

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

Hadi Rashidi¹, Mohsen Najarchi^{1*}, Seyed Mohamad Mirhossinihazaveh²

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

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.

*Conclusion:

1. Mahdavi-Zadeh's modified DOT method demonstrated superior correlation and lower MSE across all scour hole dimensions compared to the original DOT model.
2. Neural networks outperformed nonlinear regression in simulating scour dynamics.
3. Dimensionless models surpassed dimensional models in sensitivity analysis, highlighting scour depth and flow depth as critical factors. Time exerted the strongest influence on scour width.

Keywords:

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

Citation: Ahmad Abedi-Sarvestani

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

* **Corresponding author:** Mohsen Najarchi

Address: Associate Professor, Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, 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 Mirhossinihzaveh
- Methodology and data analysis: Hadi Rashidi, Mohsen Najarchi
- Supervision and final writing: Mohsen Najarchi

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest

بررسی و مدل‌سازی آب شستگی پایین‌دست انحراف کننده تنه درختی در کانال

۸۷

مستقیم

۸۸

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

۸۹

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

۹۰

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

۹۱

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

۹۲

۹۳

چکیده

آبشستگی، بستگی به ایجاد موانع در مقابل جریان آب، مقاطع غیر هیدرولیکی، پایه‌ها 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 مانع‌ای که باعث به وجود آمدن آبشار در مصالح بستر طبیعی، که باعث شسته شدن مصالح زیرین بستر می‌شود بستگی دارد. آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل بر اثر برخورد جریان با پایه و جدایی جریان از آن ایجاد میگردد. ابعاد حفرة آبشستگی ایجاد شده در اطراف **پایه پل** به خصوصیات هیدرولیکی جریان، خصوصیات سیال، هندسه پایه و مشخصات مواد بستر بستگی دارد. شبکه بهینه پیش‌خورنده 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 شبکه‌ای یک نرون در لایه پنهان مقایسه‌ای بین مدل پارامترهای بعد دار و بی بعد مؤثر در ابعاد حفرة آبشستگی صورت گرفت.

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

۹۴

* نویسنده مسئول: محسن نجارچی

تلفن: ۰۹۱۸۸۶۲۱۸۳۶

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

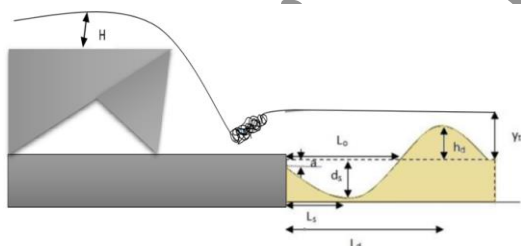
پست الکترونیکی mohsennajarchi@yahoo.com

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

۱۳۰ مواد و روشها

۱۳۱ محققین زیادی پدیده آب بستگی را مطالعه کرده و روابط
۱۳۲ مختلفی به‌منظور برآورد میزان آب بستگی ارائه نموده‌اند. نتیجه حدود
۱۳۳ نیم‌قرن فعالیت محققین و مهندسين در این زمینه ارائه بیش از چهل
۱۳۴ فرمول برای تخمین عمق آب بستگی بوده است. [۱۸] روابط ارائه‌شده
۱۳۵ عمدتاً به‌صورت تابعی از متغیرهای وابسته هستند، که با پردازش داده-
۱۳۶ های آزمایشگاهی و گهگاه میدانی به کمک روش‌های آماری
۱۳۷ به‌دست‌آمده‌اند و هر معادله فقط نقش عوامل محدودی را ارزیابی
۱۳۸ می‌کند. [۲۰] بنابراین کاربرد این معادلات برای برآورد میزان عمق آب

۱۳۹ بستگی در یک موقعیت خاص، غالباً نتایج کاملاً متفاوتی داده، انتخاب
۱۴۰ معادله‌ای که نتایج آن با واقعیت تطابق بیشتری داشته باشد اساساً اگر
۱۴۱ امکان‌پذیر باشد، کار ساده‌ای نیست. [۱۹] تعیین رابطه میان پارامترهای
۱۴۲ مؤثر بر عمق آب بستگی و حداکثر عمق آب بستگی و یافتن تابع
۱۴۳ حاکم بر آن‌ها از موضوعات مهم در مهندسی هیدرولیک است که در
۱۴۴ آن سعی می‌شود روابط ریاضی میان عمق آب بستگی به‌عنوان
۱۴۵ متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر بر این پدیده به دست آید. [۳] برای
۱۴۶ این منظور تابه‌حال از مطالعات آزمایشگاهی که مستلزم صرف وقت و
۱۴۷ هزینه بسیاری هست استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌های این
۱۴۸ تحقیق از مدل انحراف کننده تنه درختی در کانال مستقیم، طرح وارده‌ای
۱۴۹ از حفره آبستنگی در پایین‌دست کفبند همراه با پارامترهای مشخصه
۱۵۰ حفره در شکل (۱) و نمایی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل
۱۵۱ (۲) آورده شده است. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض و
۱۵۲ ارتفاع ۰/۵ متر انجام شده است. ارتفاع کانال از کف آزمایشگاه ۱/۳ متر
۱۵۳ و شیب کف کانال ۰/۰۰۱ است. جنس کف و اسکلت کانال آهنی و
۱۵۴ دیواره‌ها از جنس شیشه می‌باشد. برای اندازه‌گیری دبی جریان از یک
۱۵۵ سرریز مثلثی شکل لبه‌تیز با زاویه راس ۹۰ درجه از جنس فلز در انتهای
۱۵۶ حوضچه پایین‌دست استفاده گردید. همچنین این فلوم در پایین‌دست
۱۵۷ مجهز به یک دریچه با قابلیت کنترل عمق پایاب و پرش بود. طول
۱۵۸ کفبند صلب ۶۰ سانتی‌متر، عمق رسوبات ۱۷ سانتی‌متر و طول آن
۱۵۹ ۲۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این تحقیق از ماسه با دانه‌بندی
۱۶۰ یکنواخت ($d_{50}=1\text{mm}$) و انحراف معیار ۱/۳ استفاده شده که منحنی
۱۶۱ دانه‌بندی ذرات رسوبی در شکل (۳) ارائه شده است. عمق پایاب به
۱۶۲ وسیله دریچه کشویی که در انتهای فلوم آزمایشگاهی تعبیه شده است
۱۶۳ تنظیم می‌گردید. در پایان مدت آزمایش (۶ ساعت)، همزمان با بستن
۱۶۴ دریچه انتهایی، جریان قطع و بعد از زهکشی کامل بستر رسوبی، پروفیل
۱۶۵ بستر توسط عمق‌سنج با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شده و فرآیند فوق
۱۶۶ برای انجام آزمایش بعدی تکرار می‌شد.



شکل ۱ - طرحواره‌ای از حفره آبستنگی و پارامترهای مشخصه آن

تحلیل ابعادی

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

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

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

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

میزان و نحوه وابستگی بین پارامترها در روابط فوق را به کمک داده‌های آزمایشگاهی می‌توان تعیین نمود. [۱۱] داده‌هایی که در این تحقیق استفاده شده، شامل مشاهدات آزمایشگاهی مهدوی زاده (۱۳۸۶) برای انحراف کننده تنه درختی غیر مستغرق ناشی از کالورت‌هایی با مقطع دایره‌ای، مستطیلی، مربعی می‌باشد. [۹] همچنین در مورد ابعاد حفرة آبستگى با توجه به پارامترهایی که توسط مهدوی زاده اندازه‌گیری شده، پارامترهای حداکثر طول و عرض و عمق حفرة آبستگى 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 مربعات خطا می‌باشد. روابط استفاده شده به صورت زیر می‌باشد.

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

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

X : مقدار مشاهده شده و X' : متوسط مقادیر مشاهده شده و Y : مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه و Y' : متوسط مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه و n : تعداد کل جفت‌ها می‌باشند. [۱۶] از آنجا که ارتفاع آبستگى نسبت به سایر ابعاد حفرة آبستگى در طراحی سازه‌های هیدرولیکی اهمیت بیشتری دارد، از این رو جهت سنجش شبکه تدوین شده در تخمین ارتفاع حفرة 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 ۱ و ۲ و ۵ و ۱۰ 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 می‌کند. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود از ۱۰ نرون به بعد میزان اختلاف با نرون قبلی تفاوت محسوسی دیده نمی‌شود.

۱۷۷ سرریز، W_i و W_o عرض دهانه‌های ورودی و خروجی سرریز،
۱۷۸ عرض کل سرریز، S_i و S_o شیب کلیدهای ورودی و خروجی، T زمان
۱۷۹ تعادل، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی آب،
۱۸۰ $\rho_s, \rho_w, L_s, L_o, d_s, L_d, h_d$ به ترتیب جرم مخصوص ماسه،
۱۸۱ جرم مخصوص آب، محل وقوع حداکثر عمق آبستگى، حداکثر
۱۸۲ گسترش حفرة، حداکثر عمق آبستگى، فاصله پشته از انتهای کفبند
۱۸۳ و ارتفاع پشته می‌باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق تاثیر دبی و
۱۸۴ عمق پایاب بر آبستگى پایین دست سرریز بررسی می‌شود [۴]، عامل
۱۸۵ زمان و پارامترهای ثابت حذف می‌شوند و معادله به صورت زیر خلاصه
۱۸۶ می‌شود:

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

۱۸۸ ψ نمایانگر ابعاد حفرة آبستگى می‌باشد. با استفاده از تئوری
۱۸۹ باکینگهام پارامترهای بی بعد موثر بر پدیده آبستگى در پایین دست
۱۹۰ سرریز تعیین شدند:

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

۱۹۳ شرایط جریان در همه آزمایشات آشفته می‌باشد، بنابراین عدد رینولدز
۱۹۴ از رابطه فوق حذف می‌شود. با ثابت نگه داشتن همه‌ی پارامترها به جز
۱۹۵ دبی جریان و عمق پایاب، دو پارامتر بی بعد موثر بر پدیده‌ی آبستگى
۱۹۶ در انتهای کفبند با طول ثابت به صورت زیر سرریز، L و N به ترتیب
۱۹۷ طول تاج و تعداد کلیدهای سرریز، W_i و W_o عرض دهانه‌های ورودی
۱۹۸ و خروجی سرریز، W عرض کل سرریز، S_i و S_o شیب کلیدهای
۱۹۹ ورودی و خروجی، T زمان تعادل، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی
۲۰۰ آب، $\rho_s, \rho_w, L_s, L_o, d_s, L_d, h_d$ به ترتیب جرم مخصوص
۲۰۱ ماسه، جرم مخصوص آب، محل وقوع حداکثر عمق آبستگى، حداکثر
۲۰۲ گسترش حفرة، حداکثر عمق آبستگى، فاصله پشته از انتهای کفبند
۲۰۳ و ارتفاع پشته می‌باشد. [۲۱] با توجه به اینکه در این تحقیق تاثیر دبی
۲۰۴ و عمق پایاب بر آبستگى پایین دست سرریز بررسی می‌شود، عامل
۲۰۵ زمان و پارامترهای ثابت حذف می‌شوند و معادله به صورت زیر خلاصه
۲۰۶ می‌شود:

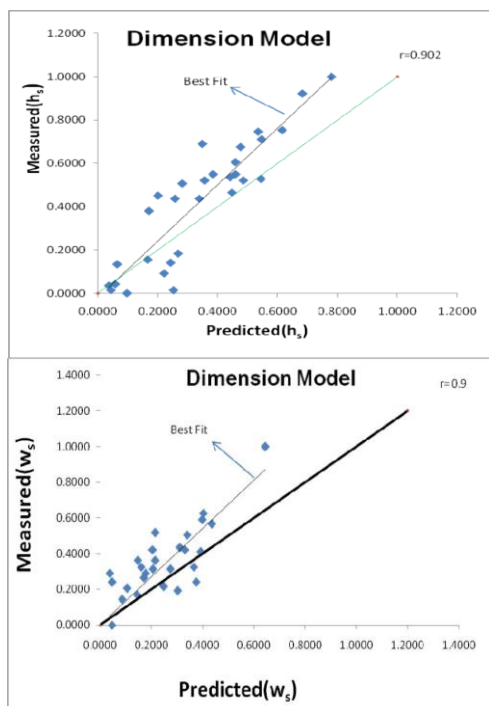
$$\frac{\psi}{H} = f_3 \left(\frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{Y_t}{H} \right) \quad (4)$$

۲۰۸ ψ نمایانگر ابعاد حفرة آبستگى می‌باشد. [۱۵] با استفاده از تئوری
۲۰۹ باکینگهام پارامترهای بی بعد موثر بر پدیده آبستگى در پایین دست
۲۱۰ سرریز تعیین شدند:

۲۱۱ که با توجه به این رابطه می‌توان برای حداکثر عمق آبستگى، محل
۲۱۲ وقوع حداکثر عمق آبستگى و طول حفرة آبستگى توابعی به شکل
۲۱۳ روابط (۵) و (۶) و (۷) ارائه کرد:

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

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

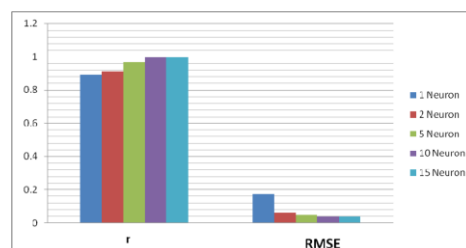


شکل ۳ - عملکرد مدل بعد دار در تخمین ارتفاع و عرض حفره آبشستگی در شبکه با ده نرون در لایه پنهان

مدل دوم (پارامترهای بی بعد)

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 سببیت استفاده وزن‌ها و بایاس‌های 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

۲۸۲



شکل ۲ - شاخص‌های صحت سنجی برای شبکه‌هایی با تعداد نرون‌های مختلف

۲۸۳

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که قبلاً 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 حالت‌های مدل شده، مقایسه‌ای صورت گرفت و در نهایت رابطه‌ای 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 الگوریتم‌های 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.

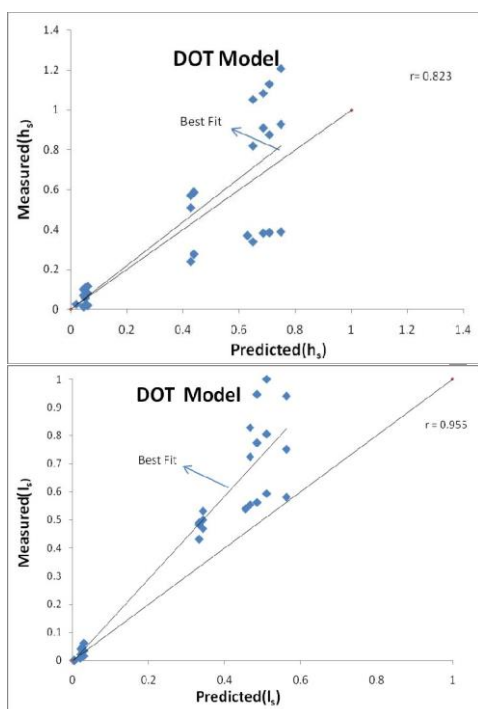
مدل بعد دار

تحلیل این مدل سازی که ورودی‌های مسئله و محدوده داده‌ها مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت تخمین ارتفاع، طول، عرض حفره آبشستگی می‌باشد. [۱۴] نتایج ارتفاع و عرض حفره آبشستگی در مدل سازی بعد دار آورده شده است.

مدل سوم (پارامترهای رابطه DOT)

ورودی های مسئله و محدوده داده ها با در نظر گرفتن کل پارامترهای آنالیز شده مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت تخمین ارتفاع، طول، عرض حفره آبستستگی می باشد. با توجه به جداول فوق به علت اینکه تفاوت چندانی در شاخص های صحت سنجی در یک نرون و ده نرون در لایه پنهان در تبیین ارتفاع و عرض حفره آبستستگی مشاهده نشده فقط وزن ها و بیاس های هر لایه برای یک نرون لایه اول و دوم جهت سهولت استفاده، شده است ارائه گردیده :

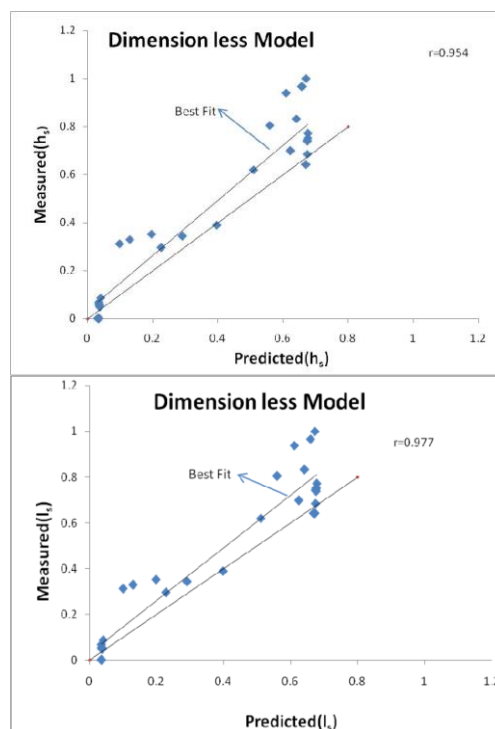
$$\begin{aligned} iw &= [2.226 \quad 58187.0 \quad lw = [0.30018] \quad b1 = [-2.0164] \quad b2 = [0.29304] \\ iw &= [2.7332 \quad 1.1145] \quad lw = [0.37603] \quad b1 = [-2.5149] \quad b2 = [0.40032] \end{aligned}$$



شکل ۵- عملکرد مدل DOT در تخمین ارتفاع و عرض حفره آبستستگی 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. ورودی های مسئله و محدوده داده ها با در نظر گرفتن کل پارامترهای آنالیز شده مدل اول شامل پارامترهای بعد دار جهت تخمین



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

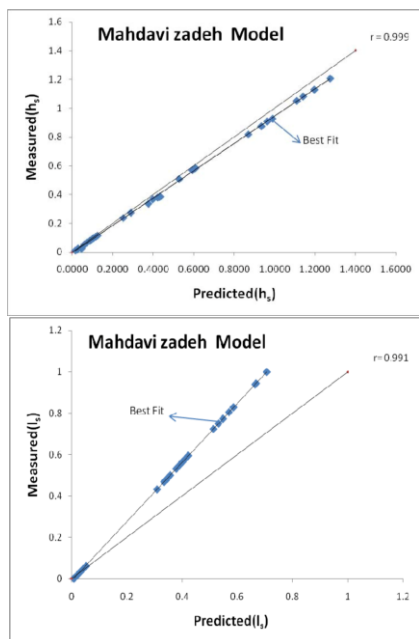
مدل رگرسیونی

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

جدول ۱- ضرائب و شاخص های صحت سنجی مدل رگرسیونی

پارامتر	ضرائب						شاخص های صحت سنجی
خروجی	k	a	b	c	R	RMSE	
۳۳۲	0/224	0/4	0/128	0/165	0/845	1/537	$\frac{h_s}{R_o}$
۳۳۳	0/848	0/389	0/102	0/03	0/887	3/181	$\frac{l_s}{R_o}$
۳۳۴	0/682	0/393	0/096	-	0/939	3/165	$\frac{w_s}{R_o}$
۳۳۵				0/015			
۳۳۶							
۳۳۷							
۳۳۸							
۳۳۹							
۳۴۰							

همانطور که شاخص های 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

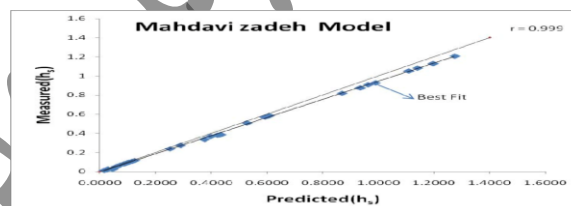
- ۱- شبکه بهینه پیش خورنده با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا با توابع انتقال سیگموئیدی
- با توجه به این که از مقادیر آزمایشگاهی مهدوی زاده جهت مدل کردن شبکه عصبی استفاده شد و بر روی رابطه DOT مطالعات انجام شد، در مرحله بعدی مقایسه ای با در نظر گرفتن ساختار یک نرون در لایه پنهان بین رابطه DOT و رابطه DOT 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.
- 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 $\left(\frac{Q}{\sqrt{g}(R_g)^{2.3}}\right)^a \left(\frac{t}{316}\right)^b$ 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 شاخص های صحت سنجی اثر زمان بر روی عرض حفره آبشستگی به مراتب نسبت به طول و ارتفاع حفره بیشتر 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،

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	C^h	C_s
	$\left(\frac{Q}{\sqrt{g}(R_g)^{2.3}}\right)^\beta$	$\left(\frac{t}{316}\right)^\theta$
محدوده	-860/8	-685/0
داده ها	-62/677	-0/978
قبل از نرمالایز 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 ۸- 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 بیاس های 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 بیاس های هر لایه برای ده نرون لایه پنهان، ارائه گردیده است

- 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] 30. Rajaratnam, N.; Macdougall, R.K. Erosion by Plane Wall Jets with Minimum Tailwater. *J. Hydraul. Eng.* 1983, 109, 1061–1064. [CrossRef]
 10. 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.
 11. 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.
 12. Shen, H. W., Schneider, V. R., and Karaki, S. (1969). "Local scour around bridge piers." *Proc. ASCE*, 95 6 , 1919–1940.
 13. 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.
 14. Froehlich, D. C. (1989). "Local scour at bridge abutments." *Proc.*, 1989
- 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 وجود برتری مدل DOT اصلاح شده، جهت ارائه روابط تخمین ابعاد حفرة آبستگى در پائین دست انحراف کننده تنه درختی ناشی از کالورت شبکه‌های با ده نرون در لایه پنهان تدوین گردید و وزن‌ها و بیاس‌ها با توجه به تابع انتقال سیگموئیدی در لایه اول و تابع انتقال خطی در لایه دوم کل رابطه در زیر ارائه گردیده :
- Target purelin : $lw*tansig iw*input b1 b2 (1-6)$
- ### 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*

- National Conf. on Hydraulic Engineering, New York, 13–18. ۴۹۷
۴۹۸
15. Melville, B. W., and Sutherland, A. J. (1988). "Design method for local scour at bridge piers." *J. Hydraul. Eng.*, 114 10 , 1210–1226. ۴۹۹
۵۰۰
۵۰۱
۵۰۲
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. ۵۰۳
۵۰۴
۵۰۵
۵۰۶
۵۰۷
۵۰۸
۵۰۹
17. Johnson, P. A. (1995). "Comparison of pier-scour equations using field data." *J. Hydraul. Eng.*, 121 8 , 626–629. ۵۱۰
۵۱۱
۵۱۲
18. Landers, M. N., and Mueller, D. S. (1996). "Evaluation of selected pier scour equations using field data." *Transp. Res. Rec.*, 1523, 186–195. ۵۱۳
۵۱۴
۵۱۵
۵۱۶
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. ۵۱۷
۵۱۸
۵۱۹
۵۲۰
۵۲۱
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. ۵۲۲
۵۲۳
۵۲۴
۵۲۵
21. Johnson, P. A., and Ayyub, B. M. (1996). "Modelling uncertainty in prediction of pier scour." *J. Hydraul. Eng.*, 122(2), 66–72. ۵۲۶
۵۲۷
۵۲۸
۵۲۹
۵۳۰
۵۳۱
۵۳۲
۵۳۳
۵۳۴