

Research Paper

Study and modeling of scouring downstream of a solitary tree deflectors in a straight channel

Hadi Rashidi¹, Mohsen Najarchi^{2*}, seyed mohamad Mirhossinihazaveh³

1. PhD Student, Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

3. Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

Received: 2024.04.23

Revised: 2024.06.04

Accepted: 2024.12.08

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.71632/wre.2025.1167608](https://doi.org/10.71632/wre.2025.1167608)

Keywords:

Neural network, downstream scour, tree deflectors, straight channel, Buckingham π -theorem

Abstract

Introduction: Erosion is a natural phenomenon caused by water flow over erodible surfaces in rivers and channels. Local scour, a component of morphological changes in waterways, often results from human-made structures. Experimental studies demonstrate that erosion processes driven by shear stress and flow scouring at the end of protected beds can progressively destabilize riverbeds, potentially leading to structural failure. Predicting scour hole dimensions is thus critical. Scour involves a two-phase flow (water and sediment) influenced by variables such as flow conditions, bed characteristics, time, and channel geometry. Consequently, researchers have focused on experimental investigations to understand these dynamics.

Methods: This study combines empirical observations of scour phenomena with analytical methods to evaluate erosion rates. A practical equation with high predictive capability was sought. A tree-trunk deflector model was tested in a straight flume (10 m length $\times$ 0.5 m width $\times$ 0.5 m height), elevated 1.3 m above the laboratory floor, with a bed slope of 0.001. The flume featured an iron bed/framework, glass walls, and a downstream triangular weir (90° apex angle) for flow measurement. A sliding gate controlled water depth. The fixed bed spanned 60 cm, with 17 cm of uniform sand (median grain size $d_{50} = 1$ mm, standard deviation 3.1) over a 210 cm length. Bed profiles were measured using a 1 mm-accuracy depth gauge after each test.

Results: A neural network model incorporating dimensional and dimensionless parameters was developed. Sensitivity analysis identified key variables, and a modified DOT relationship (Mahdavi-Zadeh, 20XX) with adjusted C_h coefficients was proposed. Nonlinear regression equations derived from Buckingham π -theorem were compared to neural network performance. Models with 10 hidden-layer neurons outperformed single-neuron models in estimating scour depth (validated via SPSS), showing higher correlation (e.g., $R^2 > 0.9$) and lower mean squared error (MSE). Scour depth and flow depth were most influential, while time significantly affected scour width.

Citation: Rashidi . H, Najarchi . M, Mirhossinihazaveh . S M. Study and modeling of scouring downstream of a solitary tree deflectors in a straight channel. Water Resources Engineering Journal. 2025; 18 (64): 15-24.

***Corresponding author:** Mohsen Najarchi

Address: Associate Professor, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

Tel: 09188621836

Email: mohsennajarchi@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Erosion is a natural phenomenon caused by water flow over erodible surfaces in rivers and channels. Localized erosion, particularly downstream of hydraulic structures, plays a crucial role in riverbed morphology. Shear stress and flow scouring at the end of protected beds can lead to progressive destruction, ultimately threatening the stability of hydraulic structures. Accurate prediction of scouring dimensions is essential for effective river management and infrastructure protection. This study investigates the scouring patterns downstream of solitary tree deflectors in a straight channel to improve understanding and modeling of erosion processes.

Materials and Methods

Experiments were conducted in a laboratory flume with a controlled flow system to analyze the scouring effects of solitary tree deflectors. The channel was straight with specific dimensions, and the deflector was placed at different locations to observe variations in scour depth and patterns. High-precision instruments were used to measure flow velocity, water depth, and sediment displacement. Different hydraulic conditions were tested, and numerical modeling was performed to compare experimental results with theoretical predictions.

Findings and Discussion

The results indicated that the presence of a solitary tree deflector significantly altered the flow pattern, leading to localized scouring downstream. The maximum scour depth was observed near the deflector's downstream edge, where shear stress was highest. Increasing the flow velocity intensified the erosion process, confirming the direct relationship between hydraulic conditions and scouring behavior. Comparison with numerical models showed good agreement, validating the experimental setup and highlighting the importance of considering flow turbulence and sediment transport in scouring predictions.

Conclusion

The study demonstrated that solitary tree deflectors influence erosion dynamics in a straight channel by modifying flow structures and enhancing localized scouring. Understanding these effects can aid in designing more effective erosion control strategies for river management. The findings suggest that incorporating deflectors in river engineering can help mitigate uncontrolled erosion while maintaining ecological balance. Further research is recommended to explore different deflector

configurations and their impact under varying hydraulic conditions.

Ethical Considerations

All experiments were conducted in compliance with ethical guidelines, and no human or animal subjects were involved in the study.

Funding

No external funding was received for this research.

Authors' Contributions

- Conceptualization and design: Hadi Rashidi, Mohsen Najarchi, Sedmohamad Mirhossinihzahev
- Methodology and data analysis: Hadi Rashidi, Mohsen Najarchi
- Supervision and final writing: Mohsen Najarchi

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest

مقاله پژوهشی

بررسی و مدل سازی آب شستگی پایین دست انحراف کننده تنه درختی در کانال

مستقیم

هادی رشیدی^۱، محسن نجارچی^{۲*}، سید محمد میرحسینی هزاوه^۳

۱. دانشجوی دکتری، مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

۳. گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

چکیده

آبشستگی، بستگی به ایجاد موانع در مقابل جریان آب، مقاطع غیر هیدرولیکی، پایه ها و پی، دست خوردگی مصالح بستر، خاک نفوذپذیر یا نفوذناپذیر، غیر موازی بودن فونداسیون و جریان آب، نوع فعالیت رودخانه اعم از استاتیکی و یا دینامیکی، وجود آبشار و یا مانع ای که باعث به وجود آمدن آبشار در مصالح بستر طبیعی، که باعث شسته شدن مصالح زیرین بستر می شود بستگی دارد. آبشستگی موضعی در اطراف پایه های پل بر اثر برخورد جریان با پایه و جدایی جریان از آن ایجاد میگردد. ابعاد حفره آبشستگی ایجاد شده در اطراف **پایه پل** به خصوصیات هیدرولیکی جریان، خصوصیات سیال، هندسه پایه و مشخصات مواد بستر بستگی دارد. شبکه بهینه پیش خورنده با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا با توابع انتقال سیگموئیدی برای چهار مدل ذکر شده در فصل چهارم، استفاده شده است. برای تعیین تعداد نرونها در لایه پنهان، یک و ده نرون در لایه پنهان بر حسب شاخص های صحت سنجی انتخاب شد. با توجه به ساختار شبکه ای یک نرون در لایه پنهان مقایسه ای بین مدل پارامترهای بعد دار و بی بعد مؤثر در ابعاد حفره آبشستگی صورت گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.71632/wre.2025.1167608](https://doi.org/10.71632/wre.2025.1167608)

واژه های کلیدی:

شبکه عصبی، آبشستگی پایین دست، منحرف کننده تنه درخت، کانال مستقیم

* نویسنده مسئول: محسن نجارچی

تلفن: ۰۹۱۸۸۶۲۱۸۳۶

نشانی: دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران

پست الکترونیکی: mohsennajarchi@yahoo.com

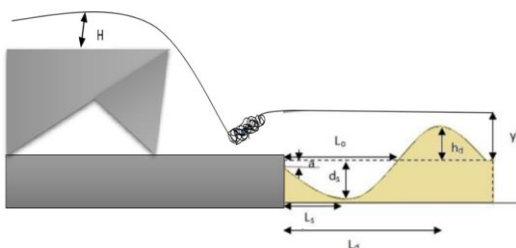
مقدمه

آبشستگی پدیده‌ای طبیعی ناشی از جریان آب روی بسترهای فرسایشی در رودخانه‌ها و کانال‌هاست. آبشستگی موضعی نیز بخشی از تغییرات ریخت‌شناسی آبراهه‌هاست که عمدتاً در اثر سازه‌های مختلفی رخ می‌دهد که به دست انسان ساخته شده‌اند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که فرآیند آبشستگی در اثر شکست برشی و تراوش جریان در انتهای بستر حفاظت شده می‌تواند به طور فزاینده‌ای منجر به تخریب کف‌بند شود و به تدریج شرایط را برای شکست سازه‌ی اصلی مهیا کند که بستر بخاطر آن محافظت شده است. حفاظت بستر در برابر آبشستگی، به خصوص در مواردی که عملیات حفاظت بستر باید در زیر آب انجام شود، بسیار هزینه‌بر است. از طرفی، طولی از بستر که به حفاظت نیاز دارد بستگی به مقدار مجاز آبشستگی دارد. بنابراین، پیش‌بینی ابعاد گودال آبشستگی اجتناب‌ناپذیر و بسیار با-اهمیت است. جریان در محل وقوع آبشستگی یک جریان دو فاز (آب و رسوب) است. بنابراین آبشستگی متأثر از متغیرهای بسیاری از جمله شرایط جریان، مشخصات بستر آبرفتی، زمان و هندسه آبراه می‌باشد. به همین دلیل محققین، هر یک به مطالعه بخشی از این وقایع پرداخته و آن را به صورت آزمایشگاهی و تجربی بررسی کرده - اند. [۱] تاکنون تحقیقات زیادی روی آبشستگی پایین دست بسترهای حفاظت شده صورت گرفته است. فرهودی و اسمیت (۱۹۸۵) به بررسی تشابه پروفیل‌های آبشستگی در پایین دست پرش هیدرولیکی پرداختند و گودال آبشستگی را بر حسب پروفیل‌های بی بعد ارائه کردند. [۲] سیفی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی آبشستگی پایین دست سرریز لبه پهن دو طرف شیبدار نشان دادند که کاهش عمق پایاب باعث گسترش طولی مشخصه‌های آبشستگی می‌شود. [۶] حمیدی‌فر و امید (۱۳۸۹) بر اساس نتایج آزمایشگاهی حاصل از آبشستگی رسوبات غیر چسبنده در پایین دست کف‌بند، مشخص شد که تأثیر عمق پایاب بر پارامترهای حفره آبشستگی به مقدار عدد فرود ذره بستگی دارد. [۷] با وجود مطالعاتی که تاکنون در این زمینه صورت گرفته، تاکنون آبشستگی پایین دست این سرریز مورد بررسی قرار نگرفته و اطلاعات جامعی درباره‌ی مشخصات پروفیل آبشستگی پایین دست این سرریز ارائه نشده است. از آنجا که برای پیش‌بینی و کنترل آبشستگی که دربرگیرنده‌ی تمام حالت‌های ممکن باشد تاکنون معیار کلی کمتری ارائه شده است، روابط تجربی و آزمایشگاهی بسیار کاربردی خواهند بود.

مواد و روشها

محققین زیادی پدیده آب شستگی را مطالعه کرده و روابط مختلفی به منظور برآورد میزان آب شستگی ارائه نموده‌اند. نتیجه حدود نیم قرن فعالیت محققین و مهندسين در این زمینه ارائه بیش از چهل فرمول برای تخمین عمق آب شستگی بوده است. [۱۸] روابط ارائه شده عمدتاً به صورت توابعی از متغیرهای وابسته هستند، که با پردازش داده‌های آزمایشگاهی و گهگاه میدانی به کمک روش‌های آماری به دست آمده‌اند و هر معادله فقط نقش عوامل محدودی را

ارزیابی می‌کند. [۲۰] بنابراین کاربرد این معادلات برای برآورد میزان عمق آب شستگی در یک موقعیت خاص، غالباً نتایج کاملاً متفاوتی داده، انتخاب معادله‌ای که نتایج آن با واقعیت تطابق بیشتری داشته باشد اساساً اگر امکان‌پذیر باشد، کار ساده‌ای نیست. [۱۹] تعیین رابطه میان پارامترهای مؤثر بر عمق آب شستگی و حداکثر عمق آب شستگی و یافتن تابع حاکم بر آن‌ها از موضوعات مهم در مهندسی هیدرولیک است که در آن سعی می‌شود رابط‌های ریاضی میان عمق آب شستگی به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر بر این پدیده به دست آید. [۳] برای این منظور تابه‌حال از مطالعات آزمایشگاهی که مستلزم صرف وقت و هزینه بسیاری هست استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌های این تحقیق از مدل انحراف کننده تنه درختی در کانال مستقیم، طرح واره‌ای از حفره آبشستگی در پایین دست کف‌بند همراه با پارامترهای مشخصه حفره در شکل (۱) و نمایی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل (۲) آورده شده است. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شده است. ارتفاع کانال از کف آزمایشگاه ۱/۳ متر و شیب کف کانال ۰/۰۰۱ است. جنس کف و اسکلت کانال آهنی و دیواره‌ها از جنس شیشه می‌باشد. برای اندازه‌گیری دبی جریان از یک سرریز مثلی شکل لبه-تیز با زاویه راس ۹۰ درجه از جنس فلز در انتهای حوضچه پایین دست استفاده گردید. همچنین این فلوم در پایین دست مجهز به یک دریچه با قابلیت کنترل عمق پایاب و پرش بود. طول کف‌بند صلب ۶۰ سانتی‌متر، عمق رسوبات ۱۷ سانتی‌متر و طول آن ۲۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این تحقیق از ماسه با دانه‌بندی یکنواخت ($d_{50}=1\text{mm}$) و انحراف معیار ۱/۳ استفاده شده که منحنی دانه-بندی ذرات رسوبی در شکل (۳) ارائه شده است. عمق پایاب به وسیله دریچه کشویی که در انتهای فلوم آزمایشگاهی تعبیه شده است تنظیم می‌گردید. در پایان مدت آزمایش (۶ ساعت)، همزمان با بستن دریچه انتهایی، جریان قطع و بعد از زهکشی کامل بستر رسوبی، پروفیل بستر توسط عمق‌سنج با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شده و فرآیند فوق برای انجام آزمایش بعدی تکرار می‌شد.



شکل ۱ - طرحواره‌ای از حفره آبشستگی و پارامترهای مشخصه آن

تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر بر ابعاد آبشستگی در انحراف کننده تنه درختی در کانال مستقیم را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f\left(\begin{matrix} q, Y_t, H, L, N, W_i, W_o, S_i, S_o, W, T, \rho_w, \\ \rho_s, g, \mu, d_{50}, \\ d_s, L_s, L_o, h_d, L_d = 0 \end{matrix}\right) \quad (1)$$

میزان و نحوه وابستگی بین پارامترها در روابط فوق را به کمک داده-های آزمایشگاهی می‌توان تعیین نمود. [۱۱] داده‌هایی که در این تحقیق استفاده شده، شامل مشاهدات آزمایشگاهی مهدوی زاده (1386) برای انحراف کننده تنه درختی غیر مستغرق ناشی از کالورت‌هایی با مقطع دایره ای، مستطیلی، مربعی می باشد. [۹] همچنین در مورد ابعاد حفره آبستگي با توجه به پارامترهایی که توسط مهدوی زاده اندازه گیری شده، پارامترهای حداکثر طول و عرض و عمق حفره آبستگي مورد بررسی قرار گرفته است. [۱۰] در این فصل مشخصات شبکه بهینه و مختلف پرداخته شده و اهمیت هر یک از پارامترهای بی بعد شده با اتکا به شاخص‌های صحت سنجی بررسی شده و در نهایت روابط مربوط به هر مدل ارائه گردیده.

شاخص‌های صحت سنجی

شاخص‌های صحت سنجی که در این بخش استفاده شده شامل درجه همبستگی و مجذور مربعاتخطا می باشد. روابط استفاده شده به صورت زیر می باشد.

ضریب همبستگی^۱:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (8)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum (x - y)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} x = X - X' \quad (9)$$

X: مقدار مشاهده شده و X': متوسط مقادیر مشاهده شده و Y: مقدار پیش بینی شده توسط شبکه و Y': متوسط مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه و n: تعداد کل جفت‌ها می باشد. [۱۶] از آنجا که ارتفاع آبستگي نسبت به سایر ابعاد حفره آبستگي در طراحی سازه‌های هیدرولیکی اهمیت بیشتری دارد، از این رو جهت سنجش شبکه تدوین شده در تخمین ارتفاع حفره در دو مدل آخر (DOT و DOT اصلاحی) از نرم افزار SPSS نیز استفاده شده. [۵]

تعداد نرونها لایه پنهان با در نظر گرفتن مشخصات شبکه ای جهت تعیین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان با تابع انتقال تنسیگ؛ در ابتدا برای یکی از مدلها بطور تصادفی با تعداد نرونهای متغیر، شبکه‌هایی با تعداد 1 و 2 و 5 و 10 نرون در لایه پنهان در نظر گرفته شد. [۱۷] با توجه به شاخصهای صحت سنجی ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا در شبکه‌های مختلف، نتیجه شد که با افزایش تعداد نرونها میزان همبستگی افزایش یافته و ریشه میانگین مربعات خطا کاهش پیدا می کند. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود از 10 نرون به بعد میزان اختلاف با نرون قبلی تفاوت محسوسی دیده نمی شود.

که در آن q دبی جریان در واحد عرض سرریز، Y_t عمق پایاب، H ارتفاع آب روی سرریز، L و N به ترتیب طول تاج و تعداد کلیدهای سرریز، W₀ و W_i عرض دهانه‌های ورودی و خروجی سرریز، عرض کل سرریز، S₀ و S_i شیب کلیدهای ورودی و خروجی، T زمان تعادل، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی آب، ρ_s, ρ_w, L_s, L₀, d_s, L_d, h_d به ترتیب جرم مخصوص ماسه، جرم مخصوص آب، محل وقوع حداکثر عمق آبستگي، حداکثر گسترش حفره، حداکثر عمق آبستگي، فاصله پشته از انتهای کفبند و ارتفاع پشته می باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق تاثیر دبی و عمق پایاب بر آبستگي پایین دست سرریز بررسی می شود [۴]، عامل زمان و پارامترهای ثابت حذف می شوند و معادله به صورت زیر خلاصه می شود:

$$\psi = f_1(q, Y_t, H, \rho_s, \rho_w, g, d_{50}, \mu) = 0 \quad (2)$$

ψ نمایانگر ابعاد حفره آبستگي می باشد. با استفاده از تئوری باکینگهام پارامترهای بی بعد موثر بر پدیده آبستگي در پایین دست سرریز تعیین شدند:

$$\frac{\psi}{H} = f_2\left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H}, \frac{d_{50}}{H}, \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s}, \frac{\mu}{\rho q}\right) \quad (3)$$

شرایط جریان در همه آزمایشات آشفته می باشد، بنابراین عدد رینولدز از رابطه فوق حذف می شود. با ثابت نگه داشتن همه‌ی پارامترها به جز دبی جریان و عمق پایاب، دو پارامتر بی بعد موثر بر پدیده‌ی آبستگي در انتهای کفبند با طول ثابت به صورت زیر سرریز، L و N به ترتیب طول تاج و تعداد کلیدهای سرریز، W₀ و W_i عرض دهانه‌های ورودی و خروجی سرریز، W عرض کل سرریز، S₀ و S_i شیب کلیدهای ورودی و خروجی، T زمان تعادل، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی آب، ρ_s, ρ_w, L_s, L₀, d_s, L_d, h_d به ترتیب جرم مخصوص ماسه، جرم مخصوص آب، محل وقوع حداکثر عمق آبستگي، حداکثر گسترش حفره، حداکثر عمق آبستگي، فاصله پشته از انتهای کفبند و ارتفاع پشته می باشد. [۲۱] با توجه به اینکه در این تحقیق تاثیر دبی و عمق پایاب بر آبستگي پایین دست سرریز بررسی می شود، عامل زمان و پارامترهای ثابت حذف می شوند و معادله به صورت زیر خلاصه می شود:

$$\frac{\psi}{H} = f_3\left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H}\right) \quad (4)$$

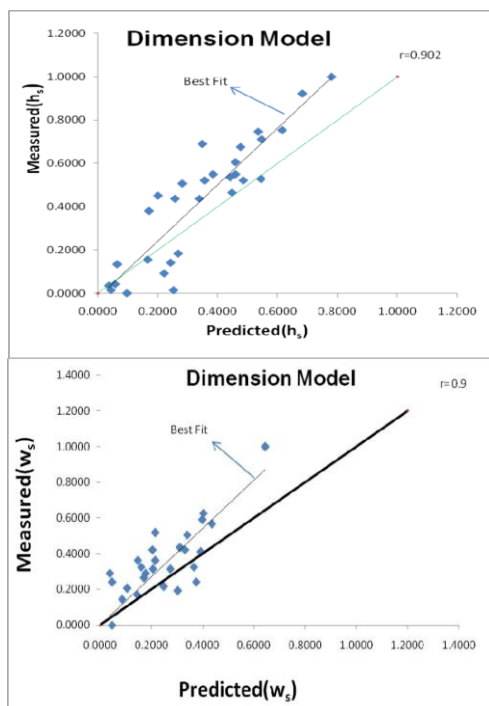
ψ نمایانگر ابعاد حفره آبستگي می باشد. [۱۵] با استفاده از تئوری باکینگهام پارامترهای بی بعد موثر بر پدیده آبستگي در پایین دست سرریز تعیین شدند:

که با توجه به این رابطه می توان برای حداکثر عمق آبستگي، محل وقوع حداکثر عمق آبستگي و طول حفره آبستگي توابی به شکل روابط (۵) و (۶) و (۷) ارائه کرد:

$$\frac{d_s}{H} = A\left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H}\right) \quad (5)$$

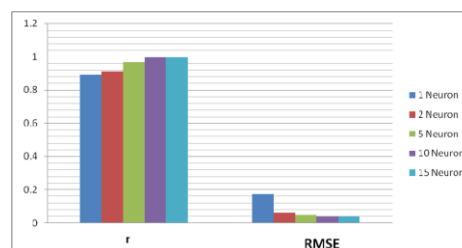
$$\frac{L_s}{H} = B\left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H}\right) \quad (6)$$

$$\frac{L_o}{H} = C\left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H}\right) \quad (7)$$



شکل ۳ - عملکرد مدل بعد دار در تخمین ارتفاع و عرض حفره آبشستگی در شبکه با ده نرون در لایه پنهان

همانطور که در همانطور در قبل اشاره شد، با استفاده از تئوری π باکینگهام [۱۳]، پارامترهایی که بدست آمد. با توجه به این که تفاوت چندانی در پارامترهای صحت سنجی دو شبکه مشاهده نشد، جهت سهولت استفاده وزنها و بیاسهای شبکه یک نرون در لایه پنهان ارائه گردیده در شکل زیر عملکرد مدل بی بعد در تخمین ارتفاع حفره آبشستگی در شبکه با ده نرون در لایه پنهان آورده شده است



شکل ۲ - شاخصهای صحت سنجی برای شبکه هایی با تعداد نرونهای مختلف

بحث و نتیجه گیری

همانطور که قبلا گفته شد، تحقیقات در دو بخش انجام گردید: ابتدا شبکه عصبی بوسیله پارامترهای بعد دار و بی بعد مدل گردید و آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای بی بعد صورت گرفت و رابطه مناسب جهت تخمین ابعاد حفره آبشستگی ارائه گردیده است. و همچنین روابط بدون بعد رگرسیونی بدست آمد. [۸] در ادامه شبکه عصبی بوسیله پارامترهای بی بعد رابطه DOT و رابطه اصلاح شده DOT که توسط مهدوی زاده (1386) صورت گرفته، مدل گردید و رابطه مناسب جهت تخمین ابعاد حفره آبشستگی ارائه گردید. [۹] در بین حالتیهای مدل شده، مقایسه ای صورت گرفت و در نهایت رابطه ای که نسبت به سایر مدلها دارای درجه همبستگی بالا و مجموع مربعات خطای کمتری را دارا بود، ارائه گردید. از این رو برای مدل کردن شبکه از تعداد 1 و 10 نرون در لایه پنهان استفاده شد. حتی در بعضی مدلها شبکه با یک نرون دارای دقت مناسبی نسبت به شبکه با ده نرون در لایه پنهان بود، به علت اینکه نوع شبکه انتخابی و الگوریتم های آموزشی و یادگیری و تابع انتقال انتخاب شده دقت مناسبی برای شبکه در پی داشت. بدین جهت در بعضی از مدلها با توجه به این که تغییر چندانی در تعداد نرونها دیده نشد، جهت ارائه رابطه مناسب برای تخمین ابعاد آبشستگی به تعداد یک نرون بسنده شد.

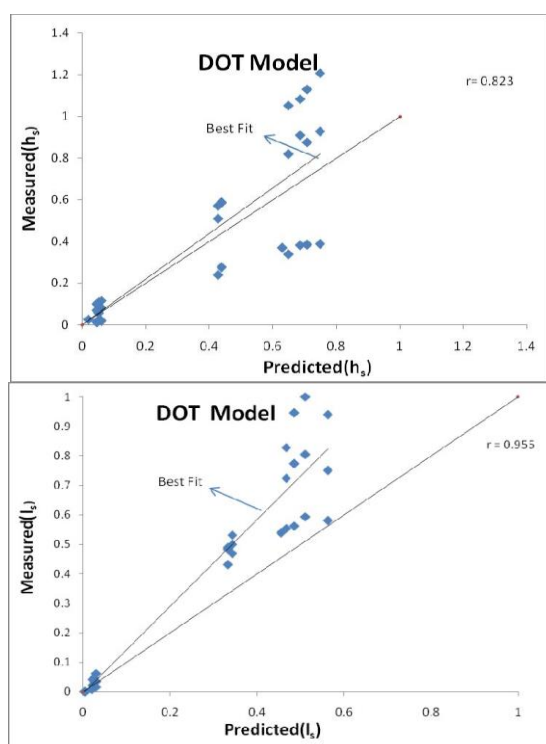
مدل بعد دار

تحلیل این مدل سازی که ورودی های مسئله و محدوده داده ها مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت تخمین ارتفاع، طول، عرض حفره آبشستگی می باشد. [۱۴] نتایج ارتفاع و عرض حفره آبشستگی در مدل سازی بعد دار آورده شده است.

مدل سوم (پارامترهای رابطه DOT)

ورودی‌های مسئله و محدوده داده‌ها با در نظر گرفتن کل پارامترهای آنالیز شده مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت تخمین ارتفاع، طول، عرض حفره آبستگ می باشد. با توجه به جداول فوق به علت اینکه تفاوت چندانی در شاخص‌های صحت سنجی در یک نرون و ده نرون در لایه پنهان در تین ارتفاع و عرض حفره آبستگ مشاهده نشده فقط وزن‌ها و بایاس‌های هر لایه برای یک نرون لایه اول و دوم جهت سهولت استفاده، شده است ارائه گردیده :

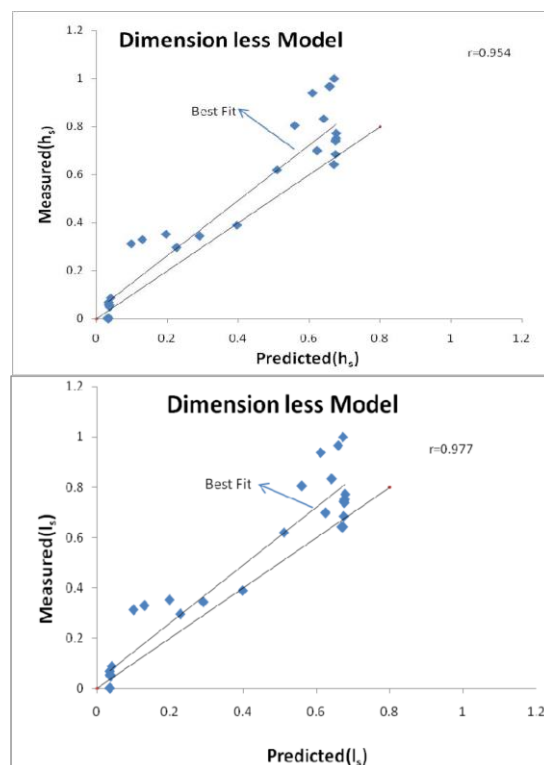
$$\begin{aligned} iw &= [2.226 \quad 58187.0 \quad lw = [0.30018] \quad b1 = [-2.0164] \quad b2 = [0.29304] \\ iw &= [2.7332 \quad 1.1145] \quad lw = [0.37603] \quad b1 = [-2.5149] \quad b2 = [0.40032] \end{aligned}$$



شکل ۵- عملکرد مدل DOT در تخمین ارتفاع و عرض حفره آبستگ در شبکه با یک نرون در لایه پنهان

مدل چهارم (پارامترهای اصلاح شده رابطه DOT توسط مهدوی زاده)

همانطور که اشاره شد، بنا به مطالعات انجام شده توسط مهدوی زاده (1386) اصلاحاتی بر روی رابطه ارائه شده DOT (سال 2006) صورت گرفت [۱۰]، که عمده اصلاحات بر روی ضریب C_h (ضریب اصلاح برای تخلیه کننده های قرار گرفته در بالای بستر) انجام گرفت. ورودی‌های مسئله و محدوده داده‌ها با در نظر گرفتن کل پارامترهای آنالیز شده مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت



شکل ۴- عملکرد مدل بی بعد در تخمین ارتفاع و عرض حفره آبستگ در شبکه با ده نرون در لایه پنهان

مدل رگرسیونی

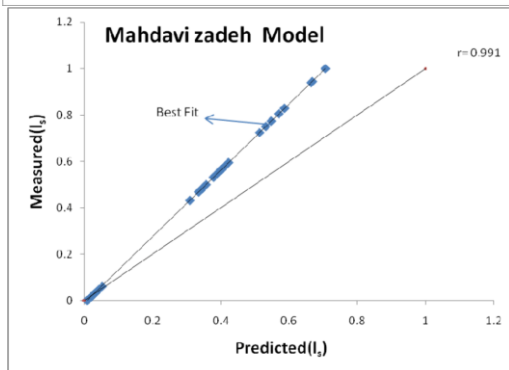
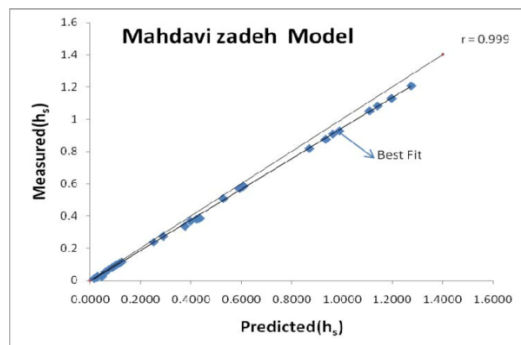
با توجه به اینکه اغلب محققین برای پیش بینی ابعاد حفره آبستگ در پائین دست سازه‌های هیدرولیکی از روابط تجربی استفاده کردند. [۱۲] در ادامه نیز با استفاده از مجموعه داده‌هایی که جهت آموزش شبکه عصبی استفاده شده بود، روابط غیر خطی و بدون بعد رگرسیونی بین پارامترهای بی بعد شده ابعاد حفره آبستگ بدست آمد که ضرائب و شاخص‌های صحت سنجی به ترتیب زیر می باشد:

جدول ۱- ضرائب و شاخص‌های صحت سنجی مدل

رگرسیونی

پارامتر خروجی	ضرائب	شاخص‌های صحت سنجی			
		k	a	b	c
$\frac{h_s}{R_o}$	0/224	0/4	0/128	0/165	0/845
$\frac{l_s}{R_o}$	0/848	0/389	0/102	0/03	0/887
$\frac{w_s}{R_o}$	0/682	0/393	0/096	-0/015	0/939

همانطور که شاخص‌های صحت سنجی طبق جدول فوق نشان می دهد در مقایسه با شبکه عصبی، برتری شبکه عصبی نسبت به روابط رگرسیونی مشهود است



شکل ۷- عملکرد مدل DOT اصلاح شده در تخمین ارتفاع حفره آبشستگی در شبکه با ده نرون در لایه پنهان

نتایج

- ۱- شبکه بهینه پیش خورنده با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا با توابع انتقال سیگموئیدی
با توجه به این که از مقادیر آزمایشگاهی مهدوی زاده جهت مدل کردن شبکه عصبی استفاده شد و بر روی رابطه DOT مطالعات انجام شد، در مرحله بعدی مقایسه ای با در نظر گرفتن ساختار یک نرون در لایه پنهان بین رابطه DOT و رابطه DOT اصلاحی توسط مهدوی زاده صورت گرفت. مشاهده شد DOT اصلاحی دارای همبستگی بالاتر و مجموع مربعات خطای کمتر در تمام ابعاد حفره آبشستگی نسبت به رابطه DOT را دارا می باشد. [۱۰]
- ۲- مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون غیر خطی بیانگر دقت و قابلیت بهتر شبکه های عصبی مصنوعی در شبیه سازی پدیده است.

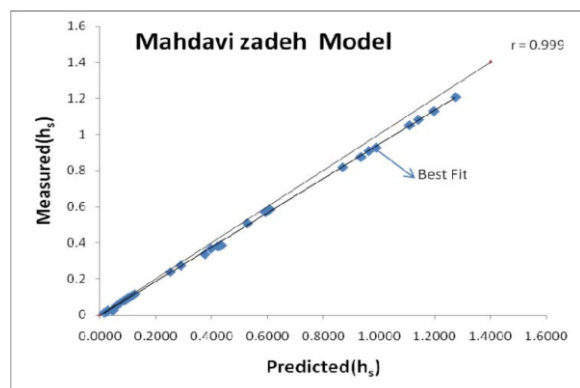
- ۳- با وجود برتری مدل بی بعد نسبت به مدل بعد دار، در مرحله بعدی آنالیز حساسیت صورت گرفته روی مدل بی بعد بوده و پارامترهای ورودی $\left(\frac{t}{316}\right)^{\theta} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}(R_g)^{2.3}}\right)^{\beta}$ در نظر گرفته شد، نتیجه این شد که اثر عمق پایاب و ارتفاع ریزش، بر روی ارتفاع حفره آبشستگی محسوس است. زیرا شاخص های صحت سنجی نسبت به حالتی که تمام پارامترها به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده بود، تغییر یافته است. در حالت بعدی با در نظر گرفتن $\left(\frac{T_w^g}{H_g}\right)^a \left(\frac{Q}{\sqrt{g}(R_g)^{2.3}}\right)^a$ به عنوان پارامترهای ورودی و با اتکا به شاخصهای صحت سنجی اثر زمان بر روی عرض حفره آبشستگی به مراتب نسبت به طول و ارتفاع حفره بیشتر است.

تخمین ارتفاع، طول، عرض حفره آبشستگی می باشد. ورودی ها و محدوده داده ها به ترتیب زیر می باشد.

جدول ۲- ورودی های مسئله و محدوده داده ها در مدل DOT با در نظر کل پارامترها

ورودی های مسئله	$\left(\frac{Q}{\sqrt{g}(R_g)^{2.3}}\right)^{\beta}$	$\left(\frac{t}{316}\right)^{\theta}$	C^h	C_s
محدوده	-	-	-	-
داده ها قبل	-860/8	-685/0	5238/0	1
از نرمالایز	-62/677	-0/978	-	-
شدن			5/744	

از آنجا که ارتفاع آبشستگی نسبت به سایر ابعاد حفره آبشستگی در طراحی سازه های هیدرولیکی اهمیت بیشتری دارد، از این رو جهت سنجش شبکه تدوین شده در تخمین ارتفاع حفره در دو مدل از نرم افزار SPSS نیز استفاده شده است



شکل ۶. عملکرد مدل DOT اصلاح شده در تخمین ارتفاع حفره آبشستگی در شبکه با ده نرون در لایه پنهان

با توجه به جداول فوق در شاخص های صحت سنجی در ده نرون در لایه پنهان به مراتب بهتر از یک نرون در لایه پنهان می باشد، از این رو فقط وزن ها و بیاسهای هر لایه برای ده نرون لایه پنهان، ارائه گردیده است با توجه به اشکال فوق شاخص های صحت سنجی در ده نرون در لایه پنهان به مراتب بهتر از یک نرون در لایه پنهان می باشد، از این رو فقط وزن ها و بیاسهای هر لایه برای ده نرون لایه پنهان، ارائه گردیده است

با توجه به این که از مقادیر آزمایشگاهی مهدوی زاده جهت مدل کردن شبکه عصبی استفاده شد و بر روی رابطه DOT مطالعات انجام شد، در مرحله بعدی مقایسه ای با در نظر گرفتن ساختار یک نرون در لایه پنهان بین رابطه DOT و رابطه DOT اصلاحی توسط مهدوی زاده صورت گرفت. مشاهده شد DOT اصلاحی دارای همبستگی بالاتر و مجموع مربعات خطای کمتر در تمام ابعاد حفرة آبستگى نسبت به رابطه DOT را دارا می باشد.

با توجه به این که از مقادیر آزمایشگاهی مهدوی زاده جهت مدل کردن شبکه عصبی استفاده شد و بر روی رابطه DOT مطالعات انجام شد، در مرحله بعدی مقایسه ای با در نظر گرفتن ساختار یک نرون در لایه پنهان بین رابطه DOT و رابطه DOT اصلاحی توسط مهدوی زاده صورت گرفت. مشاهده شد DOT اصلاحی دارای همبستگی بالاتر و مجموع مربعات خطای کمتر در تمام ابعاد حفرة آبستگى نسبت به رابطه DOT را دارا می باشد.

References

1. Akbari Fard, S., & Akhund Ali, A. (2017). "Simulation of Sea Wave Height Using Meta-Heuristic Algorithms in the Chabahar Region." *Scientific-Research Journal of Marine Techniques, 4(3), 73-84. (Autumn 2016).
2. Amini, M., & Heidarpour, M. (2017). "Investigating the Application of Combined Collar and Slot Models in Controlling and Reducing Local Scour Around Cylindrical Bridge Pier Groups." *7th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources.
3. Rajabi, D., Karami, H., Hosseini, Kh., Mousavi, F., & Hashemi, A. A. (2015). "Estimating Optimal Parameters of the Nonlinear Muskingum Routing Model Using the Imperialist Competitive Algorithm (ICA)." *Journal of Water and Soil Science (Agricultural and Natural Resources Science and Techniques), 19(73), 321-333. (Autumn 2014).
4. Hashemi Manfar, S. A., Hosseinzadeh, F., & Pirzadeh, B. (2017). "Application of the Imperialist Competitive Algorithm (ICA) in Reservoir Operation Optimization for Maximizing Demand Supply: A Case Study of Pishin Dam." *Scientific-Research Journal of Hydraulics, 12(2), 59-67.
5. Amini, A., Mohammad, Th. (2016), "Local scour prediction around piers with complex geometry", Marine Georesources and Geotechnology Journal, p863
6. Kashani, Ali Reza, Amir Hossein Gandomi, and Mehdi Mousavi. (2016) "Imperialistic competitive algorithm: a metaheuristic algorithm for locating the critical slip surface in 2-dimensional soil slopes." Geoscience Frontiers 7, no. 1: 83-89.
7. Moussa.A.M.A, (2017), "Evaluation of local scour around bridge piers for various geometrical shapes using mathematical models", Ain Shams Engineering Journal, P10.
8. Saber, Navid Abdolhoseyni, Mahdi Salimi, and Davar Mirabbasi. (2016) "A priority list based approach for solving thermal unit commitment problem with novel hybrid genetic-imperialist competitive algorithm." Energy 117: 272-280.
9. Najafzadeh, M.; Tafarojnoruz, A.; Lim, S.Y. Prediction of local scour depth downstream of sluice gates using data-driven models. ISH J. Hydraul. Eng. 2017, 23, 195-202. [CrossRef]
10. Rajaratnam, N.; Macdougall, R.K. Erosion by Plane Wall Jets with Minimum Tailwater. J. Hydraul. Eng. 1983, 109, 1061-1064. [CrossRef]
11. Najafzadeh, M.; Lim, S.Y. Application of improved neuro-fuzzy GMDH to predict scour depth at sluice gates. Earth Sci. Inform. 2015, 8, 187-196.
12. Ali, H.M.; El Gendy, M.M.; Mirdan, A.M.H.; Ali, A.A.M.; Abdelhaleem, F.S.F. Minimizing downstream scour due to submerged hydraulic jump using corrugated aprons. Ain Shams Eng. J. 2014, 5, 1059-1069.
13. Shen, H. W., Schneider, V. R., and Karaki, S. (1969). "Local scour around bridge piers." Proc. ASCE, 95_6_, 1919-1940.
14. Jain, S. C., and Fischer, E. E. (1979). "Scour around bridge piers at high Froude numbers." Rep. No. FHWA-RD-79-104, Federal Highway Administration, Washington D.C.
15. Froehlich, D. C. (1989). "Local scour at bridge abutments." Proc., 1989 National

- Conf. on Hydraulic Engineering, New York, 13-18.
15. Melville, B. W., and Sutherland, A. J. (1988). "Design method for local scour at bridge piers." J. Hydraul. Eng., 114_10_, 1210-1226.
 16. Jones, J. S. (1984). "Comparison of prediction equations for bridge pier and abutment scour." Proc., Transportation Research Record, Second Bridge Engineering Conf., Vol. 2, Transportation Research Board, Washington, D.C., 202-209.
 17. Johnson, P. A. (1995). "Comparison of pier-scour equations using field data." J. Hydraul. Eng., 121_8_, 626-629.
 18. Landers, M. N., and Mueller, D. S. (1996). "Evaluation of selected pierscours equations using field data." Transp. Res. Rec., 1523, 186-195.
 19. Mueller, D. S. (1996). "Local scour at bridge piers in nonuniform sediment under dynamic conditions." Ph.D. thesis, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo.
 20. Ataie-Ashtiani, B., and Beheshti, A. A. (2006). "Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups." J. Hydraul. Eng., 132(10), 1100-1104.
 21. Johnson, P. A., and Ayyub, B. M. (1996). "Modelling uncertainty in prediction of pier scour." J. Hydraul. Eng., 122(2), 66-72