

بررسی اثر شیب ساحل بر میرایی امواج منفرد شکننا در سواحل با پوشش گیاهی

علی معتمدی نژاد^{۱*}، منوچهر فتحی مقدم^۲

۱. کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۴/۹/۱۳۹۵ - تاریخ بازنگری: ۲۲/۴/۱۳۹۶ - تاریخ تصویب: ۲۵/۴/۱۳۹۶)

چکیده

همه ساله حملات امواج بلندی همچون سونامی باعث ایجاد فرسایش و تخریب در سواحل شده و خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند. رویکردهای اخیر حفاظت سواحل بر مبنای برقراری تعادل زیست‌محیطی می‌باشد. از جمله روش‌های نوین حفاظت سواحل در مقابل تخریب ناشی از امواج، احداث جنگل‌های ساحلی موسوم به کمربند سبز ساحلی می‌باشد. شیب ساحل از جمله عوامل بسیار تأثیرگذار بر شکست موج و بالاروی آن در سواحل است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر شیب ساحل بر جذب نیروی مخرب امواج شکننا توسط پوشش گیاهی ساحلی صورت گرفته است. به‌همین منظور مدل ساحل شیبدار و پوشش گیاهی در یک فلوم مجهز به سیستم نیروسنجی بدون اصطکاک تعبیه شد. آزمایش‌ها در چهار شیب مختلف ساحل و در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی انجام شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شیب ساحل، موج زودتر می‌شکند و در نتیجه نیروی بیشتری از موج توسط پوشش جنگلی جذب می‌شود. این افزایش نیروی جذب شده از موج در شیب‌های مختلف در حالت با پوشش نسبت به بدون پوشش به‌طور میانگین ۱۷ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: کمربند سبز ساحلی، امواج بلند، شکست موج، شیب ساحل، نیروی موج

مقدمه

سواحل هر کشور اهمیت ویژه‌ای از دیدگاه توسعه اقتصادی، ارتباطات ملی و بین‌المللی و حتی سیاسی دارند و یکی از موقعیت‌های تمرکز فعالیت می‌باشند. کشور ما نیز با داشتن بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب و افزون بر این سواحل دریاچه‌های داخلی و تالاب‌ها، از امکانات ویژه‌ای برای توسعه فعالیت‌های بندری، تجاری، حمل و نقل و رشد اقتصادی برخوردار شده است (Anonymous, 2013). درک شرایط و قابلیت در مدیریت محیط ساحلی فوق‌العاده مهم می‌باشد. بخش قابل توجهی از جمعیت جهان در حاشیه سواحل سکونت دارند و بسیاری دیگر به طور مرتب از سواحل بازدید می‌نمایند. این مسأله، فشار زیادی را در توسعه خانه‌سازی و تمهیدات تفریحی در سواحل و حفاظت ساحل از طوفان‌ها و طغیان امواجی چون سونامی فراهم می‌سازد. امواج مهمترین عامل در تعیین وضعیت هندسی سواحل هستند و نیز دارای تأثیر عمده‌ای در طراحی بنادر، آبراهه‌ها، سازه‌های حفاظت ساحلی و سازه‌های ساحلی می‌باشند. مقدار قابل توجهی از انرژی

امواج در کرانه‌های ساحلی مستهلک می‌شود که منجر به شکل‌دهی سواحل، طبقه‌بندی و جابجایی مواد رسوبی کف دریا به سوی ساحل یا به طرف دریا و یا در امتداد ساحل و ایجاد بسیاری از نیروهای اعمال شده به سازه‌های دریایی و ساحلی می‌شود. انتقال رسوب ناشی از سونامی، سبب وارد آمدن صدمات جدی در وهله اول به انسان‌ها و سپس ساختمان‌ها و نیز تغییرات توپوگرافی ساحل و فرایندهای زیست‌محیطی می‌شود. در واقع بالاروی و نهایتاً سیلاب ناشی از آن موجب این فاجعه بزرگ می‌شود. آبشستگی و فرسایش ناشی از آن می‌تواند به فوندانسیون ساختمان‌ها، جاده‌ها و بزرگراه‌ها، خطوط لوله زیرزمینی، خاکریزهای ساحلی و دیگر سازه‌های ساحلی آسیب جدی برساند. در واقع خرابی‌های ناشی از سونامی عمدتاً مربوط به نیروی هیدرولیکی و سرعت جریان آن است. روش‌های متعددی جهت حفاظت ساحل وجود دارد که به‌طور کلی بر دو مبنای سازه‌ای و غیرسازه‌ای استوارند. در شیوه‌های سنتی حفاظت خط ساحلی، انواع اسکله، موج‌شکن و سایر سازه‌های حفاظتی نظیر انواع دیواره‌های ساحلی و آبشکن‌ها، بیشتر از سایر ابنیه، به‌منظور تکنیکی جهت ائتلاف انرژی و انعکاس امواج طراحی و ساخته می‌شوند و معمولاً به‌همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. طی دوران مختلف، به دلیل امتیازات

*نویسنده مسئول: alimotamedi69@gmail.com

ناحیه اغتشاش تشعشع پیدا می‌کند. در حالی که فوران آتش‌فشان‌ها و لغزش‌های زیرآبی باعث تولید امواج شاخص محلی می‌شوند، اکثر پدیده‌های سونامی که اغلب نتیجه رخداد زلزله هستند، باعث تغییر مکان قائم عمده در کف دریا در آب‌های به حد کافی کم‌عمق می‌شوند. این زلزله‌ها معمولاً دارای بزرگی حدود ۶/۵ ریشتر یا بیشتر بوده و عمق کانونی آن‌ها کمتر از ۶۰ کیلومتر می‌باشد (Iida, 1969). یک سونامی معمولاً شامل یک گروه امواج دارای پریود ۵ تا ۶۰ دقیقه بوده که بیشتر محدوده تغییرات پریود آن‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ دقیقه می‌باشد. ارتفاع موج در اقیانوس‌های عمیق معمولاً یک متر یا کمتر می‌باشد (Wiegel, 1970). امواج دارای تیزی خیلی کم هستند و بنابراین بسیار منعکس شونده بوده که در برخی نواحی ساحلی به‌طور محسوس باعث افزایش پیچیدگی می‌شود. وقتی که امواج سونامی به ساحل می‌رسند، هنوز دارای تیزی خیلی کمی می‌باشند. خسارات اصلی ساحل ناشی از امواج آب وقتی که سونامی روی شیب ساحل بالا می‌رود خواهد بود.

از نظر تاریخی ایران به‌ویژه در سواحل جنوب شرقی خود (مکران) تحت تأثیر طوفان‌های شدید و سونامی بوده است. آخرین زمین‌لرزه در این منطقه که سونامی‌زا بوده، زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۸/۱ ریشتر در سال ۱۹۴۵ بوده است که سونامی عظیمی را در این منطقه به‌وجود 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 هرگونه رویداد سونامی را افزایش می‌دهد (Mokhtari and Hajizadeh Zaker, 2005). مطالعات انجام شده توسط Mascarenhas and Jayakumar (2008) نشان می‌دهد که در امتداد زیادی از سواحل تامیل-نادو واقع در جنوب شرق شبه جزیره هند، استفاده از درختان نخل و نارگیل به‌منظور تضعیف‌کننده امواج و اثرات مخرب ناشی از آن نتیجه مناسبی داده است. (Kathiresan and Rajendran (2005) نقش غالب پوشش گیاهی در کاهش پهنه‌ی سیلاب ورودی به ساحل ناشی از سونامی سال ۲۰۰۴ در اقیانوس هند و تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش پیشروی امواج سونامی بر روی ساحل را گزارش نموده‌اند. 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 مترکم دارد و برای کاهش ارتفاع امواج بلند و امواج جزر و مدی مناسب است (Harada and Imamura, 2006). مطالعات

ذاتی ناشی از استفاده از روش‌های طبیعی حفاظت تغییر از رویکردهای سازه‌ای به تقویت ساحل بوده است. در این بین پوشش‌های گیاهی ساحلی که در گروه رویکرد اخیر حفاظت قرار گرفته و به نوعی کنترل و مقابله بیولوژیکی به شمار می‌رود، نقش عمده‌ای در توسعه و محافظت از زیست‌بوم‌ها ایفا می‌کنند. پوشش‌های گیاهی علاوه بر تأثیر بر کاهش میزان توسعه سیل و آبگرفتگی ناشی از طغیان سونامی به‌واسطه افزایش زبری و مقاومت در مقابل جریان، دارای امتیازاتی از قبیل سازگاری بیشتر با محیط‌زیست و صرفه اقتصادی نیز می‌باشند. کمربند سبز ساحلی به‌عنوان جایگزین سازه متخلخل برای کاهش اثر مخرب امواج باعث تثبیت سواحل و دوام سازه‌های موجود در آن گردیده، و همچنین وضعیت محیط‌زیست منطقه ساحلی را نیز بهبود می‌بخشد. در دهه‌های اخیر تمایل زیادی در خصوص مطالعه و بررسی اثر پوشش‌های گیاهی بر جریان دریاها، رودخانه‌ها، مصب‌ها و خلیج‌ها به‌وجود آمده است. این طیف از علاقه‌مندی، رویکردی نوین به مفهومی دارد که بر مبنای برقراری تعادل اکولوژیکی منطقه ساحلی، درصدد حل مسائل هیدرولیک و مهندسی ساحل بر می‌آید. امروزه با توجه به بیشتر آشکار شدن توانایی پوشش گیاهی ساحلی در حفاظت از سواحل، این نوع رویکرد بیشتر مورد توجه و نظر دانشمندان و مهندسان قرار گرفته است. یکی از سهمگین‌ترین بلاای طبیعی در طول تاریخ، سونامی است که اکثر نواحی ساحلی در حاشیه اقیانوس‌ها را تهدید می‌کند. تنها از سال ۱۸۵۰ میلادی به بعد، سونامی باعث مرگ بیش از ۴۵۰ هزار نفر و وارد آمدن میلیاردها دلار خسارت به نواحی ساحلی در سراسر جهان شده است (Bernard et al. 2006).

اصطلاح سونامی که در زبان ژاپنی به معنی «موج بندر» است، برای امواج با پریود نسبتاً بلند ناشی از یک مجموعه اغتشاشات زیرآبی، شامل زلزله، لغزش و فوران آتش‌فشان، به‌کار می‌رود. اگرچه امواج سونامی دارای دامنه کمی هستند ولی پدیده‌هایی نظیر خزش^۱، انکسار^۲ و تشدید^۳ می‌تواند باعث افزایش شدید دامنه آن‌ها در نزدیکی ساحل و بالاروی امواج گردد. این امر سبب خسارت سنگین و تلفات جانی زیادی در نواحی ساحلی مستعد به حملات سونامی می‌شود (Sorensen, 2006). سونامی در اثر یک اغتشاش سریع در مقیاس بزرگ از یک جرم آب اقیانوس تولید می‌شود که باعث تغییر مکان سطح اقیانوس و تولید یک مجموعه امواج می‌گردد که به خارج از

1. Shoaling
2. Refraction
3. Resonance

یا سازه ساحلی بشکند (موج شکنا) و یا نسبت به موقعیت مهم در نظر گرفته شده در قسمت ساحلی نشکند و موج ناشکنا قلمداد شود (Chegini, 1998).

بررسی پیشینه تحقیقات صورت گرفته در مورد چگونگی عملکرد پوشش گیاهی در مقابل امواج در ساحل، نشان می‌دهد که اطلاعات مربوط به نیروی وارده بر ساحل و اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی، به‌ویژه در شرایط حضور امواج بلند محدود بوده و نیازمند تحقیقات بیشتری جهت بررسی پارامترهای مؤثر پوشش گیاهی بر کاهش انرژی مخرب امواج با استفاده از روش مستقیم اندازه‌گیری نیروی درگ درختان، می‌باشد. بنابراین، در این مطالعه به مدل‌سازی کمربند سبز ساحلی و ساحل شیب‌دار در دو حالت با پوشش و بدون پوشش گیاهی برای بررسی کردن اثر توپوگرافی و شیب ساحل در جذب نیروی امواج شکنا پرداخته شده است. پارامترهای بررسی شده در چهار شیب و در سه تراکم پوشش گیاهی و یک حالت فاقد پوشش (شاهد)، انجام شده است که در ادامه تأثیرشان بر روی پدیده مورد بحث قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود، محدوده متغیرهای این تحقیق در جدول (۱) آمده است. آزمایش‌ها در چهار شیب صفر درصد (افقی)، ۳ درصد، ۶ درصد و ۹ درصد در تراکم‌های پوششی ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد پوشش گیاهی و حالت بدون پوشش گیاهی یا حالت شاهد (تراکم صفر درصد)، به ازای چند عمق مختلف ساکن ساحل و ارتفاع آب پشت دریچه کشویی انجام پذیرفت. در مجموع ۲۴۰ آزمایش در این تحقیق صورت پذیرفت که برای حصول اطمینان از مقادیر به‌دست آمده، آزمایش‌ها در دو تکرار انجام شدند. بنابراین تعداد کل آزمایش‌های این تحقیق در مجموع ۴۸۰ آزمایش می‌باشد.

آزمایش‌ها در فلوم مستطیل‌شکلی به طول ۸/۳ متر، ارتفاع دیواره ۰/۵۵ متر و عرض کف ۰/۸ متر از جنس پلکسی‌گلاس در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری نیروی وارده بر ساحل در حالات با و بدون پوشش از نیروسنجی سیستم بخش لبه‌چاقویی در یک متر میانی فلوم که ۴/۱ متر از ابتدا و ۳/۲ متر از انتهای فلوم فاصله دارد و حسگر بار دینامیک^۱ بخش انتهایی فلوم لبه‌چاقویی^۲ یا

صحرایی در مورد پنج منطقه مسکونی متفاوت در امتداد یک ساحل انجام گرفت. نتایج نشان داد که در مورد سه منطقه که در پشت حصارهایی از جنگل‌های ساحلی مانگرو قرار داشتند در اثر طوفان‌های دریایی و سونامی خرابی نداشتند در حالی که دو منطقه دیگر که بدون حفاظ بودند چندین بار توسط طوفان‌های دریایی و سونامی دچار خرابی شدند (Danielsen et al. 2005). 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). میرایی موج توسط پوشش گیاهی تابعی از ویژگی‌های پوشش مانند هندسه و ساختار، نسبت استغراق، تراکم، سختی، و آرایش مکانی و همچنین شرایط موج مانند ارتفاع موج ورودی، مدت و جهت موج می‌باشد. تعامل پوشش گیاهی با موج بسیار پویا و دینامیک است و با تغییرات زمانی موج تغییرات متفاوتی مانند خم شدن، افتادن و یا از ریشه کنده شدن درختان ممکن است روی دهد. همانطور که مشهود است با وجود وابستگی‌های زیاد بین میرایی موج و پوشش گیاهی با توجه به گستردگی تنوع گیاهان ساحلی، تغییرات میرایی موج توسط پوشش گیاهی نیز زیاد است (Mendez and Losada, 2004). Hirashi and Harada (2003) به بررسی کارایی کمربند سبز در مقابل امواج ناشی از سونامی در منطقه جنوب اقیانوس آرام در اندونزی و گینه‌نو، با انجام یک سری آزمایش پرداختند و با جمع‌آوری اطلاعات واقعی از سونامی رخ داده در منطقه مذکور به تحلیل میزان تأثیر پوشش گیاهی در کاهش اثرات مخرب این امواج پرداخت و در ادامه با مقایسه با دیگر سازه‌ها از جمله موج‌شکن، برتری این گزینه پیشنهادی را هم از حیث هزینه و هم میزان کاهش فشار موج نمایان ساخت. میزان کاهش ارتفاع موج از میان درختان ساحلی حرا در دلتای رود سرخ، در ویتنام، ۵ تا ۷/۵ برابر بیشتر از همین نواحی ساحلی اما بدون حضور درختان برآورد گردید (Quartel et al. 2007). Ghanbari Adivi (2014). به‌منظور بررسی اثر پوشش درختی بر میرایی امواج بلند در سواحل شیب‌دار، آزمایش‌هایی را در فلومی به ابعاد ۸/۳، ۰/۸ و ۰/۵۵ متر انجام داد. جهت مدل‌سازی پوشش‌ها از میله‌های پلاستیکی استفاده شد. پوشش‌های درختی به‌صورت چیدمان مثلی و مستطیلی در ابعاد مختلف استفاده شده بودند. نتایج نشان داد که تضعیف موج در مجموع با افزایش عرض در بستر درختی و تراکم ساقه، افزایش می‌یابد و همچنین میرایی موج به میزان کمی با افزایش ارتفاع موج ورودی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی یک موج بسته به میزان ارتفاع نسبی، عمق آب نزدیک ساحل و شیب ساحل ممکن است پیش از رسیدن به خط ساحلی بشکند (موج شکسته‌شده) روی ساحل، پوشش گیاهی و

1. Load cell
2. Knife-edge Flume

غیرمستغرق در رودخانه‌ها از آن استفاده نمود. در این فلوم طولی معادل یک متر از بقیه آن جدا شده و با نصب یکسری ابزارآلات چاقویی شکل در آستانه حرکت قرار داده شده است (قسمت سبز رنگ فلوم، شکل ۱). در این روش، تعادل بخش مجزا شده فلوم توسط یک نیروسنج دینامیکی برقرار شده است و امکان ثبت نیروی درگ وارده از طرف سیال به آن قابل ثبت می‌باشد (Lashkar-Ara and Fathi-Moghadam, 2014). شکل (۱) و (۲) به ترتیب نمای سه‌بعدی از فلوم لبه‌چاقویی و همچنین پلان و مقطع فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده را نمایش می‌دهد.

بخش متحرک را به قسمت پایین دست فلوم وصل می‌کند و عکس‌العمل نیروی جریان را بر روی نشانگر الکتریکی دستگاه نشان می‌دهد، استفاده شده است. این فلوم برای نخستین بار جهت انجام رساله دکتری (Lashkar-Ara (2009) جهت تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش مومنت ساخته شده است و توسط وی به نام فلوم لبه‌چاقویی نامگذاری گردید. اندیشه ساخت این فلوم الهام گرفته از میز جذب مومنتی است که (Fathi-Moghadam (1996 در رساله دکتری خود جهت جذب مومنت پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده این تحقیق

پارامترهای متغیر	محدوده
شیب ساحل (/.)	۰، ۳، ۶، ۹
تراکم پوشش گیاهی (/.)	۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰
عمق آب پشت دریچه (cm)	۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۴، ۳۷، ۴۰
عمق آب جلوی دریچه (cm)	۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵
ارتفاع موج (cm)	۱۵ - ۶/۲
نیروی موج (N)	۱۵۹/۷ - ۱۰/۶
سرعت موج (m/s)	۱/۸۷۵ - ۱/۳۴۷

به‌منظور ثبت تغییرات مکانی و زمانی پروفیل موج منفرد و همچنین اندازه‌گیری سرعت انتشار موج نیز از مبدل‌های فشار دینامیکی^۱ از نوع آمپری با ظرفیت صفر تا ۲۰ میلی‌آمپر در طول فلوم استفاده شده است. برای محاسبه سرعت انتشار موج ورودی از داده‌های مبدل‌های فشار اول و دوم که در ابتدای ساحل شیبدار و به فاصله ثابت از هم (۰/۶۲ متر) نصب شده‌اند استفاده شده است. سرعت انتشار موج با توجه به لحظه رسیدن قله موج به مبدل‌های فشار شماره یک و دو، و تقسیم فاصله مکانی این دو مبدل بر زمان عبور موج ورودی به دست می‌آید. علت انتخاب این است که در ابتدای ساحل شیبدار موج هنوز تحت تأثیر پدیده‌هایی هم‌چون خزش قرار نگرفته و ماهیت آن تغییر نکرده است.

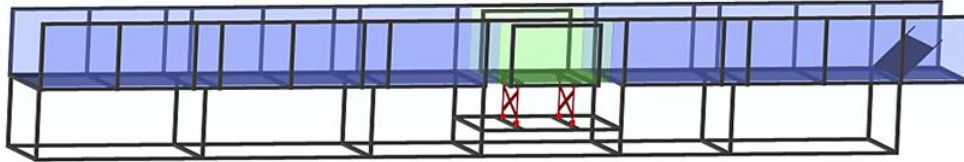
شیب‌های ساحل در این تحقیق، بر اساس نگاهی اجمالی بر شیب عمومی سواحل جنوب شرق ایران که به گزارش مستندات، احتمال رخداد سونامی و طوفان را بیش از سایر سواحل دارند، انتخاب شده است. بر اساس مطالعات انجام شده مانند مطالعه (Mokhtari and Hajizadeh Zaker (2005، سواحل جنوب شرق ایران در مجاورت ناحیه فرو رو مکران در معرض حدود ۲ کیلومتر، عوارض مورد بررسی در نرم‌افزار، خطای

هجوم احتمالی امواج سونامی قرار دارند. از این رو مطالعاتی نیز در زمینه مدلسازی پیشروی این امواج به سواحل مورد اشاره انجام شده که از جمله آن مطالعه (Rastgoftar et al. (2012 در بررسی آبگرفتگی خلیج چابهار در اثر سونامی ناحیه فرو رو مکران می‌باشد. محدوده شیب‌های تخمین زده شده در نرم‌افزار گوگل ارث حدود ۳ تا ۱۶ درصد بوده است. از طرفی نکته مهم دیگری در انتخاب شیب مدل‌های ساحل غیر از توجه به محدوده شیب‌های مورد آزمایش در مطالعات گذشته مانند مطالعه (Husrin et al. (2012، می‌باشد که شیب‌های آزمایش شده در ردیف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ درصد می‌باشد. انتخاب نقاط مورد ارزیابی بر اساس نقاط مهم تحت مطالعه در کارهایی همچون (Rastgoftar et al. (2012 صورت گرفته است. شیب عمومی کرانه‌های ساحلی در معرض تهدید امواج به‌وسیله یک تخمین ساده از عمومیت شیب مناطق با استخراج عمود بر تصاویر موجود در نرم‌افزار گوگل ارث به دست آمد. درصد خطای تخمین شیب معادل حاصل جمع درصد خطای تخمین فواصل مسطحاتی و ارتفاعی می‌باشد. در نرم‌افزار گوگل ارث خطای ارتفاعی نسبت به خطای طولی یا مسطحاتی عامل بسیار مهم‌تری می‌باشد. بر اساس مطالعات بر محدوده مورد نظر، اختلاف ارتفاع حدود ۳۰۰ متر و فاصله‌ای در حدود ۲ کیلومتر، عوارض مورد بررسی در نرم‌افزار، خطای

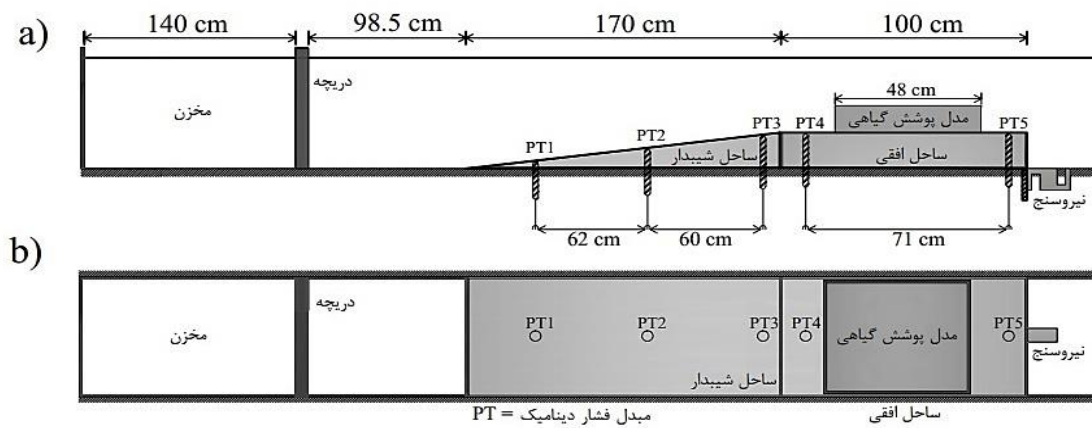
1. Pressure transducer

همان جنس قرار گرفته و با گیره‌های نبشی شکل در جای خود ثابت شده‌اند. شکل (۴) نیز سیستم مدل‌های مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها در فلوم مستطیلی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

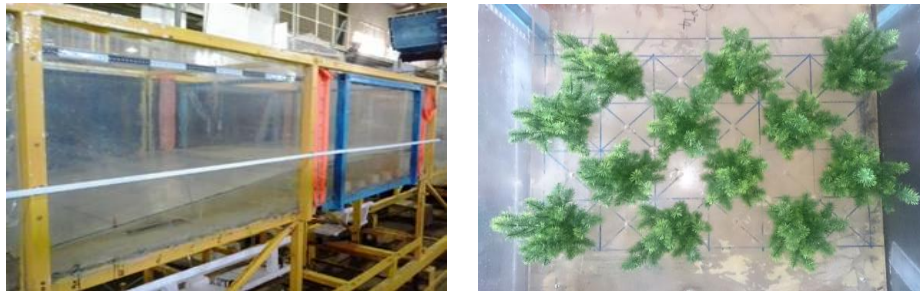
تخمین حدود ۳۰ درصد بدست آمد. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، مدل ساحل در دو بخش شامل ساحل شیبدار و ساحل افقی (محل استقرار مدل پوشش گیاهی ساحلی) و از جنس پلکسی گلاس است که بر روی پایه‌هایی از



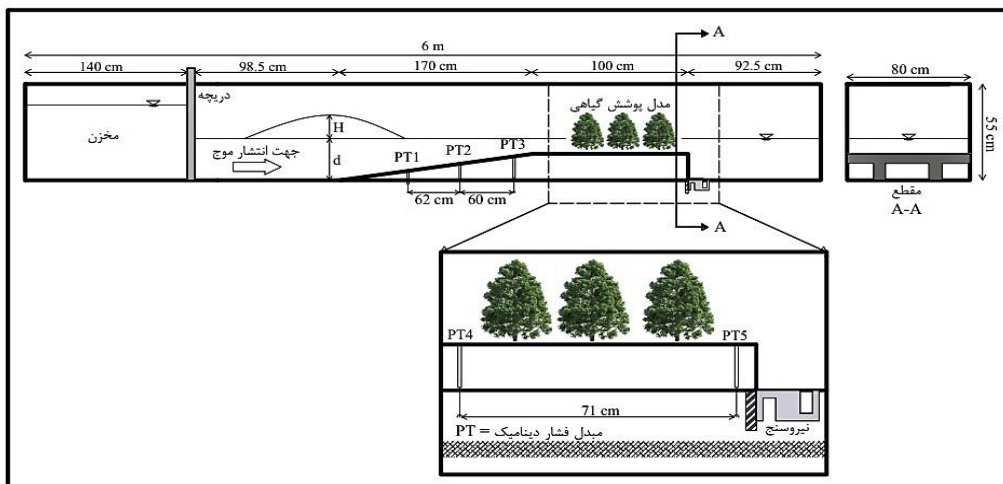
شکل ۱- نمای سه بعدی از فلوم لبه چاقویی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها (لشکرآرا، ۱۳۸۸)



شکل ۲- به ترتیب (a) نمایی از مقطع فلوم مستطیل شکل، و (b) نمایی از پلان فلوم مستطیل شکل



شکل ۳- نمایی از مدل تاج پوشش کمربند سبز ساحلی و مدل شیب ساحل



شکل ۴- سیستم مدل‌های مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها در فلوم

با فیلم برداری از حرکت راستا به راستای شاخه مصنوعی و با آهسته نمودن تصاویر (فریم‌ها) و شمردن تعداد نوسانات شاخه و زمان کل رفت و برگشت، مطابق فرمول محاسبه فرکانس روزنانشی مود اول شاخه درخت مصنوعی به سهولت انجام پذیرفت. هر شاخه با دست به سمت راست خم شده و سپس رها می‌شد، شروع به نوسان می‌کرد و پس از مدتی با کاهش رفت و برگشت‌های عمده (مود اول) که بهتر قابل مشاهده هستند، تقریباً از حرکت باز می‌ایستاد. بدین ترتیب تعداد رفت و برگشت‌ها بر زمان حرکت تقسیم شده و طبق رابطه (۴) روزنانش فرکانسی مود اول Nf_1 ، در رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\xi E = Nf_1^2 \left(\frac{m_s}{h} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در نهایت با اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، مقدار شاخص گیاهی برای درختان مصنوعی به کار برده شده در تحقیق حاضر ۶/۶۱۲ به دست آمد.

در این آزمایش‌ها تولید موج منفرد بر اساس اختلاف ارتفاع سطح آب طرفین یک دریچه کشویی (صفحه‌ای) که در فاصله ۱/۴ متری از ابتدای فلوم ساخته شده بود و قابلیت حرکت آزادانه را دارد، ایجاد می‌شد. این سیستم تولید موج در واقع از حرکت ضربه‌ای کف دریا هنگام وقوع زلزله که منجر به تولید امواج منفرد سونامی می‌شود، برگرفته شده است و در هیدرولیک از آن به شکست سد یاد می‌شود. دریچه به وسیله سیستم نخ و قرقره به یک وزنه سنگین متصل می‌شد که با برداشتن ضامن دستی، و سقوط ناگهانی وزنه از یک ارتفاع معلوم بر مبنای ایجاد شرایط لازم برای باز شدن سریع دریچه به میزان لازم جهت تولید موج، طراحی و ساخته شد. توده عبوری بر روی آب ساکن جلوی دریچه (عمق ساکن ساحل) حرکت نموده و در ادامه یک قله موج منفرد را به وجود می‌آورد. این روش مبتنی بر آزمایش‌ها و روش‌های پیشنهادی Russell (1845) در تولید موج منفرد است که اولین بار بر اساس مشاهدات عینی وی از موج منفرد در هنگام طراحی کانال کشتیرانی استفاده شده است. به اعتقاد وی موج منفرد را می‌توان با حذف یک مانع و آزادسازی حجم زیادی آب در انتهای مخزن تولید نمود. (Esteban et al. (2008) نیز با حذف دستی دریچه‌ای از جنس چوب در جلوی مخزن به تولید موج منفرد پرداخته و تخریب یک موج‌شکن صندوقه‌ای تحت تأثیر حمله سونامی را بررسی نمودند.

برای انجام هر آزمایش، ابتدا دریچه کشویی مولد موج و شیر ورودی جریان به داخل فلوم باز هستند تا عمق آب ساکن ساحل به اندازه مد نظر برسد. سپس عمق ساکن ساحل توسط

ساختار بیومکانیک درختان مشابه تیر یک سرگرداری است که شامل دو بخش صلب (ریشه‌ها و تنه) و یک بخش انعطاف‌پذیر (شاخ و برگ‌ها) می‌باشد و هر دو بخش عامل مقاومت هیدرولیکی در مقابل جریان ناشی از موج به‌شمار می‌روند. مرور منابع انجام شده در این زمینه نشان داد که در اغلب مطالعات، استوانه‌هایی با جنس‌های مختلف به عنوان مدل درخت مورد استفاده قرار گرفته است. این در حالی است که تعداد قابل توجهی از گونه‌های درختی سواحل دارای تاج پوششی مطرح می‌باشند. از این رو بررسی اثر این بخش در مقابل عبور موج از اهداف این مطالعه می‌باشد. بنابراین به‌منظور تهیه جنگل ساحلی، از شاخه‌های مصنوعی استفاده شد، به طوری که فقط بخش تاج آن‌ها در مقابل موج قرار می‌گرفت. در چنین شرایطی، آرایش جنگل به لحاظ تراکم الگوی کشت متأثر از سطح سایه‌انداز ایجاد شده توسط بخش تاج‌پوشش درختان می‌باشد که شاخص آن پارامتری تحت عنوان درصد پوشش بوده و به صورت خارج قسمت سطح سایه‌انداز درختان به مساحت زمین محصور شده جنگل قابل تعریف می‌باشد.

برای محاسبه مقدار سطح جاذب نیرو A، ابتدا تاج‌پوشش درختان به پنج قسمت مساوی تقسیم شد (ارتفاع بخش تاج‌پوشش همه درختان مساوی و برابر با ۲۵ سانتی‌متر بود). سپس تمامی شاخ و برگ‌های هر یک از این ۵ بخش مساوی از درخت مصنوعی یک به یک جدا شد و بر روی صفحات کاغذ به صورت فشرده و بدون فاصله قرار داده و چسبانده شد. سپس از صفحات حاوی شاخ و برگ درخت اسکن گرفته شد و به کمک نرم‌افزار اتوکد و با مقیاس مناسب مساحت هر پنج قسمت درخت به صورت مجزا اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر ارتفاع موج رسیده به ساحل افقی در مقابل مقادیر تجمعی مساحت درخت در نرم‌افزار اکسل رسم شدند و در نهایت با برازش دادن بهترین خط از بین داده‌ها، معادله خط مزبور استخراج شد. به کمک معادله اخیر می‌توان با وارد کردن مقدار هر ارتفاع موج رسیده به پای درخت، میزان سطحی از شاخ و برگ درخت که با آب پوشیده شده را محاسبه نمود.

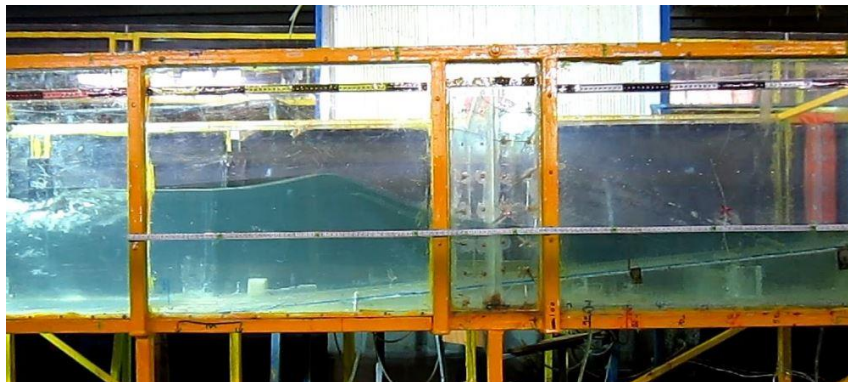
شاخص گیاهی ξE که مبین میزان انعطاف‌پذیری درخت می‌باشد، با استفاده از یک روش نیمه‌تجربی به دست می‌آید (Fathi-Moghadam, 1996). از آنجا که درختان مصنوعی همگی هم‌شکل بوده و شرایط یکسانی را داشتند، شش تا از آن‌ها انتخاب شده و به منظور تخمین شاخص گیاهی مورد آزمایش قرار گرفتند. برای ثابت نمودن شاخه‌ها در یک نقطه پیش از آغاز حرکت راستا به راستای آن‌ها و برای جلوگیری از رخداد خطا، هر شاخه در گیره، ثابت می‌شد و مورد آزمایش قرار می‌گرفت.

نمایش می‌داد و همچنین مبدل‌های فشار دینامیک که به جعبه دیتالاگر متصل به کامپیوتر، وصل هستند همزمان عمل ثبت فشار دینامیک موج را در واحد زمان توسط نرم‌افزار لاگر انجام می‌دادند.

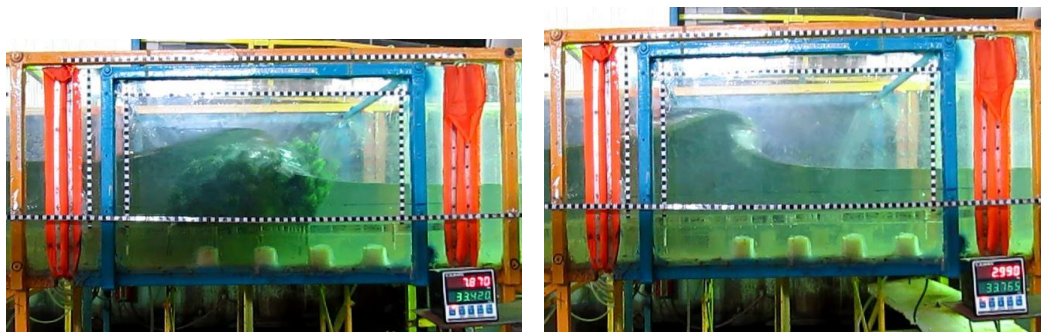
نتایج و بحث

نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل افقی و پوشش درختی از طریق قسمت متحرک فلوم به حسگر دینامیکی نیرو که در زیر فلوم قرار داشت منتقل و بیشترین نیروی جذب شده توسط پوشش ثبت گردید. این نیروی جذب شده معادل نیروی گرفته شده از امواج و در نتیجه میزان استهلاک در انرژی امواج می‌باشد. شکل (۵) نمایی از لحظه بالاروی موج منفرد از ساحل شیبدار را نمایش می‌دهد. همچنین شکل (۶) نیز لحظه شکست موج در محدوده فلوم لبه‌چاقویی (ساحل افقی) در حالت با و بدون پوشش را به همراه نمایشگر الکتریکی لودسل را نشان می‌دهد.

عمق سنج مکانیکی که بر روی پایه‌ای هم عرض فلوم نصب شده بود تنظیم می‌شد و تغییرات مورد نیاز عمق آب توسط سرریز لولایی در انتهای فلوم اعمال و کنترل می‌شد. سپس دریچه کشویی به صورت آب‌بند کاملاً بسته می‌شد و مجدداً به وسیله باز کردن شیر ورودی جریان، ارتفاع آب در مخزن پشت دریچه نیز تا اندازه مورد نظر می‌رسید. در نهایت بعد از ساکن شدن سطح آب در دو طرف دریچه، ضامن دستی آزاد شده و با سقوط ناگهانی وزنه، دریچه به صورت سریع باز شده و موج منفرد تشکیل شده به سمت مدل ساحل و پوشش گیاهی ساحلی حرکت می‌کرد. حرکت موج در طول ساحل شیبدار و افقی، نیز توسط دو دوربین دیجیتال کانن با قدرت ۱۶ مگاپیکسل و با سرعت برداشت ۳۰ فریم بر ثانیه نصب شده بر روی سه‌پایه با همپوشانی مناسب تصویربرداری می‌شد. مترهای کاغذی مدرج نیز در طول فلوم برای درک بهتر از تصاویر دوربین‌ها بر روی دیواره فلوم نصب شده بودند. در حین انجام هر آزمایش، نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیک میزان نیروی وارده به سیستم متحرک لبه‌چاقویی را در واحد کیلوگرم-نیرو



شکل ۵- نمایی از لحظه بالاروی موج منفرد از ساحل شیبدار



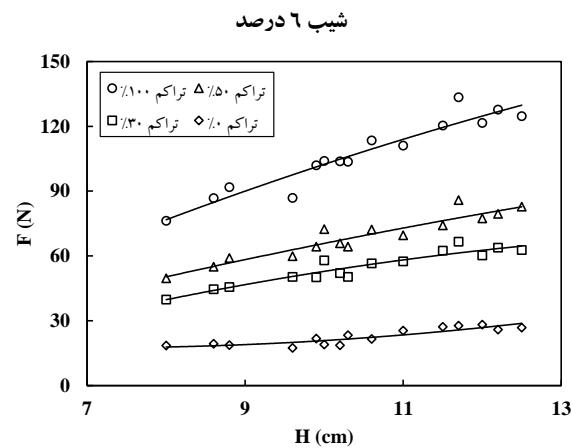
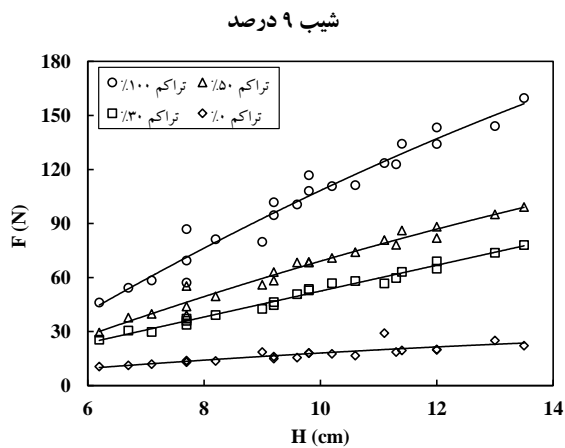
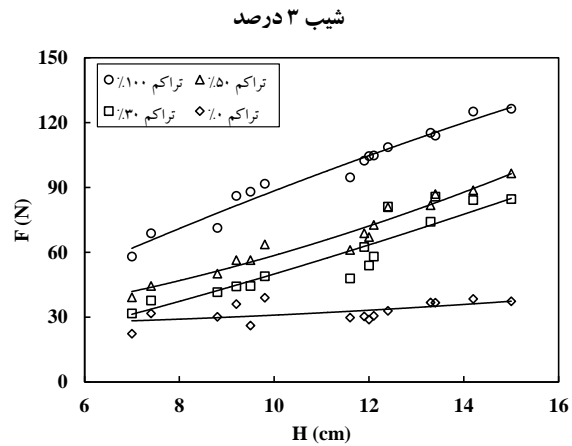
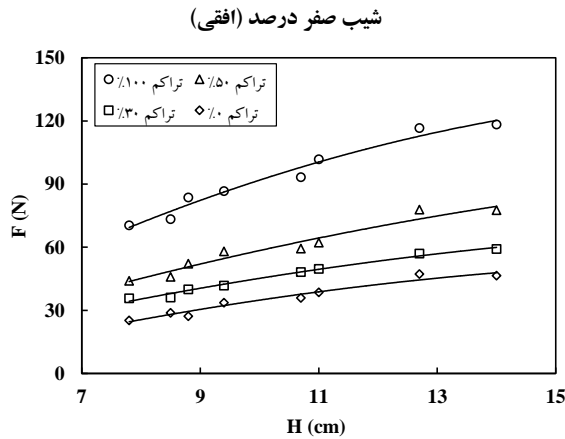
شکل ۶- نمایی از پروفیل عرضی موج شکننا در حالت با و بدون پوشش

مختلف موج ورودی را در درصدهای مختلف پوششی و شیب‌های مختلف ساحل نشان می‌دهد. ارتفاع موج ورودی با استفاده از داده‌های مبدل فشار دینامیک شماره یک در ابتدای

تأثیر ارتفاع موج ورودی بر جذب نیروی امواج توسط جنگل ساحلی
شکل (۷) نسبت نیروی کل جذب شده موج به ازای ارتفاع‌های

نگرفته و حالت متقارن بودن خود را حفظ کرده است. این ارتفاع به‌عنوان معیار و ارتفاع موج ورودی در نظر گرفته شده است.

ساحل شیبدار و با توجه به عمق ساکن ساحل به‌دست آمده است. علت انتخاب مبدل فشار دینامیک شماره یک این است که موج در ابتدای شیب هنوز تحت تأثیر بالاروی و خزش قرار



شکل (۷) تغییرات نیروی جذب شده کل در برابر ارتفاع موج ورودی به ساحل در شیب‌های مختلف

ورودی، موج در قسمت‌های ابتدایی مدل پوشش گیاهی می‌شکند و نهایتاً این امر سبب جذب نسبی بیشتر نیرو از امواج با ارتفاع بیشتر توسط پوشش گیاهی می‌شود. هرچه موج سریع‌تر بشکند، میزان جذب نیرو توسط پوشش درختی افزایش می‌یابد. در منطقه شکست موج، انتقال شدید انرژی صورت می‌گیرد که منجر به افت شدید انرژی می‌شود.

به‌دلیل منعطف بودن مدل جنگل ساحلی در این تحقیق، از یک ارتفاع موج مشخص به ازای هر شیب و تراکم پوششی، پوشش درختی مستغرق می‌گشت. در این حالت با توجه ثابت باقی ماندن سطح جاذب نیرو، به‌علت افزایش سرعت و متعاقباً انرژی موج با افزایش ارتفاع موج ورودی، میزان نیروی حاصل از ضربه برخورد موج و پوشش درختی افزایش یافته و نهایتاً میزان نیروی جذب شده به‌صورت خطی روند افزایشی خود را حفظ کرده است. مشاهده گردید که با افزایش ارتفاع موج ورودی،

با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع موج ورودی به ازای یک تراکم پوششی ثابت، میزان نیروی جذب شده توسط پوشش درختی و ساحل افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع موج، سرعت موج و به تبع آن انرژی موج افزایش می‌یابد. بنابراین در هنگام برخورد موج با مانع نیروی بیشتری جذب می‌شود. همچنین با افزایش ارتفاع موج، سطح جاذب نیرو به‌دلیل حضور پوشش گیاهی به‌عنوان یک مانع طبیعی افزایش یافته که این امر نیز منجر به افزایش میزان نیروی جذب شده می‌گردد. برخورد و شکست موج در ناحیه جنگل ساحلی موجب می‌شود تا ارتفاع موج بعد از عبور از پوشش گیاهی کاهش یابد.

نکته دیگری که به لحاظ ماهیت موج (شکنا) در تحقیق حاضر اهمیت دارد، شکست موج در ناحیه ساحل افقی و پوشش درختی است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع موج

که با افزایش شیب ساحل بخشی از انرژی و سرعت موج صرف بالاروی از شیب می‌شود (اثر انعکاس) و بخشی از انرژی هم به علت اصطکاک کف تلف می‌شود، بنابراین زمانی که موج با انرژی و سرعت کمتری به بخش ساحل افقی می‌رسد، انتقال انرژی کمتری در ناحیه شکست موج انجام می‌شود. همان‌طور که در نمودار شیب صفر درصد (افقی) نیز مشخص است که حالت افقی دارای کمترین اتلاف انرژی (بر اثر بالاروی موج) را تا رسیدن موج به ابتدای بخش متحرک فلوم دارد، در هنگام شکست موج با ارتفاع‌های یکسان دارای بیشترین مقادیر نیروی جذب شده می‌باشد. برآزش مناسب منحنی‌ها در نمودارهای نیرو-ارتفاع موج در حالات مختلف شیب ساحل و تراکم مدل-های جنگل، بر اساس بالاترین مقدار ضریب همبستگی، انتخاب شده است. به دنبال آن جهت محاسبه خطای رگرسیون از تابع ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، استفاده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه P ، O به ترتیب مقدار پیش‌بینی شده متغیر از رابطه منحنی برآزش داده شده، مقدار اندازه‌گیری یا مشاهده شده متغیر و n تعداد کل مشاهدات می‌باشد. در صورت بهره‌برداری بهتر از مقادیر خطای حاصل از محاسبه این تابع و در راستای مشخص نمودن انحراف نسبی خطا از میانگین مشاهدات، می‌توان درصد خطای RMSE نسبت به میانگین را نیز محاسبه نمود. بدین ترتیب:

$$\%error = \frac{RMSE}{O} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

درصد خطا بر اساس مقادیر RMSE، در برآزش منحنی نمودارهای شکل (۸) برای تخمین نیروی موج بر اساس ارتفاع موج در محل پنجه ساحل، محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است.

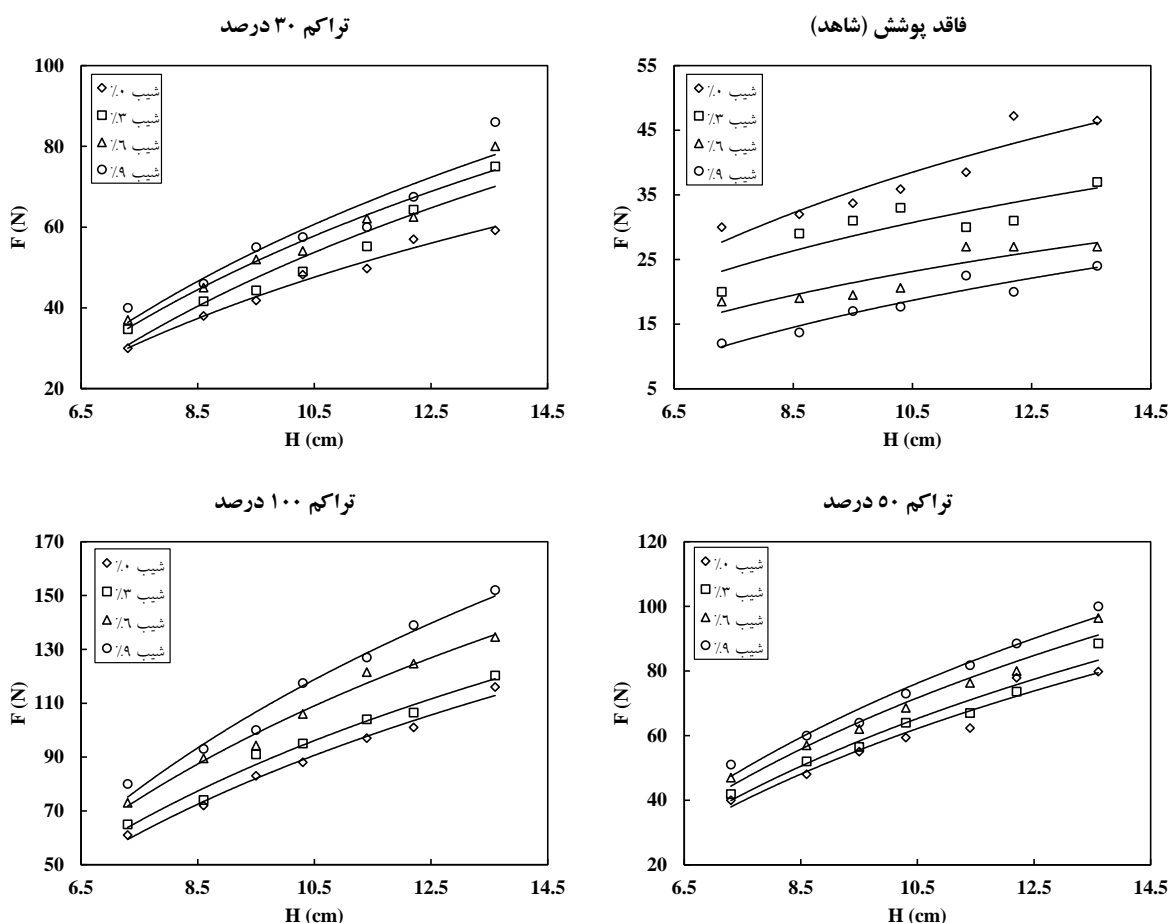
میزان نیروی کل جذب شده توسط مدل پوشش درختی و ساحل در درصدهای پوششی ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد در شیب‌های مختلف نسبت به حالت فاقد پوشش (شاهد) به ترتیب برابر با ۴۹ درصد، ۵۹ درصد و ۷۳ درصد افزایش یافت. شایان ذکر است که منحنی تراکم صفر درصد (شاهد) منحصراً بیانگر تأثیر توپوگرافی و شیب ساحل در شکست امواج و کاهش نیروی مخرب امواج در شیب‌های مختلف می‌باشد.

تأثیر شیب ساحل بر جذب نیروی امواج توسط پوشش گیاهی با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که در حالت استقرار پوشش گیاهی در ساحل افقی (فلوم لبه‌چاقویی) با افزایش میزان شیب ساحل، میزان نیروی جذب شده توسط پوشش درختی به ازای ارتفاع موج ورودی ثابت افزایش می‌یابد. با پیشروی موج به سمت ساحل افقی (بالاروی از ساحل شیبدار)، سرعت ذرات موج تحت اثر پدیده خزش ناشی از کاهش ژرفا (کاهش عمق ساکن آب) افزایش یافته و سرعت انتشار (پیشروی) موج نیز کاهش می‌یابد. در لحظه‌ای که سرعت ذرات موج با سرعت انتشار موج برابر گردید، موج تقارن خود را از دست داده، تیزی آن افزایش یافته و در نهایت شکست موج رخ می‌دهد. بنابراین در یک تراکم ثابت با افزایش شیب ساحل، موج در قسمت‌های ابتدایی پوشش درختی می‌شکند و باعث می‌شود انرژی بیشتری مستهلک گردد و نیروی بیشتری توسط سطح درختان جذب گردد.

همچنین با توجه به نمودار شیب صفر درصد (افقی) مشاهده می‌شود که حالتی که پوشش گیاهی در ساحل افقی استقرار ندارد (شاهد) روند تأثیر شیب ساحل برعکس حالت با پوشش گیاهی است و با کاهش شیب نرخ جذب نیروی موج افزایش می‌یابد، به‌صورتی که شیب صفر درصد (حالت ساحل کاملاً افقی) بیشترین نیرو را در ارتفاع‌های موج ورودی یکسان جذب کرده است. در حالت شاهد، نیروی ثبت شده توسط حسگر نیرو فقط شامل اثر توپوگرافی ساحل بر روی شکست موج می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت از آنجایی

جدول ۲- درصد خطای تخمین محاسبات نیروی موج بر حسب مقدار تابع RMSE

شیب ساحل (%) / تراکم جنگل (%)	صفر	۳	۶	۹
صفر	۵/۳	۲/۷	۴/۸	۵/۲
۳۰	۱۲	۱۲	۵/۸	۳/۸
۵۰	۸/۲	۴/۸	۵	۴/۶
۱۰۰	۶/۸	۳/۸	۶/۳	۷/۷



شکل (۸) تغییرات نیروی جذب شده موج به ارتفاع موج ورودی به ازای شیب‌های مختلف ساحل برای تراکم‌های مختلف پوششی

شاخ و برگ‌های شاخه‌های مصنوعی درختان و همچنین خطای نمایش مقادیر نیرو و بویژه حداکثر نیروی موج در حالات با و بدون حضور جنگل، توسط نمایشگر متصل به نیروسنج دانست. غیر از این مسئله خطای اندازه‌گیری ارتفاع موج توسط سنسورهای فشار در برآورد ارتفاع و متعاقباً سرعت موج نیز به عوامل ایجاد خطا افزوده می‌گردد. ایجاد موج به وسیله دریچه متصل شده به وزنه سقوط از طریق سیستم نخ و قرقره در ایجاد ارتفاع یکسان موج در شرایط برقراری ارتفاع سطوح آب طرفین دریچه و همچنین خطای قرائت سطح آب توسط عمق سنج نقطه‌ای در تنظیم عمق آب ساحل نیز از جمله منابع خطاهای انجام آزمایش به شمار می‌رود.

در صورتی که برای تمام مقادیر نیرو در مقابل ارتفاع موج یک منحنی برازش داده شود، درصد خطا معادل ۲۰ درصد می‌باشد. که افزایش آن نسبت به مقادیر خطا برای هر یک از مدل‌های آزمایش شده، ناشی از تفاوت رفتار موج یکسان به لحاظ نحوه تغییرات ارتفاع در بر ساحل با شیب‌های و همچنین ثابت مقادیر متفاوت نیرو در مواجهه توده موج با مدل جنگل دارای تراکم‌های صفر تا ۱۰۰ درصد می‌باشد. از این رو برازش یک

بر هریک از شیب‌های ساحل، تعدادی از زوج ارتفاع‌های سطوح آب پشت و جلوی دریچه منجر به ایجاد موج شکن می‌گردد. از طرفی رفتار امواج با ارتفاع‌های اولیه یکسان با بالاروی از شیب‌های ساحل صفر تا ۹ درصد نیز مقادیر نیروی متفاوتی را بر بازه فلوم لبه چاقویی ثبت می‌نماید. این نکات عامل ایجاد درصد خطاهای مختلف در مقادیر نیروی امواج بالارونده از سواحل با شیب‌های صفر تا ۹ درصد در حالت آزمایش‌های شاهد می‌گردد. از سویی دیگر در نیروهای ثبت شده با حضور جنگل با تراکم‌های ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیز به دلیل تفاوت در الگوی چیدمان درختان و متعاقباً اختلاف در فضاهای پر و خالی بین دریف درختان، در مواجهه با موج یکسان، میزان جذب نیروی متفاوتی را خواهد داشت. تاج انعطاف‌پذیر درختان در برخورد با موج در تراکم‌های مختلف جنگل در امتداد شیب یکسان، زمان برداشت خیز متفاوتی خواهد داشت که منجر به ثبت نیروهای لحظه‌ای حداکثر با فواصل غیرقابل پیش‌بینی و البته منطقی می‌گردد. از جمله عوامل ایجاد خطا را می‌توان خطای اندازه‌گیری نیروسنج الکترونیکی به ویژه در برخوردهای لحظه‌ای توده موج در حال عبور از بازه جنگل و رفتار تصادفی

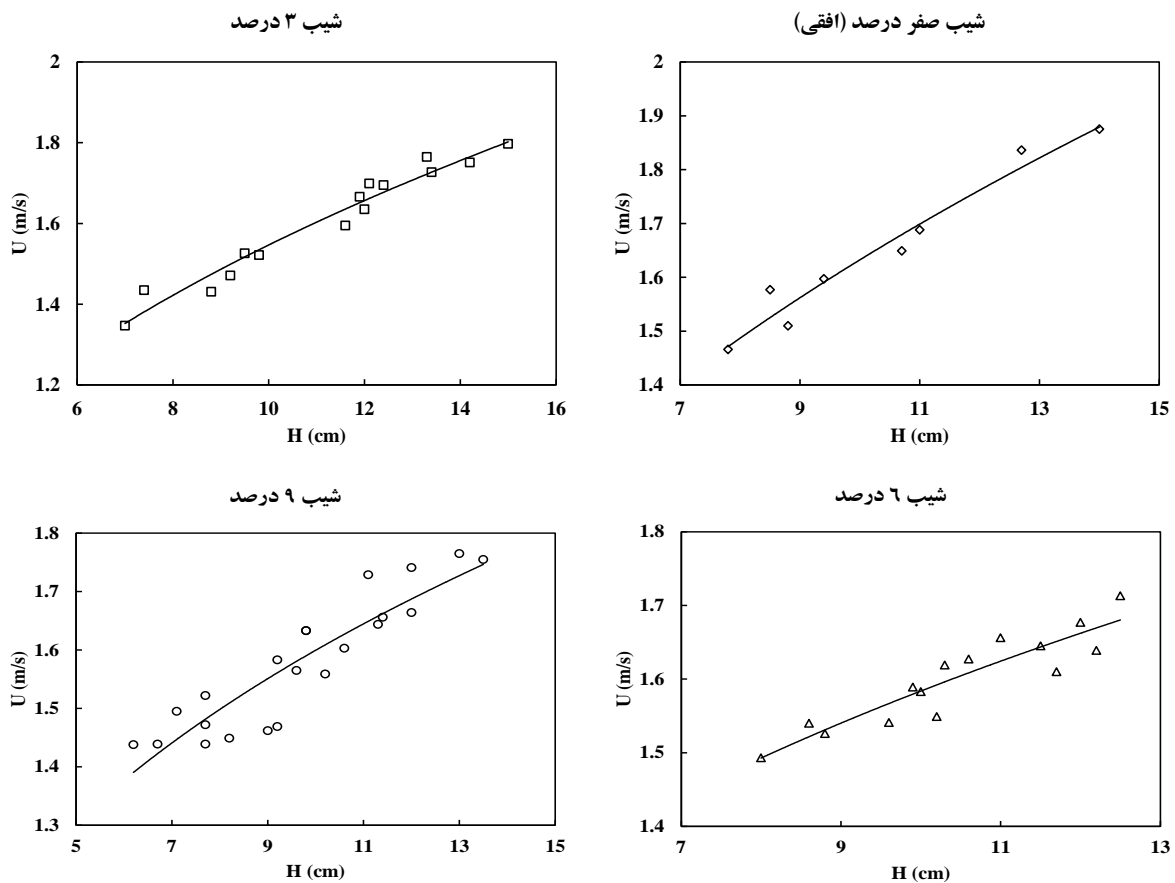
می‌شود.

درصد خطا بر اساس مقادیر RMSE، در برازش منحنی نمودارهای شکل (۹) برای تخمین سرعت موج بر اساس ارتفاع موج در محل پنجه ساحل، محاسبه و در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر جدول شماره (۳) درصد خطای محاسبات رگرسیونی اندازه‌های سرعت در مقابل ارتفاع امواج گذرنده بر سواحل با شیب‌های صفر تا ۹ درصد را نشان می‌دهد، که تفاوت در مقادیر آن غیر از نکات اشاره شده در قسمت قبل، ناشی از رویدادهای متفاوت تغییرات ارتفاع و متعاقباً سرعت موج عبوری بر بازه‌ی سواحل با شیب‌های متفاوت صفر تا ۹ درصد می‌باشد.

منحنی برای تمام حالات میزان خطای ۲۰ درصدی که مبین انحراف نسبی خطاها در مقایسه به مقدار متوسط نیروی ثبت شده تمامی آزمایش‌ها می‌باشد، را ایجاد می‌کند.

تأثیر ارتفاع موج ورودی بر سرعت و جذب انرژی موج توسط پوشش گیاهی ساحلی

شکل (۹) نحوه تغییرات ارتفاع موج ورودی و سرعت موج را در شیب‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع موج ورودی به علت افزایش انرژی موج سرعت آن افزایش می‌یابد. در نهایت این افزایش سرعت باعث افزایش ضربه موج به مانع (پوشش درختی) در هنگام برخورد شده و در نتیجه جذب انرژی بیشتری از موج را هنگام شکست سبب



شکل (۹) تغییرات سرعت موج به ارتفاع موج ورودی در شیب‌های مختلف

جدول ۳- درصد خطای تخمین محاسبات سرعت موج بر حسب مقدار تابع RMSE

شیب ساحل (درصد)	صفر	۳	۶	۹
درصد خطا	۱/۷	۰/۴۵	۰/۵	۰/۸

مجهز به سیستم اندازه‌گیری نیرو بدون اصطکاک صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع موج ورودی، میزان نیروی کل جذب شده توسط مدل پوشش درختی و ساحل در

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر شیب ساحل بر کاهش نیروی امواج شکنا در سواحل با پوشش جنگلی بررسی گردید. آزمایش‌ها در فلو می

نمادها

A: (m²) سطح جاذب مومنتم

D: (%) درصد تراکم پوششی

d: (cm) عمق ساکن ساحل

E: شاخص گیاهی (بدون بعد)

F: (N) نیروی موج

H: (cm) ارتفاع موج ورودی

h: (cm) ارتفاع درخت

M_s: (kg) جرم کل درخت

Nf₁: (1/s²) رزونانس فرکانسی مود اول

S: (%) شیب ساحل

U: (m/s) سرعت انتشار موج

درصدهای پوششی ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد در شیب‌های مختلف نسبت به حالت فاقد پوشش (شاهد) به ترتیب برابر با ۴۹ درصد، ۵۹ درصد و ۷۳ درصد می‌باشد. همچنین، در حالت حضور پوشش گیاهی، میزان متوسط افزایش نیروی جذب شده توسط پوشش گیاهی در شیب‌های ۳ درصد، ۶ درصد و ۹ درصد نسبت به حالت شیب افقی، به ترتیب ۱۰ درصد، ۱۷ درصد و ۲۳ درصد افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش سرعت موج میزان نیروی جذب شده توسط جنگل ساحلی به ازای تراکم‌های بکار برده شده در این تحقیق در شیب‌های مختلف ساحل افزایش می‌یابد. به طور کلی با افزایش تراکم پوشش گیاهی و شیب ساحل، میزان جذب نیروی موج توسط پوشش جنگلی افزایش می‌یابد.

REFERENCES

- Anonymous (2013). Guidelines on Design & Construction of Coastal Protection Structures, No. 629.
- Bernard, E. N., Mofjeld, H. O., Titov, V., Synolakis, C. E., and Gonzalez, F. I. (2006). Tsunami: Scientific frontiers, mitigation, forecasting and policy implications. *Philosophical Transaction of the Royal Society A*, 364, 1989-2007
- Chegin, V. (1998) *Guidelines of Breakwater Design*. Tehran: Jahad Corporation of Water and Watershed Research Publication. (In Farsi)
- Danielsen, F., Sorensen, 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.
- Esteban, M., Thao, D. N., Takagi, H., and T. Shibayama (2008). Analysis of rubble mound foundation failure of a caisson breakwater subjected to tsunami attack. *18th Offshore and Polar Engineering Conference*, Vancouver.
- Fathi-Moghadam, M. (1996). *Momentum absorption in non-rigid, non-submerged, tall vegetation along rivers*. Ph. D. dissertation, University of Waterloo. Canada.
- Furukawa, K., Wolanski, E. and Mueller, H., (1997). Currents and sediment transport in mangrove forests, *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 44(3), 301-310.
- Ghanbari Adivi, E. (2014). *Dynamic interaction of the breaking long waves in sloping shoreline with green belt*. Ph. D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. (In Farsi)
- Harada, K. and Imamura, F., (2006). Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow, *Proc. Congress. Asian and Pacific Coastal Engineering Dalia*, 984-975.
- Hirashi, T. and Harada, K., (2003). Green belt tsunami prevention in South-Pacific region, *Report of the Port and Airport Research Institute*, 42(2), 23p.
- Husrin, S., Strusinska, A., and Oumeraci, H., (2012). Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Earth Planets Space Journal*. 64: 973- 989.
- Iida, K., (1969). The Generation of Tsunamis and the Focal Mechanism of Earthquakes, *Tsunamis in Pacific Ocean (W.M. Adams, Editor) East-West Center Press*. University of Hawaii, 3-18.
- Kathiresan, K., Rajendran, N., (2005). Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 67(3), 601-606.
- Lashkar-Ara, B. (2009). *Determination of Shear Stress in Rectangular Channel Using Momentum and Energy Approaches*. Ph. D. dissertation, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. (In Farsi)
- Lashkar-Ara, B. and Fathi-Moghadam, M. (2014). Analysis of Shear Stress in Rectangular Channel Using Force Balance Approach. *Journal of Hydraulics*, 9(3), 33-44. (In Farsi)
- 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.
- Mendez, F.J. and Losada, I. J., (2004). An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields, *Coastal Engineering*, 51(2), 103-118.
- Mokhtari, M. and Hajizadeh Zaker, N. (2005). Makran (Sea of Oman) a Tsunami Prone Area for Iranian Coasts, *6th A/O Regional Meeting of IAPH*, 1-4 Feb, Tehran, Iran.
- Quartel, S., Kroon A., Augustinus, P. G.E.F., Van Santen P. and Tri N. H., (2007). Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(4), 576-584.
- Rastgoftar, E., Akbarpoor Janat, M., Chegin, V. and Rostami, M., (2012). Investigation of Chabahar Gulf flooding due to tsunami in the Makran area. 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Tehran, Iran.
- Russell, J. S. (1845). Reports on Waves made to the

meetings of the British Association in 1842-43.
London.

Sorensen, R. M., (2006). *Basic Coastal Engineering*,
New York: Springer Science & Business Media.

Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision
(2013) *Guidelines on Design and Construction of*

Coastal Protection Structures, Publication No.
629. (In Farsi)

Wiegel, R. L., (1970). *Tsunamis, Earthquakes
Engineering* (R.L. Wiegel, Editor), Prentice Hall,
Englewood Cliffs, NJ, 253-306.