

EXTENDED ABSTRACT

Investigation the Effective Parameters on the Drag Coefficient in Rigid and Flexible Vegetation

S. Salmanzadeh¹, M. Fathi-Moghadam^{2*}, J. Ahadiyan³ and S. M. Sajadi⁴

1- Ph.D. candidate, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (mfathi@scu.ac.ir)

3- Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Associated Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 6 August 2022

Revised: 27 October 2022

Accepted: 29 October 2022

TO CITE THIS ARTICLE:

Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, S. M. (2024). 'Investigation the Effective Parameters on the Drag Coefficient in Rigid and Flexible Vegetation', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(1), pp. 15-31. doi: 10.22055/jise.2022.41559.2035

Keywords:

Density Index, Flow Resistance,
Relative Depth, Non- Submerged.

Introduction

Rivers are known as the main sources of surface water in the world, which experience seasonal fluctuations in water level. These resources have severe damage to human societies and nature in flood conditions and have irreparable consequences in the drought seasons. Optimal utilization of these resources with maintaining the environmental conditions of the waterway and minimizing flood damage is considered one of the river engineering goals. Since the conventional methods of river management are imposed serious environmental threats on waterways and wetlands, consideration to these water resources requires attention to issues related to plant ecosystems, solving challenges of coastal bed erosion and predict the condition and management of the river in the future (Callow, 2012; Dawson and Haslam, 1983; Fan et al., 2013; Rose et al., 2010; Rowinski et al., 2018). One of the strategies that cause loss of flow energy in the river improves the hydrological system and river ecosystem is the presence of vegetation in the river banks and floodplains. Native vegetation in floodplains and coastal forests plays an important role in conserving waterway ecosystems, flood management, coastal protection in urban lands and agriculture adjacent to the river (Fathi-Moghadam, 1996). Vegetation will also control the width of the river and increase the stability of the shores by absorbing and settling suspended sediments in river banks. The plant species along rivers and waterways are composed of various vegetative components, mainly affected by the environmental conditions of their habitat, including the distance from the waterway bed, hydrological characteristics of the river, climatic and soil conditions. Obviously, the effect of each plant species in the ecosystem cycle varies and for each section of the river, a specific combination of plants will create optimal conditions.

Methodology

In this paper, effective parameters have been identified to investigate the effect of vegetation properties on drag force and the final functional relationship between dimensionless parameters for estimation of resistance to flow and drag coefficient in vegetated rivers will be:

$$C_D = f\left(\frac{y_n}{H}, DI, \frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right) \quad (1)$$

Where C_D is the drag coefficient, $\frac{y_n}{H}$ is the relative depth, DI is the vegetation density index and last parameter is the dimensionless number of the ratio of the flow velocity to the bending stiffness, which is used to investigate the effect of the vegetation flexibility. The experiments were conducted in an 8.30×0.80×0.55m flume with Plexiglas sidewalls and metal structure located in the Water and Environmental Engineering Faculty at Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. The knife-edge part of the flume, which can move freely in a limited range, was used to measure the exerted force to the moveable part of the flume (which supports the vegetated model) by means of a dynamic load cell installed between the movable and fixed parts of the flume. the artificial vegetation models used in this study were similar to the natural sample of trees. Galvanized and polyethylene sheets have been used to make rigid and flexible artificial specimens with the same geometric shape and form to allow more accurate comparisons.

Results and Discussion

In this section, with the aim of practical use of the results, the independent variables are defined as dimensionless numbers based on the drag coefficient. Investigating the effect of the vegetation density index, the results showed that in both rigid and flexible models, increase of the vegetation density index leads to a decrease in the drag coefficient. By increasing the vegetation density index in the flexible model at $\frac{y_n}{H} = 1$, the drag coefficient decreased by 19.8%, which is the highest rate of decrease in the drag coefficient. Also, the lowest rate for reduction of the drag coefficient with increase of the vegetation density index occurred in the rigid model and at $\frac{y_n}{H} = 0.6$, which is equivalent to 10.3%. In fact, in the case of the maximum decrease in the drag coefficient, for an 80% increase in the vegetation density index, the drag force increased by 43.8%, and in the case of the minimum decrease in the drag coefficient, the drag force increased by 66.5%. By comparing the effect of flexibility of vegetation in rigid and flexible models, the results showed that in both cases, the drag coefficient decreases with increasing in velocity. In the flexible models, the slope of the drag coefficient curve has a decreasing trend faster than the rigid case. For the effect of the relative depth of the flow, the results showed that the drag coefficient in both models decreases with the increase in the relative depth, so that in the rigid and flexible models, with the increase in the relative depth from 0.6 to 0.8 and from 0.8 to 1, the drag coefficient decreases by 12.81% and 10.43%, respectively. Correlating the results, following relationships were obtained for the estimation of the drag coefficient for the rigid and flexible models, respectively:

$$C_D = 3.26\left(\frac{y_n}{H}\right)^{0.13} - 2.65(DI)^{0.12} + 0.28\left(\frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right)^{-0.29} \quad R^2 = 0.87 \quad (2)$$

$$C_D = \left(\frac{y_n}{H}\right)^{1.2} + (DI)^{0.16} - 0.32\left(\frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right)^{0.21} \quad R^2 = 0.89 \quad (3)$$

Conclusions

In the present study, the drag force absorption rate and the resistance coefficient were investigated and equations were correlated to estimate the drag coefficient. All experiments were performed in steady, uniform and turbulent flow. Rigid and flexible models were tested by different hydraulic parameters according to the flow conditions. A new index is produced to account for the effect of vegetation density on the drag coefficient. Investigating the effect of the vegetation density index showed that the increase in this index has a significant effect on reducing the drag coefficient, so that at the maximum increase of the density index, a decrease of 19.8% in the drag coefficient was measured. The results showed an increase in drag force absorption as a result of increase in vegetation density index and relative depth. In general, the increase in vegetation density index ranges $0.4 < DI \leq 0.8$, $0.8 < DI \leq 1.1$, $1.1 < DI \leq 2.2$ and $2.2 < DI \leq 3.8$ in comparison to the range of $0.2 \leq DI \leq 0.4$; the drag force absorbed increases by 1.63, 2.46, 4.12 and 6.33 times, respectively. Also, increase of the relative depth from 0.6 to 0.8 and 1, the drag force increased by 49.7% and 46.9%, respectively. The index introduced in this study can be a reference index for monitoring the types of vegetation in floodplains and aquatic plants. The results of this study can be used in the numerical modeling for estimation water level during flood events and river engineering management.

Acknowledgments

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran for financial support (GN:SCU.EC99.000).

References

- 1- Callow, J. 2012. Potential for vegetation-based river management in dryland, saline catchments. *River Research and Applications* 28(8), 1072-1092.
- 2- Dawson, F.H. and Haslam, S. 1983. The management of river vegetation with particular reference to shading effects of marginal vegetation. *Landscape planning* 10(2), 147-169.
- 3- Fan, S., Ren, H., Wang, R., Pan, C., Huang, G., Chen, Y., Zhan, P., Yang, J., Luo, H. and Jian, S. 2013. Vegetation Restoration and Conservation Plans for Integrated Coastal Management in Hengqin, China. *Journal of Coastal Research* 29(6), 1297-1308.
- 4- Fathi-Moghadam, M. 1996. Momentum Absorption in Non-rigid, Non-submerged, Tall Vegetation Along Rivers, Thesis, *University of Waterloo*.
- 5- Rose, P., Specht, A., Whelan, M. and Stubbs, B. 2010. Riparian vegetation change on the Clarence River floodplain. *Australasian Journal of Environmental Management* 17(4), 223-234.
- 6- Rowinski, P., Västilä, K., Aberle, J., Järvelä, J. and Kalinowska, M. 2018. How vegetation can aid in coping with river management challenges: a brief review. *Ecohydrol Hydrobiol* 18 (4): 345–354



به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش عمق نسبی باعث افزایش سطح جاذب مومنتوم و افزایش نیروی درگ می‌شود. نتایج نشان داد تأثیر درخت صنوبر در نیروی کششی تقریباً دو برابر سرو بوده و در شرایط یکسان هیدرولیکی، ضریب زبری درخت صنوبر $1/5-1$ برابر درخت سرو می‌باشد. Ghanbari-Adivi و Fathi-Maghadam (2015) به منظور ارزیابی تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش اثرات مخرب امواج دریا، از ساقه‌های پلاستیکی صلب در شرایط غیر مستغرق استفاده کردند. نتیجه‌ی این تحقیق نشان داد کمربند سبز ساحلی در کاهش اثرات مخرب تأثیر به‌سزایی دارد. Caroppi و Järvelä (2022) با شبیه‌سازی شرایط موجود در محیط‌های ساحلی از نظر ساختار پوشش گیاهی، لایه‌ی برشی روی پوشش گیاهی موجود در سیلاب دشت را مورد بررسی قرار دادند. Afzalimehr و Setayesh (2018) به بررسی اثر پوشش گیاهی نی بر نیم رخ سرعت جریان و اعتبار قانون‌های لگاریتمی و کولز پرداختند. نتایج نشان داد که قانون لگاریتمی در بخش داخلی لایه‌ی مرزی در نزدیکی بستر اعتبار دارد. Cheng (2013) یک رابطه ریاضی بین ضریب درگ و عدد رینولدز پیشنهاد داد که در آن با افزایش عدد رینولدز از یک تا 1×10^4 ، ضریب درگ کاهش می‌یابد و برای استوانه‌های صلب در شرایط جریان یکنواخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این ساده‌سازی که شامل برخورد جریان با استوانه‌های صلب به‌عنوان پوشش گیاهی است، ناحیه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی مقابل جریان با تغییرات سرعت متوسط جریان ثابت است. این در حالی است که در پوشش گیاهی طبیعی آبی به دلیل مورفولوژی و انعطاف‌پذیری پیچیده‌ای که دارد، سطح جاذب نیرو تابعی از سرعت جریان می‌باشد و پیش‌بینی ضریب درگ را دشوارتر می‌نماید (Gosselin and De Langre, 2011). از این رو، یک مدل کاربردی‌تر به‌منظور توصیف درگ ناشی از پوشش گیاهی آبی انعطاف‌پذیر مورد نیاز است. Fathi-Moghadam et al. (2011) در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از پوشش‌های گیاهی پلاستیکی مصنوعی به بررسی تأثیر پوشش گیاهی در حالت چمنی و شاخه‌ای بر اندازه زبری پرداختند. آن‌ها با توجه به میزان تراکم پوشش گیاهی به روابطی برای محاسبه اندازه زبری دست یافتند. همچنین به‌منظور ارزیابی ضرایب زبری محاسبه شده، روابط به‌دست آمده در قالب یک الگوریتم توسط مدل هیدرودینامیکی فستر (FASTER) صحت‌سنجی شد. تخمین سطح آب و دبی توسط این مدل بسیار نسبت به مقدار محاسبه شده توسط فستر (FASTER) با استفاده از یک مقدار ثابت برای ضریب مانینگ به مطالعات میدانی نزدیک‌تر بود. نتایج حاصل از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی نشان داد که مدل از دقت بالایی برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرودینامیکی برخوردار است. Ozan (2018) ساختار جریان را در پایین دست یک ردیف از درختان غیر مستغرق در امتداد سیلاب دشت در یک کانال باز مرکب با استفاده از پوشش گیاهی طبیعی درخت سرو تجزیه و تحلیل کرد. Li et al. (2020) دینامیک

اختلاط و انتقال را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Nepf, 2012, Aberle and Järvelä, 2015). در مناطق دارای پوشش گیاهی با کاهش سرعت جریان و افزایش شدت تلاطم، زمان انجام فعل و انفعالات بیوشیمیایی یا هیدرولوژیکی دستخوش تغییر می‌شود (Caroppi et al., 2019, Finnigan, 2000) و بر کیفیت شیمیایی آب اثرگذار است (Findlay, 1995). بسیاری از اهداف مدیریت رودخانه مانند پیش‌بینی تغییرات سطح آب، هندسه‌ی کانال و ریخت‌شناسی رودخانه، نیازمند برآورد دقیق مقاومت جریان ناشی از وجود پوشش گیاهی در مسیر جریان می‌باشد (Gurnell, 2014). به‌منظور بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان در مسیره‌های دارای پوشش گیاهی، توصیف گیاهان طبیعی با پارامترهای رویشی مناسب موضوعی مهم تلقی می‌شود. در راستای ارزیابی اثرات زیست محیطی آبراهه‌ها، بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی جریان نیازمند بررسی تغییرات شرایط محیطی و آب و هوایی منطقه می‌باشند. اطلاعات مورد نیاز برای این مدل‌ها شامل ویژگی‌های پوشش گیاهی و پارامترهایی است که تأثیر پوشش گیاهی بر جریان آرام و تلاطم را توصیف می‌کند. از دیدگاه مدیریت رودخانه، به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب محیط زیستی مرتبط با شیوه‌های متداول و حفاظت سازه‌های سواحل، استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست با رویکردهای طبیعی مبتنی بر استفاده از پوشش گیاهی بومی توصیه می‌شود (Bączyk et al., 2018, De Vriend, 2018, Rowiński et al., 2015, et al.). درک بهتر تعامل بین جریان و پوشش گیاهی در صورتی امکان‌پذیر است که مفهوم نیروهای درگ ناشی از عناصر صلب و انعطاف‌پذیر مورد مطالعه قرار گیرد (Nepf, 1999). محققان ادعا کرده‌اند که تفاوت قابل توجهی در سرعت و توزیع تنش‌های رینولدزی برای پوشش گیاهی مستغرق و غیر مستغرق وجود دارد (Duan et al., 2006). معمولاً از ضریب درگ به‌عنوان یک پارامتر کمی به‌منظور نشان دادن نیروی درگ اعمال شده توسط پوشش گیاهی آبی استفاده می‌شود (Marjoribanks et al., 2014). عناصر پوشش گیاهی اغلب به‌صورت استوانه‌های صلب براساس شرایط جریان یکنواخت و ماندگار به‌منظور ارزیابی ضریب درگ در نظر گرفته می‌شوند (Chen et al., 2013, Liu and Zeng, 2019, Wang et al., 2017, Shi et al., 2019, Tang et al., 2014). با بررسی ضریب درگ ساقه‌های مستغرق در کانال روباز، یک فرمول تجربی برای سه ضریب درگ شامل ضریب درگ برای یک استوانه ایزوله، ضریب درگ آرایه‌ای از سیلندرها و ضریب درگ محلی پیشنهاد دادند. در بررسی اثر پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر و غیر مستغرق Fathi-Maghadam و Kouwen (1997) نهال‌ها و شاخه‌های طبیعی سرو و صنوبر را در فلومی به طول ۱۳ متر و در اعماق استغراق مختلف مورد بررسی قرار دادند و مدل ریاضی برای محاسبه‌ی ضریب مقاومت ارائه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد نیروی درگ با سرعت جریان

یکنواخت، y_n عمق نرمال جریان، H ارتفاع پوشش گیاهی، E مدول الاستیسیته که به جنس گیاه و I ممان اینرسی خمشی است که به شکل هندسی پوشش گیاهی بستگی دارد، $(D\%)$ توزیع فضایی پوشش گیاهی است که در این تحقیق با عکس برداری از بالای محدوده‌ی پوشیده از گیاه به دست آمده است و به گونه‌ای تعریف می‌شود که در توزیع فضایی ۱۰۰ درصد مدل که تمام سطح پوشیده از گیاه است تعداد ۱۰۰ عدد نمونه پوشش گیاهی با سطح مقطع 0.01 متر مربع در واحد سطح یک متر مربع قرار گرفته است. به منظور دستیابی به توزیع‌های فضایی کمتر، با نسبت مورد نظر از تعداد نمونه‌های موجود در سطح پوشیده از گیاه کاسته شد. ρ جرم واحد حجم سیال، μ لزجت دینامیکی و g شتاب گرانش است. با تحلیل ابعادی و بر اساس روش پی باکینگهام و در نظر گرفتن V ، y_n ، ρ به عنوان متغیرهای تکراری و در نهایت ترکیب پارامترهای بدون بعد، رابطه (۱) به صورت رابطه (۲) بازنویسی گردید.

$$f\left(C_D, \frac{y_n}{H}, \frac{A_F}{A_B}, D\%, \frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}, \frac{V}{\sqrt{g y_n}}, \frac{\rho V y_n}{\mu}\right) = 0 \quad (2)$$

C_D ضریب درگ جریان است. $\frac{y_n}{H}$ عمق نسبی، $\frac{A_F}{A_B}$ تراکم فردی یک واحد پوشش گیاهی تعریف می‌شود که در واقع ناحیه نسیبی جذب مومنتوم است، D درصد توزیع فضایی پوشش گیاهی و $\frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}$ عدد بدون بعد نسبت سرعت جریان به صلبیت خمشی پوشش گیاهی است که به منظور بررسی اثر قابلیت ارتجاع پوشش گیاهی بر جذب نیروی درگ در نظر گرفته شده است. $\frac{V}{\sqrt{g y_n}}$ عدد فرود و $\frac{\rho V y_n}{\mu}$ عدد رینالدز جریان می‌باشند.

Fathi-Moghadam و Kouwen (1997) به نقل از Davidian و Koloseus (1996) نشان داده‌اند که در بررسی پوشش گیاهی در جریان‌های پایدار زمانی که عدد فرود کمتر از $1/6$ باشد ضرایب اصطکاک مستقل از اثرات گرانشی است؛ از این رو اثر جاذبه نادیده گرفته می‌شود. محدوده‌ی عدد رینالدز مطالعه حاضر ۱۵۶۷۱-۸۱۶۱۸ می‌باشد و از آنجائی که جریان عبوری از میان پوشش گیاهی غیر مستغرق در ناحیه کاملاً متلاطم است؛ از این رو تحلیل‌ها مستقل از عدد رینالدز در نظر گرفته شده‌اند. رابطه‌ی نهایی پارامترهای بدون بعد مؤثر در این مقاله به صورت زیر می‌باشد:

$$C_D = f\left(\frac{y_n}{H}, DI, \frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right) \quad (3)$$

$$DI = \frac{A_F}{A_B} D\% \quad (4)$$

جریان و ساختارهای متلاطم را در کانال‌هایی با یک ردیف پوشش گیاهی متخلخل که در امتداد دیواره‌های جانبی کانال توزیع شده بودند، مورد بررسی قرار دادند. در مدل‌های فوق، کشش جریان روی پوشش گیاهی وجود دارد و تابعی از ضریب درگ در نظر گرفته می‌شود. این ضریب بسته به اینکه آیا پوشش گیاهی، صلب یا انعطاف‌پذیر است و همچنین با توجه به اینکه آیا فقط تنه یا تاج درختان تحت تأثیر قرار می‌گیرند، مقادیر بسیار متفاوتی را شامل می‌شود. Zhang et al. (2022) اتلاف انرژی توسط گیاهان ساحلی را با هدف حفاظت از سواحل مورد بررسی قرار دادند. مدل ساخته شده قادر به پیش‌بینی ضریب درگ و اندازه‌گیری میزان میرایی موج می‌باشد.

بررسی پیشینه‌ی مطالعه‌های انجام شده در زمینه‌ی تأثیر پوشش گیاهی بر مقاومت جریان نشان داد که در انتخاب روش حفاظت غیرسازه‌ای و بیولوژیکی سواحل و سیلاب دشت رودخانه‌ها، پارامترهای مرتبط با نوع و گونه‌ی پوشش گیاهی همواره مورد توجه محققین بوده است. ساماندهی رودخانه‌ها، حفاظت از اراضی ارزشمند موجود در حاشیه رودخانه و کاهش اثرات مخرب ناشی از سیلاب نیز با انتخاب پوشش گیاهی متناسب با شرایط امکان‌پذیر می‌باشد. با این هدف، در این تحقیق از دو نمونه‌ی مصنوعی پوشش گیاهی (صلب و انعطاف‌پذیر) استفاده شده است و ارتباط ضریب درگ به عنوان پارامتر مقاومت جریان با ویژگی‌های شاخص مرتبط با گونه‌ی گیاهی شامل انعطاف‌پذیری، ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی بررسی می‌شود. در این مقاله شاخص جدیدی با عنوان "شاخص تراکم" (Density Index) پوشش گیاهی معرفی شده است. این شاخص، پوشش گیاهی موجود در مسیرهای عبور جریان آب و یا سیلاب دشت رودخانه‌ها را به صورت جزئی از طریق تراکم انفرادی یک واحد از پوشش گیاهی (یک بوته، درخت، درختچه و...) و به صورت کلی در سطح منطقه با استفاده از توزیع فضایی (Spatial Distribution) گیاهان گسترش یافته (مجموعه‌ی از پوشش‌های گیاهی در سطح منطقه) بررسی می‌نماید و به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر بر مقاومت جریان در نظر گرفته می‌شود.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای مؤثر به منظور بررسی اثر خصوصیات پوشش گیاهی بر نیروی درگ ناشی از جریان به صورت زیر می‌باشد:

$$f(F_D, A_F, A_B, V, y_n, H, E, I, D\%, \rho, \mu, g) = 0 \quad (1)$$

که در آن F_D نیروی درگ، A_F سطح مقابل جریان برای یک واحد از پوشش گیاهی (منطقه جذب مومنتوم)، A_B مساحت بستر پوشیده شده از گیاه، V سرعت متوسط جریان ماندگار و

نیروی درگ

نیروی درگ، نیروی مکانیکی است که در اثر تعامل و حرکت سیال از میان جسم جامد به وجود می‌آید. هنگامی که جسمی در مقابل جریان قرار می‌گیرد نیرویی به آن وارد می‌شود. نیروی هم راستای اعمال شده از طرف جریان به جسم جامد را نیروی درگ می‌گویند که با توان دو سرعت رابطه دارد و به صورت زیر می‌باشد:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A_F V^2 \quad (5)$$

که در آن F_D نیروی درگ، C_D ضریب درگ، ρ دانسیته سیال، A_F سطح مقابل جریان، V سرعت متوسط جریان می‌باشد.

تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور درک بهتر موضوع و لزوم انجام مطالعه‌های پیرامون پوشش‌های گیاهی در بستر و حاشیه‌ی آبراهه‌ها، رودخانه کارون در اهواز، خوزستان، ایران به عنوان نمونه‌ای از رودخانه‌های دارای پوشش گیاهی در شکل (۲) نشان داده شده‌است. با هدف بررسی این موضوع، سری آزمایش‌های تجربی به منظور بررسی دقیق‌تر پارامترهای مرتبط با پوشش گیاهی و اندازه‌گیری مستقیم نیروی درگ جذب شده توسط پوشش گیاهی تعریف شده‌است. آزمایش‌های این مقاله در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، در فلومی با ساختار فلزی به طول ۸/۳ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵۵ متر با دیواره‌هایی از جنس پلکسی گلاس انجام شد. در شکل (۳) نمای فلوم آزمایشگاهی به همراه تجهیزات اندازه‌گیری و در شکل (۴) موقعیت نصب حس‌گر نیرو در بخش لبه چاقویی فلوم نشان داده شده‌است.

در رابطه (۴)، DI به عنوان شاخص تراکم پوشش گیاهی تعریف می‌شود که از حاصلضرب تراکم فردی نمونه گیاهی ($\frac{A_F}{A_B}$) و توزیع فضایی پوشش گیاهی ($D\%$) به دست می‌آید. شاخص تراکم فردی گیاهی به گونه و درجه‌ی بلوغ گیاه بستگی دارد. بدلیل برخورد جریان با گیاه و اثری که عمق برخورد در میزان سطح مقابل جریان (A_F) و در نهایت تراکم فردی دارد، پارامتر جزء متغیرهای مؤثر بر مقاومت جریان در نظر گرفته شده‌است و اعماق نسبی در شرایطی که حداکثر و همچنین نیمه‌ای از ارتفاع گیاه را دربرگیرد در این مقاله تعریف شده‌است. علاوه بر این، توزیع فضایی پوشش گیاهی، نحوه‌ی پراکنش نمونه‌های گیاهی در مسیر آبراهه را نشان می‌دهد و به اجتماع گونه‌ی گیاهان منطقه‌ی مورد بررسی بستگی دارد. پارامترهای مرتبط با شاخص تراکم پوشش گیاهی در شکل (۱) ارائه شده‌است. در شکل (۱a)، سطح مقابل جریان (A_F) برای مدل پوشش گیاهی نشان داده شده‌است. نسبت این سطح (A_F) به سطح بستر (A_B)، تراکم فردی گیاه ($\frac{A_F}{A_B}$) می‌باشد که برای هر گونه‌ی گیاهی با توجه به درجه‌ی بلوغ گیاه، مقداری منحصر به فرد است. با فرض اینکه هر گیاه، فضایی متناسب با ابعاد و شکل هندسی‌اش را دربرگیرد (مکعب مستطیل نشان داده شده در شکل (۱a))؛ در این صورت پارامتر مربوط به توزیع فضایی پوشش گیاهی ($D\%$) در کل سطح منطقه، مجموع فضاهایی است که تعداد کل گیاهان منطقه احاطه می‌کنند. شکل (۱b) تراکم ۵۰ درصد پوشش گیاهی را با لحاظ نمودن فضای خالی بین واحدهای پوشش گیاهی نشان می‌دهد. این حجم فضایی متناسب با شکل هندسی گیاه شکل (۱a)، به صورت فرضی می‌باشد که به منظور نشان دادن توزیع فضایی استفاده شده‌است.

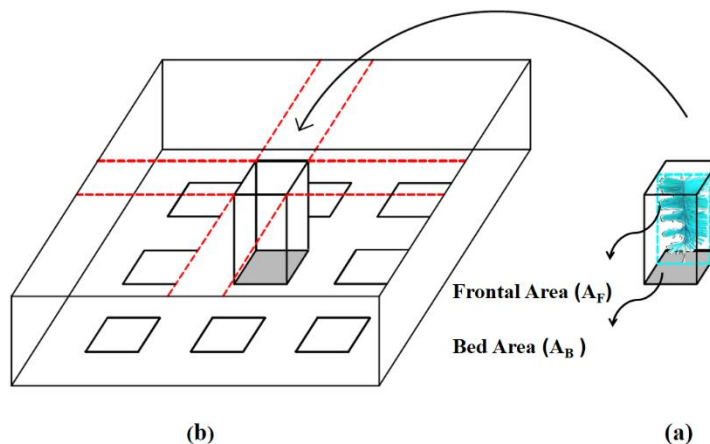


Fig. 1- Parameters related to vegetation density index

شکل ۱- پارامترهای مرتبط با شاخص تراکم پوشش گیاهی



Fig. 2- A view of the Karun river with vegetation in shore and bed
شکل ۲- نمایی از رودخانه کارون به همراه پوشش گیاهی در حاشیه و بستر

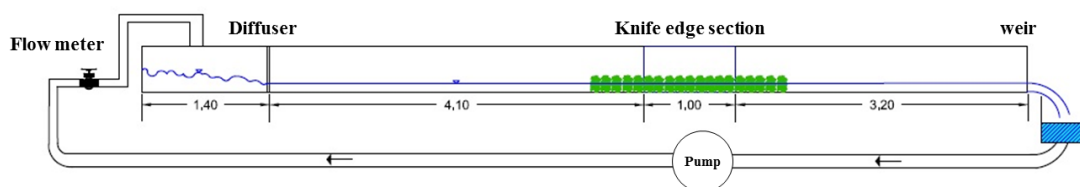


Fig. 3-Schematic view of laboratory flume, with dimensions (meter)
شکل ۳- نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی، با ابعاد (متر)

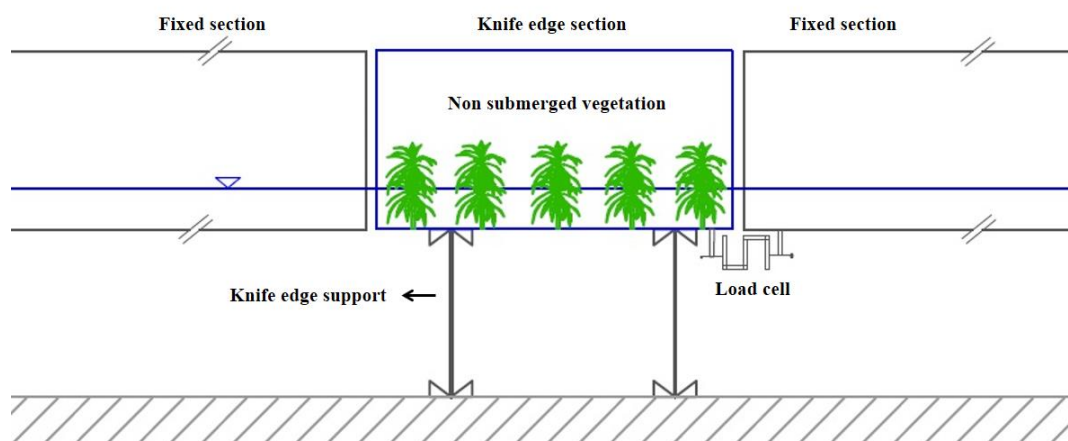


Fig. 4- The installation position of the force sensor in the knife edge section of the flume
شکل ۴- موقعیت نصب حسگر نیرو در بخش لبه چاقویی فلوم

نشان می‌دهد. به منظور ثبت نوسانات نیرو، طی چندین مرحله آزمون و خطا، زمان ۱۰ دقیقه برای برداشت داده مشخص گردید. در طول آزمایش‌ها، دبی جریان توسط سیستم گردش آب آزمایشگاه شامل استخر آب، سیستم پمپاژ، مخزن تامین بار ثابت و شبکه لوله کشی تامین شد و به وسیله دبی سنج التراسونیک قرائت گردید. به منظور اندازه‌گیری عمق متوسط جریان از عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. در ابتدای فلوم، صفحه‌ای مشبک با عرضی معادل با عرض فلوم به منظور آرام نمودن جریان و از

این فلوم اولین بار توسط Lashkar-Ara و Fathi و Moghadam (2010) با هدف اندازه‌گیری نیروهای برشی در دیواره و بستر کانال‌های روباز ساخته شد. در طولی به اندازه یک متر در میانه‌ی فلوم از بالادست و پایین دست آن جدا شده و بخش متحرکی تحت عنوان " لبه چاقویی " برای اندازه‌گیری نیروی وارده بر بخش گیاهی تعبیه شده است. حسگر نیرو نصب شده در قسمت لبه چاقویی و متحرک فلوم به یک نمایشگر الکتریکی متصل بوده و عکس العمل نیروی درگ بر قسمت متحرک فلوم را

ساخت نمونه‌های مصنوعی صلب و انعطاف‌پذیر با فرم و شکل هندسی یکسان استفاده شده‌است تا امکان مقایسه‌ی دقیق‌تر فراهم شود. در مطالعه‌های Fathi-Maghadam et al. (2018) و Fathi-Maghadam و Kouwen (1997) از روش عکس‌برداری از نمونه‌ها برای محاسبه سطح مقابل جریان استفاده شده‌است که این روش نیازمند دقت و صرف زمان زیادی می‌باشد. در این مقاله با مشخص بودن ابعاد ورق‌ها و ساخت نمونه‌ها، سطح مقابل جریان قابل محاسبه می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات مواد مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها ارائه شده‌است. مدل الاستیسیته (E) واقعی پوشش گیاهی از طریق تست کشش در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز اندازه‌گیری شد و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۶) تست کشش نمونه‌ی آزمایشگاهی نشان داده شده است.

بین بردن اغتشاشات و در انتهای فلوم از دریچه‌های متحرک به‌منظور کنترل عمق جریان استفاده گردید. در بخش لبه چاقویی فلوم که محل اندازه‌گیری نیروی درگ می‌باشد، نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی روی صفحه‌ی نصب شده در کف فلوم چیده شدند. با هدف برقراری جریان توسعه یافته و پایدار، در بالای دست بخش لبه چاقویی و در طولی به اندازه‌ی یک متر، نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی نصب گردید. همچنین به‌منظور جلوگیری از افت ناگهانی پروفیل سطح آب در پایین دست بخش لبه چاقویی، این چیدمان با طول مشابه صورت پذیرفت. شکل (۵) مدل مصنوعی پوشش گیاهی و نمایی از فلوم آزمایشگاهی را حین انجام آزمایش نشان می‌دهد.

در این مقاله سعی شده‌است تا با ساخت نمونه‌های مصنوعی، پوشش گیاهی مورد استفاده بیشترین شباهت را به نمونه‌ی طبیعی درختان داشته باشد. از ورق‌های گالوانیزه و پلی‌اتیلن به‌ترتیب برای

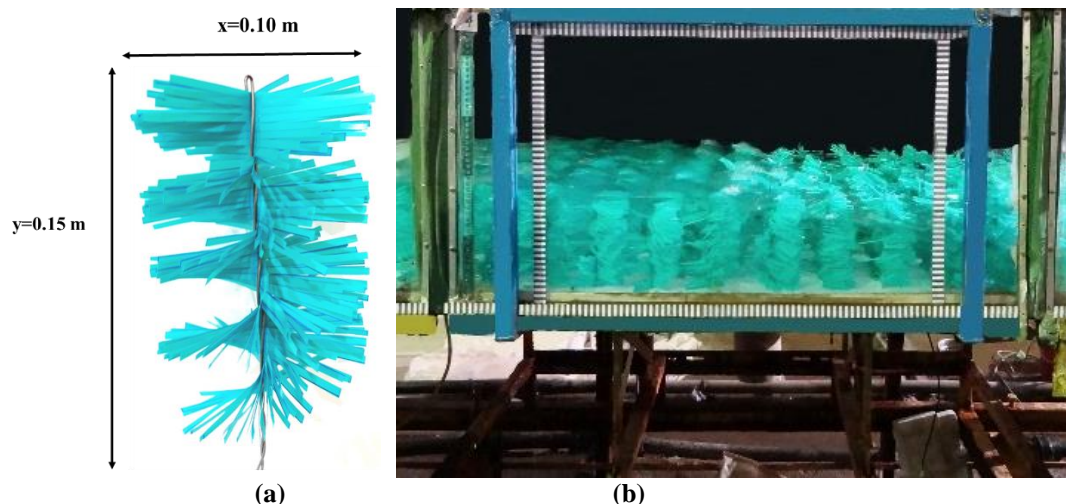


Fig. 5- Artificial vegetation model (a); a view of the knife edge section of the flume during test and force recording (b)

شکل ۵- مدل مصنوعی پوشش گیاهی (a)؛ نمایی از بخش لبه چاقویی فلوم در حین انجام آزمایش و ثبت نیرو (b)

جدول ۱- مشخصات مواد مورد استفاده جهت ساخت نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی

Table 1- Characteristics of materials used to make artificial vegetation samples

Material	Elastic Modulus, E (GPa)	Dimensions of vegetation model (m) (y×x)	Thickness* (mm)	Bending Moment of Inertia, I
Polyethylene	0.238	0.15×0.1	0.3	1.3×10^{-3}
Galvanized	69	0.15×0.1	0.3	1.3×10^{-3}

* The thickness of the initial sheet to make vegetation model

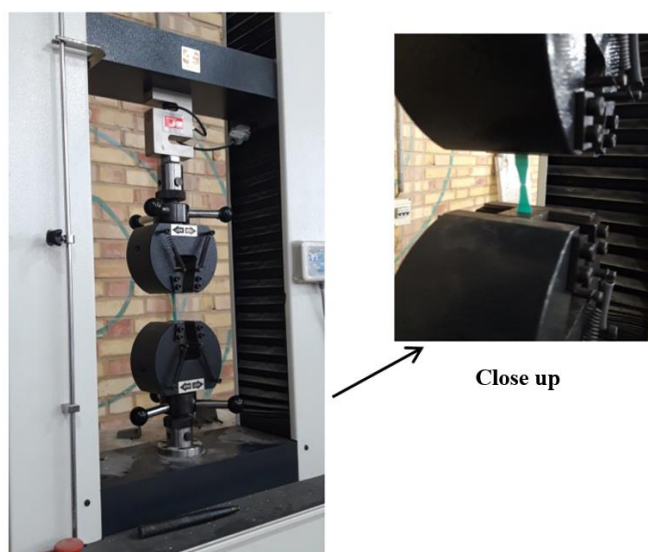


Fig. 6- Tensile test of initial materials to make vegetation model

شکل ۶- تست کشش مواد اولیه به منظور ساخت مدل پوشش گیاهی

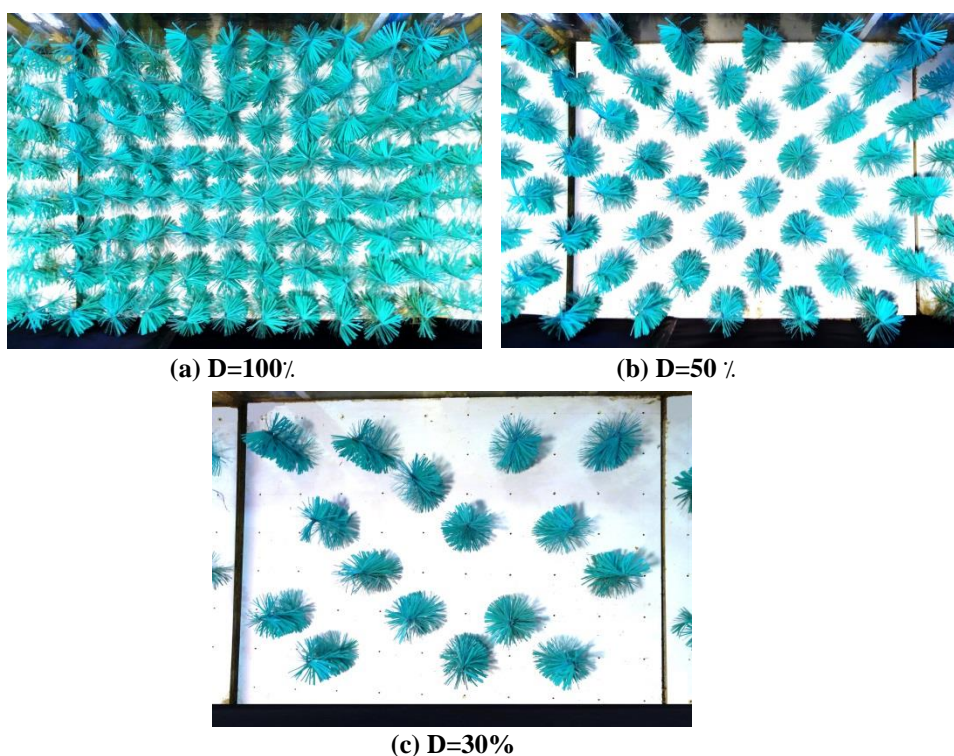


Fig. 7- View of vegetation spatial distribution in the knife edge section of the flume (view from above)

شکل ۷- نمایی از توزیع فضایی پوشش گیاهی در بخش لبه چاقویی فلوم (دید از بالا)

خاصی پیروی نمی‌کند؛ از این رو احتمال اینکه چیدمان پوشش‌های گیاهی طبیعی تا حدودی شبیه به آرایش زیگزاگی باشد بیشتر است. با توجه به این موضوع و در نظر گرفتن این که نتایج این مقاله در عمل و به صورت کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد لذا سعی شده است در چیدمان مدل‌های پوشش گیاهی در انجام آزمایش‌ها، این نکته در نظر گرفته شود. در تراکم‌های کمتر، این چیدمان بیشتر قابل رویت می‌باشد.

به منظور نصب نمونه‌ها در کف فلوم از صفحه‌ی پی وی سی با ضخامت یک سانتی‌متر استفاده شد و سوراخ‌های دو میلی‌متری برای کاشت نمونه‌ها روی آن ایجاد گردید؛ سپس نمونه‌های پوشش گیاهی با آرایش زیگزاگی روی صفحه چیده شدند. در شکل (۷) نمونه‌هایی از توزیع فضایی ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد نشان داده شده‌است. نحوه‌ی پراکنش پوشش‌های گیاهی در رودخانه و در شرایط طبیعی به صورت تصادفی می‌باشد و از نظم

تراکم پوشش گیاهی از جزء به کل و از تراکم فردی به توزیع فضایی تعمیم می‌یابد. در توزیع فضایی، بخش گسترده‌ای از پوشش گیاهی منطقه تحت پوشش قرار می‌گیرد که توسط عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی می‌شود. طبق نتایج آنالیز ابعادی، عمق نسبی به‌عنوان یکی از پارامترهای متغیر در انجام آزمایش‌ها معرفی شد. سطح مقابل جریان (A_F) متناسب با هر عمق نسبی تغییر کرده و مقادیر مشخصی را در برمی‌گیرد؛ از این رو سه تراکم فردی متناسب با در نظر گرفتن سه عمق نسبی تعریف شده‌است. این نکته قابل ذکر است که در تراکم فردی، بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب مربوط به حداکثر و حداقل عمق نسبی می‌باشد. در این مقاله با توجه به اختصاص دادن پنج توزیع فضایی، سه عمق نسبی و سه نسبت $\frac{A_F}{A_B}$ ، پنج بازه‌ی شاخص تراکم پوشش گیاهی تعریف شده‌است. در جدول (۲) بازه‌ی مربوط به پارامترهای معرفی شده در سناریوهای آزمایش ارائه شده‌است.

شکل (۸) تغییرات ضریب درگ با شاخص تراکم پوشش گیاهی را در اعماق نسبی $0/6$ ، $0/8$ و 1 نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در هر دو مدل صلب و انعطاف‌پذیر، افزایش شاخص تراکم پوشش گیاهی منجر به کاهش ضریب درگ می‌شود. افزایش شاخص تراکم به معنی افزایش تعداد نمونه‌های پوشش گیاهی و افزایش سطح مقابل جریان است. قابل ذکر است میزان تغییرات در نتایج به ازای پارامترهای متغیر، با استفاده از رابطه‌ی ریاضی مربوط به درصد تغییرات حاصل شده‌است. با افزایش شاخص تراکم پوشش گیاهی در مدل انعطاف‌پذیر و در $\frac{y_n}{H} = 1$ ، ضریب درگ $19/8$ درصد کاهش یافت که طبق نتایج، بیشترین نرخ کاهش ضریب درگ می‌باشد. همچنین کم‌ترین نرخ کاهش ضریب درگ به ازای افزایش شاخص تراکم پوشش گیاهی، در مدل صلب و در $\frac{y_n}{H} = 0.6$ اتفاق افتاد که عددی معادل $10/3$ درصد می‌باشد. در واقع در حالت بیشترین کاهش ضریب درگ، به ازای افزایش 80 درصد شاخص تراکم پوشش گیاهی، میزان افزایش نیرو $43/8$ درصد و در حالت کم‌ترین کاهش ضریب درگ میزان افزایش نیرو $66/5$ درصد حاصل شد. Fathi-Moghadam et al. (2018) با هدف بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی بر جذب انرژی امواج ساحلی نشان دادند با کاهش تراکم پوشش گیاهی از 100 درصد به 50 درصد و سپس 30 درصد، میزان ضریب نیروی درگ به‌طور متوسط 15 درصد افزایش می‌یابد.

نتایج و بحث

خصوصیات مکانیکی گیاهان حاشیه‌ی رودخانه‌ها با توجه به گونه‌ی گیاهی، اقلیم و شرایط خاص منطقه، الگوی رشد فصلی، طول عمر و دوره بلوغ گیاه متفاوت است. از این رو بررسی پوشش‌های گیاهی رودخانه‌ای طی این مراحل و پیش‌بینی میزان نیروی درگ جذب شده توسط پوشش گیاهی در حاشیه‌ی رودخانه و مسأله‌ی حفاظت سواحل و خسارت‌های ناشی از سیلاب‌های فصلی از پیچیدگی خاصی برخوردار است. تجزیه و تحلیل داده‌ها در این مقاله بر اساس نیروی درگی است که به‌صورت مستقیم از طریق آزمایش‌های تجربی به‌دست آمده که مجموع نیروهای منفرد بر هر نمونه پوشش گیاهی در مدل آزمایشگاهی می‌باشد. در تمام آزمایش‌ها نوسانات نیرو طی دوره‌ی 10 دقیقه‌ای برداشت شد و میانگین نیروی جذب شده به‌عنوان معیار سنجش در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

ضریب درگ

در این بخش متغیرهای مستقل براساس پارامتر بدون بعد ضریب درگ تعریف شده‌اند و نمودارها به‌صورت بدون بعد و با هدف استفاده‌ی کاربردی ترسیم شده‌اند. ضریب درگ به‌عنوان مهمترین شاخص مقاومت مقابل جریان در رودخانه‌های دارای پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود که از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است. در این مقاله با قرار دادن مدل پوشش گیاهی صلب و انعطاف‌پذیر در فلوم آزمایشگاهی و اندازه‌گیری نیرو به روش مستقیم با استفاده از حسگر نیرو، ضریب درگ بر اساس فرمول کلاسیک نیروی درگ رابطه (۵) برآورد گردید. در این بخش ارتباط هر یک از اعداد بدون بعد مانند نسبت سرعت جریان به صلیبیت خمشی، شاخص تراکم پوشش گیاهی و عمق نسبی با ضریب درگ بررسی می‌شود.

اثر شاخص تراکم پوشش گیاهی

جامعه‌ی گیاهان بومی در مسیر گذرگاه‌های آبی یک منطقه جغرافیایی، مجموعه‌ای از انواع گونه‌های گیاهانی است که تحت تأثیر نوع خاک، توپوگرافی و شرایط آب و هوایی منطقه قرار دارند. در بررسی تراکم جامعه‌ی گیاهی در مقیاس کوچک‌تر، مسأله‌ی تراکم یک واحد از گونه‌ی پوشش گیاهی مطرح می‌شود و با توجه به مرحله‌ی تکمیل دوره‌ی رشد هر گونه‌ی گیاهی قابل اندازه‌گیری و تخمین است که تراکم فردی گونه‌ی گیاهی می‌باشد. از طرفی در یک اکوسیستم و اجتماع بزرگ‌تر، مسأله‌ی

جدول ۲- بازه‌ی مقادیر سرعت جریان، تراکم فردی، توزیع فضایی و شاخص تراکم

Table 2- Range of flow velocity, individual density, spatial distribution and density index values

Density Index (DI)	Spatial Distribution (D %)	Individual Density ($\frac{A_F}{A_B}$)	Relative Depth ($\frac{y_n}{H}$)	Flow Velocity (m/s)
$0.2 \leq DI \leq 0.4$				
$0.4 < DI \leq 0.8$				
$0.8 < DI \leq 1.1$	100, 50, 30, 20, 10	0.04-0.03-0.02	1-0.8-0.6	0.15-0.46
$1.1 < DI \leq 2.2$				
$2.2 < DI \leq 3.8$				

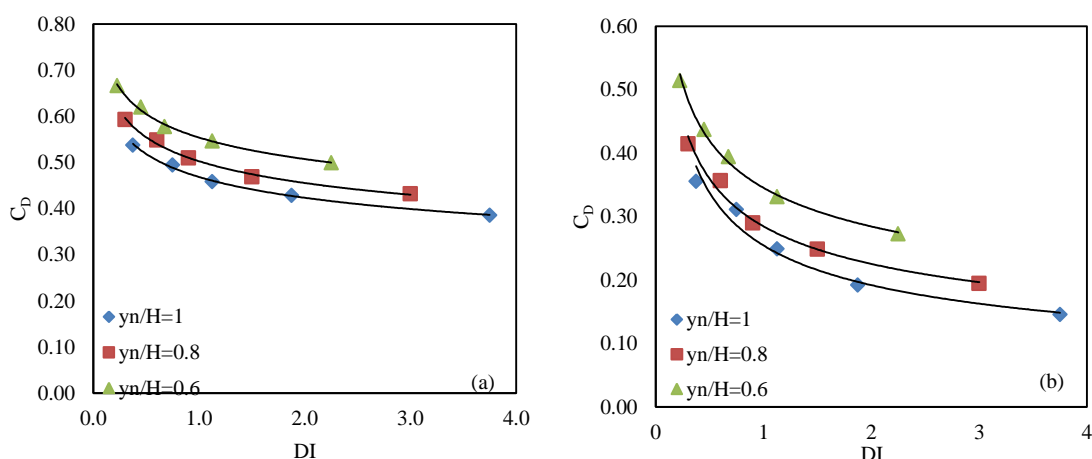


Fig. 8- Variations of drag coefficient with vegetation density index at different relative depths: (a) Rigid model; (b) Flexible model

شکل ۸- تغییرات ضریب درگ با شاخص تراکم پوشش گیاهی در اعماق نسبی مختلف: (a) مدل صلب; (b) مدل انعطاف پذیر

در این مورد به‌دست آمده است. در مدل صلب پوشش گیاهی شکل (۹a) کاهش ضریب درگ با شیب ملایم نسبت به افزایش پارامتر بدون بعد سرعت جریان به صلبیت خمشی وابستگی کمتر ضریب درگ به این پارامتر را نشان می‌دهد در حالیکه در مدل انعطاف پذیر شکل (۹b) شیب تند کاهش ضریب درگ با پارامتر بدون بعد صلبیت خمشی بیان کننده این موضوع است که نمونه انعطاف پذیر پوشش گیاهی به دلیل هم‌سویی با جریان، نسبت به تغییرات سرعت از درجه حساسیت بیشتری برخوردار است.

اثر قابلیت ارتجاع پوشش گیاهی

در شکل (۹) ضریب درگ در مقابل عدد بدون بعد نسبت سرعت جریان به صلبیت خمشی مدل پوشش گیاه صلب و انعطاف پذیر در شاخص‌های تراکم مختلف رسم شده است. با توجه به ثابت بودن اثر قابلیت ارتجاع که در واقع معیاری برای نمایش مقاومت مدل پوشش گیاهی صلب و انعطاف پذیر در مقابل جریان است، شکل (۹) نشان دهنده‌ی تغییرات ضریب درگ در مقابل سرعت جریان است. کاهش ضریب درگ با افزایش سرعت متوسط جریان مطابق با فرمول کلاسیک نیروی درگ است که صحت نتایج به‌دست آمده در این مقاله را نشان می‌دهد. در مطالعات Fathi-Moghadam et al. (2018) نتایج مشابهی

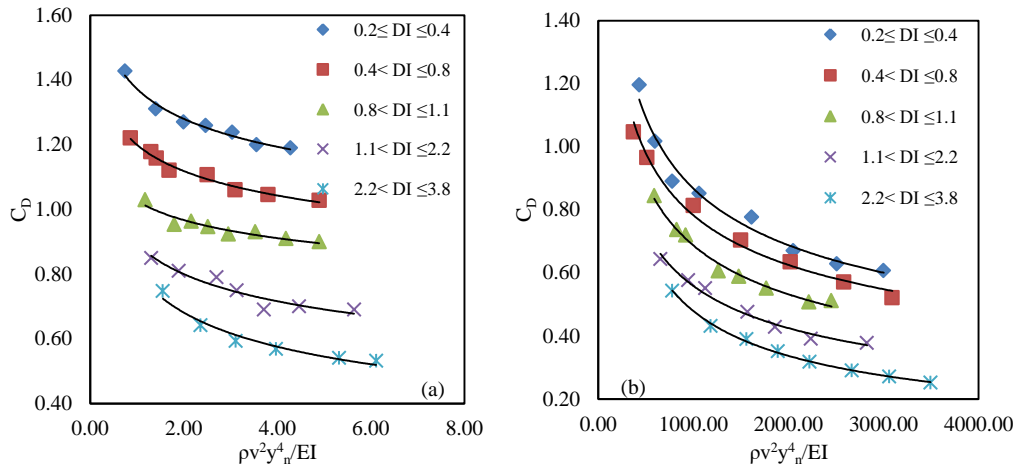


Fig 9- Variations of the drag coefficient compared to dimensionless number of the flow velocity ratio to the bending rigidity: (a) rigid model; (b) Flexible model

شکل ۹- تغییرات ضریب درگ نسبت به پارامتر بدون بعد نسبت سرعت جریان به صلبیت خمشی پوشش گیاهی: (a) مدل صلب; (b) مدل انعطاف پذیر

پذیر با شیب بیشتری در شرایط افزایش عمق نسبی جریان نسبت به مدل صلب رشد کرده و ضریب مقاومت در شرایط یکسان، در مدل انعطاف پذیر مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. به‌طور میانگین در دو مدل صلب و انعطاف‌پذیر با افزایش عمق نسبی از $0/6$ به $0/8$ و از $0/8$ به 1 ضریب درگ به ترتیب $12/81$ و $10/43$ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به اهمیت اثر تراز سطح آب و ارتفاع پوشش گیاهی در مطالعه‌های مربوط به حضور پوشش‌های گیاهی در سواحل دریا و اثرات آن‌ها بر امواج ساحلی و همچنین سیلاب دشت رودخانه‌ها، Fathi-Moghadam et al. (2018) اثر ارتفاع نسبی امواج شکننا بر ضریب درگ در جنگل‌های ساحلی را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق انجام شده افزایش ارتفاع نسبی موج که همراه با افزایش انرژی موج بوده باعث شده امواج زودتر شکسته شوند و در نتیجه موجب افزایش سطح جاذب نیرو و کاهش ضریب درگ شده‌است. افزایش سطح جاذب نیرو به ازای افزایش ارتفاع نسبی امواج شکننا در تحقیق Fathi-Moghadam et al. (2018) و همچنین افزایش عمق نسبی جریان در تحقیق حاضر و عملکرد مشابه این پارامتر بر ضریب درگ در شرایط موج و جریان، اهمیت این پارامتر را نشان می‌دهد.

اثر عمق نسبی جریان

تخمین تراز سطح آب در پیش‌بینی خسارات احتمالی ناشی از طغیان رودخانه در مواقع سیلابی حائز اهمیت است. افزایش تراز سطح آب موجب آب‌گرفتگی سیلاب دشت و اراضی مجاور رودخانه می‌شود. علاوه بر این در مناطق دارای پوشش گیاهی، بررسی اثر ارتفاع و میزان استغراق پوشش گیاهی بر ضریب مقاومت جریان اطلاعات ارزشمندی را در زمینه مدیریت رودخانه و ارزیابی ریسک سیلاب در منطقه فراهم می‌آورد. با در نظر گرفتن چنین رویکردی، در این مقاله عمق نرمال جریان (y_n) و ارتفاع مدل پوشش گیاهی (H)، دو پارامتر در تعیین عمق نسبی ($\frac{y_n}{H}$) در نظر گرفته شده‌اند. با ثابت بودن ارتفاع پوشش گیاهی، عمق نسبی با افزایش عمق نرمال جریان افزایش می‌یابد. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که ضریب درگ در هر دو مدل پوشش گیاهی با افزایش عمق نسبی کاهش یافته‌است. به دنبال افزایش عمق نرمال جریان در محدوده‌ی پوشش گیاهی، سطح مقابل جریان افزایش می‌یابد و به علت تأثیر بیشتر سطح مقابل جریان، مطابق با فرمول کلاسیک نیروی درگ، ضریب درگ کاهش می‌یابد. تأثیر پذیری نسبت به افزایش عمق نسبی جریان در مدل انعطاف‌پذیر پوشش گیاهی در مقایسه با مدل صلب به وضوح در نمودارهای رسم شده در شکل (۱۰) دیده می‌شود. نمودارهای مربوط به پوشش گیاهی انعطاف

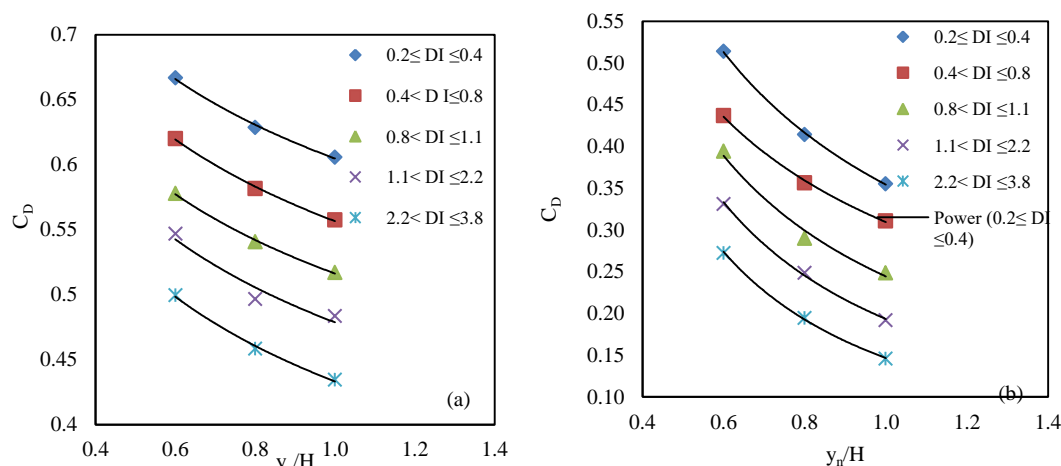


Fig. 10- Variations of drag coefficient with relative depth: (a) rigid model; (b) Flexible model

شکل ۱۰- تغییرات ضریب درگ با عمق نسبی جریان: (a) مدل صلب؛ (b) مدل انعطاف پذیر

جدول ۳-دقت مدل های آماری

Table 3-Accuracy of statistical models

Error (%)	Accuracy (%)	MSE	RMSE	KGE	NSE	
15.11	84.89	0.01	0.12	0.96	0.94	Eq. 6
14.9	85.1	0.01	0.1	0.93	0.92	Eq. 7

$$C_D = \left(\frac{y_n}{H}\right)^{1.2} + (DI)^{0.16} - 0.32 \left(\frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right)^{0.21} \quad R^2 = 0.89 \quad (7)$$

با توجه به این که ضریب رگرسیون (R^2) به تنهایی معیار مناسبی برای دقت مربوط به معادله‌ها نمی‌باشد، از سه روش ریشه متوسط مجذورات مجموع خطاها (RMSE)، ضریب ناس-ساتکلیف (NSE) و معیار کلینگ-گوپتا (KGE) استفاده شده است. جدول (۳) برای هریک از معادله‌ها نتیجه‌گیری شده دقت مربوطه را که بر اساس ۲۰ درصد داده‌هایی که در استخراج مدل آماری نقشی نداشته‌اند را نشان می‌دهد.

شکل (۱۱) مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی هریک از پارامترهای فوق را در مقابل مقادیر متناظر محاسباتی برای کلیه‌ی آزمایش‌های انجام شده (داده‌های مربوط به استخراج و صحت سنجی) نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مدل آماری با دقت قابل قبولی قادر به پیش‌بینی ضریب نیروی درگ بوده و همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر داده‌های آزمایشگاهی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده در نزدیکی خط ۴۵ درجه واقع شده‌اند.

تخمین ضریب درگ

با توجه به نتایج آنالیز ابعادی، به منظور مشخص نمودن ارتباط بین پارامترهای بدون بعد مؤثر بر جذب نیروی درگ و ضریب مقاومت جریان، از نرم‌افزار SPSS-16 بهره گرفته شد؛ به گونه‌ای که روش‌های مختلف خطی و غیرخطی مورد آزمون آماری با پارامترهای وابسته قرار گرفت. بهترین ضرایب با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-16 به روش رگرسیون خطی برای ۸۰ درصد داده‌ها که به صورت تصادفی انتخاب شدند، استخراج گردید و مابقی داده‌ها برای برآورد دقت و صحت‌سنجی روابط مورد استفاده قرار گرفتند. روابط (۶) و (۷) تأثیر پارامترهای بدون بعد بر ضریب درگ را به ترتیب برای نمونه‌های پوشش گیاهی صلب و انعطاف پذیر نشان می‌دهد.

$$C_D = 3.26 \left(\frac{y_n}{H}\right)^{0.13} - 2.65 (DI)^{0.12} + 0.28 \left(\frac{\rho V^2 y_n^4}{EI}\right)^{-0.29} \quad R^2 = 0.87 \quad (6)$$

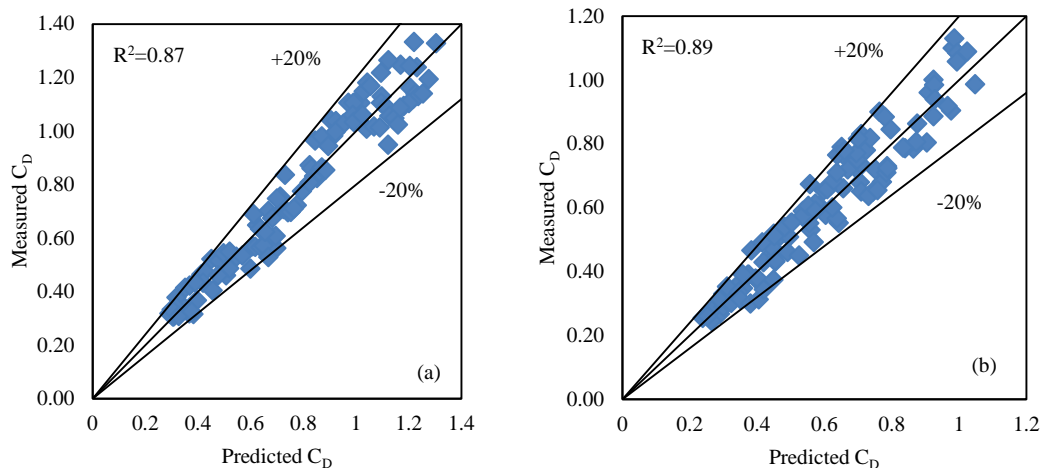


Fig. 11- Measured and predicted values: (a) Rigid model; (b) Flexible model
شکل ۱۱- مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده: (a) مدل صلب; (b) مدل انعطاف‌پذیر

ضریب درگ به ترتیب ۱۲/۸۱ درصد و ۱۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد. شاخص معرفی شده که نوآوری این مقاله به‌شمار می‌آید می‌تواند مرجعی در زمینه پایش انواع پوشش‌های گیاهی در سواحل و گیاهان آبی به‌منظور حفظ و یا کاشت انواع گونه‌های گیاهی در مجاور رودخانه‌ها و گذرگاه‌های آبی باشد. نتایج حاصل از این تحقیق به‌عنوان راهنمای مناسبی در زمینه‌ی مدل‌سازی عددی و نرم‌افزاری زبری بستر و سیلاب دشت رودخانه‌ها، مدیریت سیلاب در پروژه‌های مهندسی رودخانه و انتخاب نوع پوشش گیاهی مناسب برای حفاظت سواحل در حاشیه‌ی رودخانه‌ها در مناطق شهری کاربرد دارد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN:SCU.EC99.000) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با توجه به اهمیت مطالعه‌ی جریان در کانال‌ها و رودخانه‌های حاوی پوشش گیاهی به خصوص در زمینه‌ی ساماندهی رودخانه‌ها انجام شده‌است. میزان جذب نیروی درگ توسط نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی، به‌صورت مستقیم و با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. بررسی اثر شاخص تراکم پوشش گیاهی نشان داد افزایش این شاخص تأثیر به‌سزایی در کاهش ضریب درگ دارد؛ بطوریکه در بیشترین میزان افزایش شاخص تراکم، کاهش ۱۹/۸ درصد در ضریب درگ مشاهده گردید. انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی یکی از مسائل مهم و مورد توجه در این مقاله بوده‌است که بررسی اثر این پارامتر بر ضریب درگ نشان داد در مدل انعطاف‌پذیر نسبت به مدل صلب، با افزایش سرعت متوسط جریان ماندگار و یکنواخت، ضریب درگ با شیب تندتری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش عمق نسبی جریان از ۰/۶ به ۰/۸ و ۱ در هر دو مدل صلب و انعطاف‌پذیر،

References

- 1- Aberle, J. and Järvelä, J. 2013. Flow resistance of emergent rigid and flexible floodplain vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 51, 33-45.
- 2- Aberle, J. and Järvelä, J. 2015. *Rivers—physical, fluvial and environmental processes* Hydrodynamics of vegetated channels. Springer.
- 3- Afzalimehr, H. and Setayesh, P. 2013. Investigation on Logarithmic and Coles Laws under Different Emergent Vegetation Patches. *Journal of Hydraulics*, 13(1), 47-62.
- 4- Afzalimehr, H. and Subhasish, D. 2009. Influence of bank vegetation and gravel bed on velocity and Reynolds stress distributions. *International Journal of Sediment Research*, 24, 236-246.
- 5- Bączyk, A., Wagner, M., Okruszko, T. and Grygoruk, M. 2018. Influence of technical maintenance measures on ecological status of agricultural lowland rivers—Systematic review and implications for river management. *Science of the Total Environment*, 627, 189-199.

- 6- Bennett, S. J. and Simon, A. 2004. *Riparian vegetation and fluvial geomorphology*, American Geophysical Union.
- 7- Caroppi, G. and Järvelä, J. 2022. Shear layer over floodplain vegetation with a view on bending and streamlining effects. *Environmental Fluid Mechanics*, 1-32.
- 8- Caroppi, G., Västilä, K., Järvelä, J., Rowiński, P. M. and Giugni, M. 2019. Turbulence at water-vegetation interface in open channel flow: Experiments with natural-like plants. *Advances in Water Resources*, 127, 180-191.
- 9- Chen, Z., Jiang, C. and Nepf, H. 2013. Flow adjustment at the leading edge of a submerged aquatic canopy. *Water Resources Research*, 49, 5537-5551.
- 10- Cheng, N.-S. 2013. Calculation of drag coefficient for arrays of emergent circular cylinders with pseudofluid model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139, 602-611.
- 11- D'ippolito, A., Calomino, F., Alfonsi, G. and Lauria, A. 2021. Flow Resistance in Open Channel Due to Vegetation at Reach Scale: A Review. *Water*, 13(2), 116.
- 12- D'ippolito, A., Lauria, A., Alfonsi, G. and Calomino, F. 2018. Flow resistance in open channel with rigid emergent vegetation. *Proceedings of the 5th IAHR Europe Congress—new challenges in hydraulic research and engineering Trento, Italy*.
- 13- De vriend, H. J., Van koningsveld, M., Aarninkhof, S. G., De vries, M. B. and Baptist, M. J. 2015. Sustainable hydraulic engineering through building with nature. *Journal of Hydro-environment research*, 9(2), 159-171.
- 14- Duan, J. G., Barkdoll, B. and French, R. 2006. Lodging velocity for an emergent aquatic plant in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1015-1020.
- 15- Fathi-Moghadam, M. and Kouwen, N. 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(1), 51-57.
- 16- Fathi-Moghadam, M. 1996. *Momentum Absorption in Non-rigid, Non-submerged, Tall Vegetation Along Rivers [microform]*, Thesis (Ph.D.), University of Waterloo.
- 17- Fathi-Moghadam, M., Davoudi, L. and Motamedi-Nezhad, A. 2018. Modeling of solitary breaking wave force absorption by coastal trees. *Ocean Engineering*, 169, 87-98.
- 18- Fathi-Moghadam, M., Kashefipour, M., Ebrahimi, N. and Emamgholizadeh, S. 2011. Physical and numerical modeling of submerged vegetation roughness in rivers and flood plains. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(11), 858-864.
- 19- Findlay, S. 1995. Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: The hyporheic zone. *Limnology and oceanography*, 40(1), 159-164.
- 20- Finnigan, J. 2000. Turbulence in plant canopies. *Annual review of fluid mechanics*, 32(1), 519-571.
- 21- Ghanbari-Adivi, E and Fathi-Maghadam, M. 2015. Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 28(2), 103-112 (in persian)
- 22- Gosselin, F. P. and De langre, E. 2011. Drag reduction by reconfiguration of a proelastic system. *Journal of Fluids and Structures*, 27(7), 1111-1123 ,
- 23- Gurnell, A. 2014. Plants as river system engineers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), 4-25.

- 24-Koloseus, H.J. and Davidian, J. 1996. *Free-surface instability correlations and roughness-concentration effects on flow over hydrodynamically rough surfaces.*
- 25-Kothyari, U. C., Hayashi, K. and Hashimoto, H. 2009. Drag coefficient of unsubmerged rigid vegetation stems in open channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6), 691-699.
- 26-Krzeminska, D., Kerkhof, T., Skaalsveen, K. and Stolte, J. 2019. Effect of riparian vegetation on stream bank stability in small agricultural catchments. *Catena*, 172, 87-96.
- 27-Lashkar-Ara, B. and Fathi-Moghadam, M. 2010. Wall and bed shear forces in open channels. *Research Journal of Physics*, 4(1), 1-10.
- 28-Li, D., Huai, W.-X. and Liu, M.-Y. 2020. Investigation of the flow characteristics with one-line emergent canopy patches in open channel. *Journal of Hydrology*, 590, 125248 .
- 29-Liu, X. and Zeng, Y. 2017. Drag coefficient for rigid vegetation in subcritical open-channel flow. *Environmental Fluid Mechanics*, 17(5), 1035.1050-
- 30-Marjoribanks, T. I., Hardy, R. J. and Lane, S. N. 2014. The hydraulic description of vegetated river channels: the weaknesses of existing formulations and emerging alternatives. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(6), 549-560.
- 31-Nepf, H. M. 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water resources research*, 35(2), 479-489.
- 32-Nepf, H. M. 2012. Hydrodynamics of vegetated channels. *Journal of Hydraulic Research*, 50(30), 262-279.
- 33-Ozan, A. Y. 2018. Flow structure at the downstream of a one-line riparian emergent tree along the floodplain edge in a compound open-channel flow. *Journal of Hydrodynamics*, 30(3), 470-480.
- 34-Rowiński, P. M., Västilä, K., Aberle, J., Järvelä, J. and Kalinowska, M. B. 2018. How vegetation can aid in coping with river management challenges: A brief review. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 18(4), 345-354.
- 35-Shi, H., Liang, X., Huai, W. and Wang, Y. 2019. Predicting the bulk average velocity of open-channel flow with submerged rigid vegetation. *Journal of Hydrology*, 572, 213-2.25
- 36-Tang, H., Tian, Z., Yan, J. and Yuan, S. 2014. Determining drag coefficients and their application in modelling of turbulent flow with submerged vegetation. *Advances in Water Resources*, 69, 134-145.
- 37-Vargas-luna, A., Crosato, A., Calvani, G. and Uijtewaal ,W. S. 2016. Representing plants as rigid cylinders in experiments and models. *Advances in water resources*, 93, 205-222.
- 38-Wang, W.-J., Peng, W.-Q., Huai, W.-X., Katul, G. G., Liu, X.-B., Qu, X.-D. and Dong, F. 2019. Friction factor for turbulent open channel flow covered by vegetation. *Scientific reports*, 9(1), 1-16.
- 39-Wynn, T. and Mostaghimi, S. 2006. The effects of vegetation and soil type on streambank erosion, southwestern virginia, usa 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 42(1), 69-82.
- 40-Zhang, X., Lin, P. and Nepf, H. 2022. A wave damping model for flexible marsh plants with leaves considering linear to weakly nonlinear wave conditions. *Coastal Engineering*, 175, 10412