

بررسی کارآیی پوشش درختی ساحلی در حفاظت از سواحل در مقابل امواج

الهام قنبری عدیوی*^۱، منوچهر فتحی مقدم^۲

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۲۷

۱- استادیار، دانشگاه شهرکرد

۲- استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Elhamgh44@gmail.com

چکیده

در این پژوهش به منظور حفاظت از سواحل دریا و یا رودخانه در مقابل نیروی ناشی از امواج، استفاده از کمربند سبز (پوشش درختی) به جای سیستم سخت مانند موج شکن که هزینه زیادی در بر دارد، پیشنهاد شده است. آزمایش در کانال موج، برای ارزیابی تأثیر پوشش درختی بر کاهش اثر امواج به صورت دو بعدی انجام شد. ساقه‌های پلاستیکی با قطر ۱ سانتی‌متر در قسمت ساحلی در کانال به کار گرفته شد. آزمایش‌ها با چیدمان تاندوم (موازی) با فواصل ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی‌متر، ۳ حالت عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر، ۵ شیب ساحل ۰، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد و ۴ ارتفاع موج ۳، ۴، ۶ و ۸ سانتی‌متر انجام گردیده که در مجموع با حالت بدون پوشش، ۱۴۵ حالت مختلف بررسی شده است. نیروی موج وارده شده بر بدنه ساحل با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم به کمک نیروسنج الکترونیکی (لودسل) برآورد گردیده است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که پوشش درختی ساحلی در کاهش اثر امواج از طریق جذب نیروی امواج در قالب نیروی کششی بر روی درختان، تأثیر بسزایی در کاهش اثر مخرب موج و در نتیجه در حفاظت و تثبیت ساحل داشته است و در بهترین حالت از بین آزمایش‌های انجام شده معادل ۴۳ درصد از نیروی امواج توسط پوشش درختی گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: امواج، پوشش درختی، حفاظت، ساحل، نیروی مخرب

Investigation on Performance of Green Belt as Coastal Protection against Waves

E Ghanbari Adivi¹, M Fathi Moghadam²

Received: 16 April 2015 Accepted: 04 January 2017

1- Assist. Prof. Shahrkord Univ., Shahrkord, Iran

2-Prof. Shahid Chamran Univ., Ahwaz, Iran.

*Corresponding Author, Email: Elhamgh44@gmail.com

Abstract

In this study, in order to protect sea or river beaches against the force of the waves, the use of green belt (covering trees), rather than rigid systems such as breakwater, which are costly, have been proposed. The two dimensional experiment at the Wave channel was done, to assess the effect of tree cover on reducing the effects of waves. Plastic stem with a diameter of 1 cm was used on the Channel coast. Experiments were done with the tandem (parallel) arrangement at the intervals of 5×5 and 10×10 cm, 3 width modes covering 10, 30 and 40 cm, 5 beach slopes of 0, 3, 5, 7 and 10 percent, and 4 wave heights of 3, 4, 6 and 8 cm. In general, with state of no cover, 145 cases were investigated. The incoming wave force on the beach was estimated with direct measurement method using an electronic dynamometer (load cell). Experimental results showed that coastal tree cover, to reduce the destructive waves have a great impact, by absorbing wave energy in the form of tensile force on the trees. In the best case of the tests, equivalent to 43% of the wave force was absorbed by tree cover.

Keywords: Coast, Force, Green belt, Waves

مقدمه

از سونامی کاشت درخت در حاشیه ساحل به عرض چند ده متر (کمربند سبز) بوده است. مکانیسم‌های مختلف 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 در درون بدنه سازه متخلخل می‌باشند. در اینجا برای کاهش اثرات مخرب امواج در میان یک پوشش درختی با تراکم‌های متفاوت مانند ایجاد جریان آشفته در داخل بدنه یک سازه متخلخل می‌باشد. قابل ذکر است که در بیشتر موارد طراحی بر اساس استهلاک کامل انرژی موج نه تنها بسیار گران و پرهزینه است، بلکه ضروری هم نیست، لذا معمولاً مقداری از سرگذری و انتقال موج از درون بدنه سازه (سازه‌های متخلخل) قابل قبول است. استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک سازه متخلخل و یک سد طبیعی

از نظر تاریخی ایران به ویژه در سواحل جنوب شرقی خود از جمله مکران تحت تأثیر سونامی بوده است. آخرین زمین لرزه در این منطقه که عامل ایجاد سونامی بوده، زمین لرزه‌ای به بزرگی ۸/۱ در سال ۱۹۴۵ است که سونامی عظیمی را در این منطقه به وجود آورده است. این سونامی ۴۰۰۰ نفر تلفات داشت و خسارات چشمگیری به سواحل ایران، عمان و پاکستان وارد ساخت. نواحی ساحلی ایران در امتداد دریای عمان طی دو دهه اخیر گسترش و توسعه زیادی یافته است، بنابراین رشد جمعیت در این منطقه، خطر تلفات جانی ناشی از هر گونه رویداد سونامی را افزایش می‌دهد (مختاری و حاجی زاده ذاکر ۲۰۰۵). یکی از راه‌های اقتصادی مقابله با امواج فرسایشی و حتی امواج ناشی

برای کاهش اثر مخرب امواج در سواحل پیشنهاد می‌گردد که باعث تثبیت سواحل و دوام سازه‌های موجود در آن گردیده، همچنین به بهبود وضعیت زیست‌محیطی منطقه ساحلی کمک می‌نماید. کمربند سبز باید بین خط داخلی ساحل و منطقه مسکونی اجرا شود که شامل پوششی از درختان گرمسیری مثل نارگیل، انبه و مانگرو (حرا) می‌باشد. حرا ریشه گسترده و برگ متراکم دارد و برای کاهش امواج بلند و امواج جزر و مدی مناسب است (هارادا و مورا ۲۰۰۲). مطالعات انجام گرفته در امتداد زیادی از ساحل تامیل نادو واقع در جنوب شرق شبه جزیره هند، نشان داد که استفاده از درختان نخل و نارگیل به منظور تضعیف موج و اثرات مخرب ناشی از آن بسیار مؤثر بوده است (ماسکارهانس و جایاکمار ۲۰۰۸). نقش غالب پوشش گیاهی در کاهش پهنه سیلاب ورودی به ساحل ناشی از سونامی سال ۲۰۰۴ در اقیانوس هند و تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش پیشروی امواج سونامی بر روی ساحل توسط کاترسان و راجندان (۲۰۰۵) گزارش شده است. کوتیجا و هنگ (۱۹۹۶) یک مدل عددی به همراه یک مدل توصیفی از پوشش درختی انعطاف پذیر را به کار بردند، که در آن میزان استحکام خمشی گیاهان با استفاده از نظریه پایه کانتیلور مورد بررسی قرار گرفته است. و 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 (۲۰۰۶) انجام شده است با هم مشابه می‌باشند. نامدار و نصرت (۲۰۱۰) به بررسی عددی و مدل ریاضی پوشش گیاهی در ساحل پرداخته‌اند. در این بررسی با استفاده از رابطه موریسون نیروی موج وارد بر ساحل و سازه‌های ساحلی برآورد شده است.

دینامیک سیال است. نظریه موج و رابطه موریسون می‌تواند در برآورد نیروی موج وارد شده بر موانع موجود در ساحل استفاده شود. از این رابطه در برآورد میزان نیرو وارد شده بر پوشش به‌کار رفته در ساحل در آزمایش‌های انجام شده استفاده گردیده (نامدار و نصرت ۲۰۱۰) تا در مقایسه با میزان نیروی ثبت شده توسط لودسل میزان همبستگی مقادیر ثبت شده و مقادیر پیش بینی شده توسط رابطه موریسون مشخص گردد. در ادامه رابطه موریسون و پارامترهای مؤثر آن آورده شده است.

رابطه موریسون:

$$F = 0.5 \rho C_d A_p |U| U + \rho C_m \nabla (dU/dt) \quad [1]$$

ρ چگالی آب، C_d ضریب درگ، A_p سطح مانع روبروی جریان، U سرعت موج تابیده شده به مانع، C_m ضریب اینرسی، ∇ حجم مانع روبروی جریان، dU/dt که در واقع $\partial U/\partial t$ بوده و از حالت دیفرانسیل جزئی به حالت دیفرانسیل کلی و تغییرات کلی سرعت با زمان در نظر گرفته شده است.

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 کارایی پوشش درختی، تعیین پارامترهای مؤثر پوشش و چگونگی تأثیر آن‌ها بر کاهش نیرو و استهلاك انرژی امواج می‌باشد.

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)، عمق آب پای ساحل (h)، لزجت دینامیکی آب (μ_w)، چگالی نسبی آب (ρ_w)، شتاب ثقل (g)، قطر درخت (d)، عرض پوشش (W)، طول پوشش (L_g)،

از عدد رینولدز $(\frac{\rho_w V H}{\mu_w})$ 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 بصورت ترکیبی معادل عدد بی‌بعد سوم بوده، به همین دلیل حذف شدند. عدد بی‌بعد $(\frac{V^2}{gH})$ در واقع همان عدد فرود جریان است. از پارامترهای ثابت و اعداد بی‌بعد بی‌تأثیر در طول آزمایش‌ها، صرف‌نظر گردید و در نتیجه رابطه ۴ به‌دست آمد.

$$\frac{F}{\rho_w V^2 H^2} = f_3(Fr, S, \frac{W}{H}) \quad [4]$$

در ادامه در جدول ۱ شرح پارامترهای مورد استفاده در آزمایش‌ها و محدوده آن‌ها ارائه شد.

فواصل ردیف درختان (L) و شیب ساحل (S) می‌باشد که این پارامترها در رابطه ۲ آورده شده‌اند.

$$f_1(F, H, d, S, h, V, W, L_g, L, g, \rho_w, \mu_w) = 0 \quad [2]$$

با استفاده از روش π باکینگهام در تحلیل ابعادی و انتخاب H, V و ρ_w به‌عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. قابل ذکر است که در این بررسی به‌جای قطر درختان (که ثابت انتخاب شده)، از پارامتر A (سطح مقطع انسداد جریان: $H \times d$) استفاده شده است. طول پوشش (L_g) نیز به‌دلیل ثابت بودن در تمام آزمایش‌ها، حذف گردید. در نهایت بجز شیب تعداد ۱۰ پارامتر دیگر در تحلیل ابعادی مؤثر بوده، که بر اساس روش باکینگهام تعداد ۷ عدد بی‌بعد از آن استخراج گردید.

$$f_2(\frac{A}{H^2}, \frac{W}{L}, \frac{W}{H}, \frac{L}{H}, \frac{\rho_w V^2 H^2}{F}, \frac{\rho_w V H}{\mu_w}, \frac{V^2}{gH}, S) = 0$$

[۳]

جدول ۱- معرفی پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش.

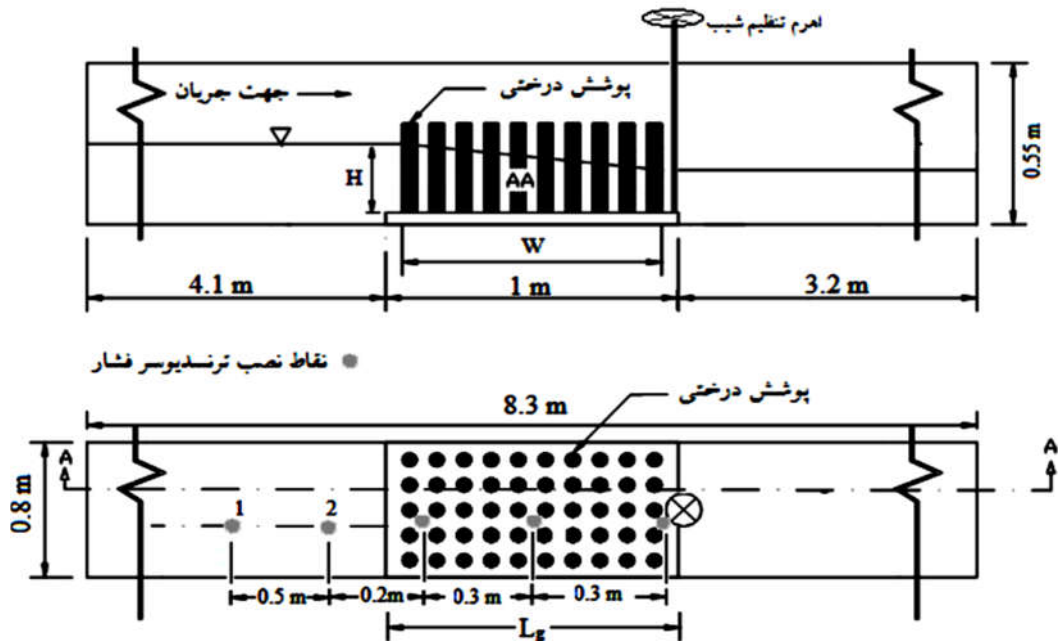
اندازه	پارامتر
متغیر مورد بررسی	نیروی استهلاک شده ی موج توسط پوشش درختی، $F(N)$
ثبت شده با استفاده از ترنسدیوسر	ارتفاع موج در هر نقطه، H (cm)
۱۰، ۳۰، ۴۰	عرض پوشش درختی، W (cm)
در طول آزمایش‌ها ثابت و برابر ۷۰ cm	طول پوشش درختی، L_g (cm)
۱۰×۱۰ و ۵×۵	فواصل بین درختها در طول و عرض، L (cm)
۱	قطر پوشش درختی، d (cm)
ارتفاع موج در محل $d \times H$	سطح مقطع پوشش مقابل جریان A (cm ²)
موازی	چیدمان پوشش
۱۰ - ۱۲	تناوب موج، T (s)
۶	عمق ثابت آب پای ساحل، h (cm)
۰، ۳، ۵، ۷، ۱۰	شیب ساحل، S %
۱ - ۱/۸	سرعت موج، V (m s ⁻¹)
ثابت	چگالی نسبی آب، ρ_w
ثابت	لزجت دینامیک آب، μ_w
ثابت	شتاب ثقل، g (m s ⁻²)

گردید. فلوام با مقطع مستطیلی به‌عرض ۰/۸ متر، ارتفاع دیواره ۰/۵۵ متر و طول ۸/۳ متر به سه قسمت طولی،

تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام

قسمت لبه چاقویی فلوم نیروسنج الکترونیکی (لودسل) با قابلیت ثبت بیشینه نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل نصب گردید. در شکل ۱ فلوم و ساحل به صورت شماتیک نشان داده شده است.

۴/۱ متر در بالادست مدل، یک متر فلوم لبه چاقویی (محل قرار گیری مدل ساحل) و ۳/۲ متر در پایین دست مدل تقسیم گردید. جنس فلوم از آهن بوده و جداره ها و کف از صفحات پلاکسی گلاس پوشانده شدند. عمق آب در هر لحظه با استفاده ترانسدیوسر ثبت گردید. در زیر

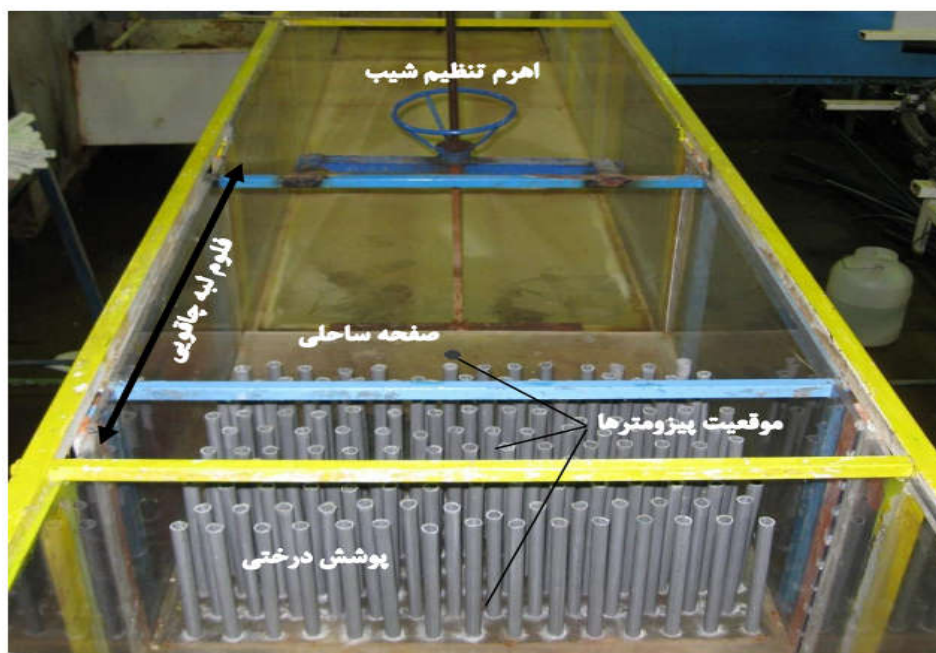


شکل ۱- نمایی از فلوم مستطیلی مدل آزمایشگاهی به همراه جزئیات آن.

فشار و روند پیشروی سرعت و ارتفاع موج عبوری از میان پوشش ۳ عدد ترانسدیوسر در طول ساحل تعبیه گردید. جهت اندازه گیری 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 مدت زمانی که موج فاصله بین دو ترانسدیوسر را طی نمود، به دست آمد. شکل ۳ تجهیزات اندازه گیری نیرو که در زیر فلوم لبه چاقویی تعبیه شده است و نمایی از سیستم چند کاناله اندازه گیری نوسانات فشار (دیتالاگر) را نشان می دهد.

مراحل انجام آزمایشها

طولی معادل یک متر از میانه فلوم جدا گردید و روی یک تکیه گاه لبه چاقویی بدون اصطکاک نصب و در شرایط آستانه حرکت تنظیم گردید. نیروسنج به منظور ثبت نیروی موج عبوری به قسمت متحرک فلوم متصل شد. پوشش درختی بر روی ساحل که از جنس پلاکسی گلاس ساخته شد، مستقر گردید. شیب های مورد نظر نیز با استفاده از یک اهرم پیچی متصل به ساحل ایجاد شد. قسمت ابتدایی فلوم به عنوان مخزن ایجاد موج استفاده گردید. به کمک دریچه کشویی و سپس با باز نمودن ناگهانی دریچه، موج ایجاد گردید. همچنین به منظور ثبت



شکل ۲- صفحه ساحلی به همراه پوشش درختی در آزمایشگاه.

مختلف ۰٫۳، ۰٫۵، ۰٫۷، ۱٫۰ درصد تنظیم گردید. خصوصیات موج تابیده شده به ساحل شامل تناوب موج ۱۲ تا ۱۵ ثانیه و ۴ ارتفاع موج از ۳ تا ۸ سانتی متر می باشد. به طور کلی برای بررسی در قطر ثابت ۱ سانتی متر تعداد ۱۴۵ آزمایش انجام شده است که ۲۵ آزمایش مربوط به حالت بدون پوشش و بقیه با پوشش می باشند.

نتایج و بحث

نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل و پوشش گیاهی از طریق قسمت متحرک فلوم به حسگر دینامیکی نیرو که در زیر فلوم قرار دارد منتقل شده و بیشترین نیروی وارد شده ثبت گردید. در اینجا تأثیر خصوصیات پوشش از جمله تراکم، بر جذب نیروی امواج و میزان کاهش در ارتفاع موج عبوری مورد بررسی قرار گرفته شده است.

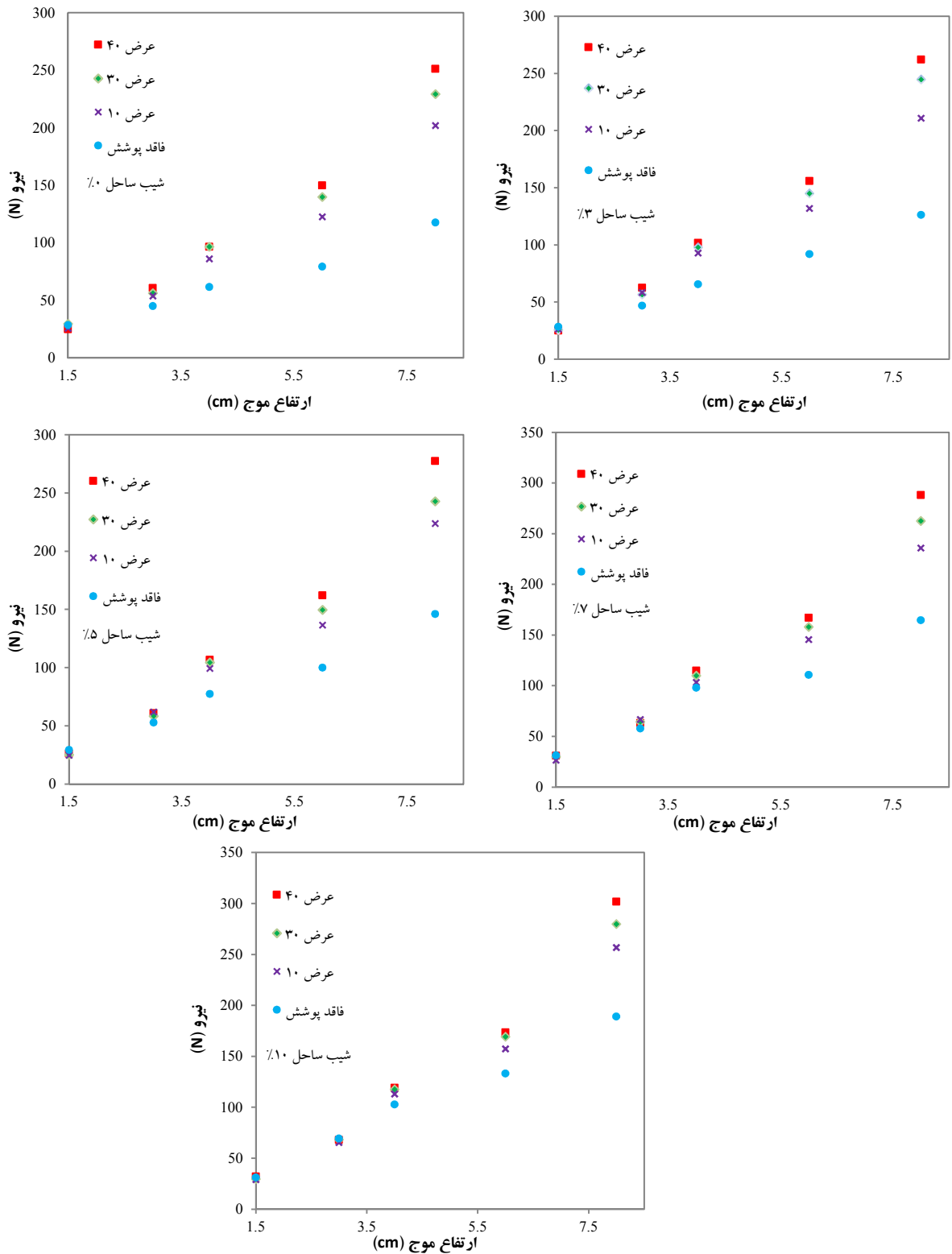
تأثیر تراکم پوشش بر جذب نیروی موج عبوری: در شکل- های ۴ و ۵ نیروهای ثبت شده به ترتیب به ازای فواصل ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی متر ارائه شده است.



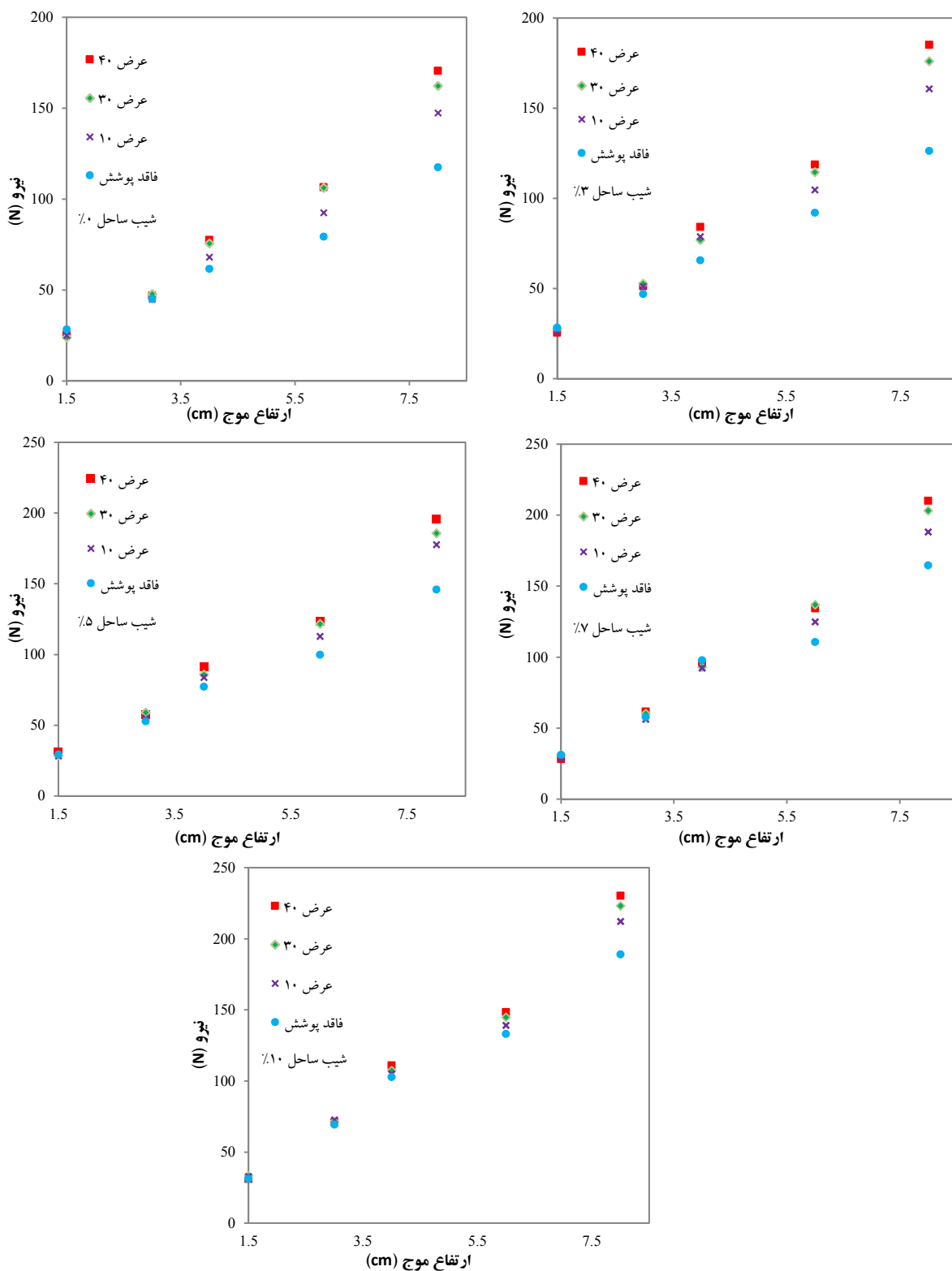
شکل ۳- نمایی از سیستم مبدل اندازه گیری

نوسانات فشار و حسگر دینامیکی نیرو به همراه نشانگر الکترونیکی.

خصوصیات موج، پوشش گیاهی و ساحل بر میزان نیرو، فشار و پیشروی موج بر روی ساحل تأثیرگذار می باشند. در این پژوهش متغیرهای زیادی مورد مطالعه قرار گرفت. چیدمان پوشش در حالت موازی با سه عرض مختلف ۲۰، ۱۰ و ۳۰ سانتی متر انتخاب گردید همچنین درختها با قطر ۱ سانتی متر در هر چیدمان و با فواصل مشخص ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی متر قرار داده شدند. شیب ساحل مورد مطالعه در ۵ حالت



شکل ۴- (الف تا ه) نیرو با چیدمان تاندوم (موازی) با فواصل ۵×۵ سانتی‌متر و عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی-متر.

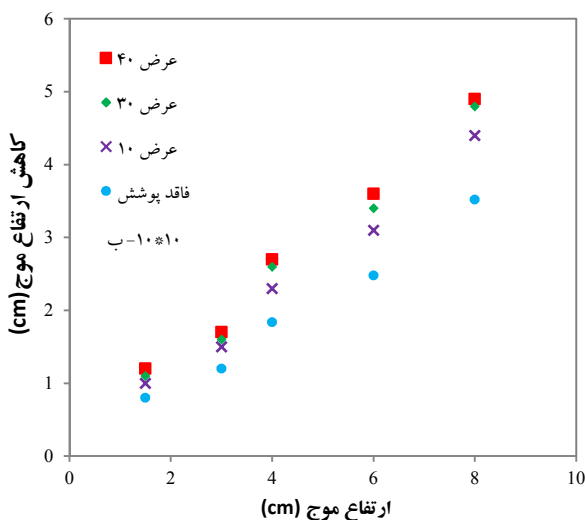
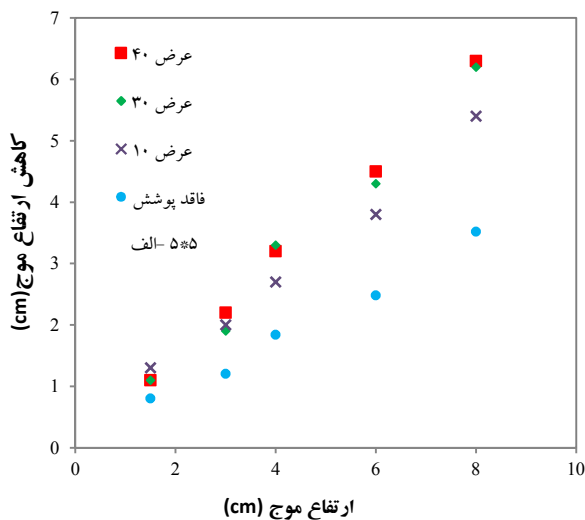


شکل ۵- (الف تا ه) نیرو با چیدمان تاندوم (موازی) با فواصل ۱۰×۱۰ سانتی‌متر عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی-متر.

بیشتر که در اینجا با عرض و فواصل بین درختان تغییر می‌کند، نیروی بیشتری را از موج جذب کرده است. در

با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌گردد که به‌ازای یک ارتفاع موج، همواره در چیدمان گیاهی با تراکم

ارتفاع بیشتری نسبت به پوشش با تراکم کمتر (۱۰×۱۰) داشته باشد. با افزایش فواصل از ۵×۵ به ۱۰×۱۰ به علت اینکه مقاومت در مقابل جریان کمتر شده است کاهش ارتفاع موج نیز کمتر می‌گردد. به عنوان مثال در ارتفاع آب پشت دریچه برابر با ۳۵ سانتی‌متر، کاهش ارتفاع موج در حالت ۱۰×۱۰ به طور متوسط از سایر آزمایش‌ها، ۷۰ درصد حالت ۵×۵ می‌باشد.



شکل ۶- (الف و ب) کاهش ارتفاع موج در ساحل با پوشش درختی با تراکم‌های متفاوت.

مقایسه نتایج با رابطه موریسون

همان‌طور که در قبل اشاره شد از رابطه موریسون در برآورد میزان نیرو وارد شده بر پوشش به کار رفته در ساحل در آزمایش‌های انجام شده استفاده گردیده

این حالت سطح برخورد مقابل موج بیشتر از حالت با تراکم‌های کمتر می‌باشد به همین علت هنگام برخورد موج به پوشش مقاومت ناشی از نیروی درگ در مقابل عبور موج بیشتر می‌باشد. با افزایش عرض پوشش به دلیل اینکه تعداد ردیف‌های پوشش بیشتری در مقابل موج قرار می‌گیرد مقاومت بیشتر گردیده و نیروی بیشتری از موج جذب می‌شود. با افزایش ارتفاع موج تأثیر تراکم پوشش بیشتر شده زیرا موج ایجاد شده با ارتفاع بیشتر، تعداد درخت و سطح برخورد وسیع‌تری را در بر می‌گیرد بنابراین تأثیر چیدمان و عرض پوشش بارزتر شده و اختلاف بین میزان نیروهای جذب شده در حالت‌های مختلف پوشش بیشتر می‌گردد. با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌گردد که به ازای حالت‌های مشابه، به طور متوسط نیروی جذب شده با فواصل ۵×۵، ۱/۵ بار بیشتر یعنی معادل ۵۰ درصد افزایش نسبت به حالت ۱۰×۱۰ می‌باشد. این روند نشان‌گر تأثیر مستقیم تراکم بر میزان نیروی جذب شده از امواج می‌باشد.

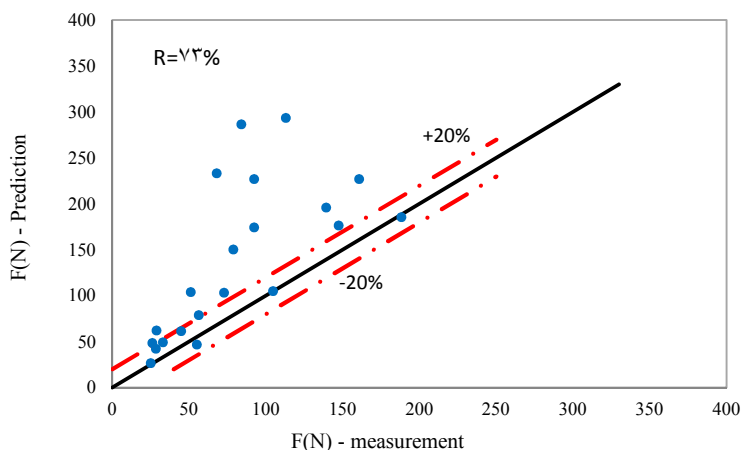
تأثیر تراکم پوشش بر کاهش ارتفاع موج عبوری

هنگامی که موج به ساحل برخورد می‌کند با نیروی درگ ناشی از پوشش مواجه می‌گردد. این امر موجب می‌شود ارتفاع موج بعد از پوشش کاهش پیدا کند. بر اساس داده‌های ثبت شده مشخص گردید که کاهش ارتفاع موج به مشخصات پوشش نظیر تراکم که شامل فاصله بین درختان و عرض پوشش است و همچنین شیب ساحل مورد مطالعه بستگی دارد. در شکل ۶ مقدار کاهش ارتفاع موج ناشی از پوشش را در شیب ۳ درصد در تراکم‌های مختلف ۵×۵ و ۱۰×۱۰ نمایش می‌دهد سایر شیب‌ها روند مشابه‌ای با نمودارهای ارائه شده، نشان می‌دهد.

بر اساس شکل ۶ همان‌طور که در قسمت قبلی نشان داده شد تراکم بیشتر پوشش گیاهی نیروی درگ 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 متراکم (در اینجا حالت، ۵×۵ منظور می‌باشد) کاهش

موریسون با تقریب مناسب استفاده نمود. در ادامه به- عنوان نمونه نتایج مربوط به آزمایش‌ها در عرض ۱۰ سانتی‌متر آورده شده است (شکل ۷). بقیه نمودارها در عرض‌های دیگر برآوردی نزدیک و مشابه با این نمودار، دارا می‌باشند.

(نامدار و نصرت ۲۰۱۰) تا در مقایسه با میزان نیروی ثبت‌شده توسط لودسل میزان همبستگی مقادیر ثبت شده و مقادیر پیش‌بینی شده توسط رابطه موریسون مشخص گردد. در صورت بالا بودن این همبستگی می‌توان در شرایط مشابه آزمایش‌های انجام شده از رابطه



شکل ۷- مقادیر نیروی محاسباتی از رابطه موریسون در مقابل مقادیر نیروی اندازه گیری شده توسط نیروسنج.

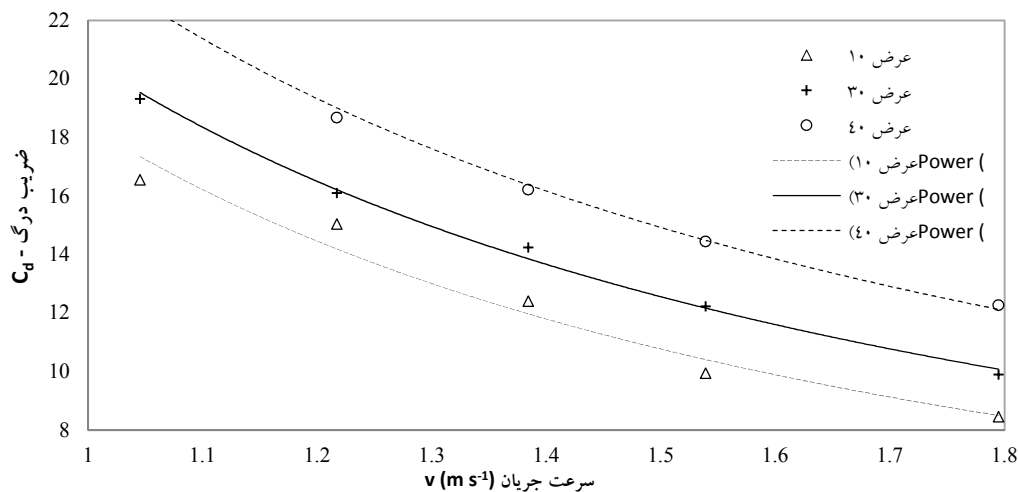
در این بررسی به دلیل فرض جریان شبه ماندگار از تغییرات سرعت با زمان به دلیل ناچیز بودن صرف‌نظر شده است. در نتیجه رابطه ۱ که در قبل آورده شده به- صورت رابطه ۵ خلاصه گردید.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_d A_p V^2 \quad [5]$$

بنابراین رابطه ضریب درگ بصورت رابطه ۶ است که این رابطه تأثیر پارامترهای مختلف شامل سرعت جریان و سطح مقابل جریان بر میزان این ضریب مقاومتی را به وضوح نشان داده است. با داشتن نتایج ثبت شده نیروی درگ در آزمایشگاه می‌توان با کمک این رابطه ضریب درگ را برآورد نمود.

$$C_d = \frac{2F_D}{\rho V^2 A_f} \quad [6]$$

همان‌طورکه از شکل ۷ مشخص است نتایج محاسبه شده به روش موریسون با نتایج آزمایشگاهی انطباق کمی داشته برای استفاده در شرایط ذکر شده در این بررسی مناسب نمی‌باشد. دلیل پراکندگی نتایج، شرایط پای ساحل می‌باشد. رابطه موریسون اغلب برای بررسی نیروی درگ در سازه‌های فرا ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد سازه‌های ساحلی به- دلیل مؤثر بودن پارامترهای دیگر در جذب نیرو این رابطه نمی‌تواند نتایج دقیقی را ارائه دهد. برای بررسی کلی از وضعیت سازه‌های ساحلی می‌توان از این رابطه استفاده نمود اما باید نیروهای مقاوم مؤثر دیگر را نیز بررسی نمود.



شکل ۸- روند تغییرات ضریب درگ با تغییرات سرعت (در چیدمان 10×10 با شیب ۵ درصد).

نتیجه گیری کلی

به طور کلی تحقیقات نشان می‌دهد کاهش ارتفاع موج دریا در ساحل به کمک پوشش درختی، در کاهش هندسه موج و اثرات خطرناک آن از جمله میزان نیروی وارد شده به ساحل مؤثر است. به ازای یک ارتفاع موج، همواره تراکم پوشش بیشتر، نیروی بیشتری را از موج جذب می‌کند. به طوری که در حالت عرض 40 سانتی‌متر و چیدمان 5×5 سانتی‌متر به ازای تمام شیب‌ها بیشترین کاهش نیرو و ارتفاع موج مشاهده شده است. با افزایش فواصل از 5×5 به 10×10 به علت اینکه تراکم کمتر و مقاومت در مقابل جریان کمتر شده است میزان کاهش ارتفاع موج کمتر می‌گردد. به طور متوسط در حدود 30 درصد از کارایی پوشش در کم کردن ارتفاع موج کاسته می‌گردد. در همه عرض‌ها میزان نیروی جذب شده در حالت 5×5 سانتی‌متر بیشتر از حالت 10×10 سانتی‌متر بود. نیروی مستهلک شده از امواج در حالت 5×5 سانتی‌متر به طور متوسط $1/5$ برابر نیرو در حالت 10×10 سانتی‌متر برآورد گردید. همچنین از نتایج می‌توان مشاهده نمود که متناسب با افزایش ارتفاع موج رسیده به ساحل، نیروی بیشتری به ساحل وارد می‌گردد. همچنین تأثیر شیب بر کارایی پوشش نیز از نتایج مشخص می‌باشد. با افزایش شیب ساحل تأثیر پوشش درختی در استهلاک نیروی امواج کاهش یافته است. به طوری که در

در ادامه جهت ارزیابی صحت نتایج آزمایشگاهی بر اساس رابطه ۶ اقدام گردید. جهت بررسی رابطه ۶ در تعیین میزان ضریب درگ، مقادیر نیروی درگ می‌بایست با آزمایش برآورد گردد. به عنوان مقایسه کاون و فتحی مقدم (۲۰۰۰) و مایهد (۱۹۷۳) بر اساس کار آزمایشگاهی در تونل باد به تخمین ضریب مقاومت جریان پرداختند. بعضی دیگر از محققان با استفاده از ثبت داده‌های واقعی صحرائی به تخمین ضریب درگ اقدام نمودند که از آن جمله می‌توان به مطالعات رودبارکی و همکاران (۱۹۹۴) اشاره نمود. در اینجا نیز با استفاده از روش آزمایشگاهی و با اندازه‌گیری مستقیم نیرو به تخمین ضریب درگ بر اساس رابطه ۵ اقدام شده است که نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست روند تغییرات ضریب درگ با سرعت جریان بر اساس رابطه ۶ و منطبق بر واقعیت می‌باشد که این به خوبی نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۸ و رابطه ۶ ضریب درگ با افزایش سرعت جریان کاهش یافته است. به طور کلی روند تغییرات ضریب درگ با سرعت و نحوه تخمین آن برای یک گروه درختی به صورت کلی مشابه روند این تغییرات برای تک‌درخت می‌باشد.

شکن در مناطق ساحلی مسکونی می‌باشد که علاوه بر صرفه اقتصادی هدف اصلی اقدامات مهندسی سواحل و ساماندهی ساحل را که کاهش تخریب سواحل در اثر امواج می‌باشد، را نیز به‌خوبی برآورده می‌نماید. این روش همچنین می‌تواند در کاهش آلودگی هوا و کنترل نیروی سونامی کاربردی باشد.

حالت عرض ۴۰ سانتی‌متر و چیدمان ۵×۵ سانتی‌متر در ساحل بدون شیب (صفر درصد) بیشترین نرخ کاهش نیرو نسبت به حالت بدون پوشش که معادل با ۴۳ درصد استهلاک در نیروی موج است، مشاهده گردید. این نتایج مشخص می‌نماید که استفاده از کمربند سبز ساحلی گزینه بسیار مناسبی در کاهش اثرات مخرب امواج می‌باشد و جایگزین مناسبی از لحاظ اقتصادی برای موج

منابع مورد استفاده

- Hamzah L, Harada K and Imamura F, 1999. Experimental and numerical study on the effect of mangrove to reduce tsunami. *Tohoku Journal of National Disaster Science* 35(2): 127-132.
- Harada K and Imamura F, 2006. Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow. *Proc. 1st Congress. Asian and Pacific Coastal Engineering Dalia 1*: 975- 984.
- Kathiresan K and Rajendran N, 2005. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 67(3): 601- 606.
- Kothyari UC, Hayashi, K and Hashimoto H, 2009. Drag coefficient of unsubmerged rigid vegetation stems in open channel flows. *Journal of Hydraulic Research* 47(6): 691-699.
- Kouwen N and Fathi-Moghadam M, 2000. Friction factors for coniferous trees along rivers. *Journal of Hydraulic Engineering* 126(10):732-740.
- Kutija V and Erduran K.S, 2003. Quasi-three-dimensional numerical model for flow through flexible, rigid, submerged and non-sub merged vegetation. *Journal of Hydraulic informatics* 5(3): 189-202.
- Kutija V and Hong HTM, 1996. A numerical model for assessing 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.
- Namdar A and Nusrath A, 2010. Tsunami numerical modeling and mitigation. *Journal of Frattura ed Integrità Strutturale* 12: 57-62.
- Mayhead GJ, 1973. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies. *Agricultural Meteorology* 12:123-130.
- Mokhtari M and Hajizadeh Zaker N, 2005. Makran (Sea of Oman) a Tsunami Prone Area for Iranian Coasts, Pp. 60-65. 6th A/O Regional Meeting of IAPH, Tehran, Iran.
- Roodbaraky HJ, Baker CJ, Dawson AR and Wright CJ, 1994. Experimental observations of the aerodynamic characteristics of urban trees. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 52:171-184.