

## مطالعه آزمایشگاهی اثر کمربند سبز ساحلی بر میرایی امواج دریا

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

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

### چکیده

در مناطق ساحلی با خطر وقوع طوفان استفاده از موانع سخت مانند دیوار حائل ساحلی و دایک برای کاهش اثرات مخرب امواج رایج می‌باشد. در این پژوهش امکان استفاده از کمربند سبز در مناطق ساحلی بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. کمربند سبز از درختان گرمسیری با ثبات و استحکام کافی در برابر فشار موج تشکیل شده است. آزمایش بصورت دو بعدی در کانال موج، برای ارزیابی تاثیر پوشش بر کاهش اثر امواج انجام شد. ساقه‌های پلاستیکی بدون انعطاف به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر با قطر ۱/۵ سانتیمتر (در شرایط غیر مستغرق) در قسمت ساحلی در کانال به کار گرفته شد. آزمایش‌ها با چیدمان مستطیلی (موازی) با فواصل ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتیمتر، ۳ حالت عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر، ۵ شیب ساحل صفر، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد و ۵ ارتفاع موج ۱/۵، ۳، ۴، ۶ و ۸ سانتیمتر با تناوب موج بین ۱۲ تا ۱۵ ثانیه انجام گردید که در مجموع با حالت بدون پوشش، ۱۷۵ حالت مختلف بررسی شده است. نیروی وارده شده ناشی از موج بر بدنه ساحل با استفاده از روش اندازه گیری مستقیم به کمک نیروسنج الکترونیکی (لودسل) نصب شده در زیر قسمت متحرک فلوم، ثبت شده است. نتایج تجربی نشان داد که کمربند سبز در میرایی امواج از طریق جذب نیروی امواج در قالب نیروی درگ بر روی درختان، تاثیر به سزایی داشته است.

**واژگان کلیدی:** کمربند سبز، ساحل، موج، نیروسنج الکترونیکی.

## ۱. مقدمه

جاری شدن سیل ناشی از طوفان شدید خطر بزرگی در امتداد سواحل است. این مناطق ساحلی معمولاً با ارتفاع کم می باشند و زمین و زیرساخت های موجود در آن توسط موج طوفان و سایر امواج دریا دچار آبیگری می شود. شدت این تهدید می تواند با بالا آمدن سطح دریا و امکان افزایش در فرکانس و یا قدرت طوفان به علت تغییرات آب و هوایی، تشدید گردد. اگر چه سازه های حفاظتی سخت مانند دایک و دیوارهای ساحلی خطر سیل را کاهش می دهند، اما این سازه ها ممکن است در شرایط طوفانی بیش از طوفان طرح، با شکست مواجه گردند. یک نظر کلی وجود دارد که تالابها، که اغلب به عنوان مناطق گذار در بین آب و خشکی قرار دارند و شامل پوشش مستغرق و یا غیر مستغرق می باشند، می توانند به عنوان حائل عمل نموده و به طور چشمگیری باعث کاهش طوفان و انتشار امواج قبل از توسعه در ساحل شوند (Anderson et al. 2011).

از آنجا که کشور ما مرز دریایی بسیار طولانی دارد و اکثر مناطق ساحلی جزء مراکز بازرگانی و اقتصادی می باشند، لذا حفاظت از این مناطق در مقابل امواج دریا بسیار حائز اهمیت است. از نظر تاریخی ایران به ویژه در سواحل جنوب شرقی خود (مکران) تحت تأثیر طوفان های شدید و سونامی بوده است. آخرین زمین لرزه در این منطقه که سونامی زا بوده، زمین لرزه ای به بزرگی ۸/۱ در سال ۱۹۴۵ بوده است که سونامی عظیمی را در این منطقه به وجود آورد. این سونامی حداقل ۴۰۰۰ نفر تلفات داشت و خسارات چشمگیری به سواحل ایران، عمان و پاکستان وارد نمود. 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 می دهد (مختاری و حاجی زاده ذاکر ۲۰۰۵).

مکانیسم های 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 می باشند. کاهش اثرات مخرب امواج در میان یک پوشش درختی با تراکم های متفاوت مانند ایجاد جریان آشفته در داخل بدنه یک سازه متخلخل می باشد. شایان 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 مقدار از سرگذری و انتقال موج از درون بدنه سازه (سازه متخلخل) قابل قبول است. در اینجا استفاده از پوشش گیاهی بعنوان یک سازه متخلخل برای کاهش اثر مخرب امواج در سواحل پیشنهاد می گردد که باعث تثبیت سواحل و دوام سازه های موجود در آن گردیده، همچنین به بهبود وضعیت زیست محیطی منطقه ساحلی کمک می نماید.

## مطالعات صحرائی

کمر بند سبز باید بین خط داخلی ساحل و منطقه مسکونی اجرا شود که شامل پوششی از درختان گرمسیری مثل نارگیل، انبه و مانگرو (حرا) می باشد. حرا ریشه گسترده و برگ متراکم دارد و برای کاهش ارتفاع امواج بلند و امواج جزر و مدی مناسب است (Harada et al. 2002). مطالعات صحرائی انجام گرفته در امتداد 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 (Jayakumar and Mascarenhas, 2008). 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 گزارش شده است (Kathiresan and Rajendran, 2005). مطالعات صحرائی در مورد ۵ منطقه مسکونی متفاوت در امتداد یک ساحل انجام گرفت. نتایج نشان داد که در مورد ۳ منطقه که در پشت حصارهایی از جنگل های ساحلی مانگرو قرار داشتند در اثر طوفان های دریایی و سونامی خرابی نداشتند در حالیکه ۲

شد (Kutija and Erduran, 2003). مطالعه عددی و آزمایشگاهی بر روی میرایی انرژی موج اصابت شده توسط جنگل‌های ساحلی مانگرو، کارایی این روش را در حفاظت از سواحل آشکار نمود (Harada and Imamura, 2006; Hamzah et al. 1999).

نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر پوشش گیاهی ناشی از امواج به صورت  $F = (F_x, 0, F_z)$  است که در آن معمولاً فرض می‌شود  $F_z$  نسبت به  $F_x$  قابل اغماض است (آب‌های کم عمق). نیروی افقی  $F_x$  به طور معمول با استفاده از معادله پایه موریسون توصیف شده است. معادله موریسون نیروهای وارد شده بر جسم جامد در جریان نوسانی را توصیف می‌نماید و متشکل از دو بخش است: یک نیروی کششی ( $F_D$ ) و یک نیروی اینرسی ( $F_I$ ). معادله موریسون به صورت رابطه (۱) است:

$$F = 0.5 \rho C_d A_p |U|U + \rho C_m \nabla \left( \frac{\partial U}{\partial t} \right) \quad (1)$$

$\rho$  چگالی آب،  $C_d$  ضریب درگ،  $A_p$  سطح مانع روبروی جریان،  $U$  سرعت موج تابیده شده به مانع،  $C_m$  ضریب اینرسی،  $\nabla$  حجم مانع روبروی جریان،  $\frac{\partial U}{\partial t}$  تغییرات جزئی سرعت با زمان است (Morison et al. 1950).

با بررسی عددی و شبیه‌سازی ریاضی پوشش گیاهی در ساحل مشخص شد که با استفاده از رابطه موریسون می‌توان نیروی موج وارد بر ساحل و سازه‌های ساحلی را برآورد نمود (Namdar and Nusrath, 2010).

یکی از راه‌های اقتصادی مقابله با امواج فرسایشی و حتی امواج ناشی از سونامی، کاشت درخت در حاشیه ساحل به عرض چند ده متر (کمر بند سبز) می‌باشد. در این مطالعه به اندرکنش امواج ساحلی و کمر بند سبز درختی با استفاده از یک مدل فیزیکی پرداخته شده است. در مقایسه با سایر آزمایش‌های انجام شده در این زمینه، از روش مستقیم اندازه‌گیری کل نیروی وارده ناشی از موج بر ساحل، به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار پوشش درمقابل امواج استفاده شده

منطقه دیگر که بدون حفاظ بودند چندین بار توسط طوفان‌های دریایی و سونامی دچار خرابی شدند. گرچه علاوه بر جنگل‌های ساحلی، دیوارهای ساحلی نیز گزینه مناسبی در حفاظت از سواحل در مقابل امواج دریا می‌باشند (Danielsen et al., 2005).

### مطالعات آزمایشگاهی و عددی

تعامل پوشش گیاهی و موج تحت شرایط آزمایشگاهی کنترل شده مورد مطالعه قرار گرفته است این مطالعات در فلوم با هر دو پوشش گیاهی طبیعی (Tschirky et al. 2000, Fonseca and Cahalan (1992) و یا پوشش گیاهی مصنوعی (Cavallaro et al. 2010, Augustin et al. 2009, Lima et al. 2006, Kongko 2004, Løvås and Tørum 2000, Dubi and Tørum 1996) با عناصر مختلف شبیه سازی شده است.

مطالعه آزمایشگاهی بر روی مدل پوشش ساحلی مانگرو با استفاده از ساقه‌های استوانه‌ای ایستاده و سخت (بدون انعطاف) صورت گرفت، نتایج نشان داد که در حدود ۱۰ تا ۶۰ درصد انرژی موج حین عبور از میان این پوشش توسط موانع درختی مستهلک گردید (Kongko 2004). در حدود ۵۰ تا ۲۰۰ درصد افزایش در میرایی موج در هر متر را در شرایط پوشش غیر مستغرق با نسبت طول ساقه ( $LS$ ) به ارتفاع موج ( $H$ ) بیش از یک، در مقایسه با شرایط پوششی مستغرق ( $LS/H = 0.75$ ) مشاهده شده است (Augustin et al. 2009). مطالعه تجربی آزمایشگاهی نشان داد که اتلاف انرژی موج بستگی به میزان تراکم پوشش جنگل (شامل چیدمان و عرض پوشش) و قطر تنه درخت دارد (Furukawa et al., 1997).

یک پژوهش تلفیقی، عددی شبه سه بعدی و آزمایشگاهی به منظور تجزیه و تحلیل، تدوین و تعیین فرمول درگ ناشی از پوشش گیاهی انجام شده است. پوشش در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق با دو نوع ساقه انعطاف‌پذیر و ساقه سخت بدون انعطاف شبیه‌سازی شده است. در این بررسی، تئوری "پایه کانتیلور" برای محاسبه میزان انحراف و درگ ناشی از پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته

برای بررسی در قطر ثابت ۱/۵ سانتیمتر، تعداد ۱۷۵ آزمایش انجام شده است که ۲۵ آزمایش مربوط به حالت بدون پوشش درختی و بقیه با پوشش می‌باشند. در این آزمایش‌ها بر اساس پیشنهادات موجود در پیشینه تحقیقاتی تعامل موج و پوشش گیاهی به انتخاب مقادیر پارامترها اقدام شد. مدلسازی بر اساس عدد فرود و با مقیاس ۱:۴۰ انجام گرفت.

پارامترهای مؤثر به منظور بررسی تاثیر 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 ( $\mu_w$ )، چگالی نسبی آب ( $\rho_w$ )، شتاب ثقل (g)، قطر درخت (d)، ارتفاع درخت ( $h_t$ )، عرض پوشش (W)، طول پوشش (Lg)، فواصل ردیف درختان (L) و شیب ساحل (S) می‌باشد که این پارامترها در رابطه ۲ آورده شده اند. جهت محاسبه پارامترهای بی بعد از روش  $\pi$  باکینگهام استفاده شده است.

$$f_1(F, H, d, ht, S, h, V, w, Lg, L, g, \rho_w, \mu_w) = 0 \quad (2)$$

با استفاده از روش  $\pi$  باکینگهام در تحلیل ابعادی و انتخاب H، V و  $\rho_w$  به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. طول پوشش ( $L_g$ ) نیز به دلیل ثابت بودن (۷۰ سانتیمتر) در تمام آزمایش‌ها، حذف گردید. عمق آب پای ساحل (h)، نیز برای شبیه سازی شرایط جریان کم عمق، مقدار ثابت ۶ سانتیمتر در نظر گرفته شد. ارتفاع درخت ( $h_t$ )، نیز برای شبیه سازی شرایط پوشش غیر مستغرق مقدار ثابت ۲۰ سانتیمتر انتخاب شد. در نهایت بجز شیب S، تعداد ۱۰ پارامتر دیگر در تحلیل ابعادی مؤثر بوده، که بر اساس روش باکینگهام تعداد ۷ عدد بی بعد از آن استخراج گردید (رابطه ۳).

$$f_2\left(\frac{d.H=A}{H^2}, \frac{W}{L}, \frac{W}{H}, \frac{L}{H}, \frac{\rho_w V^2 H^2}{F}, \frac{\rho_w V H}{\mu_w}, \frac{V^2}{gH}, S\right) = 0 \quad (3)$$

از عدد رینولدز ( $\frac{\rho_w V H}{\mu_w}$ ) با توجه به ماهیت آزمایش‌ها و تلاطم ناشی از ایجاد موج ناگهانی و عدم تاثیر لزجت در آن، صرفنظر گردید. عدد بی‌بعد دوم و

است. بررسی پیشینه تحقیقاتی چگونگی عملکرد پوشش گیاهی در مقابل امواج در ساحل نشان می‌دهد که مطالعات در زمینه نیروی وارده بر ساحل در دو حالت با پوشش و بدون پوشش گیاهی به صورت مقایسه‌ای، به ویژه در شرایط حضور امواج با تناوب-های مختلف و همچنین بررسی پارامترهای مؤثر پوشش گیاهی بر میرایی امواج، با استفاده از روش مستقیم اندازه گیری نیروی درگ درختان اندک است. به همین دلیل این پژوهش بر روی این جنبه از موضوع متمرکز شده است. پارامترهای گیاهی، از جمله عرض کمربند سبز، قطر ساقه، فاصله و الگوی قرار گیری آنها نسبت به هم، نتایج متفاوتی را بر روی دیدگاه کلی تعامل موج و پوشش گیاهی دارد. که در اینجا به بررسی این پارامترها به عنوان متغیر بر روی پدیده مورد بحث پرداخته شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

خصوصیات موج، پوشش گیاهی و ساحل بر میزان نیرو، فشار و پیشروی موج بر روی ساحل تاثیرگذار می‌باشند. در این پژوهش مدل فیزیکی ساحل جهت محاسبه مستقیم نیروی امواج و همچنین بررسی تاثیر پوشش درختی بر خصوصیات موج شامل ارتفاع و نیرو، شبیه سازی شده است. در این پژوهش متغیرهای زیادی مورد مطالعه قرار گرفت تا در نهایت نتیجه بدست آمده صحیح و قابل استناد باشد. چیدمان پوشش در حالت مستطیلی (تاندوم) با سه عرض مختلف ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر و ساقه استوانه‌ای با قطر ۱/۵ سانتیمتر در حالت ایستاده غیر مستغرق از جنس پلاستیک سخت و بدون انعطاف جهت شبیه سازی درخت، با فواصل مشخص ۵×۵ و ۱۰×۱۰ (سانتیمتر) قرار داده شد. شیب ساحل مورد مطالعه در ۵ حالت مختلف صفر، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد تنظیم گردید. جهت شبیه سازی امواج تا ارتفاع متوسط ۳ متر خصوصیات موج تابیده شده به ساحل که بصورت تصادفی ایجاد شده، شامل تناوب موج ۱۲ تا ۱۵ ثانیه و ارتفاع موج ۱/۵ تا ۸ سانتیمتر می‌باشد. بطورکلی

ارتفاع و سرعت موج دو عدد ترانسیدیوسر فشار (شماره ۱ و ۲) در کف فلوم با فاصله ۰/۵ متر تعبیه شد. ارتفاع موج از طریق فشاری که ترانسیدیوسر ثبت نموده، قابل محاسبه است. سرعت موج نیز برابر است با حاصل تقسیم فاصله بین دو ترانسیدیوسر بر مدت زمانی که موج فاصله بین دو ترانسیدیوسر را طی نموده و به کمک نتایج قابل محاسبه است.

#### اندازه گیری نیرو به کمک لودسل (load cell)

در این روش، طولی معادل یک متر از فلوم مورد اشاره جدا شده است و با نصب یکسری ابزارآلات به شیوه خاصی در آستانه حرکت قرار داده می‌شود. در این حالت با نصب فلوم بر روی لبه‌های تیز مشابه چاقو و اعمال اندکی شیب طولی به آن، فلوم در آستانه سقوط قرار گرفته به نحوی که هر لحظه امکان دارد با اعمال کوچک ترین نیرویی تعادل خود را از دست داده و سقوط نماید، این در حالی است که نیرو سنج 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 نیروسنج دینامیکی (حسگر بار دینامیکی) امکان ثبت مقدار نیروی وارده از طرف موج به ساحل را فراهم می‌نماید. نیروسنج به نمایشگری که توانایی ذخیره نیروهای بیشینه را دارد متصل است. نماید این نیرو سنج از نوع تک نقطه ای کلاس L6d-C3، با ظرفیت ۵۰kg است. این سیستم نیرویی با اضافه کردن بار توسط وزنه های معین کالیبره و صحت سنجی گردید. میزان خطای این وسیله ۰/۰۰۱ کیلوگرم می باشد. کالیبراسیون فلوم لبه چاقویی با اعمال بار معین به فلوم و وارد کردن مقدار عددی آن بار در نشانگر الکترونیکی انجام گردید. کالیبراسیون فلوم منجر به حذف بسیاری از منابع خطا از جمله حذف بخش عمده خطای مربوط به اصطکاک داخلی دستگاه می‌شود. شکل ۳ تجهیزات اندازه گیری نیرو که در زیر فلوم لبه چاقویی تعبیه شده است و نمایی از سیستم چند کاناله اندازه‌گیری نوسانات فشار (دیتالاگر) را نشان می‌دهد.

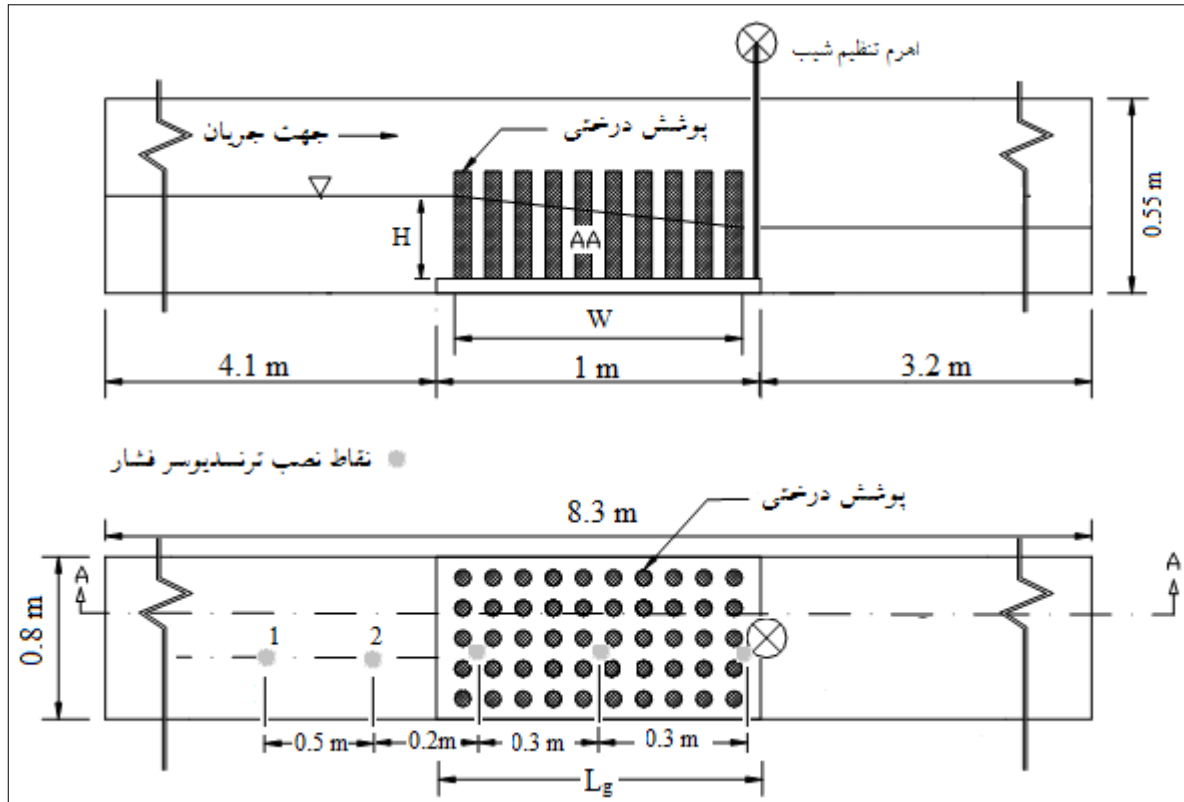
چهارم بصورت ترکیبی معادل عددی بعد سوم بوده، به همین دلیل حذف شدند. عدد بی بعد  $(\frac{V^2}{gH})$  در واقع همان عدد فرود جریان است. از پارامترهای ثابت و اعداد بی بعد بی تاثیر در طول آزمایش‌ها، صرفنظر گردید و در نتیجه رابطه ۴ بدست آمد.

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

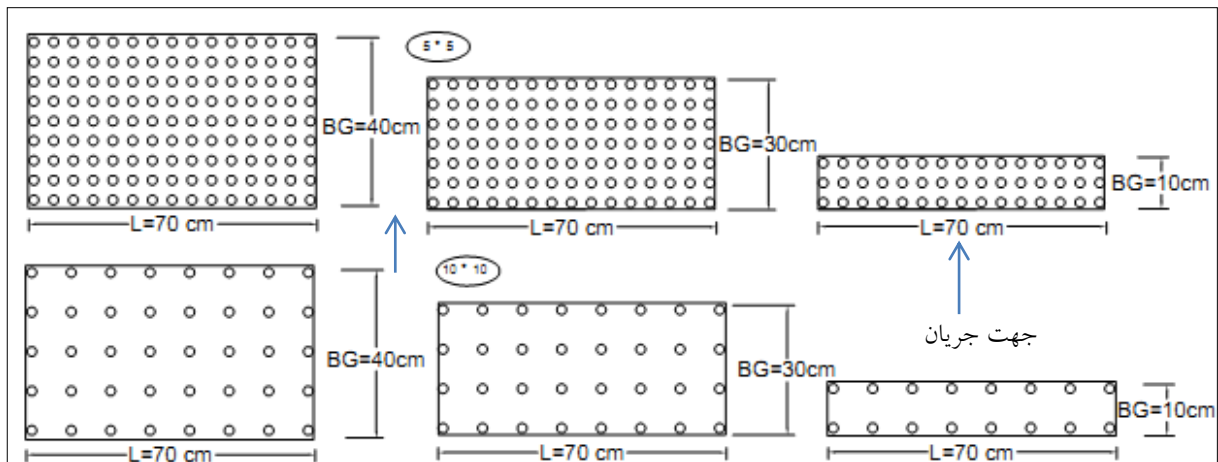
آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. طول فلوم ۸/۳ متر است که از سه قسمت شامل ۴/۱ متر کانال بالادست، یک متر فلوم لبه چاقویی (محدوده اندازه گیری) و ۳/۲ متر کانال پایین دست با مقطع مستطیلی ساخته شده است. ارتفاع دیواره فلوم برابر با ۰/۵۵ متر می‌باشد. جنس فلوم از آهن بوده و جداره ها از صفحات پلاکسی گلاس پوشانده شده اند. عمق آب در هر لحظه با استفاده ترانسیدیوسر فشار و بر اساس زمان ثبت گردید. در زیر قسمت لبه چاقویی فلوم نیروسنج الکترونی (لودسل) نصب گردید، که بصورت مستقیم نیروی حاصل از برخورد امواج به ساحل را اندازه‌گیری می‌نماید. در شکل ۱ پلان فلوم و ساحل بصورت شماتیک نشان داده شده است.

#### مراحل انجام آزمایش‌ها

قسمت ابتدایی فلوم به عنوان مخزن ایجاد موج استفاده گردید، به این صورت که آب در پشت دریچه ای کشویی بالا آمده و با باز کردن ناگهانی دریچه موج ایجاد می‌گردد. با تغییر عمق آب در پشت دریچه، موج با ارتفاع مورد نظر ایجاد می‌گردد. ساحل با استفاده از یک صفحه پلاکسی گلاس بر روی ناحیه متحرک فلوم ایجاد شده و شیب‌های مورد نظر با استفاده از یک اهرم پیچی که به ساحل متصل است، تنظیم شدند. پوشش گیاهی بر روی این ساحل در حالت‌های مختلف برای هر آزمایش مطابق شکل ۲ مستقر گردید. به منظور ثبت فشار و مقدار بالاروندگی موج هنگام برخورد به ساحل ۳ عدد ترانسیدیوسر (مبدل فشار) در طول ساحل تعبیه گردید، این مبدل‌های فشار قابلیت اندازه گیری نوسانات فشاری تا ۰/۰۱ میلی بار را دارا می‌باشند. جهت اندازه گیری



شکل ۱. نمایشی از فلوم مستطیلی شکل و ساحل



شکل ۲. حالت‌های مختلف چیدمان پوشش درختی در آزمایش‌ها



شکل ۳. نمایی از سیستم مبدل اندازه گیری نوسانات فشار و حسگر دینامیکی نیرو به همراه نشانگر الکترونیکی.

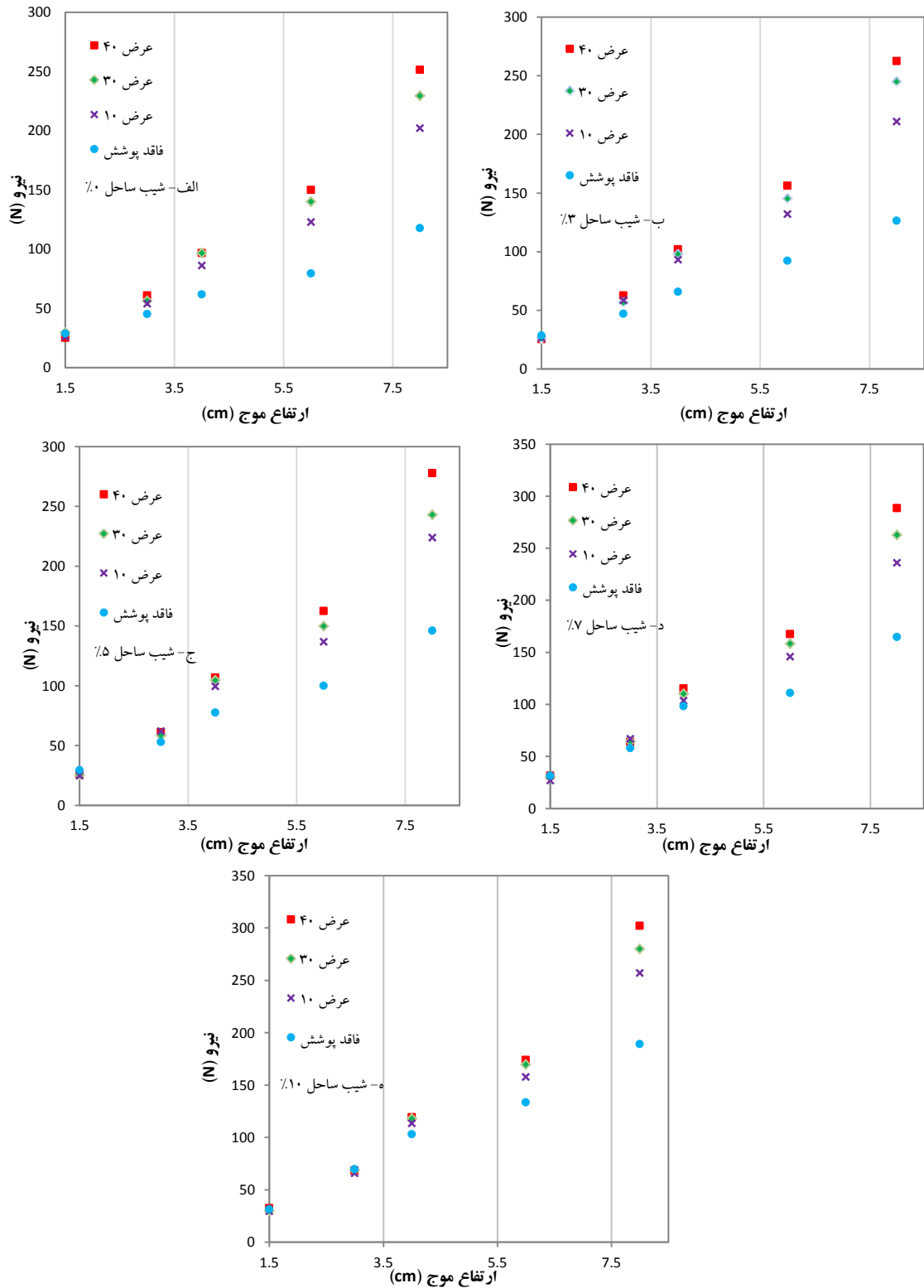
جذب نیروی امواج و میزان کاهش در ارتفاع موج عبوری مورد بررسی قرار گرفته شده است.

**تاثیر تراکم پوشش و ارتفاع موج بر جذب نیروی موج**

در شکل‌های ۴ و ۵ نیروهای ثبت شده به ترتیب به ازای فواصل  $5 \times 5$  و  $10 \times 10$  سانتیمتر ارائه شده است.

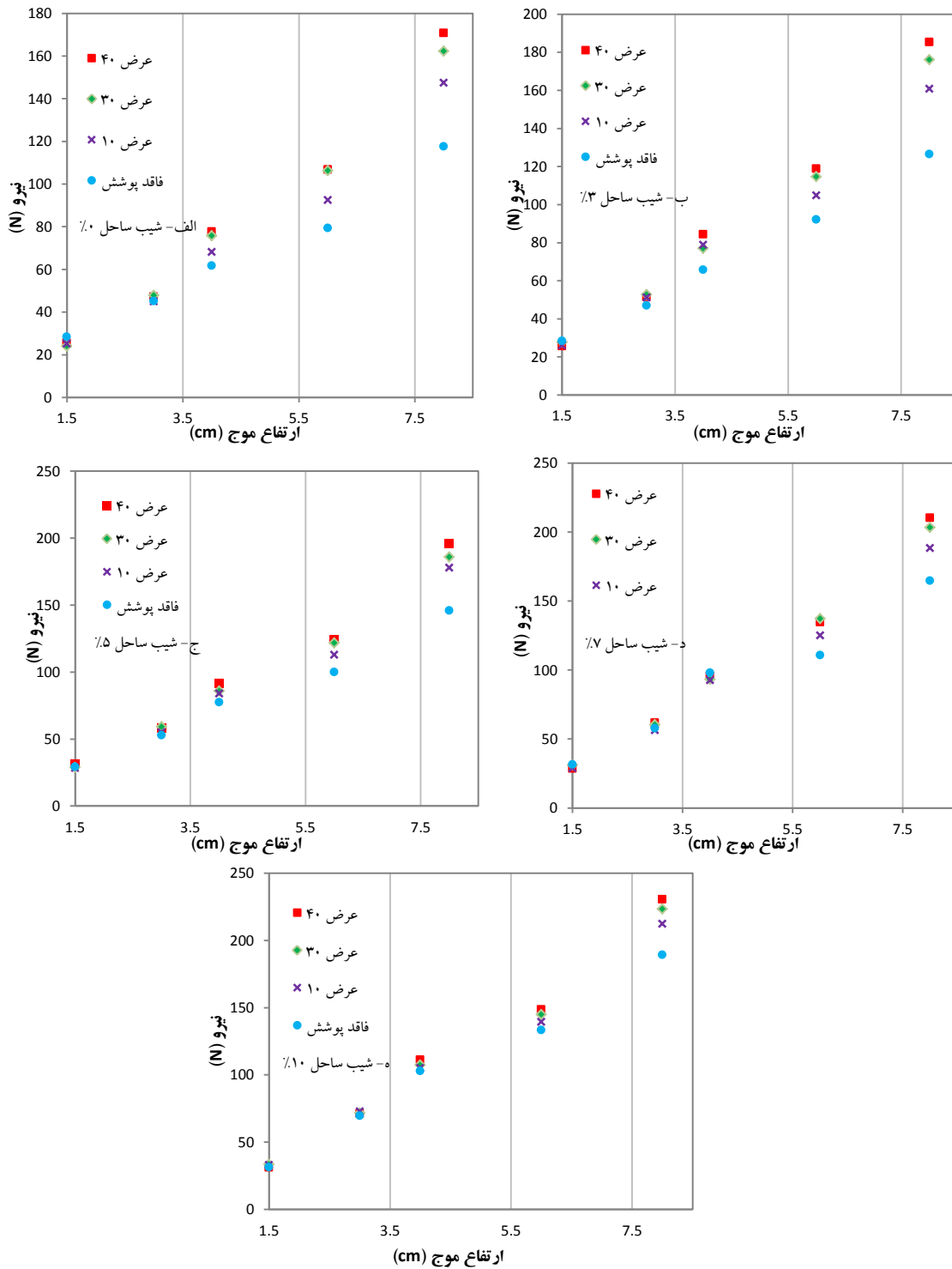
### ۳. نتایج

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 است و بیشترین نیروی وارد شده ثبت گردیده است. در اینجا تاثیر خصوصیات پوشش از جمله تراکم، بر



شکل ۴. (الف تا ه) نیرو با چیدمان مستطیلی با فواصل ۵×۵ سانتیمتر عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر.





شکل ۵. (الف تا ه) نیرو با چیدمان مستطیلی با فواصل ۱۰×۱۰ سانتیمتر و عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر.

کمتر می باشد به همین علت هنگام برخورد موج به پوشش مقاومت ناشی از نیروی درگ در مقابل عبور موج بیشتر می باشد. با افزایش عرض پوشش (ردیف های پوشش) به دلیل اینکه تعداد ردیف های پوشش بیشتری در مقابل موج قرار می گیرد مقاومت بیشتر

با توجه به شکل ۴ مشخص است که به ازای یک ارتفاع موج، همواره تراکم بیشتر گیاهی که در اینجا با عرض و فواصل بین درختان تغییر می کند، نیروی بیشتری را از موج جذب کرده است. در این حالت سطح برخورد مقابل موج بیشتر از حالت با تراکم های

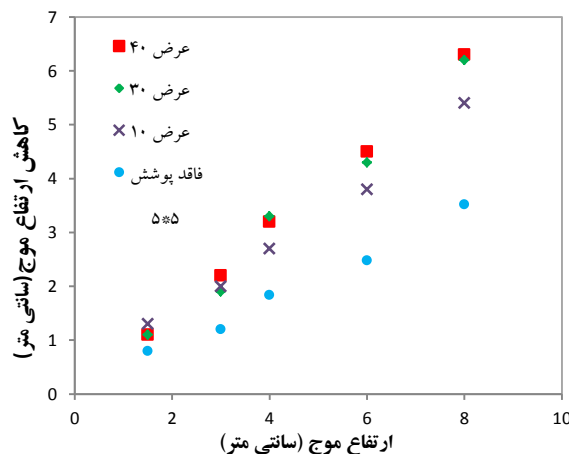
بطور متوسط حضور پوشش معادل ۶۰٪ از نیروی موج را نسبت به شرایط بدون پوشش، مستهلک نموده است. تاثیر تراکم پوشش بر میزان کاهش نیرو بین دو حالت ۵×۵ و ۱۰×۱۰ بطور متوسط معادل ۳۰٪ افزایش در تضعیف موج برای تراکم بیشتر می‌باشد. با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ مشخص می‌گردد که به ازای حالت‌های مشابه، نیروی جذب شده با فواصل ۵×۵، ۱/۵ بار بیشتر از حالت ۱۰×۱۰ می‌باشد (جدول ۱). که این روند نشانگر تأثیر مستقیم تراکم بر میزان نیروی جذب شده از امواج می‌باشد.

گردیده و نیروی بیشتری از موج جذب می‌شود. همچنین متناسب با افزایش ارتفاع موج نیروی بیشتری ایجاد می‌گردد. 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. کارایی پوشش با مقایسه نتایج در شرایط بدون پوشش با شرایط با پوشش بخوبی آشکار است به عنوان نمونه در عرض ۴۰ سانتیمتر در حالت ۵×۵

جدول ۱. مقایسه نیرو جذب شده (نیوتن) بین حالت ۵×۵ و ۱۰×۱۰.

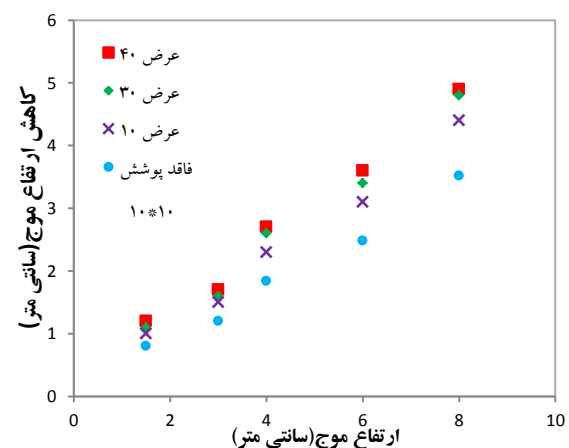
پارامتر	کمیت
نیرو، فاصله ۵×۵	۲۶۹
نیرو، فاصله ۱۰×۱۰	۱۸۳
نسبت نیروی ۵×۵ به ۱۰×۱۰	۱/۵

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 داده شد. سایر شیب‌ها روند مشابه‌ای با نمودارهای ارائه شده در زیر داشته‌اند.



#### تأثیر تراکم پوشش بر میرایی موج

هنگامی که موج به ساحل برخورد می‌نماید با نیروی کشش مقاومتی، 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



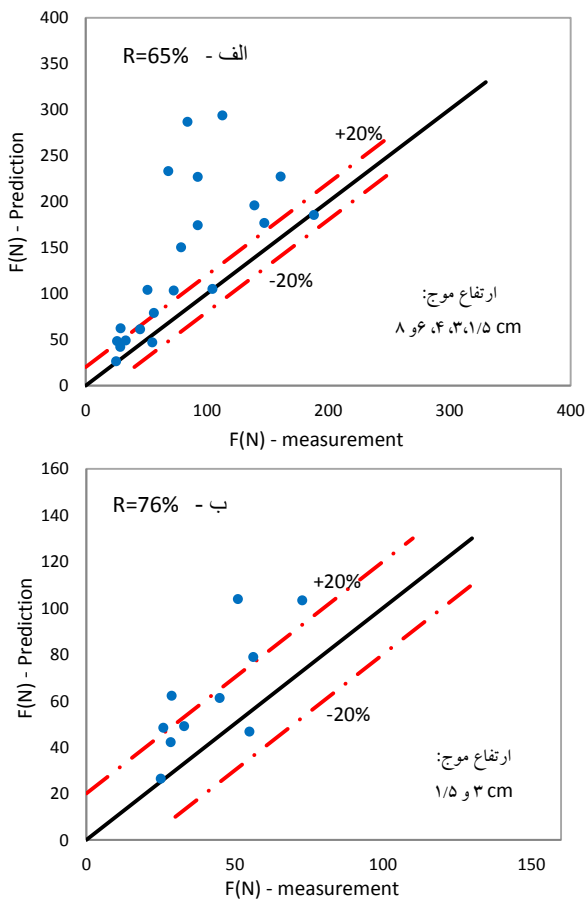
شکل ۶. الف و ب) کاهش ارتفاع موج در ساحل با پوشش درختی با تراکم‌های متفاوت.

شده است. بر اساس شکل ۶ و همانطور که در قسمت قبلی نشان داده شد تراکم بیشتر پوشش گیاهی

در بیشترین تراکم ارتفاع موج عبوری از ساحل، نسبت به شرایط بدون پوشش به طور متوسط ۲ برابر کمتر

شده با مقادیر برآوردی توسط موریسون کمتر شده است بطوریکه با ترسیم مجدد نمودار برای مقایسه بهتر نتایج در ارتفاع‌های کمتر ۱/۵ و ۳ سانتی‌متر همبستگی بیشتر شده واز ۶۵٪ به ۷۶٪ رسیده است (شکل ۷-ب). می‌توان نتیجه گرفت رابطه موریسون برای شرایط مشابه این پژوهش مناسب بوده و در ارتفاع‌های کمتر دقت بیشتری را دارا می‌باشد.

بر اساس معادله ۱ که در قبل توضیح داده شد، نیروی درگ محاسبه گردید. همچنین بر اساس پیشنهاد درگ (Namdar and Nusrath, 2010). در اینجا ضریب درگ،  $C_d$  معادل ۱ و مقدار ضریب اینرسی،  $C_m$  معادل ۲ تعیین گردید.



شکل ۷. (الف و ب) مقادیر نیروی محاسباتی از رابطه موریسون در مقابل مقادیر نیروی اندازه گیری شده.

بطور 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

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 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 سانتی متر، کاهش ارتفاع موج در حالت ۱۰×۱۰ بطور متوسط از سایر آزمایش‌ها، ۱/۹ سانتیمتر کمتر از حالت ۵×۵ می‌باشد.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری مقایسه با رابطه موریسون

دو روش در درک نیروی موج اعمال شده به ساختار و یا به هر مانع طبیعی وجود دارد، یکی استفاده از تئوری موج است و دوم با استفاده از معادلات اساسی دینامیک سیال است. در اینجا، استفاده از نظریه موج در نظر گرفته شده است. رابطه موریسون می‌تواند در برآورد نیروی موج وارد شده بر موانع موجود در ساحل استفاده شود (Namdar and Nusrath, 2010). از این رابطه در برآورد میزان نیرو وارد شده بر پوشش بکار رفته در ساحل در آزمایش‌های انجام شده استفاده گردید 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، تا در صورت بالا بودن این همبستگی بتوان در شرایط مشابه آزمایش‌های انجام شده از رابطه موریسون با تقریب مناسب استفاده نمود. در اینجا بعنوان نمونه عرض ۱۰ سانتی‌متر ادامه آورده شده است (شکل ۷-الف و ب) بقیه نمودارها در عرض‌های دیگر برآوردی نزدیک و مشابه با این نمودار را دارا می‌باشند. شکل ۷-الف برای ۵ ارتفاع موج مورد آزمایش ترسیم شده است اما همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش ارتفاع موج همبستگی نتایج ثبت

Cavallaro L., C.L. Re, G. Paratore, A. Viviano, and E. Foti. 2010. Response of Posidonia oceanic to wave motion in shallow-waters: Preliminary experimental results. Proceedings of the 32<sup>nd</sup> International Conference on Coastal Engineering. Coastal Engineering Research Council. 1-10.

Danielsen, F., Sørensen, M.K., Olwig, M.F., Selvam, V FaizalParish, Neil, D., Burgess, et al., 2005. A Protective Role for Coastal Vegetation. Science, New Series, Vol. 310, No. 5748, 643.

Dubi, A., and A. Tørum. 1996. Wave energy dissipation in kelp vegetation. Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering. ASCE. 2626-2639.

Fonseca, M.S., and J.A. Cahalan. 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. Estuarine, Coastal, and Shelf Science. 35(6): 565-576.

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

Hamzah, L., Harada, K., 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., Imamura, F. (2006). Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow. Proc. 1<sup>st</sup> Congress. Asian and Pacific Coastal Engineering Dalia. 975- 984.

Husrin, S., Strusińska, A., Oumeraci, H. (2012). Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. Journal of Earth Planets Space, 64, 973-989.

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

Kothyari, U.C, Hayashi, K., Hashimoto, H. (2009). Drag coefficient of a submerged rigid vegetation stems in open channel flows. Journal of Hydraulic Research. 47(6), 691-699.

Kongko, W., Study on tsunami energy dissipation in mangrove forest, 43 pp., Master Thesis Report, Iwate University, Japan, 2004.

Kutija, V., 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.

ارتفاع موج، همواره تراکم بیشتر، نیروی بیشتری را از موج جذب می کند. البته متناسب با افزایش ارتفاع موج نیروی بیشتری به ساحل وارد می گردد. در بیشترین تراکم ارتفاع موج نسبت به شرایط بدون پوشش به طور متوسط ۲ برابر کمتر شده است. همچنین با افزایش فواصل از ۵×۵ به ۱۰×۱۰ به علت اینکه مقاومت در مقابل جریان کمتر شده است کاهش ارتفاع موج نیز کمتر می گردد. نیروی جذب شده در حالت ۵×۵ بیشتر از حالت ۱۰×۱۰ است. بطور متوسط نیروی مستهلک شده از امواج در حالت ۵×۵ با چیدمان مستطیلی ۱/۵ برابر نیرو در حالت ۱۰×۱۰ برآورد گردید. با افزایش عرض پوشش نیروی بیشتری از موج توسط درختان مستهلک شده است. نرخ این تغییرات نیرو در اثر افزایش عرض، مستطیلی در حالت ۱۰×۱۰ بیشتر از حالت ۵×۵ ثبت گردید. بیشترین نرخ تغییرات در حالت ۱۰×۱۰ با شیب ۳ درصد و ارتفاع موج ۸ سانتیمتر، معادل ۲۶ درصد ثبت گردید. یعنی با افزایش عرض در این حالت عامل کاهنده نیرو رشد ۲۶ درصدی را از خود نشان داده است. ارتفاع موج ۱/۵ به نسبت قطر مورد بررسی، روند مشخص و قابل اطمینانی را نتیجه نمی دهد. با توجه به غیر مستغرق بودن پوشش در کلیه ارتفاع موج های انتخابی، نتایج به دست آمده برای هر ارتفاع موج، تاثیر پوشش بر میرایی موج را در این شرایط نشان می دهد. همچنین قابل ذکر است که درصد کاهش نیرو و ارتفاع موج، بر اساس احتمال وقوع موج با مشخصات معین، در تعیین دامنه امنیت سواحل مورد استفاده قرار گیرد.

#### منابع

- Anderson, M., McKee Smith, J., and Kyle McKay, S. 2011. Wave Dissipation by Vegetation. ERDC/CHL CHETN-I-82
- Augustin, L.N., Irish, J.L. and Lynett, P. 2009. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. Coastal Engineering. 56(3): 332-340.

- Lima, S.F., C.F. Neves, and N.M.L. Rosauo. 2006. Damping of gravity waves by fields of flexible vegetation. Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering. World Scientific. 491-503.
- Løvås, S.M., and A. Tørum. 2000. Effect of submerged vegetation upon wave damping and run-up on beaches: A case study of Laminaria hyperborea. Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering. ASCE. 851-864.
- Mascarenhas, A., 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 Environment Management 89(1), 24-34.
- Morison, J.R., M.P. O'Brien, J.W. Johnson, and S. Schaaf. 1950. The force exerted by surface waves on piles. Petroleum Transactions. 189: 149-154.
- Namdar, A., Nusrath, A. (2010). Tsunami numerical modeling and mitigation. Journal of Frattura ed Integrità Strutturale 12, 57-62.
- Tschirky, P., K. Hall, and D. Turcke. 2000. Wave attenuation by emergent wetland vegetation. Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering. ASCE. 865-877.

## Laboratory Study at the Impact of Coastal Green Belt on Wave Attenuation

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

### Abstract

In this study, the effect of vegetation on the reduction of the transmitted wave height and beach vegetation to absorb the force of the waves has been studied. Tests for the two layouts with rectangular spaced  $5 \times 5$  and  $10 \times 10$  cm, 3-state within 10, 30 and 40 cm, 5 sloping beach., 3, 5, 7 and 10% and 5 wave height of 1/5, 3, 4, 6 and 8 cm were used. In total, 175 different cases have been investigated. Dynamic pressure is measured at several points on the coast by a pressure transducer. The force exerted by the waves on the beach of the fuselage has been measured using electronically force meters (load cell) installed in the part of the flume is made movable. For all of shore slopes, the maximum of momentum absorption and wave height reduction was in pattern  $5 \times 5$ , and width, 40 cm. The force absorption for spaced  $5 \times 5$  was more than  $10 \times 10$ . The average rate of force absorption, between  $5 \times 5$  and  $10 \times 10$ , was 1/5.

**Keywords:** Dynamic pressure, load cell, Vegetation, Waves,