

## بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و عمق آب گرفتگی امواج شکسته شده

لیلا داودی<sup>۱</sup>، منوچهر فتحی مقدم<sup>۲\*</sup>، جواد احدیان<sup>۳</sup> و سید محمود کاشفی پور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. fathi49@gmail.com.

۳- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۲۲

### چکیده

شکست امواج در ناحیه نزدیک ساحل و سپس بالاروی آن، عامل عمده فرسایش و تخریب سواحل بوده و خسارت‌های جانی و مالی بسیاری را به بار می‌آورد. مبنای رویکردهای اخیر حفاظت ساحل برقراری تعادل اکولوژیکی و زیست‌محیطی سواحل می‌باشد. از جمله روش‌های نوین مقابله با تخریب ناشی از امواجی مانند سونامی، احداث جنگل‌های ساحلی می‌باشد که از آن به کمر بند سبز یاد شده است. مقابله پوشش‌های درختی برای کاهش تخریب اراضی ساحلی بر اساس افزایش مقاومت در مقابل جریان استوار می‌باشد. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیروی مخرب و عمق آب‌گرفتگی ناشی از امواج شکسته شده انجام گرفته است. به همین منظور آزمایش‌ها برای ۲۵ ارتفاع موج ورودی به مدل ساحلی با شیب ۹ درصد در دو حالت با و بدون حضور جنگل، تعبیه شده در فلومی به طول ۸/۳ متر، عرض ۸/۸ متر، ارتفاع ۵/۰ متر و مجهز به سیستم اندازه‌گیری نیرو انجام شد. نتایج نشان داد که وجود جنگل ساحلی به طور متوسط نیروی مخرب و عمق آب‌گرفتگی بیشینه را به ترتیب ۷۴٪ و ۴۰٪ درصد کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ناحیه نزدیک ساحل، سونامی، شکست موج، عمق آب‌گرفتگی، کمر بند سبز ساحلی.

## The Effect of Coastal Forest on Variations of Broken Wave Force and Inundation Depth

L. Davoudi<sup>1</sup>, M. Fathi Moghadam<sup>2\*</sup>, J. Ahadiyan<sup>3</sup> and S. M. Kashefipour<sup>4</sup>

1- PhD. Student of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2\* - Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3-Associated Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

4- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 22 February 2016

Accepted: 11 June 2016

### Abstract

Wave breaking in the nearshore zone and then its run up are the main reasons for erosion and destruction of coasts. This causes huge human and financial disasters. Recent coastal protection approaches are based on ecological and environmental balance on the coasts. One of the new coastal protection methods against destruction of waves like tsunami is planting coastal forests that named "coastal green belt". Coastal forest protection to decrease destruction is based on increasing flow resistance. Therefore, the present study is with purpose of the coastal forest effects on variations of force and inundation of broken waves. For this respect, all of the tests were conducted for 25 heights of incoming waves to Nearshore model with 9% slop in two with and without coastal forest in a flume with length of 8.3m, 0.8 m width, 0.5m height and equipped to a force measurement system. The results of the study show that the coastal forest cause the maximum destructive force and

inundation depth of broken waves of an average mitigation of 74 and 40 percent, of 74 and 40 percent, respectively.

**Keywords:** Nearshore zone, tsunami, Wave breaking, Inundation depth, Coastal green belt.

نامیده می‌شوند. ناحیه نزدیک ساحل<sup>۱۰</sup> که از سمت دریا به مرز فراساحلی و از سمت خشکی به سطح میانگین جزر، محدود می‌شود، اغلب ناحیه عبور امواج میان آب و کم عمق بوده و به دلیل تأثیرپذیری موج از شرایط بستر، محل وقوع مهم‌ترین فرآیندهای ساحلی شامل خزش<sup>۱۱</sup>، شکست و بالاروی موج می‌باشد. این فرآیندها عامل تولید جریان‌های ناشی از امواج به شمار می‌روند که منجر به انتقال رسوب در محدوده بین مرز فراساحل تا مرز خشکی می‌گردد. با ورود موج به ناحیه آب کم عمق مقدار پارامتر تیزی (نسبت ارتفاع به طول موج)، افزایش می‌یابد و در نقطه‌ای که تقریباً ارتفاع آن با عمق آب برابر شده، می‌شکند (سوهایداو پتیگرو<sup>۱۲</sup>، ۱۹۷۷). این محدوده در شکل (۱) به ناحیه شکست موج<sup>۱۳</sup> مشخص شده است. نزدیک شدن سرعت اوربیتالی ذرات موج در راستای افق به سرعت پیشروی آن مقدمه شکست موج را فراهم نموده که تحت تأثیر کاهش ژرفا یا پدیده خزش رخ می‌دهد.

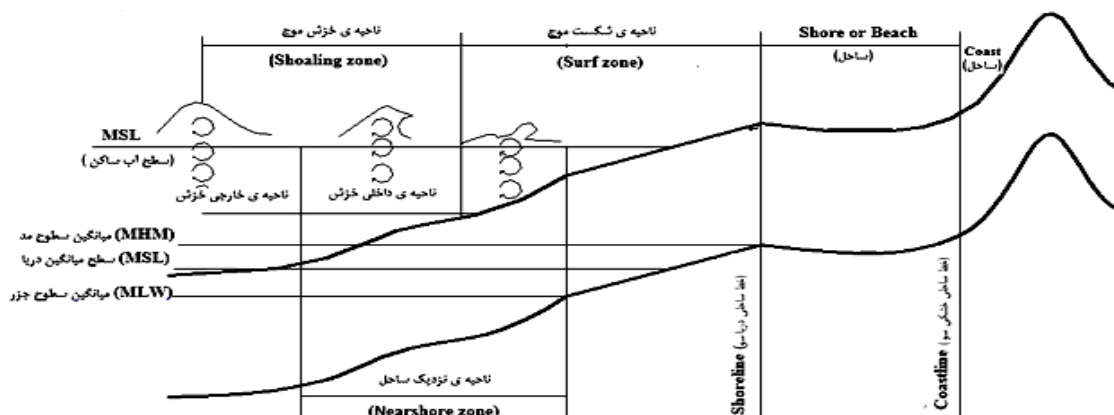
محل وقوع هر یک از فرآیندها به توپوگرافی بستر و مشخصات موج ورودی به ناحیه نزدیک ساحل بستگی دارد. این مسئله نیز بر تعیین عرض هر یک از نواحی خزش و شکست موج و در نهایت قدرت فرسایش و تخریب موج اثرگذار می‌باشد. صعود توده حاصل از شکست به سمت اراضی ساحلی را بالاروی موج گویند که فاصله قائم آن از سطح میانگین دریا نیز، به ارتفاع بالاروی موسوم می‌باشد. افزایش تیزی موج ناشی از خزش، ارتفاع امواج نزدیک ساحل را به قدری افزایش می‌دهد که بالاروی آن، اراضی ساحلی را تا طی مسافتی طولانی دچار آب‌گرفتگی می‌کند. از آنجا که سیل ناشی از سونامی سرعت پیشروی بالایی دارد، علاوه بر تلفات جانی و تخریب زیرساخت‌های ساحلی منجر به فرسایش حجم بسیار زیاد رسوبات و تعلیق آن‌ها تا چندین کیلومتر جلوتر به داخل نواحی خشکی می‌شود، با ته‌نشینی مقدار بسیار زیاد رسوبات عملکرد بنادر، شیلات و کشاورزی مختل شده و از طرفی با ورود آب شور به زمین‌های کشاورزی این صنعت نیز با مشکلاتی عمده مواجه خواهد شد (گتو و امامورا<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۷). در واقع خسارت‌های بر جای مانده، به دلیل نیروی زیاد جریان ناشی از امواج سونامی می‌باشد (تاناکا و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۰).

## مقدمه

مناطق ساحلی از سرمایه‌های ملی به شمار می‌روند که به لحاظ جمعیتی معمولاً بار سنگینی را تحمل می‌کنند. امواج مهم‌ترین عامل در تعیین وضعیت هندسی سواحلند و نیز نقش عمده‌ای در طراحی بنادر، آبراهه‌ها، سازه‌های حفاظت ساحلی و سایر کارهای دریایی دارند. میزان قابل توجهی از انرژی امواج در کرانه‌های ساحلی مستهلک شده، منجر به شکل‌دهی سواحل، انتقال مواد رسوبی کف دریا به سمت ساحل، بالعکس و یا در امتداد نوار ساحلی، اعمال نیرو به سازه‌های ساحلی و تخریب آن‌ها می‌گردد (هاشمی‌جوان، ۱۳۸۶). سواحل اقیانوس‌ها و دریاهای آزاد که به لحاظ زمین‌شناسی روی خطوط گسل فعال و یا حتی غیر فعال قرار دارند، علاوه بر امواج ناشی از باد و طوفان، از خطر حمله امواج سونامی در امان نیستند. زلزله زیردریایی عامل عمده ایجاد سونامی به شمار می‌رود. علاوه بر این، آتشفشان‌های زیردریایی، زمین‌لغزش نوار ساحلی و یا برخورد شهاب سنگ‌ها نیز ممکن است عامل ایجاد سونامی شوند (هاسرین<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). توسعه و انتشار موج سونامی طی سه مرحله شامل: تشکیل یک اغتشاش اولیه موضعی در نزدیکی منبع زلزله، انتشار موج در اقیانوس آزاد، نزدیک شدن موج به ساحل و متعاقب آن شکست<sup>۲</sup>، بالاروی<sup>۳</sup> و آب‌گرفتگی<sup>۴</sup> اراضی ساحلی<sup>۵</sup> صورت می‌گیرد. با انتشار موج از محل تشکیل همراه با کاهش عمق، طول موج و سرعت انتقال آن کاهش می‌یابد. بر این اساس پارامتر عمق‌نسبی (نسبت عمق آب در هر نقطه به طول موج در محل تشکیل آن) تعریف شده است، به طوری که ناحیه فراساحلی<sup>۶</sup> محدوده‌ی عمق‌هایی است که از نصف طول موج اولیه بزرگتر باشند (چیگینی، ۱۳۷۷). امواج، با عبور از این ناحیه تحت تأثیر کف دریا قرار نگرفته و مشخصات موج مستقل از عمق آب می‌باشد (داویدسن و گرینوود<sup>۷</sup>، ۲۰۰۳). با کاهش عمق‌نسبی به کمتر از ۰/۵، تأثیر پذیری موج از شرایط بستر آغاز می‌گردد. امواج منتشر شده در محدوده با عمق‌نسبی بین ۰/۵ تا ۰/۰۵، امواج میان‌آب<sup>۸</sup> و امواج عبوری از نواحی با عمق‌نسبی کمتر از ۰/۰۵، امواج آب کم‌عمق<sup>۹</sup>

- 1-Husrin
- 2 -Wave breaking
- 3 -Run up
- 4 -Inundation
- 5 -Coastal hinterland
- 6- Offshore zone
- 7 -Davidson and Greenwood
- 8 -Intermediate depth water
- 9 -Shallow water

- 10 -Nearshore zone
- 11-Shoaling
- 12-Suhayda and Petigrew
- 13 -Surf zone
- 14- Goto and Imamura
- 15- Tanaka et al.



شکل ۱- نیمرخ ناحیه نزدیک ساحل و تقسیم بندی آن بر اساس انتشار موج و انتقال رسوب

۲۰۰۹). به استناد شواهد تاریخی، سواحل جنوب شرق ایران- دریای عمان- در ناحیه مکران نیز تحت تأثیر امواج سونامی قرار گرفته است. مانند زمین لرزه مربوط به سونامی زانیز در ۱۹۴۵ میلادی که علاوه بر وارد آوردن خسارت های هنگفت به سواحل ایران، عمان و پاکستان بیش از ۴۰۰۰ تن کشته برجای گذاشت (نگارش، ۱۳۸۹). بنابراین تهیه راهنما یا دستورالعمل طراحی و اجرای جنگل به منظور حفاظت سواحل از آسیب های جدی ناشی از سونامی، ضروری مینماید (تاناکا و همکاران، ۲۰۱۰). انجام این مهم علاوه بر پیمایش های صحرائی پس از وقوع سونامی، مستلزم مطالعات آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی پدیده نیز می باشد. با وجود تعداد قابل توجه مطالعات در این زمینه، ظرفیت جنگل های ساحلی در کاهش خسارت های ناشی از سونامی و ایجاد محیط زیست مناسب، همچنان مورد سؤال است (توی و همکاران، ۲۰۰۹). ظرفیت جنگل ها بر اساس مقاومت در مقابل جریان با اندازه گیری کمیت های موج شامل نیرو، سرعت، ارتفاع بالاروی، عمق آب گرفتگی، ضرایب انتقال و بازتاب موج قابل ارزیابی می باشد (هاسرین و همکاران، ۲۰۱۲). در این میان بررسی مسئله از دیدگاه نیرو دارای اهمیتی ویژه می باشد. چرا که میزان مقاومت جریان ناشی از جنگل بصورت مستقیم اندازه گیری شده و در نتیجه میزان تخریب اراضی ساحلی پس از جنگل و در نهایت کارایی روش حفاظت، قابل برآورد می باشد (اشناک و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹). اغلب امواج سونامی پیش از رسیدن به مرز خشکی می شکنند (هسیانو و لین<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰). در چنین شرایطی مهم ترین نیروهای وارده از طرف موج بر مانع مقابل آن، نیروهای هیدرودینامیکی می باشد که در مسائل مهندسی سواحل بصورت مجموع دو نیروی کشش و اینرسی در نظر گرفته می شود. از طرفی به

به کارگیری روش های سازه ای مانند انواع موج شکن به منظور حفاظت از سواحل در مقابل امواج سونامی، به ویژه در مناطقی که اجرای آن غیرممکن می نماید، به دلیل بر هم زدن تعادل اکولوژیکی و شرایط زیست محیطی، اثرهای زیان باری را بر جای می گذارد. این در حالی است که اغلب بررسی های به عمل آمده از مناطق ساحلی پس از وقوع سونامی (به ویژه بعد از سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند)، مبین اثر جنگل های ساحلی بر کاهش انرژی موج می باشد (توی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). تاناکا و همکاران (۲۰۰۷) با انجام بررسی های صحرائی و مطالعه بر روی اثر جنگل هایی با طول ۲۵۰ کیلومتر از سواحل جنوبی سریلانکا و ۲۰۰ کیلومتر از سواحل تایلند، به محاسبه ضریب مقاومت بر اساس ویژگی های ساختار قائم درختان پرداختند. هوانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) جهت مطالعه اثر متقابل امواج منفرد با پوشش های گیاهی صلب غیرمستغرق، آزمایش هایی را در فلوام موج برای سه عرض پوشش ۰/۵، ۱ و ۱/۶ متر و دو آرایش منظم و زیگزاگ انجام دادند. نتایج نشان داد پوشش متراکم می تواند انتقال موج را به دلیل افزایش در میزان بازتاب و اتلاف انرژی ناشی از آشفتنی جریان در اطراف درختان کاهش دهد. نتایج آنگول و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) نیز نشان داد که انتقال انرژی از ناحیه دارای پوشش برای امواج با تیزی زیاد، کمتر صورت می گیرد. در حال حاضر جنگل های ساحلی به عنوان شیوه ای مؤثر در کاهش خسارت های ناشی از سونامی که علاوه بر بهبود شرایط زیست محیطی و حفظ جنبه زیبایی شناختی ساحل، صرفه اقتصادی نیز دارد، مورد توجه می باشند. بنابر گزارش تاناکا در ۲۰۰۹، چندین پروژه احداث جنگل به منظور حفاظت بیولوژی در مقابله با خسارت سونامی در کشورهای شرق و جنوب شرق آسیا آغاز شده است (به نقل از توی و همکاران،

4 - Oshnack et al.  
5 - Hsiao and Lin

1- Thuy et al.  
2- Huang et al.  
3- Akgul et al.

داودی و همکاران: بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و...

۱ متر و پایین دست به طول ۳/۲ متر، عرض کف ۰/۸ متر و ارتفاع دیواره ۰/۵ متر، در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشگاه شهیدچمران اهواز انجام شد. قابلیت اتصال انتهای بخش میانی (متحرک) به ابتدای پایین دست با استفاده از نیروسنج دینامیکی نصب شده در زیر فلوم، اندازه‌گیری نیروی وارده از سوی موج یا جریان روی بخش میانی را میسر می‌ساخت. فلوم متحرک روی پایه‌های چاقویی در حالت آستانه حرکت مستقر شده بود و با نیروی اندکی هم به سمت پایین دست سقوط می‌کرد. در چنین شرایطی، نیروسنج عامل برقراری تعادل نیرویی بوده و همین مسئله امکان ثبت مقدار نیرو در هر لحظه از عبور موج از این بازه یک متری بر روی صفحه نمایشگر با دقت برداشت ۰/۰۰۱٪ ظرفیت نهایی نیروسنج را فراهم می‌آورد (شکل ۲). با توجه به نتایج آزمایش‌های مقدماتی بر روی جنگل ساحلی متراکم، نیروسنج با ظرفیت نهایی ۵۰ کیلوگرم مورد استفاده قرار گرفت. ایجاد این فلوم لبه چاقویی به منظور اندازه‌گیری مستقیم نیرو، اولین بار توسط لشکرآرا در سال ۱۳۸۸، برای اندازه‌گیری تنش‌برشی کانال مستطیلی با زبری‌های مختلف به روش مونتیم انجام شده است.

به دلیل طول موج و سرعت بسیار زیادی که موج سونامی دارد، مدل‌سازی آزمایشگاهی آن به لحاظ مقیاس‌گذاری با مشکل مواجه می‌باشد. از طرفی با نزدیک شدن موج به ساحل و پیدایش تأثیر خزش، سرعت و طول موج به شدت کاهش می‌یابد و همین امر موجب شده تا مدل‌سازی موج و بررسی اثرات آن در نزدیک ساحل با سهولت بیشتری امکان پذیرد. بنابراین بدلیل اهمیت ویژه نیم‌رخ موج در ناحیه نزدیک ساحل در چنین شرایطی، به لحاظ عملی و تئوری به منظور شبیه‌سازی سونامی نیم‌رخ موج منفرد<sup>۴</sup>، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع مدل موج گذرنده از ناحیه آب کم‌عمق مد نظر می‌باشد و در چنین شرایطی معادله‌های آب کم‌عمق بوده که شامل پیوستگی و مونتیم می‌باشد، بر حرکت موج حاکم می‌باشد. موج منفرد شامل یک برآمدگی بالای تراز سطح آب دریا و یک طول موج نامحدود می‌باشد از جمله روش‌های آزمایشگاهی تولید موج منفرد، حذف یک مانع و آزادسازی حجم زیادی آب در انتهای یک مخزن می‌باشد. این روش اولین بار توسط راسل در سال ۱۸۴۵ جهت تولید امواج منفرد مورد آزمایش قرار گرفت که پیش از آن زمان در ۱۸۳۵ میلادی این امواج را هنگام طراحی یک کانال بهینه برای حرکت قایق‌ها مشاهده نمود. راسل در استفاده از این روش برای تولید امواج، بطور ناخودآگاه تئوری هامک و سگار<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۴ را بکار برد، که بیان می‌دارد از هر دست خوردگی مثبت خالص در سطح آب، یک یا چند موج منفرد تشکیل می‌شود و در ادامه آن امواج نوسانی دنباله‌ای ظاهر می‌گردد (ملک‌محمدی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹).

دلیل طول موج بلند امواج سونامی و امکان صرف‌نظر نمودن از تغییرات مکانی شتاب موضعی جریان، می‌توان نیروی اینرسی را در نظر نگرفت (یہ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). مطالعات آزمایشگاهی هیراشی و هارادا<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) با بیان این که اختلاف فشار طرفین کمربند سبز عمدتاً ناشی از مقاومت کششی بوده، مؤید همین نکته می‌باشد. مطابق آیین‌نامه‌های طراحی سازه در مقابل امواج سونامی، نیروی مقاومت (کشش<sup>۳</sup>) طرح با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D B (hu^2)_{\max} \quad (1)$$

که در آن،  $\rho$ ، جرم مخصوص سیال،  $C_D$ ، ضریب مقاومت،  $B$ ، عرض سازه،  $h$  عمق جریان یا عمق آب‌گرفتگی در نقطه‌ای است که هیچ مانع یا سازه‌ای وجود نداشته باشد و  $u$  نیز سرعت جریان می‌باشد و بدان معنی است که نیروی بیشینه به هنگام عبور شار مونتیمی بیشینه یا  $(hu^2)_{\max}$  رخ می‌دهد (یہ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). تخمین دقیق ضریب مقاومت جهت اجرای انواع مدل در میزان دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی پدیده، نقش به‌سزایی دارد. محاسبه غیرمستقیم  $C_D$ ، ضریب مقاومت مانع مقابل موج با استفاده از رابطه (۱) امکان‌پذیر می‌باشد. نکته قابل توجه جهت محاسبه ضریب مقاومت آن است که، وقوع نیروی بیشینه یا شار مونتیمی بیشینه به معنای رخداد همزمان عمق آب‌گرفتگی بیشینه و سرعت جریان بیشینه نیست. بلکه باید حاصل ضرب عمق و مجذور سرعت بیشینه باشد، یا به عبارتی:

$$(hu^2)_{\max} \neq h_{\max} u_{\max}^2 \quad (2)$$

همچنین به دلیل صعوبت اندازه‌گیری سرعت و مشکلات شبیه‌سازی عددی در این زمینه، همواره سعی بر آن بوده تا برای سهولت بیشتر محاسبات، روابط تخمین سرعت نیز بر اساس عمق آب‌گرفتگی ارائه گردد. از این رو هدف اصلی مطالعه حاضر، بررسی آزمایشگاهی تأثیر جنگل ساحلی بر روند تغییرات عمق آب‌گرفتگی در لحظه وقوع نیروی بیشینه امواج شکسته شده می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به منظور برآورد اهداف مطالعه، آزمایش‌ها در فلومی به طول ۸/۳ متر شامل سه بخش بالادست به طول ۴/۱، میانی به طول

4 -Solitary wave

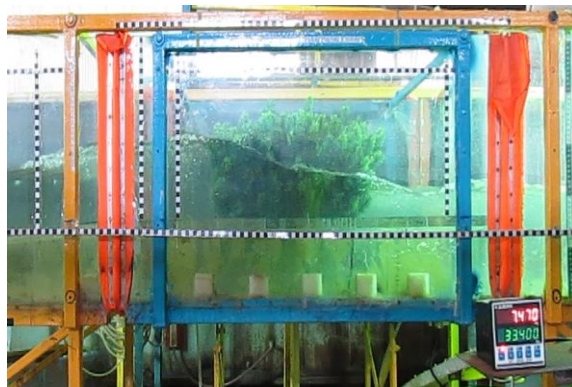
5 -Hammack and Segur

6 - Malek Mohammadi

1 -Yeh

2 -Hirashi and Harada

3 -Drag Force



شکل ۲- نمایی از بازه لبه چاقویی هنگام ثبت لحظه ای نیروی موج وارده به جنگل ساحلی



شکل ۳- نمایی از جنگل ساحلی و سیستم دریچه موج ساز در ابتدای فلوم

استبان و همکاران (۲۰۰۸) برای بررسی پایداری و نیروی وارده بر یک موج شکن صندوقه ای تحت تأثیر امواج سونامی، با حذف دستی یک دریچه از جلوی مخزن آب اقدام به تولید امواج منفرد نمودند. راتناسوریو و تاناکا (۲۰۰۸) نیز در مطالعه اثر پوشش گیاهی بر کنترل سیل ناشی از سونامی به کمک همین روش امواج منفرد را تولید نمودند. در مطالعه حاضر نیز بر همین اساس، تولید موج با استفاده از گشودن یک دریچه کشویی در زمانی کوتاه انجام می گرفت. این دریچه در فاصله ۱/۵ متری از ابتدای فلوم که به عنوان مخزن موج در نظر گرفته شده، نصب شده است (شکل ۳). صفحه دریچه که از جنس پلکسی گلاس تقریباً هم عرض فلوم و ارتفاع معادل ۰/۴۵ متر (با توجه به ارتفاع دیواره فلوم و سطح آب لازم در مخزن برای تولید موج) بر اساس سیستم نخ و قرقره متشکل از سیم بکسل و پولی هایی در اندازه مناسب به وزنه ای سنگین دارای قاب اطراف برای کنترل مسیر سقوط وزنه تعبیه شده در کنار دیواره فلوم متصل شد. ارتفاع سقوط وزنه، بر اساس ارتفاع لازم گشودگی دریچه جهت عبور حجم آب مخزن و تولید موج تعیین شده است. اختلاف

ارتفاع سطح آب طرفین دریچه و ضربه ناگهانی وارده به حجم آب، عامل تولید موج می باشد. استفاده از وزنه کمک می کند تا در شرایط یکسان ارتفاع سطوح آب طرفین دریچه به منظور تولید موج با ارتفاع مشخص، هر بار تقریباً ضربه یکسانی وارد شود و مشخصات موج مورد نظر در هر بار آزمایش حدوداً یکسان باشد. با این وجود برای کنترل بیشتر خطاهای احتمالی، در این مطالعه هر آزمایش دو بار تکرار شده است. مشخصات موج به اختلاف ارتفاع سطوح آب طرفین دریچه، عمق آب ساکن ساحل و توپوگرافی یا شیب ساحل وابسته می باشد. مدل ساحل با شیب ۹ درصد (فاصله افقی ۱/۷ متر در مقابل فاصله قائم ۰/۱۵۷ متر) ساخته شده از ورق پلکسی به همین طول و عرض ۰/۷۸ متر و ضخامت ۶ میلی متر به فاصله ۰/۹ متری از دریچه و در انتهای بخش بالادست فلوم تعبیه شد. در امتداد ساحل شیب دار، صفحه ای افقی به طول ۱ متر، به موازات کف فلوم لبه چاقویی و به فاصله ۰/۱۵۷ متر از کف، هم اندازه با اختلاف ارتفاع دو سر ساحل شیب دار، روی پایه های مستطیل شکل نصب شد. این صفحه از جنس پلکسی به ضخامت ۲۰ میلی متر و عرض ۰/۷۸ متر نیز به عنوان ساحل افقی و محل استقرار مدل جنگل ساحلی در نظر گرفته شده است (شکل های ۲ و ۳). شیب ساحل در این مطالعه، بر

1 -Esteban *et al.*

2 -Ratnosooriya and Tanaka

## داودی و همکاران: بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و...

تنه و شاخ و برگ‌ها بر نیروی جذب شده، جلوگیری به عمل آید. آرایش جنگل به لحاظ ایجاد تراکم الگوی کشت، نیز متأثر از اهمیت سطح سایه‌انداز توسط بخش تاج‌پوشش درختان در این مطالعه می‌باشد که شاخص آن پارامتری تحت عنوان درصد پوشش بوده و به صورت خارج قسمت سطح سایه انداز درختان به مساحت زمین محصور شده جنگل قابل تعریف می‌باشد. در این مطالعه، ایجاد مدل جنگل با درصد پوشش ۱۰۰ مورد نظر قرار گرفته است. چنین شرایطی در جنگل‌های طبیعی نزدیک به سن رشد بالغ درختان اتفاق می‌افتد و به هنگام احداث جنگل، فاصله بین درختان در ردیف‌های کشت بر اساس ابعاد توسعه یافتگی سطح سایه انداز یا اقطار تاج پوشش در این سن رشدی تنظیم می‌گردد. سن رشد یکی از پارامترهای مهم در میزان مقاومت درخت در مقابل موج می‌باشد. در حالت رشد بالغ، مقاومت بیشتر می‌باشد و تراکم الگوی کشت جنگل از ابتدا بایستی بر اساس شرایط مورفولوژی گیاه در سن رشدی بالغ در نظر گرفته شود. یکی از دلایل انتخاب درصد پوشش ۱۰۰، توجه به همین نکته می‌باشد و برای این منظور لازم بود در ابتدا ابعاد سطح سایه انداز یک درخت به دست آید. با توجه به اطلاعات حاصل از عکس‌برداری به طور کاملاً عمود بر جهت صفحه از بالای هر درخت، معلوم شد که هر درخت باید در مرکز مربعی به طول ضلع ۰/۱۲ متر مستقر گردد. به منظور تعیین ابعاد جنگل برای ایجاد درصد پوشش صد، ضمن در نظر داشتن این نکته و توجه به تعداد درختان موجود، تصمیم بر آن شد تا مساحتی به ابعاد ۰/۴۸ متر (عرض جنگل، هم‌راستا با جهت انتشار موج) در ۰/۷۲ متر (طول جنگل، هم‌راستا با عرض فلوم) روی ورق ساحل افقی و به فاصله ۰/۲ متر از شروع ساحل افقی به عنوان محل نصب مدل جنگل در نظر گرفته شود. بنابراین با ایجاد سوراخ‌هایی به فواصل منظم ۰/۱۲ متر بر روی سطح ورق ساحل افقی، شبکه مورد نظر ابعاد جنگل برای استقرار درختان در چهار ردیف شش‌تایی آماده گردید. در چنین شرایطی کف فلوم به خوبی پوشانده می‌شد و ایجاد درصدهای کمتر از صد، با حذف درخت از ردیف‌های کشت صورت می‌گرفت که این نکته نیز از دیگر دلایل استفاده از درصد پوشش ۱۰۰ در مطالعه حاضر می‌باشد. ایجاد الگوی منظم در راستای مطابقت بیشتر با اصول جنگل‌کاری انجام شده که به منظور سهولت در اجرای عملیات نگهداری و بهره‌برداری جنگل، این الگوی کشت را جهت اجرا توصیه می‌کند.

اساس نگاهی اجمالی بر شیب عمومی سواحل جنوب شرق ایران که به گزارش مستندات، احتمال رخداد سونامی و طوفان را بیش از سایر سواحل دارد (راست‌گفتار و همکاران، ۱۳۹۱) و همچنین انجام سعی و خطاهای بسیار بر روی کف کاملاً افقی فلوم پیش از ساخت ساحل برای تولید امواج منفرد و در نظر گرفتن ابعاد و اندازه‌های فلوم در نظر گرفته شده است. همان‌طور که اشاره شد، اغلب امواج سونامی پیش از رسیدن به مرز خشکی می‌شکنند. در این مطالعه نیز سعی بر آن بوده تا ارتفاع هر یک از سطوح آب طرفین دریچه (سطح آب مخزن و سطح آب ساکن ساحل)، به گونه‌ای انتخاب گردد تا موج شکسته‌شده تولید گردد. وجه تسمیه به شکسته‌شده از آن جهت می‌باشد که این امواج، پیش از رسیدن به جنگل ساحلی مستقر در ساحل افقی که به لحاظ اندازه نیرو بازه‌ای حساس می‌باشد، بر روی ساحل شیب‌دار می‌شکنند. برای همین منظور سعی و خطاهای بسیاری انجام شد، تا امواج مورد نظر ایجاد گردند. بدین ترتیب ارتفاع‌های سطح آب ۰/۴، ۰/۳۷، ۰/۳۴، ۰/۳۱ و ۰/۲۸ متر به عنوان سطح آب مخزن و سطوح ۰/۱۴، ۰/۱۵، ۰/۱۶، ۰/۱۷ و ۰/۱۸ متر به عنوان عمق‌های ساکن ساحل در انجام آزمایش‌های این مطالعه، مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات موج ورودی آزمایش‌های انجام شده شامل: عمق آب‌خور ساحل، ارتفاع نسبی، عمق‌نسبی و سرعت سطحی موج، در جدول (۱) آورده شده است.

ساختار زیست- مکانیکی درختان مشابه تیر یک سرگرداری است که شامل دو بخش صلب (تنه و ریشه‌ها) و یک بخش انعطاف پذیر (تاج پوشش درخت شامل شاخ و برگ‌ها) می‌باشد و هر دو بخش عامل مقاومت هیدرولیکی در مقابل جریان ناشی از موج به شمار 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 نیز از اهداف مهم این مطالعه می‌باشد. بنابراین به منظور تهیه جنگل ساحلی، از شاخه‌های مصنوعی استفاده شد که مشابه روش به کار رفته در مطالعات آزمایشگاهی فتحی‌مقدم (۱۹۹۷)، به منظور بررسی جذب مومنتم پوشش‌های گیاهی انعطاف‌پذیر غیرمستغرق در رودخانه‌ها، می‌باشد. البته تنها بخش تاج درختان در مقابل موج قرار می‌گرفت. دلیل این امر آن است که علاوه بر بهتر دیدن اثر بخش تاج پوشش یا سطح سایه‌انداز درختان، از تأثیر اختلاف الگوی جریان نزدیک شونده به این دو بخش درخت ناشی از تفاوت شکل

## جدول ۱ - مشخصات موج ورودی به ساحل شیب‌دار

محدوده تغییرات پارامتر مورد نظر	نماد کمیت	مشخصات موج ورودی
۰/۱۴ - ۰/۱۸	$d$	عمق ساکن ساحل یا عمق آب‌خور (متر)
۰/۴ - ۱/۲	$\frac{H}{d}$	ارتفاع نسبی موج (-)
۰/۰۴۵ - ۰/۰۶	$\frac{d}{L}$	عمق نسبی موج (-)
۱/۴۸ - ۲/۰	$C_0$	سرعت سطحی موج (متر بر ثانیه)

شروع هر آزمایش ابتدا سطح آب ساکن روی ساحل یا عمق آب‌خور ساحل با توجه به رقوم سوزن یک عمق سنج مکانیکی که روی ارابه ای هم عرض فلوم نصب شده بود، تنظیم شده و این کنترل به وسیله یک دریچه یا سرریز لولایی در انتهای فلوم انجام می‌شد. مبنای قرائت رقوم سطح آب‌خور، نقطه‌ای بر روی کف فلوم و به فاصله ۰/۱۵ متری در بالادست پنجه ساحل شیب‌دار می‌باشد. پس از آن اهرم وزنه دریچه مولد موج به سر جایش برگشته و دریچه کاملاً بسته می‌شد، به جهت اطمینان از آب‌بند شدن آن و جلوگیری از حرکت آب از بالا به پایین دست دریچه و برهم زدن سطح آب ساکن ساحل تنظیم شده، کنترل دیگری صورت می‌گرفت و شیر ورود جریان به فلوم جهت رساندن مخزن پشت دریچه به ارتفاع لازم جهت تولید موج با ارتفاع موردنظر، باز نگه داشته می‌شد. سپس تا سکون سطح آب طرفین دریچه مولد موج، دوربین‌ها آماده ضبط شده و با برداشتن اهرم وزنه، موج به سمت مدل ساحل حرکت می‌کرد.

## نتایج و بحث

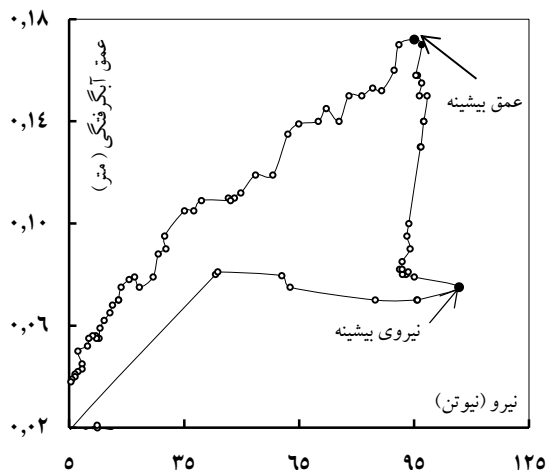
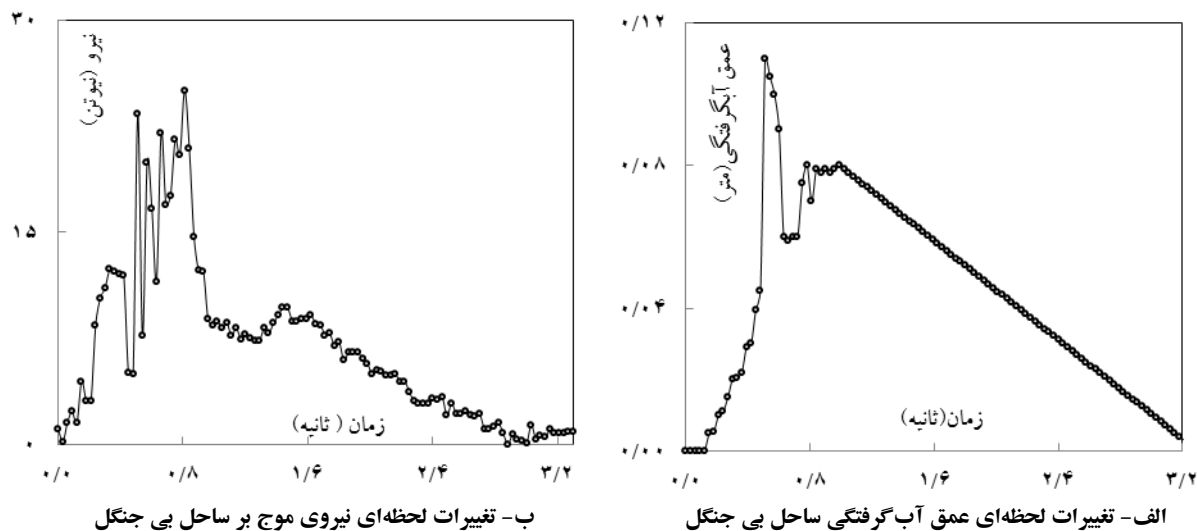
موج وارد شده به ناحیه نزدیک ساحل، اغلب جز امواج آب کم عمق به شمار می‌رود و به دلیل پیدایش اثر پدیده خزش ناشی از کاهش ژرفا، بتدریج رفتارهای غیرخطی در حرکت آن پدیدار می‌گردد. در چنین شرایطی اهمیت اینرسی مکانی به اینرسی زمانی موج به مراتب بیشتر است و همین امر علت حذف این عبارت در معادله های موج آب کم عمق و توجیهی برای حذف ترم نیروی اینرسی در روابط محاسبه نیروی هیدرودینامیکی وارده به مانع مقابل حرکت موج می‌باشد. پارامتر بدون بعدی که جهت تعیین ناحیه عبور موج مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمق نسبی بوده که خارج قسمت عمق ساحل به طول موج می‌باشد. به همین منظور ابتدا مقدار این پارامتر برای امواج مورد آزمایش به دست آمد. محدوده تغییرات که در جدول (۱) ذکر شده، نشان می‌دهد که تقریباً امواج مورد مطالعه در محدوده آب کم عمق بوده و در چنین شرایطی فرضیه‌های در نظر

برداشت اطلاعات موج تولید شده، وقوع شکست آن بر روی ساحل شیب‌دار، اندرکنش آن با جنگل بر روی ساحل افقی و ثبت لحظه‌ای نیرو از طریق فیلم‌های ضبط شده از مسیر حرکت موج انجام شده است. برای همین منظور دو دوربین فیلم‌برداری هم‌لنز با سرعت برداشت ۳۰ فریم بر ثانیه، بر روی سه پایه‌هایی در مقابل دیواره فلوم با فاصله از هم، به گونه‌ای مستقر می‌شدند که امکان برداشت فیلم از حرکت موج بر روی دو ساحل ضمن ایجاد یک فاصله هم‌پوشانی در ضبط هر دو دوربین فراهم گردد. با توجه به روش فیلم‌برداری انجام شده، به منظور مشخص نمودن اندازه کمی ارتفاع موج ورودی، ارتفاع ارتفاع موج رسیده به ساحل افقی که طبق تعاریف ارائه شده معادل عمق آب‌گرفتگی در نظر گرفته شده و اطلاعاتی مانند ارتفاع در نقطه شکست، لازم شد تا اشل‌هایی که هر یک از واحدهای آن با تفاوت در رنگ‌های سفید و مشکی متوالی مشخص می‌شد، تهیه و در راستای قائم و افقی بر روی دیواره مقابل دوربین فلوم نصب گردد (شکل ۲). فواصل نصب اشل‌ها بر اساس اطلاعات به دست آمده از فاصله تشکیل موج از دریچه موج‌ساز، خزش و شکست آن در آزمایش‌های مقدماتی، در نقاط ۰/۲۸، ۰/۹ و ۱/۵ متری از شروع ساحل شیب‌دار، و ۰/۱۵ و ۰/۸۵ متر از شروع ساحل افقی یعنی قبل و بعد از محل جنگل تعیین گردید. تبدیل فیلم به تعداد عکس (فریم)‌های برداشت شده در مدت زمان ضبط آن، امکان قرائت اطلاعاتی مانند ارتفاع موج در هر نقطه و یا اطلاعات برداشت شده توسط نیروسنج که بر روی نمایشگر در مقابل دوربین دوم قرار داده شده است را امکان‌پذیر می‌نمود که این کار با استفاده از نرم‌افزار پخش فیلم ام. پی. سی<sup>۱</sup> انجام شده است. در واقع قرار دادن نمایشگر نیروسنج در مقابل محدوده فیلم‌برداری دوربین دوم یا بازه جنگل ساحلی، گامی در راستای برآوردن هدف اصلی این مطالعه بوده که ثبت هم‌زمان تغییرات لحظه‌ای نیرو متناظر با عمق آب گرفتگی موج عبوری از ساحل افقی را میسر می‌ساخت. پیش از

گرفته شده برای تحلیل این گروه از امواج، صادق بوده و مهم‌تر اینکه، فرض در نظر گرفتن نیروی کششی به عنوان نیروی هیدرودینامیکی امواج شکسته شده بر جنگل ساحلی و صرف‌نظر نمودن از نیروی اینرسی، قابل قبول می‌باشد. لازم به ذکر است که طول موج از حاصل ضرب تناوب موج در سرعت سطحی موج بدست آمده است. به همین منظور بازه  $1/5$  متری بین دریچه مولد موج و مکان نصب اولین اشل بر روی ابتدای ساحل شیب‌دار در نظر گرفته شد. با توجه به مرور منابع انجام شده، تصمیم بر آن شد که زمان تناوب موج معادل دو برابر مدت زمان لازم برای حرکت موج از محل دریچه تا لحظه رسیدن قله موج به اولین اشل در نظر گرفته شود (چاروت و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). سرعت سطحی موج ورودی که مقادیر آن نیز در جدول (۱) ارائه شده است، از خارج قسمت فاصله به مدت زمان عبور موج در طول  $0/8$  متری از بازه اشاره شده بین دریچه تا اشل، به دست آمده است. پارامتر بدون بعدی که در تحلیل امواج آب کم عمق مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارتفاع نسبی موج معادل نسبت ارتفاع موج به عمق آب ساحل،  $H/d$ ، می‌باشد (چگینی، ۱۳۷۷). ارتفاع موج ورودی با توجه تصویر نیم‌رخ موج بر روی اشل اول که در فاصله  $0/28$  متری از پنجه این ساحل قرائت گردید. اطمینان از شکل‌گیری نیم‌رخ کامل موج منفرد پس از باز شدن دریچه و همچنین تحت تأثیر خزش قرار نگرفتن موج تا فاصله‌ای پس از محل نصب اشل، از علل انتخاب این نقطه جهت اندازه‌گیری ارتفاع و طول موج در تصاویر امواج می‌باشد. ارتفاع موج با تغییر سطح آب هر یک از طرفین دریچه شامل مخزن و یا سطح آب‌خور ساحل، تغییر می‌کند. از این رو با توجه به هدف مطالعه جهت تولید امواج شکسته شده و بر اساس نتایج بدست آمده از سعی و خطای آزمایش‌های مقدماتی، مقادیر هر یک از این سطوح به گونه‌ای تنظیم شد که در نهایت، آزمایش‌ها با  $25$  ارتفاع نسبی مختلف شامل مقادیر  $0/4$  تا  $1/2$  برای دو حالت با و بدون حضور جنگل انجام شد. آزمایش‌های بدون جنگل به منظور در اختیار داشتن معیاری در تشخیص اثر جنگل ساحلی بر موج انجام شده و نتایج آن مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که اشاره شد، دوربین اول در مقابل ساحل شیب‌دار جهت برداشت فیلم موج در حین عبور از این بخش به منظور استخراج اطلاعات شامل ارتفاع، زمان تناوب، طول و سرعت اولیه موج و رؤیت رخداد شکست موج بر روی این ساحل مستقر شده است. وقوع شکست که به منزله قائم‌شدن وجه جلویی موج در حین پیشروی و خروج شکل نیم‌رخ آن از حالت تقارن می‌باشد و همچنین حرکت توده حاصل از شکست به سمت ساحل افقی (بازه جنگل)، در تصاویر ضبط شده در دوربین اول مورد ملاحظه قرار می‌گرفت. به منظور بررسی اندرکنش موج-جنگل و تغییرات زمانی

نیروی موج با عمق آب‌گرفتگی نیز، فریم‌های فیلم دوربین دوم مشاهده شده است. بدین ترتیب که در هر فریم عمق توده رسیده به اشل ابتدای ساحل افقی اندازه‌گیری می‌شد. عمق اندازه‌گیری شده در این نقطه به عنوان عمق آب‌گرفتگی در نظر گرفته شده است، چرا که بر اساس مفاهیم و تعاریف ارائه شده پیشین، عمق آب‌گرفتگی معادل عمقی از توده بالارونده بر اراضی ساحلی بدون حضور مانع یا سازه تلقی می‌گردد. به همین دلیل، این اشل در فاصله  $0/15$  متری از آغاز ساحل افقی و پیش از شروع بازه جنگل نصب شده است. نیروسنج الکترونیکی به گونه‌ای نصب شده که با اعمال نیرو به آغاز بخش متحرک، مقدار آن بر روی صفحه نمایشگر نیروسنج ثبت می‌گردد. توجه به این مسئله از دیگر دلایل انتخاب مکان اشاره شده برای نصب اشل بر ابتدای بازه لبه چاقویی بوده است. با مشاهده هر فریم، امکان ثبت همزمان عمق آب‌گرفتگی و نیروی موج میسر می‌شد. بدین ترتیب، هدف اصلی مطالعه که بررسی روند تغییرات زمانی نیرو و عمق آب‌گرفتگی متناظر با آن و همچنین مشاهده اندرکنش موج-جنگل بوده، محقق گردید. اطلاعات به دست آمده از استخراج نتایج، حاصل بررسی بیش از  $150$  فریم از فیلم عبور هر موج بوده که با دوربین دوم ضبط شده است. بدلیل حجم بالای اطلاعات، نمودارهای شکل (۴) به عنوان نمونه ارائه شده است. شکل (۴-الف) (ب) به ترتیب تغییرات زمانی عمق آب‌گرفتگی و نیروی موج عبوری از ابتدای ساحل افقی مربوط به آزمایش شاهد برای موج به ارتفاع نسبی یک و عمق آب ساحل  $0/16$  متر را نشان می‌دهد. نمودار شکل (۴-ج) مقادیر متناظر یا هم‌زمان عمق آب‌گرفتگی-نیرو را که تغییرات زمانی هر یک به طور جداگانه در شکل (۴-الف) (ب) ارائه شده، نمایش می‌دهد. این نمودار به صورت منحنی بسته بوده که دارای دو شاخه بالارونده و پایین رونده می‌باشد و دلیل آن رفتار موجی شکل هر یک از این کمیت‌ها در حین عبور موج بر ساحل افقی می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد، مقدار نیروی بیشینه به عنوان نیروی مخرب و عمق آب‌گرفتگی در لحظه وقوع این نیرو در هر آزمایش دارای اهمیت می‌باشد. ترسیم نموداری مانند شکل (۴-ج) مشاهده بهتر نیروی بیشینه،  $F_{max}$ ، موج عبوری بر ساحل و عمق آب‌گرفتگی متناظر با آن را امکان‌پذیر می‌سازد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، وقوع نیروی بیشینه و عمق بیشینه،  $h_{max}$ ، هم‌زمان نمی‌باشد. بر اساس مشاهدات به عمل آمده، با عبور پیشانی توده حاصل از شکست ابتدا نیروی بیشینه ثبت می‌شد و سپس عبور عمق آب‌گرفتگی بیشینه اتفاق می‌افتد. این نکته در نمودار شکل (۴-ج) دیده می‌شود.





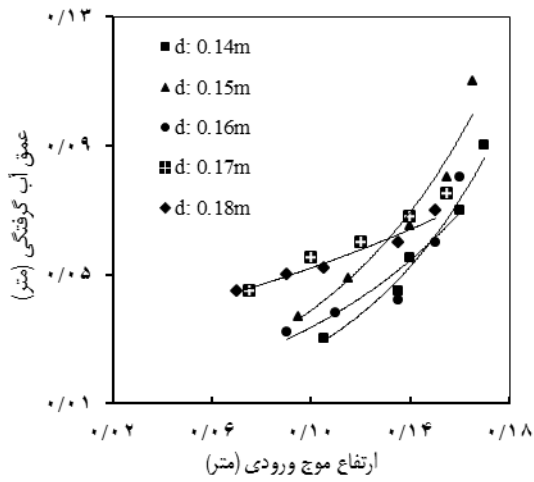
ج- تغییرات نیرو و عمق آب گرفتگی هم‌زمان ثبت شده بر روی ساحل با جنگل

#### شکل ۴- تغییرات لحظه‌ای نیرو و عمق آب گرفتگی ساحل با و بدون جنگل (ارتفاع نسبی یک و عمق ساکن ۰/۱۶ متر)

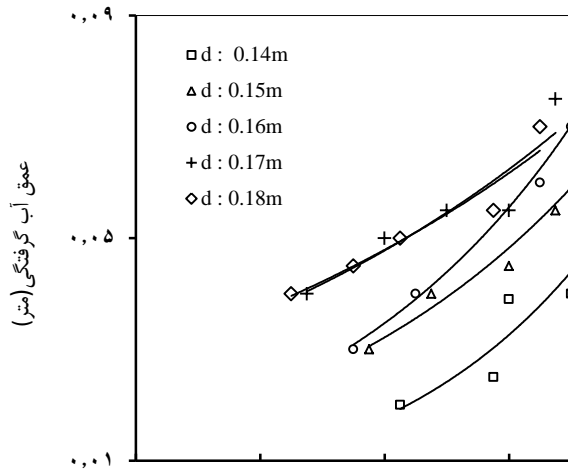
موج گذرنده بر اراضی ساحلی پس از جنگل را نشان می‌دهد. با افزایش عمق آب‌خور ساحل به فرض ثابت نگه‌داشتن عمق آب مخزن، موج دیرتر می‌شکند یا به عبارتی، نقطه شکست موج به جنگل نزدیک‌تر می‌گردد، بنابراین موج دیرتر شکسته شده، انرژی بیشتری دارد و مطابق انتظار نیروی بزرگ‌تری توسط درختان جذب شده است. این نکته از منحنی‌های شکل (۶) مربوط به موج‌های هر یک از عمق‌های ساکن ساحل قابل ملاحظه می‌باشد. همچنین اثر جنگل بر تفاوت نیروی جذب شده بر ساحل نسبت به حالت بدون جنگل (آزمایش‌های شاهد)، مشاهده می‌گردد.

شکل (۵) تغییرات عمق آب‌گرفتگی لحظه وقوع نیروی بیشینه در مقابل ارتفاع موج‌های گذرنده بر روی هر یک از عمق‌های ساکن ساحل نشان می‌دهد. در شکل (۶) نیز تغییرات نیروی بیشینه امواج عبوری از ساحل با عمق‌های ساکن متفاوت، در دو حالت با و بدون جنگل نشان داده شده است. موج‌های با ارتفاع بیشتر، به نسبت توده حاصل از شکست بزرگ‌تر و در نتیجه عمق آب‌گرفتگی و نیروی بیشتری را بر ساحل ایجاد می‌کنند. نکته قابل توجه دیگر تفاوت مقادیر نیروی بیشینه مربوط به دو حالت با و بدون وجود جنگل برای هر موج می‌باشد که میزان مقاومت جنگل و کاهش نیروی مخرب

داودی و همکاران: بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و...

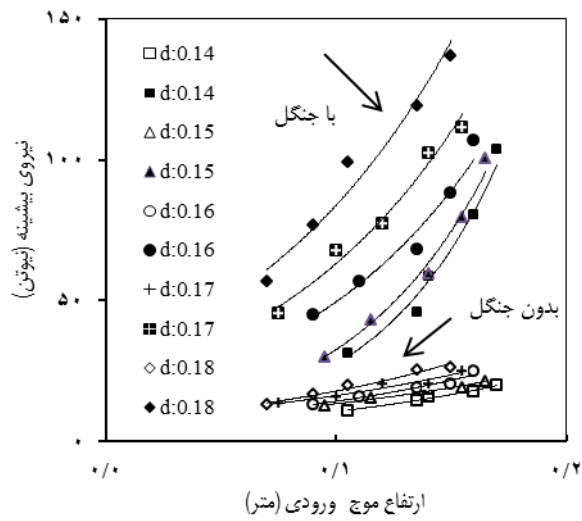


(ب) با حضور جنگل

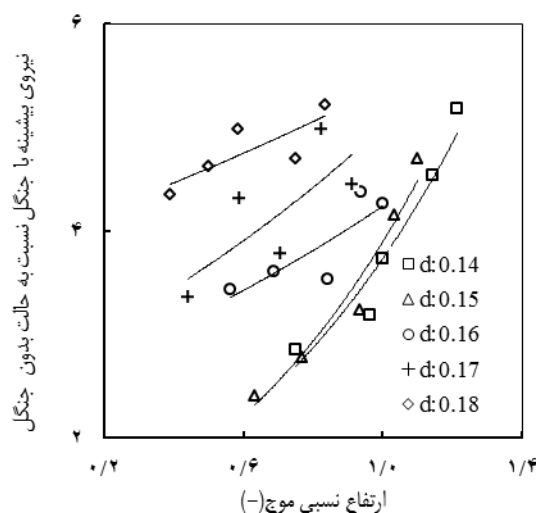


(الف) بدون حضور جنگل

شکل ۵- تغییرات عمق آب گرفتگی در لحظه نیروی بیشینه با ارتفاع موج ورودی در دو حالت با و بدون جنگل



شکل ۶- نیروی بیشینه - ارتفاع موج ( با و بدون جنگل)



شکل ۷- نسبت نیروی بیشینه - ارتفاع نسبی موج ورودی

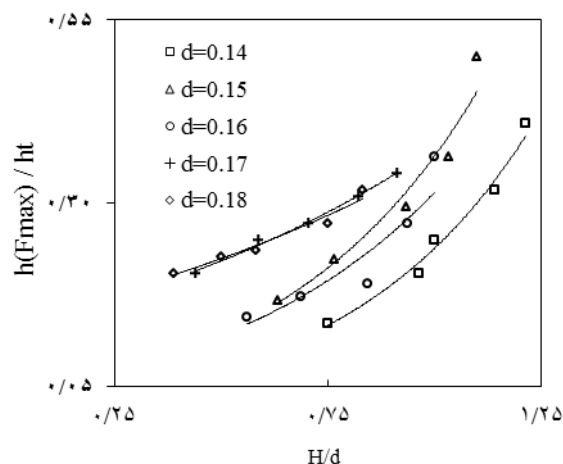
ندهد. بلکه برخورد توده حاصل از شکست امواج با جنگل در شرایط برقراری بعضی از عمق های آبخور ساحل به نحوی است که با عبور بخش های ابتدایی توده، نیروی بیشینه واقع می گردد و در برخی دیگر، برعکس پیشروی توده تا ثبت نیروی بیشینه متناظر با وقوع عمقی نزدیک به مقدار عمق آبگرفتگی بیشینه می باشد. بر اساس نتایج حاصل، بیشترین عمق های آبگرفتگی عبوری در لحظه وقوع نیروی بیشینه مربوط به امواج بر روی عمق ساکن ساحل یا به عبارتی عمق آبخور معادل  $0.15$  متر می باشد و با افزایش عمق ساکن ساحل تا مقدار  $0.18$  متر، این روند رو به کاهش می گذارد. پس از عبور عمق آبگرفتگی مربوط به لحظه وقوع نیروی بیشینه، عمق های عبوری تا رخداد عمق بیشینه، افزایش یافته و بر عکس تغییرات زمانی نیروهای متناظر با هریک از این عمق ها روندی کاهشی می یابد. نکته قابل توجه آن است که عمق آبگرفتگی بیشینه در حالت وجود جنگل نسبت به حالت بدون جنگل بیشتر می باشد. این امر ناشی از ممانعتی است که درختان در عبور موج به خصوص پس از برخورد توده جریان با ردیف اول جنگل به وجود می آورند، مسیر انتقال موج مسدود شده و به تدریج عمق جلوی درختان افزایش می یابد. لحظاتی کوتاه، بعد از وقوع بیشینه عمق، جریانی برگشتی رو به سوی ساحل شیب دار که می توان آن را معادل بازتاب موج در نظر گرفت، آغاز می گردد. مشاهده دقیق تر فیلم ها حاکی از آن است که عبور توده در فاصله زمانی از لحظه وقوع نیروی بیشینه تا عمق بیشینه، منجر به خم شدن درختان بویژه درختان ردیف اول می گردد، و به تدریج ممانعت درختان از انتقال توده موج به اراضی ساحلی و بازتاب آن به سمت ساحل شیب دار (دریا) آغاز می گردد. با کاهش نیرو پس از کاهش عمق های پس از عمق بیشینه،

شکل (۷) روند تغییرات نیروی بیشینه موج در حالت با وجود جنگل نسبت به حالت بدون جنگل در مقابل ارتفاع نسبی موج های ورودی یکسان و روی تمام مشاهدات به عمل آمده حاکی از آن است که در آزمایش های شاهد، توده حاصل از شکست موج به سوی ساحل افقی حرکت می کند و نیروی بیشینه در عمق آبگرفتگی کمتری نسبت به عمق بیشینه، بر ساحل وارد آمده و مقدار آن ثبت می گردد. سپس با افزایش عمق آبگرفتگی تا وقوع عمق بیشینه، روند کلی تغییرات نیرو، رو به کاهش می گذارد. پس از وقوع عمق بیشینه نیز روند کاهشی عمق با روند تغییرات نیرو همسو گشته و تا عبور کامل موج از بازه افقی ادامه می یابد. از مشاهده نتایج آزمایش های اصلی که با هدف مشاهده اثر جنگل انجام شده است، نیز معلوم شد که توده حاصل از شکست امواج منتشره روی هر یک از عمق های آبخور ساحل به هنگام برخورد با جنگل، رفتاری متفاوت نشان می دهد و همین امر موجب می شود تا روند تغییرات عمق آبگرفتگی به ازای وقوع نیروی بیشینه در حالت وجود جنگل روندی منظم و قابل تشخیص را نشان ندهد. بلکه برخورد توده حاصل از شکست امواج با جنگل در شرایط برقراری بعضی از عمق های آبخور ساحل به نحوی است که با عبور بخش های ابتدایی توده، نیروی بیشینه واقع می گردد و در برخی دیگر، برعکس پیشروی توده تا ثبت نیروی بیشینه متناظر با وقوع عمقی نزدیک به مقدار عمق آبگرفتگی بیشینه می باشد. بر اساس جنگل انجام شده است، نیز معلوم شد که توده حاصل از شکست امواج منتشره روی هر یک از عمق های آبخور ساحل به هنگام برخورد با جنگل، رفتاری متفاوت نشان می دهد و همین امر موجب می شود تا روند تغییرات عمق آبگرفتگی به ازای وقوع نیروی بیشینه در حالت وجود جنگل روندی منظم و قابل تشخیص را نشان

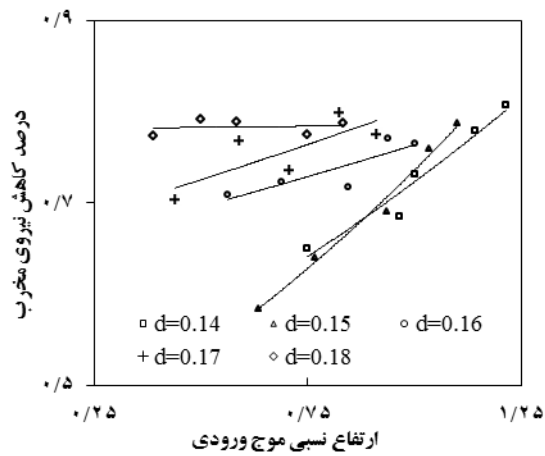
داودی و همکاران: بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و...

یابد. نمودار شکل (۹) روند تغییرات درصد کاهش نیروی مخرب ناشی از حضور جنگل را در مقابل ارتفاع نسبی موج ورودی برای هر یک از عمق‌های ساکن ساحل نشان می‌دهد. از دیگر موارد قابل توجه طی مشاهدات انجام شده، نیمرخ آب‌گرفتگی توده حاصل از شکست در لحظه وقوع نیروی می‌باشد. شکل (۱۰) نیمرخ عمق آب‌گرفتگی در مقابل فاصله آب‌گرفتگی توده موج عبوری بر ساحل افقی در دو حالت با و بدون حضور جنگل را نشان می‌دهد. اطلاعات آن از نیمرخ سطح آب در فریم مربوط به لحظه نیروی بیشینه بدست آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بر اساس دلایلی که شرح داده شد، با عبور موج از جنگل، آب‌گرفتگی ساحل پس از این بازه نسبت حالت بدون جنگل کاهش می‌یابد. شکل (۱۱) نیز نموداری بعد نیمرخ عمق - فاصله آب‌گرفتگی لحظه وقوع نیروی بیشینه با وجود جنگل برای امواج عبوری در عمق ساکن ساحل  $0/17$  متر را نمایش می‌دهد، که در آن عمق‌های آب‌گرفتگی نسبت به ارتفاع درخت و مکان هر نقطه از نیمرخ بر روی ساحل افقی نسبت به طول کل بازه لبه‌چاقویی تقسیم شده است. تفاوت در محلی که عمق‌های آب‌گرفتگی امواج شکل (۱۱) در طول بازه ساحلی روبه کاهش می‌گذارد، مبین رفتار متفاوت درختان در برخورد با موج‌های دارای ارتفاع نسبی مختلف منتشر شده بر روی یک عمق ساکن ساحل می‌باشد که ناشی از تفاوت رفتار درختان در زمان شروع برداشتن خیز نسبت به کل زمان عبور توده موج و زمان بازگشت به حالت اول، تحت تأثیر بار دینامیکی توده موج عبوری و انعطاف‌پذیری بخش تاج پوشش درخت می‌باشد. درختان در مدت خم شدگی مانند مانع عمل می‌کنند و جریان عبوری را سد می‌کنند و با اندکی بازگشت به حالت اولیه‌شان، توده را به سمت دریا منعکس کرده، اجازه انتقال موج را نمی‌دهند و در چنین شرایطی، عمق‌های آب‌گرفتگی پس از محدوده جنگل نسبت به حالت بدون جنگل، کاهش می‌یابد.

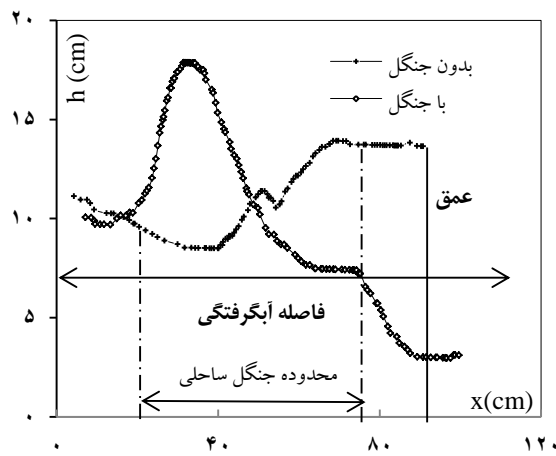
خم‌شدگی درختان نیز تا حدودی برطرف شده و البته تا زمان عبور کامل ادامه موج از ساحل افقی، به ممانعت از انتقال توده و بازتاب موج به سمت ساحل شیب‌دار ادامه می‌دهند. اندرکنش توده موج در هر یک از آزمایش‌ها و زمان خم‌شدن یا به عبارتی خیز برداشتن بخش تاج پوشش انعطاف‌پذیر، متفاوت می‌باشد و از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. همین مسئله بر روند تغییرات حاصل اثرگذار می‌باشد. نمودار شکل (۸) نیز روند تغییرات استغراق نسبی (نسبت عمق آب‌گرفتگی در لحظه وقوع نیروی بیشینه به ارتفاع هر درخت  $(h_p)$ )، که در این مطالعه برابر با مقدار ثابت  $0/22$  متر می‌باشد، را در مقابل ارتفاع نسبی موج ورودی نشان می‌دهد و مبین آن است که هر موج ورودی با ارتفاع نسبی مشخص، اراضی ساحلی را به چه نسبت استغراقی از ارتفاع درختان جنگل، دچار آب‌گرفتگی می‌کند. نسبت های استغراق حاصل، نشان می‌دهند که درختان با عبور تمام موج‌ها غیرمستغرق بوده‌اند. استغراق نسبی به تعبیری زبری نسبی درختان به حساب آمده و عاملی مؤثر بر مقاومت جنگل در مقابل عبور موج می‌باشد. یکی از عوامل مورد توجه در انتخاب گونه مورد نظر به منظور طراحی جنگل بر اساس ارتفاع درخت در مدت رشد رویشی، باید تأمین نسبت زبری نسبی قابل قبول برای مقابله با موج باشد. از آنجا که ارتفاع موج ورودی بر میزان عمق آب‌گرفتگی اثرگذار می‌باشد، به نظر می‌رسد که بر اساس ارتباط بین ارتفاع نسبی و استغراق نسبی حاصل، می‌توان ارتفاع لازم درختان برای کنترل عبور موج با مشخصه معلوم را تخمین زد. در شرایطی که چند گونه درختی، امکان شرایط استقرار و رشد رویشی بر یک نوار ساحلی را دارا می‌باشند، یکی از ملاک‌های انتخاب را می‌توان بر رشد ارتفاع درخت تا رسیدن به سن بالغ برای تولید مقاومت لازم در مقابل عبور موج در نظر گرفت. مقاومت جنگل موجب آن می‌شود تا اراضی ساحلی پشت جنگل، کمتر در معرض آسیب باشد و عملاً نیروی تخریب کاهش



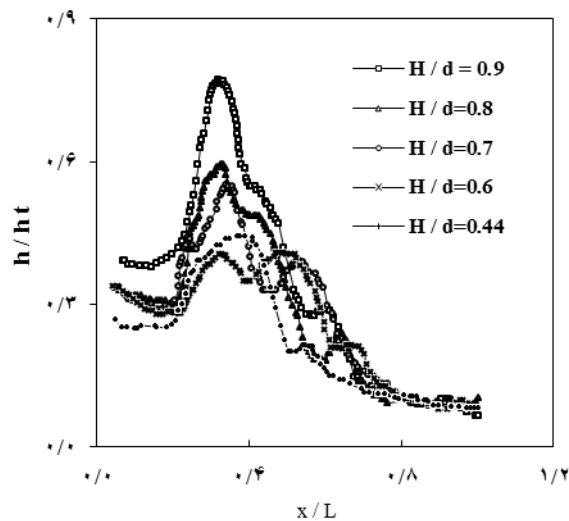
شکل ۸- نسبت استغراق - ارتفاع نسبی موج ورودی



شکل ۹- درصد کاهش نیروی مخرب- ارتفاع نسبی موج



شکل ۱۰- پروفیل آب گرفتگی در دو حالت موج با و بدون جنگل



شکل ۱۱- پروفیل بی بعد آب گرفتگی حالت با جنگل (عمق ساکن: ۰/۱۷ متر)

داودی و همکاران: بررسی اثر جنگل ساحلی بر تغییرات نیرو و...

### نتیجه‌گیری

۷۵/۶ و ۷۸/۴ درصد به ترتیب در شرایط برقراری عمق‌های ساکن ساحل ۱۴/۰، ۱۵/۰، ۱۶/۰، ۱۷/۰ و ۱۸/۰ متر نسبت به حالت بدون جنگل، کاهش می‌یابد.

- به ازای تغییرات ارتفاع نسبی موج ورودی از ۰/۴ تا ۱/۲، نسبت عمق آب‌گرفتگی بیشینه در حالت با جنگل به حالت بدون جنگل به طور متوسط معادل ۱/۸ می‌باشد. این ضریب را می‌توان پارامتری نظیر ضریب بازتاب موج عبوری بر ساحل ناشی از جنگل ساحلی، مبین قدرت بازتاب موج توسط جنگل در نظر گرفت.

از مجموع آنچه که گفته شد، به طور خلاصه نتیجه می‌شود که:

- محدوده تغییرات عمق نسبی امواج منفرد با ارتفاع نسبی بین ۰/۴ تا ۱/۲ در بازه ۰/۴۵ تا ۰/۰۶ می‌باشد، که نشان‌دهنده فرارگیری امواج تولید شده در گروه امواج آب کم عمق می‌باشد.

- به ازای تغییرات ارتفاع نسبی امواج بین ۰/۴ تا ۱/۲، متوسط تغییرات ۴۰ درصدی عمق آب‌گرفتگی بیشینه ساحل با وجود جنگل نسبت به حالت عدم وجود جنگل رخ می‌دهد.

- به ازای تغییرات ارتفاع نسبی موج ورودی از ۰/۴ تا ۱/۲، نیروی مخرب ناشی از وجود جنگل ساحلی حدوداً به میزان ۷۳، ۶۹، ۷۳/۷

### منابع

- ۱- چگینی، و. ۱۳۷۷. نظریه‌های موج. انتشارات شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری. چاپ اول. تهران. ایران. ۳۰۱ صفحه.
- ۲- راست‌گفتار، ا.، اکبرپور جنت، م.، چگینی، و.، رستمی، م. ۱۳۹۱. بررسی آب‌گرفتگی خلیج چابهار در اثر سونامی ناحیه فرو رو مکران. دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادرو سازه‌های دریایی، تهران، ایران.
- ۳- لشکرآرا، ب.، ۱۳۸۸. تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش‌های مومنتم و انرژی. پایان‌نامه دکتری، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۶۲ صفحه.
- ۴- نگارش، ح. ۱۳۸۹. سونامی و احتمال وقوع آن در ایران. چهارمین کنگره جغرافیادانان جهان اسلام. زاهدان.
- ۵- هاشمی جوان، س. ع. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی عددی پدیده شکست موج بر موج‌شکن مستغرق. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه علم و صنعت. تهران. ۱۱۶ صفحه.
- 6- Akgul, M. A. Yilmazer, D. Oguz, E. and M. S, Kabdasli. 2013. The effect of an emergent vegetation and wave kinematics. *Journal of Coastal Research*, 65: 147- 152.
- 7- Charvet, I. Eames, I. and T, Rossetto. 2013. New tsunami runup relationships based on long wave experiments. *Journal of Ocean Modeling, Elsevier*, 69: 79- 92.
- 8- Davidson, R. G. and B, Greenwood. 2003. Waves and sediment transport in the Nearshore zone. *Coastal Zone and Estuarine. Encyclopedia of life support system*, 5p.
- 9- 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. 18<sup>th</sup> Offshore and Polar Engineering Conference, Vancouver, 7p.
- 10- Fathi- Moghadam. M. 1997. Momentum absorption in non- rigid, non- submerged, tall vegetation along rivers. University of Waterloo, Canada, PhD. Thesis, 238p.
- 11- Goto, K. and F, Imamura. 2007. Numerical models for sediment transport by tsunami. *The Quatern Research*, 46(6): 463- 470.
- 12- Hirashi, T. and K, Harada. 2003. Green belt tsunami prevention in South- Pacific region. Report of the Port and Airport Research Institute, 42(2): 23p.

- 13- Hsiao, C. S. and C. T, Lin. 2010. Tsunami- like solitary waves impinging and overtopping on impermeable seawall: Experiment and RANS modeling. *Coastal Engineering*, 57: 1- 18.
- 14- Huang, Z., Yao, Y. and S. Y, Sim. 2011. Interaction of solitary waves with emergent, rigid vegetation. *Ocean Engineering*. 38: 1080- 1088.
- 15- Husrin, S. 2013. Attenuation of solitary wave trains by coastal forests. University of Florence, Germany. PhD. Thesis, 275p.
- 16- Husrin, S., Strusinska, A. and H, Oumeraci. 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Earth Planets Space Journal*, 64: 973- 989.
- 17- Malek Mohammadi, S. 2009. Laboratory generation and physics of propagation of solitary waves and water surface depression. University of Clemson, PhD. Thesis, 113 p.
- 18- Oshnack, E. M., Aguiniga, F., Cox, D., Gupta, R. and V. J., Lindt. 2009. Effectiveness of small onshore seawall in reducing forces induced by tsunami bores: large scale experimental study. *Journal of Disaster Research*, 4(6): 382- 390.
- 19- Ratnosooriya, S. p. and N, Tanaka. 2008. Mitigation of tsunami by coastal vegetation. *Journal of the Institute of Engineers, Sri Lanka, Annual Transactions of IESL*, PP: 13- 19.
- 20- Suhayda, N. J. and R. N, Petigrew. 1977. Observation of wave height and wave celerity in the surf zone. *Journal of Geological Research*, 82(9): 1419- 1424.
- 21- Tanaka, N., Sasaki, Y., Mowjood, M. I. M., Jinadasa, N. S. B. K. and S, Homchuer. 2007. Coastal vegetation structures and their function in tsunami protection: experience of the recent Indian Ocean Tsunami. *Landscape Ecological Engineering*, 3: 33- 45.
- 22- Tanaka, S., Istiyanto, C. and D, Kuribayashi. 2010. Planning and design of tsunami- mitigative coastal vegetation belts. *United Educational, Scientific and Cultural Organization*. No. 18: 61p
- 23- Thuy, B. N., Tanimoto, K., Tanaka, N., Harada, K. and K, Limura. 2009. Effect of open gap in coastal forest on tsunami run-up – investigations by experiment and numerical simulation. *Ocean Engineering*. 36: 1258- 1264.
- 24- Yeh, H. 2007. Design tsunami forces for onshore structures. *Journal of Disaster Research*, 2 (6): 531-536.