Irrigation Sciences and Engineering
Vol.40, No. 2, Summer 2017, p. 251-263

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٠، شماره‌ی۲، تابستان ٩٦، ص. ٢٦٣-٢٥١

بررسی اثر جنگل ساحلی بر جذب نیروی امواج منفرد شکنا در سواحل شیبدار

علی معتمدی نژاد[۱]، منوچهر فتحی مقدم[۲*] و لیلا داودی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز .
۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.fathi49@gmail.com
۳- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۲۶

چکیده

همه ساله مخاطرات و سوانح طبیعی مانند طوفان‌ها و سونامی‌ها باعث تخریب سواحل می‌شوند و خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری را به بار می‌آورند. رویکردهای اخیر حفاظت سواحل بر مبنای برقراری تعادل و تثبیت زیست‌محیطی می‌باشد. از جمله روش‌های نوین حفاظت سواحل، احداث نوارهای جنگلی ساحلی است که به کمربند سبز مشهور می‌باشد. مقابله کمربند سبز ساحلی برای حفاظت از سواحل و کاهش خسارت‌های وارده به آن از طریق افزایش مقاومت در مقابل موج ورودی به ساحل و جذب بخشی از نیروی آن می‌باشد. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی ساحلی بر تغییرات نیروی مخرب امواج منفرد شکنا و ضریب کششی جنگل ساحلی صورت گرفته است. به‌همین منظور مدل ساحل شیبدار و پوشش گیاهی ساحلی در یک فلوم مجهز به سیستم نیروسنجی بدون اصطکاک تعبیه شد. آزمایش‌ها در چهار شیب مختلف ساحل و در دو حالت با پوشش و بدون پوشش گیاهی (سه تراکم پوششی) انجام شد. نتایج نشان داد که وجود کمربند سبز ساحلی به طور متوسط، نیروی مخرب موج شکنا را تا ٦٠ درصد کاهش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: کمربند سبز ساحلی، سونامی، شکست موج، جذب نیروی موج، ساحل شیبدار.

Effect of Coastal Forest on Solitary Breaking Waves Force Absorption in Sloping Coasts

A. Motamedi Nezhad[1], M. Fathi-Moghadam[2*] and L. Davoodi[3]

1- MSc. Student, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- Ph.D. Student, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:30 June 2016 Accepted:17 October 2016

Abstract

Every year, natural disasters and catastrophes such as hurricanes and tsunamis cause coasts destruction and bring irreparable damages to the life and properties of people. Recent approaches of coastal protection are based on environmental balance and stabilization. the new method of coastal protection is planting coastal forest lines known as green belt. Coastal green belt confronting toward coastal protection and damage reduction is through increasing the resistance to incoming wave to the coast and absorbing part of its force. Hence, the aim of present study is to investigate the effect of coastal vegetation density on variations of destructive solitary breaking waves force and drag coefficient of coastal forest. To this purpose, a sloping coast and a coastal vegetation model were installed in a flume equipped with a frictionless force measurement system. The experiments were conducted in four different coast slopes in both with coastal vegetation and without coastal vegetation model (three coastal vegetation density). The results indicated that the presence of coastal green belt reduce the destructive force of the waves to a bout 60 percent on average.

Keywords: Coastal green belt, Tsunami, Breaking wave, Wave force absorption, Sloping coast.

مقدمه

نقش بسیار مهم حمل و نقل دریایی و وجود منابع سرشار از نفت و گاز و مواد پروتئینی در آب‌های اطراف کشور از یک طرف و وجود حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب از طرف دیگر، لزوم احداث بنادر و ساخت سازه‌های مختلف دریایی را ضروری می‌سازد (بی‌نام، ۱۳۹۲). درک شرایط و قابلیت در مدیریت محیط ساحلی فوق‌العاده مهم می‌باشد. بخش قابل‌توجهی از جمعیت جهان در حاشیه سواحل سکونت دارند و بسیاری دیگر به‌طور 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[۱] فراهم می‌سازد. حفاظت ساحل و مسائل مربوط تثبیت آن اغلب نیازمند به یک راه‌حل منطقه‌ای تا یک واکنش موردی یک نفر یا تعداد اندک مالکین می‌باشد. مقدار زیادی از تجارت جهانی به‌وسیله کشتی‌ها از طریق ورود و خروج به بنادر در سواحل انجام می‌شود. این امر نیازمند تثبیت، نگهداری و حفاظت راه‌های آبی برای دریانوردی است. روش‌های متعددی برای 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 روشی برای اتلاف انرژی و انعکاس امواج طراحی و ساخته می‌شوند و معمولاً به‌همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. البته سازه‌های دیگر مانند ستون‌های مهاربند، حوضچه‌های تعمیر و سرسره‌ها نیز قابل ذکر می‌باشند. طی دوران مختلف، به‌دلیل امتیازات ذاتی ناشی از استفاده از روش‌های طبیعی حفاظت، تغییر از رویکردهای سازه‌ای به تقویت ساحل بوده است. در این بین پوشش‌های گیاهی ساحلی[۲] که در گروه رویکرد اخیر حفاظت قرار گرفته و به نوعی کنترل و مقابله بیولوژیکی به‌شمار 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. امواج مهمترین عامل در تعیین وضعیت هندسی سواحل هستند و نیز دارای تأثیر عمده‌ای در طراحی بنادر، آبراهه‌ها، سازه‌های حفاظتی ساحلی، سازه‌های ساحلی و سایر عملیات ساحلی و دریایی می‌باشند. در دهه‌های اخیر تمایل زیادی در خصوص مطالعه و بررسی اثر پوشش‌های گیاهی بر جریان دریاها، رودخانه‌ها، مصب‌ها و خلیج‌ها به وجود 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 بلایای 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 (برنارد و همکاران[۳]، ۲۰۰۶).

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[۴]، انکسار[۵] و تشدید[۶] می‌تواند باعث افزایش شدید دامنه آن‌ها در نزدیکی ساحل و بالاروی[۷] امواج گردد (سورنسن[۸]، ۲۰۰۶). این امر سبب به بار آمدن خسارت‌های سنگین و تلفات جانی زیادی در نواحی ساحلی مستعد به حملات سونامی می‌شود. 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 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 (ایدا[۹]، ۱۹۶۹). 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 (ویگل[۱۰]، ۱۹۷۰). 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. خسارت‌های اصلی ساحل ناشی از امواج آب وقتی که سونامی روی شیب ساحل بالا می‌رود خواهد بود. هر چند تراز بالاروی امواج سونامی بستگی به شیب زمین و شرایط سطح و همین‌طور تیزی واقعی موج سونامی دارد، با توجه به راه‌حل تجربی

1- Tsunami
2- Coastal vegetation
3- Bernard *et al.*
4- Shoaling
5- Refraction
6- Resonance
7- Overtopping
8- Sorensen
9- Iida
10- Weigel

کمفیلد[1] (۱۹۸۰) تراز بالاروی مساوی یا کمی بیشتر از ارتفاع موج در ساحل خواهد بود (سورنسن، ۲۰۰۶).

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 خسارت‌های 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 (مختاری و حاجی‌زاده ذاکر[2]، ۲۰۰۵). توسعه امواج آب از میان پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق با از دست دادن انرژی از طریق نیروی مقاومتی ناشی از پوشش گیاهی، و در نتیجه کم شدن ارتفاع امواج عبوری همراه بوده است (دالریمپل و همکاران[3]، ۱۹۸۴). 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. اندرکنش 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 با توجه به گستردگی تنوع گیاهان ساحلی، تغییرات میرایی موج توسط پوشش گیاهی نیز زیاد است (مندز و لوزادا[4]، ۲۰۰۴). دین و بندر (۲۰۰۶) با استفاده از نظریه خطی موج در آب کم‌عمق نشان دادند که مومنتم منتقل شده ناشی از شکست موج در حضور پوشش دو تا سه برابر بیشتر از شرایط بدون پوشش کاهش یافته است (به نقل از قنبری عدیوی و فتحی‌مقدم، ۱۳۹۳). هیراشی و هارادا[5] (۲۰۰۳) 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 تأثیر مخرب این امواج پرداختند 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 ساختند. آن‌ها همچنین بیان داشتند که میزان کاهش تأثیر مخرب سونامی با کمربند پوشش گیاهی به میزان تراکم پوشش گیاهی بستگی دارد. این میزان تخلخل در سطح مشخص، کارایی پوشش را بیان می‌دارد که با ضریب کششی به عنوان نماینده مقاومت در برابر جریان که به نوعی تأثیر میزان تراکم را در بر دارد می‌توان به بررسی تأثیر آن پرداخت (به نقل از قنبری عدیوی و فتحی‌مقدم، ۱۳۹۳). کمربند سبز باید در بین خط داخلی ساحل و منطقه مسکونی اجرا شود که شامل پوششی از درختان گرمسیری مانند نارگیل، نخل، انبه و مانگرو (حرا) می‌باشد. مانگرو ریشه گسترده و برگ متراکم دارد و برای کاهش ارتفاع امواج بلند و امواج جزر و مدی مناسب است (هارادا و ایماموراً[6]، ۲۰۰۶). یک نظر کلی وجود دارد که تالاب‌ها، که اغلب به‌عنوان مناطق گذار در بین آب و خشکی قرار دارند و شامل پوشش مستغرق و یا غیرمستغرق می‌باشند، می‌توانند به عنوان حائل عمل نموده و به‌طور چشمگیری باعث کاهش طوفان و انتشار امواج قبل از توسعه در ساحل شوند (اندرسون و همکاران[7]، ۲۰۱۱). در حالی که مطالعات قبلی تمایل به کمی کردن اتلاف موج فقط در میان پوشش گیاهی داشته‌اند (ناتسون و همکاران ۱۹۸۲؛ وین[8] ۱۹۷۶)، مطالعات جدید به مقایسه مناطق با و بدون پوشش گیاهی به‌منظور تأکید بر اهمیت حفظ و ایجاد تالاب برای حفاظت ساحلی پرداخته‌اند (کوارتل و همکاران ۲۰۰۷؛ مزدا و همکاران ۲۰۰۶؛ کوپر ۲۰۰۵؛ مولر و اسپنسر ۲۰۰۲؛ مولر و همکاران ۱۹۹۹؛ به نقل از قنبری عدیوی و فتحی‌مقدم، ۱۳۹۳). مطالعات انجام گرفته توسط ماسکارنهاس و جایاکومار[9] (۲۰۰۸) نشان می‌دهد که در امتداد زیادی از ساحل تامیل نادو واقع در جنوب شرق شبه‌جزیزه هند، استفاده از درختان نخل و نارگیل به‌منظور تضعیف امواج و تأثیر مخرب ناشی از آن نتیجه مناسبی داده است. هاسرین و همکاران[10] (۲۰۱۲) گزارش کردند که بیشترین کاهش انرژی موج توسط مدل فیزیکی پوشش گیاهی ساحلی در حالت انتشار موج شکنا روی عریض‌ترین حالت پوشش به دست آمده است. 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[11])، یا اینکه روی ساحل، پوشش گیاهی و سازه ساحلی بشکند (موج شکنا[12]) و یا نسبت به موقعیت مهم در نظر گرفته شده در قسمت ساحلی نشکند و موج ناشکنا[13] قلمداد شود (چگینی، ۱۳۷۷).

1- Camfield
2 - Mokhtari and Hajizadeh Zaker
3- Dalrymple *et al.*
4- Mendez and Losada
5- Hirashi and Harada

6- Harada and Imamura
7- Anderson *et al.*
8- Wayne
9- Mascarenhas and Jayakumar
10- Husrin *et al.*
11- Broken wave
12- Breaking wave
13- Non-breaking wave

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده این تحقیق

پارامترهای متغیر	محدوده
شیب ساحل (درصد)	۰، ۳، ۶، ۹
تراکم پوشش گیاهی (درصد)	۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰
عمق آب پشت دریچه (سانتی‌متر)	۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۴، ۳۷، ۴۰
عمق آب جلوی دریچه (سانتی‌متر)	۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵
ارتفاع موج (سانتی‌متر)	۶/۲ – ۱۵
نیروی موج (نیوتن)	۱۰/۶ – ۱۵۹/۷
سرعت موج (متر بر ثانیه)	۱/۳۴۷ – ۱/۸۷۵

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 برای بررسی پارامترهای مؤثر پوشش گیاهی بر کاهش انرژی مخرب امواج با استفاده از روش مستقیم اندازه‌گیری نیروی کششی درختان، می‌باشد. بنابراین، در این مطالعه به مدل‌سازی کمربند سبز ساحلی و ساحل شیبدار در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی برای بررسی کردن تأثیر آن در جذب نیروی امواج شکنا در شیب‌های مختلف ساحل 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 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)، سه درصد، شش درصد و نه 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.

تحلیل ابعادی

برای انجام آزمایش‌های لازم در رسیدن به اهدف تحقیق، ابتدا نیاز به مدل‌سازی فیزیکی و تعیین کمیت‌های بی‌بعد است، که برای این کار لازم است پارامترهای مؤثر بر فیزیک پدیده مشخص گردد. پارامترهای مؤثر بر فیزیک مسئله به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$f(F,H,\rho,g,U,\mu,d,S\%,h,A,D\%,W,B,\xi E)=0 \quad (1)$$

که در آن، F : نیروی موج، H : ارتفاع موج، ρ : جرم واحد حجم سیال، g : شتاب ثقل، U : سرعت انتشار موج، μ : لزجت دینامیکی، d : عمق ساکن ساحل، S : شیب ساحل (درصد)، h : ارتفاع درخت، A : سطح شاخ و برگ جاذب نیرو، D : تراکم پوشش گیاهی (درصد)، W : عرض پوشش (هم‌راستا با موج)، B : طول پوشش در راستای عرض فلوم، ξE : مدول الاسیسیته درخت (شاخص گیاهی) می‌باشند.

نتیجه تحلیل ابعادی از روش پی باکینگهام به‌صورت تابع زیر است:

$$f\left(\frac{F}{\rho A U^2},\frac{\rho U^2}{\xi E}\frac{\rho U H}{\mu},\frac{U}{\sqrt{gH}},\frac{H}{d},\frac{H}{h},\frac{H}{B},\frac{H}{W},D\%,S\%\right)=0 \quad (2)$$

به‌علت کاملاً متلاطم بودن جریان از تأثیر لزجت صرف‌نظر شده و عدد رینالدز از میان پارامترها حذف می‌گردد (فتحی‌مقدم، ۱۹۹۶). همچنین به‌علت ثابت درنظر گرفتن ارتفاع، طول و عرض مدل پوشش گیاهی، سایر پارامترهای مهم و مؤثر شامل پارامترهای رابطه (۳) می‌باشد:

$$C_D = f\left(\frac{U}{\sqrt{\frac{\xi E}{\rho}}},\frac{H}{d},D\%,S\%\right) \quad (3)$$

ساختار بیومکانیک درختان مشابه تیر یک سرگیرداری 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 هدف اصلی این مطالعه می‌باشد. بنابراین به‌منظور تهیه جنگل ساحلی، از شاخه‌های مصنوعی استفاده شد، به‌طوری 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 به‌صورت خارج قسمت سطح سایه‌انداز درختان به مساحت زمین محصور شده جنگل قابل تعریف می‌باشد.

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

شاخص گیاهی (ξE) که مبین میزان انعطاف‌پذیری درخت می‌باشد، با استفاده از یک روش نیمه‌تجربی به‌دست می‌آید (فتحی‌مقدم، ۱۹۹۶). 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.

با فیلم‌برداری 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 رزونانسی 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) رزونانس فرکانسی مود اول (Nf_1)، در رابطه زیر به‌دست می‌آمد:

$$\xi E = Nf_1{}^2\left(\frac{m_s}{h}\right) \qquad (۴)$$

که در آن، M_s : جرم کل درخت و h : ارتفاع درخت می‌باشد. در نهایت با اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، مقدار شاخص گیاهی برای درختان مصنوعی به‌کار برده شده در تحقیق حاضر ۶/۶۱۲ به‌دست آمد.

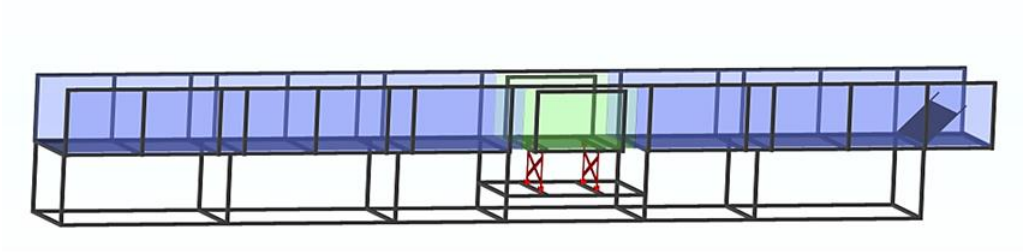
تجهیزات آزمایشگاهی

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. برای 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[1] بخش انتهایی فلوم لبه‌چاقویی[2] یا بخش متحرک را به قسمت پایین‌دست فلوم وصل می‌کند و عکس‌العمل نیروی جریان را روی نشانگر الکتریکی دستگاه نشان می‌دهد، استفاده شده است. این فلوم برای نخستین بار برای انجام رساله دکتری لشکرآرا (۱۳۸۸) برای تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش مومنتم ساخته شده است و توسط وی به نام فلوم لبه‌چاقویی نامگذاری گردید. اندیشه ساخت این فلوم الهام گرفته از میز جذب مومنتمی است که فتحی مقدم (۱۹۹۶) در رساله دکتری خود برای جذب مومنتم پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر 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. در این روش، تعادل بخش مجزا شده فلوم توسط یک نیروسنج دینامیکی برقرار شده است و امکان ثبت نیروی کششی وارده از طرف سیال به آن قابل ثبت می‌باشد (لشکرآرا و فتحی‌مقدم، ۱۳۹۳). شکل‌های (۱) و (۲) به‌ترتیب نمای سه‌بعدی از فلوم لبه‌چاقویی و همچنین پلان و مقطع فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده را نمایش می‌دهد.

به‌منظور ثبت تغییرات مکانی و زمانی پروفیل موج منفرد[3] و همچنین اندازه‌گیری سرعت انتشار موج نیز از مبدل‌های فشار دینامیکی[4] 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 اول و دوم، و تقسیم فاصله مکانی این دو مبدل بر زمان عبور موج ورودی به‌دست می‌آمد. علت انتخاب این است که در ابتدای ساحل شیبدار موج هنوز تحت تأثیر پدیده‌هایی هم‌چون خزش قرار نگرفته و ماهیت

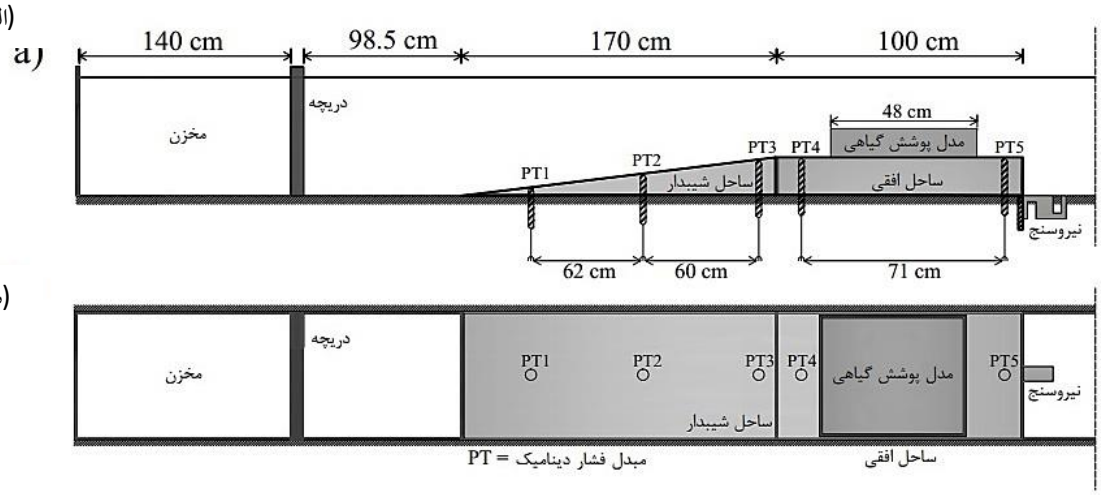
1- Load cell
2- Knife-edge Flume
3- Solitary wave
4- Dynamic pressure transducer

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. 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 به‌دست 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 پلکسی‌گلاس است که روی پایه‌هایی از همان جنس قرار گرفته و با گیره‌های نبشی شکل در جای خود ثابت شده‌اند. شکل (۴) نیز سیستم مدل‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها در فلوم مستطیلی مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای سه‌بعدی از فلوم لبه‌چاقویی مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها (لشکرآرا، ۱۳۸۸)

(الف

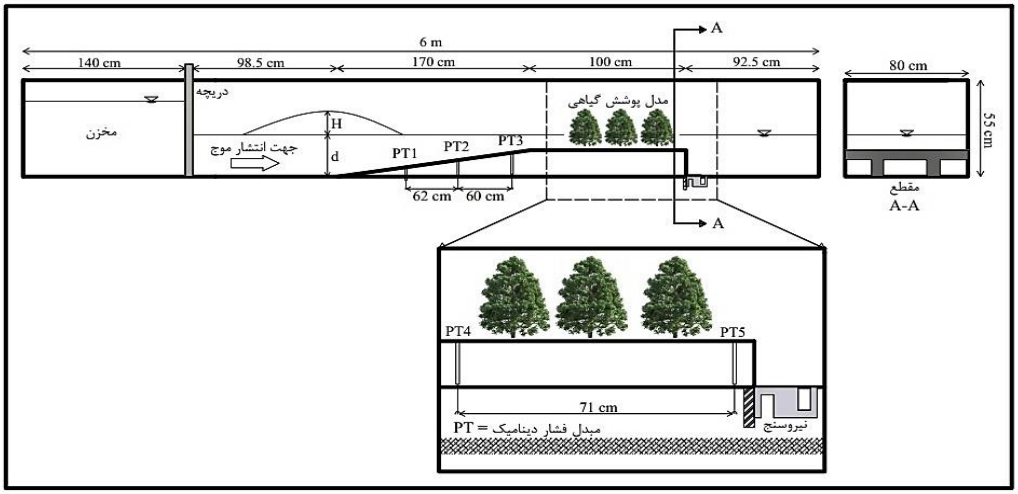


(ب

شکل ۲- به‌ترتیب الف) نمایی از مقطع فلوم مستطیل شکل، و ب) نمایی از پلان فلوم مستطیل‌شکل



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



شکل ٤- سیستم و مدل‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها در فلوم

شیوه انجام آزمایش

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 به‌وسیله 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 برای تولید موج، طراحی و ساخته شد. توده عبوری روی آب ساکن جلوی دریچه (عمق ساکن ساحل) حرکت نموده و در ادامه یک قله موج منفرد را به‌وجود می‌آورد. این روش مبتنی بر آزمایش‌ها و روش‌های پیشنهادی راسل[1] (۱۸۴۵) 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. استبان و همکاران[2] (۲۰۰۸) 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 عمق‌سنج مکانیکی که 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 به‌وسیله 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 با سرعت برداشت ۳۰ فریم بر ثانیه نصب شده روی سه‌پایه با همپوشانی مناسب تصویربرداری می‌شد. مترهای کاغذی مدرج نیز در طول فلوم برای درک بهتر از تصاویر دوربین‌ها روی دیواره فلوم نصب شده بودند. در حین انجام هر آزمایش، نمایشگر الکتریکی متصل به حسگر بار دینامیک میزان نیروی وارده به سیستم متحرک لبه چاقویی را در واحد کیلوگرم-نیرو نمایش می‌داد و همچنین مبدل‌های فشار دینامیک که به دستگاه ثبت‌کننده داده 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 امواج شکنا به مدل ساحل و پوشش گیاهی از طریق قسمت متحرک فلوم (فلوم لبه‌چاقویی) به حسگر بار دینامیک که در زیر فلوم نصب شده است منتقل شده و حداکثر نیروی وارده (جذب شده توسط مدل پوشش گیاهی) ثبت گردیده است. آزمایش‌های بدون جنگل به‌منظور در اختیار داشتن معیاری در تشخیص اثر جنگل ساحلی بر موج انجام شده و نتایج آن مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۵) نمایی از لحظه شکست موج در محدوده فلوم لبه‌چاقویی (ساحل افقی) در حالت با و بدون پوشش را به‌همراه نمایشگر الکتریکی لودسل را نشان می‌دهد.

1- Russell
2- Esteban *et al.*

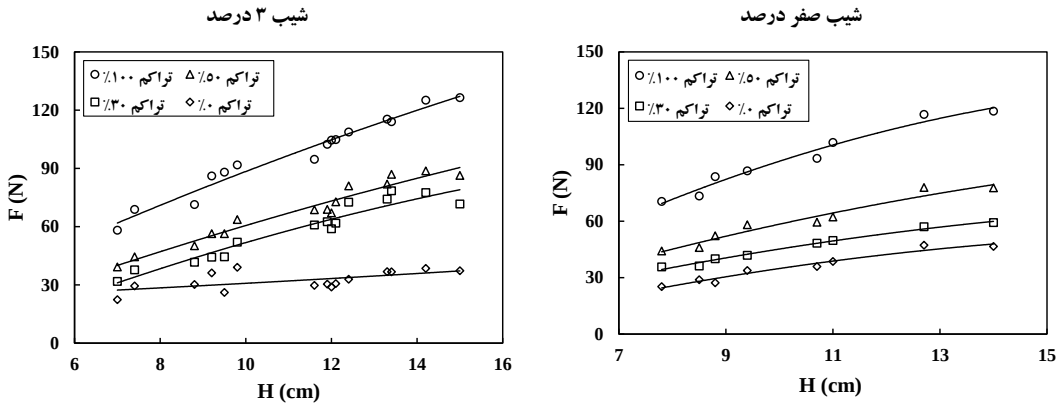
تأثیر تراکم پوشش و ارتفاع موج بر جذب نیروی موج

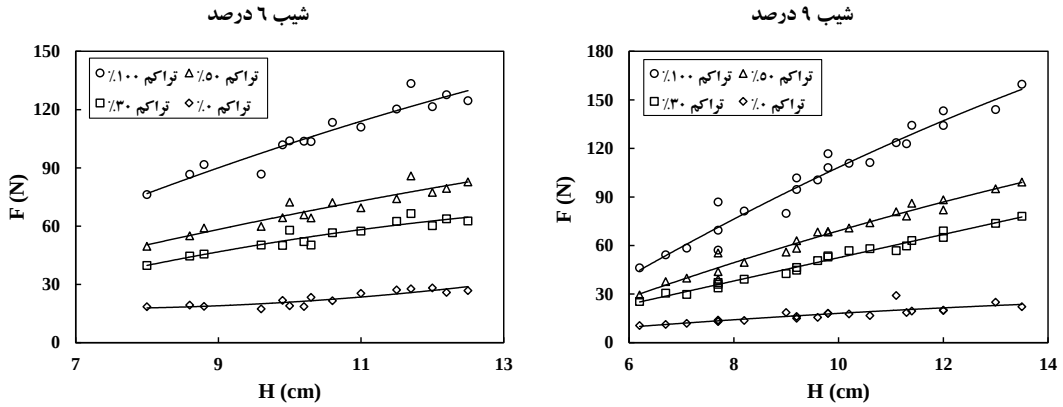
شکل (۶) نمایانگر تغییرات میزان نیروی جذب شده در حالت‌های شاهد (تراکم صفر درصد یا فاقد پوشش)، تراکم ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد در چهار شیب صفر درصد (افقی)، سه درصد، شش درصد و نه درصد ساحل می‌باشد. ارتفاع موج ورودی (H) با استفاده از داده‌های مبدل فشار دینامیک شماره یک در ابتدای ساحل شیبدار و با توجه به عمق ساکن ساحل (d) به‌دست آمده است. علت انتخاب مبدل فشار دینامیک شماره یک این است که موج در ابتدای شیب هنوز تحت تأثیر بالاروی و خزش قرار نگرفته و حالت متقارن بودن خود را حفظ کرده است. این ارتفاع به‌عنوان معیار و ارتفاع موج ورودی در نظر گرفته شده است.

با افزایش میزان تراکم پوشش گیاهی به‌علت افزایش سطح برخورد و تعداد درختانی که در مقابل موج قرار می‌گیرند، مقاومت ناشی از نیروی کششی در مقابل موج بیشتر شده و نیروی بیشتری از آن هنگام برخورد و شکست در ناحیه دارای پوشش ساحلی گرفته می‌شود. این امر موجب می‌شود تا ارتفاع موج بعد از عبور از پوشش گیاهی کاهش پیدا کند. با افزایش ارتفاع موج ورودی، به‌علت افزایش سرعت نسبی در لایه‌های بالاتر بدنه موج و ناپایدار شدن قله موج نسبت به بدنه آن، و همچنین وسیع‌تر شدن سطح برخورد به‌دلیل حضور پوشش گیاهی به‌عنوان یک مانع طبیعی، امواج (شکنا) در قسمت‌های ابتدایی مدل پوشش گیاهی می‌شکنند و نهایتاً این امر باعث جذب نسبی بیشتر نیرو از امواج با ارتفاع بیشتر توسط پوشش گیاهی می‌شود. هر چه موج سریع‌تر بشکند، میزان جذب نیروی موج توسط پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. در منطقه شکست موج، انتقال انرژی شدید انجام شده که منجر به افت انرژی شدیدی می‌شود. نیروی جذب شده موج متناسب با افزایش ارتفاع موج افزایش می‌یابد، همان‌طور که در شکل (۶) نیز مشخص است نرخ افزایش نیروی جذب شده موج سریع‌تر از افزایش ارتفاع موج است. در حقیقت این وضعیت مبین نقش کلیدی مدل پوشش گیاهی است. شایان ذکر است که منحنی تراکم صفر درصد (شاهد) بیانگر تأثیر توپوگرافی ساحل در کاهش نیروی مخرب امواج در شیب‌های مختلف می‌باشد.

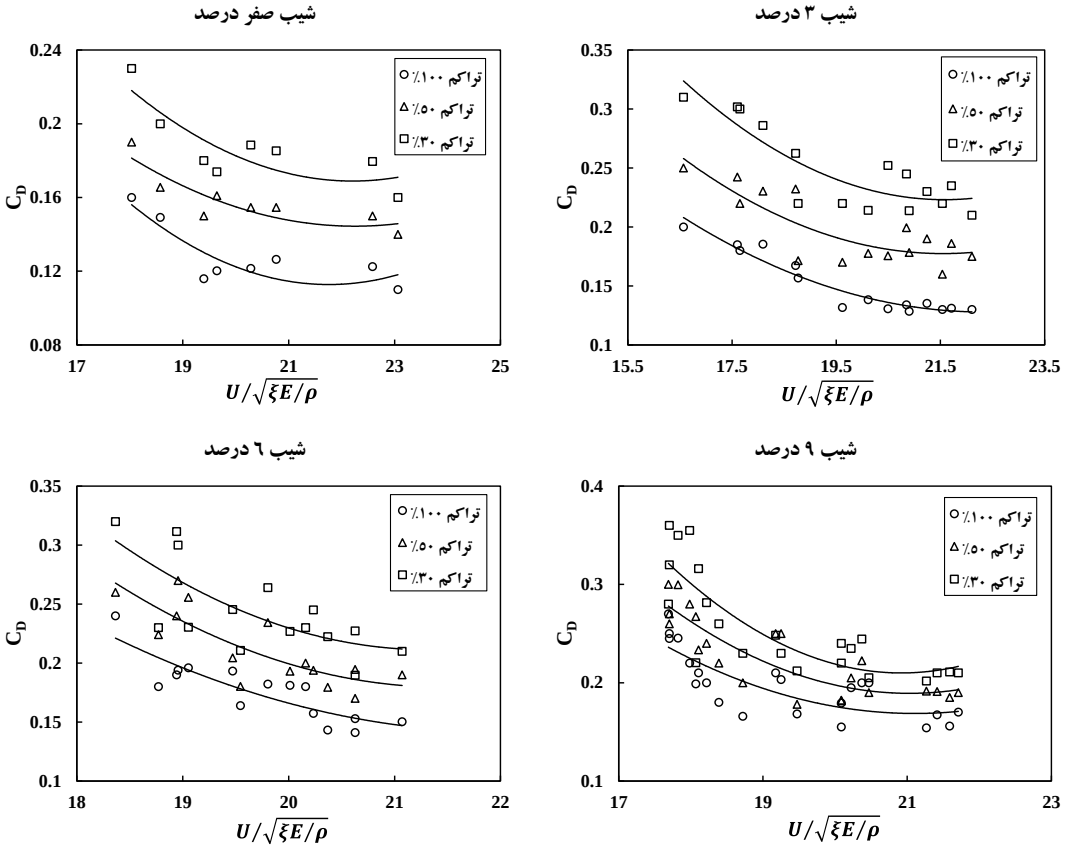


شکل ۵- نمایی از پروفیل عرضی موج شکنا در حالت با پوشش و بدون پوشش





شکل ٦- نیروی جذب شده توسط تراکم‌های پوششی در برابر ارتفاع موج ورودی به ساحل و شیب‌های مختلف



شکل ۷- ضریب بی‌بعد نیروی کششی در برابر نسبت بی‌بعد سرعت موج به شاخص گیاهی

ضریب نیروی کششی

حرکت اجزاء آب در یک موج، جریان ناپایدار پیوسته می‌باشد. وقتی این جریان ناپایدار با بدنه یک مانع برخورد می‌کند یک نیرو روی بدنه، به‌علت سرعت جریان و شتاب جریان اعمال می‌شود. بر اساس رابطه موریسون[1] (هاسرین و همکاران[2]، ۲۰۱۲)، کل نیروی هیدرودینامیکی وارده بر یک جسم در جهت جریان شامل نیروی کششی و نیروی اینرسی می‌باشد. رابطه موریسون به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$F_T = F_D + F_I \quad (۵)$$

1- Morrison
2 - Husrin *et al.*

$$F_T = \frac{1}{2}\,\rho C_D A_f u^2 + \rho Cm \forall \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right) \qquad (۶)$$

نیروی کششی در واقع حاصل از اینرسی مکانی $\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)$ است که تبدیل به اختلاف فشار طرفین جسم شده است. $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$ نیز در رابطه اینرسی بیانگر اینرسی زمانی (شتاب محلی) می‌باشد.

در ناحیه نزدیک ساحل و در شرایط آب کم‌عمق، با ورود موج منفرد به‌دلیل پیدایش تأثیر خزش ناشی از کاهش ژرفا و از بین رفتن تقارن موج، رفتارهای غیرخطی در حرکت موج ظاهر می‌شوند که در اثر این رفتارهای غیر خطی اهمیت جزء اینرسی مکانی بیشتر از اینرسی زمانی می‌شود. در حقیقت در این شرایط اینرسی زمانی $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$، ناچیز در نظر گرفته شده و نهایتاً از نیروی اینرسی صرف‌نظر می‌شود. همچنین بنابر اظهارنظر سورنسن (۲۰۰۶) در تئوری امواج آب کم‌عمق، جزء شتاب محلی $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$ قابل صرف‌نظر کردن است که در نتیجه می‌توان از رابطه نیروی اینرسی که تابعی از شتاب محلی می‌باشد صرف‌نظر نمود. مطالعات آزمایشگاهی هیراشی و هارادا[1] (۲۰۰۳) با بیان این که اختلاف فشار طرفین کمربند سبز عمدتاً ناشی از مقاومت کششی بوده، مؤید همین نکته می باشد.

در نهایت کل نیروی هیدرودینامیکی وارده به جسم در جهت جریان به‌کمک رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد:

$$F_D = \frac{1}{2}\,\rho C_D A_f u^2 \qquad (۷)$$

با توجه به ماهیت و شرایط امواج در مطالعه حاضر، از رابطه (۷) برای محاسبه نیروی موج استفاده شده است. ضریب کششی به‌صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$C_D = \frac{2F}{\rho A_f u^2} \qquad (۸)$$

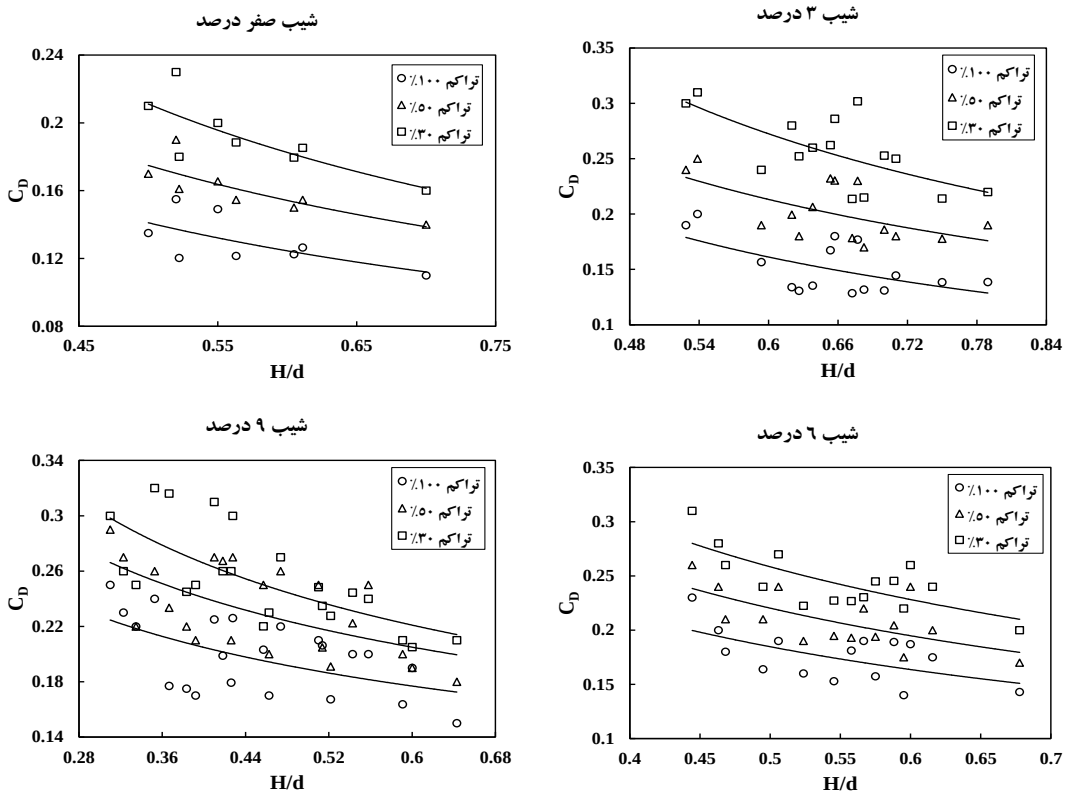
که در آن، C_D : ضریب بدون بعد کشش، F : نیروی ناشی از برخورد جریان به جسم، A_f : سطح برخورد جریان، ρ : جرم واحد حجم سیال و u : سرعت جریان می‌باشد. برای حل رابطه (۸)، باید مقدار واقعی نیروی F از طریق انجام آزمایش استخراج و جایگذاری شود. راه‌های مختلفی برای برآورد نیرو در آزمایش‌ها به‌کار برده می‌شود، که از جمله می‌توان به روش‌های استفاده از تونل باد (مایهد[2]، ۱۹۷۳)، روی یک وسیله نقلیه در حال حرکت (کاون و فتحی‌مقدم[3]، ۲۰۰۰) یا به طریق اندازه‌گیری مستقیم (رودبارکی و همکاران[4]، ۱۹۹۴؛ گرنت و نیکلینگ[5]، ۱۹۹۸) اشاره کرد. در این مطالعه نیروی حاصل از برخورد موج با پوشش سبز ساحلی با اندازه‌گیری مستقیم به‌کمک حسگر بار دینامیک و سیستم نیروسنجی فلوم لبه‌چاقویی انجام شده است. شکل (۷) نشان‌دهنده تغییرات پارامتر بی‌بعد ضریب کششی در مقابل نسبت بی‌بعد سرعت موج به شاخص گیاهی می‌باشد. با توجه به ثابت بودن مقدار شاخص گیاهی برای مدل درختان مصنوعی (ξE) و جرم واحد حجم سیال (ρ)، شکل (۷) نشان‌دهنده تغییرات ضریب کششی در مقابل سرعت انتشار موج می‌باشد. روند تغییرات ضریب کششی با سرعت جریان بر اساس رابطه (۸) و منطبق بر واقعیت می‌باشد که این به‌خوبی صحت نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد. ضریب کششی با تغییرات سرعت به‌صورت توانی تغییر کرده و نسبت به سرعت از درجه حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترهای مؤثر بر آن برخوردار می‌باشد. بر این اساس ضریب کششی با افزایش سرعت جریان کاهش یافته است. روند تغییرات ضریب کششی با سرعت و نحوه محاسبه آن برای یک گروه درختی به‌صورت کلی مشابه روند این تغییرات برای تک درخت می‌باشد.

رابطه بین ارتفاع نسبی پوشش گیاهی و میرایی موج بر حسب انتظار با توجه به پروفیل سرعت افقی بیان می‌گردد، بالاترین مقدار سرعت در نزدیکی تاج موج در سطح آب اتفاق می‌افتد و خطوط سرعت از سطح آب به سمت بستر با کاهش در مقدار سرعت (وابسته به عمق آب) مواجه می‌باشند (دین و دالریمپل[6]، ۱۹۹۱). بنابراین پوشش گیاهی در شرایط غیرمستغرق جایی که پروفیل سرعت تشکیل می‌گردد بیشترین تأثیر را دارا می‌باشد. در حالی که در حالت مستغرق بودن پوشش، بیشترین سرعت از ارتفاعی بالاتر از تاج‌پوشش عبور نموده و با پوشش برخورد نمی‌نماید و تنها سرعت‌های آهسته‌تر جریان از ناحیه دارای پوشش و موانع عبور می‌نماید. بنابراین نیروی کششی کمتری توسط موانع درختی ایجاد شده در نتیجه اتلاف موج و میرایی آن کمتر می‌شود.

تأثیر ارتفاع نسبی موج بر ضریب نیروی کششی

شکل (۸) نشان‌دهنده نسبت بی‌بعد ارتفاع نسبی موج در برابر ضریب بی‌بعد نیروی کششی می‌باشد.

1- Hirashi and Harada
2- Mayhead
3- Kouwen and Fathi-Moghadam
4- Roudbaraky *et al.*
5- Grant and Nickling
6- Dean and Dalrymple



شکل ۸- ضریب بی‌بعد نیروی کششی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع نسبی موج

با افزایش ارتفاع نسبی موج، سرعت انتشار موج و همچنین انرژی موج افزایش می‌یابد. موج با ارتفاع نسبی بیشتر، زودتر می‌شکند. شکست موج منفرد روی مدل جنگل ساحلی نیز سبب افزایش نیرو (ناشی از ضربه شکست) و سطح برخورد جریان با مدل درختان شده و نهایتاً به‌علت تأثیر بیشتر سطح جاذب نیرو، باعث کاهش مقادیر ضریب کششی در تراکم‌های مختلف پوششی می‌شود. در تعدادی از آزمایش‌ها در یک تراکم ثابت، با افزایش ارتفاع نسبی موج ورودی به مدل پوشش جنگلی، پوشش همچنان مستغرق مانده بنابراین سطح برخورد تغییری نمی‌کند، ولی به‌علت افزایش سرعت انتشار موج، با توجه به رابطه (۸) ضریب کششی کاهش می‌یابد.

همچنین با توجه به شکل (۸)، در یک مقدار ثابت از ارتفاع نسبی موج، به‌ترتیب تراکم ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد مقادیر ضریب کششی بزرگ‌تری را تولید کرده‌اند. زمانی‌که دو یا چند جسم در فاصله نزدیکی نسبت به هم در مقابل جریان قرار می‌گیرند تأثیر متقابلی بر هم دیگر می‌گذارند. این تأثیر بر میزان نیروی کششی اثر می‌گذارد. در تحقیق حاضر با افزایش تراکم پوشش به‌دلیل قرار گرفتن متراکم‌تر ردیف‌های درختان پشت سر هم، درختان قرار گرفته در ردیف عقب‌تر در ناحیه سکون[1] درختان ردیف جلویی قرار می‌گیرند و از میزان کشش این درختان در ردیف‌های عقب کاسته می‌شود. دلیل دیگر این امر نیز تأثیر بیشتر سطح جاذب نیرو نسبت به سایر پارامترهای مؤثر می‌باشد. با افزایش تراکم میزان نیروی جذب شده توسط مدل پوشش جنگلی افزایش یافته ولی از آنجا که میزان سطح برخورد بدنه موج با درختان افزایش بیشتری داشته نهایتاً منجر به افزایش ضریب کششی طبق رابطه (۸) شده است.

با انجام آزمایش‌ها و تغییر پارامترهای معرفی شده در رابطه (۳)، ضرایب پارامترهای این رابطه بر اساس داده‌های ثبت شده و انجام تحلیل ریاضی در نرم‌افزار اس پی اس اس[2] نسخه ۱۶ مشخص گردیده است. رابطه (۹) تأثیر پارامترهای مورد آزمایش در مقدار ضریب نیروی کششی را نشان می‌دهد. مقدار ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای رابطه (۹) به‌ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۰۴۲ به‌دست آمد.

$$C_D = 4.23\left(\frac{U}{\sqrt{\frac{\xi E}{\rho}}}\right)^{-0.63} - 0.17\left(\frac{H}{d}\right)^{-0.32} - 0.13(D)^{0.2} + 0.8(S) \quad (۹)$$

1- Wake

2- SPSS 16.0

نتیجه‌گیری

– با افزایش تراکم پوشش و ارتفاع موج ورودی به ساحل میزان نیروی جذب شده توسط کمربند سبز ساحلی افزایش می‌یابد. میزان متوسط افزایش نیروی جذب شده توسط مجموع مدل ساحل شیبدار و جنگل ساحلی در تراکم‌های ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد به نسبت حالت شاهد یا بدون پوشش گیاهی به‌ترتیب برابر ۴۹ درصد، ۵۹ درصد و ۷۳ درصد می‌باشد.

– میزان متوسط افزایش نیروی جذب شده توسط پوشش درختی در تراکم‌های ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد، نسبت به حالت فاقد پوشش گیاهی (شاهد) به‌ترتیب برابر ۱۶ درصد، ۳۱ درصد و ۶۳ درصد می‌باشد.

– ضریب نیروی کششی با کاهش تراکم گیاهی افزایش می‌یابد. میزان بیشینه ضریب نیروی کششی برای پوشش درختی با تراکم ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد به ترتیب برابر ۰/۳۷، ۰/۳ و ۰/۲۷ برآورد شد.

– با کاهش تراکم پوشش گیاهی ساحلی از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد و سپس ۳۰ درصد، میزان ضریب نیروی کششی به طور متوسط ۱۵ درصد افزایش یافت.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- بی‌نام. ۱۳۹۲. راهنمای طراحی و اجرای سازه‌ای حفاظت سواحل. استاندارد مهندسی سواحل، نشریه شماره ۶۲۹.

۲- چگینی، و. ۱۳۷۷. راهنمای طراحی موجشکن‌ها. انتشارات شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری. تهران، ایران.

۳- قنبری عدیوی، ا. و م. فتحی‌مقدم. ۱۳۹۳. مروری بر تحقیقات استهلاک و میرایی امواج دریا از طریق پوشش گیاهی ساحلی. فصلنامه علوم و فناوری دریا، ۷۰(۱): ۶۹-۵۴.

۴- لشکرآرا، ب. ۱۳۸۸. تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش های ممنتم و انرژی. رساله دکتری، رشته مهندسی کشاورزی- سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

5- Anderson, M., McKee Smith, J. and S. Kyle McKay. 2011. Wave dissipation by vegetation. ERDC/CHL CHETN-I-82.

6- Bernard, E. N., Mofjeld, H. O., Titov, V., Synolakis, C.E. and F. I. Gonzalez. 2006. Tsunami: Scientific frontiers, mitigation, forecasting and policy implications. Philosophical Transaction of the Royal Society, A-364, 1989-2007.

7- Dalrymple, R. A., Kirby, J.T. and P.A. Hwang. 1984. Wave diffraction due to areas of energy dissipation. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 110(1): 67-79.

8- Dean, R. G. and R. A. Dalrymple. 1991. Water wave mechanics for engineers and scientist. Advanced series on ocean enginnring,Vol. 2, World Scientific Publishing, Singapore.

9- Fathi-Moghadam, M. 1996. Momentum absorption in non- rigid, non- submerged, tall vegetation along rivers. University of Waterloo, Canada, Ph.D. Thesis.

10- Grant, P. F. and W. G. Nickling. 1998. Direct field measurement of wind drag on vegetation for application to windbreak design and modeling. Land Degradation and Development, 9(1):57–66.

11- Harada, K. and F. Imamura. 2006. Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow. Proceeding Congress. Asian and Pacific Coastal Engineering Dalia, Pp. 975-984.

12- Hirashi, T. and Harada, K. (2003). Green belt tsunami prevention in South-Pacific region. Port and Airport Research Institute, 42(2), 23p.

13- Husrin, S., Strusinska, A. and H. Oumeraci. 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. Earth Planets Space Journal, 64: 973- 989.

14- 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, Pp. 3-18.

15- Kouwen, N. and M. Fathi-Moghadam. 2000. Friction factors for coniferous trees along rivers. Journal of Hydraulic Engineering, 126(10):732–740.

16- Mascarenhas, A. and S. Jayakumar. 2008. An environmental perspective of the post tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu. India. Role of sand dunes and forests. Journal of Environmental Management, 89(1): 24–34.

17- Mayhead, G. J. 1973. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies. Journal of Agricultural Meteorology, 12:123–130.

18- Méndez, F. J. and I. J. Losada. 2004. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. Coastal Engineering, 51(2): 103-118.

19- Mokhtari, M. and N. Hajizadeh Zaker. 2005. Makran (Sea of Oman) a tsunami prone area for iranian coasts. 6th A/O Regional Meeting of IAPH, 1-4 Feb, Tehran, Iran.

20- Roudbaraky, H. J., Baker, C. J., Dawson, A. R. and C. J. Wright. 1994. Experimental observations of the aerodynamic characteristics of urban trees. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 52:171–184.

21- Russell, J. S. 1845. Reports on waves made to the meetings of the British Association in 1842-43, London.

22- Sorensen, R. M. 2006. Basic coastal engineering 3rd Edition. Springer Science, New York.

23- Wiegel, R. L. 1970. Tsunamis, earthquakes engineering (R.L. Wiegel, Editor). Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 253-306.