

## تأثیر تراکم پوشش گیاهی صلب بر کاهش نیرو و ارتفاع امواج در خط ساحلی

گلناز میرزاخانی<sup>۱</sup>، الهام قنبری عدیوی<sup>۲\*</sup>، روح اله فتاحی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

۱-دانش آموخته، کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۲-استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۳-دانشیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

\*مسئول مکاتبه، پست الکترونیکی: Elhamgh44@gmail.com

### چکیده

با توجه به تأثیر پوشش گیاهی، بر امواج و آشفتگی جریان که بطور قابل توجهی بر سواحل تأثیر می‌گذارد با این حال، چگونگی تأثیر تراکم‌های مختلف پوشش در کاهش انرژی و تضعیف امواج هنوز به خوبی درک نشده است. در این مقاله، تأثیرات ویژگی‌های مختلف پوشش گیاهی، تراکم، فواصل و نوع چیدمان بر کاهش نیرو و میرایی موج بررسی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش تراکم (افزایش ردیف پوشش و کاهش فواصل) نیروی بیشتری (در متر-تراکم-ترین حالت معادل ۳۰۰/۷۲ درصد) از امواج گرفته می‌شود. میزان نسبی نیروی جذب شده از امواج در اثر برخورد موج با پوشش در قالب پارامتر بی بعد  $F_t$  با افزایش ارتفاع موج در هر دو چیدمان مستطیلی و مثلثی افزایش یافته است. بطوریکه با افزایش تراکم و تعداد پوشش نیرو سیر صعودی داشته و نسبت  $F_t$  بزرگتر از یک می‌شود. تراکم بالاتر پوشش منجر به ضریب انتقال موج کوچکتر و در نتیجه کاهش ارتفاع موج می‌شود. کاهش ارتفاع موج بطور خطی با تراکم پوشش گیاهی در ارتباط نیست. بطور کلی با افزایش تراکم پوشش گیاهی، از ۳۲ به ۶۶ ارتفاع موج بعد از پوشش ۲۳/۰۷ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به نمودارها قابل ملاحظه است که تفاوت بین تراکم‌های مختلف پوشش و بدون پوشش برای بلندترین ارتفاع موج (موج ۱۲) معنادار است و برای امواج ۶ و ۹ ناچیز است.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، ساحل، ضریب انتقال، موج، نیرو.

## Rigid Vegetation Density Impact on Wave Force and Height Reduction in the Shoreline

G Mirzakhani<sup>1</sup>, E Ghanbari Adivi<sup>2\*</sup> and R. Fattahi<sup>3</sup>

Received: January 3, 2021 Accepted: April 26, 2021

1-M.Sc. of of hydraulic structures, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

2-Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

3-Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

\*Corresponding Author Email: Elhamgh44@gmail.com

### Abstract

Given the impact of vegetation on waves and turbulence, which significantly affects beaches, the impact of different densities on energy reduction and attenuation has not yet been well understood. In this study, the effects of different characteristics of vegetation, density, distances and type of arrangement on power reduction and wave damping were investigated. Accordingly, as the density increases (increasing the coverage line and decreasing the distance), more force (300.27% in the most dense state) was obtained from the waves. The rate of absorbed force as drag of vegetation called dimensionless parameter  $F_t$ , was augmented by increasing the wave height in both the rectangular and triangular layouts. As the density increases and the number of force coatings increases, the  $F_t$  ratio became greater than one. Higher coverage densities result in smaller wave transmission coefficient and lower wave height. The reduction in wave height is not linearly, it's related to vegetation density. As the vegetation density increases from 32 to 66, the wave height decreases by 23.07% after the cover. According to the achieved diagrams, the difference between altered and non-coverage densities was significant for the highest wave height (wave 12) and was negligible for waves 6 and 9.

**Keywords:** Force, Shore, Transmission coefficient, Vegetation, Waves.

### مقدمه

هیدرودینامیک و الگوهای جریان را تغییر می‌دهند. جدیدترین روش‌های مهندسی ساحل، تمرکز بیشتر روی سیستم‌هایی است که کمتر باعث ایجاد اختلال در زیست بوم‌های ساحلی می‌شوند، مانند پوشش گیاهی، که از ساحل محافظت می‌کند و یک زیستگاه طبیعی برای بسیاری از گونه‌های مختلف مانند ماهی، دوزیستان، حشرات و پرندگان فراهم می‌کند. تالاب‌ها یکی از پرمصرف‌ترین زیست بوم‌های جهان هستند با منابع طبیعی با ارزش که مزایای مهمی را به مردم و محیط زیست ارائه می‌دهند. پوشش گیاهی به تنظیم سطح آب، بهبود کیفیت آب، کاهش خسارات سیل و طوفان کمک می‌کند. علاوه بر این، پوشش گیاهی بطور مستقیم از

سواحل یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هستند و زمانی که فرایند نگهداری آن‌ها دشوار، پرهزینه و غیر ممکن باشد، از بین می‌روند. پیشگیری فرسایش خطوط ساحلی نیاز به درک حرکت موج، هیدرودینامیک، مورفولوژی ساحل، حرکت رسوبات ساحل و تأثیر پوشش گیاهی در مجاورت ساحل دارد. تا همین اواخر، حفاظت از ساحل معمولاً درگیر ساخت سازه‌های سخت مانند اسکله‌ها و موج شکن‌ها برای از بین بردن و بازتاب انرژی موج بود. این روش‌ها انتقال رسوب منطقه را مختل می‌کنند و در نزدیکی رودخانه

طریق ریشه دوام خطوط ساحلی را افزایش می‌دهد و سیستم‌های ذخیره سازی ماسه بادی را تقویت می‌کند (دین ۱۹۷۸). حفاظت از سواحل در مقابل امواج یکی از مباحث اصلی در مهندسی سواحل است. به‌طور کلی مکانیسم‌های مقابله با امواج، شامل جلوگیری از ورود امواج به منطقه مورد نظر، از طریق انعکاس آن‌ها به سمت دریا، مستهلک نمودن انرژی از طریق ایجاد شکست در موج و ایجاد آشفتگی و استهلاک انرژی جریان ضمن عبور از یک سازه متخلخل می‌باشد. اما یکی از راه‌های اقتصادی مقابله با اثر مخرب امواج دریا بر بدنه ساحل و تأسیسات موجود در آن، کاشت درخت و پوشش گیاهی در حاشیه ساحل به‌طول چند ده متر که اصطلاحاً کمربند سبز نامیده می‌شود، می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته شده است. پوشش گیاهی می‌تواند موجب استهلاک انرژی و کاهش اثرات مخرب امواج شده و به‌صورت یک محیط متخلخل جایگزین موج‌شکن‌های سازه‌ای گردد (قنبری عدیوی و همکاران ۲۰۱۴). استون و شن (۲۰۰۲) به بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان در یک کانال روباز با موانع استوانه‌ای پرداختند. مطالعه آزمایشگاهی شامل تعداد زیادی آزمایش با موانع استوانه‌ای مستغرق و غیرمستغرق در ابعاد و تراکم‌های مختلف بود. نتایج نشان داد مقاومت جریان با عمق جریان، تراکم، ارتفاع و قطر پایه‌ها تغییر می‌یابد.

جوردانو و جیمز (۲۰۰۳) به‌طور آزمایشگاهی حرکت بار کف را در یک فلوم پوشیده شده با پوشش گیاهی به‌صورت میله‌های فلزی صلب غیر مستغرق با چیدمان شطرنجی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تنش برشی کف را با استفاده از معادله ممتنم در جریان یکنواخت و با کاستن نیروی کششی ناشی از المان‌های گیاهی از نیروی کل جریان محاسبه کردند. یانگ و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی الگوی جریان در مقطع مرکب با دشت‌های سیلابی که دارای پوشش گیاهی می‌باشند، پرداختند. آن‌ها سه

پوشش گیاهی علف، بوته و درخت را مورد آزمایش قرار دادند. در مورد پوشش گیاهی درخت در دشت سیلابی، از موانع استوانه‌ای استفاده شد. نتایج تحقیقات این محققان نشان می‌دهد که حضور هر سه نوع پوشش گیاهی منجر به کاهش سرعت جریان در دشت سیلابی می‌شود. در حضور پوشش گیاهی، گرادیان عرضی سرعت جریان در سیلاب‌دشت و همچنین تنش برشی ظاهری در سطح مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت افزایش می‌یابد. رز و همکاران (۲۰۱۴) مجموعه‌ای از آزمایش‌ها را در جهت مطالعه اثر پوشش گیاهی مستغرق روی انتقال رسوب، در حضور موج انجام دادند. در این آزمایش‌ها از سه مدل گیاهی سخت، انعطاف‌پذیر و گیاه واقعی، شش فرکانس موج و چهار تراکم پوشش گیاهی استفاده شده است. هدف آن‌ها برقراری رابطه‌ای بین انرژی جنبشی، تنش برشی و انتقال رسوب در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی بود. با توجه به نتایج آن‌ها در چگالی بالای پوشش گیاهی و فرکانس بالاتر، انتقال رسوب کاهش یافته است

لو و همکاران (۲۰۱۸) به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی صلب برامواج و فعل و انفعالات جریان ناشی از امواج پرداختند. آن‌ها از استوانه‌هایی چوبی به قطر ۸ میلی‌متر برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی استفاده کردند. به این نتیجه رسیدند که برای امواج منظم با افزایش تراکم پوشش گیاهی ضریب انتقال موج کوچکتر می‌شود و ارتفاع موج افزایش می‌یابد. همچنین تحت تأثیر پوشش گیاهی متراکم میانگین سرعت جریان موج پایین‌تر از بدون پوشش است.

هو و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی آزمایشگاهی ساختار جریان و الگوی انتقال رسوب در پایین دست پوشش گیاهی پرداختند. آزمایش‌ها را در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی منعطف انجام دادند. از نتایج این پژوهش ملاحظه گردید که با کاهش سرعت جریان رسوبگذاری افزایش یافته است.

شناخت پارامترهای بی بعد درک ما را از پدیده-های جریان سیال عمیق تر می نماید. متغیرهای بدون بعد در مطالعات آزمایشگاهی از اهمیت بسزایی برخوردار می باشند. با توجه به متغیرهای زیادی که در این تحقیق وجود دارد آنالیز ابعادی می تواند کمک نماید تا متغیرهای بدون بعد شناخته شوند. روش های مختلفی برای تحلیل ابعادی موجود است که از مهم ترین و پرکاربردترین آن ها روش پی باکینگهام می باشد.

با توجه به هدف این پژوهش در مدل کردن امواج بلند در نزدیکی ساحل و با توجه به تئوری موج حاکم، از شبیه سازی مدل موج منفرد<sup>۱</sup> در اینجا استفاده شده است. در این روش شبیه سازی موج، صرفاً بر اساس ارتفاع مشخصه موج عمل می شود در نتیجه پارامترهای موج بر این اساس انتخاب گردید. پارامترهای مؤثر بر هیدرولیک پدیده شامل ارتفاع موج قبل پوشش ( $H_0$ )، ارتفاع موج بعد پوشش ( $H$ )، طول موج ( $L_w$ )، سرعت موج ( $V$ )، لزجت دینامیکی آب ( $\mu_w$ )، چگالی نسبی آب ( $\rho_w$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، قطر درخت ( $d$ )، عرض پوشش ( $w$ )، طول پوشش ( $L_g$ )، فواصل بین درختان در طول و عرض ( $L$ )، نیروی موج قبل پوشش ( $F_0$ )، نیروی موج بعد پوشش ( $F$ )، شیب ساحل ( $S$ )، عمق آب پای ساحل ( $d_0$ ) و قطر رسوب ( $D_{50}$ ) می باشند:

$$f(F, H, d, V, \mu_w, \rho_w, w, g, L_w, L_g, L, F_0, H_0, d_0, S, D_{50}) = 0 \quad [1]$$

که با استفاده از روش پی باکینگهام ۱۲ پارامتر بی بعد زیر به دست آمد:

$$f\left(\frac{F}{d^2 V^2 \rho_w}, \frac{H}{d}, \frac{\mu}{\rho_w V H}, \frac{W}{d}, \frac{gd}{V^2}, \frac{L}{d}, \frac{D_{50}}{d}, \frac{F-F_0}{F_0}, \frac{HL^2}{d_0^3}, \frac{H}{H_0}, \frac{L_g}{d}, S\right) = 0 \quad [2]$$

در ادامه پارامترهای بدون بعد ثابت، کم تأثیر و یا بدون تأثیر حذف و سایر پارامترهای مهم به صورت زیر استخراج شد:

$$f\left(\frac{F}{d^2 V^2 \rho_w}, \frac{HL^2}{d_0^3}, \frac{F-F_0}{F_0}, \frac{H}{H_0}\right) = 0 \quad [3]$$

در نهایت پارامترهای بدون بعد مهم در این پژوهش شامل ضریب درگ، پارامتر اورسل، مقدار

طلوعی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تجربی جریان آشفته در سطوح صلب و انعطاف پذیر پرداختند. نتایج نشان داد که اندازه گیری میدان جریان آشفته و زبری سیستماتیک نشان می دهد که انرژی جریان در یک المان از سطح انعطاف پذیر کمتر از سطح صلب است. قنبری عدیوی و همکاران (۲۰۱۵) به مطالعه آزمایشگاهی اثر کمربند سبز ساحلی بر میرایی امواج دریا پرداختند. برای شبیه سازی درختان از ساقه های پلاستیکی بدون انعطاف به قطر ۱/۵ سانتی متر استفاده کردند. به این نتیجه رسیدند که کمربند سبز در میرایی امواج از طریق جذب نیروی امواج در قالب نیروی درگ بر روی درختان، تأثیر به سزایی داشته است.

باتوجه به اینکه تحقیقات انجام شده در این زمینه قابل توجه نبوده و نیازمند تحقیقات بیشتری جهت بررسی پارامترهای مؤثر پوشش گیاهی بر کاهش اثرات مخرب امواج می باشد. از طرفی بیشتر این مطالعات بر میرایی امواج تمرکز داشته و اندازه گیری نیروی جذب شده از امواج توسط پوشش درختی بدلیل محدودیت امکانات آزمایشگاهی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا با استفاده از روش اندازه گیری مستقیم نیرو، اقدام به ثبت نیروهای جذب شده از امواج توسط پوشش درختی گردید. برای این منظور در این پژوهش، سازه ساحلی متحرکی طراحی و به کار گرفته شد که مکانیسم اندازه گیری نیرو به کمک این صفحه متحرک در بخش مواد و روش ها شرح داده شده است. به طور کلی در مطالعه حاضر به تأثیر پوشش گیاهی صلب بر میزان نیروی جذب شده از امواج بلند در سواحل پرداخته شده است. پارامترهای هیدرودینامیکی بررسی شده در ۱۵ تراکم پوشش گیاهی و یک حالت فاقد پوشش (شاهد)، ۳ ارتفاع موج ورودی و دو چیدمان مثلثی و مستطیلی انجام شده است.

مواد و روش ها

تحلیل ابعادی

<sup>1</sup> Solitary

ادامه در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش و محدوده تغییرات آنها آورده شده است:

نیروی نسبی و ضریب انتقال موج مطابق معادله ۳ بدست آمده و در بخش نتایج و بحث به تغییرات و اثرات آن بر پدیده مورد بررسی پرداخته شده است. در

جدول ۱- معرفی پارامترهای استفاده شده در این پژوهش.

اندازه	پارامتر
۱۲/۱۶۰-۸۶/۲۹	نیروی مستهلک شده موج، $F(N)$
۶،۹،۱۲	ارتفاع موج، $H(cm)$
۱-۱۰/۵	ارتفاع موج بعد پوشش، $H(cm)$
۶۰،۴۵،۳۰،۱۵	عرض پوشش درختی، $W(cm)$
۴۰	طول پوشش درختی، $L_g(cm)$
۵×۵، ۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵، ۲۰×۲۰	فواصل بین درختان در طول و عرض، $L(cm)$
۰/۹	قطر پوشش درختی، $d(cm)$
۱۰	عمق آب پای ساحل، $d_0(cm)$
۱	طول موج $L_w(m)$
مستطیلی و مثلثی	چیدمان پوشش، $C$
در طول آزمایش ثابت و افقی	شیب ساحل، $S\%$
۱/۳۹- ۱/۵۳	سرعت موج، $V(m s^{-1})$
ثابت	چگالی نسبی آب، $\rho_w$
ثابت	لزجت دینامیکی آب، $\mu_w$
ثابت	شتاب ثقل، $g$
۰/۳۵	قطر رسوب، $D_{50}(mm)$

### پیش زمینه نظری

به لحاظ تئوری، حاصل حل تقریبی مرتبه اول معادله بوزینسک بوده که در تحلیل بالاروی امواج بلند به کار می رود. انتقالی بودن موج منفرد یا به عبارتی حرکت ذرات زیر سطح آزاد موج، شکل نیمرخ موج و تقریباً بدون تغییر شکل و پایدار ماندن آن در حین حرکت بر روی عمق یکنواخت، از مهم ترین دلایل شبیه سازی رفتار

امواج مورد بررسی در این پژوهش بر اساس شبیه سازی موج منفرد ایجاد شده است. موج منفرد شامل یک برآمدگی بر سطح آب ساحل بوده که دارای بدنه ای هموار و دنباله ای بلند می باشد. نیمرخ این موج

نیروی اینرسی در مقایسه با نیروی بسیار زیاد درگ که اتلاف عمده موج بواسطه این نیرو می‌باشد، صرف نظر شد. در نهایت معادله نیروی هیدرودینامیکی وارده بر موانع درختی در مقابل امواج به شکل زیر ساده گردید:

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_d A V^2 \quad [5]$$

به منظور بررسی تأثیر پوشش گیاهی صلب بر کاهش نیروی امواج از پارامتر بی بعد  $F_t$  (معادله ۶) که با استفاده از آنالیز ابعادی بدست آمده، استفاده شده است:

$$F_t = \frac{F - F_0}{F_0} \quad [6]$$

که  $F_0$  نیرو در شرایط بدون پوشش و  $F$  نیروی بدست آمده با حضور پوشش گیاهی است.

تأثیر پوشش گیاهی در میرایی موج توسط معادله ضریب انتقال موج و یا نسبت ارتفاع موج بعد از پوشش به ارتفاع موج قبل پوشش که از آنالیز ابعادی بدست آمده، بررسی گردید که در معادله ۷ آورده شده است:

$$K_v = \frac{H}{H_0} \quad [7]$$

که  $H$  ارتفاع موج بعد از پوشش و  $H_0$  ارتفاع موج ورودی است.

پارامتر  $U_r$  که به عدد اورسل معروف است یک متغیر بدون بعد بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U_r = \frac{HL^2}{d_0^3} \quad [8]$$

که در آن  $H$  ارتفاع موج بعد از موانع،  $L$  طول موج و  $d_0$  عمق آب پای ساحل می‌باشد.

در این پژوهش مقدار نیروی درگ برآورد و با مقدار آزمایشگاهی مقایسه شده است. برای آنالیز آماری دو سری داده از روابط و فرمول‌های زیر استفاده شده است:

برای بررسی همبستگی داده‌ها از رابطه ۹ استفاده شده است:

امواج بلند در نزدیک ساحل، با استفاده از موج منفرد می‌باشد (چانگ و هانگ، ۲۰۰۶). نکته دیگر آن است که موج منفرد به لحاظ فیزیکی، جزء امواج انتقالی به شمار می‌رود و انتقال جرم قابل توجهی طی حرکات موج منفرد صورت می‌گیرد. از این رو مدارهای مسیر حرکت ذرات تحت موج، به صورت بسته نخواهد بود و انتشار موج با انتقال جرم همراه می‌باشد.

راتناسوریا و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه اثر پوشش گیاهی بر کنترل سیل ناشی از سونامی، امواج منفرد را با استفاده از دریچه تولید نمودند. از جمله روش‌های ساده تولید امواج منفرد، بازکردن ناگهانی دریچه کشویی است که اختلاف ارتفاع سطح آب در طرفین آن و ضربه ناگهانی وارده، عامل تشکیل موج می‌باشد (قنبری عدیوی و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین در این مطالعه نیز با استفاده از روش دریچه انجام شده است. برای تعیین کمیت و مقایسه اثرات تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در موج و جریان، پارامتر بی بعد نیرو، ضریب انتقال موج، پارامتر اورسل برای آزمایش-های مختلف ارزیابی شده است. که در ادامه پیشینه نظری این موارد ارائه شده است.

هنگامی که موج از یک منطقه با حضور پوشش گیاهی حرکت می‌کند، دو نیرو در ساقه‌های گیاهی تأثیر گذارند: نیروی کشش (درگ) و نیروی اینرسی. موریسون و همکاران (۱۹۵۰) معادله ای را بر این اساس بدست آورده‌اند و در اینجا در معادله ۴ آورده شده است:

$$F = 0.5 \rho_w C_d A_p |V|V + \rho_w C_m \nabla \left( \frac{\partial V}{\partial t} \right) \quad [4]$$

که در آن:  $\rho_w$  چگالی آب،  $C_d$  ضریب کشش،  $A_p$  سطح مانع روبروی جریان،  $V$  سرعت موج تابیده شده به مانع،  $C_m$  ضریب اینرسی،  $\nabla$  حجم مانع روبروی جریان و  $\frac{\partial V}{\partial t}$  تغییرات سرعت نسبت به زمان است. در این پژوهش به دلیل فرض جریان شبه ماندگار از تغییرات سرعت با زمان به دلیل ناچیز بودن صرفنظر گردید. (هاسرین و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین از تأثیر

گرفته شده است. به منظور ایجاد موج براساس شبیه-سازی موج منفرد در بازه‌ای از کانال به طول ۲ متر مخزنی با کمک دو دریچه ایجاد شد که آب در این مخزن در سطح‌های مختلف تنظیم و با بازکردن سریع دریچه موج با ارتفاع مشخصه مورد نظر ایجاد گردید.

جهت اندازه‌گیری نیروی وارده بر ساحل با حضور و عدم حضور پوشش گیاهی، صفحه ساحلی متحرکی به‌کار گرفته شد. چون ساحل مورد بررسی بر روی صفحه‌ای متحرک قرار دارد فلوم در آستانه سقوط قرار می‌گیرد که هر لحظه این امکان وجود دارد تا با اعمال کوچکترین نیرویی تعادل خود را از دست داده و سقوط نماید، این در حالی است که نیروسنج متصل به این بخش از فلوم، مانع سقوط آن شده و حکم برقرار کننده تعادل را بازی می‌نماید. در حقیقت همین تعادل برقرار شده توسط حسگر بار دینامیک، امکان ثبت مقدار اندازه حرکت وارده از طرف موج بر ساحل شبیه-سازی شده را فراهم و سیگنال‌های ارسالی توسط حسگر به‌وسیله یک نمایشگر الکترونیکی ثبات ذخیره می‌گردند. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت جریان از سرعت‌سنج صوتی داپلر (ADV) استفاده شد. آکوستیک داپلر در طیف وسیعی از شرایط جریان از جمله محیط موج به کار می‌رود. در شکل ۱ نمایی از فلوم آزمایشگاهی و ساحل به صورت شماتیک آورده شده است.

$$r = \frac{cov(X,Y)}{S_x * S_y} \quad [9]$$

اگر  $r = 0$  همبستگی ندارند، اگر  $r$  منفی شد همبستگی متغیر و اگر مثبت شد همبستگی مستقیم دارند.

برای تعیین اختلاف نسبی مقادیر مقایسه‌ای و شبیه‌سازی شده از نرمال مجذور مربعات خطا (NRMSE) رابطه ۱۰ و ۱۱ و از آزمون Nash رابطه ۹ نیز استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad [10]$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \quad [11]$$

در رابطه ۷،  $Y_i$  داده تئوری،  $\hat{Y}_i$  داده آزمایشگاهی و  $n$  تعداد داده‌هاست.

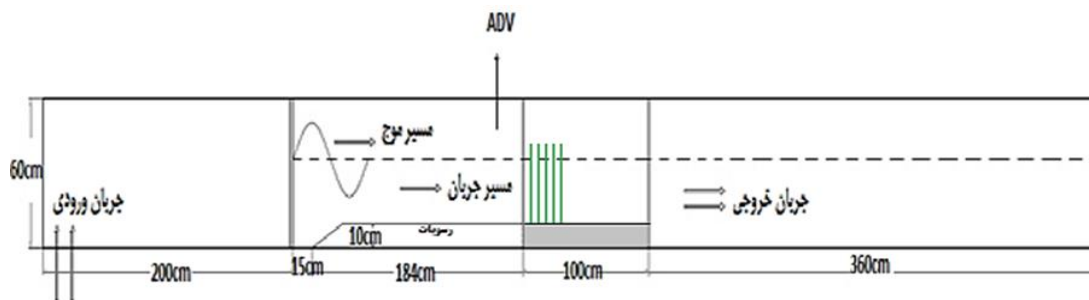
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})_i^2} \quad [12]$$

برای بررسی تفاوت معنی داری میانگین‌های دو سری داده از آزمون  $t$  استفاده شده است.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left(\frac{\sum x_1^2 + \sum x_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\right) * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad [13]$$

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاهی به طول ۲۰ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر و دارای کف فلزی و دیواره‌های شیشه‌ای از جنس پلکسی گلاس انجام شد. جریان آب مخزن اصلی از طریق موتور پمپ به تانکی ریخته می‌شود، سپس در مخزنی دیگر برای افزایش هد محبوس می‌شود و پس از یک آرامش نسبی، جریان به-سرعت وارد فلوم شده و پس از طی طول کانال، در انتهای فلوم آب وارد تانک تخلیه جریان می‌شود. این تانک در حقیقت یک کانال و مخزن است که انرژی آب را کاهش داده و آب را وارد کانالی می‌نماید که برای اندازه‌گیری دبی و تخلیه جریان به مخزن اصلی در نظر



شکل ۱- فلوم مستطیلی و ساحل مورد استفاده در آزمایش‌ها.

### مراحل انجام آزمایش

آزمایش‌ها در فلوم در بازه‌ای به طول ۸/۶ متر انجام شد. این بازه به سه قسمت طولی، ۲ متر برای ایجاد مخزن، ۳ متر قسمت مدل (ساحل و جریان آب)، ۳/۶ متر بخش پایین دست مدل تقسیم شد. مخزن با یک صفحه پلکسی در ابتدای طول جدا شده فلوم و بعد از آن به فاصله ۲ متر از صفحه پلکسی، با نصب دریچه فلزی کشویی ایجاد گردید. برای باز کردن دریچه از سیستم نخ و قرقره که متشکل از سیم بکسل و وزنه‌ای بود، استفاده گردید. برای ایجاد موج، عمق آب پشت دریچه در سه ارتفاع ۲۵/۶ سانتی‌متر (موج ۶) و ۳۹/۵ سانتی‌متر (موج ۹) و ۴۷ سانتی‌متر (موج ۱۲) از کف بستر فلوم در مخزن ایجاد گردید.

صفحه متحرک مدل ساحل در بخش میانی کانال قرار گرفت. پوشش گیاهی صلب برای شبیه‌سازی ساحل مورد نظر بر روی صفحه ساحلی قرار گرفت. سپس با متصل کردن نیروسنج (لودسل) به این صفحه امکان سنجش نیروی ناشی از امواج فراهم شد. از دستگاه ADV برای اندازه‌گیری سرعت موج در لحظه شکست در پای ساحل استفاده شد. آزمایش‌ها در دو حالت با پوشش و بدون پوشش انجام شد. برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی صلب از لوله‌های صلب پلاستیکی به قطر خارجی ۹ میلیمتر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر استفاده شد که پوشش در طول ۴۰ سانتی‌متر و در چهار عرض مختلف ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر و فواصل ۵×۵، ۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵ و ۲۰×۲۰ و در دو چیدمان مستطیلی و مثلثی در صفحه ساحل قرار داده شد. در جدول ۲ شرایط و نحوه قرارگیری پوشش آورده شده است.

جدول ۲- شرایط و نحوه قرارگیری پوشش.

فواصل (cm)	تعداد ردیف	تراکم (تعداد در متر مربع)	
		مستطیلی	مثلثی
۲۰×۲۰	۴	۲۴	۱۰
	۳	۱۸	۸
	۲	۱۲	۵
۱۵×۱۵	۵	۴۰	۱۸
	۴	۳۲	۱۴
	۳	۲۴	۱۱
	۲	۱۶	۷



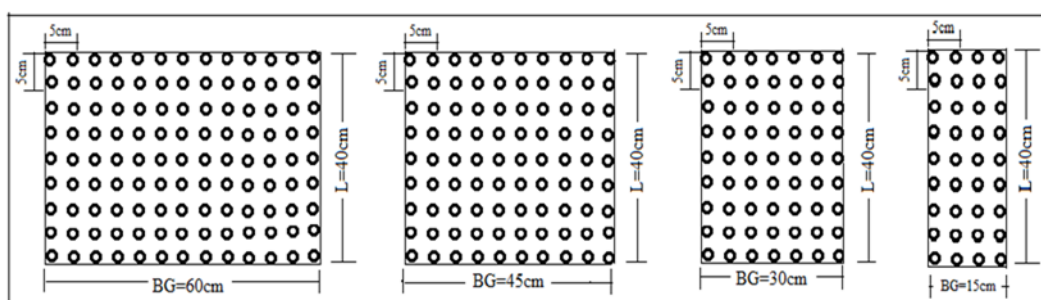
	۷	۷۷	۳۵	۳۱
۱۰×۱۰	۶	۶۶	۳۰	۲۷
	۴	۴۴	۲۰	۱۸
	۳	۳۳	۱۵	۱۴
۵×۵	۱۳	۲۷۳	۱۱۷	۱۱۱
	۱۰	۲۱۰	۹۰	۸۵
	۷	۱۴۷	۶۳	۶۰
	۴	۸۴	۳۶	۳۴

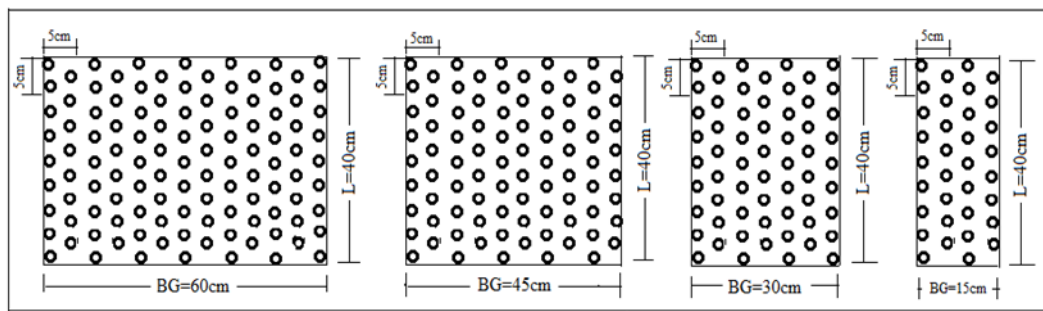
کرد (مشابه شکل ۴). در این شرایط قرائت نیرو توسط نیروسنج لودسل که به صفحه متحرک ساحل نصب شده، انجام شد. در شکل‌های ۲ و ۳ نحوه قرارگیری پوشش بر ساحل آورده شده است.

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا پوشش مورد نظر را در چیدمان مشخص در صفحه ساحل قرار داده، سپس مخزن در ارتفاعی معین پر از آب شد. پس از رسیدن آب به حالت تعادل در مخزن، دریچه کشویی به‌طور ناگهانی باز شده و موج با سرعت به ساحل برخورد

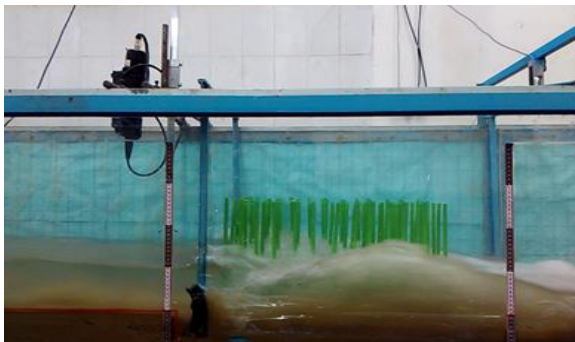


شکل ۲- نحوه قرارگیری پوشش.

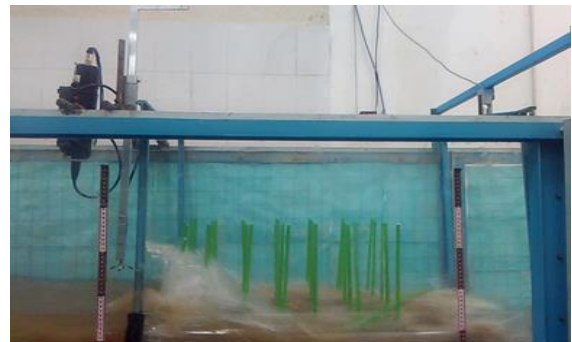




شکل ۳- نحوه قرار گیری پوشش در حالت مثلثی و مستطیلی در ۴ عرض و در کمترین فاصله.



شکل ۴- نحوه برخورد موج به ساحل.



الف- حالت مستطیلی، عرض ۶۰، فواصل ۱۰×۱۰ موج ۶ ب- حالت مستطیلی، عرض ۶۰، فواصل ۵×۵، موج ۱۲

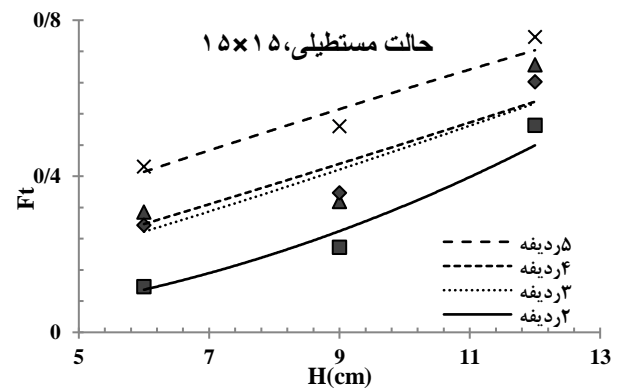
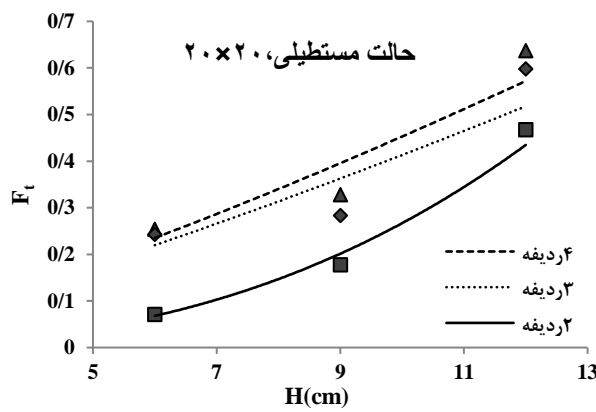
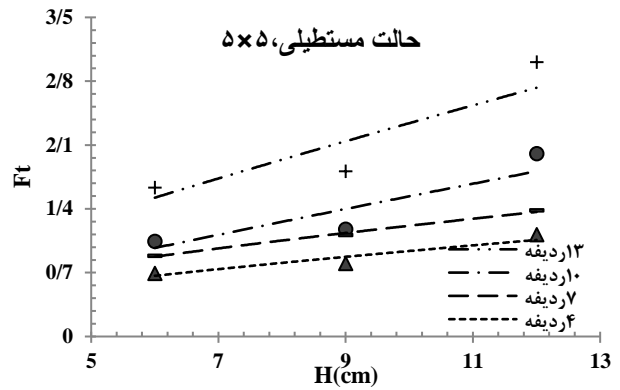
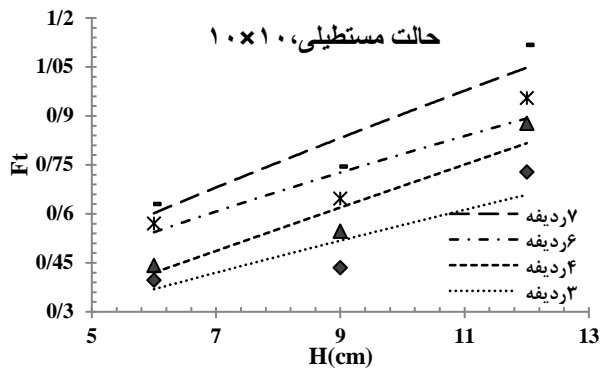
افزایش زبری انتظار می‌رود که اثرات ساحل بر کاهش مشخصه‌های موج آشکارتر و کارا تر گردد. به این دلیل در ادامه به بررسی اثر پوشش گیاهی ساحلی بر کاهش فاکتورهایی که شامل نیرو، ارتفاع و... می‌باشد، پرداخته شده است.

#### اثر پوشش گیاهی بر کاهش نیرو امواج

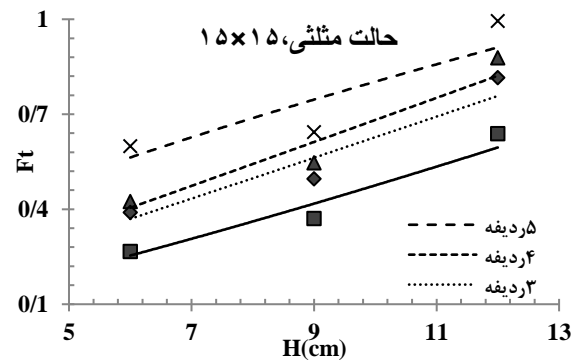
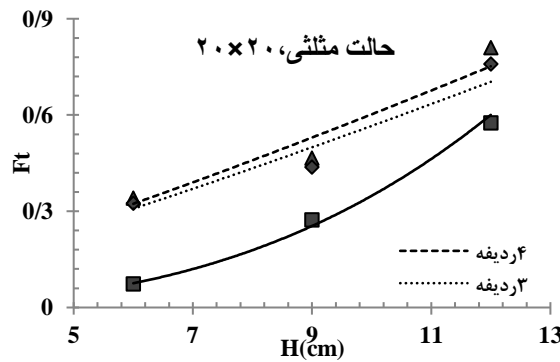
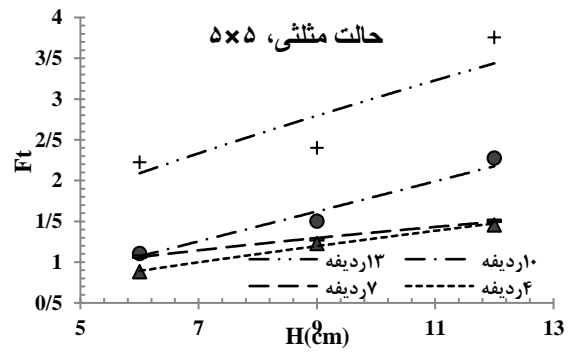
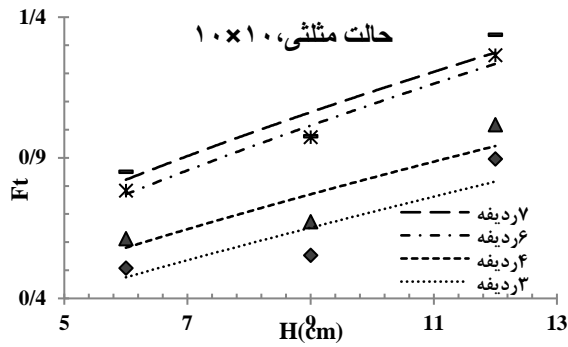
بررسی اثر پوشش گیاهی بر کاهش نیروی امواج در قالب بررسی کارایی پوشش از لحاظ ایجاد نیروی درگ در مقابله با نیروی امواج مورد بررسی قرار گرفت. نیروی جذب شده در حالت با پوشش و بدون پوشش توسط نیروسنج ثبت شد. نتایج در قالب نمودار Ft (که در رابطه ۶ معرفی شد) بر حسب ارتفاع موج ورودی در دو حالت مستطیلی و مثلثی در شکل-های ۵ و ۶ رسم شده است.

#### نتایج و بحث

زمانی که یک رشته از امواج به طرف ساحل منتشر می‌شود امواج در نقطه‌ای که بستگی به مشخصات موج و شیب بستر (که در اینجا ثابت و افقی در نظر گرفته شد) نزدیک ساحل دارد، می‌شکنند. در جهت خشکی نقطه شکست موج، یک منطقه شکست شکل می‌گیرد که در آنجا امواج در حین عبور انرژی خود را از دست می‌دهند. وقتی امواج به نقطه شکست نزدیک می‌شوند یک فرو آب پیشرونده کوچک در تراز متوسط آب، زیر تراز ایستابی به وجود می‌آید. این فرو آب به علت افزایش تنش، که در اثر کاهش عمق آب حاصل شده، همچنان که موج به سمت ساحل منتشر می‌شود، به وجود می‌آید. در اثر وجود موانع در ساحل بدلیل



شکل ۵- نسبت بی بعد  $F_t$  برای چیدمان مستطیلی و ردیف‌های مختلف پوشش



شکل ۶- نسبت بی بعد  $F_t$  برای چیدمان مثلثی و ردیف‌های مختلف پوشش.

داشته است. در بیشترین فاصله  $20 \times 20$  نرخ افزایش نیرو در هر یک از عرض‌ها علیرغم زیاد شدن تعداد ردیف و در نتیجه تعداد درختان، رشد قابل توجهی نداشته است که میتوان آنرا به فاصله زیاد بین درختان در ردیف و فاصله بین ردیف‌ها ارتباط داد. در واقع در این فاصله زیاد بین درختان عملاً از اثر گروهی درختان کاسته شده و بجای چند ردیف درخت در مقابل امواج هر درخت به تنهایی در مقابل امواج قرار گرفته و بصورت تک درخت عمل نموده است. این نتیجه بدست آمده لزوم رعایت فاصله بهینه بین درختان را آشکار می‌سازد.

ج- عرض و فواصل پوشش ثابت و ارتفاع موج ورودی متغیر: بطور کلی با افزایش ارتفاع موج (در هر ۴ فاصله و ۴ عرض) نیرو افزایش یافته است. به عنوان نمونه در فاصله  $10 \times 10$  نیروی جذب شده از امواج در ارتفاع موج ۱۲،  $221/72$  درصد و  $61/26$  درصد نسبت به ارتفاع موج‌های ۶ و ۹ افزایش یافته است. چون با افزایش ارتفاع، موج با سرعت بیشتری به پوشش برخورد کرده، برآمدگی پوشش حین عبور از ساحل زیادتر شده، نیروی درگ بیشتری از پوشش ایجاد گردید و انرژی بیشتری از امواج گرفته می‌شود. همچنین افزایش ارتفاع تا حد مشخصی که وابسته به ارتفاع پوشش است می‌تواند موجب افزایش سطح تماس پوشش با موج گردد و از این طریق نیز به افزایش نیروی درگ پوشش منجر گردد.

د- بررسی اثر چیدمان: در این آزمایش‌ها از دو نوع چیدمان مثلثی و مستطیلی استفاده شده است. جهت بررسی تأثیر چیدمان، حالت‌های متناظر از هر دو چیدمان دو به دو باهم مقایسه شدند. از نتایج مشخص گردید که تأثیر چیدمان مثلثی در جذب نیروی امواج در همه مقایسه‌ها نسبت به چیدمان مستطیلی بیشتر بوده و انرژی بیشتری از امواج (کاهش در نیرو و ارتفاع امواج)

باتوجه به شکل‌های ۵ و ۶ تأثیر ردیف (عرض)، فواصل و چیدمان پوشش در کاهش نیروی امواج آشکار است. بطور کلی نیروها نسبت به حالت بدون پوشش افزایش یافته‌اند. همچنین به عنوان نمونه در متراکم‌ترین حالت عرض ۶۰، فواصل  $5 \times 5$  و چیدمان مثلثی به ترتیب در ارتفاع موج ۶، ۹ و ۱۲ نیروی مستهلک شده نسبت به حالت بدون پوشش  $3/22$ ،  $3/4$  و  $4/7$  برابر بیشتر شده است. این مطلب نشان از تأثیر چشمگیر پوشش گیاهی در کاهش انرژی و نیروی امواج بلند دارد.

برای بررسی تأثیر حضور پوشش گیاهی بر نیروی امواج چهار حالت بررسی شده است:

الف- عرض پوشش و ارتفاع موج ثابت و فواصل متغیر: به طور کلی با کاهش فواصل نیروی ثبت شده توسط نیروسنج افزایش یافته است. به عنوان مثال در ماکزیمم عرض (۶۰) و ارتفاع موج (۱۲) نرخ افزایش نیرو در کمترین فاصله  $5 \times 5$  نسبت به  $10 \times 10$ ،  $15 \times 15$  و  $20 \times 20$  به ترتیب  $68/2$  درصد،  $104/97$  درصد و  $140$  درصد افزایش یافته است. در بقیه عرض‌ها هم افزایش نیرو روند صعودی داشته است. در واقع با افزایش عرض و تعداد ردیف پوشش در مقابل امواج و افزایش تراکم پوشش صورت گرفته است و مقاومت بیشتری در مقابل نیروی امواج به وجود آمده است در نتیجه نیروی بیشتری از امواج گرفته می‌شود.

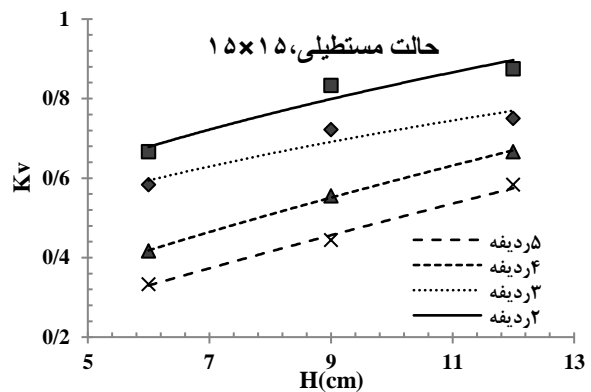
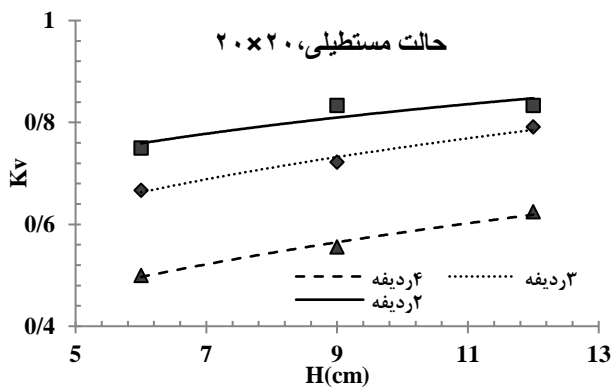
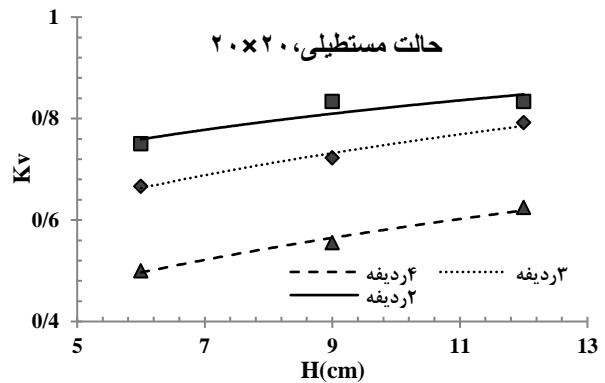
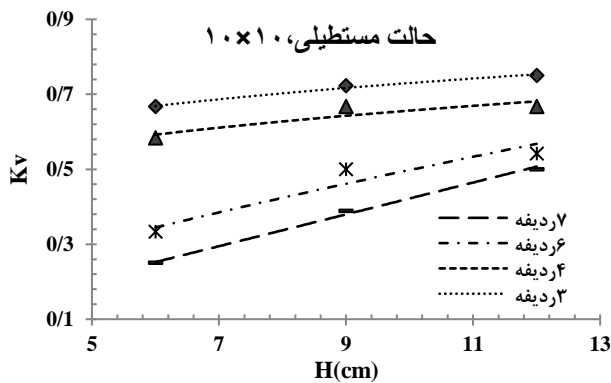
ب- فواصل پوشش و ارتفاع موج ثابت، عرض متغیر: با بررسی داده‌ها در این بخش، در یک فاصله ثابت با افزایش عرض، نیرو افزایش یافته است. چون تعداد ردیف پوشش بیشتری به عنوان مانع در برابر موج حضور دارند و نیروی بیشتری را جذب می‌کنند. به عنوان مثال در کمترین فاصله  $5 \times 5$  و ارتفاع موج ۶ نرخ افزایش نیرو در عرض ۶۰ نسبت به عرض‌های ۴۵، ۳۰ و ۱۵ به ترتیب رشد  $28/79$ ،  $55/56$  و  $82/54$  درصدی

حالت مثلثی نسبت به حالت مستطیلی در جذب نیروی امواج برتری داشته است.

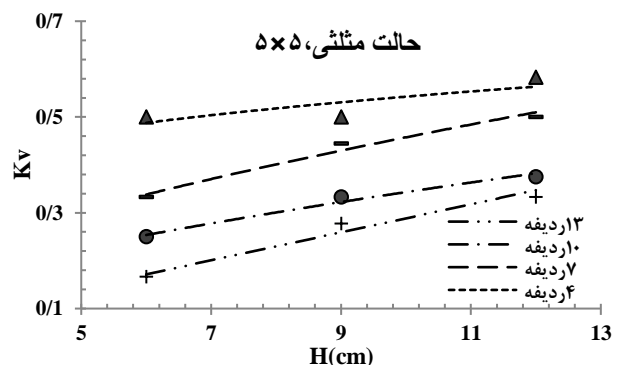
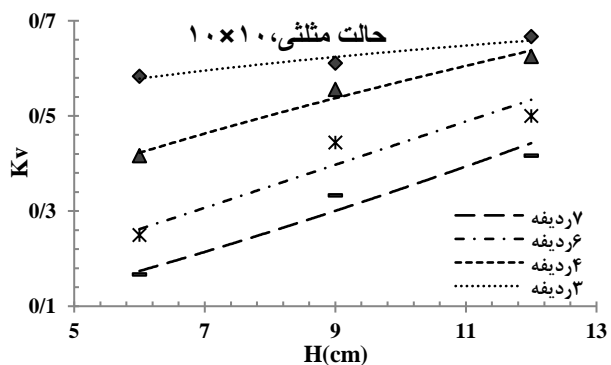
### بررسی تأثیر پوشش بر کاهش ارتفاع امواج در قالب ضریب انتقال موج

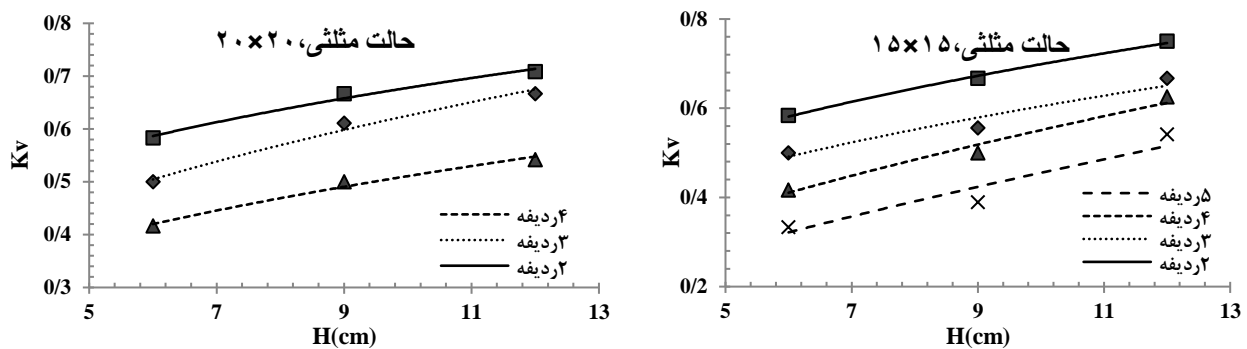
برای این منظور نسبت کاهش ارتفاع موج در حالت با پوشش نسبت به حالت بدون پوشش بر حسب ارتفاع موج در شکل‌های ۷ و ۸ در دو حالت رسم شده است.

مستهلك می‌شود که مشابه یافته‌های قنبری عدیوی و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیز می‌باشد. به عنوان نمونه در این پژوهش برای موج به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر، در بیشترین تراکم مورد بررسی که معادل ۲۷۳ ساقه بر واحد سطح می‌باشد (تعداد ردیف پوشش ۱۳)، معادل ۱۸/۷۱ درصد و در کمترین تراکم معادل ۱۲ ساقه بر واحد سطح (تعداد ردیف پوشش ۲) معادل ۸/۷۴ درصد،



شکل ۷- نسبت Kv برای حالت مستطیلی و ردیف‌های مختلف پوشش.





شکل ۸- نسبت Kv برای حالت مثلثی و ردیف‌های مختلف پوشش.

جانب ساحل و پوشش ساحلی اعمال می‌شود میزان کاهش در ارتفاع موج کمتر شده و نسبت Kv به یک نزدیک‌تر است. کاهش ارتفاع موج بطور خطی با تراکم پوشش گیاهی در ارتباط نیست. با افزایش تراکم پوشش گیاهی از ۳۲ به ۶۶ ارتفاع موج بعد از پوشش ۲۳/۰۷ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ تفاوت بین تراکم‌های مختلف پوشش و بدون پوشش برای بلندترین ارتفاع موج (موج ۱۲) معنادار است و برای موج ۶ و ۹ ناچیز است. برای موج ۱۲ و تراکم ۲۷۳ ارتفاع موج بعد از پوشش به ۰/۳ مقدار اولیه خود رسیده است. همچنین در حالت مثلثی ضریب انتقال موج برای متراکم‌ترین حالت و کم‌ترین تراکم از ۰/۳۳ به ۰/۷ رسیده است که نسبت به حالت مستطیلی در متراکم-ترین حالت ۱۲/۱۲ درصد و در کم‌ترین تراکم ۱۸/۵۷ درصد بیشتر در میرایی موج تاثیر داشته است. همچنین با توجه به جدول ۳ در بیشترین تراکم و ارتفاع موج، پوشش گیاهی تا ۶۳ درصد در اتلاف انرژی موج از طریق کاهش ارتفاع موج تأثیر داشته است.

زمانی که یک موج از آب عمیق دور از ساحل به سمت آب کم عمق‌تر نزدیک ساحل منتشر می‌شود، اگرچه طول موج کاهش می‌یابد اما طول موج با سرعتی کمتر از سرعت کاهش عمق کم می‌شود. بنابراین عمق نسبی بعد از باز شدن دریاچه مادامی که موج به ساحل نزدیک می‌شود کاهش می‌یابد و به دلیل سرعت بالای موج قله موج حین عبور از ساحل به تدریج کم شده است. در جدول ۳ و شکل ۷ ضریب انتقال موج ( $K_v$ ) بر اساس ارتفاع موج ورودی و برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی برحسب تعداد ساقه بر واحد سطح آورده شده است. با ارزیابی داده‌های این پژوهش و نتایج بدست آمده توسط لو و همکاران (۲۰۱۸) تراکم بالاتر پوشش منجر به ضریب انتقال موج کوچکتر و کاهش ارتفاع موج می‌شود. وجود پوشش به طور موفقیت آمیزی در انتشار موج دخالت دارد و منجر به افزایش اصطکاک، آشفتگی و شکستن موج می‌شود و این امر باعث کاهش انرژی موج می‌شود. اما در تراکم-های پایین بدلیل مقاومت کمتری که در مقابل امواج از

جدول ۳- ضریب انتقال موج برای تراکم‌های مختلف پوشش در ارتفاع‌های مختلف موج.

تراکم	۱۲	۱۶	۱۸	۲۴	۲۴*	۳۲	۳۳	۴۰	۴۴	۶۶	۷۷	۸۴	۱۴۷	۲۱۰	۲۷۳
۶	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۵۸	۰/۳۳	۰/۷۵	۰/۵	۰/۶۱	۰/۳۳	۰/۱۶
۹	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۵	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۵	۰/۲۸	۰/۳۳
۱۲	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۵	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۳۷

\* دو تراکم مشابه مربوط به دو چیدمان متفاوت است.

## پارامتر اورسل

## مقادیر پارامتر اورسل برای تراکم‌های مختلف

پوشش در حالت مستطیلی در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به رابطه ۸ و برای طول موج ثابت ۱ متر، عمق ثابت آب پای ساحل ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع موج بعد از پوشش مقادیر عدد اورسل محاسبه گردید. مقدار اورسل با نیروی بدست آمده رابطه عکس دارد. بطوریکه در یک فاصله مشخص  $10 \times 10$ ، هنگامی که  $U_r < 40$  (موج ۶) مقدار  $F$  به میزان قابل توجهی با افزایش اورسل کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به جدول ۴ با افزایش ارتفاع موج ورودی مقدار اورسل افزایش می‌یابد. اورسل با ضریب انتقال موج رابطه مستقیم دارد. به عنوان مثال در مقدار اورسل بین  $10.5 < U_r < 20$  ضریب انتقال موج بین  $0.87 < K_v < 0.3$  بوده است. به دلیل اینکه با کاهش تراکم و افزایش فاصله ارتفاع موج بعد از پوشش افزایش می‌یابد و  $K_v$  و  $U_r$  هم که با ارتفاع موج در محل رابطه مستقیم دارند، افزایش می‌یابند. همچنین بالاترین تراکم معادل ۲۷۳ ساقه بر واحد سطح برای موج ۶، پایین‌ترین مقدار اورسل (۱۰) را دارد و در کمترین تراکم معادل ۱۲ ساقه بر واحد سطح برای موج ۱۲ بالاترین اورسل (۱۰۰) را دارد. در حالت مثلی این دو مقدار به ترتیب به ۹ و ۸۵ رسیده است به دلیل اینکه در حالت مثلی با توجه به نحوه قرارگیری پوشش ارتفاع موج کاهش بیشتری نسبت به حالت

مستطیلی دارد و مقدار اورسل کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات قبلی، مقدار پارامتر اورسل برای موج منفرد ناشی از ضربه در صورت حفظ تقارن در مسیر حرکت، بین ۱۰ تا ۴۰ بوده و هرگاه این مقدار بزرگتر از ۴۰ شد، پیشروی موج به صورت یک موج شکسته شده خواهد بود (کیشی و سائیکی، ۱۹۶۶). لذا با توجه به اینکه در این مطالعه در ارتفاع موج ورودی ۶ برای همه فواصل  $40 < U_r < 10$  و برای دو ارتفاع موج ۹ و ۱۲ تقریباً مقدار پارامتر اورسل بزرگتر از ۴۰ بوده است و در این شرایط موج می‌شکند، با اطمینان می‌توان در خصوص نتایج مربوط به دو موج ۹ و ۱۲ استناد نمود چرا که فرض اولیه این بررسی شکست موج در پای ساحل می‌باشد. همچنین در آب کم عمق هنگامی که عمق آب کاهش می‌یابد (به دلیل کاهش ارتفاع موج ورودی مشابه موج با ارتفاع ۶ سانتی‌متر) سرعت ذره تاج افزایش یافته، سرعت موج کاهش می‌یابد، نیروی کمتری به پوشش وارد می‌شود و موج نمی‌شکند. ولی برای ارتفاع موج ورودی ۹ و ۱۲ به دلیل افزایش عمق آب و سرعت موج منجر به ناپایداری و شکست موج می‌شود.

از بررسی بالا می‌توان به اثر تراکم بر کاهش پارامتر اورسل اشاره نمود. از آنجا که پارامتر اورسل ارتباط مستقیم با ارتفاع موج دارد و با افزایش تراکم (و یا کاهش ارتفاع موج ورودی)، ارتفاع موج بعد از پوشش کاهش می‌یابد بنابراین مقدار اورسل کم می‌شود.

جدول ۴- پارامتر اورسل برای تراکم‌های مختلف پوشش بر حسب تعداد ساقه بر واحد سطح.

تراکم	۲۴	۱۸	۱۲	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۷۷	۶۶	۴۴	۳۳	۲۷۳	۲۱۰	۱۴۷	۸۴
	ارتفاع موج ۶ (cm)														
$U_r$	۳۰	۴۰	۴۵	۲۰	۲۵	۳۵	۴۰	۱۵	۲۰	۳۵	۴۰	۱۰	۲۰	۲۵	۳۰
	ارتفاع موج ۹ (cm)														

Ur	۵۰	۶۵	۷۵	۴۰	۵۰	۶۵	۷۵	۳۵	۴۵	۶۰	۶۵	۳۰	۳۵	۴۵	۵۰
ارتفاع موج ۱۲ (cm)															
Ur	۷۵	۹۵	۱۰۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۵	۶۰	۶۵	۸۰	۹۰	۴۵	۵۵	۶۵	۷۵

## جدول ۵- نتایج آنالیز آماری.

تعداد داده ها						پارامتر آماری
۹۰ (کل داده ها)		۴۵ (داده های مثلثی)		۴۵ (داده های مستطیلی)		
F موريسون	F نيروسنج	F موريسون	F نيروسنج	F موريسون	F نيروسنج	
۵۱/۲۳	۳۳/۵	۵۱/۸۶	۳۵/۷۶	۵۰/۱۵	۳۱/۱۹	انحراف معيار (SD)
۴۲/۴۸	۵۱/۶۶	۴۲/۳۵	۵۴/۶۹	۴۲/۶۱	۴۲/۶۱	میانگین (M)
۸۹		۴۴		۴۴		درجه آزادی (df)
۲/۲۴۳		۲/۱۳		۱/۰۳۴		t
۰/۶۵		۰/۶۶		۰/۶۴		ضریب همبستگی (r)

## آنالیز آماری و مقایسه نیروی محاسباتی با نیروی ثبت شده آزمایشگاهی

به این منظور با استفاده از رابطه ۵ نیروی درگ تعیین و با نیروی آزمایشگاهی ثبت شده مقایسه گردید. نتایج بطور خلاصه در جدول ۵ آورده شده است.

در این پژوهش برای بررسی تفسیر برون داد حاصل از همبستگی از روش پیرسون و از رابطه ۹ استفاده شده است. برای تعداد نمونه و حالت مستطیلی ضریب همبستگی ۰/۶۴، حالت مثلثی ۰/۶۶ و برای کل داده ها ۰/۶۵ بدست آمده است. برای تعیین شدت همبستگی با توجه به ملاک های ارائه شده توسط کوهن (۱۹۸۸) چون  $r=0.64$  (حالت مستطیلی) و بین ۰/۵ تا ۰/۱ است نشان دهنده رابطه قوی بین دو نیروی بدست آمده است. با استفاده از ضریب تعیین و واریانس مشترک دو متغیر که معادل ۴۰/۹۶ بدست آمد، ملاحظه می شود که نیروهای نیروسنج نزدیک به ۴۱ درصد با نیروهای محاسباتی همپوشانی دارند. از

آزمون t نمونه های وابسته (رابطه ۱۳) برای بررسی اینکه آیا تفاوت معنی داری در میانگین نیروهای بدست آمده دو گروه وجود دارد یا خیر، استفاده شده است. از لحاظ آماری کاهش معنی داری در نیروهای بدست آمده از نیروسنج در حالت مستطیلی ( $SD=31/19$  و  $42/61$ ) و مقادیر محاسباتی ( $SD=50/15$  و  $M=42/61$ ) وجود دارد ( $df=44$  و  $t=1/034$ ) و  $P=0/0307$  (مقدار احتمال). همچنین میانگین کاهش نیروهای نیروسنج و مقادیر محاسباتی برابر  $6/027$  و فاصله اطمینان ۹۵ درصد در دامنه ۵/۷۲ تا ۱۷/۷۷ بود. برای حالت مثلثی  $SD=35/76$  و  $M=54/69$  و مقادیر محاسباتی  $SD=51/86$  و  $M=42/35$  و  $df=44$  و  $t=2/13$  و  $P=0/038$  تفاوت معنی داری در داده های دو گروه وجود دارد. با توجه به اینکه میانگین داده های آزمایشگاهی بزرگتر از مقادیر محاسباتی است بنابراین کاهش معنی داری در داده های محاسباتی داریم. همچنین برای کل داده ها نیز به دلیل اینکه  $p=0/027$  تفاوت معنی



همچنین با توجه به اینکه در عرض‌های کم و فواصل زیاد، کاهش ارتفاع موج بعد از پوشش قابل توجه نبوده است و نسبت بی‌بعد  $K_v$  به  $0/8$  رسیده است ولی در عرض‌های کم با فواصل کم نسبت  $K_v$ ،  $0/6$  بوده پس بهتر است از فاصله بین درختان در حالت بهینه استفاده شود تا اثر گروه درختان به تک درخت تقلیل نیابد.

اورسل با ضریب انتقال موج رابطه مستقیم دارد. با کاهش تراکم و افزایش فاصله ارتفاع موج بعد از پوشش افزایش می‌یابد و  $K_v$  و  $U_r$  هم که با ارتفاع موج در محل رابطه مستقیم دارند، افزایش می‌یابند.

با توجه به آنالیز آماری انجام شده و مقایسه نیروهای ثبت شده توسط لودسل با مقادیر پیش بینی شده توسط رابطه موریسون، می‌توان با تقریب مناسب از رابطه موریسون در برآورد نیروی موج وارد شده بر موانع موجود در ساحل استفاده شود.

تأثیر پوشش در جذب نیرو و استهلاک انرژی موج مشخص است و جذب نیروی موج نسبت به حالت بدون پوشش افزایش یافته است که منجر به کاهش اثر تخریبی امواج می‌شود. در تراکم‌های بیشتر و عرض‌های زیادتر تغییرات نیرو زیادتر بوده است و کارایی پوشش بیشتر شده است.

داری وجود دارد. برای تعیین اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده از آزمون Nash-Sutcliff efficiency استفاده شد. باتوجه به معیارهای این آزمون چون عدد بدست آمده ( $0/401$ ) در محدوده  $0/0-36/75$  بوده شبیه‌سازی قابل قبول است و می‌توان از معادله موریسون هم برای بدست آوردن نیرو در چنین شرایطی استفاده کرد. همچنین برای محاسبه مقدار خطای مؤثر دو مدل از جذر میانگین خطای نرمال شده NRMSE استفاده شده است و باتوجه به اینکه عدد بدست آمده  $18$  درصد در محدوده  $20-10$  درصد است پس رابطه موریسون و همکاران  $1950$  برای محاسبه نیروی وارد بر موانع در چنین شرایطی مناسب است.

### نتیجه گیری کلی

در این مقاله تأثیر تراکم پوشش گیاهی صلب بر کاهش ارتفاع و نیروی موج بررسی شد. بر این اساس با افزایش تراکم نیروی بیشتری از امواج گرفته می‌شود که در متراکم‌ترین حالت به میزان  $300/72$  درصد باعث کاهش جذب نیروی امواج نسبت به حالت بدون پوشش شده است.

### منابع مورد استفاده

- Cohen JW, 1988. Statistical Power Analysis For The Behavioral Sciences (2nd ed). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chang HY and Hwung HH, 2006. Experimental on the run-up of solitary waves over sloping bottom. Symposium of Coastal and Ocean Engineering 1:14, PP 359-372.
- Dean R G, 1978. Effects of vegetation on shoreline erosional processes. Wetland Functions and Values, 415-426.
- Ghanbari Adivi A, Fathi Moqaddam M and Sadri Nasab M, 2013. Laboratory study of the effect of tree cover on the reduction of wave force on steep shores. Journal of Soil and Water Knowledge, Volume 23, Number 4, Pages 131-141. (in Persian with English abstract).
- Ghanbari Adavi A, Fathi Moqaddam M and Sadri Nasab M, 2014. Laboratory study of the effect of coastal green belt on sea wave damping. Journal of Marine Science and Technology, Volume 13, Number 4, Pages 40 to 50. (in Persian with English abstract).
- Hu Z, Lei J, Liu C and Npief H, 2018. Wake structure and sediment deposition behind models of submerged vegetation with and without flexible leaves. Advances in Water Resources, 118: 28-38.

- Husrin S, Strusinska A and Oumeraci H, 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Journal of Earth Planets Space*, 64: 973–989.
- Jordanova AA and James CS, 2003. Experimental study of bed load transport through emergent vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 129: 474–478.
- Kishi T and Saeki H, 1966. the shoaling, breaking and runup of the solitary wave on impermeable rough slopes, *Journal of Coastal Engineering*, 3: 322-345.
- Lou S, Chen M, Ma G, Liu S and Zhong G, 2018. Laboratory study of the effect of vertically varying vegetation density on waves, currents and wave-current interactions. *Applied Ocean Research* 79: 74–87.
- Morison JR, O'Brien MP, Johnson JW and Schaaf S, 1950. The force exerted by surface waves on piles. *Petroleum Transactions* 189: 149-154.
- Ratnasooriya SP, Samarawichrama SSL, Hettiarachchi Banadara RPSOS and Tanaka N, 2008. Mitigation of tsunami by coastal vegetation. *Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 38: 13-19.
- Ros A, Colomer J, Teresa S, Pujol D, Soler M and Casamitjana X, 2014. Experimental observation on resuspension within submerged model canopies under oscillatory flow. *Continental Shelf Research* 91: 220-231.
- Stone BM and Shen HT, 2002. Hydraulic resistance of flow in channels with cylindrical roughness. *Journal of Hydraulic Engineering* 128:500-506.
- Toloui M, Abraham A and Hang J, 2019. Experimental investigation of turbulent flow over surfaces of rigid and flexible roughness. *Experimental Thermal and Fluid Science* 101: 263–275.
- Yang KJ, Cao SY and Knight DW, 2007. Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering* 133: 148-159.