Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 49, No. 1, Spring 2026, p. 1-21

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

the Impact of Long Tree Canopy on Changes in the Force of Solitary Breaking and Non-breaking Coastal waves

P. Azinfar[1], M. Fathi-Moghadam[*2] and J. Ahadiyan [*3]

1-Ph.D. of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2*-Corresponding Author, Professor of Hydraulic, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (fathi49@gmail.com)
3- Professor of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran; and Center of Excellence of the Irrigation and Drainage Networks Improvement and Maintenance, Ahvaz 61357-43311, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 25 April 2020
Revised: 20 December 2020
Accepted: 03 January 2021
Available online: 05 May 2026

Keywords: Breaking and Non-Breaking Waves, Coastal Protections, Wave Damping, Destructive Force of Waves.

TO CITE THIS ARTICLE:

Azinfar, P., Fathi Moghadam, M., Ahadiyan, J. 2026. 'the Impact of Long Tree Canopy on Changes in the Force of Solitary Breaking and Non-breaking Coastal waves', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(1), pp. 1-21. doi: 10.22055/jise.2021.32311.1904

Abstract

Coastal vegetation belts, depending on their capacity, can play a significant role in reducing coastal hazards or restoring the coast by attenuating waves, trapping and accumulating sediments, and rehabilitating the soil. Therefore, the role of coastal vegetation in modifying coastal characteristics and reducing the severity of damage through wave damping is of great importance. This study aims to investigate the effects of density, width of tall tree vegetation, and wave propagation velocity, as well as to determine the significance of these factors on the changes in the destructive force of breaking and non-breaking waves. To model tree trunks, non-flexible wooden stems with a diameter of 1 cm and a height of 30 cm were used. These cylindrical stems were installed on the beach section of the flume, and the force exerted on the obstacles by the waves was recorded using a direct measurement method with an electronic load cell installed beneath the movable section of the flume. The experiments were conducted with a fixed parallel arrangement, varying spacings of 5×5 and 10×10 cm, different vegetation widths of 10, 20, and 40 cm, and a constant bed slope of zero. Considering 40 different wave heights and control tests without vegetation, a total of 280 different conditions were examined. According to the experimental data, for a fixed vegetation width, the highest increase in force absorption occurred at a density of 5×5, which was 1.81 times greater than that at a density of 10×10. Finally, based on the experimental data, an empirical relationship between the drag coefficient and the Reynolds number was proposed.

Introduction

Floods that occur suddenly in watersheds can generate sudden waves. Investigating energy dissipation and constructing structures suitable for such conditions is of great importance (Sajjadi et al., 2024; Ahadiyan et al., 2024). Forests as a green belt reduce the height and energy of waves passing through them, reducing their ability to erode sediments and to cause damage to structures such as dikes and sea walls. As this happens, waves lose their ability to scour the seabed and carry away sediments (Mclvor et all.,2012). Such waves can easily destroy coastal dikes through a specific process. The destruction of these embankments, which are built to protect urban and rural

areas, leads to economic and sometimes human losses (Ahadiyan et al., 2022; Sadeghi-Hardangi and Ahadiyan, 2018). One of the strategies used, aside from creating roughness through vegetation cover to control such failures, is the application of in-phase and out-of-phase submerged jets to generate secondary flow or absorb the momentum of the opposing current (Maleki et al., 2025; Tamoradi and Ahadiyan, 2022). It is well-accepted that wave attenuation by emergent and submerged vegetation is a function of plant characteristics (geometry, stem density, spatial coverage, buoyancy, stiffness) as well as hydrodynamic conditions, including water depth (h), wave period (T), and wave height (H) (Augustin et al., 2009). Fathi-Moghadam et al. (2018) showed that the depth of inundation by flexible coastal canopies was reduced by 14, 18, and 29% for the coastal vegetation density of 30, 50, and 100%, respectively. Hirashi and Harada (2003) showed that the pressure difference on the sides of the green belt is mainly due to drag resistance. Azinfar et al. (2020) conducted various experiments in a wave channel to evaluate the effect of submerged and non-submerged tree vegetation on breaking wave damping, simulating wooden tree stems with a diameter of 1 cm as a green belt. Their laboratory results showed that for waves generated with identical characteristics, when the obstacles change from a non-submerged to a submerged state, the absorbed wave force decreases significantly. Salahi et al. (2024) experimentally investigated the simultaneous effect of bed roughness and vegetation on momentum absorption and drag coefficient. Their experimental results indicated that increasing the discharge directly affects the drag force. On average, with a twofold increase in flow depth, momentum absorption due to particle roughness can reach up to 60%, while under the same conditions, momentum absorption for vegetation is less than 30%. Their results provide an effective method for understanding the performance of different arrangements within the scope of the study.

Salmanzade et al. (2022) experimentally investigated the effect of tree type as vegetation cover on momentum absorption. They modeled the hydraulic conditions of river flow and the morphological conditions of vegetation along the river and floodplain. Their experiments were conducted in a 'sharp-edged flume' with a length of 8.3 m, a width of 0.8 m, and a height of 0.55 m. They found that vegetation density varied with the spacing and leaf area of the models. The density results can serve as a useful criterion for estimating the resistance caused by the presence of vegetation roughness in rivers. In this regard, Salmanzade et al. (2024a) in another study determined the physical properties of tree species and their response to external loads induced by water flow. They proposed an index to describe the physical properties of tree species. This index was derived based on the resonance frequency of the first vibration mode of the trees and a fundamental relationship for homogeneous beams. Furthermore, Salmanzade et al. (2024b) in a study investigating the effect of vegetation in waterways, modeled rigid and flexible vegetation using artificial specimens. Their results showed that in both rigid and flexible models, as the vegetation density index and relative depth increase, the drag force absorption increases. Therefore, it can be explained that when the sea waves head toward the shore, with the green belt, the waves pass through the canopies and the wave force, as a drag force, is absorbed by the trees, thus decreases its height.

In this study, a new and unique method based on the principle of momentum and direct force measurement has been used to measure wave energy decay simulated by the Green Belt. In this research, the effect of density and width of the canopy, as well as different heights of waves and still water, on the Attenuation of the force of the solitary breaking and Non-breaking waves has been investigated. The importance of wave propagation velocity will also be examined through how it affects wave force changes.

Methodology

Experiments were conducted in the Hydraulic Modeling Laboratory of the Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, in an 8.3×0.8×0.55 rectangular flume called Knife Edge Flume (Lashkar-Ara, 2010). Flume has Plexiglas sidewalls and a bed and is designed to measure the force exerted by the wave force on the cylindrical barrier at its shore by means of a dynamic load cell installed between the movable and fixed parts of the flume. At the beginning of the experiments, wooden circular cylinders 1 cm in diameter with fixed spacing and parallel arrangement were fixed in the moving part of the flume, whose slope was constant and zero. Then,

by generating single solitary waves with different heights, the absorption force by the canopies was monitored via an electrical display connected to the dynamic load cell.

Results and Discussion

Investigation of the maximum force with wave height

In order to better understand the effect of force with wave height, first, the changes in inlet wave height and inundation depth with different elevations of reservoir water depth (P) and initial still water depth (h) are examined. when the initial downstream still water depth is kept constant as the reservoir water height increases, the wave height increases. Also, at a fixed depth of reservoir, when the still water depth is increased, the wave height decreases. Another result is that when downstream water depth increases, although wave height decreases, masses resulting from breaking and non-breaking waves create more inundation depth at the obstacle's location. As the density increases (width and distance of the circular cylinders), the force-absorbing area increases too; as a result, the resistance due to drag form is increased, and more force is absorbed by the canopies (Fig.1).

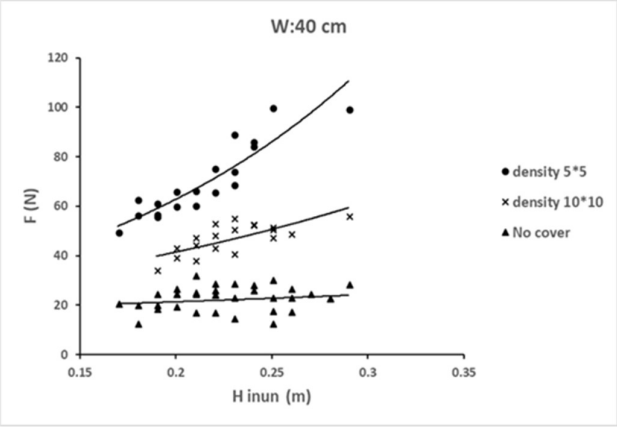
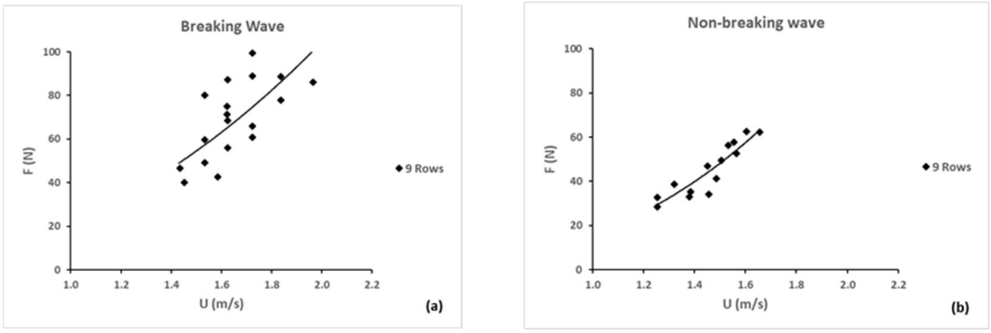


Fig 1- Variation of Force at different Inundation depths at different densities of canopy

The effect of propagation velocity on the force of waves

The results show that as the propagation speed increases, the amount of wave force increases at a higher rate, and this shows the importance of the propagation velocity on the wave force, or in other words, the wave strength (Fig 2). These results are in good agreement with the initial wave energy theory (Sorensen, 1997).



.

Fig 2- Variation of Force with Velocity at Constant Density of 5×5 in (a): breaking Waves; (b): non-breaking waves

Drag force coefficient

In this study, after plotting the drag coefficient values obtained from the force measured in the laboratory against the stem Reynolds number and fitting the data (Fig 3), the general trend of drag coefficient changes with the stem Reynolds number was obtained.

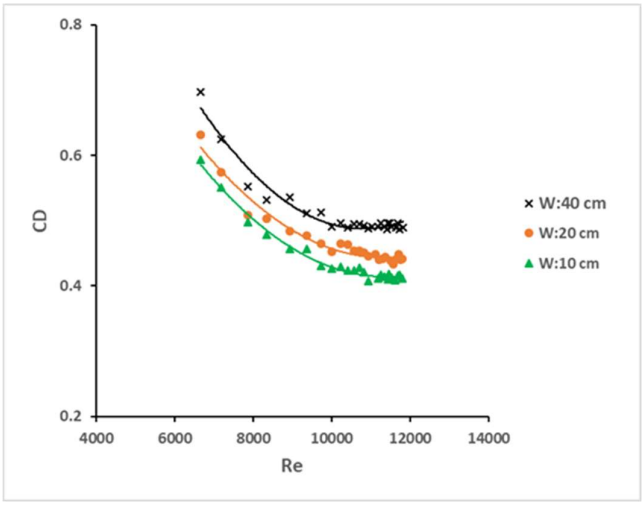


Fig 3- Drag Coefficient Values for Reynolds Stems at Different Widths of Canopy

Conclusions

- As the density and width of circular cylinders increase, the amount of force absorbed increases.
- As the propagation velocity increases, the amount of wave force increases at a very high rate.
- Finally, based on laboratory data, the general trend of drag coefficient changes with the stem Reynolds number was obtained. The range of Reynolds numbers varies from 6000 to 12000.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU-2018.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contribution

First Author: Parisa Azinfar, Conducting experiments, preliminary data analysis, drafting the initial version of the manuscript.

Second Author: Manoochehr Fathi-Moghadam, Topic selection, research design, planning and supervision of experiments, final review of results, approval of the final version of the manuscript.

Third Author: Javad Ahadiyan, Research design, planning, and supervision of experiments, final review of results, final revision of the manuscript.

Acknowledgement

The development, planning, and preparation of the experimental equipment and materials required for conducting the research were funded by the research grants of the second and third

authors. Therefore, we extend our gratitude to the Vice Chancellor for Research of Shahid Chamran University of Ahvaz for allocating a grant to this research subject.

References

1- Ahadiyan, J., Abbasi Chenari, S., Azizi Nadian, H., Katopodis, C., Valipour, M., Sajjadi, S. M., & Omidvarinia, M. 2024. Sustainable systems engineering by CFD modeling of lateral intake flow with flexible gate operations to improve efficient water supply. *International Journal of Sediment Research*, 39(4), 629-642. https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2024.05.003.

2- Ahadiyan, J., Bahmanpouri, F., Adeli, A., Gaultieri, C., Khoshkonesh, A. 2022. Riprap Effect on Hydraulic Fracturing Process of Cohesive and Non-cohesive Protective Levees. *Water Resource Managemen*t 36, 625–639 (2022). https://doi.org/10.1007/s11269-021-03044-6.

3- Augustin, L.N., Irish, J.L., Lynett, P. 2009. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Journal of Coastal Engineering*, 56(3), pp.332-340. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.09.004.

4- Azinfar, P., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J. 2020. 'Laboratory Study of Broken Wave Force Damping by Submerged and Emergent Long Tree Canopies', *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 21(80), pp. 99-114. doi: 10.22092/idser.2020.342708.1430.

5- Fathi-Moghadam, M., Davoudi, L., & Motamedi-Nezhad, A. 2018. Modeling of solitary-breaking-wave force absorption by coastal trees. *Ocean Engineering*, *169*, 87-98. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.021.

6- Hirashi, T, Harada, K., 2003. Green belt tsunami prevention in the South Pacific region. *Port and Airport Research Institute*, 42(2), pp.23. https://www.researchgate.net/publication/238077579_Greenbelt_Tsunami_Prevention_in_South-Pacific_Region.

7- Lashkar-Ara, B., 2010, Determination of shear stress in rectangular channel using momentum and energy approaches, *PhD. Thesis*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, p. 52- 62.

8- Maleki, P., Ahadiyan, J., Aleixo, R., Azizi Nadian, H., Tamoradi, Z., Kashefipour, S. M., Schleiss, A. J., & Fathi Moghadam, M. 2025. Scour Control in a 90° Bend by Means of an Air Bubble Screen. *Water*, *17*(18), 2693. https://doi.org/10.3390/w17182693.

9- Mclvor, Al, Moller, L., Spencer, T., Spalding, M., 2012. Reduction of wind and Swell Waves by Mangroves. Natural Coastal Protection Series: Report. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 40. Published by the *Nature Conservancy and Wetlands International*. file:///C:/Users/Asus/Downloads/reduction-of-wind-and-swell-waves-by-mangroves%20(1).pdf.

10- Sajjadi, S. M., Barihi, S., Ahadiyan, J., Azizi Nadian, H., Valipour, M., Bahmanpouri, F., & Khedri, P. 2024. Redesigning the Fuse Plug, Emergency Spillway, and Flood Warning System: An Application of Flood Management. *Water*, *16*(24), 3694. https://doi.org/10.3390/w16243694.

11- Sadeghi-Hardangi, E., Ahadiyan, J. (2018). 'Hydraulically Failure Mechanism of non-Cohesive Homogenous Protective Embankments by Overtopping', *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), pp. 115-131. doi: 10.22055/jise.2018.13575.

12- Salahi, K., Ahadiyan, J., Yu-hong Zeng, Azizi, H. N., Sajjadi, S. M. 2024. Laboratory Investigation of the Effect of Particle and Vegetation Roughness on Changes in Drag Force in an Open Channel, *Journal of Environmental Accounting and Management*, Vol. 12, No.3, pp.221-230. DOI:10.5890/JEAM 2024.0 https://www.lhscientificpublishing.com/Journals/articles/DOI-10.5890-JEAM.2024.09.001.aspx.

13- Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, M. 2024a. Laboratory study of the effect of vegetation arrangement and density on flow resistance coefficient, Journal of Water Science & Engineering. 2022;11(4):16-7. https://sanad.iau.ir/Journal/wsej/Article/921928

14-Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, M. 2024a. An Index to Determine Reaction of Vegetation Canopies to River Flow, *Journal of Hydraulic and Water Engineering*, 1(2), pp. 41-50. doi: 10.22044/jhwe.2023.13441.1027.

15-Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, S. M. 2024b. Investigation of 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.

16-Sorensen, R.M. 1997. Basic Coastal Engineering. *Springer Science*. New York. https://link.springer.com/book/10.1007/b101261.

17-Tamoradi, Z.; Ahadiyan, J. 2021. Effect of water and air injection on the reduction of bend scour. *Canadian Journal of Civil Engineering,* 2021, 48, 740–748. https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0429.

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۹، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۲۱-۱

بررسی تأثیر پوشش‌های بلند درختی روی تغییرات نیروی امواج ساحلی منفرد شکنا و ناشکنا

پریسا آذین فر[۱]، منوچهر فتحی مقدم[۲*] و جواد احدیان[۳]

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز fathi49@gmail.com

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز و عضو هسته قطب علمی بهسازی و بهره برداری از شبکه های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

چکیده

پوشش‌های ساحلی به‌عنوان کمربند سبز بسته به توانایی خود می‌توانند نقش مهمی در کاهش خطرات موجود در ساحل و یا بازسازی ساحل از طریق کاهش امواج، تجمع و انباشت رسوبات و بازسازی خاک ایفا کنند. بنابراین نقش پوشش‌های ساحلی در تغییر ویژگی‌های سواحل و کاهش شدت آسیب‌های وارده به آن از طریق میرایی امواج بسیار حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تراکم، عرض پوشش‌های بلند درختی و سرعت انتشار موج و تعیین درجهٔ اهمیت موارد مذکور بر میزان تغییرات نیروی مخرب امواج شکنا و ناشکنا می‌باشد. برای مدل کردن تنه درختان از ساقه‌های چوبی بدون انعطاف به قطر یک سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. این ساقه‌های استوانه‌ای در قسمت ساحل فلوم نصب گردیدند و نیروی وارد شده به موانع ناشی از امواج با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم و به کمک نیروسنج الکترونیکی (لودسل) نصب شده در زیر قسمت متحرک فلوم، ثبت می‌گردید. آزمایش‌ها با آرایش ثابت موازی و فواصل متغیر ۵×۵ و ۱۰×۱۰ و در عرض‌های متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر و شیب ثابت صفر انجام شد. با توجه به ۴۰ ارتفاع متفاوت موج و آزمایش‌های بدون حضور پوشش (شاهد) در مجموع ۲۸۰ حالت متفاوت بررسی شده است. با توجه به داده‌های آزمایشگاهی، در یک عرض پوشش ثابت بیشترین افزایش جذب نیرو در تراکم ۵×۵ ، ۱/۸۱ برابر نسبت به تراکم ۱۰×۱۰ بوده است. در انتها بر اساس داده‌های آزمایشگاهی یک رابطهٔ تجربی بین ضریب درگ و عدد رینولدز پیشنهاد گردید.

کلید واژه‌ها: امواج شکنا و ناشکنا، پوشش‌های ساحلی، میرایی امواج، نیروی مخرب امواج .

مقدمه

سیلابهایی که به صورت ناگهانی در حوضه‌های آبریز به وقوع می‌پیوندد می‌توانند امواج ناگهانی ایجاد نمایند. بررسی لازم در خصوص استهلاک انرژی و ایجاد سازه‌های متناسب با این شرایط از اهمیت بسزایی برخوردار است (Sajjadi et al., 2024، Ahadiyan et al., 2024). هنگامی‌که امواج از میان پوشش‌های ساحلی عبور می‌کنند انرژی و ارتفاع آن‌ها کاهش می‌یابد بنابراین توانایی امواج در فرسایش رسوب سواحل و میزان آسیب به سازه‌های ساحلی هم‌چون دایک‌ها و دیوارهای ساحلی کاهش می‌یابد. برای مثال کاهش ارتفاع موج ناشی از مد در برخورد با درختان بین ۱۳ تا ۶۶ درصد در طول ۱۰۰ متر از پوشش‌های درختی می‌باشد. هنگامی‌که این اتفاق رخ دهد، موج توانایی خود در آبشستگی بستر دریا را از دست داده و نمی‌تواند رسوبات را در فاصله‌ای دورتر حمل کند (Mclvor et all.,2012). چنین امواجی میتوانند به راحتی دایک‌های ساحلی را به فرآیندی مشخص تخریب نمایند. تخریب این خاکریزها که برای محافظت از مناطق شهری و روستایی احداث می‌شوند باعث مخاطرات اقتصادی و گاه جانی می‌گردد (Ahadiyan et al., 2022 Sadeghi-Hardangi and Ahadiyan, 2018). یکی از راهکارهایی که به غیر از ایجاد زبری با استفاده از پوشش گیاهی برای کنترل چنین تحریب‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاربرد جت‌های مستغرق همفاز و غیر همفاز برای ایجاد جریان ثانویه و یا جذب مومنتم جریان مقابل می‌باشد (Ahadiyan and Musavi-Jahromi, 2009، Maleki et al., 2025، Tamoradi and Ahadiyan, 2021). برای کنترل کشور ما ایران مرز دریایی بسیار طولانی دارد و اکثر مناطق ساحلی جز مراکز بازرگانی و تجاری می‌باشند، لذا حفاظت از این مناطق در مقابل امواج دریا بسیار حائز اهمیت است. نواحی ساحلی ایران در امتداد دریای عمان طی دو دهه اخیر توسعه و گسترش زیادی یافته است، بنابراین رشد جمعیت در این منطقه خطر تلفات جانی ناشی از هرگونه رویداد سونامی را افزایش می‌دهد (Mokhtari and Hajizadeh Zaker, 2005). به‌منظور حفاظت از سواحل در مقابل امواج، به‌کارگیری روش‌های سازه‌ای مانند انواع موج شکن در طولانی مدت باعث بروز مسائل محیط زیستی ساحلی هم‌چون تغییر توپوگرافی ساحل و انتقال فرآیند

DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

بلوک‌های بزرگ شامل Tetrapods های به‌کار رفته در موج‌شکن‌ها توسط امواج سونامی می‌گردد و اثرات زیان‌باری را بر جای می‌گذارد (Thuy et al., 2009). بنابراین توانایی جنگل‌های ساحلی برای کاهش اثرات زیان‌بار امواج سونامی و طوفان‌های شدید توسط مهندسین و محققین به‌عنوان یکی از گزینه‌های کاهش میزان ریسک به‌طور منطقی مورد بررسی قرار گرفته است. پوشش‌های گیاهی جنگلی ساحلی هم‌چون حرا یا کاج‌های ساحلی تا حدی در برابر باد یا طوفان‌های شدید مقاومت می‌کنند. اگر چه توانایی و مقاومت جنگل‌های ساحلی در برابر سونامی‌های بسیار بزرگ همچنان مورد بحث است زیرا تاکنون هیچ‌گونه نتیجه قطعی در خصوص نقش جنگل‌های ساحلی به‌عنوان مانع طبیعی در برابر امواج سونامی وجود ندارد. هر چند گزارش‌ها و تحقیقات متعدد (مشاهدات میدانی، میزان ویرانی تجربه شده و عکس‌های ماهواره‌ای) به‌طور واضح نشان داده‌اند که جنگل‌های ساحلی ممکن است بتوانند در برابر امواج سونامی نقش حفاظت کنندهٔ طبیعی داشته باشند (Husrin et al., 2012). نقش حفاظتی پوشش‌های درختی بعد از سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند مورد توجه بیشتری قرار گرفت. در آن زمان پنج روستا که دو روستا در ساحل و سه روستای دیگر پشت پوشش‌های درختی در جنوب شرقی هند بودند مورد مطالعه قرار گرفتند. دیده شد روستاهایی که در ساحل بودند کاملا تخریب شدند در حالی که سه روستای دیگر، با فاصله‌ای یکسان از ساحل نسبت به دو روستای قبلی، که با پوشش درختی محافظت شده بودند هیچ‌گونه تخریبی در آن‌ها مشاهده نشد. اتحادیه جهانی برای حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN) با مقایسهٔ سطح ویرانی در سریلانکا نیز گزارش داد در مناطقی با پوشش متراکم تنها دو نفر جان خود را از دست دادند در حالی که حدود ۶۰۰۰ نفر در مناطق ساحلی بدون پوشش جان باختند (Hashim and Catherine, 2013). در حال حاضر جنگل‌های ساحلی به‌عنوان شیوه‌ای مؤثر در کاهش خسارات ناشی از سونامی که علاوه بر بهبود شرایط محیط زیستی و حفظ جنبه زیبایی شناختی ساحل، صرفه اقتصادی نیز دارد، مورد توجه می‌باشند. گرایش‌های اخیر در مهندسی سواحل روی شکل‌های غیر تداخلی محافظت روی ساحل مانند پوشش‌های گیاهی که علاوه بر محافظت ساحل می‌تواند زیستگاه طبیعی برای بسیاری از گونه‌های جانوری ایجاد کند، متمرکز شده است (Augustin et al., 2009). پوشش‌های گیاهی سیل و آسیب‌های ناشی از ویرانی امواج را کاهش داده و هم‌چنین به‌صورت مستقیم پایداری خط ساحلی را از طریق ریشه افزایش داده و ذخیره ماسه در فرم دون را بالا می‌برد (Dean, 1978). کاهش اثر امواج توسط پوشش‌های غیرمستغرق و مستغرق تابعی از ویژگی‌های گیاه (تراکم، فاصله هم‌پوشانی، عرض پوشش، سختی و شناوری) و شرایط هیدردینامیکی همچون عمق جریان (h)، دوره تناوب (T) و ارتفاع موج (H) می باشد (Augustin et al., 2009). Ghanbari Adivi و Fathi-Moghadam (2015) در پژوهشی آزمایشگاهی با پوشش‌های صلب میزان استهلاک انرژی امواج توسط کمربند ساحلی را مورد تحقیق قرار دادند. بر اساس نتایج این تحقیق در عرض و تراکم بیشترین پوشش بیشترین کاهش نیرو و ارتفاع موج مشاهده گردید به‌طوری‌که نیروی مستهلک شده از امواج در تراکم بیشتر ۱/۳ برابر نیرو در تراکم کمتر بود. هر چند که در تحقیقات متعدد نشان داده شده که تراکم عاملی مؤثر در کاهش انرژی موج می‌باشد در مدلی آزمایشگاهی Ismail et al. (2012) نشان دادند که اثر تراکم در مقایسه با عرض پوشش قابل توجه نمی‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر Fathi-Moghadam et al. (2018) با پوشش‌های انعطاف پذیر نشان دادند که میزان عمق آبگرفتگی توسط پوشش ساحلی در تراکم‌های ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۱۴، ۱۸ و ۲۹ درصد کاهش یافت. تخریب و ویرانی‌های ناشی از امواج سونامی به‌طور عمده‌ای به نیروی هیدرولیکی و سرعت آن‌ها بستگی دارد. اگر چه تخمین نیروی هیدرولیکی و سرعت امواج سونامی در مشاهده‌ها میدانی بسیار مشکل است به‌طوری‌که در تحقیقات میدانی بلافاصله بعد از وقوع یک سونامی، داده‌های بسیاری از عمق آبگرفتگی، سطح و ارتفاع موج می‌توان جمع‌آوری کرد اما داده‌های بسیار کمی از نیرو و سرعت امواج سونامی موجود هستند. بنابراین بدست آوردن دو پارامتر نیرو و سرعت امواج بسیار ضروری است (Imamura et al., 2007). البته باید توجه کرد بخش‌های قابل توجهی از جنگل‌های ساحلی در سراسر جهان پوشیده از درختان برگ‌ریز و گونه‌های درختچه‌ای بلند با تنه سفت و برگ‌های پهن انعطاف‌پذیر است. تخمین ضریب درگ و مقاومت در برابر جریان برای درختان برگ‌ریز در دشت‌های سیلابی جنگلی در شرایط غیر مستغرق بسیار احایز اهمیت است. این موضوع در تحقیق Fathi-Moghadam et al. (2024) انجام شده است و آنها مدل‌های صلب و انعطاف‌پذیر با اندازه و پیکربندی مشابه در یک فلوم آزمایشگاهی را آزمایش کردند تا اثرات انعطاف‌پذیری و تراکم پوشش گیاهی و سرعت و عمق جریان بر ضرایب زبری به وضوح مشخص نمایند. آنها معادلات ضریب زبری توسعه‌یافته برای تعیین تغییرات n مانینگ را بررسی نمودند. Azinfar et al. (2020) آزمایش‌های متنوعی در کانال موج برای ارزیابی تأثیر پوشش درختی در حالت استغراق و غیراستغراق بر میرایی امواج شکنا به اجرا درآوردند و ساقه های چوبی درختان با قطر ۱ سانتی‌متر به عنوان کمربند سبز را شبیه سازی نمودند. نتایج آزمایشگاهی آنها نشان داد در تولید امواج با ویژگی‌های یکسان، هنگامی که موانع از حالت غیراستغراق به حالت استغراق تغییر یابند، نیروی جذب شده موج بسیار کاهش می‌یابد. Salahi et al. (2024) در تحقیقی اثر زبری بستر و پوشش گیاهی را به طور همزمان بر جذب مومنتم و ضریب درگ به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که افزایش دبی مستقیماً بر میزان نیروی درگ تأثیر می‌گذارد. به طور متوسط، با افزایش دوبرابری عمق جریان، جذب مومنتوم برای زبری ذرات می‌تواند به ۶۰٪ برسد. در حالی جذب مومنتوم در همین شرایط برای پوشش گیاهی، کمتر از ۳۰ درصد است. نتایج آنهاروش

موثری را برای شناخت عملکرد چیدمان‌های مختلف در محدوده تحقیق ارائه می‌دهد.

Salmanzade et al. (2022) نیز در فعالیت تحقیقاتی به صورت آزمایشگاهی اثر نوع درخت به عنوان پوشش برای جذب مومنتم را بررسی نمودند. آنها شرایط هیدرولیکی جریان رودخانه و شرایط مورفولوژیکی پوشش گیاهی در امتداد رودخانه و دشت سیلابی را مدل نمودند. آزمایش‌های آن‌ها در "فلوم لبه چاقویی" با طول ۸/۳ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵۵ متر انجام شد. آن‌ها فهمیدند، تراکم پوشش گیاهی با افزایش فاصله و سطح برگ مدل‌ها تغییر کرد. نتایج تراکم می‌تواند به عنوان معیار مفیدی در تخمین مقاومت ناشی از وجود زبری گیاه در رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. در همین راستا Salmanzade et al. (2024a) در تحقیقی دیگر خواص فیزیکی گونه‌های درختی، واکنش آن‌ها را به بارهای خارجی ناشی از جریان آب را تعیین نمودند. آنها شاخصی برای توصیف خواص فیزیکی گونه‌های درختی پیشنهاد کردند. این شاخص بر اساس فرکانس رزونانس اولین مد ارتعاش درختان و یک رابطه اساسی برای تیرهای همگن استخراج شد. همچنین Salmanzade et al. (2024b) در تحقیقی به‌منظور بررسی اثر پوشش گیاهی در آبراهه‌ها، پوشش گیاهی صلب و انعطاف‌پذیر با نمونه‌های مصنوعی را مدل‌سازی نمودند. نتایج آنها نشان داد در هر دو مدل صلب و انعطاف پذیر، با افزایش شاخص تراکم پوشش گیاهی و عمق نسبی، میزان جذب نیروی درگ افزایش می‌یابد.

همان‌طور که پیشتر گفته شد زلزله زیردریایی عامل ایجاد سونامی به شمار می رود. در مرحله اول یک اغتشاش اولیه موضعی در نزدیکی محل وقوع زلزله رخ می دهد، سپس موج حاصل منتشر می‌شود و با نزدیک شدن به ساحل شکست، بالاروی و در نهایت آبگرفتگی اراضی ساحلی صورت می‌گیرد. با عبور موج از نواحی آب کم عمق که بر اساس تعریف نسبت عمق آب به طول موج کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، تحت تأثیر خصوصیات بستر قرار گرفته و در نتیجه فرآیندهای ساحلی هم‌چون خزش، شکست و بالاروی موج به وقوع می پیوندد. به‌طور کلی یک موج بسته به میزان ارتفاع نسبی، عمق آب ساکن اولیه و شیب ساحل ممکن است پیش از رسیدن به خط ساحلی بشکند (موج شکنا)، و یا نسبت به موقعیت در نظر گرفته شده در قسمت ساحلی نشکند و موج ناشکنا قلمداد شود. از این می‌توان گفت حرکت اجزاء آب در یک موج، جریان ناپایدار پیوسته می‌باشد. وقتی این جریان ناپایدار با بدنه صلب یک سازه مستغرق برخورد می‌کند یک نیرو روی بدنه، به‌علت سرعت جریان و شتاب جریان اعمال می شود که معمولاً توسط فرمول زیر محاسبه می شود (Sorensen, 1997):

$$F_{hd} = \frac{1}{2}\rho C_D A u^2 + C_m \rho V \frac{du}{dt} \qquad (۱)$$

برای یک سطح گوشه دار و غیر مسطح (نظیر مقاطع مستطیلی و دایره ای)، A مساحت مقطع عمود بر سطح جریان می باشد. u سرعت موج تابیده شده به مانع، ρ چگالی مایع C_m ضریب اینرسی، ∀ حجم مانع روبروی جریان، $\frac{du}{dt}$ تغییرات سرعت با زمان و C_D ضریب درگ می باشد که به عنوان ضریب مقاومت سازه در مقابل جریان در نظر گرفته می شود. رابطهٔ (۱) که برای برآورد نیروهای ناشی از موج روی سازه مستغرق بکار می‌رود، معادله موریسون نامیده می‌شود. با بررسی عددی و شبیه سازی ریاضی پوشش گیاهی در ساحل مشخص شد که با استفاده از رابطه موریسون می‌توان نیروی موج وارد بر ساحل و سازه های ساحلی را برآورد نمود (Namdar and Nusrath, 2010). در این تحقیق اثر تراکم و عرض پوشش و هم‌چنین ارتفاع‌های متفاوت عمق جریان و موج در میزان کاهش نیروی امواج شکنا و ناشکنا مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین اهمیت سرعت انتشار موج از طریق نحوه‌ی اثر گذاری آن بر تغییرات نیروی موج بررسی خواهد شد. سپس با استفاده از نتایج داده‌ها درجهٔ اهمیت هر کدام از پارامترها بر تغییرات نیروی موج مشخص خواهد. مشاهده‌های مستقیم و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داده که برهم‌کنش تنهٔ درختان با امواج در پوشش‌های جنگلی متراکم نقش مهمی در نرخ کاهش امواج دارد (Mazda et al., 1997). بنابراین در این تحقیق مقاومت هیدرولیکی بخش صلب درختان که تنه درخت را شامل می‌شود مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و در فلوم مستطیل شکلی صورت گرفت. این فلوم با شیب ثابت که طول آن ۸/۳ متر، ارتفاع دیواره ۰/۵۵ متر و عرض کف آن ۰/۸ متر و دیواره ها و کف آن از جنس پلکسی گلاس می باشد به‌گونه‌ای طراحی گردیده که نیروی وارده از طرف موج شکنا بر موانع استوانه‌ای قرار گرفته در بخش ساحل آن از طریق نیرو سنجی که در زیر بخش میانی و متحرک آن متصل است اندازه‌گیری می‌شود. این فلوم را نخستین بار Lashkar-Ara (2010) به‌منظور تعیین تنش برشی در کانال مسنطیلی با استفاده از روش مومنتم ساخت و آن را فلوم لبه چاقویی (Knife Edge) نامید. در این فلوم طولی معادل یک متر که ۴/۱ متر از ابتدا و ۳/۲ متر از انتهای فلوم فاصله دارد از بقیه آن جدا شده در آستانه حرکت قرار داده شده است به‌طوریکه با کوچکترین نیرویی در آستانه سقوط قرار خواهد گرفت. در چنین حالتی یک نیروسنج دینامکی سبب ایجاد تعادل بخش جدا شده فلوم می گردد و امکان ثبت نیروی کششی وارده از طرف سیال به آن قابل ثبت می باشد (Lashkar-Ara and Fathi-Moghadam, 2014). نیروسنج مذکور بخش انتهایی فلوم لبه چاقویی یا بخش متحرک را به قسمت پایین دست فلوم وصل می‌کند و عکس‌العمل نیروی جریان بر ساحل در حالات با و بدون موانع استوانه‌ای را روی نشانگر الکتریکی دستگاه نشان می‌دهد.

DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

شکل (۱) نمایی از فلوم لبه چاقویی را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد که موانع استوانه‌ای چوبی در قسمت میانی فلوم قرار گرفته‌اند. به‌منظور تهیه جنگل ساحلی، از استوانه‌های چوبی انعطاف ناپذیر به قطر یک سانتی متر و ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده گردید که در بخش متحرک فلوم به عنوان بخش ساحلی مستقر گردیدند. موانع مذکور در یک آرایش ثابت موازی ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی متر از هم قرار گرفتند.

شیوه انجام آزمایش

در ابتدای آزمایش‌ها موانع استوانه‌ای چوبی به قطر یک سانتی‌متر با فاصله مشخص و آرایش موازی در قسمت متحرک فلوم که شیب کف آن ثابت و صفر می‌باشد به طور ثابت قرار می‌گرفتند، سپس با ایجاد امواج منفرد شکنا و ناشکنا با ارتفاع‌های متفاوت میزان نیروی جذب شده توسط موانع از طریق نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیکی قرائت می‌گردید. تولید موج منفرد بر اساس اختلاف ارتفاع سطح آب طرفین یک دریچه کشویی از جنس پلاکسی گلاس که در فاصله ۱/۴ متری از ابتدای فلوم ساخته شده بود و قابلیت حرکت آزادانه را دارد ایجاد می‌شد. رقوم سطح آب طرفین دریچه به گونه‌ای تنظیم می‌شد که موج حاصل یا پیش از رسیدن به بازه لبه چاقویی بشکند یا به‌صورت ناشکنا از موانع عبور کند بدین معنی که عمق آب مخزن (p) و عمق ساحل (h) بگونه‌ای تنظیم می‌گردید که هنگام باز شدن دریچه کشویی موج تشکیل شده به شکل شکنا یا ناشکنا به پوشش‌های درختی برسد. بدین ترتیب ارتفاع سطح آب ۲۸، ۳۱، ۳۴، ۳۷ و ۴۰ سانتی‌متر به‌عنوان سطح آب مخزن و عمق ساکن ساحل ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۱ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

دریچه به وسیله سیستم نخ و قرقره به یک وزنه متصل می‌شد و با سقوط وزنه از یک ارتفاع معلوم دریچه به سرعت باز و موج منفرد ناگهانی تشکیل می‌شد. موج تشکیل شدهٔ عبوری روی آب ساکن جلوی دریچه (عمق ساکن ساحل) حرکت نموده و در ادامه یک قله موج منفرد را به وجود می‌آورد. برای انجام هر آزمایش، ابتدا موانع استوانه‌ای با عرض پوشش و فواصل مشخص در قسمت میانی فلوم با چسب قرار گرفته شدند تا امکان ایجاد هرگونه حرکت به وجود نیاید. سپس دریچه کشویی مولد موج و شیر ورودی جریان به داخل فلوم باز شده و دریچه کشویی چوبی پایین دست بسته می‌شد تا عمق آب ساکن ساحل به اندازه مورد نظر برسد. در مرحله بعد دریچه کشویی بالادست به صورت آب بند کاملا بسته می‌شد تا ارتفاع آب در مخزن پشت دریچه نیز تا اندازه مورد نظر می‌رسید. در نهایت بعد از ساکن شدن سطح آب در دو طرف دریچه، ضامن دستی آزاد شده و با سقوط ناگهانی وزنه، دریچه به‌صورت سریع باز شده و موج منفرد تشکیل شده به سمت پوشش گیاهی حرکت می‌کرد. به دلیل حرکت سریع موج، به‌منظور برداشت داده‌های آزمایش از روش فیلم‌برداری استفاده شده است . بدین منظور از دو دوربین دیجیتال نصب شده روی سه پایه با هم‌پوشانی مناسب برای فیلم‌برداری استفاده شد. دوربین‌ها مقابل دیوارهٔ فلوم و در یک راستا قرار داشتند. بازهٔ برداشت شده در دوربین اول از محل دریچه تا شروع بخش لبه چاقویی و بازهٔ برداشت دوربین دوم از قبل از شروع بخش لبه چاقویی تا فاصله‌ای بعد از آن را برداشت می‌کرد. مترهای کاغذی مدرج در طول فلوم برای درک بهتر از تصاویر دوربین ها روی دیواره فلوم نصب شده بودند. در حین انجام هر آزمایش، نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیک میزان نیروی وارده به سیستم متحرک لبه چاقویی را در واحد کیلوگرم-نیرو نمایش می داد. درشکل (۲) لودسل و آرایش استوانه های چوبی با تراکم متفاوت نشان داده شده است.

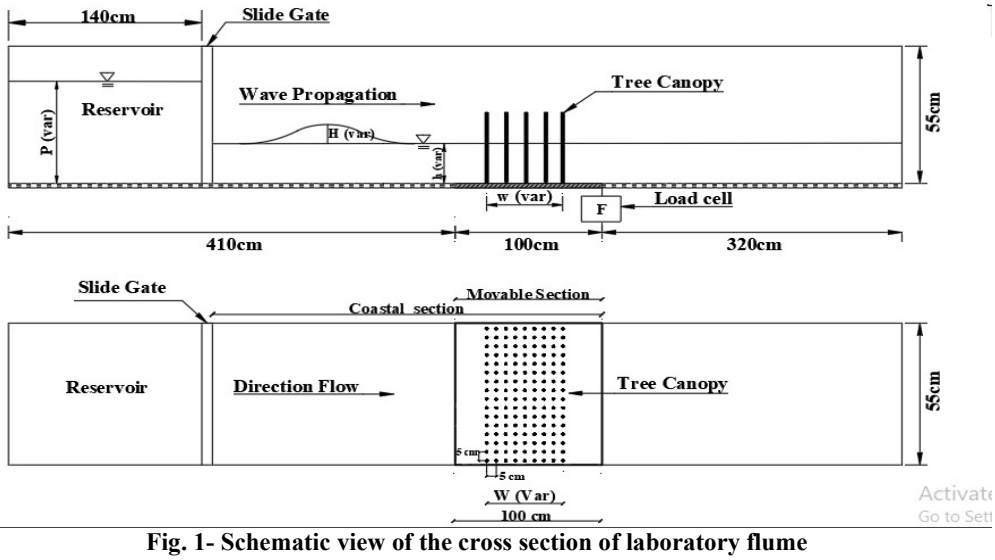


Fig. 1- Schematic view of the cross section of laboratory flume

شکل ۱- نمایی شماتیک از مقطع و پلان فلوم مستطیلی آزمایشگاهی



Fig. 2- Photograph of the Arrangement of circular cylinder with different density in the knife Edge section and electronic dynamometer (load cell)

شکل ۲- نمایی از چیدمان موانع با تراکم متفاوت در بخش لبه چاقویی فلوم به همراه نمایشگر حسگر بار دینامیک

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده آزمایش

Table 1- Range of data collected in the present study

Parameters	Dimension	Range
The width of tree cover, W	Cm	10,20,40
Still Water depth, h	Cm	8,10,12,14,16,18,20,21
The height of the water tank, P	Cm	28,31,34,37,40
Circular cylinder height, Ls	Cm	30
Wave height, H	Cm	6-15
Force absorption by tree cover, F	N	Variable
Average wave velocity, u	m/s	1.25-1.96
Circular cylinder intervals, L	Cm	5×5,10×10
Circular cylinder diameter, D	Cm	1
Constant slope, S	%	0
arrangement		Parallel

پارامترها و آنالیز بعدی

با کمک آنالیز ابعادی پارامترهای موثر در فیزیک مسئله تشخیص داده می شوند سپس با تغییر هر متغیر و در نتیجه پارامتر موثر می‌توان تاثیر آن پارامتر را بر نتایج تحلیل کرد. متغیرهای مؤثر بر فیزیک پدیده به‌صورت رابطه (۲) می باشد:

$$f(F.H.\rho.g.U.\mu.D.S.h.l_s.W.L) = 0 \qquad (۲)$$

که در آن F: نیروی موج، H: ارتفاع موج، ρ: جرم واحد حجم سیال، g: شتاب ثقل، U: سرعت متوسط افقی ذرات، μ: لزجت دینامیکی، D: قطر موانع، S: شیب ساحل به درصد، h: عمق ساکن ساحل، l_s: ارتفاع پوشش، W: عرض پوشش، L_g: طول پوشش در راستای عرض فلوم و L: فاصله موانع از هم می باشند. نتیجه تحلیل ابعادی از طریق π باکینگهام به صورت تابع زیر است:

$$\left(\frac{F}{\rho AU^2}.\frac{\rho UL}{\mu}.\frac{U}{\sqrt{gH}}.\frac{H}{h}.\frac{H}{D}.\frac{H}{L}.\frac{H}{l_s}.\frac{H}{W}.\frac{H}{L_g}.S\%\right) = 0 \qquad (۳)$$

با توجه به هدف آزمایش و ثابت بودن قطر و ارتفاع موانع، طول پوشش در راستای عرض و شیب کف ساحل صفر در تمام آزمایش‌ها رابطه بالا به شکل زیر در خواهد آمد:

$$\frac{F}{\rho AU^2} = f\left(\frac{U}{\sqrt{gH}}.\frac{\rho UL}{\mu}.\frac{H}{W}.\frac{H}{h}.\frac{H}{L}\right) \qquad (۴)$$

سمت چپ معادله (۴) ضریب درگ (Cd) و پارامترهای اول و دوم در سمت راست به‌ترتیب اعداد فرود و رینولدز هستند. از آنجائی‌که جریان غیرماندگار و همراه با انتقال مومنتم زیاد بوده و ضمناً ثقلی نیست عدد فرود از بررسی حذف می‌شود (Novak et al., 2010). در نتیجه حرکت موج در ساحل و پارامترهای مؤثر روی ضریب درگ پوشش به بطور کلی به‌صورت زیر خواهد شد:

$$C_d = f\left(R_e.\frac{H}{W}.\frac{H}{h}.\frac{H}{L}\right) \qquad (۵)$$

لازم به توضیح است که بدلیل چیدمانهای خاص پوشش 10×10 cm و 5×5 cm در این تحقیق، مقدار W وابسته به مقدار L بوده و در نتیجه فقط از نسبت $\frac{H}{W}$ در ادامه جهت در نظر گرفتن اثر تراکم پوشش استفاده و $\frac{H}{L}$ در ادامه حذف می‌شود. در جدول (۱) دامنه پارامترهای ذکر شده ارائه شده است:

 DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

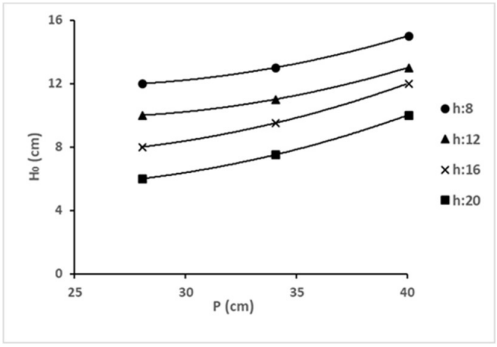


Fig 3- Variation of Wave height at differents Reservoir and Still Water depths
شکل ۳- تغییر ارتفاع موج با تغییرات ارتفاع آب مخزن و ارتفاع اولیه آب ساکن پایین‌دست

نتایج و بحث

همان‌طور که پیشتر گفته شد برای بررسی نیروی جذب شده موج توسط موانع از حسگر بار دینامیکی که در زیر بخش لبه چاقویی نصب شده بود استفاده گردید که این نیرو از طریق بخش لبه چاقویی به حسگر منتقل و عکس‌العمل این نیرو از طریق حسگر موجود از طریق نمایشگر الکترونیکی قابل رویت بود.

بررسی میزان نیروی بیشینه با ارتفاع موج ورودی

برای درک بهتر اثر نیرو با ارتفاع در ابتدا تغییر در ارتفاع موج ورودی و عمق آبگرفتگی موانع با ارتفاع های متفاوت سطح آب مخزن (P) و عمق ساکن اولیه (h) مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری ارتفاع موج ورودی در فاصله ۶۵ سانتی‌متری از دریچه صورت گرفته و آن هنگامی است که موج ورودی هنوز تحت تأثیر خزش قرار نگرفته است. شکل (۳) برای هر دو امواج شکنا و ناشکنا ارائه گردیده است. هنگامی‌که عمق ساکن پایین‌دست یا عمق ساحل (h) ثابت نگه داشته شود با افزایش ارتفاع آب مخزن (P)، ارتفاع موج (H) افزایش می‌یابد. هم‌چنین در شکل (۳) می‌توان دید در یک عمق ثابت مخزن هنگامی‌که عمق ساکن پایین دست افزایش یابد ارتفاع موج ورودی کاهش می‌یابد. در عمق ثابت مخزن (P) ۴۰ سانتی‌متر هنگامی‌که عمق ساحل (h) از هشت به ۲۰ سانتی‌متر افزایش یابد ارتفاع اولیهٔ موج از ۱۵ به ۱۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد وبه طور مشابه ارتفاع موج در عمق ثابت مخزن ۲۸ و عمق ساحل اشاره شده از ۱۲ به شش سانتی‌متر کاهش می‌یابد.

در این تحقیق مجموع عمق ساکن ساحل و ارتفاع موج رسیده به موانع استوانه‌ای به عنوان عمق آبگرفتگی (Hinun) در نظر گرفته شده است. اهمیت مقدار این پارامتر در میزان حجم تودهٔ برخورد کننده با موانع، تعیین میزان سطح جاذب مومنتم و میزان استغراق موانع استوانه‌ای می‌باشد. شکل (۴) تغییرات عمق آبگرفتگی موانع با عمق‌های متفاوت مخزن و عمق آب ساحل را به‌ترتیب برای امواج شکنا و ناشکنا نشان می‌دهد. همان‌گونه که در هر دو شکل نشان داده شده است در یک عمق ثابت مخزن هر چه عمق ساکن پایین‌دست بیشتر گردد در امواج شکنا میزان عمق آبگرفتگی نیز افزایش می‌یابد زیرا در چنین حالتی محل شکست موج به موانع استوانه‌ای نزدیک‌تر شده و فرصت کاهش ارتفاع موج بعد از شکست تا رسیدن به موانع استوانه‌ای کمتر است. در امواج ناشکنا نیز با افزایش عمق ساحل یا پایین دست میزان عمق آبگرفتگی موانع افزایش می‌یابد. بنابراین از اشکال (۳) و (۴) می‌توان نتیجه گرفت که هرچند با افزایش عمق ساکن پایین‌دست ارتفاع موج ورودی کاهش می‌یابد اما تودهٔ حاصل از شکست در امواج شکنا و ارتفاع موج رسیده در امواج ناشکنا عمق آبگرفتگی بیشتری را در محل پوشش ایجاد می‌کند که این نتایج با نتایج داده‌های Davoodi et al. (2017) در تطابق می‌باشد. در امواج شکنا و با عمق ثابت مخزن (P) ۴۰ سانتی‌متر هنگامی‌که عمق ساکن ساحل (h) از هشت به ۱۲ سانتی‌متر افزایش یابد عمق آبگرفتگی موانع (Hinun) از ۲۱ به ۲۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد که در عمق مخزن ۲۸ سانتی‌متری عمق آبگرفتگی برای اعداد مشابه عمق ساحل از ۱۷ به ۲۲ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. در امواج ناشکنا افزایش عمق آبگرفتگی موانع به‌ترتیب و در دو عمق متفاوت مخزن ۴۰ و ۲۸ سانتی‌متر و افزایش عمق ساحل ۱۹ تا ۲۱ سانتی‌متر از ۳۲ به ۳۶ و ۲۵ به ۲۹ سانتی‌متر است.

تاثیر تراکم بر میزان نیروی جذب شده امواج منفرد

در شکل (۵) تأثیر تراکم موانع استوانه‌ای در عرض ثابت ۴۰ سانتی‌متر بر میزان نیروی قرائت شده توسط حسگر بار دینامیکی (لودسل) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است هنگامی‌که فاصله موانع استوانه‌ای در طول و عرض فلوم از ۱۰×۱۰ به ۵×۵ تغییر یابد، تراکم پوشش‌ها افزایش یافته و به تبع آن میزان نیروی بیشینه افزایش می‌یابد. بیشترین نیروی جذب شده در عمق آبگرفتگی ۲۹ سانتی‌متر در تراکم ۵×۵، ۱۰×۱۰ و حالت بدون پوشش به‌ترتیب ۹۹/۴۷، ۵۵ و ۳۱/۸۸ می‌باشد. همان‌گونه که نتایج نشان داده‌اند نیروی موج به شدت به تراکم وابسته است که این موضوع در مطالعه‌های پیشین نیز مورد تأئید قرار گرفته است (Massel et al., 1999; Mazda et al., 1997). پوشش‌های متراکم تر میزان نیروی بیشتری از امواج را جذب کرده که به تبع آن میرایی امواج از طریق کاهش ارتفاع امواج نیز بیشتر است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در پوشش‌های متراکم‌تر برهم‌کنش موج با ساقه‌ی درختان بیشتر بوده که این مکانیزم تأثیر قابل توجهی در نرخ کاهش نیروی موج دارد.

تاثیر عرض پوشش بر میزان نیروی جذب شده امواج منفرد

در شکل (۶) تأثیر عرض پوشش (W) بر میزان جذب نیروی موج در دو تراکم متفاوت ۵×۵ و ۱۰×۱۰ نشان داده شده است. از نظر کمی برخی مقادیر مقایسه ای در جدول (۲) آمده است. از شکل مذکور می‌توان دریافت که با افزایش عرض موانع استوانه‌ای از ۱۰ به ۴۰ سانتی‌متر میزان جذب نیرو نیز افزایش می‌یابد. بطوری‌که در چیدمان ۵×۵ میزان نیروی بیشینه جذب شده در عرض ۴۰، ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۹۹/۴۷، ۷۰/۱۴ و ۶۵/۸۳ نیوتن و میزان این نیرو در حالت بدون پوشش ۳۱/۸۸ نیوتن می‌باشد. هنگامی‌که چیدمان موانع به ۱۰×۱۰ تغییر یابد میزان بیشینه نیروی جذب شده در همان ارتفاع موج و عرض ۴۰، ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر به‌ترتیب به ۵۵، ۵۱/۵۰ و ۴۸/۰۷ نیوتن تغییر می‌یابد. این پدیده را می‌توان بدین‌گونه توجیه کرد با افزایش عرض پوشش و کاهش فاصله درختان، سطح برخورد موانع با امواج افزایش یافته و در نتیجه مقاومت ناشی از نیروی درگ نیز افزایش یافته و نیروی بیشتری از موج جذب می گردد.

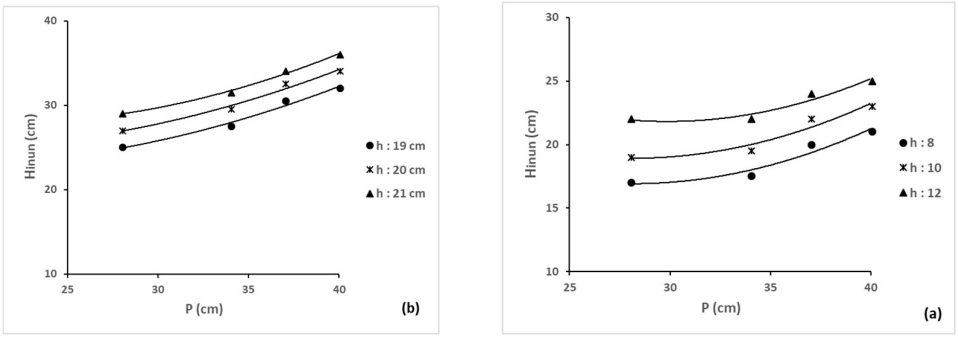


Fig. 4- Variation of Inundation height at different Reservoir Water depth and Still Water depth in (a): breaking waves (b): Non-breaking waves

شکل ٤- تغییر ارتفاع عمق آبگرفتگی با تغییرات ارتفاع آب مخزن و ارتفاع آب ساحل امواج شکنا و ناشکنا

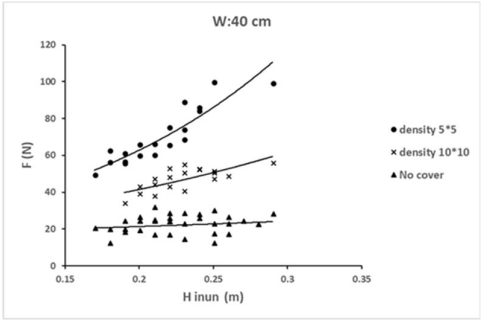


Fig. 5- Variation of Force at different Inundation depths at different density of canopy

شکل ٥- تغییرات بیشینه نیرو در برابر عمق آبگرفتگی موانع در تراکم های متفاوت پوشش

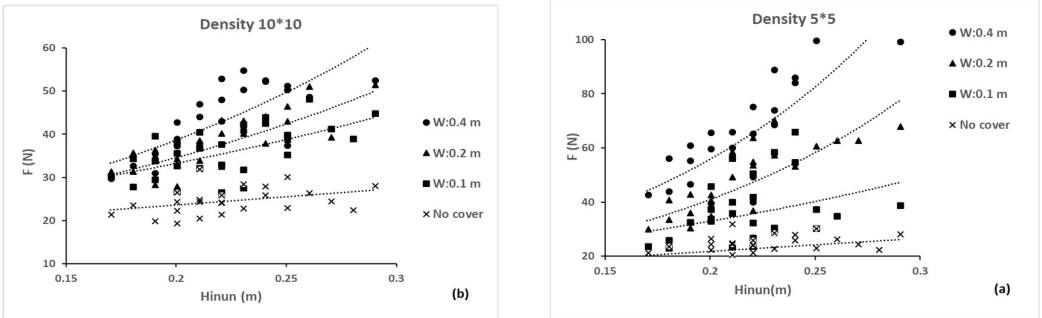


Fig. 6- Variation of Force at different Inundation depths with parallel arrangement and intervals of (a): 5×5; (b): 10×10 at different widths of 10, 20 and 40 cm

شکل ٦- تغییرات نیرو در برابر ارتفاع موج در چیدمان مستطیلی ٥×٥ و ١٠×١٠ با عرض‌های متفاوت ١٠، ٢٠ و ٤٠ سانتی متر

 DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

جدول ۲- میزان افزایش نیروی جذب شده (نیوتن) در دو حالت ۵×۵ و ۱۰ ×۱۰

Table 2- Absorbed force by cover at the intervals of 5×5 and 10×10

Force (N)	W 10 cm	W 20 cm	W 40 cm	Ratio force W40 to W10
Force on the arrangement of 5×5	65.83	70.14	99.47	1.51
Force on the arrangement of 10×10	48.07	51.50	55	1.14
Ratio force 5×5 to 10×10	1.37	1.36	1.81	-

تغییرات سرعت انتشار موج

در این بخش ابتدا سرعت انتشار امواج ناشکنا در مقابل ارتفاع موج و عمق ساکن ساحل بررسی گردیده سپس با سرعت تئوری موج در آب کم عمق مقایسه می‌گردد. از آنجا که بزرگی نیرو عمدتاً ناشی از سرعت بالای امواج است بنابراین سرعت انتشار موج یکی از مشخصات مهم امواج منفرد می باشد. این سرعت در محاسبهٔ ضریب درگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت پیشروی، U، که در فواصل ۶۵ و ۱۶۵ سانتی‌متر از دریچه انداه‌گیری شده معادل خارج قسمت فاصله مکانی به فاصله زمانی عبور قله موج از این دو نقطه مشخص که به فاصله یک متر از یکدیگر قرار دارند بدست آمده است (Mohamed, 2008). در تحقیق حاضر نتایج حاصل از آزمایش‌ها در شکل (۷) نشان داده شده است. سرعت تئوری برای امواج آب کم عمق همان رابطه سرعت انتشار موج سطحی در آب ساکن و کانال‌ها است که طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C = \sqrt{g\ (h_0 + H_0)} \qquad (۶)$$

در رابطهٔ (۶)، g شتاب جاذبه، h_0 عمق ساکن ساحل یا پایین‌دست، H_0 ارتفاع اولیهٔ موج و C سرعت انتشار موج است. طبق رابطهٔ فوق سرعت امواج آب کم‌عمق با ریشه دوم مجموع عمق ساکن ساحل و ارتفاع موج متناسب است. همان‌طور که در شکل بالا نشان داده شده است با افزایش ارتفاع موج، سرعت آن نیز افزایش می‌یابد که این نتایج با تئوری انرژی اولیه موج به خوبی مطابقت دارد. طبق رابطه Sorensen $E = \frac{1}{8}\rho g H^2 L$ (1997) از آنجا که انرژی کل و در نتیجه انرژی جنبشی موج با ارتفاع موج متناسب است، بنابراین با افزایش ارتفاع موج انرژی جنبشی مقدار بزرگتری خواهد داشت و در نتیجه سرعت انتشار موج نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل در شکل (۷) مبین این موضوع می‌باشد. همچنین از شکل مذکور می‌توان دریافت، در یک عمق ثابت مخزن (P) هنگامی‌که عمق ساکن اولیه (h) از ۱۸ به ۲۱ سانتی‌متر افزایش یابد، سرعت انتشار موج کاهش می یابد.

در شکل (۸) نسبت بی‌بعد سرعت انتشار به سرعت تئوری موج در مقابل ارتفاع نسبی موج مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است مقادیر سرعت‌های اندازه‌گیری شده و آزمایشگاهی به سرعت‌های تئوری نزدیک به هم می‌باشند. البته نباید خطای ناشی از قرائت زمان در فیلم‌های ثبت شده را نیز فراموش کرد. در این شکل نشان داده شده است با افزایش ارتفاع نسبی موج نسبت سرعت‌ها به یک نزدیک می‌شود اما با کاهش ارتفاع نسبی سرعت تئوری امواج بر سرعت‌های آزمایشگاهی پیشی می‌گیرد. بنابراین به وضوح می‌توان تأثیر ارتفاع موج بر سرعت انتشار آن را دریافت.

تأثیر سرعت انتشار بر نیروی امواج

در شکل (۹) تغییرات نیروی جذب شده امواج در مقابل تغییرات سرعت انتشار امواج شکنا و ناشکنا در تراکم ثابت ۵×۵ و عرض پوشش نه ردیف نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند با افزایش سرعت انتشار میزان نیروی امواج با نرخ بیشتری افزایش می‌یابد و این موضوع اهمیت سرعت انتشار بر نیروی موج و یا به عبارتی دیگر قدرت موج را نشان می‌دهد. در تراکم ثابت ۵×۵ و عرض ۴۰ سانتی‌متر تغییرات سرعت در امواج شکنا در محدوده‌ی ۴۳/۹۶-۱/۱ و در امواج ناشکنا ۱/۶۵- ۱/۲۵ متر بر ثانیه می‌باشد. در موج شکنا و در تراکم و عرض یاد شده به ازای حداقل و حداکثر میزان نیرو، سرعت انتشار موج به ترتیب برابر با ۱/۴۵ و ۱/۷۲ متر بر ثانیه می‌باشد. در شرایط مشابه و در امواج ناشکنا میزان سرعت برای حداقل و حداکثر نیرو به ۱/۲۵ و ۱/۶۰ متر بر ثانیه تغییر می‌یابد.

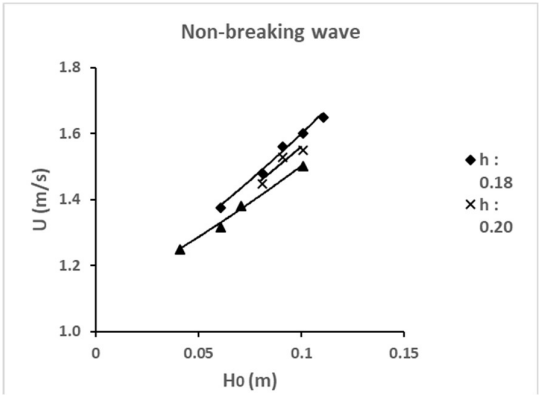


Fig. 7- Variation of Wave propagation Velocity for different Wave height and Still Water depth
شکل ۷- تغییرات سرعت انتشار موج بر عمق های مختلف در مقابل ارتفاع موج

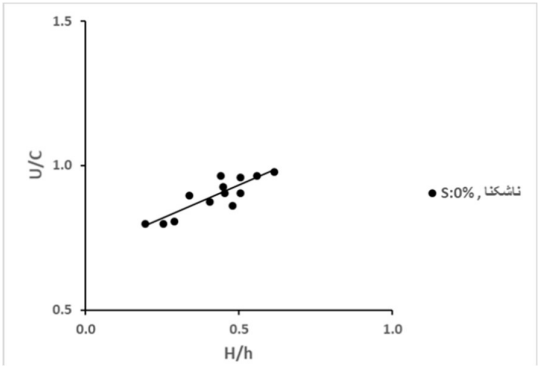


Fig. 8- Variation of Measured and Theoretical Velocities for different Relative Wave Height
شکل ۸- تغییرات سرعت آزمایشگاهی و سرعت تئوری با ارتفاع نسبی امواج

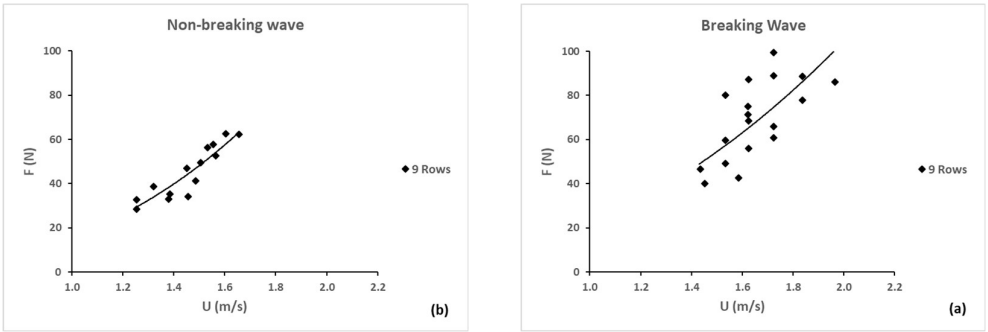


Fig. 9- Variation of Force with Velocity at Constant Density of 5×5 in (a): breaking Waves; (b): non-breaking waves
شکل ۹- تغییرات نیروبا سرعت انتشار امواج شکنا و ناشکنا در تراکم ثابت ۵×۵

ضریب نیروی دراگ

در مهندسی سواحل و مدل سازی اندرکنش موج با پوشش نیروی افقی وارده از سوی امواج بر پوشش گیاهی بر اساس رابطهٔ زیر است:

$$F_{hd} = \frac{1}{2}\rho C_D A u^2 + C_m \rho \forall \frac{du}{dt} \qquad (۷)$$

در رابطهٔ (۷) F_{hd} نیروی کل وارده بر پوشش گیاهی می‌باشد. عبارت اول در سمت راست تساوی نیروی درگ و عبارت دوم نیروی اینرسی است. برای یک سطح گوشه دار و غیر مسطح (نظیر مقاطع مستطیلی و دایره ای)، A مساحت مقطع عمود بر سطح جریان می باشد. u سرعت جریانی است که به جسم می‌رسد، ρ چگالی مایع، ∀ حجم مایع جابجا شده توسط جسم، C_m ضریب اینرسی، $\frac{du}{dt}$ تغییرات جزئی سرعت با زمان و C_D ضریب درگ می‌باشد که به شکل مقطع، جهت جریان، زبری سطح و عدد رینولدز جریان بستگی دارد و به عنوان ضریب مقاومت سازه در مقابل جریان در نظر گرفته می‌شود.

DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

رابطه (۷) که برای برآورد نیروهای ناشی از موج روی سازه مستغرق به‌کار می‌رود، معادله موریسون نامیده می‌شود. با بررسی عددی و شبیه‌سازی ریاضی پوشش گیاهی در ساحل مشخص شد که با استفاده از رابطه موریسون می توان نیروی موج وارد بر ساحل و سازه‌های ساحلی را برآورد نمود،(Namdar and Nosrat, 2010). در ناحیه نزدیک ساحل و در شرایط آب کم عمق، با ورود موج منفرد به دلیل پیدایش تأثیر خزش ناشی از کاهش ژرفا و از بین رفتن تقارن موج و رفتارهای غیرخطی، اهمیت جزء اینرسی مکانی بیشتر از اینرسی زمانی می‌شود. در حقیقت در این شرایط اینرسی زمانی ($\frac{du}{dt}$)، ناچیز در نظر گرفته شده و نهایتاً از نیروی اینرسی صرف نظر می‌شود. در مطالعه‌ای آزمایشگاهی Hirashi و Harada (2003) نشان دادند که اختلاف فشار طرفین کمربند سبز عمدتاً ناشی از مقاومت درگ می‌باشد. بنابراین می‌توان این‌طور توجیه نمود هنگامی‌که امواج دریا به سمت ساحل پیش‌روی می‌کنند با وجود کمربند سبز، امواج وارد پوشش شده و نیروی امواج در قالب نیروی درگ بر روی درختان جذب شده که این امر باعث میرایی موج و در نتیجه کاهش ارتفاع آن می‌شود. با توجه به توضیحات بالا و رابطه (۷) ضریب نیروی کششی از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$C_d = \frac{2F}{\rho A u^2} \qquad (۸)$$

برای حل رابطه (۸) و محاسبه ضریب درگ باید مقادیر نیرو، سرعت و سطح جاذب نیرو در هر عمق آبگرفتگی موانع استوانه‌ای برای امواج متفاوت تعیین گردد. مقدار واقعی نیروی F از طریق انجام آزمایش بدست آمده و در معادله بالا جایگذاری شده است. این نیرو که حاصل برخورد موج با موانع استوانه‌ای می باشد با اندازه‌گیری مستقیم به کمک حسگر بار دینامیک و سیستم نیروسنجی فلوم لبه چاقویی استخراج شده است. شکل (۱۰) تغییرات ضریب بی بعد کششی در برابر عدد رینولدز و عرض‌های متفاوت پوشش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است با کاهش عرض پوشش موانع ا ز پنج ردیف به سه و دو ردیف میزان ضریب درگ کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان تأثیر نیروی جذب شده توسط موانع استوانه‌ای در میزان ضریب درگ را بخوبی در شکل زیر مشاهده کرد. در شکل (۱۱) ضریب درگ به‌دست آمده با روابط پیشنهاد شده توسط سایر محققین مقایسه گردیده است. در این تحقیق اعداد رینالدز ساقه بدست آمده در محدوده‌ی کار Kobayashi et al. (1993) و Méndez et al (1999) تعریف شده توسط این محققین می‌باشد و رابطه به‌دست آمده بر اساس برازش رابطه توانی بین ضرایب درگ آزمایشگاهی و اعداد رینالدز ساقه آزمایش‌های انجام شده، تعیین شده است. Kobayashi et al. (1993) و هم‌چنین Méndez et al (1999) این آزمایش‌ها را در محدوده رینالدز مشابه انجام داده‌اند که تفاوت در مقادیر داده‌ها نیز به‌علت این تفاوت در شرایط آزمایشگاهی هیدرولیک جریان و خصوصیات پوشش می‌باشد.

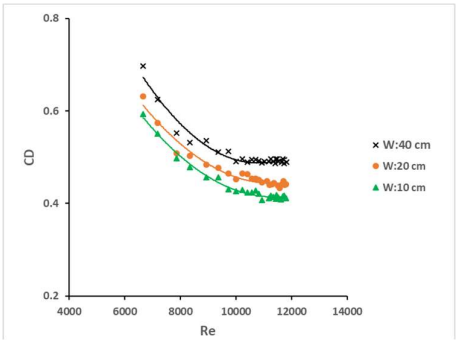


Fig. 10- Drag Coefficient Values for Reynolds Stem and different Widths of canopies
شکل ۱۰- مقادیر ضریب درگ به ازای عدد رینولدز ساقه و عرض‌های متفاوت پوشش

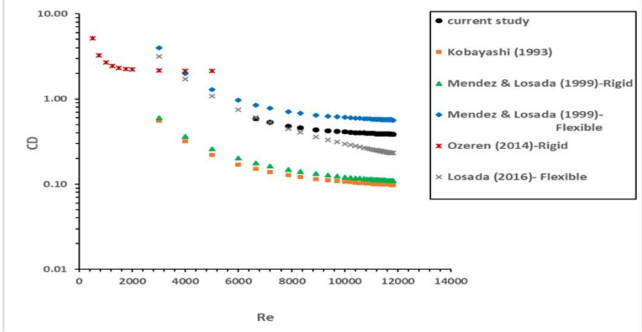


Fig. 11- Comparison of the Relationship Extracted from this Research with the Work of others.
شکل ۱۱- مقایسه رابطه استخراج شده از این تحقیق با سایر تحقیقات

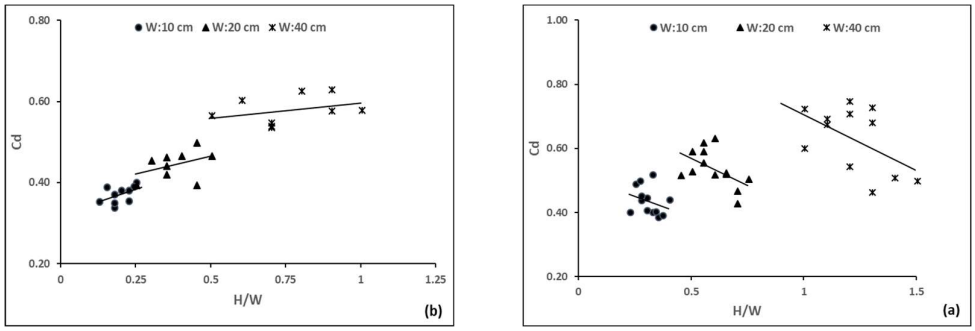


Fig. 12- Variation of drag coefficient with different wave height for different canopy widths: (a) breaking waves; (b) non-breaking waves

شکل ۱۲- تغییرات ضریب درگ در مقابل ارتفاع موج به عرض پوشش در امواج شکنا و ناشکنا

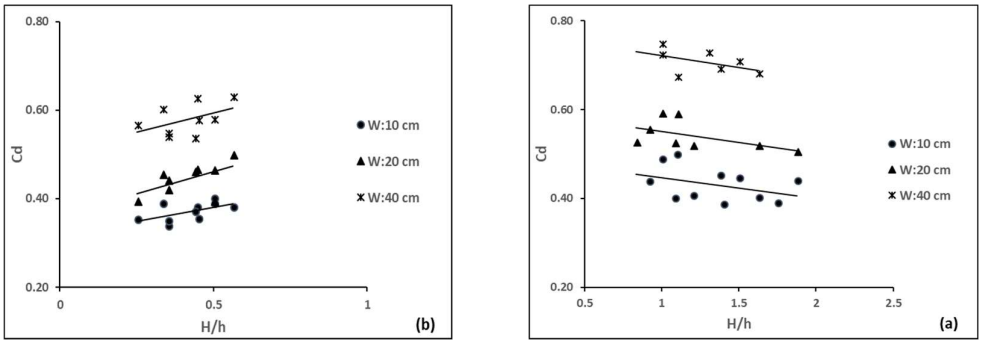


Fig. 13- Variation of drag coefficient with relative wave height for different canopy widths: (a) breaking waves; (b) non-breaking waves

شکل ۱۳- تغییرات ضریب درگ در مقابل ارتفاع نسبی امواج در عرض‌های پوشش متفاوت امواج شکنا و ناشکنا

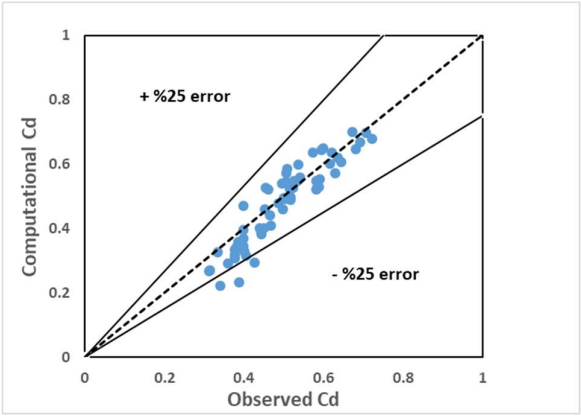


Fig. 14- Comparison between observational and computational drag coefficients using Equation (9)

شکل ١٤- مقایسه بین ضرایب درگ مشاهداتی و محاسباتی با استفاده از رابطه (۹)

شکل (۱۲) و (۱۳) به‌ترتیب تغییرات ضریب درگ را در مقابل عرض پوشش و ارتفاع نسبی (H/h) در امواج شکنا و ناشکنا نشان می‌دهند. با توجه به توضیحاتی که قبلاً داده شد، با افزایش عرض پوشش میزان جذب نیرو افزایش می‌یابد. به ازای یک ارتفاع موج، همواره جنگل با تراکم بیشتر مقاومت بیشتری در برابر جریان دارد، زیرا با افزایش تعداد مانع یا پوشش درختی تعداد ردیف‌های بیشتری در مقابل موج قرار گرفته و در نتیجه مقاومت ناشی از حضور جنگل در مقابل موج افزایش می‌یابد. با افزایش عرض پوشش، سطح جاذب بیشتر می‌شود و در امواج ناشکنا با افزایش ارتفاع موج ورودی و با وجود مستغرق بودن موانع به دلیل اینکه سطح جاذب ثابت است و نیروی درگ افزایش می‌یابد، ضریب درگ روند افزایشی دارد و در امواج شکنا که موانع در حالت غیر مستغرق هستند به دلیل افزایش سطح جاذب ضریب درگ روند کاهشی دارد. محدوده کاهش ضریب درگ در امواج شکنا در مقابل ارتفاع نسبی و تراکم پوشش متفاوت

DOI: 10.22055/jise.2021.32311.1904

در محدوده ۰/۴ تا ۰/۷۵ است. این محدوده در تحقیق Fathi-Moghadam et al. (2018) از ۰/۱ تا ۰/۳۳ گزارش شده که تفاوت حاصل ناشی از شرایط متفاوت آزمایشگاهی ناشی از شیب ساحل، نوع پوشش گیاهی و تراکم می‌باشد.

به‌منظور پیش‌بینی رابطه ریاضی بین متغیرهای ارائه شده در رابطه (۵) از روش رگرسیون غیرخطی در نرم افزار SPSS 17.0 استفاده شد و در نهایت رابطه زیر استخراج شد:

$$CD = -0.77 + EXP(-0.08\left(\frac{H}{h}\right) + 0.15\left(\frac{H}{W}\right) + \left(\frac{1210}{Re}\right)) \quad (۹)$$

رابطه (۹) با استفاده از ۸۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی برآورد شده و ضریب همبستگی ۰/۹۰۴ برای این رابطه به‌دست آمده است. مرحله صحت سنجی نیز با ۲۰ درصد باقی مانده داده‌های آزمایشگاهی انجام شده است. نتیجه به‌دست آمده از ضریب رگرسیون نشان از دقت مناسب مدل آماری است. شکل (۱۴) تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب درگ در مقابل محاسباتی آن با استفاده از رابطه (۹) را نمایش می‌دهد.

نتیجه گیری

– در عمق ثابت مخزن (P) ۴۰ سانتی‌متر هنگامیکه عمق ساحل (h) از ۸ به ۲۰ سانتی‌متر افزایش یابد ارتفاع اولیهٔ موج از ۱۵ به ۱۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد وبه طور مشابه ارتفاع موج در عمق ثابت مخزن ۲۸ و عمق ساحل اشاره شده از ۱۲ به شش سانتی‌متر کاهش می‌یابد.

– در امواج شکنا و با عمق ثابت مخزن (P) ۴۰ سانتی‌متر هنگامی‌که عمق ساکن ساحل (h) از هشت به ۱۲ سانتی‌متر افزایش یابد عمق آبگرفتگی موانع (Hinun) از ۲۱ به ۲۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد که در عمق مخزن ۲۸ سانتی‌متری عمق آبگرفتگی برای اعداد مشابه عمق ساحل از ۱۷ به ۲۲ سانتی‌متر افزایش می‌یابد. در امواج ناشکنا افزایش عمق آبگرفتگی موانع به‌ترتیب و در دو عمق متفاوت مخزن ۴۰ و ۲۸ سانتی‌متر و افزایش عمق ساحل ۱۹ تا ۲۱ سانتی‌متر از ۳۲ به ۳۶ و ۲۵ به ۲۹ سانتی‌متر است.

– با افزایش تراکم موانع استوانه‌ای میزان جذب نیرو افزایش می‌یابد. در چیدمان ۵×۵ میزان نیروی بیشینه جذب شده در عرض ۴۰، ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر به ترتیب ۹۹/۴۷، ۷۰/۱۴ و ۶۵/۸۳ نیوتن و میزان این نیرو در چیدمان ۱۰×۱۰ به ۵۵، ۵۱/۵۰ و ۴۸/۰۷ کاهش می‌یابد بطوریکه بیشینه نسبت نیروها در دو حالت چیدمان متفاوت ۱۰×۱۰ به ۵×۵ معادل ۱/۸۳ می باشد. میزان نیروی بیشینه اعمال شده توسط موج بر بخش متحرک فلوم در حالت بدون پوشش ۳۱/۸۸ نیوتن می‌باشد.

– رابطه سرعت انتشار موج با ارتفاع موج و عمق ساکن اولیه بدین صورت است که با افزایش ارتفاع موج، سرعت انتشار آن افزایش می‌یابد. و در امواج ناشکنا با افزایش عمق ساکن اولیه (h) از ۱۸ به ۲۱ سانتی‌متر، سرعت انتشار موج کاهش می یابد.

– با افزایش سرعت انتشار میزان نیروی امواج با نرخ بسیار زیادی افزایش می‌یابد. در تراکم ثابت ۵×۵ و عرض ۴۰ سانتی‌متر در موج شکنا به ازای حداقل و حداکثر میزان نیرو، سرعت انتشار موج به ترتیب برابر با ۱/۴۵ و ۱/۷۲ متر بر ثانیه می‌باشد. در شرایط مشابه و در امواج ناشکنا میزان سرعت برای حداقل و حداکثر نیرو به ۱/۲۵ و ۱/۶۰ متر بر ثانیه تغییر می‌یابد

–مقادیر ضریب درگ به‌دست آمده از نیروی اندازه‌گیری شده جریان در آزمایشگاه در مقابل عدد رینالدز ساقه و عرض‌های متفاوت پوشش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر ترسیم گردید.

– نمودار ضریب درگ در مقابل ارتفاع موج به عرض پوشش و ارتفاع نسبی در امواج شکنا که موانع غیرمستغرق بودند روند نزولی و در امواج شکنا که موانع مستغرق بودند روند صعودی داشت.

– محدوده تغییرات ضریب درگ در مقابل ارتفاع نسبی در امواج شکنا در محدوده ۰/۴ تا ۰/۷۵ و در امواج ناشکنا ۰/۳۵ تا ۰/۶۳ است.

–یک رابطه به شکل رگرسیون غیرخطی میان ضریب درگ موانع و پارامترهای نسبی (H/h)، (H/W) و عدد رینولدز با ضریب همبستگی ۰/۹۰۴ استخراج شد که مقدار ضرایب هر پارامتر در تابع نمایی متناسب با نحوه اثرگذاری آن در فیزیک پدیده و مقاومت موانع به نظر می‌رسد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه SCU-2018 صورت گرفته است.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: پریسا آذین فر، انجام آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل اولیه داده‌ها، نگارش اولیه مقاله.

نویسنده دوم: منوچهر فتحی مقدم، انتخاب موضوع، برنامه تحقیق، برنامه ریزی انجام و کنترل آزمایش‌ها، بررسی نهایی نتایج، تایید نگارش نهایی مقاله.

نویسنده سوم: جواد احدیان، برنامه تحقیق، برنامه‌ریزی انجام و کنترل آزمایش‌ها، بررسی نهایی نتایج، اصلاح نهایی مقاله.

تقدیر و تشکر

تدوین، برنامه ریزی و مهیا نمودن وسایل آزمایشگاه و مواد اولیه مورد نیاز برای انجام تحقیق از پژوهانه نویسنده دوم و سوم مقاله تامین گردیده و از این رو از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز برای اختصاص گرنت به موضوع تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

1- Ahadiyan, J., Musavi-Jahromi, S.H. 2009. Effects of Jet Hydraulic Properties on Geometry of Trajectory in Circular Buoyant Jets in the Static Ambient Flow. *Journal of Applied Sciences*, 9(21): 3843-3849. https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2009.3843.3849.

2- Ahadiyan, J., Abbasi Chenari, S., Azizi Nadian, H., Katopodis, C., Valipour, M., Sajjadi, S. M., & Omidvarinia, M. 2024. Sustainable systems engineering by CFD modeling of lateral intake flow with flexible gate operations to improve efficient water supply. *International Journal of Sediment Research*, 39(4), 629-642. https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2024.05.003.

3- Ahadiyan, J., Bahmanpouri, F., Adeli, A., Gaultieri, C., Khoshkonesh, A. 2022. Riprap Effect on Hydraulic Fracturing Process of Cohesive and Non-cohesive Protective Levees. *Water Resource Managemen*t 36, 625–639 (2022). https://doi.org/10.1007/s11269-021-03044-6.

4- Augustin, L.N., Irish, J.L., Lynett, P. 2009. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Journal of Coastal Engineering*, 56(3), pp.332-340. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.09.004.

5- Azinfar, P., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J. 2020. 'Laboratory Study of Broken Wave Force Damping by Submerged and Emergent Long Tree Canopies', *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 21(80), pp. 99-114. doi: 10.22092/idser.2020.342708.1430.

6- Davoodi, L., Fthi Moghadam, M., Ahadiyan, J., Khashefipour, S. M. 2017. 'The Effect of Coastal Forest on Variations of Broken Wave Force and Inundation Depth', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1-1), pp. 185-199. doi: 10.22055/jise.2017.12966. https://jise.scu.ac.ir/article_12966.html.

7- Dean, R. E., 1978. Effects of vegetation on shoreline erosional processes. Pages 415–426 in Wetland Functions and Values: The state of our understanding, *Proceedings of the National* Symposium on Wetlands.

8- Fathi-Moghadam, M., Salmanzadeh, S., Ahadiyan, J., Sajadi, M. 2024. Drag coefficient of rigid and flexible deciduous trees in riparian forests, *Journal of Hydraulic Engineering*. 150 (5), 04024027. https://doi.org/10.1061/JHEND8.HYENG-13709.

9- Fathi-Moghadam, M., Davoudi, L., & Motamedi-Nezhad, A. 2018. Modeling of solitary-breaking-wave force absorption by coastal trees. *Ocean Engineering*, *169*, 87-98. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.09.021.

10-Ghanbari Adivi, E., Fathi Moghadam, M. 2015. 'Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves', *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(2), pp. 103-112. doi: 10.22055/jise.2015.11352.

11-Hashim, A. M., & Catherine, S. M. P. 2013. A Laboratory Study on Wave Reduction by Mangrove Forests. *APCBEE Procedia*, *5*, 27-32. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.006.

12-Hirashi, T, Harada, K., 2003. Green belt tsunami prevention in the South Pacific region. *Port and Airport Research Institute*, 42(2), pp.23. https://www.researchgate.net/publication/238077579_Greenbelt_Tsunami_Prevention_in_South-Pacific_Region.

13-Husrin, S., Strusińska, A. & Oumeraci, H. 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Journal of Earth Planet Sp* 64, 15 (2012). https://doi.org/10.5047/eps.2011.11.008.

14-Imamura, F., Goto, K., & Ohkubo, S. 2007. A numerical model for the transport of a boulder by a tsunami. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *113*(C1). https://doi.org/10.1029/2007JC004170.

15-Ismail, H., Abd Wahab, A.K. and Alias, N.E., 2012. Determination of mangrove forest performance in reducing tsunami run-up using physical models. *Natural hazards*, *63*(2), pp.939-963.https://doi.org/10.1007/s11069-012-0200-y.

16-Kobayashi, N., Raichlen, A. W., Asano, T. 1993. Wave attenuation by vegetation. Journal of Waterway, Port, *Coastal, and Ocean Engineering*. Vol 199. No 1. PP 30-48. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1993)119:1(30).

17-Lashkar-Ara, B., 2010, Determination of shear stress in rectangular channel using momentum and energy approaches, *PhD. Thesis*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, p. 52- 62.

18-Lashkar-Ara, B., and Fathi-Moghadam, M., 2014. Analysis of shear stress in Rectangular open channels using force balance method. *Journal of Hydraulic*, *Iranian Hydraulic Association*, 9(3), pp.33-44. Doi: 10.30482/jhyd.2014.10174.

19-Maleki, P., Ahadiyan, J., Aleixo, R., Azizi Nadian, H., Tamoradi, Z., Kashefipour, S. M., Schleiss, A. J., & Fathi Moghadam, M. 2025. Scour Control in a 90° Bend by Means of an Air Bubble Screen. *Water*, *17*(18), 2693. https://doi.org/10.3390/w17182693.

20-Massel, S., Furukawa, K., & Brinkman, R. 1999. Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, *24*(4), 219-249. https://doi.org/10.1016/S0169-5983(98)00024-0.

21-Mazda, Y., Wolanski, E., King, B., Sase, A., Ohtsuka, D., Magi, M., 1997. Drag force due to vegetation in mangrove swamps. *Mangroves and Salt Marshes* 1, 193–199. https://doi.org/10.1023/A:1009949411068.

22-Mclvor, Al., Moller L., Spencer, T., Spalding, M., 2012. Reduction of wind and Swell Waves by Mangroves. Natural Coastal Protection Series: Report. Cambridge Coastal Research Unit Working Paper 40. Published by the *Nature Conservancy and Wetlands International*. file:///C:/Users/Asus/Downloads/reduction-of-wind-and-swell-waves-by-mangroves%20(1).pdf.

23-Méndez, F. J., Losada, I. J., & Losada, M. A. 1999. Hydrodynamics induced by wind waves in a vegetation field. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *104*(C8), 18383-18396. https://doi.org/10.1029/1999JC900119.

24-Mohamed, A., 2008. Characterization of tsunami-like bores in support of loading on structures, *M.Sc. Thesis*, University of Hawaii, p.93.

25-Mokhtari, M., and Hajizadeh Zaker, N., 2005. Makran (Sea of Oman) is a Tsunami-Prone Area for the Iranian Coasts. *6th A/O Regional Meeting of IAPH*, 1-4 Feb, Tehran, Iran.

26-Namdar, A., Nusrath, A., 2010. Tsunami numerical modeling and mitigation. *Journal of Frattura ed Integrità Strutturale* 12, pp.57-62. https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.12.06.

27-Novak, P., Guinot, V., Jeffery, A., Reeve, D.E. 2010. Hydraulic Modelling - an introduction. Routled 1st Edition (February 27, 2010). 616 pages. London. https://www.researchgate.net/publication/260134554_Hydraulic_Modelling_-_an_Introduction.

28-Sadeghi-Hardangi, E., Ahadiyan, J. 2018. 'Hydraulically Failure Mechanism of non-Cohesive Homogenous Protective Embankments by Overtopping', *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), pp. 115-131. doi: 10.22055/jise.2018.13575.

29-Sajjadi, S. M., Barihi, S., Ahadiyan, J., Azizi Nadian, H., Valipour, M., Bahmanpouri, F., & Khedri, P. 2024. Redesigning the Fuse Plug, Emergency Spillway, and Flood Warning System: An Application of Flood Management. *Water*, *16*(24), 3694. https://doi.org/10.3390/w16243694.

30-Salahi, K., Ahadiyan, J., Yu-hong Zeng, Azizi, H. N., Sajjadi, S. M. 2024. Laboratory Investigation of the Effect of Particle and Vegetation Roughness on Changes in Drag Force in an Open Channel, *Journal of Environmental Accounting and Management*, Vol. 12, No.3, pp.221-230. DOI:10.5890/JEAM 2024.0 https://www.lhscientificpublishing.com/Journals/articles/DOI-10.5890-JEAM.2024.09.001.aspx.

31-Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, M. 2022. Laboratory study of the effect of vegetation arrangement and density on flow resistance coefficient, Journal of Water Science & Engineering. 2022;11(4):16-7. https://sanad.iau.ir/Journal/wsej/Article/921928

32-Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, M. 2024a. An Index to Determine Reaction of Vegetation Canopies to River Flow, *Journal of Hydraulic and Water Engineering*, 1(2), pp. 41-50. doi: 10.22044/jhwe.2023.13441.1027.

33-Salmanzadeh, S., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, J., Sajjadi, S. M. 2024b. Investigation of 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.

34-Sorensen, R.M. 1997. Basic Coastal Engineering. *Springer Science*. New York. https://link.springer.com/book/10.1007/b101261.

35-Tamoradi, Z.; Ahadiyan, J. 2021. Effect of water and air injection on the reduction of bend scour. *Canadian Journal of Civil Engineering,* 2021, 48, 740–748. https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0429.

36-Thuy, B. N., Tanimoto, K., Tanaka, N., Harada, K., Limura. 2009. Effect of open gap in coastal forest on tsunami run-up-investigations by experiment and numerical simulation. *Ocean Engineering*. 36, pp.1258-1264. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2009.07.006.