

مطالعه آزمایشگاهی کاهش نیروی امواج شکنا توسط پوشش‌های بلند درختی مستغرق و غیر مستغرق

پریسا آذین فر^{۱*}، منوچهر فتحی مقدم^۲ و جواد احدیان^۳

۱، ۲، و ۳- به‌ترتیب: دانشجوی دکتری، استاد، و استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۷

چکیده

از عوامل مهم تأثیر گذار بر کاهش امواج توسط پوشش‌های درختی، نسبت استغراق (نسبت عمق آبگرفتگی درختان به ارتفاع آنها) است. در این پژوهش، آزمایش‌های جامعی در کانال موج برای ارزیابی تأثیر پوشش درختی در حالت استغراق و غیراستغراق بر میرایی امواج شکنا به اجرا درآمد و ساقه‌های چوبی درختان با قطر ۱ سانتی‌متر به‌عنوان کمربند سبز شبیه سازی شده در معرض هجوم امواج شکنا با ارتفاع‌های متفاوت قرار گرفتند. روش اندازه‌گیری بر مبنای جذب مومتم است و نیروی موج وارد شده بر قسمت متحرک فلوم با طولی معادل یک متر که در بخش میانی فلوم قرار گرفته با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم و توسط حسگر بار دینامیکی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها با آرایش موازی ۱۰×۱۰ در شیب ثابت صفر، یازده ارتفاع موانع از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و ده ارتفاع متفاوت موج بررسی شده است. نتایج آزمایشگاهی نشان داد در تولید امواج با ویژگی‌های یکسان، هنگامی که موانع از حالت غیراستغراق به حالت استغراق تغییر یابند، نیروی جذب شده موج بسیار کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش مشاهده شده، معادل ۴۱/۶۳ درصد، هنگامی است که موانع به یک سوم ارتفاع اولیه خود (از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در حالت غیرمستغرق به ۱۰ سانتی‌متر در حالت مستغرق) می‌رسند و ارتفاع موج ۱۳ سانتی‌متر است.

واژه‌های کلیدی

کمربند سبز، میرایی امواج شکنا، نسبت استغراق، نیروی جذب شده موج

مقدمه

سیل ناشی از موج‌های بلند، علاوه بر تلفات جانی منجر به فرسایش حجم بسیار زیاد رسوبات و تعلیق آنها تا چندین کیلومتر جلوتر به داخل خشکی می‌شود. وقتی رسوبات بسیار زیاد شود عملکرد بنادر، شیلات و کشاورزی مختل می‌شود و با ورود آب شور به زمین‌های کشاورزی، این صنعت نیز با مشکلاتی عمده مواجه خواهد شد (Goto & Imamura, 2007). در گذشته، روش‌های مؤثر حفاظت از سواحل در مقابل فرسایش ناشی از هجوم امواج عبارت بوده است از احداث دیوارهای ساحلی، آب شکن‌ها و موج

امواج پدیده‌هایی فعال و تعیین کننده در نواحی ساحلی هستند. امواج سونامی تولید شده در اثر پدیده‌های طبیعی مانند زلزله یا لغزش زمین در زیر آب و حتی امواج انتقالی ناشی از عبور شناورها مانند حرکت کشتی در رودخانه‌ها ممکن است در بعضی نقاط عواقب مهمی داشته باشند. امواج باعث تغییرات قابل توجه در سواحل می‌شوند. حمل ماسه‌ها به طرف دریا و برگشت آنها به طرف ساحل باعث تغییر شکل طبیعی سواحل می‌شود.

تنها دو نفر جان خود را از دست دادند در حالی که حدود ۶۰۰۰ نفر در مناطق ساحلی بدون پوشش جان باختند (Hashim & Catherine, 2013).

در حال حاضر جنگل‌های ساحلی عاملی مؤثر در کاهش خسارات ناشی از سونامی تلقی می‌شوند که علاوه بر بهبود شرایط زیست محیطی و حفظ جنبه زیبایی شناختی ساحل، صرفه اقتصادی نیز دارند. گرایش‌های اخیر در مهندسی سواحل روی شکل‌های غیر تداخلی محافظت ساحل مانند پوشش‌های گیاهی متمرکز شده‌اند که علاوه بر محافظت ساحل می‌توانند زیستگاه طبیعی برای بسیاری از گونه‌های جانوری نیز باشند (Augustin *et al.*, 2009). پوشش‌های گیاهی سیل و آسیب‌های ناشی از ویرانی امواج را کاهش و به صورت مستقیم پایداری خط ساحلی را از طریق ریشه افزایش می‌دهند و ذخیره ماسه در فرم تپه ساحلی را بالا می‌برند (Dean, 1979). با استفاده از نظریه خطی موج در آب کم عمق نشان داده شده است که مومنت منتقل شده ناشی از شکست موج در حضور پوشش درختی دو تا سه برابر بیشتر از شرایط بدون پوشش درختی کاهش یافته است (Ghanbari Adivi, E. & Fathi-Moghadam, M., 2014). در مطالعه‌ای آزمایشگاهی، فتحی مقدم و همکاران (Fathi-Moghadam *et al.*, 2018) نشان دادند که میزان عمق آبرفتگی توسط پوشش ساحلی در تراکم‌های ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۴، ۱۸ و ۲۹ درصد کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی هر موج بسته به ارتفاع نسبی، عمق آب ساکن اولیه و شیب ساحل ممکن است پیش از رسیدن به خط ساحلی بشکند (موج شکنا)، یا نسبت به موقعیت در نظر گرفته شده در قسمت ساحلی نشکند و موج ناشکنا قلمداد شود (Chegini, 1998).

حرکت اجزای آب در هر موج، جریان ناپایدار پیوسته است. وقتی این جریان ناپایدار با بدنه صلب سازه‌ای

شکن‌های دور از ساحل. احداث این نوع سازه‌های موج شکن مانند احداث دیگر سازه‌های دریایی، شرایط اکوسیستم طبیعی منطقه را تغییر می‌دهد (Thuy *et al.*, 2009). از طرفی، احداث چنین سازه‌هایی بسیار پرهزینه است و قبل از اقدام به احداث باید کارایی آنها در حفاظت از منطقه ساحلی بررسی شود. در چنین شرایطی، وجود جنگل‌های ساحلی که عامل تشکیل دهنده اکوسیستم ساحلی به شمار می‌روند، مورد توجه قرار گرفته و در مقابل هجوم امواج بزرگ به عنوان موانع طبیعی و مؤثر تشخیص داده شده‌اند. پوشش‌های گیاهی جنگلی ساحلی همچون حرا یا کاج‌های ساحلی تا حدی در برابر باد یا طوفان‌های شدید مقاومت می‌کنند. اگر چه توانایی و مقاومت جنگل‌های ساحلی در برابر سونامی‌های بسیار بزرگ همچنان مورد بحث است زیرا تاکنون هیچ‌گونه نتیجه قطعی در خصوص نقش جنگل‌های ساحلی به‌عنوان مانع طبیعی در برابر امواج سونامی وجود ندارد. هر چند گزارش‌ها و تحقیقات متعدد (مشاهدات میدانی، میزان ویرانی تجربه شده و عکس‌های ماهواره‌ای) به‌طور واضح نشان داده‌اند که جنگل‌های ساحلی ممکن است بتوانند در برابر امواج سونامی نقش حفاظت‌کننده طبیعی داشته باشند (Husrin *et al.*, 2012).

نقش حفاظتی پوشش‌های درختی بعد از سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند مورد توجه بیشتری قرار گرفت. در آن زمان پنج روستا که دو تا از آنها در ساحل و سه تای دیگر پشت پوشش‌های درختی در جنوب شرقی هند بودند مورد مطالعه قرار گرفتند. دیده شد روستاهایی که در ساحل بودند کاملاً تخریب شدند در حالی که سه روستای دیگر، با فاصله‌ای یکسان از ساحل نسبت به دو روستای قبلی، که با پوشش درختی محافظت شده بودند هیچ‌گونه تخریبی در آنها مشاهده نشد. اتحادیه جهانی برای حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی با مقایسه سطح ویرانی در سریلانکا نیز گزارش داد در مناطقی با پوشش متراکم

مشخص شد که با استفاده از رابطه موريسون می توان نیروی موج وارد بر ساحل و سازه های ساحلی را برآورد کرد (Namdar & Nusrath, 2010). در ناحیه نزدیک ساحل و در شرایط آب کم عمق، با ورود موج منفرد به دلیل پیدایش تاثیر خزش ناشی از کاهش ژرفا و از بین رفتن تقارن موج، رفتارهای غیرخطی اهمیت جزء اینرسی مکانی بیشتر از اینرسی زمانی می شود. در حقیقت در این شرایط اینرسی زمانی ($\frac{du}{dt}$)، ناچیز در نظر گرفته شده و نهایتاً از نیروی اینرسی صرف نظر می شود. در مطالعات شفيعی و همکاران (Shafiei et al., 2016) با هدف بررسی توزیع فشار توده جریان بر سازه منشوری، دو نوع فشار تعیین شده است، فشار ضربه ای با مدت زمان کوتاه در حد چند میلی ثانیه و فشار شبه ماندگار که تداوم بیشتری نسبت به فشار ضربه ای دارد و در حد چند ثانیه اثر می کند. فشار ضربه ای، متأثر از ضربه پیشانی اشترک است که در مدت زمان کوتاهی اثر می کند و در ادامه با حرکت بدنه اصلی توده موج شکننا که تأثیر آن تداوم بیشتری دارد، جریانی شبه ماندگار با سازه برخورد می کند که نیروی آن در هر لحظه مجموع نیروهای هیدروستاتیک و هیدرودینامیک است. در مطالعات آزمایشگاهی، هیراشی و هارادا (Hirashi & Harada, 2003) نشان دادند که اختلاف فشار طرفین کمر بند سبز عمدتاً ناشی از مقاومت درگ است. بنابراین می توان این طور توجیه کرد وقتی امواج دریا به سمت ساحل پیش می روند با وجود کمر بند سبز، امواج وارد پوشش شده و نیروی امواج در قالب نیروی درگ بر روی درختان جذب می شود که این امر باعث میرایی موج و در نتیجه کاهش ارتفاع آن خواهد شد.

آنچه از بررسی ها و ارزیابی های میدانی به دست آمده است نشان می دهد مؤثرترین بخش گیاه که در معرض ارتفاع موج قرار می گیرد تنه یا ساقه آن است که بخش صلب گیاه را تشکیل می دهد؛ بنابراین در این تحقیق

مستغرق برخورد می کند، به علت سرعت جریان و شتاب جریان، نیروی روی بدنه اعمال می شود. سرعت جریان، نیروی کشانی F_{hd} را ایجاد می کند که روی بدنه سازه مستغرق عمل می کند و ناشی از تنش برشی اصطکاکی و فشار عمودی است که معمولاً از رابطه ۱ محاسبه می شود (Sorensen, 1997).

$$F_{hd} = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 \quad (1)$$

برای سطح گوشه دار و غیر مسطح (نظیر مقاطع مستطیلی و دایره ای)، A مساحت مقطع عمود بر سطح جریان، u سرعت جریانی است که به جسم می رسد، ρ چگالی مایع و C_D ضریب درگ است که بستگی دارد به شکل مقطع، جهت جریان، زبری سطح و عدد رینولدز جریان و به عنوان ضریب مقاومت سازه در مقابل جریان در نظر گرفته می شود. وقتی جریان عبوری از یک سطح شتاب داشته باشد، نیروی اضافی اینرسی را علاوه بر آنکه در رابطه (۱) داده شده است روی بدنه ایجاد می کند. بنابراین وقتی جریان ناپایدار وجود دارد، نیروی هیدرودینامیک کل F روی جسم را می توان به صورت رابطه ۲ نوشت (Sorensen, 1997).

$$F_{hd} = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 + C_m \rho V \frac{du}{dt} \quad (2)$$

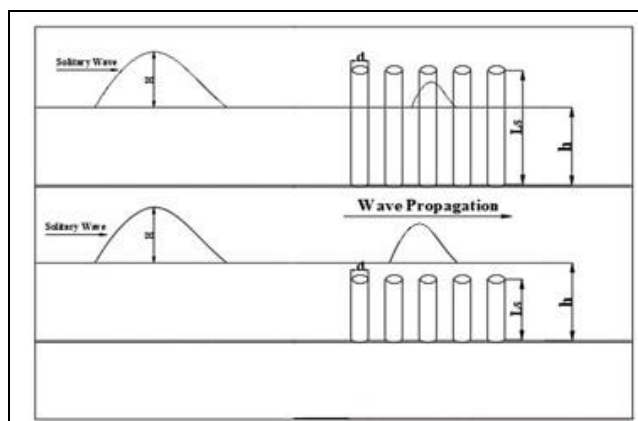
که در آن،

ρ = چگالی آب، C_D = ضریب درگ، A = سطح مانع روبه روی جریان، u = سرعت موج تابیده شده به مانع، C_m = ضریب اینرسی، V = حجم مانع روبروی جریان و $\frac{du}{dt}$ تغییرات سرعت با زمان در نظر گرفته شده است. رابطه ۲ که برای برآورد نیروهای ناشی از موج روی سازه مستغرق به کار می رود، رابطه موريسون نامیده می شود. با بررسی عددی و شبیه سازی ریاضی پوشش گیاهی در ساحل

اما شرایط فیزیولوژیک درختان ممکن است به گونه‌ای باشد که ارتفاع آنها در سن بلوغ نسبت به ارتفاع توده جریان عبوری از اراضی ساحلی کمتر باشد و در نتیجه جنگل مستغرق خواهد شد؛ بنابراین مقاومت پوشش در حالت استغراق یکی از فاکتورهای مهم در میرایی موج خواهد بود. همچنین در مطالعات پیشین برای ایجاد نسبت‌های مختلف استغراق، عمق آب ساکن متغیر در نظر گرفته شده که این خود باعث تغییر خصوصیات موج خواهد شد؛ بنابراین، در تحقیق حاضر تصمیم گرفته شد تا مقاومت پوشش در برابر امواج شکنا در حالت استغراق با تغییر ارتفاع موانع صورت گیرد (شکل ۱).

مقاومت هیدرولیکی تنه درختان مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. علاوه بر آن، بعد از هجوم و ضربه سونامی‌های بزرگ بیشترین آبرگرفتگی و نیروی جذب شده در درختان بالغ در بخش تنه آنهاست.

اغلب مطالعات پیشین در راستای تحلیل نیروهای امواج وارده بر سازه‌ها و موانع غیرمستغرق بوده است. استغراق نسبی به تعبیری زبری نسبی درختان به حساب آمده و عاملی موثر بر مقاومت جنگل در مقابل عبور موج است. یکی از عوامل مورد توجه در انتخاب گونه گیاهی مورد نظر به منظور طراحی جنگل بر اساس ارتفاع درخت به هنگام رشد رویشی، باید تأمین نسبت زبری نسبی قابل قبول برای مقابله با موج باشد (Davoudi et al., 2016)؛



شکل ۱- نمایی شماتیک از پوشش صلب با نسبت استغراق مختلف

Fig. 1- Schematic view of the rigid vegetation with different relative depth of submergence

که در آن،

F = نیروی موج؛ H_{inun} = ارتفاع یا عمق آبرگفتگی موانع؛ ρ = جرم واحد حجم سیال؛ g = شتاب ثقل؛ u = سرعت موج تابیده به موانع؛ μ = لزوجت دینامیکی؛ D = قطر موانع، S = شیب ساحل به درصد؛ l_s = ارتفاع پوشش؛ W = عرض پوشش؛ و L = طول پوشش در راستای عرض فلوم است. نتیجه تحلیل ابعادی از طریق π باکینگهام به صورت تابع زیر است (رابطه ۴).

مواد و روش‌ها

با کمک آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر در فیزیک مسئله تشخیص داده می‌شوند پس از آن با تغییر هر متغیر و در نتیجه تغییر هر پارامتر مؤثر می‌توان تأثیر آن را بر نتایج تحلیل کرد. متغیرهای مؤثر بر فیزیک پدیده به صورت رابطه ۳ است.

$$f(F, H_{inun}, \rho, g, u, \mu, D, S, l_s, W, L) = 0 \quad (3)$$

$$\left(\frac{F}{\rho Au^2}, \frac{\rho u H_{inun}}{\mu}, \frac{U}{\sqrt{g H_{inun}}}, \frac{H_{inun}}{h}, \frac{H_{inun}}{D}, \frac{H_{inun}}{L}, \frac{H_{inun}}{l_s}, \frac{H_{inun}}{W}, S\% \right) = 0 \quad (4)$$

از عدد رینولدز با توجه به ماهیت آزمایش‌ها و تلاطم ناشی از ایجاد موج ناگهانی و بی تأثیر بودن لزوجت در آن صرف نظر گردید. با توجه به هدف آزمایش و ثابت بودن قطر موانع، عرض پوشش، طول پوشش در راستای عرض و شیب ساحل در تمام آزمایش‌ها رابطه بالا به شکل رابطه ۵ در خواهد آمد.

از عدد رینولدز با توجه به ماهیت آزمایش‌ها و تلاطم ناشی از ایجاد موج ناگهانی و بی تأثیر بودن لزوجت در آن صرف نظر گردید. با توجه به هدف آزمایش و ثابت بودن قطر موانع، عرض پوشش، طول پوشش در راستای عرض و شیب ساحل در تمام آزمایش‌ها رابطه بالا به شکل رابطه ۵ در خواهد آمد.

$$\frac{F}{\rho Au^2} = f\left(\frac{u}{\sqrt{gH_{inun}}}, \frac{H_{inun}}{l_s}\right) \quad (5)$$

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده آزمایش

Table 1- The range of changes of the measured parameters of the experiment

اندازه quantity	پارامتر parameter
40	عرض پوشش ثابت (W) (سانتی‌متر) Fixed cover width (cm)
8,10,12,14	عمق آب ساکن ساحل به سانتی‌متر (h) The Still water depth of the beach (cm)
28,34,40	عمق آب پشت دریچه به سانتی‌متر (P) Water depth of reservoir (cm)
10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30	ارتفاع موانع به سانتی‌متر (L _s) Obstacle height (cm)
10-15	ارتفاع موج به سانتی‌متر (H) Wave height (cm)
18.74-53.56	نیروی استهلاک شده به نیوتن (F) Force (N)
1.45-1.96	سرعت انتشار موج به متر بر ثانیه (u) Wave propagation speed (m/s)

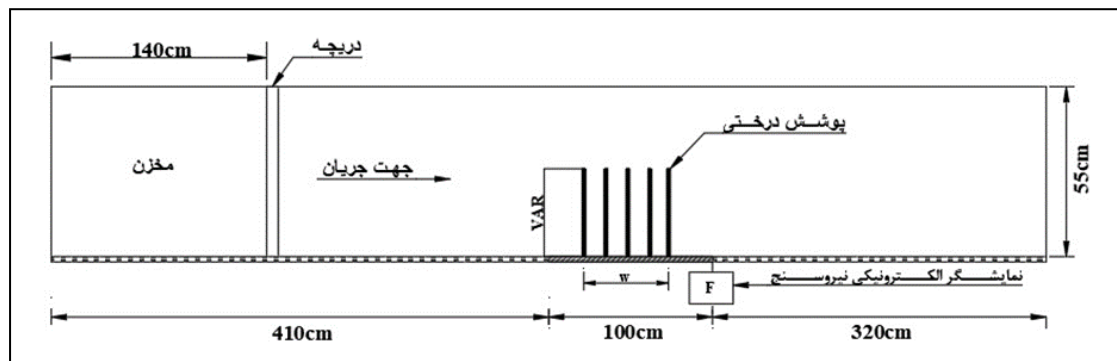
وصل می کند و عکس العمل نیروی جریان را روی نشانگر الکتریکی دستگاه نشان می‌دهد. این فلوم را نخستین بار لشکرآرا در سال ۱۳۸۸ و به منظور تعیین تنش برشی در کانال مسنطیلی با استفاده از روش مومنتم ساخت و آن را فلوم لبه چاقویی (Knife Edge) نامید. اندیشه ساخت آن الهام گرفته از میزان جذب مومنتمی است که فتحی مقدم در سال ۱۹۹۶ در رساله دکتری خود برای جذب مومنتم پوشش گیاهی انعطاف پذیر غیرمستغرق در رودخانه‌ها از آن استفاده کرد. در این فلوم طولی معادل یک متر از بقیه آن جدا و در آستانه حرکت قرار داده شده است. در این روش تعادل بخش جدا شده فلوم به کمک یک نیروسنج

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در فلوم مستطیلی شکلی به طول ۸/۳، ارتفاع دیواره ۰/۵۵ و عرض کف ۰/۸ متر از جنس پلکسی گلاس در آزمایشگاه مدل های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. برای اندازه‌گیری نیروی وارده بر ساحل از نیروسنج (لودسل) سیستم بخش لبه چاقویی استفاده گردید. نیروسنج مذکور در فاصله یک متر میانی فلوم (بخش متحرک) که ۴/۱ متر از ابتدا و ۳/۲ متر از انتهای فلوم فاصله دارد نصب شد به طوری که بخش انتهایی فلوم لبه چاقویی یا بخش متحرک را به قسمت پایین دست فلوم

جنگل ساحلی، از استوانه‌های چوبی به قطر ۱ سانتی متر استفاده شد که در بخش متحرک فلوم مستقر گردیدند. موانع مذکور در یک آرایش ثابت موازی و به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از هم قرار داده شدند.

دینامیکی برقرار شده و امکان ثبت نیروی کششی وارده از طرف سیال به آن قابل ثبت است (Lashkar-Ara & Fathi-Moghadam, 2014). در شکل ۲ نمایی از فلوم به صورت شماتیک نشان داده شده است. به‌منظور تهیه



شکل ۲- نمایی شماتیک از مقطع فلوم مستطیلی آزمایشگاهی

Fig. 2- Schematic view of the cross section of laboratory flume

متصل می‌شد و با سقوط وزنه از یک ارتفاع معلوم دریچه به سرعت باز و موج منفرد ناگهانی تشکیل می‌شد. توده عبوری روی آب ساکن جلو دریچه (عمق ساکن ساحل) حرکت می‌کند و در ادامه یک قله موج منفرد را به وجود می‌آورد. این روش مبتنی بر آزمایش‌ها و روش‌های پیشنهادی راسل (۱۸۴۵) در تولید موج منفرد است. برای اجرای هر آزمایش، ابتدا دریچه کشویی مولد موج و شیر ورودی جریان به داخل فلوم باز هستند تا عمق آب ساکن ساحل به اندازه مورد نظر برسد. پس از آن دریچه کشویی به صورت آب بند کاملاً بسته می‌شود و مجدداً با باز کردن شیر ورودی جریان، ارتفاع آب در مخزن پشت دریچه نیز تا اندازه مورد نظر می‌رسد. بعد از ساکن شدن سطح آب در دو طرف دریچه، ضامن دستی آزاد و با سقوط ناگهانی وزنه، دریچه به صورت سریع باز می‌شود و موج منفرد تشکیل شده به سمت پوشش گیاهی حرکت می‌کند. حرکت موج در طول فلوم با دو دوربین دیجیتال نصب شده روی سه پایه با همپوشانی مناسب فیلم برداری می‌شود. مترهای کاغذی مدرج در طول فلوم برای درک بهتر از تصاویر دوربین‌ها روی دیواره فلوم نصب شده

روش آزمایش

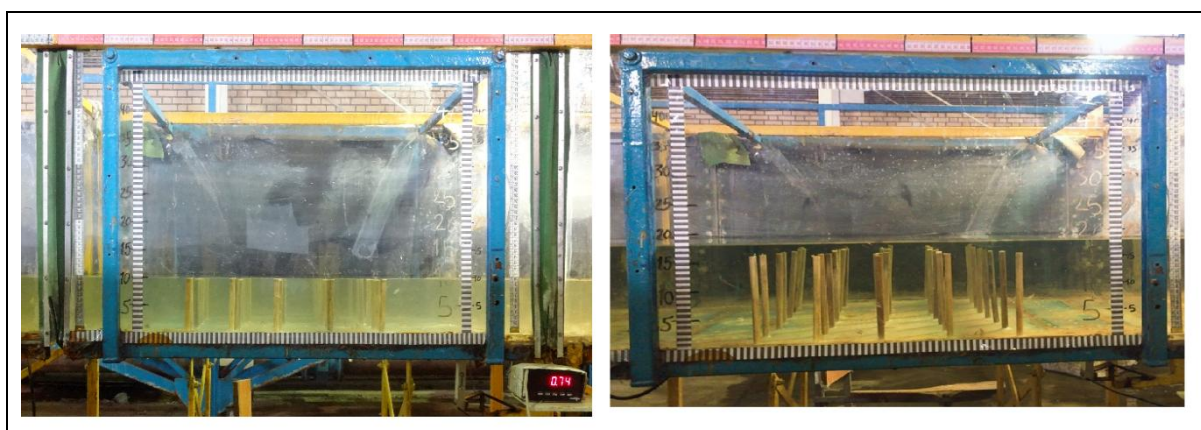
در ابتدای آزمایش‌ها موانع با ارتفاع اولیه ۳۰ سانتی-متر و آرایش موازی در قسمت متحرک فلوم و به طور ثابت قرار داده شدند، پس از آن با ایجاد موج شکنا میزان نیروی جذب شده توسط موانع از طریق نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیکی قرائت شد. تولید موج شکنا بر اساس اختلاف ارتفاع سطح آب طرفین یک دریچه کشویی ایجاد شد که در فاصله ۱/۴ متری از ابتدای فلوم ساخته شده و قابلیت حرکت آزادانه را دارد. رقوم سطح آب طرفین دریچه به گونه‌ای تنظیم می‌شد که موج حاصل پیش از رسیدن به بازه لبه چاقویی بشکند بدین معنی که عمق آب مخزن (p) و عمق ساحل (h) به گونه‌ای تنظیم می‌گردید که هنگام باز شدن دریچه کشویی موج تشکیل شده پیش از رسیدن به موانع و بازه لبه چاقویی بشکند و در نتیجه توده حاصل از آن (Bore) به پوشش‌های درختی برسد. بدین ترتیب ارتفاع سطح آب ۲۸، ۳۴ و ۴۰ سانتی‌متر به عنوان سطح آب مخزن و عمق ساکن ساحل ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. دریچه با سیستم نخ و قرقره به یک وزنه

پوشش های گیاهی بررسی کنند. اما تغییر در عمق آب پایه یا ساحل اساساً سبب تغییر مشخصات موج و در نتیجه باعث تغییرات هیدرودینامیکی و نیروی جذب شده توسط پوشش درختی می شود. بنابراین در این تحقیق نسبت های مختلف استغراق با تغییر ارتفاع موانع یا پوشش های درختی به دست آمدند بدین معنی که در یک عمق ثابت ساحل (h) و مخزن (P)، با کاهش ارتفاع موانع نسبت های مختلف استغراق ایجاد گردید. در این بخش، نتایج حاصل از آزمایش ها به منظور بررسی اثر نسبت های مختلف استغراق پوشش درختی با تراکم 10×10 بر جذب نیروی مومنتم امواج شکننا بررسی می شود. (شکل ۳).

بودند. در حین هر آزمایش، نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیک میزان نیروی وارده به سیستم متحرک لبه چاقویی را در واحد کیلوگرم-نیرو نمایش می دهد. در مرحله دوم و با کاهش ارتفاع موانع، آزمایش ها تکرار و میزان نیروی جذب شده قرائت می شوند. کلیه آزمایش ها تا رسیدن موانع به ارتفاع ۱۰ سانتی متر تکرار شد.

نتایج و بحث

پیشتر گفته شد که در مطالعات گذشته برای ایجاد نسبت های مختلف استغراق، عمق ساحل (h) را تغییر می دادند تا بتوانند اثر آن را بر میرایی موج در



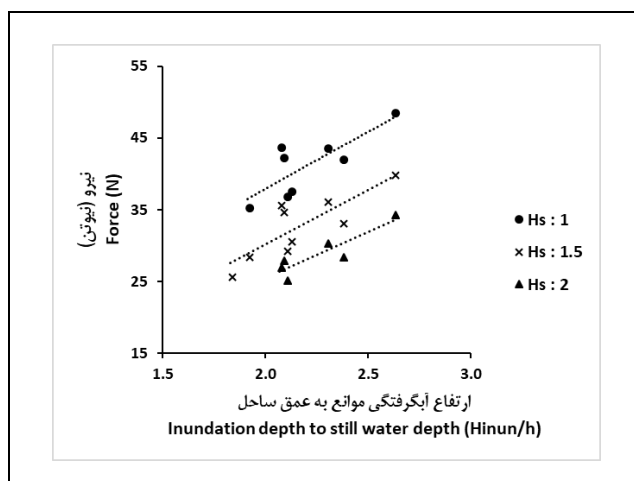
شکل ۳- نمایی از چیدمان موانع با ارتفاع های متفاوت در بخش لبه چاقویی فلوم به همراه نمایشگر حسگر بار دینامیک
Fig. 3-View of the arrangement of obstacles with different heights in the knife Edge section with electronic dynamometer (load cell)

به ارتفاع درختان بزرگ تر از یک و در حالت غیرمستغرق کوچک تر از یک است. آنچه در این تحقیق حائز اهمیت است نسبت های مختلف استغراق با ارتفاع های متفاوت موانع ایجاد شده هستند. برای مثال، با ایجاد موج شکننا که در محل موانع عمق ثابت آبگرفتگی ۲۵ سانتی متر ایجاد می کند، هنگامی که موج مذکور به موانع با ارتفاع ۳۰ سانتی متر می رسد نسبت استغراق معادل 0.83 و هنگامی که همان موج با مشخصات هیدرولیکی مشابه به موانع با ارتفاع ۲۰ سانتی متر می رسد نسبت استغراق به $1/25$ تغییر می یابد. در شکل ۴ تغییرات نیروی نسبت به پارامتر

تأثیر استغراق نسبی موانع بر تغییرات نیروی جذب شده امواج

هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر نسبت استغراق پوشش های درختی بلند بر نیروی جذب شده موج است، نحوه مقاومت جنگل هایی با نسبت های مختلف استغراق در مقابل برخورد امواج منفرد بررسی خواهد شد. نسبت استغراق (H_s) پوشش های درختی معادل ارتفاع عمق آبگرفتگی به ارتفاع درختان است ($H_s = H_{inun}/l_s$) و در شرایط استغراق، رقوم سطح آب بالاتر از ارتفاع درختان است. بنابراین در حالت مستغرق نسبت ارتفاع موج ورودی

بی‌بعد عمق آبگرفتگی به ارتفاع ساحل در سه نسبت مختلف استغراق (Hs) ۱، ۱/۵ و ۲ نشان داده شده است. همان طور که می‌بینیم تفاوت عملکرد پوشش‌ها در نسبت‌های مختلف استغراق متفاوت است به طوری که با افزایش نسبت استغراق از ۱ به ۲ میزان نیروی جذب شده توسط موانع کاهش می‌یابد.



شکل ۴- تغییرات نیرو نسبت به ارتفاع آبگرفتگی موانع به عمق پایه ساحل در نسبت‌های مختلف استغراق

Fig. 4- Variation of drag force to the inundation height of barriers to still water depth at different ratio of submergence

در شکل ۵ تغییرات نیروی درگ در مقابل استغراق نسبی موانع و در عمق ثابت ساحل (12 h) سانتی‌متر و اعماق متفاوت مخزن (P) ارائه گردیده است در حالی که در شکل ۶ تغییرات نیروی درگ نسبت به استغراق نسبی موانع در عمق‌های متفاوت ساحل و مخزن نشان داده شده است:

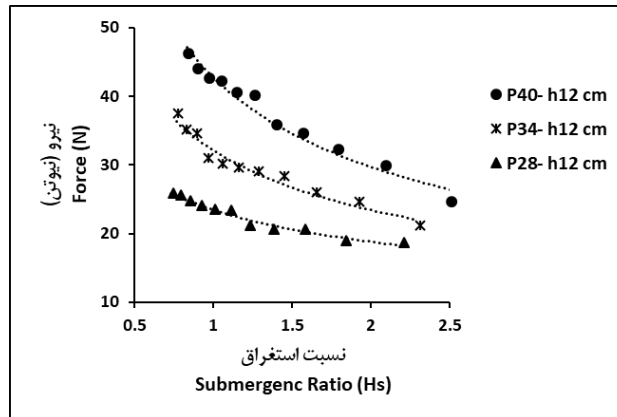
در شکل ۵ نشان داده شده است که با افزایش نسبت استغراق، تغییرات نیرو بسیار زیاد می‌شود و مقادیر نیروی جذب شده بسیار کاهش می‌یابد. نمودارهای شکل (۵) نشان می‌دهند هنگامی که عمق ساحل ثابت باشد، با افزایش عمق آب مخزن که به معنای ایجاد موجی با انرژی و ارتفاع اولیه بزرگ‌تر است، میزان تغییرات نیرو در مقابل نسبت استغراق بیشتر است. به عبارتی دیگر، در یک نسبت استغراق پوشش درختی هر چه موج انرژی و ارتفاع بیشتری داشته باشد، نیروی موج کمتری توسط پوشش-درختی جذب می‌شود. برای نمونه در شکل ۵ و برای عمق ثابت ساحل ۱۲ سانتی‌متر، هنگامی که نسبت استغراق از ۱ به ۲/۵ افزایش می‌یابد کاهش نیروی درگ برای امواج با عمق آب مخزن ۴۰، ۳۴ و ۲۸ به ترتیب برابر با ۴۱/۶۳، ۲۹/۸۷ و ۱۹/۸۹ درصد خواهد بود.

نمودارهای شکل ۶ در دو عمق متفاوت مخزن ۴۰ و ۳۴ سانتی‌متر و ارتفاع‌های متفاوت ساحل ۸، ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متر و در شرایط مستغرق ارائه شده است. در شکل ۶ نمودارهای ارائه شده شیب نزولی دارند که تغییرات نیرو در شرایط مستغرق بودن موانع استوانه‌ای را نشان می‌دهند و بیانگر کاهش میزان نیرو با افزایش استغراق موانع است. نمودارهای شکل ۶ نیز نشان می‌دهند هنگامی که نسبت استغراق از یک بزرگ‌تر می‌شود، میزان نیروی جذب شده امواج توسط موانع کاهش می‌یابد. در عمق ثابت مخزن ۴۰ سانتی‌متر هنگامی که نسبت استغراق از ۱ تا ۲/۵ افزایش یابد، میزان نیروی درگ در عمق ساحل ۸، ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متر به ترتیب ۲۹/۳۵، ۴۱/۶۳ و ۴۱/۵۶ درصد کاهش می‌یابد. توجه این پدیده آن است که در شرایط استغراق، رقوم سطح آب بالاتر از رأس موانع قرار

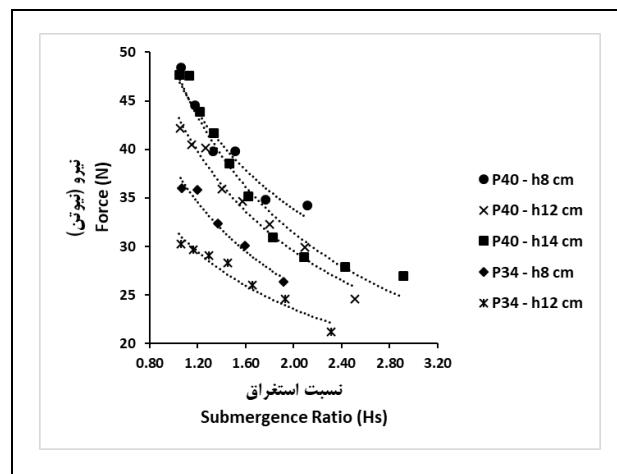
در شکل ۵ تغییرات نیروی درگ در مقابل استغراق نسبی موانع و در عمق ثابت ساحل (12 h) سانتی‌متر و اعماق متفاوت مخزن (P) ارائه گردیده است در حالی که در شکل ۶ تغییرات نیروی درگ نسبت به استغراق نسبی موانع در عمق‌های متفاوت ساحل و مخزن نشان داده شده است:

در شکل ۵ نشان داده شده است که با افزایش نسبت استغراق، تغییرات نیرو بسیار زیاد می‌شود و مقادیر نیروی جذب شده بسیار کاهش می‌یابد. نمودارهای شکل (۵) نشان می‌دهند هنگامی که عمق ساحل ثابت باشد، با افزایش عمق آب مخزن که به معنای ایجاد موجی با انرژی و ارتفاع اولیه بزرگ‌تر است، میزان تغییرات نیرو در مقابل نسبت استغراق بیشتر است. به عبارتی دیگر، در یک نسبت استغراق پوشش درختی هر چه موج انرژی و ارتفاع بیشتری داشته باشد، نیروی موج کمتری توسط پوشش-درختی جذب می‌شود. برای نمونه در شکل ۵ و برای عمق ثابت ساحل ۱۲ سانتی‌متر، هنگامی که نسبت استغراق از ۱ به ۲/۵ افزایش می‌یابد کاهش نیروی درگ برای امواج با عمق آب مخزن ۴۰، ۳۴ و ۲۸ به ترتیب برابر با ۴۱/۶۳، ۲۹/۸۷ و ۱۹/۸۹ درصد خواهد بود.

می گیرد. بنابراین مانعی در مقابل عبور ذرات دارای سرعت بیشتر وجود ندارد و میزان نیروی درگ نیز کاهش می یابد و همانطور که دیده می شود تئوری موجود با نتایج داده ها به خوبی در تطابق است.



شکل ۵- تغییرات نیروی درگ در مقابل نسبت استغراق پوشش های درختی در عمق ثابت ساحل ۱۲ سانتی متر
Fig.5- Variation of drag force against the ratio of submergence of canopies in the constant still water depth



شکل ۶- تغییرات نیروی درگ پوشش های درختی مستغرق در مقابل نسبت استغراق امواج شکنا
Fig.6- Variation of drag force by submerged vegetation against the ratio of submergence of broken waves

$$C_d = \frac{2F}{\rho A u^2} \quad (7)$$

برای حل رابطه ۷، باید مقدار واقعی نیروی F از طریق آزمایش استخراج و جایگذاری شود که در این مطالعه نیروی حاصل از برخورد موج شکنا با موانع استوانه ای با اندازه گیری مستقیم به کمک حسگر بار دینامیک و سیستم نیروسنجی فلوم لبه چاقویی به دست آمده است. بر اساس مطالعات پیشین (Mohamed, 2000) سرعت پیشروی موج معادل خارج قسمت فاصله مکانی به فاصله

ضریب نیروی کششی

هدف این بخش، بررسی تأثیر نسبت استغراق در ضریب درگ جنگل است. طبق توضیحات داده شده در بخش مقدمه، نیروی درگ F_{hd} روی بدنه سازه مستغرق در ناحیه نزدیک ساحل و در شرایط آب کم عمق با رابطه زیر محاسبه می شود (Sorensen, 1997):

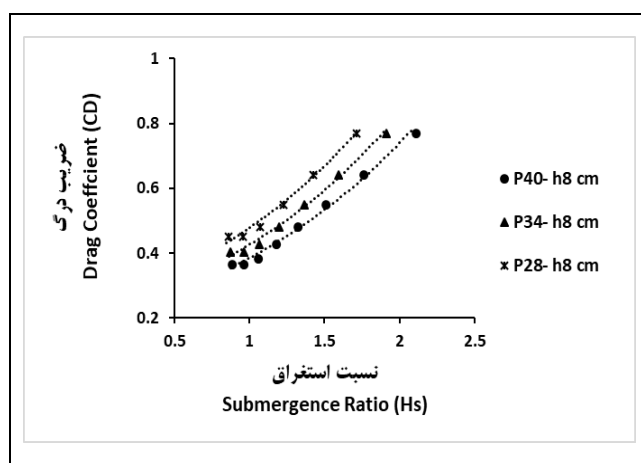
$$F_{hd} = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 \quad (6)$$

مطابق با رابطه ۶، ضریب نیروی کششی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

از طرفی، مقادیر سرعت رو به افزایش می‌گذارد. بنابراین ضریب درگ پوشش‌ها یا موانع در مواجهه با امواج با ارتفاع بیشتر، کاهش می‌یابد. دلیل صعودی بودن نمودارها نیز تأثیر کاهش سطح مقطع مؤثر پوشش درختی است. از آنجا که در رابطه ضریب درگ سطح مقطع پوشش‌ها در مخرج کسر قرار دارد، با کاهش ارتفاع موانع سطح مقطع مؤثر پوشش‌ها کاهش می‌یابد. هر چند میزان جذب نیرو نیز کاهش می‌یابد اما تأثیر کاهش سطح مقطع بیشتر است که سبب افزایش ضریب درگ در یک موج مشخص با نسبت‌های مختلف استغراق می‌شود. در شکل (۸) نمودار تغییرات ضریب درگ در مقابل استغراق نسبی موانع در عمق‌های متفاوت ساحل ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ و عمق ثابت مخزن ۴۰ سانتی‌متر ارائه شده است.

زمانی است که موج آن فاصله را طی می‌کند. در این تحقیق فاصله مکانی بین محل اشل شماره یک (فاصله ۶۵ سانتی متر از دریچه) و شماره سه (به فاصله ۱/۶۵ متر از دریچه) در نظر گرفته شده و خارج قسمت فاصله مذکور بر اختلاف زمانی فریم‌های مربوط به رسیدن ماکزیمم رقوم سطح آب در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ تغییرات ضریب بی بعد درگ در برابر استغراق نسبی موانع در عمق ثابت ساحل ۸ سانتی‌متر و سه موج متفاوت نشان داده شده است.

در شکل ۷، هر نمودار برای یک موج با مشخصات یکسان و عمق ثابت ساحل ارائه شده است. در یک عمق ثابت ساحل، با افزایش ارتفاع آب مخزن (P) ارتفاع موج و عمق آبرفتگی موانع افزایش یابد و نسبت استغراق نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی کمتری جذب می‌شود.

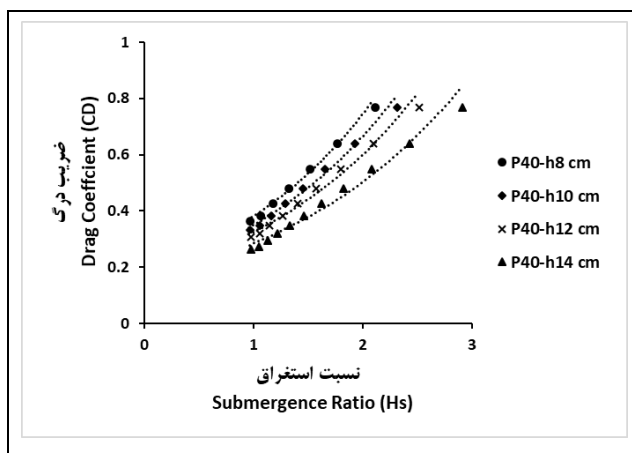


شکل ۷- تغییرات ضریب درگ در برابر نسبت استغراق روی عمق ساحل ثابت

Fig 7- Variation of drag coefficient for relative depth of submergence with constant still water depth

ضریب درگ کاهش می‌یابد، زیرا هر چه عمق ساحل افزایش یابد میزان نیروی کمتری جذب می‌شود؛ بنابراین، ضریب درگ در مواجهه با عبور امواج روی عمق‌های بیشتر رو به کاهش می‌گذارد.

در نمودارهای شکل ۸ تغییرات ضریب درگ در حالت مستغرق بودن پوشش‌ها ارائه شده است به طوری که در ارتفاع‌های مورد نظر با عبور موج موانع مستغرق می‌شوند. همانطور که دیده می‌شود در عمق ثابت مخزن (P) ۴۰ سانتی‌متر، با افزایش عمق ساحل میزان



شکل ۸- تغییرات ضریب درگ در برابر نسبت استغراق روی عمق های متفاوت ساحل

Fig 8- Variation of Drag Coefficient for relative depth of submergence with different still water depths

۴۰ و عمق ساحل ۱۲ سانتی متر مشاهده شد که معادل ۴۱/۶۳ درصد است.

هنگامی که نسبت استغراق از ۱ تا ۲/۵ افزایش یابد میزان نیروی درگ در عمق ساحل ۸، ۱۲ و ۱۴ سانتی متر به ترتیب ۲۹/۳۵، ۴۱/۶۳ و ۴۱/۵۶ درصد کاهش می یابد. در عمق ثابت ساحل، با افزایش ارتفاع موج و در نتیجه افزایش نسبت استغراق (H_s) میزان ضریب درگ کاهش می یابد و در نتیجه اتلاف موج و میرایی آن کمتر است. در یک موج با مشخصات یکسان با کاهش ارتفاع موانع و در نتیجه افزایش نسبت استغراق میزان ضریب درگ افزایش می یابد که این امر تأثیر سطح جاذب نیرو را نشان می دهد.

با افزایش عمق ساحل میزان ضریب درگ کاهش می یابد که دلیل آن کاهش میزان نیروی جذب شده توسط موانع است.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان می دهد در شرایطی که پوشش ها غیرمستغرق باشند در مقایسه با پوشش های مستغرق میزان جذب نیرو و در نتیجه میرایی موج بیشتر است. هنگام آبگرفتگی اولیه توسط امواج طوفانی، غالباً پوشش های بلند درختی غیرمستغرق اند و بر خلاف شرایط غیر مستغرق که تنه یا ساقه پوشش های درختی تمام عمق ستون آب را اشغال می کند، در شرایط مستغرق ساقه پوشش ها بخش بالایی ستون آب جایی را که سرعت های اوربیتالی بزرگ تر هستند مانع نمی شود و در نتیجه میرایی امواج کاهش می یابد.

هنگامی که نسبت استغراق از ۱ به ۲/۵ افزایش می یابد، کاهش نیروی درگ برای امواج با عمق آب مخزن ۴۰، ۳۴ و ۲۸ به ترتیب برابر با ۴۱/۶۳، ۲۹/۸۷ و ۱۹/۸۹ درصد است. بیشترین کاهش نیرو در موج با عمق مخزن

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه نویسنده اول است و با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم اجرا شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می شود.

مراجع

- Augustin, L.N., Irish, J.L. and Lynett, P. (2009). Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Journal of Coastal Engineering*, 56(3), 332-340.
- Chegini, V. (1998). Manual on the design of breakwaters. Jihad Water and Irrigation Research Company, Tehran
- Davoudi, L., Fathi-Moghadam, M., Ahadiyan, j. and Kashefipour, S.M. (2016). The effect of coastal forest on variations of broken wave force and inundation depth. *Irrigation sciences and engineering*, 40(1), 185-199. (In Persian).
- Dean, R.G. (1979). Effects of vegetation on shoreline erosional processes. *Wetland Function and Values: The State of Our Understanding*, 1, 415-426.
- Dean, R.G., and C.J. Bender. (2006). Static wave setup with emphasis on damping effects by vegetation and bottom friction. *Journal of Coastal Engineering*, 53, 149-156.
- Fathi-Moghadam, M. (1996). Momentum absorption in non-rigid, non-submerged, tall vegetation along rivers. University of Waterloo, Canada, Ph.D. Thesis.
- Fathi-Moghadam, M., Davoudi, L. and Motamedi-Nezhad, A. (2018). Modeling of solitary breaking wave force absorption by coastal trees. *Journal of Ocean Engineering*, 169, 87-98
- Ghanbari Adivi, E. and Fathi-Moghadam, M. (2014). Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves. *Irrigation sciences and engineering*, 38 (2), 103-112. (In Persian)
- Goto, K. and Imamura, F. (2007). Numerical models for sediment transport by tsunami. *The Quatern Research*, 46 (6), 463-470
- Hashim, A. M., Catherine, S. M. P. (2013). A Laboratory Study on Wave Reduction by Mangrove Forests, *Journal of APCBEE Procedia on science Direct*, 5, 27-32
- Hirashi, T. and Harada, K. (2003). Green belt tsunami prevention in South-Pacific region. *Port and Airport Research Institute*, 42(2), 1-23.
- Husrin, S., Strusińska, A., Oumeraci, H. (2012). Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Journal of Earth Planets Space*, 64 (15), 973-989.
- Lashkar-Ara, B., and Fathi-Moghadam, M. (2014). Analysis of shear stress in Rectangular open channels using force balance method. *Journal of Hydraulic*, 9(3), 33-44. (In Persian)
- Mohamed, A. (2000). Characterization of tsunami-like bores in support of loading on structures, M.Sc. Thesis, University of Hawaii, United State of America.
- Namdar, A., Nusrath, A. (2010). Tsunami numerical modeling and mitigation. *Journal of Frattura ed Integrità Strutturale*, 12, 57-62
- Russell, J. S. (1845). Reports on Waves made to the meetings of the British Association in 1842-43, London. England.
- Shafiei, S. R., Melville, W. B. and Shamseldin, Y. A. (2016). Experimental investigation of tsunami bore impact force and pressure on a square prism, *Journal of Coastal Engineering*, 110, 1-16.
- Sorensen, R.M. (1997). Basic Coastal Engineering. Springer Science & Busines Media, New York.
- Thuy, B. N., Tanimoto, K., Tanaka, N., Harada, K. and Limura. (2009). Effect of open gap in coastal forest on tsunami run-up-investigations by experiment and numerical simulation. *Journal of Ocean Engineering*, 36 (15-16), 1258-1264.

Research Paper**Laboratory Study of Broken Wave Force Damping by Submerged and Emergent Long Tree Canopies****P. Azinfar^{*}, M. Fathi-Moghaddam and J. Ahadian**

^{*} Corresponding Author: PhD Student, Faculty of Water science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: pazinfar@gmail.com

Received: 23 April 2020, Accepted: 28 September 2020

Extended Abstract**Introduction**

Forests as Green Belt reduce the height and energy of waves passing through them, reducing their ability to erode sediments and to cause damage to structures such as dikes and sea walls, (McIvor and *et al.*, 2012). It is well-accepted that wave attenuation by emergent and submerged vegetation is a function of plant characteristics as well as hydrodynamic conditions, (Augustin *et al.*, 2009). (Fathi-Moghaddam *et al.*, 2018) showed that the depth of inundation by flexible coastal canopies was reduced by 14, 18 and 29% for the coastal vegetation density of 30, 50 and 100%, respectively. Hirashi and Harada, 2003 showed that the pressure difference on the sides of the green belt is mainly due to drag resistance. Therefore, it can be explained that when the sea waves head toward the shore, with the green belt, the waves pass through the canopies and wave force as a drag force is absorbed by the trees, thus decreases its height. This study a new and unique method based on the principle of momentum and direct force measurement has been used to measure wave energy decay simulated by the Green Belt.

Most previous studies have been conducted to analyze the wave forces on emergent structures and obstacles. Relative submergence is considered to be the relative roughness of trees and is a factor influencing the resistance of the forest to the passage of waves. One of the important factors in choosing the desired species in order to design the forest based on the height of the tree during vegetative growth, should be to provide an acceptable relative roughness ratio to deal with the wave (Davoudi *et al.*, 2016). So the resistance of the canopies in the submerged state is one of the important factors in wave damping. Also, in previous studies, variable still water depth has been considered to create different ratios of submergence, which will change the characteristics of the wave. Therefore, in the present study, decided that the resistance of the canopy against broken waves in the submerged state would be determined by changing the height of the obstacles, which will be examined in this study (Figure 1).

Methodology

Experiments were conducted in the Hydraulic Modeling Laboratory of the Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, in an 8.3×0.8×0.55 rectangular flume called Knife Edge Flume.

Flume has Plexiglas sidewalls and bed and designed to measure the force exerted by the wave force on the barriers at its shore by means of a dynamic load cell installed between the movable and fixed parts of the flume. At the beginning of the experiments, wooden circular cylinders with 1 cm in diameter, fixed parallel arrangement were placed in the moving part of the flume with constant slope of zero. By changing the height of obstacles and generating breaking waves with constant height, the absorption force by the canopies was monitored via an electrical display connected to the dynamic load cell.

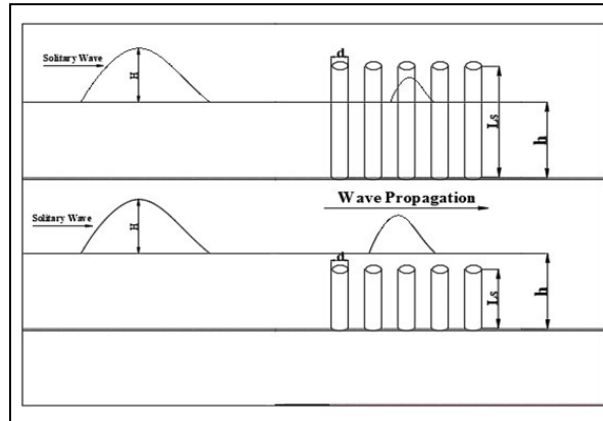


Figure 1-- Schematic view of the rigid vegetation with different relative depth of submergence

Results and Discussion

The submerged ratio of tree canopies is equal to the height of inundation to the height of trees, and in the case of submergence, the water level is higher than the height of the trees. Therefore, in the submerged state, the ratio is greater than one, and in the emergent state it is less than one. What is important in this study is that different ratios of immersion with different heights of barriers have been created.

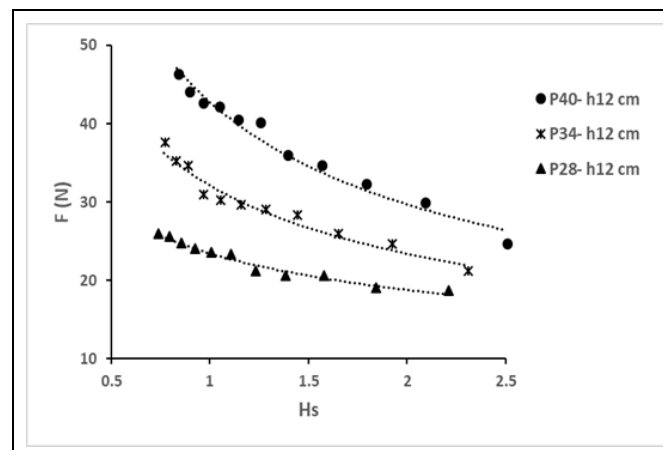


Fig.2 - Variation of drag force to the inundation height of barriers to still water depth at different ratio of submergence

As shown in Figure 2, when the submerged ratio is greater than one, which means that the cylindrical barriers are immersion, the variation of drag force are greatly increased and the amount of absorbed force is greatly reduced, which is well illustrated by the diagram. In submerged conditions, the water level is

above the barrier. Therefore, there is no obstacle to the passage of higher speed particles and the drag force is reduced.

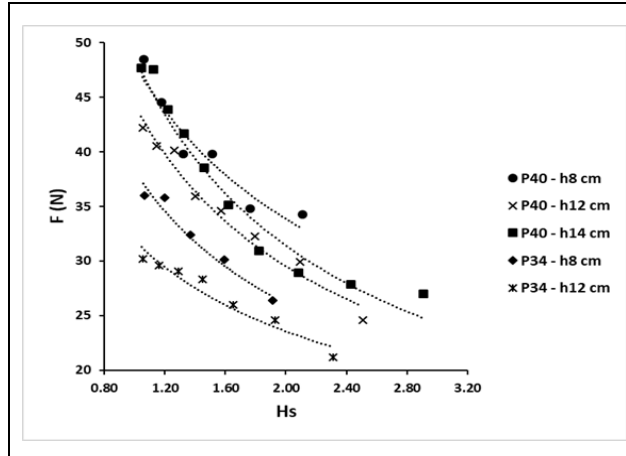


Fig.3 - Variation of drag force by submerged vegetation against the ratio of submergence of broken waves

As shown in the figure above, at the fixed depth of the reservoir, the amount of wave force absorption decreases as the still water depth increases.

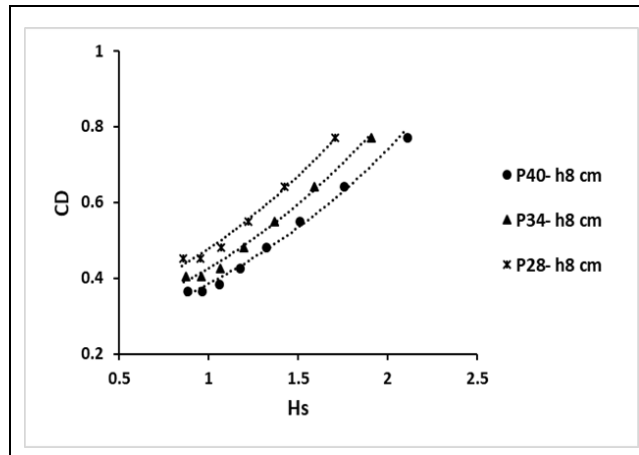


Fig 4- Variation of Drag Coefficient for relative depth of submergence with constant still water depth

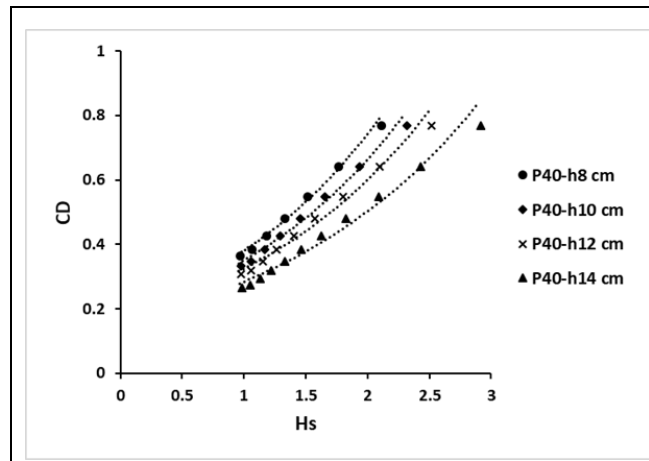


Fig 5- Variation of Drag Coefficient for relative depth of submergence with different still water depths

As the height of barriers decreases, the effective cross-section of the canopies decrease. Although the absorption force also decreases, the effect of cross-sectional reduction is greater, which increases the drag coefficient at a specific wave with different ratios of plant submergence.

As can be seen in the figure 5, at a fixed depth of the reservoir (P) of 40 cm, the drag coefficient decreases with increasing still water depth. Because the deeper the still water depth, the less force is absorbed. Therefore, the drag coefficient decreases in the face of passing waves at greater depths.

Conclusions

- In cases where the canopies are emergent, the amount of force absorption and wave damping is higher than in submerged canopies.
- When the submerged ratio increases from 1 to 2.5, the drag force reduction for reservoir water depths of 40, 34 and 28 is 41.63, 29.87 and 19.89%, respectively. The highest force reduction was observed in the wave with a reservoir depth of 40 and a still water depth of 12 cm, which is equivalent to 41.63%.
- When the submerged ratio increases from 1 to 2.5, the drag force at the different still water depth of 8, 12 and 14 cm decreases by 29.35%, 41.63% and 41.56%, respectively.
- At a constant still water depth, the drag coefficient decreases with increasing wave height and consequently with increasing submerged ratio (H_s), resulting in less wave loss and damping.
- As the depth of the still water increases, the drag coefficient decreases due to the reduction of the force absorbed by the obstacles.

Acknowledgement

This study funded by the Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. The support of this organization is appreciated.

Keywords: Green Belt, Submerged Ratio, Wave Absorption Force, Wave Attenuation.