & Moridi, A. (2019). Comparison and Evaluation of precipitation estimated by ERA-Interim, PERSIANN-CDR and CHIRPS models at the upstream of Maroon dam. *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 267-279.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7> [in Persian]
- Jiang, D., & Wang, K. (2019). The role of satellite-based remote sensing in improving simulated streamflow: A review. *Water*, 11(8), 1615. <https://doi.org/10.3390/w11081615>.
- Kumar, D.N., & TV Reshmidevi, T.V. (2013). Remote sensing applications in water resources. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93, 163-188. https://doi.org/10.1142/9789812777614_0008
- Miri, M., Rahimi, M., & Noroozi, A. (2019). Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 972-983. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469> [In Persian]
- Ordooni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2021). Evaluation and Comparison of GPM Satellite Precipitation Data with Meteorological Station using Kolmogorov-Smirnov Test. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(2), 11-24. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9> [In Persian]
- Ordouni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2020). Accuracy assessment of GPM-IMERG satellite precipitation data on half-hourly and daily time scales (Case study: Gorganroud Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(4), 149-166. <https://dx.doi.org/10.22069/jwsc.2020.17531.3301> [In Persian]

- Payfeshordeh, F., & Hafezparast, M. (1399). Evaluation of regional precipitation data and TRMM, PERSIAN and CHIRPS satellites in Jamishan catchment, Fifth National Conference on Application of New Technologies in Engineering Sciences, Torbat Heydariyeh. <https://civilica.com/doc/1202746> [In Persian]
- Qin, Y., Chen, Z., Shen, Y., Zhang, S., & Shi, R. (2014). Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sensing*, 6(11), 11649-11672. <https://doi.org/10.3390/rs61111649>.
- Safavi Gherdini, M., Delbari, M., Amiri, M., & Piri, J. (2019). Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province. *Irrigation and Water Engineering*, 9(3), 99-112. <https://doi.org/10.22125/iwe.2019.88673> [In Persian]
- Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., Saberli, S. F., & Nastari Nasrabadi, H. (2019). Evaluation and Zoning of GPM and TRMM 3B42 V7 Satellite Rainfall Data in Northeast Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(2), 179-191. http://www.ims-jmas.net/article_126709_3b2d3940afcc4382f5b3904b3ed81293.pdf [In Persian]
- Tafteh, A., Mallah, S., & Ebrahimipak, N. (2020). Evaluation of Daily, Decade and Monthly Data Satellite Images to Estimate of Precipitation Using Google Earth engine in Khuzestan Province. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(3), 93-104. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1399.9.3.6.8> [In Persian]
- Taghavi, F., Neiestani, A., & Sarmad, Gh. (2012). WRF numerical model forecasts to assess short-term rainfall during a month in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 39(2), 145-170. <https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2013.35196>
- Tao, H., Fischer, T., Zeng, Y., & Fraedrich, K. (2016). Evaluation of TRMM 3B43 precipitation data for drought monitoring in Jiangsu Province, China. *Water*, 8(6), 221. <https://doi.org/10.3390/w8060221>
- Toté, C., Patricio, D., Boogaard, H., Van der Wijngaart, R., Tarnavsky, E., & Funk, C. (2015). Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique. *Remote Sensing*, 7(2), 1758-1776. <https://doi.org/10.3390/rs70201758>
- Tramblay, Y., Thiemi, V., Dezetter, A., & Hanich, L. (2016). Evaluation of satellite-based rainfall products for hydrological modelling in Morocco. *Hydrological Sciences Journal*, 61(14), 2509-2519. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1154149>
- Zangenehinanlu, M., Ghahraman, B., & Faridhosseini, A. (2018). Comparison of observed rainfall and satellite rainfall data PERSIANN and CMORPH - interpolation methods in hourly and daily scale. (case study: Shopoor basin). *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 1-13. http://www.iwrr.ir/article_55184.html [in Persian]