بررسی تاثیر پوشش درختی منعطف بر الگوی جریان در سواحل با استفاده از مدل فیزیکی

حامدجلیل مصیر [۱]، روح اله فتاحی [۲]، الهام قنبری عدیوی [۳*]، مهدی اسدی آقبلاغی [۴]

[۱] دانشجو، کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد hamedjalilmasir10@gmail.com
[۲] دانشیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد fattahi@sku.ac.ir
[۳] استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، elhamgh44@yahoo.com
[۴] استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، mahdi.asadi.a@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۶

کلمات کلیدی:
امواج منفرد
سونامی
کمربند سبز
نیروسنج

چکیده

یکی از راه‌حل‌های طبیعی برای مقابله با امواج استفاده از پوشش درختی (کمربند سبز) ساحلی می‌باشد. تمرکز این پژوهش به‌طور کلی ارزیابی تاثیر پوشش درختی ساحلی بر تضعیف اثر امواج منفرد دریا در حضور تراکم‌های مختلف پوشش می‌باشد. آزمایش‌ها بر پایه اثربخشی درخت مانگرو در کاهش انرژی سونامی، به‌وسیله یک ساختار درختچه و به ازای دو چیدمان درختی با فواصل طولی در عرضی، عرض‌های مختلف پوشش و ارتفاع موج‌های ورودی مختلف انجام گردید. نیروی وارد شده ناشی از موج به ساحل و پوشش درختی ساحلی با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم به کمک نیروسنج الکترونیکی نصب شده در جلوی بخش متحرک فلوم و سرعت موج با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج داپلر صوتی اندازه‌گیری شدند. نتایج تجربی نشان داد که وجود پوشش درختی منجر به استهلاک ۷۱/۲۸ درصدی نیروی مخرب موج و افزایش ۹۱/۵۲ درصدی میرایی موج می‌گردد. همچنین معادله پیشنهادی برآورد ضریب پسا، با ضریب همبستگی معادل ۰/۸۴ ارائه گردید.

Investigation on Flexible Trees Impact on Flow Pattern at the Coasts Using Physical Model

Hamed Jalil Masir[1], Rohallah Fatahi[2], Elham Ghanbari-Adivi[3]*, Mahdi Asadi-Aghbalaghi

[1]*MSC Student, Department of Water Science Engineering, Shahrekord University, hamedjalilmasir10@gmail.com*
[2]*Associated Professor, Department of Water Science Engineering, Shahrekord Universit, fattahi@sku.ac.ir*
[3]**Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Shahrekord University, Elhamgh44@gmail.com*
[4]*Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Shahrekord University, mahdi.asadi.a@gmail.com*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 11 Mar. 2020
Accepted: 06 Aug. 2020

Keywords:
Solitary Wave
Tsunami
Green Belt
Load Cell

ABSTRACT

One of the natural solutions to counteract the waves is using of coastal forest cover (Green Belt). Therefore, the focus of this study is generally to evaluate the impact of green belt on attenuation the effect of solitary waves at the presence it. Research experiments aimed at evaluating a mangrove tree effectiveness to reduce tsunami energy, by using simulated shrub structures, for two tree layouts with longitudinal intervals in transverse, different cover widths and different input wave heights. Wave-induced force to the coast and green belt was calculated by direct measurement and using an electronic force meter (load cell) mounted in front of the movable part of the flume and also the wave velocity were measured via an acoustic doppler velocity meter (ADV). The experiment results showed that the presence of green belt leads to 71.27% reducing the wave destructive force and 91.52% increasing the wave attenuation. Also, was presented the proposed equation for estimating of drag coefficient with the correlation coefficient of 0.84.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

۱ – مقدمه

امواج مهم‌ترین عامل در تعیین وضعیت هندسی سواحل هستند و نیز نقش عمده‌ای در طراحی بنادر، آبراهه‌ها، سازه‌های حفاظت ساحلی و سایر کارهای دریایی دارند. میزان قابل توجهی از انرژی امواج در کرانه‌های ساحلی مستهلک شده، منجر به شکل‌دهی سواحل، انتقال مواد رسوبی کف دریا به سمت ساحل، بالعکس و یا در امتداد نوار ساحلی، اعمال نیرو به سازه‌های ساحلی و تخریب آن‌ها می‌گردد [۵]. سیر تکامل حفاظت سواحل طی دوران مختلف تغییر از رویکردهای سازه‌ای به تقویت بیولوژیکی سواحل بوده است. از جمله روش‌های نوین مقابله با خطرات ناشی از امواجی همچون سونامی، احداث پوشش درختی ساحلی می‌باشد. پوشش‌های درختی علاوه بر تأثیر بر کاهش میزان توسعه سیل و آب‌گرفتگی ناشی از طغیان سونامی به واسطه افزایش زبری و مقاومت در مقابل جریان، دارای امتیازاتی از قبیل سازگاری بیش‌تر با محیط‌زیست و صرفه اقتصادی نیز می‌باشند. امروزه با توجه به بیش‌تر آشکار شدن توانایی پوشش درختی ساحلی در حفاظت از سواحل، این نوع رویکرد بیش‌تر مورد توجه و نظر دانشمندان و مهندسین قرار گرفته است. مطالعات انجام شده توسط کاتیرسان و راجندران [۸] نقش غالب پوشش درختی در کاهش پهنه‌ی سیلاب ورودی به ساحل ناشی از سونامی سال ۲۰۰۴ در اقیانوس هند و تأثیر قابل توجه پوشش درختی بر کاهش پیش‌روی امواج سونامی بر روی ساحل را گزارش نموده‌اند. زگائو و همکاران [۱۷] نقش قوی شیب در تضعیف موج، افزایش ضریب تضعیف موج با افزایش ردیف درختان و تراکم نسبی و همچنین نقش آرایش مختلف در تضعیف ضریب موج را گزارش نموده‌اند. کنگو [۹] استهلاک حدود ۱۰ تا ۶۰ درصدی انرژی موج حین عبور از میان مدل شبیه‌سازی شده پوشش ساحلی مانگرو با استفاده از ساقه‌های استوانه‌ای ایستاده و سخت (بدون انعطاف) را گزارش نمود. فروکاوا و همکاران [۲] وابستگی اتلاف انرژی موج به میزان تراکم پوشش درختی (شامل چیدمان و عرض پوشش) و قطر تنه درخت را گزارش نموده‌اند. قنبری عدیوی و همکاران [۳] افزایش میرایی موج و کاهش ارتفاع موج عبوری از میان پوشش با افزایش تراکم پوشش درختی را گزارش نموده‌اند. زارعی و همکاران [۱۶] کاهش ۷۵ درصدی نیروی مخرب موج با افزایش تراکم پوشش درختی را گزارش نموده‌اند. بررسی پیشینه مطالعات انجام شده در زمینه اندرکنش امواج و پوشش درختی ساحلی نشان می‌دهد که بررسی میزان تاثیر حالات مختلف چیدمان درختی و پارامترهای هیدرولیکی بر میزان عملکرد پوشش موضوعی است که در انتخاب روش پوشش بیولوژیک در قالب کمربند سبز درختی به جای روش های سازه‌ای تاثیر زیادی دارد. از این رو در پژوهش حاضر به بررسی این موارد با استفاده از یک سیستم جدید اندازه‌گیری مستقیم نیرو پرداخته شده است. در این جا به‌طور کلی تاثیر تراکم‌های مختلف پوشش درختی ساحلی از جمله فواصل طولی در عرضی، عرض‌های مختلف پوشش، چیدمان پوشش (مستطیلی و مثلثی) بر میرایی موج و کاهش سرعت و نیروی موج و مقایسه آن‌ها با شرایط بدون حضور پوشش بررسی گردید.

۲ – مواد و روش‌ها

برآورد نیرو و ضریب پسا:

به‌طور کلی دو روش در درک نیروی موج اعمال شده (F_D) به ساختار و یا به هر مانع طبیعی وجود دارد، یکی استفاده از تئوری موج و دیگری استفاده از معادله‌های اساسی دینامیک سیال می‌باشد. موریسون و همکاران [۱۳] با فرض پریودیک بودن امواج و عدم حضور جریان دریایی، مدلی ارائه کردند که نیرویی افقی سیال در امواج غیر شکسته وارد بر مانع‌های قائم را از ترکیب خطی دو مولفه اینرسی و درگ طبق معادله (۱) نتیجه می‌دهند. بنابراین می‌توان در آزمایش‌های پژوهش حاضر از این رابطه در برآورد میزان نیروی وارد شده بر پوشش در ساحل استفاده گردد.

$$F_D = 0.5\,\rho C_d A_P |V| V + \rho C_m \forall \left(dV/dt\right) \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، ρ: چگالی آب، C_d ضریب پسا، A_P: سطح مانع روبروی جریان، V: سرعت موج تابیده شده به مانع، C_m: ضریب اینرسی، ∀: حجم مانع رو بروی جریان، dU/dt: تغییرات سرعت با زمان است. همچنین با توجه به مطالعات قنبری عدیوی و فتحی‌مقدم [۴] و هاسرین و همکاران [۷]، برای محاسبه نیروی کشش، می‌توان از روش تحلیلی رابطه (۱) استفاده نمود که در اینجا به دلیل فرض جریان شبه ماندگار از تغییرات سرعت با زمان به دلیل ناچیز بودن صرف‌نظر گردید. در نتیجه رابطه (۱) به صورت رابطه (۲) خلاصه گردید:

$$F_D = 0.5\,\rho C_d . A_P V^2 \qquad (۲)$$

با استفاده از رابطه (۲) می‌توان ضریب پسا را به صورت رابطه (۳) محاسبه نمود. این رابطه تأثیر پارامترهای مختلف شامل سرعت جریان و سطح مقابل جریان را بر میزان این ضریب مقاومتی به وضوح نشان داده است. با داشتن نتایج ثبت شده‌ی نیروی کشش در آزمایشگاه می‌توان با کمک این رابطه ضریب پسا را برآورد نمود.

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho A_p v^2} \qquad (۳)$$

تحلیل ابعادی ابعادی پژوهش حاضر:

پارامترهای موثر بر هیدرولیک پدیده، به واسطه تغییرات مکانی و زمانی جریان و اندرکنش نیرویی موج عبوری از ساحل مورد بررسی قرار گرفت. که در ابتدا تغییرات نیروی موج (F_D) در ساحل با پوشش درختی انعطاف‌پذیر به عنوان عامل مقاومت در مقابل جریان

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای موثر بر مسئله به سه دسته کلی تفکیک شد. دسته اول شامل پارامترهای هیدرولیکی، از جمله ارتفاع موج در جلوی ساحل (قبل از پوشش) H، ارتفاع موج هنگام عبور از ساحل (بعد از پوشش) H_s، طول موج قبل از برخورد L، عمق آبپایه Y، سرعت موج هنگام برخورد با ساحل V، سرعت موج هنگام عبور از ساحل V_s، لزجت دینامیکی μ_w، دانسیته جرمی سیال ρ_w، می‌باشد. دسته دوم پارامترهای مربوط به پوشش درختی و چگونگی چینش آن می‌باشد، از جمله زاویه پوشش درختی ساحلی نسبت به موج θ، قطر مانع (پوشش) جلوی موج D، تراکم پوشش D_v (خارج قسمت سطح سایه انداز پوشش درختی (A_v) در تعداد پوشش (n_v) به مساحت زمین محصور شده پوشش یا ساحل مورد بررسی (A_G))، شتاب ثقل g، ارتفاع پوشش h_v، مدول الاستیسیته درخت (شاخص درختی) ξE، عرض پوشش (هم راستا با موج) LG، طول پوشش (در راستای عرض فلوم) BG، و چیدمان (مثلثی یا مستطیلی) C می‌باشد. دسته سوم مشخصات ساحل مورد بررسی می باشد که شامل شیب ساحل S و دانه بندی ذرات ساحل d50 می‌باشد. با استفاده از روش هانسکر و رایتمیر [۶] در تحلیل ابعادی و انتخابV، ρ_w وH به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بدون بعد مطابق رابطه (۴) استخراج گردید. قابل ذکر است به‌جای قطر پوشش D که در اینجا ثابت انتخاب شده، از پارامتر A_P (سطح مقطع مقابل جریان) استفاده گردید.

$$f_1\left(\frac{F_D}{\rho_w H^2 V^2}, \frac{\rho_w HV}{\mu_w}, \frac{V}{\sqrt{Hg}}, \frac{\xi E}{\rho V^2}, \frac{H}{H_s}, \frac{H}{d_{50}}, \frac{L}{Y}, \frac{LG}{BG}, \frac{H}{h_v}, \frac{V}{V_s}, \frac{A_P}{H^2}, D_v, \theta, C, S\right) = 0 \qquad (۴)$$

جهت بدست آوردن پارامترهای بدون بعد موثر در طول آزمایش‌ها و تحلیل ابعادی، از پارامتر بدون بعد $\frac{L}{Y}$ به دلیل شرایط جریان مستغرق حاکم بر روی عمق آبپایه و با توجه به تعریف و ماهیت امواج منفرد و ارجحیت ارتفاع موج نسبت به طول موج، صرف‌نظر می‌شود. همچنین با بررسی پارمترهای بدون بعد بدست آمده، اعداد بدون بعد معروف مطابق جدول ۱ استخراج گردید. که در ادامه می‌توان عدد فرود (Fr) را با توجه به ماهیت جریان و عدد رینولدز (Re) را به علت کاملا آشفته بودن جریان، از میان پارامترها حذف نمود.

جدول ۱- اعداد بدون بعد معروف استخراج شده

ضریب درگ	$C_d = \frac{F_D}{\rho_w A_P V^2}$
عدد فرود	$Fr = \frac{V}{\sqrt{Hg}}$
عدد رینولدز	$Re = \frac{\rho_w HV}{\mu_w}$
شاخص صلبیت	$J = \frac{\xi E}{\rho V^2}$

درنهایت، با حذف پارامترهای ثابت و اعداد بدون بعد با تاثیر ناچیز در طول آزمایش‌ها، رابطه (۵) برای نیرو حاصل شد.

$$C_d = f_2\left(\frac{H}{H_s}, \frac{V}{V_s}, \frac{LG}{h_v}, \frac{H}{Y}, J, D_v, C\right) \qquad (۵)$$

تحلیل آماری فرمول برآورد ضریب پسا:

به منظور مقایسه و ارزیابی ضریب پسا برآوردی از فرمول تجربی استخراجی و آزمایش‌های پژوهش حاضر، از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، نرمال‌سازی جذر میانگین مربعات خطا (NRMSE)، ضریب کارایی (CE) و ضریب همبستگی (R^2)، به صورت معادلات (۶) تا (۹) استفاده گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\left(\Sigma_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2\right)} \qquad (۶)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{max} - O_{min}} \qquad (۷)$$

$$CE = 1 - \left(\frac{\Sigma_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{\Sigma_{i=1}^{N}(P_i - \overline{O}_m)^2}\right) \qquad (۸)$$

$$R^2 = \frac{\Sigma_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)(P_i - \overline{P}_m)}{(\Sigma_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)^2)^{0.5}(\Sigma_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_m)^2)^{0.5}} \qquad (۹)$$

که O_i مقدار مشاهداتی، P_i مقدار پیش‌بینی شده، N تعداد داده‌های مشاهداتی، $\overline{O}_m$ مقدار میانگین مشاهدات و $\overline{P}_m$ مقدار میانگین پیش‌بینی شده، P_{max} بیش‌ترین مقدار پیش‌بینی شده و P_{min} کم‌ترین مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطای نرمال هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشانگر بالا بودن دقت پیش‌بینی است.. همچنین مقدار ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱ می‌باشد و مقدار ۱ بیان‌کننده پیش‌بینی بدون خطا می‌باشد. دامنه ضریب کارایی از منفی بی‌نهایت (مدل ضعیف) تا ۱ (مدل خوب) می‌باشد. در این پژوهش نیز، به منظور دستیابی به مدل پارامتریک و فرمول تجربی ضریب پسا پوشش از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل آماری SPSS، که می‌توان روش‌ها و آزمون‌های آماری از جمله دستورات سری‌های زمانی، رگرسیون و همبستگی و ... را با دقت و سرعت انجام داد، استفاده گردید.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

در ادامه در جدول ۲ شرح پارامترهای مورد استفاده در آزمایش‌ها و محدوده آن‌ها ارائه گردید.

جدول ۲- معرفی پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش

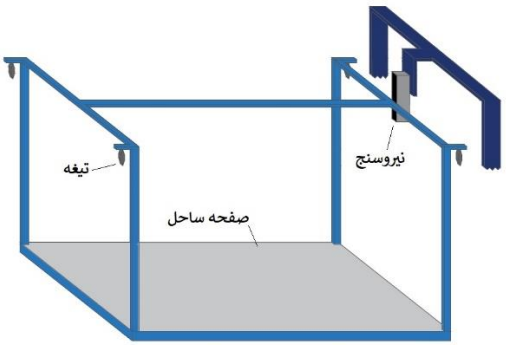
پارامتر متغیر	نماد	واحد	حالت‌های تغییر
نیروی کششی ناشی از امواج	F_D	Kg	مورد بررسی
ارتفاع موج در جلوی ساحل	H	cm	۶، ۹ و ۱۲
ارتفاع موج هنگام عبور از ساحل	H_s	cm	مورد بررسی
سرعت موج هنگام برخورد با ساحل	V	$m.s^{-1}$	۱/۱-۵۲/۳۳
سرعت موج هنگام عبور از ساحل	V_s	$m.s^{-1}$	مورد بررسی
چیدمان پوشش درختی	C	-	مثلثی و مستطیلی
تراکم پوشش درختی	D_v	%	۲۵-۱۰۰
تعداد پوشش درختی در هر چیدمان	n_v	-	۲۰-۵
عرض پوشش درختی	LG	cm	۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵
فواصل بین پوشش در طول و عرض	W*B	cm^2	۱۵×۱۵، ۱۵×۲۰، ۲۰×۱۵، ۲۰×۲۰

تجهیزات آزمایشگاهی:

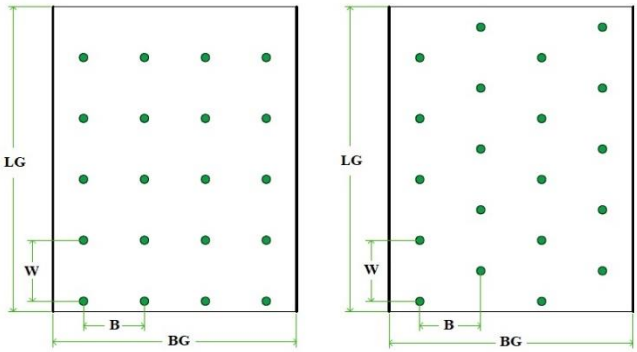
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام گردید. فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۶ متر، ارتفاع دیواره ۰/۶ متر و طول ۲۰ متر به سه قسمت طولی، ۳/۵ متر در پایین دست مدل، ۴/۵ متر مدل (شامل ۱ متر فلوم لبه چاقویی، ۱/۸۴ متر رسوبات ساحل، ۱/۵ متر مخزن تامین هد موج و ۰/۱۶ متر به صورت آزاد) و ۱۲ متر بالادست مدل تقسیم گردید. فلوم دارای کف فلزی و دیواره‌های شیشه‌ای از جنس پلکسی گلاس است. سرعت جریان توسط دستگاه سرعت‌سنج داپلر صوتی (ADV) ثبت گردید. در جلوی قسمت متحرک فلوم نیروسنج الکترونیکی (Load Cell) با قابلیت ثبت حداکثر نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل نصب گردید. لازم به ذکر است چون در این پژوهش بیش‌تر به بررسی تاثیر پوشش درختی پرداخته شد، بنابراین از شیب ثابت و افقی برای ایجاد ساحل، استفاده گردید. در شکل ۱ و ۲، مدل آزمایشگاهی و فلوم لبه چاقویی استفاده شده و در شکل ۳، به عنوان نمونه متراکم‌ترین حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) ارائه شده است.



شکل ۱- نمایی از سیستم صفحه ساحل و تکیه‌گاه لبه چاقویی به همراه پوشش درختی، سیستم دریچه کشویی و وزنه، نیروسنج (Load cell) و نمایشگر الکترونیکی و سرعت‌سنج داپلر صوتی (ADV)



شکل ۲- نمایی سه بعدی از فلوم لبه چاقویی



شکل ۳- نحوه استقرار پوشش در دو حالت مثلثی و مستطیلی

مراحل انجام آزمایش‌ها:

با در نظر گرفتن بخشی از فلوم به طول ۱/۵ متر به عنوان مخزن ایجاد موج و سپس به کمک دریچه کشویی و باز نمودن ناگهانی دریچه، موج‌های مورد بررسی ایجاد گردید. تولید موج در اینجا مبتنی بر ایجاد اختلاف ارتفاع طرفین موج‌ساز دریچه‌ای و باز کردن ناگهانی دریچه می‌باشد. در پاره‌ای از تحقیقات آزمایشگاهی از جمله راتناسوریا و همکاران [۱۵] و قنبری عدیوی و فتحی‌مقدم [۴] از این سیستم برای تولید موج استفاده شده است. در این پژوهش، از سه ارتفاع موج مختلف در هر مرحله آزمایش استفاده گردید. در این

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

پژوهش، با توجه به اینکه عمده رسوبات تشکیل دهنده سواحل از جنس ماسه هستند [۱۰]، بنابراین از ذرات ماسه با قطر متوسط ۰/۳۵ میلی‌متر به عنوان مواد متخلخل رسوبی استفاده گردید. بعد از رسوبات، طولی معادل یک متر از فلوم به صفحه ساحل و سیستم نیرویی لبه چاقویی اختصاص داده شد. لازم به ذکر است ایجاد فلوم لبه چاقویی برای اولین بار توسط لشکرآرا [۱۱] به منظور اندازه‌گیری مستقیم نیرو به روش مومنتم جهت اندازه‌گیری تنش برشی کانال مستطیلی با زبری‌های مختلف انجام شده است. اما در آزمایش‌های پژوهش حاضر مکانیزم لبه چاقویی به شکلی نوین و قابل پیاده کردن در هر فلومی بصورت کاملا آزاد و در شرایط آستانه حرکت با قابلیت نگه داشتن اصطکاک تماسی در حد صفر، مطابق شکل ۱ و ۲ ایجاد شد. با نصب حسگر بار دینامیک بر قاب فلوم لبه چاقویی امکان اندازه‌گیری نیروی وارده از سوی امواج فراهم گردید. مدل ساحل متحرک، با کمک تیغه‌های لبه چاقویی در حالت آستانه حرکت مستقر شده بود و با اندک نیرویی به سمت پایین‌دست سقوط می‌کرد. در چنین شرایطی، حسگر بار دینامیک، به مانند تکیه‌گاهی عامل برقراری تعادل نیرویی بوده و همین مسئله امکان ثبت مقدار نیرو واقعی بیشینه هر موج را فراهم می‌آورد. به منظور تهیه پوشش درختی ساحلی، با در نظر گرفتن پوشش درختی مانگرو جهت شبیه‌سازی در آزمایش‌ها از درختچه‌های مصنوعی پلی‌اتیلنی استفاده گردید. پوشش درختی ساحلی مورد استفاده دارای یک ساختار سخت شامل سیستم تنه به قطر ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و ریشه به قطر ۱ سانتی‌متر و ساختار نرم شامل شاخه و برگ می‌باشد که در قسمت متحرک فلوم بر روی ساحل مستقر گردید. آرایش پوشش به لحاظ ایجاد تراکم کشت، نیز مورد مطالعه و آزمایش می‌باشد. شاخص آن پارامتری تحت عنوان درصد تراکم پوشش بوده و به صورت خارج قسمت سطح سایه انداز درختان به مساحت زمین محصور شده پوشش قابل تعریف می‌باشد. جهت محاسبه پارامتر تراکم، درختچه‌های مصنوعی همگی هم‌شکل بوده و شرایط هندسی یکسانی داشتند. سه عدد از آنها انتخاب شده و متوسط بیش‌ترین عرض شاخ و برگ‌ها، عمود بر راستای ارتفاع پوشش اندازه‌گیری شد. عکس‌برداری از پوشش‌های درختی انتخابی از نمای بالای پوشش صورت گرفته و با انتقال تصویر هر پوشش در نرم‌افزار اتوکد، متوسط بیش‌ترین عرض شاخ و برگ‌های عمود بر راستای ارتفاع پوشش در نرم‌افزار نیز اندازه‌گیری شد، بنابراین مقیاس مدل پوشش در نرم‌افزار حاصل گردید. سپس متوسط سطح سایه‌انداز پوشش‌های درختی بر اساس مقیاس، به کمک نرم‌افزار اندازه‌گیری شد. بنابراین با داشتن اطلاعاتی همچون سطح سایه‌انداز پوشش و تعداد پوشش در هر مرحله آزمایش، از خارج‌قسمت سطح سایه‌انداز پوشش در تعداد درخت به مساحت زمین مورد بررسی، تراکم پوشش حاصل گردید. در این پژوهش، آزمایش‌ها ابتدا به صورت بدون پوشش و سپس با نصب پوشش درختی بر روی ساحل با آرایش مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور استخراج اطلاعات لازم جهت تحلیل لندرکنش امواج و پوشش درختی ساحلی از دوربین فیلم‌برداری استفاده گردید. به نحوی که با نصب اشل‌هایی بر دیواره کانال و نصب دوربین فیلم‌برداری با سرعت برداشت تعداد ۳۰ فریم بر ثانیه در مقابل دیواره کانال و در محدوده مورد بررسی به ضبط آزمایش‌ها اقدام گردید. سپس با تبدیل فیلم به تعداد فریم‌های آن با استفاده از نرم‌افزار پخش فیلم، امکان استخراج اطلاعاتی همچون ارتفاع موج در هر نقطه، تعیین محل شکست موج، تعیین زاویه موج، سرعت پیش‌روی موج، سرعت موج هنگام برخورد به ساحل و سرعت موج هنگام عبور از ساحل فراهم گردید. محل نصب اشل‌ها، بر اساس اطلاعات بدست آمده از فاصله تشکیل موج از دریچه موج‌ساز، خزش و شکست آن در آزمایش‌های مشاهداتی در نظر گرفته شد. سرعت پیش‌روی موج نیز بر اساس مطالعات محمد [۱۲]، معادل خارج قسمت فاصله مکانی بین محل دو اشل بر اختلاف زمانی فریم‌های مربوط به رسیدن ماکزیمم رقوم سطح آب به محل اشل‌ها در نظر گرفته شد. ماکزیمم رقوم سطح آب قبل از شکست و پاشش موج معادل رقوم قله موج و بعد از شکست معادل ارتفاع اشتراک با توده پوشش می‌باشد. لازم به ذکر است از دستگاه سرعت سنج داپلر صوتی (ADV) با دقت اندازه‌گیری برابر ۰/۵ درصد نیز جهت اندازه‌گیری مولفه‌های سرعت، استفاده گردید. جهت برآورد پارامتر انعطاف‌پذیری شاخه‌های پوشش، از پارامتری به نام شاخص درختی استفاده گردید که در مطالعات فتحی‌مقدم [۱] به منظور بررسی جذب مومنتم پوشش‌های درختی انعطاف‌پذیر غیرمستغرق در رودخانه‌ها، ارائه شده است:

$$\xi E = Nf_1^2 \left(\frac{m_s}{h_2}\right) \qquad (۱۰)$$

که در آن، ξE شاخص درختی، Nf_1^2 مجذور رزونانس فرکانسی مود اول، m_s جرم، h_2 ارتفاع پوشش درختی بر حسب واحدهای استاندارد می‌باشد. در پژوهش حاضر، درختچه‌های مصنوعی همگی هم‌شکل بوده و شرایط هندسی یکسانی داشتند، دو عدد از آنها انتخاب شده و جهت تخمین شاخص درختی، مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور اندازه‌گیری رزونانس فرکانس مود اول، با محاسبه تعداد نوسان نمونه درختی در بازه زمانی مشخص در اثر نیروهای مختلف وارد شده بر آن و ترسیم نمودار این نوسانات به ازای نیروهای مختلف رفتار نمونه درختی تعیین گردید. سپس مقدار رزونانس فرکانسی متناسب با میزان نیرو حاصل شد. جرم هر درخت نیز با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی به دقت ۰/۰۰۱ کیلوگرم اندازه‌گیری شد. ارتفاع تمام درختان نیز ۰/۲۵ متر بوده است. بدین ترتیب متوسط شاخص درختی اندازه‌گیری شده معادل

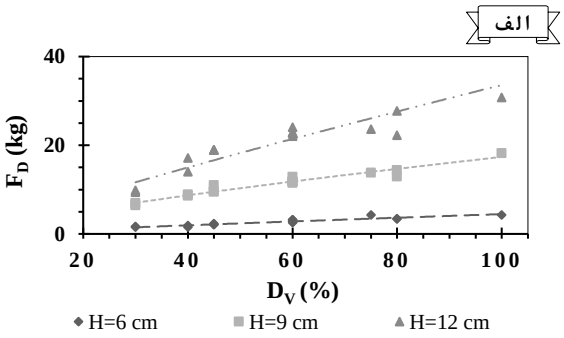
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

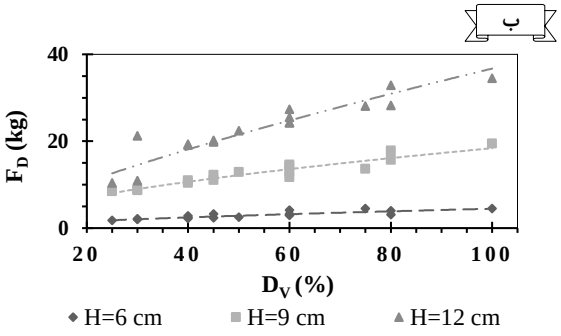
۶/۵ نیوتن بر مترمربع بدست آمده است. در ادامه جهت محاسبه سطح جاذب نیرو، با داشتن اطلاعاتی همچون ارتفاع پوشش و ارتفاع موج در لحظه برخورد به هر ردیف پوشش، عکس‌برداری از پوشش درختی صورت گرفته و با کمک نرم افزار اتوکد، سطح پوشش به صورت چند ضلعی از روی عکس رسم گردید و به تناسب با ارتفاع معلوم پوشش (۰/۲۵ متر)، به ۲۵ قسمت مساوی در راستای محور قائم پوشش تقسیم گردید. بنابراین به ازای هر ارتفاع موج در لحظه برخورد به پوشش، سطح پوشش درختی (A_0) به صورت تجمعی در نرم افزار حاصل شد. اما به دلیل اینکه بدنه امواج ورودی با همه شاخ و برگ پوشش درختی در تعامل است، بنابراین سطح جاذب نیرو پوشش درختی (A)، از حاصل‌ضرب سطح پوشش درختی که در هنگام برخورد موج با آب پوشیده شده (A_0) در ضریب مساحت (φ) بدست می‌آید. که مقدار این ضریب طبق مطالعات معتمدی‌نژاد و فتحی‌مقدم [۱۴] با فرض متقارن بودن شاخ و برگ‌های پوشش نسبت به محور گذرنده از محور قائم و افقی بدنه ساقه پوشش، ۰/۲۵ حاصل شد. در نهایت با در نظر داشتن تعداد پوشش در هر ردیف و جمع سطح جاذب نیرو هر ردیف و سپس جمع سطح جاذب تمام ردیف‌ها (ΣA)، سطح موثر جاذب نیرو (A_P) بدست آمد.

۳ – نتایج و بحث

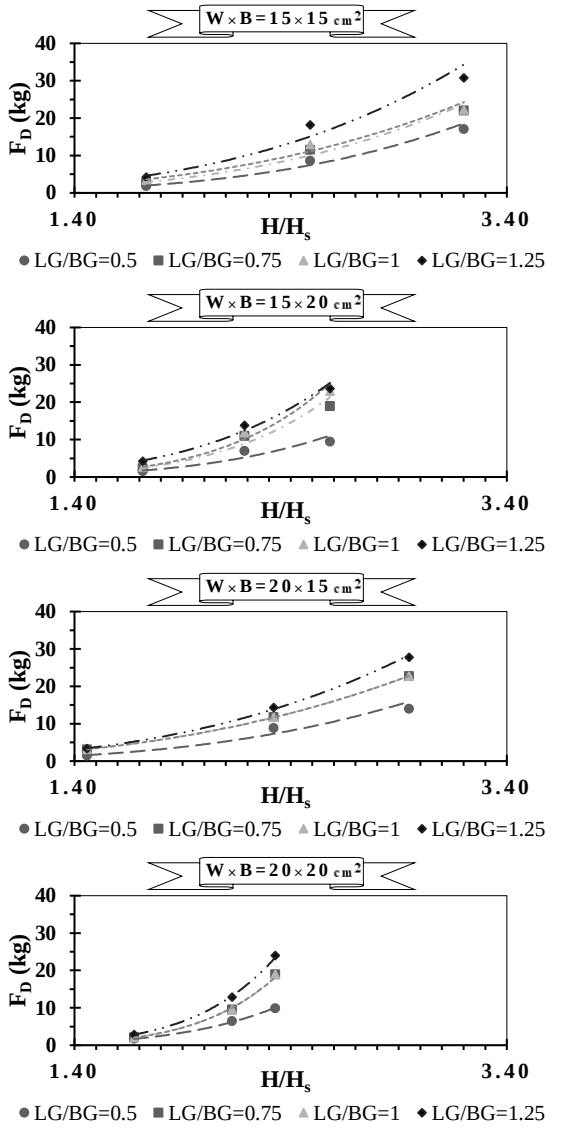
تاثیر پوشش درختی بر استهلاک نیرو و میرایی امواج دریا در ساحل:

در شکل‌های ۴ الی ۸ بیش‌ترین میزان استهلاک در نیروی مخرب امواج (F_D) (کیلوگرم) در شرایط حضور پوشش، نسبت ارتفاع موج قبل از پوشش به ارتفاع موج بعد از پوشش ($\frac{H}{H_s}$)، نسبت سرعت موج قبل از پوشش به سرعت موج بعد از پوشش ($\frac{V}{V_s}$)، تراکم‌های مختلف پوشش (D_V) (درصد) از جمله فواصل طولی در عرضی (W×B)، چیدمان (C) و نسبت عرض به طول پوشش ($\frac{LG}{BG}$)، ارائه شده است.



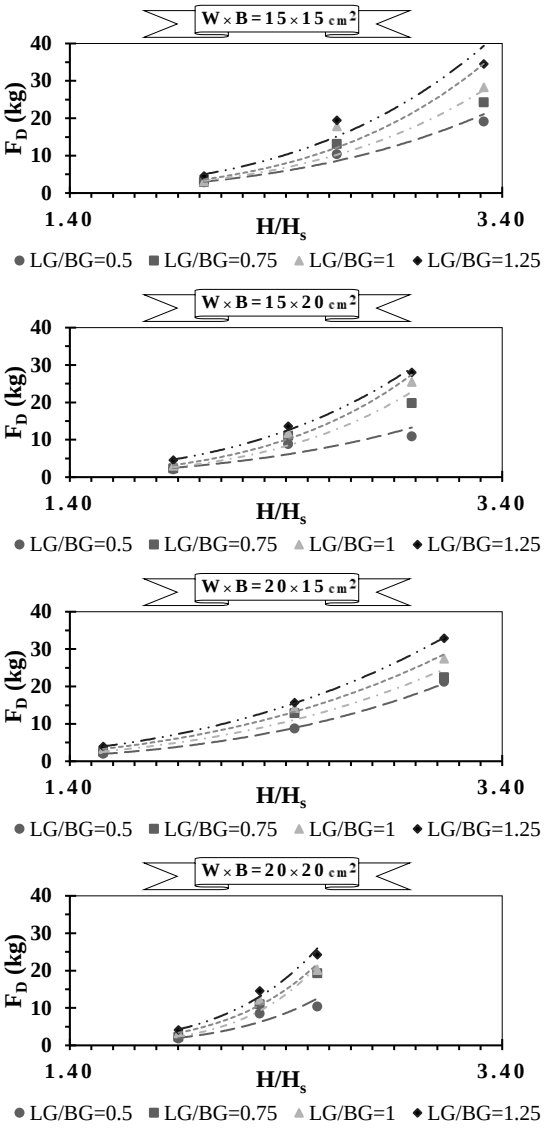


شکل ۴- (الف: مستطیلی، ب: مثلثی) نیرو کششی بر حسب تراکم پوشش

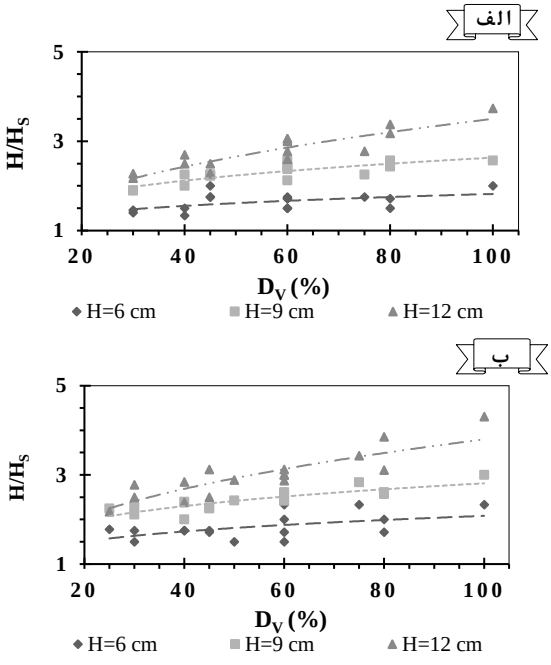


شکل ۵- نیرو کششی بر حسب نسبت ارتفاع موج قبل از پوشش به ارتفاع موج بعد از پوشش، در چیدمان مستطیلی با فواصل مختلف پوشش

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]



شکل ۶- نیرو کششی بر حسب نسبت ارتفاع موج قبل از پوشش به ارتفاع موج بعد از پوشش، در چیدمان مثلثی با فواصل مختلف پوشش

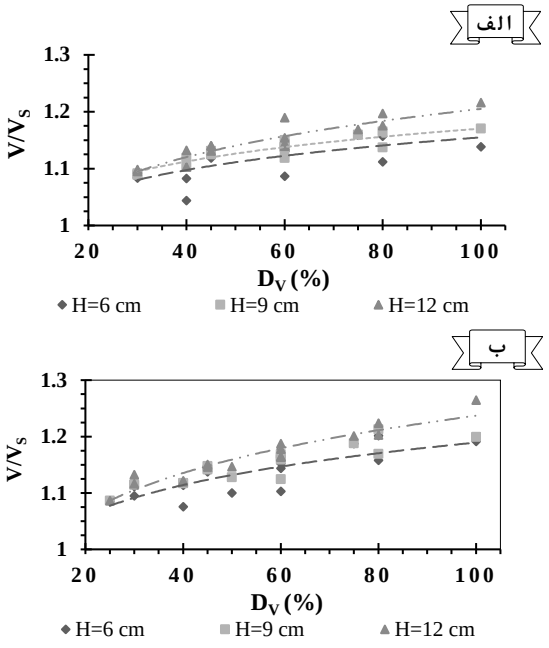


شکل ۷- (الف: مستطیلی، ب: مثلثی) نسبت ارتفاع موج قبل از پوشش به ارتفاع موج بعد از پوشش بر حسب تراکم پوشش

با توجه به شکل‌های ۴ الی ۷ ملاحظه می‌گردد، تراکم پوشش که خود به‌طور کلی متاثر از نحوه قرارگیری فواصل طولی در عرضی، چیدمان و عرض‌های مختلف پوشش می‌باشد، تاثیر قابل توجهی بر جذب و استهلاک نیروی موج دارد. به ازای یک ارتفاع موج و با افزایش تراکم، به دلیل این که موج به تعداد پوشش درختی بیش‌تری برخورد کرده، نیرو کششی افزایش یافته و فشار زیادی به پوشش وارد می‌شود در نتیجه منجر به برآمدگی بیش‌تر قله موج در حین برخورد به پوشش نسبت به قله موج در تراکم‌های کم‌تر خواهد شد. اما به دلیل این که تعداد پوشش درختی بیش‌تر مقاومت زیادتری را نیز در حین عبور موج از خود نشان می‌دهد، نیروی محرک موج صرف مقابله با کشش ناشی از درختان می‌گردد، نیروی موج کاهش می‌یابد و باعث می‌شود موج حین عبور از پوشش کاهش ارتفاع بیش‌تری داشته باشد. به‌طوری که در کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم یعنی ۲۵ و ۱۰۰ درصد به‌طور متوسط معادل ۴۹/۱۹ و ۸۱/۱۷ درصد استهلاک نیروی مخرب موج و ۹۰/۷۴ و ۹۳/۰۴ درصد کاهش ارتفاع موج نسبت به شرایط بدون حضور پوشش ثبت گردید. در خصوص تغییرات ارتفاع موج بر عملکرد پوشش درختی این نکته حائز اهمیت می‌باشد که متناسب با افزایش ارتفاع موج ورودی نیروی اعمال شده بر روی پوشش نیز افزایش می‌یابد. زیرا موج ایجاد شده با ارتفاع بیش‌تر تعداد درخت و سطح برخورد وسیع‌تری را دربر می‌گیرد، بنابراین تاثیر چیدمان و عرض پوشش بارزتر شده و کارایی این موانع در جذب و استهلاک نیروی امواج به صورت نسبی بیش‌تر می‌گردد. به‌طور متوسط بیش‌ترین نرخ تغییرات نیروی جذب شده نسبت به حالت بدون حضور پوشش در اثر افزایش ارتفاع موج در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) و چیدمان مثلثی، معادل ۷۹/۳۹ درصد برآورد گردید، یعنی عامل کاهنده‌ی نیرو در اثر افزایش ارتفاع موج رشد ۷۹/۳۹ درصدی را از خود نشان داده است. در تراکم‌های مختلف پوشش، حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) بیش‌تر از دیگر حالت‌ها نیرو جذب و مستهلک نموده است. به‌طور متوسط این حالت از پوشش به ترتیب ۷، ۱۹/۳۹ و ۲۵/۳۷ درصد بیش‌تر از دیگر حلت‌های پوشش با فواصل ۱۵×۲۰، ۲۰×۱۵ و ۲۰×۲۰ (سانتی‌متر مربع) کارایی داشته و نیروی امواج را مستهلک نموده است. بنابراین حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) بیش‌ترین میرایی موج را نسبت به دیگر حالت‌های پوشش با فواصل مختلف دارا می‌باشد. به‌طور متوسط این حالت از پوشش به ترتیب ۱۰/۳۴، ۱۲/۲۶ و ۱۵/۹۰ درصد بیش‌تر از دیگر حلت‌های پوشش با فواصل ۱۵×۲۰، ۲۰×۱۵ و ۲۰×۲۰ (سانتی‌متر مربع)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

کارایی داشته و ارتفاع امواج را کاهش می‌دهد. همچنین این حالت از پوشش به‌طور متوسط ۷۵ و ۹۲/۳۴ درصد نسبت به شرایط بدون پوشش کارایی داشته و به ترتیب نیرو و ارتفاع موج را جذب و مستهلک نموده است. از این رو می‌توان بیان داشت که با افزایش فواصل حالت‌های مختلف پوشش از ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) به ترتیب به دیگر حالت‌های پوشش ذکر شده به دلیل کاسته شدن از تراکم پوشش و سطح مقطع مقابل جریان، مقاومت در مقابل جریان کم‌تر می‌گردد و نیرو و ارتفاع موج کم‌تری جذب و مستهلک می‌گردد. از طرفی با توجه به روند نتایج و کاهش مقاومت با افزایش فواصل مختلف پوشش می‌توان بیان داشت که در واقع این افزایش فاصله بین دو پوشش در راستای طول پوشش درختی (BG) است که باعث کاهش مقاومت پوشش در مقابل جریان می‌شود. همچنین با مقایسه دو چیدمان ملاحظه می‌شود که چیدمان مثلثی به دلیل نحوه قرارگیری درختان به صورت یک در میان و داشتن سطح برخورد موثر مقابل موج بیش‌تر از چیدمان مستطیلی، دارای مقاومت و کارایی بیش‌تری در مقابل جریان می‌باشد، به طور متوسط در تمام حالت‌های پوشش با فواصل مختلف به ترتیب ۱۱/۲۲ و ۴/۲۶ درصد نیروی مخرب و ارتفاع امواج را بیش‌تر از چیدمان مستطیلی جذب و مستهلک نموده است. همچنین با افزایش عرض پوشش و یا به عبارتی دیگر با افزایش نسبت عرض به طول پوشش نیز به دلیل این که تعداد ردیف بیش‌تری در مقابل جریان قرار می‌گیرد، بر مقاومت پوشش در مقابل جریان افزوده می‌شود و نیرو و در نتیجه ارتفاع بیش‌تری از امواج جذب و مستهلک می‌گردد. به‌طور متوسط نرخ تغییرات نیروی جذب شده و نرخ کاهش ارتفاع موج، در اثر افزایش عرض در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) و چیدمان مثلثی، به ترتیب معادل ۱۹/۳۵ و ۶/۴۹ درصد ثبت گردید، یعنی عامل کاهنده‌ی نیرو و میرایی موج در اثر افزایش عرض به ترتیب رشد ۱۹/۳۵ و ۶/۴۹ درصدی را خود نشان داده است.



شکل ۸- (الف: مستطیلی، ب: مثلثی) نسبت سرعت موج قبل از پوشش به سرعت موج بعد از پوشش بر حسب تراکم پوشش

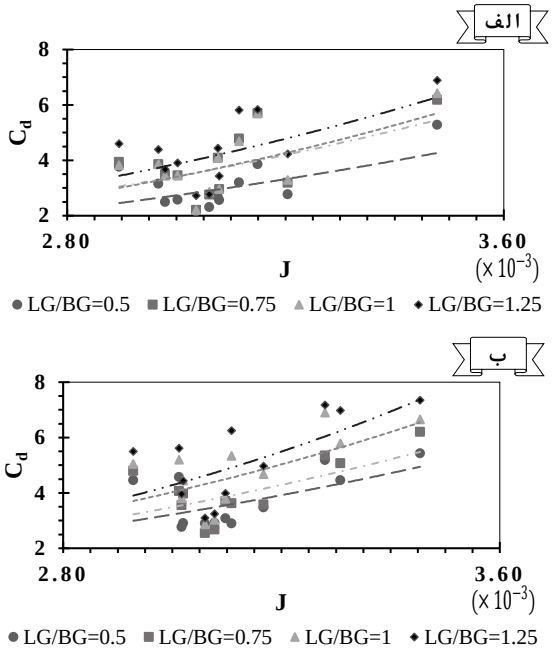
باتوجه به شکل ۸ ملاحظه می‌گردد که به ازای یک ارتفاع موج، با افزایش تراکم و در نتیجه با افزوده شدن مقاومت پوشش در مقابل جریان، از میزان سرعت امواج در حین عبور از پوشش کاسته می‌شود. به طوری که این میزان کاهش سرعت موج نسبت به سرعت اولیه موج به طور متوسط در کم‌ترین و بیش‌ترین تراکم یعنی ۲۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب معادل ۷/۹۱ و ۱۶/۴۲ درصد ثبت گردید. در تراکم‌های مختلف پوشش، حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) بیش‌ترین نسبت سرعت موج هنگام برخورد به ساحل (قبل از پوشش) به سرعت موج هنگام عبور از ساحل (بعد از پوشش) در مقایسه با دیگر حالت‌های پوشش با فواصل مختلف را دارا می‌باشد. این میزان نسبت سرعت به طور متوسط معادل ۰/۴۷، ۰/۶۴ و ۲/۰۵ درصد بیش‌تر از دیگر نسبت‌های سرعت، به ترتیب در حالت‌های پوشش با فواصل ۱۵×۱۵، ۲۰×۱۵ و ۲۰×۲۰ (سانتی‌متر مربع) ثبت گردید. به عبارتی دیگر در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) به ترتیب ۱/۸۲، ۲/۸۸ و ۱۲ درصد بیش‌تر از دیگر حالت‌های پوشش با فواصل ذکر شده کارایی داشته و سرعت موج کاهش یافت. همچنین با مقایسه دو چیدمان ملاحظه می‌شود که چیدمان مثلثی دارای مقاومت بیش‌تری در مقابل جریان می‌باشد، به طوری که در تمام حالت‌های پوشش با فواصل مختلف به طور متوسط ۸/۶۵ درصد بیش‌تر از چیدمان مستطیلی کارایی داشته و سرعت جریان کاهش یافت. همچنین با افزایش عرض و یا به عبارتی دیگر با افزایش نسبت عرض به طول پوشش نیز همواره بر مقاومت پوشش درمقابل جریان افزوده می‌شود، به‌طور متوسط نرخ کاهش سرعت موج، در

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

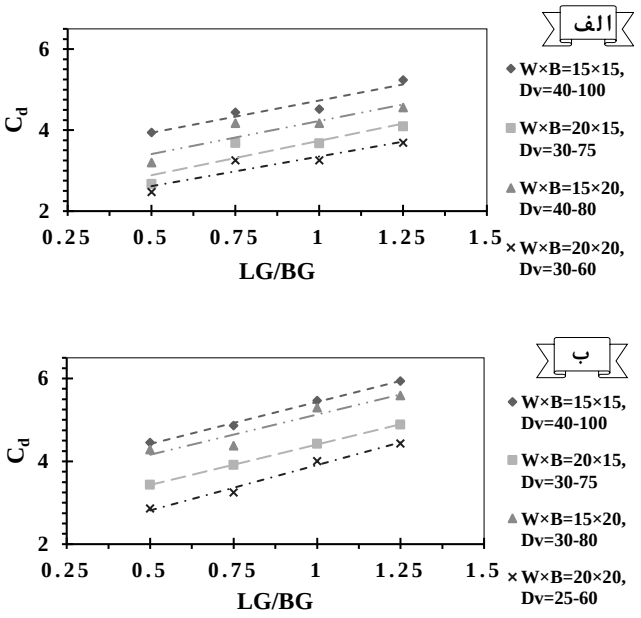
اثر افزایش عرض در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) و چیدمان مثلثی، معادل ۱۹/۷۶ درصد ثبت گردید، یعنی عامل میرایی موج در اثر افزایش عرض رشد ۱۹/۷۶ درصدی را خود نشان داده است.

ضریب پسا:

در این پژوهش با استفاده از روش آزمایشگاهی و با اندازه‌گیری مستقیم نیرو به تخمین ضریب پسا بر اساس رابطه (۳) اقدام شده است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ نتایج ضریب پسا (C_d) بر اساس شاخص صلبیت (J) و تراکم‌های مختلف پوشش (D_v) (درصد) از جمله فواصل طولی در عرضی (W×B)، چیدمان (C) و نسبت عرض به طول پوشش ($\frac{LG}{BG}$)، ارائه شده است. با توجه به شکل ۹ ملاحظه می‌گردد که به ازای یک نسبت عرض به طول پوشش و چیدمان، با افزایش پارامتر بدون بعد شاخص صلبیت، ضریب پسا نیز افزایش می‌یابد. با توجه به حاصل شدن مقداری ثابت برای شاخص درختی و دانسیته جرمی ثابت سیال در پارامتر بدون بعد شاخص صلبیت می‌توان بیان داشت که در واقع این کاهش سرعت موج عبوری می‌باشد که منجر به کاهش ضریب پسا می‌گردد. بنابراین روند تغییرات ضریب پسا با سرعت جریان بر اساس رابطه (۳) و منطبق بر واقعیت می‌باشد که این به خوبی صحت نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد.



شکل ۹- (الف: مستطیلی، ب: مثلثی) روند تغییرات ضریب پسا با شاخص صلبیت



شکل ۱۰- (الف: مستطیلی، ب: مثلثی) تأثیر افزایش عرض بر میزان ضریب پسا گروهی

با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد که در تراکم‌های مختلف پوشش، حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) بیش‌ترین میزان ضریب پسا در مقایسه با دیگر حالت‌های پوشش با فواصل مختلف را دارا می‌باشد. این میزان ضریب پسا به‌طور متوسط معادل ۸/۲۸، ۲۰/۸۵ و ۲۹/۹۵ درصد بیش‌تر از دیگر ضرایب کشش، به ترتیب در حالت‌های پوشش با فواصل ۱۵×۲۰، ۲۰×۱۵ و ۲۰×۲۰ (سانتی‌متر مربع) ثبت گردید. همچنین با مقایسه دو چیدمان ملاحظه می‌شود که چیدمان مثلثی دارای میزان ضریب پسا بیش‌تری می‌باشد، به‌طوری که این میزان ضریب پسا در تمام حالت‌های پوشش با فواصل مختلف به‌طور متوسط ۱۴/۶۹ درصد بیش‌تر از چیدمان مستطیلی ثبت گردید. همچنین با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می‌گردد که به ازای یک حالت از فواصل طولی در عرضی، با افزایش عرض پوشش و یا به عبارت دیگر افزایش نسبت عرض به طول پوشش درختی و تعداد ردیف‌ها و تراکم پوشش بیش‌تر در مقابل جریان، میزان ضریب پسا گروهی درختان نیز افزایش می‌یابد. به‌طور متوسط نرخ تغییرات ضریب پسا، در اثر افزایش عرض در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع) و چیدمان مثلثی، معادل ۹/۵۹ درصد ثبت گردید، یعنی عامل افزایش مقاومت پوشش در مقابل جریان در اثر افزایش عرض رشد ۹/۵۹ درصدی را خود نشان داده است. همچنین به‌طور متوسط میزان تغییرات ضریب پسا در حالت پوشش با فواصل ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع)، در اثر بیش‌ترین افزایش عرض (از ۳ ردیف به ۱۰ ردیف و تراکم ۴۰ به ۱۰۰ درصد) در چیدمان مثلثی، معادل ۲۵/۰۸ درصد ثبت گردید. یعنی عامل افزایش ضریب پسا و مقاومت پوشش در مقابل جریان در اثر افزایش عرض رشد ۲۵/۰۸ درصدی را از

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

خود نشان داده است و ضریب پسا از ۴/۴۵ به ۵/۹۴ رسیده است. همچنین در بیش‌ترین افزایش عرض (از ۲ ردیف به ۵ ردیف و تراکم ۴۰ به ۱۰۰ درصد) در چیدمان مستطیلی، بیش‌ترین مقدار در افزایش ضریب پسا معادل ۲۴/۷۷ درصد برآورد شده است، یعنی عامل افزایش ضریب پسا و مقاومت پوشش در مقابل جریان در اثر افزایش عرض رشد ۲۴/۷۷ درصدی را از خود نشان داده است و ضریب پسا از ۳/۹۴ به ۵/۲۴ رسیده است.

معادله استخراج شده جهت برآورد ضریب پسا:

به منظور ارزیابی نحوه اثر پارامترهای بدون بعد بدست آمده در تحلیل ابعادی بر روی نحوه تغییرات ضریب درگ، ضرایب این پارامترها در معادله (۵) بر اساس داده‌های ثبت شده و انجام تحلیل ریاضی در نرم‌افزار SPSS، مشخص گردید. معادله (۱۱) تأثیر پارامترهای مورد آزمایش در مقدار ضریب درگ را نشان می‌دهد. همچنین آماره‌های ارزیابی و مقایسه این معادله با نتایج آزمایشگاهی در جدول ۳ ارائه شده است.

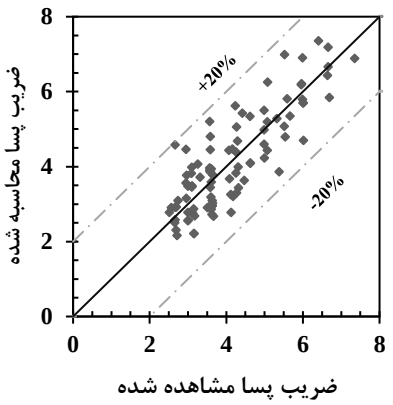
$$C_D = 3.051(D_v)^{1.2} + 0.362(J)^{-0.285} + 0.538\left(\frac{Y}{H}\right)^3 \qquad (11)$$

که در آن C_D ضریب پسا، D_v تراکم پوشش گیاهی، J شاخص صلبیت (خارج قسمت شاخص گیاهی به دانسیته جرمی سیال در مربع سرعت موج ($\frac{\xi E}{\rho_w V^2}$)) و $\frac{Y}{H}$ نسبت بدون بعد عمق آبپایه به ارتفاع موج ورودی می‌باشد.

جدول ۳- آماره‌های ارزیابی فرمول برآورد ضریب پسا

آماره	R^2	CE	NRMSE
مقدار آماره	۰/۸۴	۰/۶۵	۰/۱۴

داده‌های محاسبه شده از طریق معادله (۱۱) از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد و مقدار ضریب پسا نزدیک به واقعیت پیش‌بینی می‌شود، به‌طوری که این فرمول دارای ضریب همبستگی و ضریب کارایی نزدیک به ۱ (مدل خوب) و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال نزدیک به صفر می‌باشد. همچنین در شکل ۱۱ مقدار ضریب پسا محاسبه شده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (محور افقی) و مقدار ضریب پسا محاسبه شده از رابطه (۱۱) (محور قائم) با هم مقایسه شده‌اند. پراکندگی نقاط نسبت به خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد که مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند.



شکل ۱۱- مقایسه بین ضریب پسا مشاهده شده و محاسبه شده از رابطه (۱۱)

۴ – نتیجه‌گیری

از مجموع بحث و نتایج ذکر شده در رابطه با بررسی تاثیر تراکم‌های مختلف پوشش درختی ساحلی بر جنبه‌های تضعیف موج، نتیجه می‌شود که به‌طور متوسط تغییر حالت‌های مختلف تراکم پوشش از جمله کاهش فواصل طولی در عرضی از حالت ۲۰×۲۰ به ۲۰×۱۵، ۱۵×۲۰ و ۱۵×۱۵ (سانتی‌متر مربع)، تبدیل چیدمان مستطیلی به مثلثی و افزایش عرض یا نسبت عرض به طول پوشش به ترتیب منجر به افزایش ۱۹/۶۹، ۱۴/۶۹ و ۱۱/۲۰ درصدی ضریب پسا و مقاومت پوشش در مقابل جریان، افزایش ۱۷/۲۵، ۱۱/۲۱ و ۲۱/۴۰ درصدی در جذب و استهلاک نیرو، افزایش ۱۲/۸۴، ۴/۲۶ و ۵/۴۸ درصدی در میرایی ارتفاع موج و افزایش ۵/۵۹، ۸/۶۵ و ۱۵/۶۷ درصدی در میرایی سرعت موج می‌گردد. همچنین نتیجه می‌شود که به‌طور متوسط افزایش ارتفاع موج ورودی منجر به افزایش ۷۴/۰۶ درصدی در جذب و استهلاک نیروی اعمال شده بر روی پوشش، نسبت به شرایط عدم حضور پوشش می‌گردد. در نهایت با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به‌طور کلی نتیجه می‌شود که وجود پوشش درختی منجر به استهلاک ۷۱/۲۸ درصدی نیروی مخرب موج و افزایش ۹۱/۵۲ درصدی میرایی موج نسبت به شرایط عدم حضور پوشش می‌گردد.

۵ –تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت دانشگاه شهرکرد انجام شده است که بدین وسیله قدردان این همیاری می‌باشیم.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]

۶ - مراجع

1.Fathi-Moghadam, M., (1996), *Momentum absorption in non-rigid, non-submerged, tall vegetation along rivers*. PhD Thesis, University of Waterloo, Canada, p. 25-85.

2.Furukawa, K., Wolanski, E. and Mueller, H., (1997), *Currents and sediment transport in mangrove forests*. Estuarine and Coastal Shelf Science, 44(3), p. 301-310.

3.Ghanbari Adivi, E., Fathi Moghadam, M. and Sadari Nasab, M., (2015), *Laboratory Study of Green Belt Effect on Reduction of Wave Force on Sloping Shore*, Water and soil science journal, 25(2), p. 237-248. (In Persian)

4.Ghanbari Adivi, E. and Fathi Moghadam, M., (2015), *Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves*, Irrigation science and Engineering journal, 38(2), p. 103-112. (In Persian)

5.Hashemi Javan, S., (2007), *Numerical Simulation of the Wave Fracture Phenomenon on Submerged Breakwater*, Master thesis, Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering Tehran, Tehran University of Science and Technology, 116 pages. (In Persian)

6.Hunsaker, J.C. and Rightmire, B.G., (1947), *Engineering applications of mechanics*, Published by Mcgraw-Hill Book Company, New York.

7.Husrin, S., Strusinska, A. and Oumeraci, H., (2012), *Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest*, Earth Planets Space Journal, Vol. 64, p. 973- 989.

8.Kathiresan, K. and Rajendran, N., (2005), *Coastal mangrove forests mitigated tsunami*, Estuarine, Coastal and Shelf Sciences, 67(3), p. 601–606.

9. Kongko, W., (2004), *Study on tsunami energy dissipation in mangrove forest*, Master Thesis Report, Iwate University, Japan, 43 pages.

10.Lahijani, H., Hayeri Ardakani, A., Sharifi, A. and Naderi Nabi, A., (2010), *Geochemical and Sedimentary Indices of Gorgan Gulf Sediments*, Oceanography, first year, No. 1, p. 45-55. (In Persian)

11.Lashkar-ara, B., (2010), *Determination of shear stress in rectangular channel using momentum and energy approaches*, PhD. Thesis, Shahid Chamran university of Ahwaz, Iran, p. 52- 62. (In Persian)

12.Mohamed, A., (2008), *Characterization of tsunami-like bores in support of loading on structures*. M.Sc Thesis, University of Hawaii, 93 pages.

13.Morison, J.R et al., (1950), *The Force Exerted by Surface Waves on Piles*. American Institute of Mining & Metallurgical Engineerings, Vol. 189, P.147-154.

14.Motamedi Nezhad, A. and Fathi Moghadam, M., (2016), *Effect of Tall Coastal Vegetation on Reduction of Semi-broken Wave Force*, Master thesis, Hydraulic Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, 161 pages. (In Persian)

15.Ratnasooriya, S.P., Samarawichrama, S.S.L., Hettiarachchi Banadara, R.P.S.S. and Tanaka, N., (2008), *Mitigation of tsunami by coastal vegetation*, Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, p. 13-19.

16.Zarei, M., Fathi Moghadam, M. and Davoodi, L., (2016), *Effect of Coastal Vegetation on Attenuation of non-Breaking Solitary Wave Force in Sloping Coast Lines*, Journal of Irrigation and Water Engineering, 6(26), p. 62-77. (In Persian)

17.Zegao, Y., Xiaoyu, Y., Yuanzhao, X., Meiling, D. and Haixiang, L., (2017), *Experimental wave attenuation study over flexible plants on a submerged slope*, Journal Ocean Univercity, China, 16(6), p. 1009-1017.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.2.3]

[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.9]