

## مطالعه آزمایشگاهی اثر کمربند سبز بر کاهش نیروی موج در سواحل شیبدار

الهام قنبری عدیوی<sup>۱\*</sup>، منوچهر فتحی مقدم<sup>۲</sup>، مسعود صدیقی نسب<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۰۴

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۲</sup> استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> استاد گروه فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Elhamgh44@Gmail.com

### چکیده

در این پژوهش تأثیر کمربند سبز ساحلی (پوشش درختی) در جذب نیرو، کاهش ارتفاع امواج برخوردی به ساحل و توانایی آن در استهلاک انرژی امواج مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها به ازای دو چیدمان درختی مستطیلی و مثلثی با فواصل طولی ۵×۵ و ۱۰×۱۰ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، قطر ثابت ۲ سانتی‌متر و ۳ نسبت قطر به عرض پوشش با اندازه‌های  $\frac{2}{1}$ ،  $\frac{2}{3}$  و  $\frac{2}{4}$  همچنین ۵ شیب ساحل؛ ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد و ۵ نسبت قطر به ارتفاع موج  $\frac{2}{3}$ ،  $\frac{2}{4}$ ،  $\frac{2}{5}$  و  $\frac{2}{6}$  انجام گردید. فشارهای دینامیکی در چند نقطه از مدل ساحل به وسیله ترانسیدوسر برداشت گردید. نیروی موج به ساحل به روش مستقیم و با استفاده از نیروسنج الکترونیکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که، پوشش درختی تأثیر قابل توجهی در کاهش نیروی امواج دارد. در حالت مثلثی با نسبت قطر به عرض پوشش  $\frac{2}{3}$  و چیدمان ۵×۵ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، به ازای تمام شیب‌ها بیشترین کاهش نیرو و ارتفاع موج مشاهده شده است. در هر دو چیدمان پوشش مثلثی و مستطیلی به‌طور کلی نیروی جذب‌شده در حالت ۵×۵ بیشتر از حالت ۱۰×۱۰ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، درختان است. متوسط نیروی مستهلک‌شده از امواج در چیدمان ۵×۵ با چیدمان مستطیلی  $\frac{1}{4}$  برابر نیرو در چیدمان ۱۰×۱۰ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، برآورد گردید و این میزان برای چیدمان مثلثی،  $\frac{1}{3}$  برابر به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، کمربند سبز، ساحل، موج، نیرو

## Laboratory Study of Green Belt Effect on Reduction of Wave Force on Sloping Shore

E Ghanbari Adivi<sup>1\*</sup>, M Fathi Moghadam<sup>2</sup>, M Sadari Nasab<sup>3</sup>

Received: 6 January 2014 Accepted: 26 August 2014

<sup>1</sup>- Ph.D. Student, Dept. of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran Univ. of Ahwaz, Iran

<sup>2</sup>- Prof., Dept. of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sci. Engin., Shahid Chamran Univ. of Ahwaz, Iran

<sup>3</sup>- Prof., Dept. of Physical Oceanography, Marine Science and Technology, Univ., Khoramshahr, Iran

\*Corresponding Author, Email: Elhamgh44@gmail.com

### Abstract

In this study the effect of the shore green belt on reduction of wave height and energy of the attacking waves has been studied. Experiments were conducted for two patterns of rectangular and triangular arrangements with spacings of  $5 \times 5$  and  $10 \times 10$  (cm $\times$ cm), 3 ratios of the diameter to width; 2/10, 2/30 and 2/40, 5 shore slopes of 0, 3, 5, 7 and 10% and 5 ratios of diameter to wave heights 4/3, 2/3, 2/4, 2/6 and 2/8. The dynamic pressure was measured at several points of the shore model by a pressures transducer. The absorbed wave force by the green belt was measured directly by a system of load cell. Results showed a considerable effect of green belt on reduction of the wave height and energy. For all of the shore slopes, the maximum values of momentum absorption and wave height reduction were obtained in the  $5 \times 5$  (cm $\times$ cm) triangular pattern with ratio of the diameter to width equal to 2/40. The force absorptions for the two rectangular and triangular patterns with spacing of  $5 \times 5$  (cm $\times$ cm) were more than those for the patterns with spacing of  $10 \times 10$  (cm $\times$ cm). The average of the force absorption ratio, between the two spacings of  $5 \times 5$  and  $10 \times 10$  (cm $\times$ cm), at the rectangular pattern was 1/4 and for the triangular pattern was 1/3.

**Keywords:** Energy, Force, Green belt, Shore, Wave

### مقدمه

نامیده می‌شود، هست که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پوشش درختی می‌تواند موجب استهلاک انرژی کاهش اثرات مخرب امواج شده و به صورت یک محیط متخلخل جایگزین موج‌شکن‌های سازه‌ای گردد.

مطالعات انجام‌گرفته توسط ماسکارنهاس و جایاکمار (۲۰۰۸) نشان داد که در امتداد زیادی از ساحل تامیل‌نادو<sup>۱</sup> واقع در جنوب شرق شبه‌جزیره هند، استفاده از درختان نخل نارگیل به منظور تضعیف‌کننده امواج و اثرات مخرب ناشی از آن نتیجه مناسبی داده است. کاتریسان و راجندران (۲۰۰۵)، نقش غالب پوشش

حفاظت از سواحل در مقابل امواج یکی از مباحث اصلی در مهندسی سواحل است. به‌طور کلی ساز و کارهای مقابله با امواج، شامل جلوگیری از ورود امواج به منطقه موردنظر از طریق انعکاس آن‌ها به سمت دریا، مستهلاک نمودن انرژی از طریق ایجاد شکست در موج و ایجاد آشفتگی و استهلاک انرژی جریان ضمن عبور از یک سازه متخلخل هست. اما یکی از راه‌های اقتصادی مقابله با اثر مخرب امواج دریا بر بدنه ساحل و تأسیسات موجود در آن، کاشت درخت در حاشیه ساحل به‌طول چند ده متر که در اصطلاح کمربند سبز

<sup>1</sup>Tamil Nadu

## مواد و روش‌ها

### تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر به‌منظور بررسی تأثیر پوشش بر جذب نیروی امواج در ساحل (F)، شامل ارتفاع موج (H)، سرعت موج (V)، تناوب موج (T)، عمق آب پای ساحل (h)، لزجت دینامیکی آب ( $\rho_w \mu$ )، چگالی نسبی آب ( $\rho_w$ )، شتاب ثقل (g)، قطر درخت (d)، عرض پوشش (W)، طول پوشش ( $L_g$ )، فواصل ردیف درختان (L) و شیب ساحل (S) هست که این پارامترها در رابطه ۱ آورده شده‌اند.

$$f_1(F, H, d, S, h, V, W, L_g, L_r, g, \rho_w, \mu, T) = 0 \quad [1]$$

با استفاده از روش  $\pi$  باکینگهام در تحلیل ابعادی و انتخاب  $V, H$  و  $\rho_w$  به‌عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. قابل‌ذکر است بجای قطر درختان که در اینجا ثابت انتخاب‌شده، از پارامتر  $A$  (سطح مقطع مقابل جریان:  $H \times d$ ) استفاده گردید. طول پوشش ( $L_g$ ) نیز به‌دلیل ثابت بودن در تمام آزمایش‌ها، حذف گردید. در نهایت به‌جز شیب تعداد ۱۰ پارامتر دیگر در تحلیل ابعادی مؤثر بوده، که بر اساس روش باکینگهام تعداد ۸ عدد بی‌بعد از آن استخراج گردید.

$$f_2\left(\frac{A}{H^2}, \frac{W}{L}, \frac{L}{H}, \frac{\rho_w V^2 H^3}{F}, \frac{\rho_w V H}{g H^3}, \frac{V^2}{g H}, S\right) = 0 \quad [2]$$

از عدد رینولدز ( $\frac{\rho_w V H}{\mu}$ ) با توجه به ماهیت آزمایش‌ها و تلاطم ناشی از ایجاد موج ناگهانی و عدم تأثیر لزجت در آن، صرف‌نظر گردید. عدد بی‌بعد دوم و چهارم به‌صورت ترکیبی معادل عدد بی‌بعد سوم بوده، به همین دلیل حذف شدند. عدد بی‌بعد ( $\frac{V^2}{g H}$ ) در واقع همان عدد فرود جریان است. از پارامترهای ثابت و اعداد بی‌بعد بی‌تأثیر در طول آزمایش‌ها، صرف‌نظر گردید و در نتیجه رابطه ۳ به‌دست آمد:

$$\frac{F}{\rho_w V^2 H^3} = f_3(Fr, S, \frac{W}{H}) \quad [3]$$

در ادامه در جدول ۱ شرح پارامترهای مورد استفاده در آزمایش‌ها محدود شده آن‌ها ارائه شد.

درختی در کاهش پهنه سیلاب ورودی به ساحل ناشی از سونامی سال ۲۰۰۴ در اقیانوس هند و تأثیر پوشش درختی بر کاهش پیشروی امواج سونامی بر روی ساحل را گزارش نموده‌اند. کوتیجا و اردوران (۲۰۰۳) با مطالعه عددی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی معادله‌ای برای ضریب نیروی کششی پوشش درختی ارائه دادند. در این بررسی از نظریه "پایه کانتیلور"<sup>۱</sup> در محاسبه میزان انحراف و ضریب نیروی کششی پوشش درختی استفاده نمودند. کوتیجا و هنگ (۱۹۹۶) یک مدل عددی به‌همراه یک مدل توصیفی از پوشش درختی انعطاف‌پذیر را به‌کار بردند، که در آن میزان استحکام خمشی گیاهان با استفاده از نظریه پایه کانتیلور مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت معادله‌ای برای محاسبه ضریب کششی گیاهان ارائه دادند. نتایج حاصل از مطالعات تجربی و آزمایشگاهی میرایی انرژی موج عبوری در جنگل‌های ساحلی با پوشش درختی مانگرو، که توسط حمزه و همکاران (۱۹۹۹) و همچنین هارادا و مورا (۲۰۰۷) انجام شده است باهم مشابه می‌باشند. جزئیات یک پروژه آزمایشی بر روی پوشش درختی ساحلی یکپارچه در سریلانکا توسط تاناکا (۲۰۱۰) گزارش شده است که در آن به کارآیی پوشش درختی و چگونگی عملکرد پوشش در مواجهه با امواج دریا پرداخته شده است. مطالعات تجربی فروکاوا و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که اتلاف انرژی موج بستگی به‌میزان تراکم پوشش جنگل (شامل چیدمان و طول پوشش) و قطر تنه درخت دارد. بررسی پیشینه تحقیقاتی چگونگی عملکرد پوشش درختی در مقابل امواج در ساحل نشان می‌دهد که مطالعات آزمایشگاهی محدودی در این زمینه صورت گرفته و بسیاری از جوانب آن ناشناخته مانده است. هدف اصلی در انجام تحقیق حاضر، بررسی کارآیی پوشش درختی، تعیین پارامترهای مؤثر پوشش و چگونگی تأثیر آن‌ها بر کاهش نیرو و استهلاک انرژی امواج هست.

<sup>1</sup>Cantilever

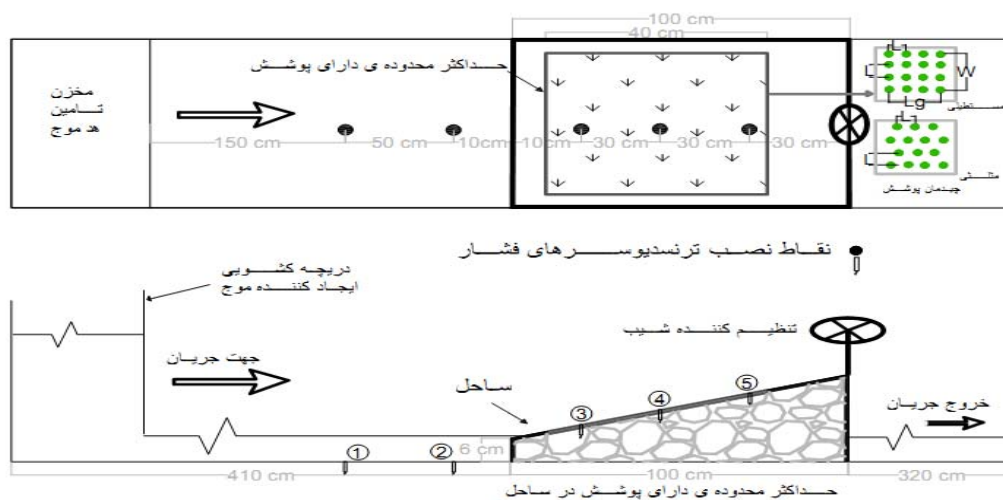
## جدول ۱- معرفی پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش.

اندازه	پارامتر
متغیر مورد بررسی	F، نیروی استهلاک شده موج توسط پوشش درختی (kg)
ثابت شده با استفاده از ترانسدیوسر	H ارتفاع موج در هر نقطه (cm)
۱۰، ۳۰، ۴۰	W عرض پوشش درختی (cm)
در طول آزمایشها ثابت و برابر	$L_g$ طول پوشش درختی (cm)
۷۰ cm	L فواصل بین درختها در طول و عرض (cm)
۱۰×۱۰ و ۵×۵	d قطر پوشش درختی (cm)
۲	A سطح مقطع پوشش مقابل جریان ( $cm^2$ )
ارتفاع موج در محل d×H	چیدمان پوشش
مستطیلی و مثلثی	T تناوب موج، (s)
۱۰-۱۲	h عمق ثابت آب پای ساحل (cm)
۶	S شیب ساحل (درصد)
۰،۳، ۵، ۷، ۱۰	V سرعت موج ( $m s^{-1}$ )
۱-۱/۸	$\rho_{11}$ چگالی نسبی آب ( $kg m^{-3}$ )
ثابت	$\rho_{22}$ لزجت دینامیک آب ( $N m^{-3}$ )
ثابت	g شتاب ثقل ( $m s^{-2}$ )
ثابت	

## تجهیزات آزمایشگاهی

گلاس پوشانده شدند. عمق آب در هر لحظه با استفاده ترانسدیوسر ثبت گردید. در زیر قسمت لبه چاقویی فلوم نیروسنج الکترونیکی (لودسل) با قابلیت ثبت حداکثر نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل نصب گردید. در شکل ۱ فلوم و ساحل به صورت شماتیک نشان داده شده است.

آزمایشها در آزمایشگاه دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید. فلوم با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۸ متر، ارتفاع دیواره ۰/۵۵ متر و طول ۸/۳ متر به سه قسمت طولی، ۴/۱ متر در بالادست مدل، یک متر فلوم لبه چاقویی (محل قرارگیری مدل ساحل) و ۳/۲ متر در پایین دست مدل تقسیم گردید. جنس فلوم از آهن بوده و جدارها از صفحات پلاکسی

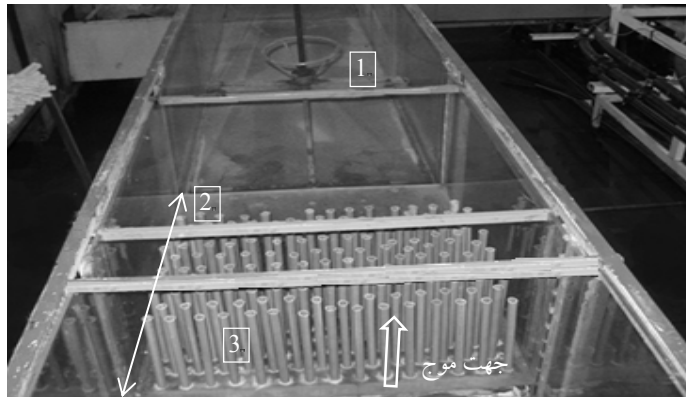


شکل ۱- نمایی از فلوم مستطیلی مدل آزمایشگاهی به همراه جزئیات آن.

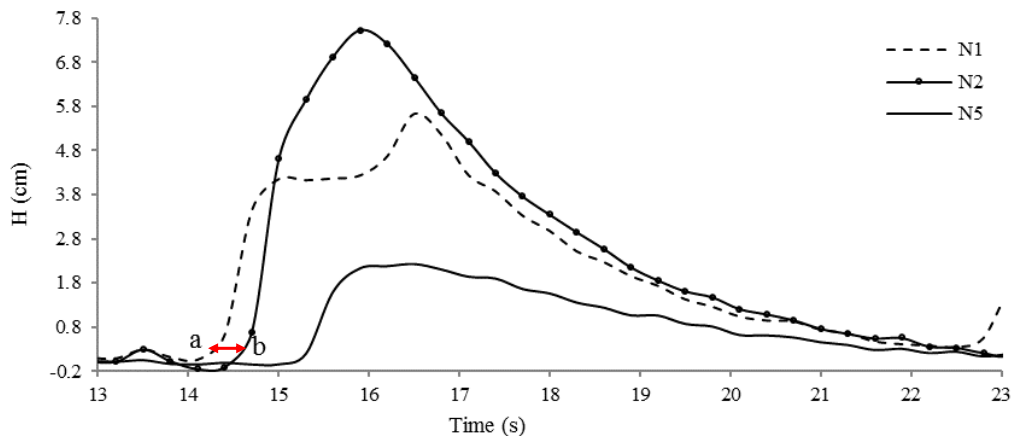
### مراحل انجام آزمایش‌ها

طولی معادل یک متر از میانه فلوم جدا گردید و روی یک تکیه‌گاه لبه چاقویی بدون اصطکاک نصب و در شرایط آستانه حرکت تنظیم گردید. نیروسنج به‌منظور ثبت نیروی موج عبوری به قسمت متحرک فلوم متصل شد. پوشش درختی بر روی ساحل که از جنس پلکسی گلاس ساخته شد، مستقر گردید. شیب‌های موردنظر نیز با استفاده از یک اهرم پیچی متصل به ساحل ایجاد شد (شکل ۲). قسمت ابتدایی فلوم به‌عنوان مخزن ایجاد موج استفاده گردید. به کمک دریچه کشویی و سپس با باز نمودن ناگهانی دریچه، موج ایجاد گردید. همچنین به‌منظور ثبت فشار و روند پیشروی سرعت و ارتفاع موج عبوری از میان پوشش ۳ عدد

ترانسدیوسر در طول ساحل تعبیه گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع و سرعت موج قبل از پوشش نیز دو عدد ترانسدیوسر در کف فلوم با فاصله ۰/۵ متر تعبیه گردید. ارتفاع موج با استفاده از فشاری که ترانسدیوسر ثبت نمود، محاسبه گردید. سرعت موج نیز با تقسیم فاصله بین دو ترانسدیوسر بر مدت‌زمانی که موج فاصله بین دو ترانسدیوسر را طی نمود، به‌دست آمد. در شکل ۳ یکی از موج‌های عبوری ثبت‌شده توسط ترانسدیوسرهای فشار در سه نقطه مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲- نمایی از فلوم آزمایش: (۱) اهرم تنظیم شیب، (۲) ساحل، (۳) پوشش درختی.



شکل ۳- موج عبوری ثبت‌شده توسط ترانسدیوسرهای فشار در سه نقطه مختلف.

شیب‌ها این روند برقرار نبوده است که علت آن را می‌توان به پیشروی کمتر موج در ساحل و به‌علت برخورد موج، صرفاً با ردیف جلویی پوشش در این حالت نسبت داد که در اثر آن تأثیر نوع چیدمان اهمیت خود را از دست داده است. در چیدمان مثلثی به‌علت نحوه قرارگیری درختان به‌صورت یک‌درمیان سطح برخورد مقابل موج بیشتر از چیدمان مستطیلی معادل آن هست به‌همین علت هنگام برخورد موج به پوشش مثلثی، مقاومت ناشی از نیروی کششی در مقابل عبور موج بیشتر هست. با افزایش عرض پوشش (تعداد ردیف‌های پوشش) در هر دو چیدمان مثلثی و مستطیلی به‌دلیل اینکه تعداد ردیف بیشتری در مقابل موج قرار می‌گیرد، مقاومت بیشتر گردیده و نیروی بیشتری از موج توسط درختان جذب و مستهلک شده است. بیشترین تأثیر افزایش عرض در استهلاک نیروی موج در چیدمان مثلثی مشاهده گردید. نرخ تغییرات نیرو در اثر افزایش عرض، در چیدمان مثلثی به ازای شیب و ارتفاع موج-های مختلف به‌طور کلی بیش از چیدمان مستطیلی برآورد گردید و با کاهش شیب و افزایش ارتفاع موج این نرخ نیز افزایش بیشتری یافته است. نرخ این تغییرات نیرو در اثر افزایش عرض، در چیدمان  $10 \times 10$  بیشتر از چیدمان  $5 \times 5$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، ثبت گردید. بیشترین نرخ مربوط به چیدمان مثلثی  $10 \times 10$  در شیب ۳ درصد و نسبت قطر به ارتفاع موج معادل ۲ به ۸، برابر با ۲۶ درصد برآورد شد. متناسب با افزایش ارتفاع موج نیروی بیشتری ایجاد می‌گردد. با افزایش ارتفاع موج تأثیر پوشش در کاهش نیروی موج و جذب نیروی آن آشکارتر گردیده، مقدار عددی آن نیز افزایش یافته است. زیرا موج ایجاد شده با ارتفاع بیشتر، تعداد درخت و سطح برخورد وسیع‌تری را در بر گرفته است. بنابراین تأثیر چیدمان و طول پوشش بارزتر شده و کارایی این موانع در جذب و استهلاک نیروی امواج به‌صورت نسبی بیشتر می‌گردد.

در شکل ۳، لحظه a زمانی است که موج به ترانسدیوسر شماره ۱ می‌رسد و لحظه b زمانی است که موج به ترانسدیوسر شماره ۲ رسیده است. اختلاف a تا b مدت زمانی است که موج فاصله  $0.5$  متری بین دو ترانسدیوسر را طی نموده است. همچنین نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل از طریق قسمت متحرک فلوم به حسگر دینامیکی نیرو که در زیر فلوم قرار داشت منتقل و بیشترین نیروی جذب شده توسط پوشش (برحسب کیلوگرم) ثبت گردید. که این نیروی جذب شده معادل نیروی گرفته شده از امواج و در نتیجه میزان استهلاک در انرژی امواج هست.

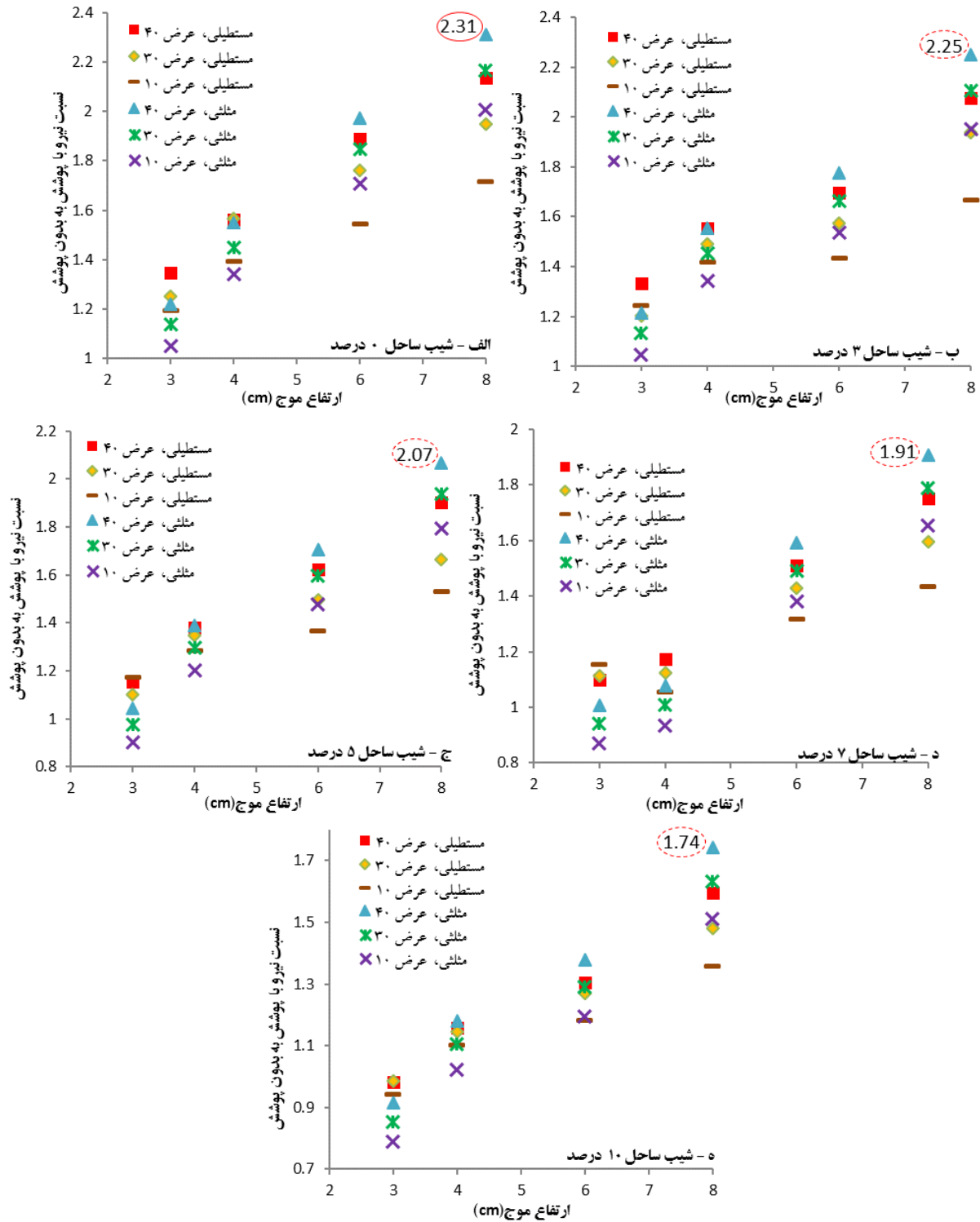
به‌طور کلی در اینجا به بررسی تأثیر پوشش درختی بر میزان F (نیروی کششی پوشش که معادل نیروی مستهلک شده‌ی امواج هست) و همچنین تأثیر پوشش بر کاهش ارتفاع موج عبوری پرداخته شده است. آزمایش‌ها به ازای دو الگوی چیدمان مستطیلی و مثلثی درختان، در ۳ عرض پوشش، ۲ اندازه چیدمان  $5 \times 5$  و  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، ۵ شیب ساحل و ۵ ارتفاع خالص موج انجام شده است. به‌طور کلی برای بررسی در قطر ثابت ۲ سانتی‌متر، تعداد ۳۲۵ آزمایش انجام شده است که ۲۵ آزمایش از این تعداد مربوط به حالت بدون پوشش می‌باشند.

## نتایج و بحث

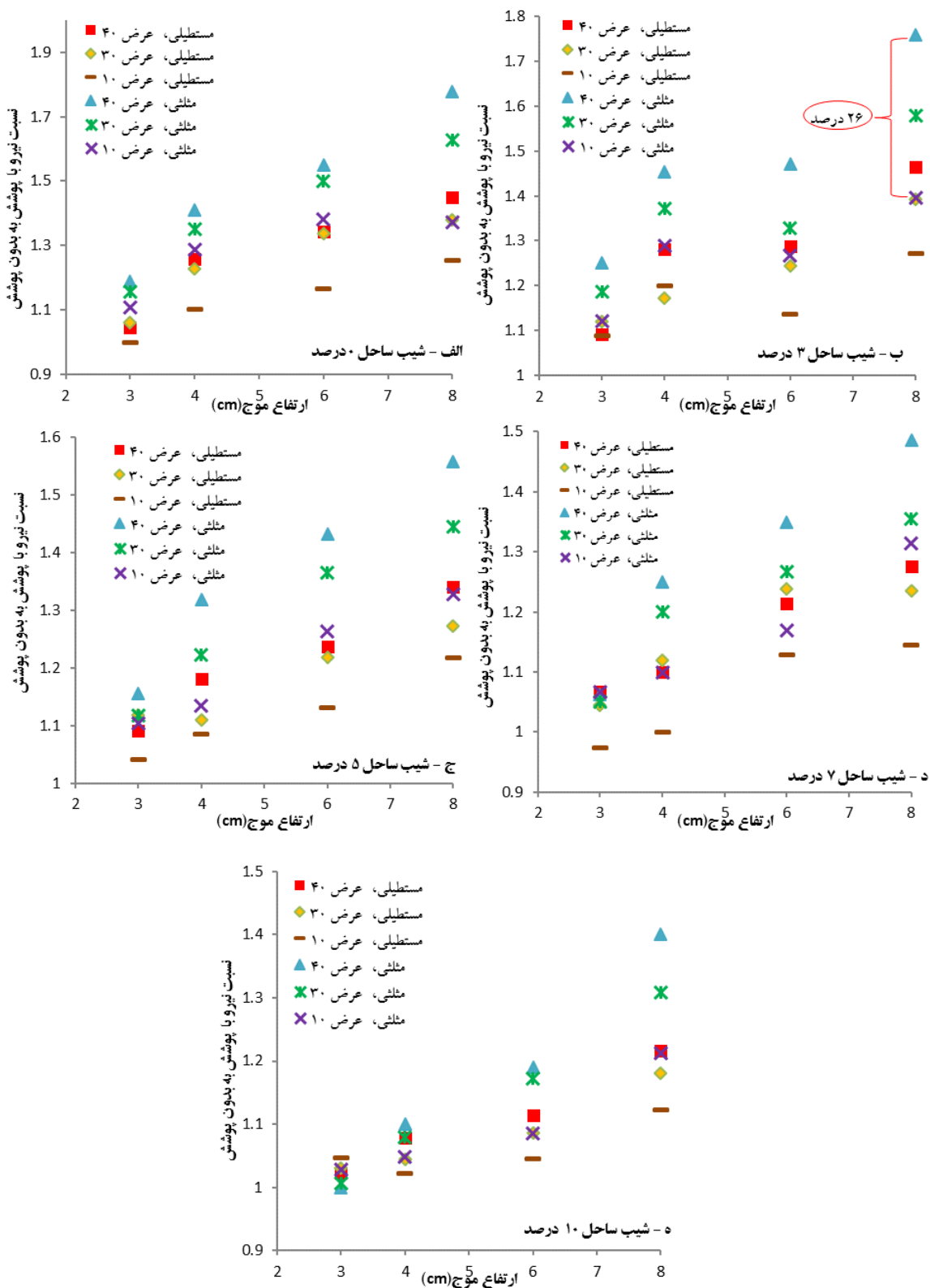
### تأثیر پوشش درختی بر نیروی موج

در شکل‌های ۴ و ۵ نسبت نیروهای موج در حضور پوشش به نیروهای موج در حالت بدون پوشش، به ازای فواصل  $5 \times 5$  و  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، ارائه گردید. قابل ذکر است که در این شکل‌ها حالت موج با نسبت قطر به ارتفاع ۲ به  $1/5$  به‌علت تأثیر بسیار کم آن حذف گردید.

با توجه به شکل ۴ می‌توان بیان داشت که به ازای یک ارتفاع موج، همواره چیدمان مثلثی با طول برابر، نیروی بیشتری را از موج جذب می‌نماید. البته در حالت نسبت قطر به ارتفاع موج ۲ به ۳، در بعضی از

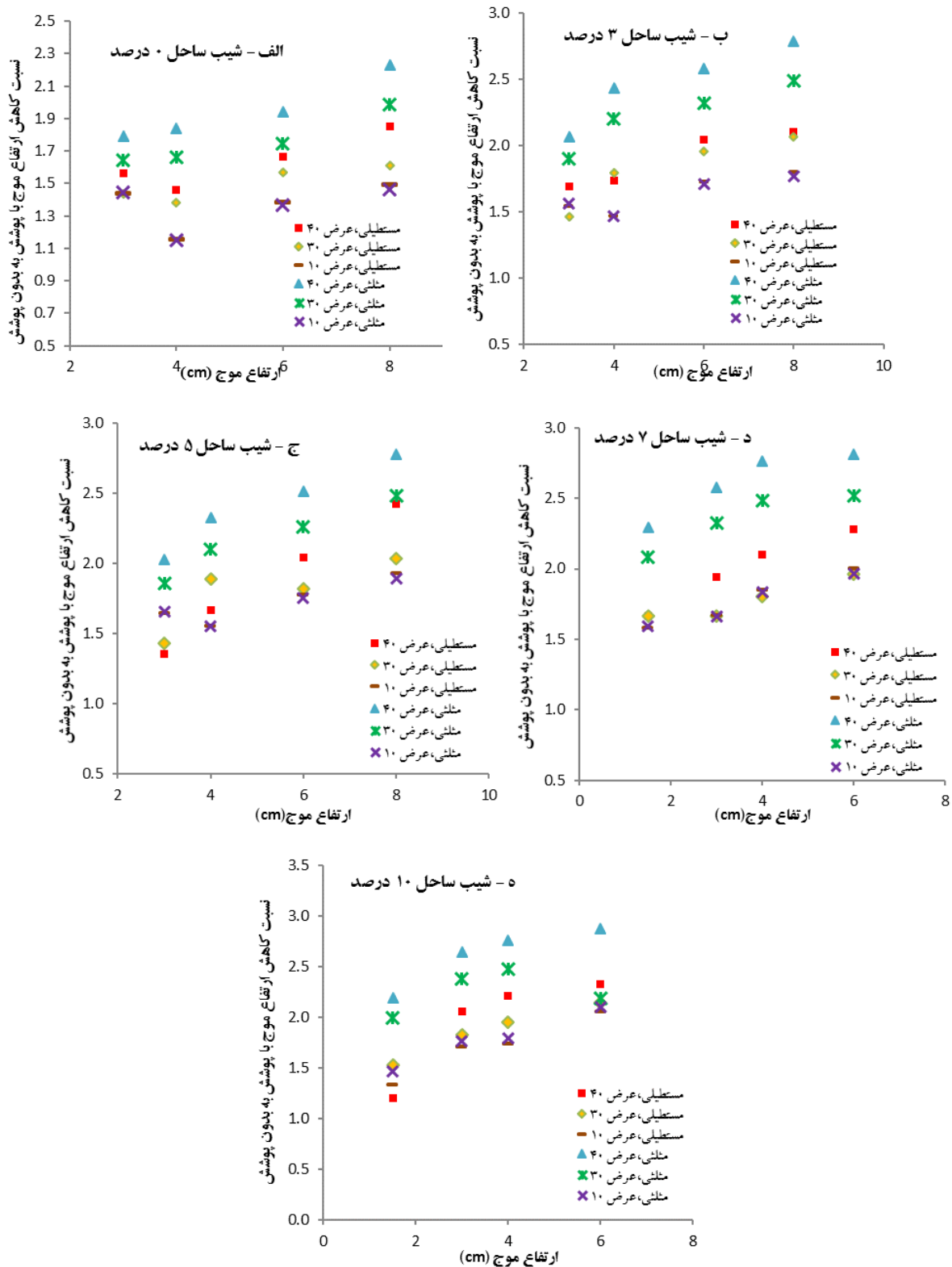


شکل ۴- نسبت نیرو به ازای چیدمان مستطیلی و مثلثی درختان با فواصل ۵×۵ (cm×cm)، و عرض پوشش‌های مختلف.

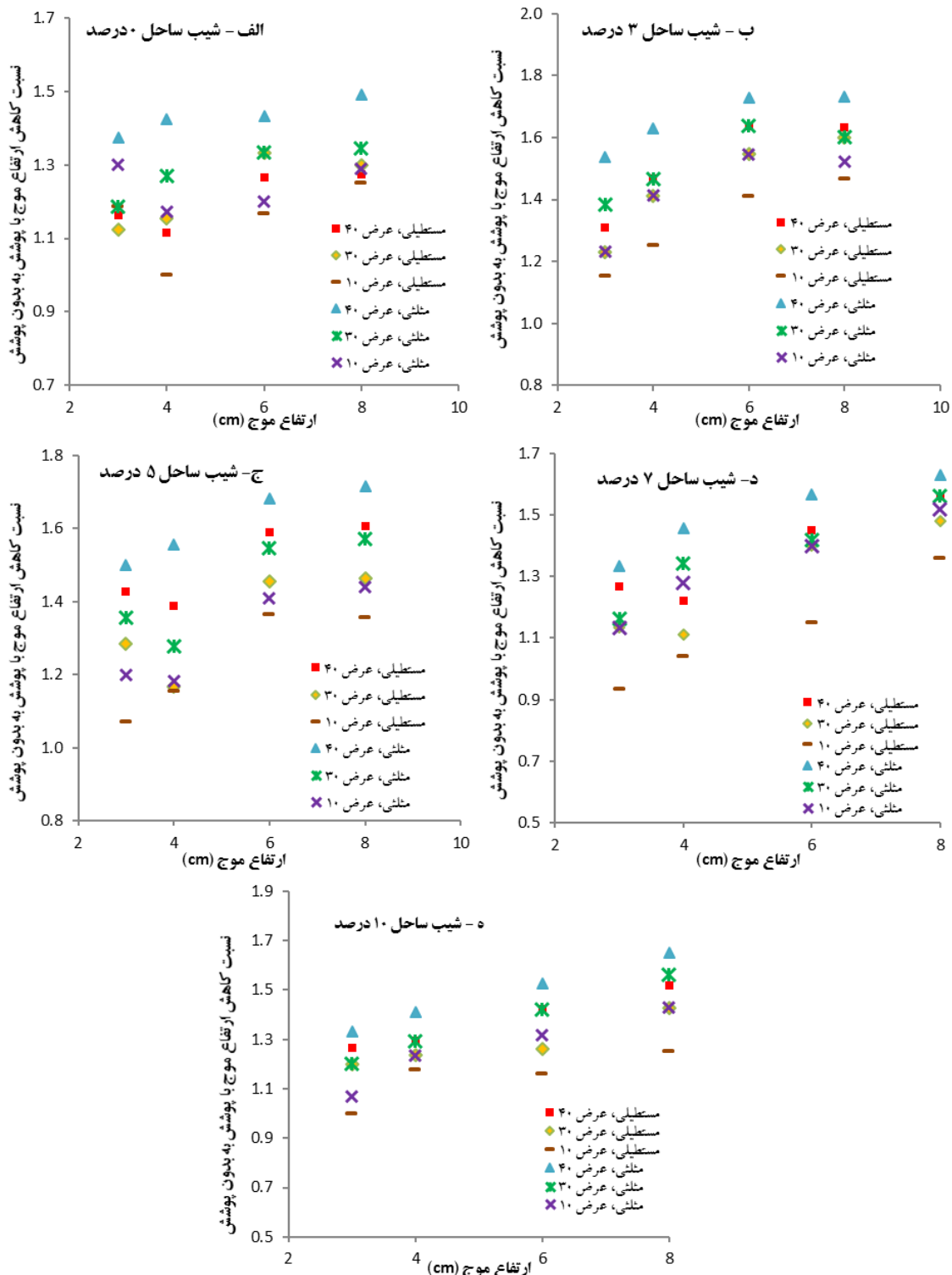


شکل ۵- نسبت نیرو به ازای چیدمان مستطیلی و مثلثی درختان با فواصل ۱۰×۱۰ (cm × cm)، و طول پوشش‌های مختلف.





شکل ۶- کاهش ارتفاع موج به ازای چیدمان مستطیلی و مثلثی درختان با فواصل ۵×۵ (سانتی متر × سانتی متر)، و طول پوشش‌های مختلف.



شکل ۷ - کاهش ارتفاع موج به ازای چیدمان مستطیلی و مثلثی درختان با فواصل ۱۰×۱۰ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، و طول پوشش‌های مختلف.

کاهش بیشتری داشته است. همان‌طور که در قسمت قبلی نشان داده شد چیدمان مثلثی نیروی کششی بیشتری ایجاد می‌نماید بدین مفهوم که مقاومت بیشتری در مقابل عبور موج از خود نشان می‌دهد. این مقاومت بیشتر موجب می‌گردد که قله موج حین عبور از پوشش مثلثی کاهش ارتفاع بیشتری داشته باشد.

با افزایش فواصل از  $5 \times 5$  به  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، به‌علت اینکه مقاومت در مقابل جریان کمتر گردید، کاهش ارتفاع موج نیز کمتر گردید. به‌عنوان نمونه در نسبت قطر به ارتفاع موج معادل ۲ به ۸ و چیدمان مثلثی، کاهش ارتفاع موج در چیدمان  $10 \times 10$  در شیب‌های مختلف بین ۴۰ تا ۶۰ درصد مقادیر ارتفاع موج در چیدمان  $5 \times 5$  هست. این نسبت‌های ثبت‌شده به‌وضوح تأثیر چیدمان و تراکم پوشش درختی در کاهش ارتفاع موج و به‌طور کلی کارایی پوشش در کنترل این امواج را آشکار ساخته است.

### نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج، پوشش درختی تأثیر قابل‌توجهی در کاهش نیروی امواج داشته است. به‌ازای یک ارتفاع موج، همواره چیدمان مثلثی با طول برابر نسبت به چیدمان مستطیلی، نیروی بیشتری را از موج جذب و مستهلک نموده است. به‌طوری‌که در چیدمان مثلثی با نسبت قطر به عرض پوشش معادل ۲ به ۴۰ و چیدمان  $5 \times 5$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، به‌ازای تمام شیب‌ها بیشترین کاهش نیرو و ارتفاع موج مشاهده‌شده است. در هر دو حالت چیدمان مثلثی و مستطیلی نیروی جذب‌شده در چیدمان  $5 \times 5$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، بیشتر از چیدمان  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، است. به‌طور متوسط نیروی مستهلک‌شده از امواج در چیدمان  $5 \times 5$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، با چیدمان مستطیلی  $1/4$  برابر نیرو در چیدمان  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، برآورد گردید و این میزان برای چیدمان مثلثی،  $1/3$  برابر به‌دست آمد. در چیدمان مثلثی نسبت به چیدمان مستطیلی در طول پوشش برابر ارتفاع موج کاهش بیشتری داشته است. همچنین با افزایش فواصل از  $5 \times 5$  به  $10 \times 10$  به‌علت اینکه مقاومت در مقابل جریان

با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌گردد که به‌ازای حالت‌های مشابه، نیروی جذب‌شده با چیدمان  $5 \times 5$  بیشتر از چیدمان  $10 \times 10$  هست که علت آن تراکم بیشتر پوشش و در نتیجه افزایش سطح مقابل جریان به‌عنوان پارامتر مهم و تأثیرگذار در نیروی کششی، هست. میزان کمی این افزایش نیرو در جدول ۲ با نسبت نیرویی حاصل از فواصل  $5 \times 5$  به فواصل  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، در چیدمان‌های مثلثی و مستطیلی در نسبت قطر درخت به عرض پوشش ۲ به ۴۰ ارائه شد.

جدول ۲- مقایسه نیرو جذب‌شده (کیلوگرم) از امواج در چیدمان  $5 \times 5$  و  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر) درختان.

شیب (درصد)	۰	۳	۵	۷	۱۰
مثلثی، $5 \times 5$	۰	۲۹	۳۰/۸	۳۲/۱	۳۳/۶
مثلثی، $10 \times 10$	۰	۲۲/۷	۲۲/۲	۲۵	۲۷
نسبت نیروی $5 \times 5$ به $10 \times 10$ مثلثی	۰	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲
مستطیلی، $5 \times 5$	۰	۲۶/۸	۲۸/۳	۲۹/۴	۳۰/۸
مستطیلی، $10 \times 10$	۰	۱۸/۹	۲۰	۲۱/۴	۲۳/۵
نسبت نیروی $5 \times 5$ به $10 \times 10$ مستطیلی	۰	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۳

### تأثیر پوشش درختی بر ارتفاع موج

هنگامی که موج به ساحل برخورد نماید با نیروی کششی ناشی از پوشش به‌عنوان یک نیروی مقاوم مواجه می‌گردد. این امر موجب شده که بخشی از نیروی محرک موج صرف مقابله با کششی ناشی از درختان گردد و نیروی موج کاهش یابد. بنابراین موج با نیروی کمتر، ارتفاع موج کمتری را ایجاد نماید و در نتیجه ارتفاع موج بعد از پوشش درختی کاهش یابد. بر اساس داده‌های ثبت‌شده مشخص گردید که کاهش ارتفاع موج به مشخصات پوشش نظیر نوع چیدمان (مستطیلی، مثلثی)، فاصله بین درختان و طول پوشش بستگی دارد. در شکل‌های ۶ و ۷ مقدار کاهش ارتفاع موج ناشی از پوشش، به‌ترتیب در چیدمان  $5 \times 5$  و  $10 \times 10$  (سانتی‌متر  $\times$  سانتی‌متر)، ارائه‌شده است.

بر اساس شکل ۶ در چیدمان مثلثی نسبت به چیدمان مستطیلی در عرض پوشش برابر ارتفاع موج

افزایش عرض در این حالت عامل کاهنده نیرو رشد ۲۶ درصدی از خود نشان داده است. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش شیب ساحل تأثیر پوشش درختی در استهلاک نیروی امواج کاهش یافته است. به طوری که در چیدمان مثلثی با نسبت قطر به عرض پوشش معادل ۲ به ۴۰ و چیدمان ۵×۵ (سانتی‌متر × سانتی‌متر)، در ساحل بدون شیب (صفر درصد) بیشترین نرخ کاهش نیرو به میزان ۲/۳۱ برابر حالت بدون پوشش، که معادل با ۴۳ درصد استهلاک در نیروی موج است، مشاهده گردید.

کمتر شده است کاهش ارتفاع موج نیز کمتر گردید. با افزایش عرض پوشش در هر دو چیدمان مثلثی و مستطیلی نیروی بیشتری از موج توسط درختان مستهلک شده است. بیشترین تأثیر افزایش عرض در استهلاک نیروی موج در چیدمان مثلثی مشاهده گردید. نرخ این تغییرات نیرو در اثر افزایش عرض، در هر دو چیدمان مثلثی و مستطیلی در چیدمان ۱۰×۱۰ بیشتر از چیدمان ۵×۵ ثبت گردید. بیشترین نرخ تغییرات در چیدمان مثلثی ۱۰×۱۰ با شیب ۳ درصد و نسبت قطر به ارتفاع موج ۲ به ۸، معادل ۲۶ درصد ثبت گردید. یعنی با

#### منابع مورد استفاده

- Furukawa K, Wolanski E and Mueller H, 1997. Currents and sediment transport in mangrove forests. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 44(3): 301-310.
- Hamzah L, Harada K and Imamura F, 1999. Experimental and numerical study on the effect of mangrove to reduce tsunami. *Tohoku Journal of Natural Disaster Science* 35(2): 127-132.
- Harada K and Imamura F, 2007. Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow. Pp. 975-984. *Proceeding of Asian and Pacific Coastal Engineering Conference*. 24-26 September, Nanjing, China.
- Kathiresan K and Rajendran N, 2005. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences* 67(3): 601-606.
- Kutija V and Erduran KS, 2003. Quasi-three-dimensional numerical model for flow through flexible, rigid, submerged and non-sub merged vegetation. *Journal of Hydro-informatics* 35(3): 189-202.
- Kutija V and Hong HTM, 1996. A numerical model for asses-sing the additional resistance to flow introduced by flexible vegetation. *Journal of Hydraulic Research* 34(1): 99-114.
- Mascarenhas A and Jayakumar S, 2008. An environmental perspective of the post tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests. *Journal of Environmental Management* 89(1): 24-34.
- Tanaka N, 2010. Vegetation bio-shield for tsunami mitigation: Review on the effectiveness, limitations, and management. *Journal of Coastal Research* 65(1): 147-152.