

بررسی اثر پوشش گیاهی ساحلی بر میرایی نیروی مخرب امواج منفرد ناشکنا در سواحل شیبدار

مجتبی زارعی^۱، منوچهر فتحی مقدم^۲، لیلا داودی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۳

چکیده

هجوم امواج به ساحل دریا عامل عمده تخریب سواحل بوده و خسارات جبران ناپذیر بسیاری را به بار می آورد. سیر تکامل حفاظت سواحل طی دوران مختلف تغییر از رویکردهای سازه‌ای به تقویت بیولوژیکی سواحل بوده است. از جمله روش‌های نوین مقابله با خطرات ناشی از امواجی همچون سونامی، احداث جنگل‌های ساحلی می‌باشد. از این رو در این مطالعه امکان استفاده از کمربند سبز و همچنین اثر تراکم آن بر میزان تغییر نیروی امواج ناشکنا و ضریب درگ کمربند سبز با ارتفاع‌های متفاوت موج بررسی شده است. به همین منظور آزمایشات در فلومی به طول ۸/۳ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵۵ متر که مدل‌های ساحل با چهار شیب و چهار تراکم مختلف در آن تعبیه شده، با ۱۱۰ ارتفاع موج ورودی و در دو تکرار انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع موج ورودی نیروی اعمال شده بر روی پوشش افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تراکم پوشش گیاهی، نیروی مخرب موج کاهش بیشتری داشته به طوری که در بیشینه حالت به طور متوسط ۷۵ درصد کاهش در نیروی مخرب نسبت به شرایط بدون پوشش مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: امواج ناشکنا، تراکم پوشش گیاهی، سونامی، ضریب درگ، کمربند سبز.

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران - برازجان بولوار معلم، ۰۹۱۷۳۷۳۸۷۷۴ . mojtabazarei69@gmail.com

۲ استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران - کوی اساتید، ۰۹۱۶۱۱۳۵۱۷۱ . fathi49@gmail.com (مسئول مکاتبه)

۳ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران - خرم آباد، ۰۹۱۶۷۰۷۴۹۰۸ . Layla.davoodi@gmail.com

مقدمه

درک پدیده‌های طبیعی که در اطراف بشر به وقوع می‌پیوندد از دیرباز دارای اهمیت زیادی بوده است. از این‌رو همواره محققان در تلاش بوده‌اند تا با یافتن قوانین حاکم بر این پدیده‌ها به کنترل آن‌ها بپردازند. با افزایش روزافزون جمعیت در سواحل به علت امکان انجام فعالیت‌های اقتصادی، فرهنگی، نظامی و غیره، لزوم حفاظت از این مناطق ارزشمند و تأثیرگذار مطرح می‌شود. در این حال دریاها به‌عنوان منبع این استعدادها دارای رفتارهای پیچیده‌ای می‌باشد که عدم توجه و شناخت کافی نسبت به آن‌ها منجر به اخلاخل در بهره‌برداری از امکاناتی که دریاها و سواحل در اختیار ما می‌گذارند، می‌شوند.

امواج مهم‌ترین عامل در تعیین وضعیت هندسی و ترکیب سواحل و نیز مهم‌ترین عامل انتقال انرژی از دریاها و اقیانوس‌ها به ساحل می‌باشند. یکی از انواع امواج که امنیت نواحی ساحلی را به طور جدی به خطر انداخته است و فجایع جانی و مالی زیادی را به بار آورده است پدیده سونامی^۱ می‌باشد که از این رویداد به عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی یاد می‌شود. این پدیده می‌تواند بر اثر زمین لرزه، فوران‌های شدید آتش‌فشانی، انفجارهای سهمگین و یا حتی برخورد یک جرم آسمانی بزرگ همانند یک شهاب‌سنگ به زمین رخ دهد. زلزله‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد سونامی‌های مخرب می‌باشند، با این حال اطلاعات دقیقی از زمان و مکان دقیق وقوع آن‌ها در دسترس نیست. بررسی‌های انجام شده توسط (Geist et al., 2006) و همچنین (Satake et al., 1999) نشان داد که نواحی فرورانش^۲ در مرز صفحات تکتونیکی^۳ در جایی که صفحه اقیانوسی به زیر صفحه قاره‌ای فرورانش می‌کند، منشأ اصلی زمین‌لرزه‌های سونامی‌زا می‌باشند. بر طبق مطالعات (Watts., 2004) طول عمر سونامی به سه مرحله تولید، پیشروی و سیل یا بالاروی تقسیم

می‌شود. مرحله اول به منبع سونامی وابسته است که می‌تواند زمین‌لرزه، آتش‌فشان، زمین‌لغزش‌های زیردریایی و یا برخورد شهاب سنگ‌ها به زمین باشد. مرحله دوم به توپوگرافی و شکل خط ساحلی بستگی دارد و مرحله سوم به دامنه، ارتفاع و شکست موج سونامی پس از عبور از خط ساحلی مربوط است و به مدل‌سازی پیچیده‌ای نیاز دارد.

سیر تکامل حفاظت سواحل طی دوران مختلف تغییر از رویکردهای سازه‌ای به تقویت سواحل بوده است. مکانیسم‌های مختلف مقابله با امواج شامل جلوگیری از ورود امواج به منطقه مورد نظر از طریق انعکاس آن‌ها به سمت دریا، مستهلک نمودن انرژی از طریق ایجاد شکست در موج و ایجاد آشفتگی در درون بدنه سازه متخلخل می‌باشد، اما یکی از مواردی که همواره جهت مقابله با مخاطرات طبیعت مورد بحث و بررسی بوده است، کمک گرفتن از خود طبیعت به صورت‌های مختلف می‌باشد، چراکه به لحاظ اقتصادی بسیار به صرفه بوده و همچنین باعث بهبود شرایط بیولوژیکی، زیباشناختی و غیره می‌شود. یکی از این راه‌حل‌های طبیعی برای مقابله با امواج سونامی استفاده از پوشش گیاهی^۴ (کمر بند سبز^۵) می‌باشد که به‌طور قابل توجهی توسط مهندسی به‌عنوان چاره‌ای برای کاهش خطرات این پدیده در نظر گرفته شده است. کاهش اثرات مخرب امواج در میان یک پوشش درختی با تراکم‌های متفاوت مانند ایجاد جریان آشفتگی در داخل بدنه یک سازه متخلخل می‌باشد. مطالعات (Hirashi et al., 2003) نشان می‌دهد که میزان کاهش اثرات مخرب سونامی با کمر بند پوشش گیاهی به میزان تراکم پوشش بستگی دارد. این میزان تخلخل پوشش در سطح مشخص، بیان‌کننده کارایی آن می‌باشد، که همچنین می‌توان با ضریب درگ به عنوان نماینده مقاومت در برابر جریان که به نوعی تأثیر میزان تراکم را در بر دارد به بررسی تأثیر این کارایی پرداخت. مطالعات انجام گرفته توسط (Dahdouh-Guebas et al., 2005) وجود

^۴ Coastal vegetation^۵ Green belt^۱ Tsunami^۲ Subduction Zone^۳ Tectonic plates

پوشش گیاهی بر تضعیف موج سونامی بسیار تأثیرگذار است. براساس گزارش‌های حوادث سونامی همچون (Yamamoto et al., 2006) و (Yeh, 2007) سه نوع کلی موج بر اساس مکان شکست موج نسبت به یک نقطه مورد نظر تعریف شده است. نوع اول: موج شکسته شده^۱ که شامل یک حالت توربولانت است که با سرعت به سمت ساحل حرکت می‌کند و پیش از رسیدن به پوشش گیاهی بر روی شیب ساحل می‌شکند و سپس از آن بالا می‌رود. نوع دوم: موج شکنا^۲ که شامل موجی است که بر روی پوشش گیاهی فرو می‌شکند و سپس جریان بالارونده منتشر می‌شود و نوع سوم: موج ناشکنا^۳، موجی است که مستقیماً از روی شیب ساحلی بالا می‌رود و بدون شکست از روی پوشش گیاهی می‌گذرد، که این مسئله بر میزان تخریب و خسارت ناشی از موج بر روی مناطق ساحلی اثرگذار می‌باشد، از طرفی مطالعات (Chatenoux et al., 2005) نشان داد که تاکنون روش‌های متفاوتی جهت مدل کردن پوشش ساحلی انجام شده است اما در این بین به مدل کردن تاج پوشش^۴ درخت اهتمام زیادی نشده است.

از این رو در این مطالعه به اندرکنش امواج سونامی و تاج پوشش درخت به عنوان پوشش ساحلی با استفاده از یک مدل فیزیکی پرداخته شده است. با بررسی مطالعات پیشین انجام شده در این زمینه، مشخص شد که تاکنون چگونگی عمل کرد پوشش گیاهی در مقابله با امواج و شناخت پارامترهای مؤثر پوشش و میزان اثرگذاری آن‌ها بر پدیده، با دیدگاه تحلیل نیروی وارده از موج به پوشش و اندازه‌گیری آن انجام نشده است. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی همین جنبه از موضوع انجام شده است. همچنین از انواع موج سونامی به بررسی امواج ناشکنا در چهار شیب، چهار تراکم و صد و ده ارتفاع موج در دو تکرار

گزارش‌های زیادی مبنی بر توانایی پوشش ساحلی در کاهش برخورد پدیده سونامی را تأیید، و بر کاربردی و مؤثر بودن این روش تأکید کردند. نتایج حاصل از مطالعات (Istiyanto et al., 2003) و (Imai et al., 2005) و (Yanagisawa et al., 2009) نیز این یافته‌ها را تأیید می‌نماید. مطالعات انجام شده، شامل ارائه روش‌هایی نیمه تحلیلی و تجربی می‌باشد که صحت‌سنجی آن‌ها بر اساس مقایسه با نتایج آزمایشگاهی یا عددی انجام شده است. (Husrin et al., 2012) اعلام داشتند که از بین گونه‌های مختلف پوشش گیاهی، گیاهانی همچون صنوبر، نخل، مانگرو و نارگیل مورد آزمایش قرار گرفته است، همچنین اظهار داشتند که توجه به اقلیم منطقه مورد مطالعه در انتخاب گونه گیاهی مناسب، نقشی تعیین کننده دارد. مطالعات صحرایی انجام گرفته در امتداد ساحل تاملیل نادو واقع در جنوب شرقی شبه جزیره هند توسط (Mascarenhas et al., 2008) نشان داد که استفاده از درختان نخل و نارگیل به منظور تضعیف موج و اثرات مخرب ناشی از آن بسیار مؤثر بوده است. در مطالعات صورت گرفته توسط (Mendez et al., 2004) میرایی موج توسط پوشش گیاهی تابعی از ویژگی‌های پوشش مانند هندسه و ساختار، نسبت استغراق، تراکم، سختی، آرایش مکانی و همچنین شرایط موج مانند ارتفاع موج ورودی، مدت و جهت موج می‌باشد. رویارویی 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 محتمل است روی دهد. (Husrin, 2012) نیز با تأیید این موضوع اعلام داشت که در مواجهه‌ی امواج سونامی با کمربند سبز تمامی این ویژگی‌ها به طور هم‌زمان تأثیرگذار هستند که به دلیل تحقیقات اندک در این زمینه تأثیر هر کدام از این ویژگی‌ها به طور جداگانه مشخص نگردیده است.

یکی از مسائل تأثیرگذار در مورد موج سونامی روند تکامل موج می‌باشد، چرا که این روند در تعیین منشأ کاهش انرژی موج و تعیین درست عملکرد

¹ Broken Wave

² Breaking Wave

³ Non-breaking Wave

⁴ Conopy

پارامترهای متغیر در آزمایش

برای حصول داده‌های لازم ۷۳۶ آزمایش، با ۱۴ عمق آب جلوی دریاچه و ۵ عمق آب پشت دریاچه در چهار شیب (شیب‌های افقی، ۳ درصد، ۶ درصد و ۹ درصد) و چهار تراکم (تراکم‌های ۰ درصد (شاهد)، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد) انجام شد، که به منظور حصول اطمینان از اندازه‌گیری‌های انجام شده (ارتفاع موج، نیروی موج، سرعت موج و سایر پارامترهای فیزیکی) آزمایش‌ها در دو تکرار انجام شد، که از این تعداد آزمایش ۱۴۴ موج ناشکنا مربوط به آزمایش‌های بدون پوشش (آزمایش‌های شاهد) و ۵۹۲ موج ناشکنا مربوط به آزمایش‌های با پوشش می‌باشند.

به دلیل خطرناک‌تر بودن و مخرب‌تر بودن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

برای برآوردن اهداف تحقیق و انجام آزمایش‌های لازم پارامترهای مؤثر در فیزیک مسئله مشخص شد. سپس با استفاده از روش‌های آنالیز ابعادی همچون π باکینگهام تابع کمیت‌های بدون بعد متناسب با اهداف آزمایش استخراج گردید.

جدول (۱): مقادیر پارامترها در آزمایش‌های امواج ناشکنا

| مقادیر | پارامترهای متغیر |
|--|-------------------------|
| ۰، ۳، ۶، ۹ | شیب (/.) |
| ۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ | تراکم پوشش گیاهی (/.) |
| ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷ | عمق آب جلوی دریاچه (cm) |
| ۲۸، ۳۱، ۳۴، ۳۷، ۴۰ | عمق آب پشت دریاچه (cm) |
| ۲/۶ - ۱۲/۲ | ارتفاع موج (cm) |
| ۵/۴ - ۱۱۳/۸ | نیروی موج (N) |
| ۱/۱۶۳ - ۱/۱۸۶ | سرعت موج (m/s) |

یک رابطه نیمه تجربی به صورت زیر استفاده می‌شود (Nikolas, 1992).

$$\zeta E = Nf_1^2 \left(\frac{m_s}{h} \right) \quad (3)$$

در این رابطه m_s جرم واحد طول درخت، h ارتفاع درخت و Nf_1^2 فرکانس روزنایی مود اول درخت مصنوعی است که با تقسیم تعداد نوسانات، یعنی تعداد رفت و برگشت‌های درخت از نقطه‌ای که درخت در آن ثابت شده، بر زمان این رفت و برگشت‌ها به دست می‌آید. که با توجه به این که مدل پوشش گیاهی منعطف، مصنوعی و همگی هم شکل بودند، مقدار شاخص گیاهی $6/607$ به دست آمد. همچنین برای مدل سازی، محدوده اندازه گیری متغیرها برای مقیاس اصلی موج و کمربند سبز بر اساس تشابه عدد فرود برای خواص یکسان سیال، $1:50$ در نظر گرفته شد. البته با توجه به هدف آزمایش، تراکم پوشش گیاهی به صورت نسبت سطح سایه انداز درخت به سطح ساحل مورد آزمایش در نظر گرفته شده است. در این تحقیق از سرعت انتشار موج به عنوان پارامتر سرعت در فرمول نیروی درگ استفاده شده است.

تجهیزات آزمایشگاهی

اثر پوشش گیاهی بر تضعیف موج توسط انجام آزمایش در یک فلوم، در دانشکده مهندسی علوم آب در دانشگاه شهید چمران اهواز، به طول $8/3$ متر و عرض کف $0/8$ متر و ارتفاع دیواره $0/55$ متر از جنس فلز و پلکسی گلاس که امکان ضبط فیلم با دوربین و همچنین مشاهدات بصری فرآیند تکامل امواج را میسر می‌ساخت، بررسی شد. قسمت شیب دار مقطع ساحل که به فاصله $98/5$ سانتی متر از دریچه صفحه‌ای موج ساز و با شیب متغیر 0 تا 9 درصد ساخته شده بود، نشان دهنده شیب کنار دریاست که به صورت تدریجی به سطح افقی می‌رسد که شامل مدل پوشش گیاهی می‌باشد. در این مطالعه، ایجاد مدل

پارامترهای مؤثر بر فیزیک پدیده به همراه تحلیل ابعادی آن‌ها

به واسطه تغییرات مکانی و زمانی جریان و اندرکنش نیروی موج عبوری از ساحل شیب دار با پوشش درختی به عنوان عامل مقاومت در مقابل جریان، نتیجه آنالیز ابعادی با توجه به پارامترهای مؤثر بر هیدرولیک پدیده، به صورت تابع زیر است.

$$f\left(\frac{F}{\rho AU^2}, \frac{\rho UH}{\mu}, \frac{U}{\sqrt{gH}}, \frac{U}{\sqrt{\zeta E}}, \frac{d}{H}, \frac{h}{H}, \frac{B}{H}, \frac{W}{H}, D\%, S\%\right) = 0 \quad (1)$$

که در آن، F : نیروی مستهلک شده موج، H : ارتفاع موج، ρ : دانسیته جرمی سیال، g : شتاب ثقل، U : سرعت انتشار موج، μ : لزوجت دینامیکی آب، d : عمق ساکن ساحل، S : شیب ساحل، h : ارتفاع درخت، ζE : مدول الاستیسیته درخت (شاخص گیاهی)، A : سطح شاخ و برگ جاذب نیرو، D : درصد پوشش درختی، W : عرض پوشش (هم راستا با موج) و B : طول پوشش (در راستای عرض فلوم) می‌باشد.

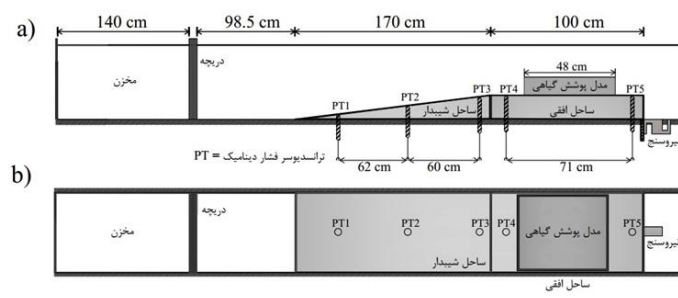
رابطه (۲) با توجه به غیر ماندگار بودن و آشفته بودن جریان و ثابت در نظر گرفتن ارتفاع درختان (h)، طول پوشش (B) و عرض پوشش جنگلی (W) و متغیر در نظر گرفتن سایر پارامترهای مؤثر اشاره شده به دست آمده است که به علت کاملاً متلاطم بودن جریان از تأثیر لزجت صرف نظر شده و عدد رینولدز ($\frac{\rho UH}{\mu}$) که در محدوده 295000 تا 465000 قرار دارد از میان پارامترها حذف می‌گردد.

$$C_d = f\left(\frac{U}{\sqrt{\zeta E}}, \frac{d}{H}, D\%, S\%\right) \quad (2)$$

یکی از مهم ترین خصوصیات پوشش گیاهی، انعطاف پذیری آن است که به صورت شاخص گیاهی (ζE) تعریف می‌شود. برای تخمین شاخص گیاهی از

مبنای ایجاد شرایط لازم برای باز شدن سریع دریچه به میزان لازم جهت تولید و عبور موج از مخزن پشت دریچه به طول ۱/۴ متر، طراحی و ساخته شده بود. این سیستم تولید موج در واقع از حرکت ضربه‌ای کف دریا هنگام وقوع زلزله که منجر به تولید امواج سونامی می‌گردد برگرفته شده است و در هیدرولیک از آن به شکست سد یاد می‌شود. در برخی از تحقیقات آزمایشگاهی از جمله مطالعات (Ratnasooriva et al., 2008) از این سیستم برای تولید موج استفاده شده است. همچنین (Esteban et al., 2008) با حذف دستی دریچه‌ای از جنس چوب در جلوی مخزن به تولید موج منفرد پرداخته و تخریب موج شکن، تحت تأثیر حمله امواج سونامی را بررسی نمودند. شکل (۱) مقطع و پلان این فلوم را نشان می‌دهد. تعامل پیچیده موج-پوشش نیاز به تکنیک‌های اندازه‌گیری مختلف و دستگاه‌های جدید پیشرفته برای تطابق با شرایط آزمایشی ما دارد. مکانیزم موج و اندرکنش آن با ساحل طی زمان نسبتاً کوتاهی رخ می‌دهد، به همین دلیل جهت بررسی این پدیده و اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر در آن می‌بایست از تجهیزاتی استفاده شود که قابلیت ثبت داده‌ها با زمان را داشته باشند.

پوشش با درصدهای ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مورد نظر قرار گرفته است. جهت تعیین ابعاد جنگل جهت ایجاد درصدهای پوشش مورد نظر بر روی سطح ورق ساحل افقی، شبکه مورد نظر ابعاد جنگل جهت استقرار درختان در چهار ردیف شش‌تایی آماده گردید. به طوری که جهت به‌دست آوردن تراکم ۳۰ درصد از ۸ درخت، تراکم ۵۰ درصد از ۱۲ درخت و تراکم ۱۰۰ درصد از ۲۴ درخت استفاده شد. به منظور جلوگیری از حرکات قائم و جانبی صفحات شیب‌دار و افقی مدل ساحلی و در نتیجه ایجاد خطا در انجام آزمایش به‌علت تأثیر این حرکات بر تغییر شکل موج از پایه-هایی در زیر صفحات و همچنین گیره‌های فلزی L شکل استفاده شد. مدل ساحل نیز با توجه به هدف این مطالعه و بررسی پیشینه تحقیقات انجام شده هم‌چون راست‌گفتار و همکاران (۱۳۹۱) بر روی سواحل جنوب شرقی ایران - دریای عمان که سابقه وقوع امواج سونامی را دارند ساخته شد. جهت تولید موج از موج‌ساز دریچه‌ای (صفحه‌ای) با ایجاد اختلاف ارتفاع در طرفین دریچه و باز کردن ناگهانی دریچه استفاده شد. دریچه به وسیله سیستم نخ و قرقره به یک وزنه سنگین متصل می‌شد که با برداشتن اهرم دستی، و سقوط ناگهانی وزنه از یک ارتفاع معلوم بر



شکل (۱): به ترتیب (a) نمایی از مقطع مستطیل شکل و (b) نمایی از پلان فلوم مستطیلی شکل طراحی شده

جهت اندازه‌گیری نیروی وارد بر ساحل با و بدون وجود پوشش‌ها از نیروسنجی سیستم بخش لبه‌چاقویی^۱ در ۱ متر میانی فلوم که ۴/۱ متر از ابتدا و

۳/۲ متر از انتهای فلوم فاصله دارد و حسگر بار دینامیک^۲ بخش انتهایی فلوم لبه‌چاقویی یا بخش متحرک را به قسمت پایین دست فلوم وصل می‌کند و

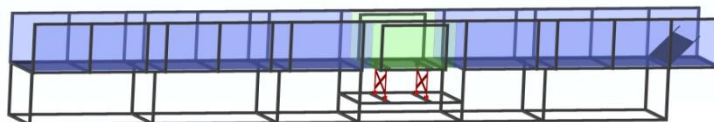
² Load cell

¹ Knife-edge

و فتحی مقدم (۱۳۹۳). شکل (۲) نمایی سه بعدی از این فلوم را نشان می‌دهد.

به منظور ثبت تغییرات مکانی و زمانی پروفیل موج منفرد و همچنین اندازه‌گیری سرعت انتشار امواج نیز از ترانسدیوسرهای فشار دینامیکی در طول فلوم استفاده شده است. البته لازم است تا این ترانسدیوسرها در مرکز فلوم قرار گیرند تا از اثرات دیواره‌ها جلوگیری شود. همچنین به منظور محاسبه‌ی سطح شاخ و برگ جاذب نیرو، می‌بایست با تقسیم درخت به قسمت‌های مساوی و سپس محاسبه‌ی مساحت شاخ و برگ هر قسمت، نمودار ارتفاع در مقابل مساحت تجمعی درخت را ترسیم نمود. حال با داشتن این نمودار می‌توان سطح شاخ و برگ جاذب نیرو را توسط ارتفاع موج به دست آورد.

عکس‌العمل نیروی جریان را بر روی نشانگر الکتریکی دستگاه نشان می‌دهد، استفاده شده است. این فلوم برای نخستین بار جهت انجام رساله دکتری لشکرآرا (۱۳۸۸) جهت تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش مومنتم ساخته شده است و توسط وی به نام فلوم لبه‌چاقویی نام‌گذاری گردید. اندیشه‌ی ساخت این فلوم الهام گرفته از میز جذب مومنتمی است که فتحی‌مقدم (۱۹۹۷) در رساله دکتری خود جهت 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 شده‌ی فلوم توسط یک نیروسنج دینامیکی برقرار شده است و امکان ثبت نیروی درگ وارده از طرف سیال به آن قابل ثبت می‌باشد (لشکرآرا



شکل (۲): نمایی سه بعدی از فلوم لبه‌چاقویی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها (لشکرآرا ۱۳۸۸)

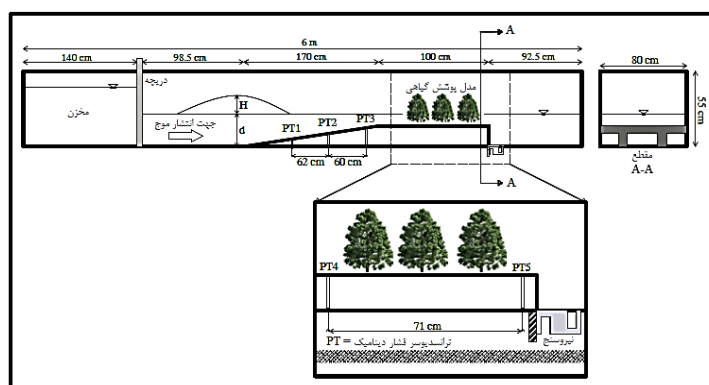
Soares-Frazao et al., 2002) اعلام داشتند که نوسانات سطح آب می‌توانند اثر زیادی را روی جریان ناشی از باز شدن ناگهانی دریچه داشته باشند. بر طبق گفته Nakagawa et al., 1969) این زمانی اتفاق می‌افتد که نسبت بین تراز سطح آب در کانال و تراز سطح آب در مخزن خیلی زیاد باشد، به همین دلیل یک سری آزمایش با ترازهای مختلف آب در مخزن و کانال قبل از آزمایش‌های اصلی برای انتخاب حالاتی که امواج نوسانات سطحی زیادی نداشته باشند، صورت پذیرفت. به منظور ثبت ارتفاع و سرعت موج ورودی از سه ترانسدیوسر فشار دینامیکی در شیب استفاده شده است. همچنین به منظور ثبت ارتفاع و سرعت موج قبل

شیوه انجام آزمایش

قسمت ابتدایی فلوم به عنوان مخزن ایجاد موج استفاده گردیده است بدین صورت که با تنظیم عمق آب پای ساحل و عمق آب پشت دریچه کشویی و با باز کردن ناگهانی دریچه و بر مبنای ایجاد اختلاف ارتفاع در طرفین دریچه موج ایجاد می‌گردد، که با تغییر عمق آب در پای ساحل و در پشت دریچه کشویی، موج با ارتفاع مورد نظر ایجاد می‌شود. همچنین ارتفاع امواج (ارتفاع خالص امواج) در این مطالعه از سطح آب محاسبه شده و عمق آب موجود در فلوم از آن کسر گردیده است. (Evangelista et al., 2013) و

محاسبه کرد. همچنین یک بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ ثانیه‌ای از اندازه‌گیری‌های موج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، تا از تأثیر آب برگشتی از انتهای فلوم جلوگیری شود، همچنین در این زمان نیم‌رخ موج تشکیل شده و آشفتگی‌های ناشی از ضربه ناگهانی دریچه با عبور از ناحیه نزدیک دریچه برطرف می‌شد. بنابراین رفتار موج رسیده به ناحیه جنگل که از محل دریچه فاصله ۲/۸۴ متر را سپری کرده بود، قابل قبول بوده و نتایج به‌دست آمده قابل ارزیابی می‌باشند. در شکل (۳) تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها ترسیم شده است.

و بعد از پوشش گیاهی نیز از دو ترانسدیوسر فشار دینامیکی قبل و بعد از پوشش گیاهی بر روی صفحه افقی بخش ساحل شبیه‌سازی شده استفاده شده است که ارتفاع موج برابر است با فشاری که ترانسدیوسر ثبت کرده است. سرعت موج نیز برابر است با حاصل تقسیم فاصله بین دو ترانسدیوسر بر مدت زمانی که موج فاصله بین دو ترانسدیوسر را طی نموده است. البته لازم است تا قبل از باز نمودن دریچه، عمق اولیه جریان در فلوم (عمق ساکن ساحل) توسط ترانسدیوسرهای فشار دینامیکی ثبت شود تا به‌توان با کم کردن این عمق از عمق اندازه‌گیری شده توسط ترانسدیوسرها در هنگام عبور موج، عمق خالص موج را



شکل (۳): سیستم مدله‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش‌ها

بیشتر، نیروی بیشتری را جذب می‌کند. زیرا با افزایش تراکم سطح و تعداد ردیف‌های بیشتری از پوشش در مقابل موج قرار گرفته و در نتیجه مقاومت ناشی از حضور جنگل در مقابل عبور موج بیشتر می‌گردد که این روند نشانگر تأثیر مستقیم تراکم بر میزان نیروی جذب شده از امواج می‌باشد. برای مثال تأثیر تراکم پوشش بر میزان کاهش نیروی موج بین دو تراکم ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد به‌طور متوسط و در مقایسه با یکدیگر، معادل ۳۷ درصد افزایش در تضعیف موج برای تراکم بیشتر می‌باشد. با افزایش تراکم نیروی بیشتری از امواج جذب شده است، ولی با توجه به نمودار قابل ذکر است که با افزایش تراکم میزان این نیروی جذب شده با همان نرخ افزایش تراکم تغییر

نتایج و بحث

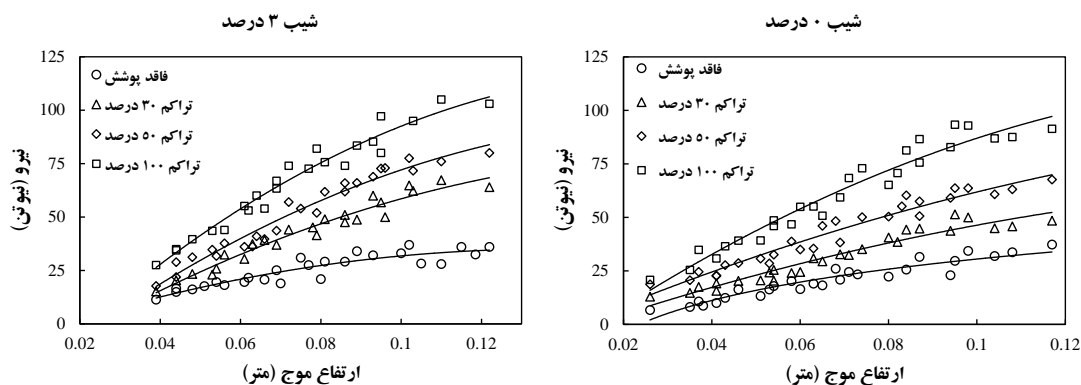
نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل و پوشش گیاهی از طریق بخش متحرک فلوم (لبه‌چاقویی) به حسگر دینامیکی بار منتقل و بیشترین نیروی وارده ثبت گردیده است. نیروهای ثبت شده به ازای تراکم‌های صفر درصد (شاهد)، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد ارائه شده است.

اثر تراکم پوشش گیاهی بر جذب نیروی موج

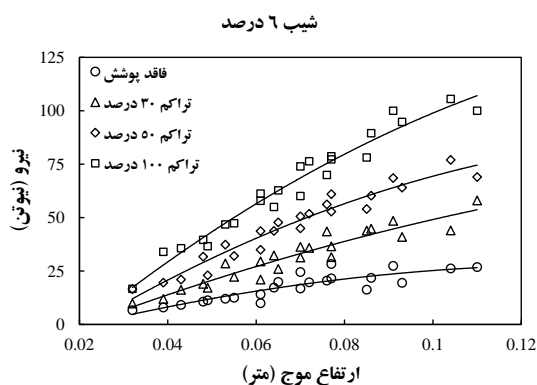
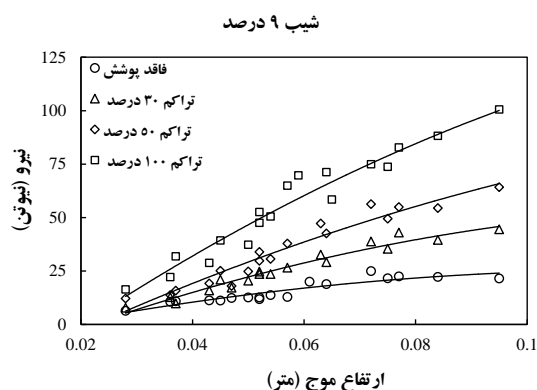
با توجه به شکل (۴) تأثیر تراکم پوشش بر میزان جذب نیروی موج به‌طور کامل مشخص است به‌طوری‌که با افزایش تراکم میزان جذب نیرو افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به نمودار مشخص گردید که به ازای یک ارتفاع موج، همواره جنگل با تراکم پوشش

درختی بیان این نکته حائز اهمیت می‌باشد که متناسب با افزایش ارتفاع موج نیروی بیشتری توسط موج ایجاد می‌گردد و در این حالت (با افزایش ارتفاع موج) تأثیر پوشش در کاهش نیروی موج و جذب نیروی آن آشکارتر گردیده، مقدار کمی آن نیز افزایش پیدا می‌کند زیرا موج ایجاد شده با ارتفاع بیشتر، تعداد درخت و سطح برخورد وسیع‌تری را دربر گرفته است. همچنین مطالعات (Dean et al., 1991) نشان داد که 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 مواجه می‌شوند، بنابراین با توجه به پروفیل توزیع سرعت امواج، اثر افزایش ارتفاع موج در داشتن سرعت بیشتر در لایه‌های بالاتر از یک طرف، و همچنین ناشکنا بودن امواج که باعث حفظ شکل موج و در نتیجه حفظ این سرعت بالا در هنگام برخورد به پوشش گیاهی می‌گردد از طرف دیگر، باعث می‌شود تا نیروی بیشتری از امواج با ارتفاع بیشتر جذب شود.

نمی‌کند، به‌عنوان نمونه با دو برابر شدن تراکم (از تراکم ۵۰ درصد به ۱۰۰ درصد) میزان نیروی جذب شده از امواج افزایش یافته، ولی دو برابر نشده است که این موضوع مؤید این مطلب می‌باشد که تأثیر ردیف‌های جلویی پوشش بر استهلاک امواج بیشتر از ردیف‌های عقب‌تر می‌باشد در نتیجه افزایش تراکم تا حد مشخصی که حد بهینه می‌باشد، می‌تواند توجه داشته باشد، چراکه با افزایش بیش از حد تراکم تأثیر ردیف‌های عقبی پوشش بر استهلاک امواج عملاً بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین با توجه به این نمودار کارایی پوشش با مقایسه نتایج در شرایط بدون پوشش (تأثیر توپوگرافی) و با پوشش به‌خوبی آشکار است. به‌عنوان نمونه با میانگین‌گیری از میزان نیروی جذب شده توسط هر تراکم و به‌ازای تمامی شیب‌ها، و مقایسه آن با میانگین نیروی جذب شده در حالت شاهد در تمامی شیب‌ها مشخص شد که وجود پوشش گیاهی با تراکم‌های ۱۰۰، ۵۰ و ۳۰ درصد، به‌طور متوسط، نیروی مخرب موج را به‌ترتیب ۷۵، ۶۰/۷۷ و ۴۹/۶۷ درصد نسبت به حالت بدون پوشش کاهش داده است. در خصوص تغییرات ارتفاع موج بر عملکرد پوشش



شکل (۴): نیروی موج جذب شده در ارتفاع‌های مختلف موج ورودی با و بدون پوشش گیاهی



ادامه شکل (۴): نیروی موج جذب شده در ارتفاع‌های مختلف موج ورودی با و بدون پوشش گیاهی

کم عمق^۲ شبیه‌سازی شده است و بنابر نظر (Sorensen, 2006) در تئوری امواج آب کم عمق ترم شتاب محلی (du/dt) قابل صرف نظر کردن است که در نتیجه آن می‌توان از ترم اینرسی که همان شتاب محلی می‌باشد صرف نظر کرد. بنابراین رابطه موريسون برای این مطالعه را می‌توان به صورت معادله (۶) خلاصه کرد.

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

مطالعه آزمایشگاهی (Hirashi et al., 2003) نشان داد که اختلاف فشار طرفین کمر بند سبز عمدتاً ناشی از مقاومت درگ بوده، که تأییدی بر همین نکته می‌باشد. بنابراین می‌توان ضریب درگ را به صورت رابطه (۷) محاسبه نمود.

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

که در آن F : نیروی مستهلک شده موج، ρ : دانسیته جرمی سیال، U : سرعت انتشار موج و A_f : سطح شاخ و برگ جاذب نیرو می‌باشد. جهت محاسبه ضریب درگ با استفاده از رابطه (۷) می‌بایست مقدار واقعی نیرو (F) یا طی آزمایش‌هایی به دست آید و یا از طریق اندازه‌گیری مستقیم داده‌های

ضریب درگ

حرکت اجزاء آب در یک موج، جریان ناپایدار پیوسته می‌باشد. وقتی این جریان ناپایدار به ساختار و یا به هر مانع طبیعی برخورد می‌کند یک نیروی روی بدنه، به علت سرعت جریان و شتاب جریان اعمال می‌کند. بر این اساس مهم‌ترین نیروهای وارده از طرف موج بر موانع مقابل آن‌ها، نیروهای هیدرو دینامیکی می‌باشند که به صورت مجموع دو نیروی درگ و اینرسی در رابطه موريسون به صورت رابطه (۴) در نظر گرفته می‌شوند. (نامدار و همکاران، ۲۰۱۰)

$$F_T = F_D + F_I \quad (4)$$

$$F_T = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 + \rho C_m \nabla \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (5)$$

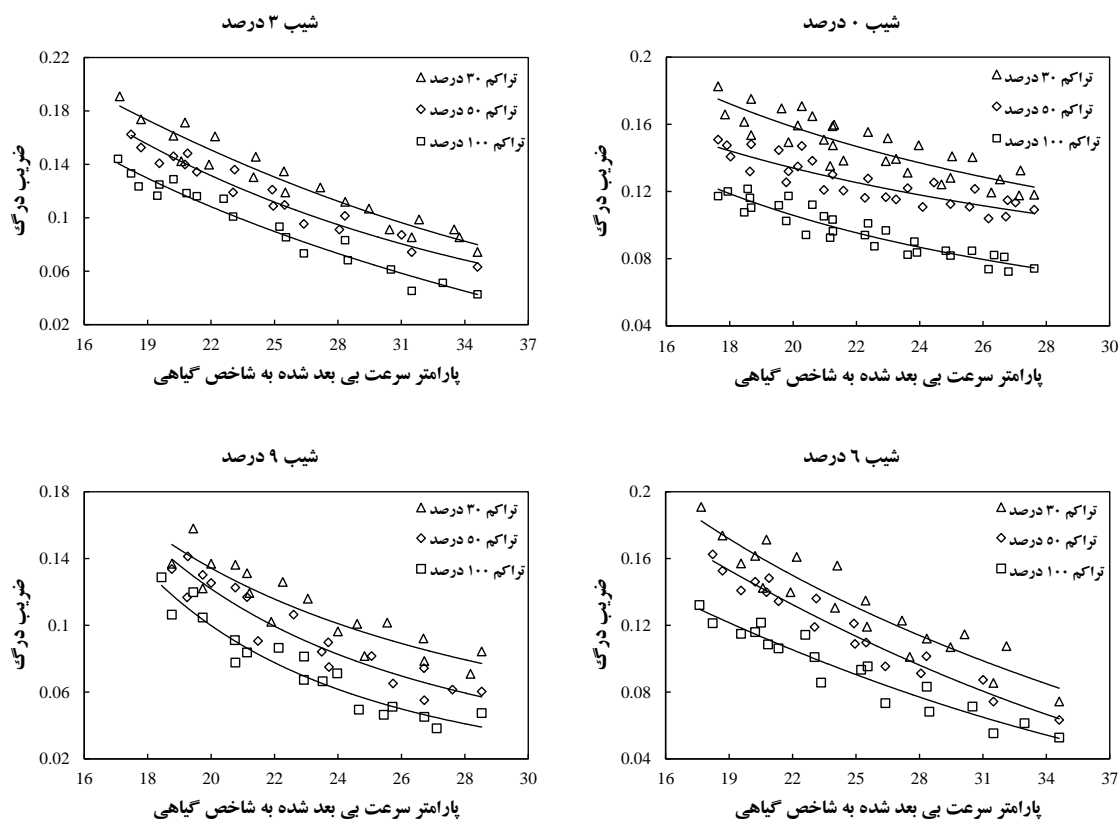
اما نکته‌ای که در معادله موريسون باید مورد توجه قرار گیرد، این است که ترم اینرسی از نظر اصول هیدرو دینامیکی بین جریان و موانع زمانی حائز اهمیت است که موج در شرایط آب عمیق^۱ با تیزی موج بسیار کم باشد ولی با توجه به نوع و ماهیت امواج منفرد سونامی که طول موج قابل ملاحظه‌ای نسبت به عمق آب دارند، آزمایش‌های حاضر با توجه به عمق نسبی آن‌ها که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، در شرایط آب

² Shallow water

¹ Deep water

آزمایش‌های متعدد به‌دست آمده است که نتایج آن در شکل‌های (۵) و (۶) آورده شده است.

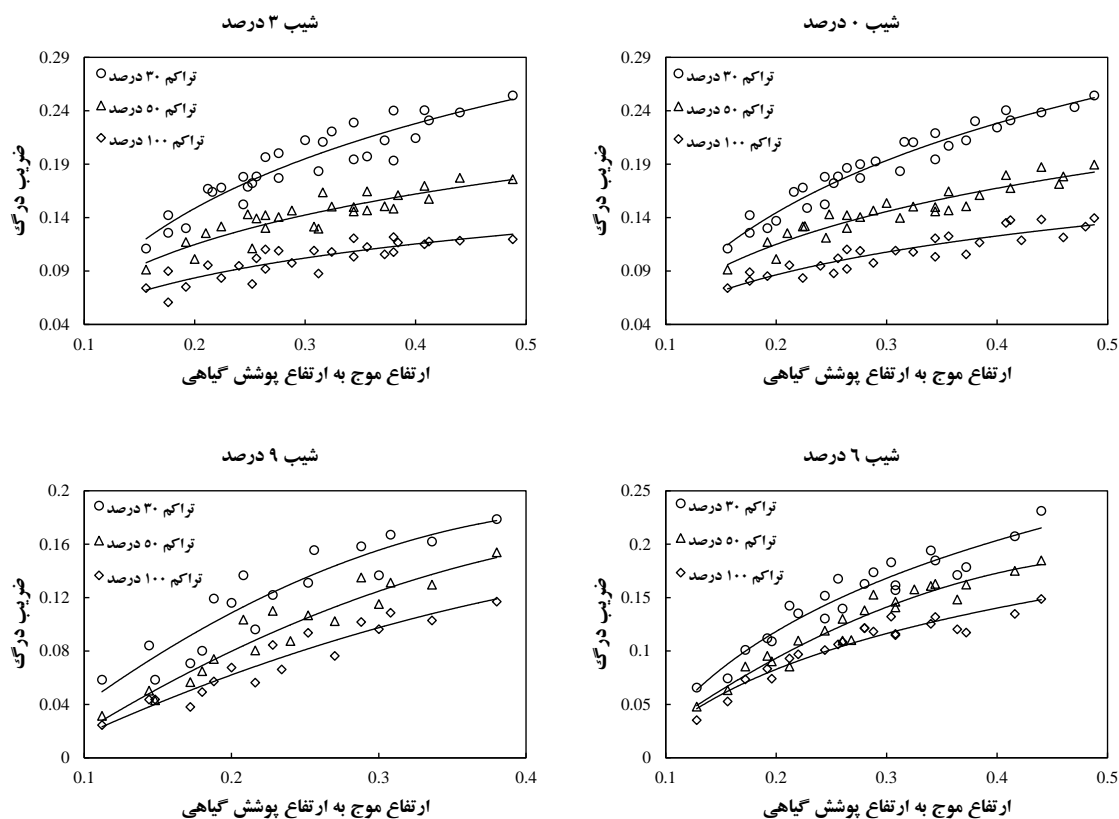
صحرائی، که در اینجا به طریق ضبط داده‌های آزمایشگاهی توسط حسگر بار دینامیک و با



شکل (۵): روند تغییرات ضریب درگ با تغییرات پارامتر سرعت بی بعد شده به شاخص گیاهی در تراکم‌های متفاوت

سرعت از سطح آب به سمت بستر با کاهش در مقدار سرعت مواجه می‌شوند، بنابراین ضریب درگ در راستای عمق امواج روند یکسانی ندارند. همچنین با توجه به نمودار مشخص شد که با افزایش تراکم تاج‌پوشش مقدار ضریب درگ کاهش می‌یابد که روند تغییرات ضریب درگ با تغییر ارتفاع امواج و تراکم تاج‌پوشش با رسم شکل (۶) بررسی شده است.

در شکل (۵) به‌علت ثابت بودن مقدار شاخص گیاهی در آزمایش‌های انجام شده، روند تغییرات ضریب درگ با سرعت جریان بررسی شده است. همان‌گونه که مشخص است این تغییرات بر اساس رابطه (۷) و منطبق بر واقعیت می‌باشد چراکه با افزایش سرعت، مقدار ضریب درگ کاهش یافته است. همان‌طور که گفته شد، بالاترین مقدار سرعت در نزدیکی تاج موج در سطح آب اتفاق می‌افتد و خطوط



شکل (۶): روند تغییرات ضریب درگ در مقابل پارامتر ارتفاع موج به ارتفاع پوشش در تراکم‌های متفاوت

دارد، و به علت افزایش بیشتر نیروی درگ نسبت به افزایش سطح برخورد و سرعت موج، تأثیر نیرو غالب گردیده و در نهایت باعث افزایش ضریب درگ در هر تراکم می‌گردد. نتایج مقدماتی توسط (Cavallaro et al., 2010) نیز افزایش میرایی موج با افزایش ارتفاع موج ورودی را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نمودار مشخص گردید که به ازای یک مقدار ثابت از نسبت ارتفاع موج به ارتفاع پوشش، مقدار ضریب درگ برای الگوهای متراکم‌تر کمتر از دیگر الگوها با تراکم کمتر شده است، چرا که: ۱- در یک ارتفاع موج ثابت (با توجه به ثابت بودن ارتفاع پوشش در آزمایش‌های انجام شده) با افزایش تراکم به دلیل قرار گرفتن تعداد درخت و ردیف‌های بیشتری از پوشش در مقابل موج نیروی بیشتری از موج جذب گردیده اما نرخ افزایش جذب نیروی موج نسبت به نرخ افزایش سطح برخورد در تراکم‌ها در مقایسه با یکدیگر مقدار کمتری را داشته و باعث کاهش ضریب

اثر ارتفاع موج بر ضریب درگ در تراکم‌های متفاوت

با توجه به شکل (۶) با افزایش نسبت ارتفاع موج به ارتفاع پوشش مقدار ضریب درگ به عنوان یکی از خواص مهم بیومکانیکی پوشش در مقابل امواج برای هر تراکم افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش این نسبت و با توجه به ثابت بودن ارتفاع پوشش در آزمایش‌های انجام شده، موج با ارتفاع بیشتری به پوشش برخورد می‌کند. برخورد موج با ارتفاع بیشتر به پوشش باعث افزایش سطح برخورد و به تبع آن افزایش نیروی درگ می‌گردد. همچنین، همان‌طور که گفته شد بالاترین مقدار سرعت در نزدیکی تاج موج و در سطح آب اتفاق می‌افتد، بنابراین با افزایش ارتفاع موج سرعت موج ورودی نیز افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه به فرمول درگ و اینکه ضریب درگ در این فرمول با نیرو رابطه مستقیم و با سطح برخورد و سرعت موج رابطه عکس

داده‌های محاسبه شده از طریق معادله (۸) از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد به طوری که ضریب تبیین بین داده‌های ثبت شده و محاسبه‌ای برابر با ۰/۹۱ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، چند جنبه از عمل تضعیف موج توسط پوشش گیاهی، هم‌چون تأثیر پارامترهای موج ورودی از جمله ارتفاع و سرعت موج، حالات مختلف تراکم و مقایسه آن‌ها با حالت بدون تراکم و میزان جذب نیروی موج توسط پوشش گیاهی بررسی شده است. نتایج نشان داد که:

- به ازای یک ارتفاع موج همواره الگوی متراکم‌تر برای تمامی شیب‌ها، نیروی بیشتری را از موج جذب کرده است، به طوری که در بیشترین مورد ۷۶/۴ درصد بیشتر از حالت شاهد جذب کرده است.

- نیروی مستهلک شده از امواج در تراکم ۱۰۰ درصد به‌طور متوسط معادل ۷۵ درصد، در تراکم ۵۰ درصد به‌طور متوسط معادل ۶۰/۷۷ درصد و در تراکم ۳۰ درصد به‌طور متوسط معادل ۴۹/۶۷ درصد بیشتر از شرایط بدون پوشش می‌باشد.

- بیشترین نرخ تغییرات نیروی جذب شده موج توسط پوشش گیاهی در اثر افزایش تراکم، در شیب ۶ درصد بین دو تراکم ۵۰ و ۱۰۰ درصد، معادل ۳۹/۹۶ درصد در مقایسه با یکدیگر ثبت گردید، یعنی با افزایش تراکم در این حالت، عامل کاهنده نیرو رشد ۳۹/۹۶ درصدی را از خود نشان داده است.

- روند مدل کردن درخت نشان داد که مقاومت هیدرولیکی درخت، متأثر از میزان نیروی موج جذب شده، سطح برخورد موج با پوشش و سرعت موج است. براین اساس با کاهش تراکم پوشش، میزان ضریب درگ به‌طور متوسط ۱۹/۴۲ درصد در مقایسه با یکدیگر افزایش یافته است.

درگ با افزایش تراکم شده است. ۲- به طور کلی بدلیل قرار گرفتن درختان پشت سرهم و در نتیجه قرار گرفتن درختان ردیف عقب‌تر در ناحیه ضعیف شدگی فشار^۱ درختان ردیف جلویی، از میزان ضریب درگ این درختان در ردیف‌های عقب کاسته شده است، یعنی تأثیر ردیف‌های انتهایی بر میزان ضریب درگ کل کمتر از ردیف‌های جلویی پوشش است و هر چه فاصله درختان از هم کمتر شده (تراکم بیشتر شده) میزان کاهش ضریب درگ در ردیف‌های عقب پوشش بیشتر شده است. (Nepf, 1999) نشان داد که ضریب درگ با افزایش تراکم ساقه به‌دلیل ایجاد ناحیه سکون در بین پوشش کاهش می‌یابد. ناحیه سکون عامل کنش و واکنش بین ساقه‌ها در بالادست و پایین‌دست است که به موجب آن خلأ ایجاد شده در پشت ساقه (بالادست) باعث کاهش ضریب درگ در ساقه‌های انتهایی می‌گردد. به طور کلی مجموع دلایل (۱) و (۲) باعث شد تا مقدار ضریب درگ برای تراکم ۳۰ درصد بیشتر از تراکم‌های ۵۰ و ۱۰۰ درصد و برای تراکم ۵۰ درصد بیشتر از تراکم ۱۰۰ درصد شود. پس در تعیین فاصله بین درختان صرفاً داشتن تراکم بیشتر منجر به حالت بهینه در کارایی موج نمی‌شود و برای رسیدن به بهترین حالت باید تمام این عوامل در کنار همدیگر بررسی شوند.

معادله ضریب درگ

به‌منظور ارزیابی نحوه اثر پارامترهای بی بعد بدست آمده در آنالیز ابعادی بر روی نحوه تغییرات ضریب درگ، ضرایب این پارامترها در معادله (۲) بر اساس داده‌های ثبت شده و انجام تحلیل ریاضی در نرم‌افزار SPSS، مشخص گردید. معادله (۸) تأثیر پارامترهای مورد آزمایش در مقدار ضریب درگ را نشان می‌دهد.

$$Cd = -10.7 \left(\frac{U}{\sqrt{\frac{gE}{\rho}}} \right)^{0.1} - 0.3 \left(\frac{H}{d} \right)^{0.3} - 5(D)^{0.1} + 0.01(s)^{0.5} \quad (8)$$

¹ Wake

تقدیر و تشکر

بدین وسیله، از دانشگاه شهیدچمران اهواز، به پاس تهیه امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و حمایت و تأمین منابع مالی جهت انجام این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- حیدرزاده، م.، م. دولتشاهی، ن. حاجی زاده ذاکر و م. مختاری. ۱۳۸۶. بررسی خطر سونامی در سواحل جنوبی ایران در حاشیه اقیانوس هند، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده فنی - مهندسی عمران لشکرآرا، ب.، ۱۳۸۸. تعیین تنش برشی در کانال‌های مستطیلی با استفاده از روش‌های ممنتوم و انرژی، رساله دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- لشکرآرا، ب. و م. فتحی‌مقدم. ۱۳۹۳. تحلیل تنش برشی در کانال‌های روباز با مقطع مستطیلی به روش تعادل نیرو، نشریه هیدرولیک، ۹(۳): ۳۳-۴۴.
- راست‌گفتار، ا.، م. اکبرپور جنت، و. چگینی و م. رستمی. ۱۳۹۱. بررسی آب‌گرفتگی خلیج چابهار در اثر سونامی ناحیه‌ی فرورو مکران، دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران، ۲۹ آبان ماه.
- Cavallaro, L., C. L. Re, G. Paratore, A. Viviano, and E. Foti. 2010. Response of Posidonia oceanic to wave motion in shallow waters: Preliminary experimental results. Proceedings of the 32nd
- Chatenoux, B. and P. Peduzzi. 2005. Analysis of the role of bathymetry and other environmental parameters in the impacts from the 2004 Indian Ocean Tsunami, UNEP/GRID-Europe, 25 pp.
- Dahdouh-Guebas, F., L. P. Jayatissa, D. Di Nitto, J. O. Bosire, D. Lo Seen, and N. Koedam. 2005. How effective were mangroves as a defense against the recent tsunamis, Cur. biol. 15(12), 443-447,
- Dean, R. G., and R. A. Dalrymple. 1991. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist. World Scientific Publishing. Singapore.
- Esteban, M., D. Nguyen. 2008. Analysis of rubble mound foundation failure of a caisson breakwater subjected to tsunami attack. 18th Int Offshore and Polar Engineering Conference, Vancouver.
- Evangelista, S., M. S., Altinakar, C., Di Cristo, and A. Leopardi. 2013. Simulation of dam break on movable beds using a multi-stage centered scheme. International Journal of Sediment Research, 28, 269-284.
- Fathi-Moghadam., M. 1997. Momentum absorption in non-rigid, non-submerged, tall vegetation along rivers. University of Waterloo, Canada, PhD. Thesis
- Geist, E. L., V. V. Titov, and C. E. Synolakis. 2006. "Tsunami: wave of change." Scientific American, January 2006, PP. 56-63.
- 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
- Husrin, S. and H. Oumeraci. 2009. Parameterization of coastal forest vegetation and hydraulic resistance coefficients for tsunami modelling, Proceedings of the 4th Annual International Workshop and Expo on Sumatra Tsunami Disaster and Recovery, Banda Aceh, Indonesia, 78-86.

- Husrin, S., A. Strusinska, and H. Oumeraci. 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Earth Planets Space Journal*. 64: 973- 989.
- Imai, K. and H. Matsutomi. 2005. Fluid force on vegetation due to the tsunami flow on sand spit, in *Tsunamis: Case Studies and Recent Developments*, edited by K. Satake, 343 pp, Springer, The Netherlands.
- Istiyanto, D. C., K. S. Utomo, and Suranto, Pengaruh Rumpun Bakau Terhadap Perambatan Tsunami di Pantai. 2003, *Proceeding of Reducing the Impact of Tsunami Seminar*, BPPT JICA, Yogyakarta, Indonesia, 316–326.
- Mascarenhas, A., S.Jayakumar, 2008. An environmental perspective of the post tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests. *J. Env. Management* 89(1), 24-34.
- 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.
- Nakagawa, H., S., Nakamura, and K. Ichihashi. 1969. Generation of a hydraulic bore due to the breaking of a dam (1). *Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute*, 19(2),–17.
- Namdar, A., A. Nusrath. 2010. Tsunami numerical modeling and mitigation. *Journal of Frattura Integrità Strutturale* 12, 57-62.
- Nepf, H.M. 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Research*. 35(2): 479-489.
- Nioklas, K. J., 1992, “PLANT BIOMECHANICS: An Engineering Approach to Plant Form and Function”, The University of Chicago Press, Chicago & London, 607p.
- Ratnasooriya, S. P., S. S. L, Samarawickrama, Hettiarachchi, Banadara, R. P. S. S. and N. Tanaka. 2008. Mitigation of tsunami by coastal vegetation. *Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 13-19.
- Satake, K. and Y, Tanioka. 1999. Source of Tsunami and Tsunami genic earthquakes in subduction zones. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 154, PP. 467-483.
- Soares-Frazao, S., and Y. Zech. 2002. Undular bores and secondary waves – experiments and hybrid finite-volume modelling. *Journal of Hydraulic Research*, 40(1), 33–43.
- Sorensen, R.M. 2006. *Basic Coastal Engineering*. Springer Science. New York.
- Watts P. 2004. Probabilistic predictions of landslide tsunamis off Southern California; *Marine Geology*. Vol. 203, Pages 281-301.
- Yamamoto, Y., H., Takanashi, S., Hettiarachchi, and S. Samarawickrama, 2006. Verification of the destruction mechanism of structures in Sri Lanka and Thailand due to the Indian Ocean tsunami. *Coastal Eng. J.* 48 (2), 117–145.
- Yanagisawa, H., S. Koshimura, K. Goto, T. Miyagi, F. Imamura, A. Ruangrassamee, and C. Tanavud. 2009. The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis, *Estuar .Coast. Self Sci.*, 81, 27–37.
- Yeh, H., 2007. Design tsunami forces for onshore structures. *J. Disaster Res.* 2 (6), 531–536.
- Yim, S.C., Yuk, D., Panizzo, A., Risio, M.D., Liu, P.L.-F. Numerical simulations of wave generation by a vertical plunger using RANS and SPH models. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 134 (3), 143–159.

Effect of coastal vegetation on attenuation of non-breaking solitary wave force in sloping coast lines

Mojtaba zarei¹, Manoochehr fathi-moghadam², Leila davoodi³

Abstract

Wave attack is the main source of irreparable damages to the sea coast line. The coastal protection techniques are now improved from structural protection to biological ones. This includes plantation of trees and development of vegetation canopy (called green belt) along the shorelines and protection of coastal structures against the waves created by tsunami. For this, the application of green belt has been studied and effect of vegetation density and wave height on wave force is evaluated for waves in broken condition. Experiments were conducted in a flume with 8.3m length, 0.8m width, and 0.55m height. Experimental variables include four bed slopes, four vegetation densities, and 110 wave heights. The results show that absorption of wave force increase with increase of wave height and density of vegetation. At the highest vegetation density the wave force effect was reduced by about 75% compared to the case without vegetation.

Key words: Non-breaking wave, Tsunami, Drag coefficient, Vegetation density, Green belt.

بررسی تأثیر شیب خاک و شدت بارندگی بر انتقال محلول با استفاده از

مطالعه آزمایشگاهی و مدل HYDRUS-2D

¹ MSc. Student, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, mojtabazarei69@gmail.com

² Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, fathi49@gmail.com
(Corresponding Author)

³ P.h.D Student, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, Layla.davoodi@gmail.com