

تأثیر پوشش گیاهی بر میزان ضریب کشش گروهی درختان و مقاومت پوشش در مقابل امواج ساحلی

الهام قنبری عدیوی^{۱*} و منوچهر فتحی مقدم^۲

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری سازه های آبی - دانشگاه شهید چمران اهواز Elhamgh44@gmail.com

^۲ - استاد - عضو هیئت علمی گروه سازه های آبی - دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۰

چکیده

در این پژوهش به منظور استهلاک انرژی ناشی از امواج در سواحل رودخانه و یا دریا امکان استفاده از کمربند سبز درختی به جای سیستم سخت مانند موج شکن که هزینه زیادی در بر دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش ها به صورت دوبعدی در کانال موج، برای ارزیابی تأثیر پوشش بر کاهش اثر امواج دریا انجام شد. ساقه های پلاستیکی بدون انعطاف با قطر ۱/۵ و ۲ سانتی متر و در شرایط غیر مستغرق در قسمت ساحلی کانال به کار گرفته شد. آزمایش ها با چیدمان مثلثی با فواصل ۵ × ۵ و ۱۰ × ۱۰ سانتی متر، سه حالت عرض پوشش ۱۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی متر در پنج شیب مختلف برای ساحل شامل شیب های ۰، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد و پنج ارتفاع موج ۱/۵، ۳، ۴، ۶ و ۸ سانتی متر انجام گردید که در مجموع با حالت بدون پوشش ۳۲۵ حالت مختلف بررسی شد. نیروی ناشی از موج بر بدنه ساحل برای اولین بار با استفاده از روش اندازه گیری مستقیم به کمک نیروسنج الکترونیکی (لودسل) نصب شده در زیر قسمت متحرک فلوم، برآورد گردیده. نتایج تجربی نشان داد که کمربند سبز در کاهش اثر مخرب امواج از طریق جذب نیروی مخرب موج در قالب نیروی کشش بر روی درختان، تأثیر به سزایی داشته است و همچنین تأثیر عرض پوشش مقابل جریان بر میزان ضریب کشش مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت رابطه تجربی برای بررسی میزان این تأثیر پیشنهاد شده است.

کلیدواژه ها: کمربند سبز، ساحل، نیرو، موج.

Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves

E. Ghanbari Adivi^{*1} and M. Fathi Moghadam²

^{1*} - Ph.D. Graduate, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz .

² - Professor, Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz.

Received: 11 March 2014

Accepted: 8 June 2014

Abstract

Effect of the shore green belt on reduction of wave height and energy of the attacking waves is studied. Experiments are conducted for two patterns, triangular spaced 5 × 5 and 10 × 10 cm, 3 width of 10, 30 and 40 cm, 5 shore slopes of 0, 3, 5, 7 and 10% and 5 wave heights of 1/5, 3, 4, 6 and 8 cm. In total, 325 different cases were examined. Dynamic pressure was measured at several points of the shore model by pressures transducer. The wave force absorbed by the green belt was measured directly by a system of load cell. Results showed a considerable effect of green belt on reduction of wave height and energy. For all of shore slopes, the maximum of momentum absorption and wave height reduction was in 5×5 pattern and width of 40. The force absorption for spaced 5 × 5 was more than 10 × 10. The average rate of force absorption, between 5 × 5 and 10 × 10, was 1/3.

Keyword: Force, Green belt, shore, Wave.

مقدمه

از جمله روش‌های ساده و در بسیاری موارد اقتصادی برای حفاظت بستر در مقابل فرسایش و آبستگي در ساحل دریا، استفاده از پوشش سبز درختی است. تاکنون در زمینه تعیین میزان تأثیر پوشش درختی بر کاهش نیروی مخرب امواج و بررسی الگوی پوشش و تأثیر آن بر ضریب کشش کمر بند سبز مطالعه‌ای صورت نگرفته است. همان‌اندک مطالعات نیز بیشتر به صورت عددی انجام شده است. از این‌رو در این مطالعه به اندرکنش امواج و کمر بند سبز با استفاده از یک مدل فیزیکی پرداخته شده است.

مطالعه راتناسوریا و همکاران^۱ (۲۰۰۸) به صورت آزمایشگاهی با ساقه‌های درختان، برای شیب‌های متفاوت ساحل و عمق آب پشت دریچه که برداشت ناگهانی آن سونامی را تولید می‌کند، در فلومی به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع دیواره ۳۰ سانتی‌متر، دو آرایش چینش منظم و زیگزاگ ساقه‌ها، زوایای شیب ساحل ۴/۵، ۸/۹ و ۱۳/۶ درجه و ارتفاع آب پشت دریچه ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر انجام و مسافت سیل‌گیری در دو حالت با و بدون پوشش اندازه‌گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که میزان کاهش آب‌گرفتگی در مطالعات آزمایشگاهی بین دو حالت مذکور به بالای ۴۰ درصد رسید که اختلاف معنی‌داری است. مطالعات انجام‌گرفته توسط ماسکارنهاس و جایاکمار^۲ (۲۰۰۸) نشان می‌دهد که در امتداد زیادی از ساحل تاملیل-نادو واقع در جنوب شرق شبه‌جزیره هند، استفاده از درختان نخل نارگیل به منظور عامل تضعیف‌کننده امواج و اثر مخرب ناشی از آن نتیجه مناسبی داده است. کاتریسان و راجندران^۳ (۲۰۰۵) نقش غالب پوشش گیاهی در کاهش پهنه سیلاب ورودی به ساحل ناشی از سونامی سال ۲۰۰۴ در اقیانوس هند و تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش پیشروی امواج سونامی بر روی ساحل را گزارش نموده‌اند. مطالعه عددی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی توسط کوتیجا و اردوران^۴ (۲۰۰۳) منجر به تدوین و فرموله کردن کشش ناشی از پوشش گیاهی گردید. تئوری تیر کنسولی برای محاسبه میزان انحراف و کشش ناشی از پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته شده است. کوتیجا و هنگ^۵ (۱۹۹۶) یک مدل عددی به همراه یک مدل توصیفی از پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر را به کار بردند که در آن میزان استحکام خمشی گیاهان با استفاده از نظریه پایه کانتیلور مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مطالعات تجربی و آزمایشگاهی میرایی انرژی موج اصابت شده در جنگل‌های ساحلی با پوشش درختی مانگرو که توسط حمزه و همکاران^۶ (۱۹۹۹) و

همچنین هارادا و امامورا^۷ (۲۰۰۷) انجام شده است با هم مشابه می‌باشند. مطالعات تجربی آزمایشگاهی، فروکاوا و همکاران^۸ (۱۹۹۷) نشان داد که اتلاف انرژی موج بستگی به میزان تراکم پوشش جنگل (شامل چیدمان و طول پوشش) و قطر تنه درخت دارد. کاون و فتحی مقدم^۹ (۲۰۰۰) به بررسی تأثیر سرعت جریان بر ضریب مقاومت کشش پرداختند. مطالعات آن‌ها کاهش ضریب کشش را با افزایش سرعت جریان نشان داد. نامدار و نصرت^{۱۰} (۲۰۱۰) به بررسی عددی و مدل‌سازی ریاضی پوشش گیاهی در ساحل پرداخته‌اند. در این بررسی با استفاده از رابطه موريسون در محاسبه نیروی کشش، نیروی موج وارد بر ساحل و سازه‌های ساحلی برآورد شده است.

نیروی کشش

دو روش در درک نیروی موج اعمال‌شده به ساختار و یا به هر مانع طبیعی وجود دارد. یکی استفاده از تئوری موج است و دوم با استفاده از معادله‌های اساسی دینامیک سیال است (نامدار و نصرت ۲۰۱۰). رابطه موريسون^{۱۱} می‌تواند در برآورد نیروی موج وارد شده بر موانع موجود در ساحل استفاده شود. از این رابطه در برآورد میزان نیروی وارد شده بر پوشش در ساحل در آزمایش‌های پژوهش حاضر، استفاده گردیده است.

رابطه موريسون

$$F = 0.5 \rho C_d A_p |U|U + \rho C_m \nabla \left(\frac{dU}{dt} \right) \quad (1)$$

p: چگالی آب، Cd: ضریب کشش، Ap: سطح مانع روبروی جریان، U: سرعت موج تابیده شده به مانع، Cm: ضریب اینرسی، v: حجم مانع رو به روی جریان، $\frac{dU}{dt}$: تغییرات سرعت با زمان است. بررسی پیشینه تحقیقات چگونگی عملکرد پوشش گیاهی در مقابل امواج در ساحل نشان می‌دهد که مطالعات مربوط به نیروی وارده بر ساحل و اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر در دو حالت با پوشش و بدون پوشش درختی، تخمین ضریب کشش گروهی درختان در شرایط حضور امواج و بررسی پارامترهای مؤثر پوشش بر کاهش انرژی مخرب امواج، اندک می‌باشد به همین دلیل این پژوهش بر روی این جنبه از موضوع متمرکز شده است.

- 1- Ratnasooriya *et al.*
- 2- Mascarenhas and Jayakumar
- 3- Kathiresan and Rajendran
- 4- Kutija and Erduran
- 5- Kutija and Hong
- 6- Hamzah *et al.*

- 7- Harada and Imamura
- 8- Furukawa *et al.*
- 9- Kouwen and Fathi-Moghadam
- 10- Namdar and Nusrath
- 11- Morison

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

خصوصیات موج، پوشش درختی و ساحل بر میزان نیرو، فشار و ارتفاع موج پیش‌رونده روی ساحل تأثیرگذار می‌باشند. پارامترهای مؤثر بر نیروی کشش ناشی از موج وارده به ساحل به صورت زیر است.

$$F_D = f(H, S, cd, h, d, V, w, L_g, L, p, n, g, \rho_w, \mu_w) \quad (2)$$

پارامترهای مؤثر به منظور بررسی تأثیر پوشش بر جذب نیروی کشش ناشی از امواج در ساحل (F) شامل ارتفاع موج (H)، سرعت موج (V)، عمق آب پای ساحل (h)، لزجت دینامیکی آب (μ_w)، چگالی نسبی آب (ρ_w)، شتاب ثقل (g)، قطر درخت (d)، عرض پوشش (W)، طول پوشش (L_g)، فواصل ردیف درختان (L) و شیب ساحل (S) است. با استفاده از روش π باکینگهام در تحلیل ابعادی و انتخاب H، V و ρ_w به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. چیدمان پوشش (P)، در اینجا ثابت و به شکل مثلثی است. طول پوشش (L_g) نیز تمام آزمایش‌ها یکسان انتخاب گردید:

$$f\left(\frac{F_D}{\rho V^2 \cdot n \cdot H \cdot d}, \frac{\rho_w H V}{\mu_w}, \frac{V}{\sqrt{gd}}, \frac{w}{L}, cd, S\right) \quad (3)$$

قابل ذکر است که در اینجا به جای سطح مقطع مقابل جریان از ($H \times n \times d$) استفاده شده که در ادامه با پارامتر A در روابط به کار رفته است. به علت کاملاً متلاطم بودن جریان از تأثیر لزجت صرف‌نظر شده و عدد رینولدز ($Re = \frac{\rho_w V H}{\mu_w}$) از میان پارامترها حذف گردید (رابطه ۴). در این پژوهش از آنجا که به بررسی تأثیر الگو و عرض پوشش در یک الگوی پوشش ثابت، بر میزان نیرو و همچنین بررسی ضریب کشش گروهی پوشش و تغییرات آن با افزایش عرض پوشش پرداخته شده است بقیه پارامترها ثابت فرض شده‌اند. رابطه نهایی مورد بررسی در این پژوهش رابطه (۵) است. در ادامه در جدول (۱) حدود تغییرات پارامترها در آزمایش‌های انجام شده، آورده شده است.

$$\frac{F_D}{\rho V^2 A} = f\left(Fr, S, \frac{W}{L}, cd\right) \quad (4)$$

$$\frac{F_D}{\rho V^2 A} = f(cd) \quad (5)$$

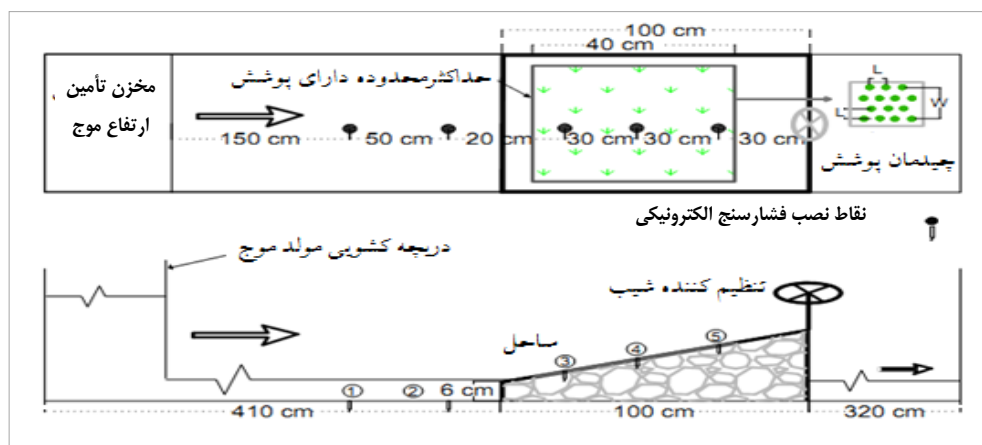
تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردیده است. طول فلوم ۸/۳ متر و ارتفاع دیواره فلوم برابر با ۰/۵۵ متر است. جنس فلوم از آهن بوده و جدارها از صفحات پلاستی گلاس پوشانده شده‌اند. در زیر قسمت لبه چاقویی و متحرک فلوم (محل قرارگیری ساحل) نیروسنج الکترونیکی (لودسل) نصب گردیده است. این نیروسنج پس از واسنجی شدن برای شرایط موجود فلوم، به صورت مستقیم نیروی حاصل از برخورد امواج به ساحل را اندازه‌گیری می‌نماید. عمق آب در هر لحظه با استفاده فشارسنج‌های الکترونیکی در پنج نقطه مختلف برای بررسی و روندیابی موج در میان پوشش ثبت شده است. به منظور ثبت فشار و روند پیشروی سرعت و ارتفاع موج عبوری از میان پوشش سه عدد فشارسنج الکترونیکی در طول ساحل تعبیه گردید. برای اندازه‌گیری ارتفاع و سرعت موج قبل از پوشش نیز دو عدد فشارسنج الکترونیکی در کف فلوم با فاصله ۰/۵ متر تعبیه گردید. ارتفاع موج با استفاده از فشاری که فشارسنج الکترونیکی ثبت نمود، محاسبه گردید. سرعت موج نیز با تقسیم فاصله بین دو فشارسنج الکترونیکی بر مدت زمانی که موج فاصله بین دو فشارسنج الکترونیکی را طی نمود، به دست آمد. لازم به ذکر است که، تولید موج در اینجا مبتنی بر ایجاد اختلاف ارتفاع در طرفین موج‌ساز دریاچه‌ای (صفحه‌ای) و باز کردن ناگهانی دریاچه می‌باشد. این سیستم تولید موج در واقع از حرکت ضربه‌ای کف دریا هنگام وقوع زلزله که منجر به تولید امواج منفرد می‌شود، برگرفته شده است و در هیدرولیک از آن به شکست سد یاد می‌شود. در پاره‌ای از تحقیقات آزمایشگاهی از جمله راتناسوریا و همکاران^۱ (۲۰۰۸) از این سیستم برای تولید موج استفاده شده است. در شکل (۱) فلوم و ساحل به صورت شماتیک نشان داده شده است. در شکل (۲) یکی از موج‌های عبوری ثبت شده از میان پوشش درختی توسط فشارسنج-های الکترونیکی فشار در پنج نقطه مختلف در ساحل در حالت بدون شیب نشان داده شده است. در این شکل میرایی موج عبوری از میان پوشش درختی به وضوح آشکار است. در شکل (۳) نیروی ثبت شده موج‌های عبوری توسط نیروسنج الکترونیکی به ازای عرض‌های مختلف پوشش نشان داده شده است.

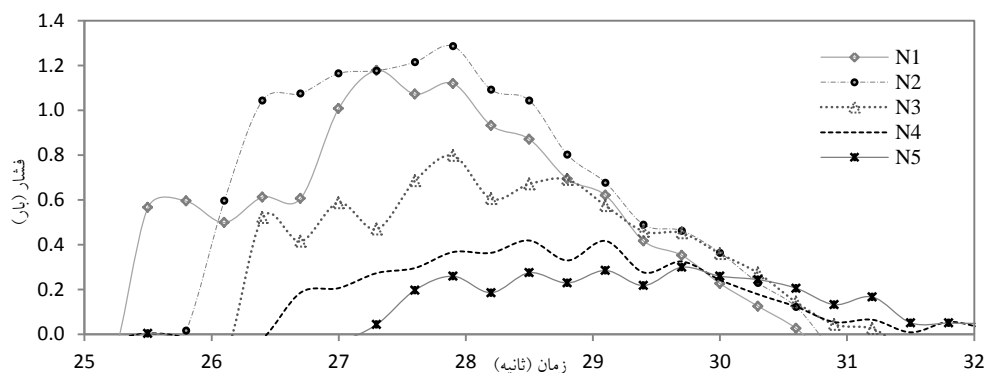
قنبری عدیوی و فتیحی مقدم: تأثیر پوشش گیاهی بر میزان ضریب کشش گروهی درختان...

جدول ۱- معرفی پارامترهای آزمایش و محدوده کاربرد آنها

عرض پوشش درختی (W)، سانتی متر	۱۰، ۳۰، ۴۰
فواصل بین درختها در طول و در عرض (L)، سانتی - متر	۵×۵ و ۱۰×۱۰
تعداد درختها در هر چیدمان (n)	۱۵-۱۳۱
قطر پوشش درختی (d)، سانتی متر	۲ و ۱/۵
عمق اولیه آب در کانال (h)، سانتی متر	۶
شیب ساحل (S)، درصد	۱۰، ۵، ۷، ۰، ۳
الگوی پوشش (P)	مثلی
ارتفاع موج (H)، سانتی متر	۸-۱/۵
سرعت موج (V)، متر بر ثانیه	۱-۱/۸



شکل ۱- فلوم مستطیلی شکل مورد استفاده در آزمایشها

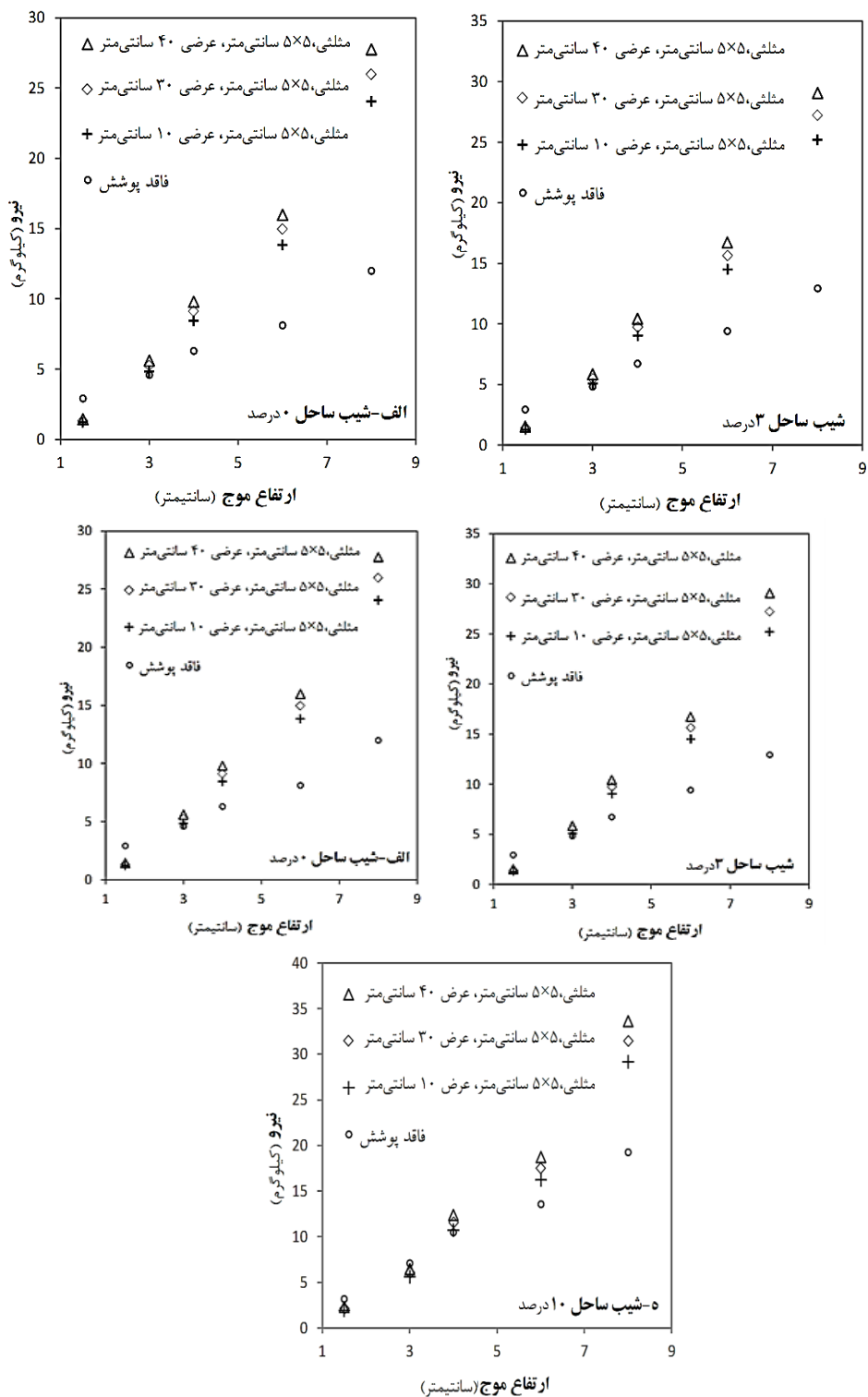


شکل ۲- روند پیشروی موج از میان پوشش، ثبت شده به وسیله پنج عدد فشارسنج الکترونیکی در ساحل در شیب صفر

گردیده است. قابل ذکر است که در اینجا ارتفاع خالص موج با تفکیک از عمق آب پای ساحل مورد نظر است. در شکل‌های (۳) و (۴) نیروهای ثبت شده به ترتیب به ازای فواصل ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی متر ارائه شده است.

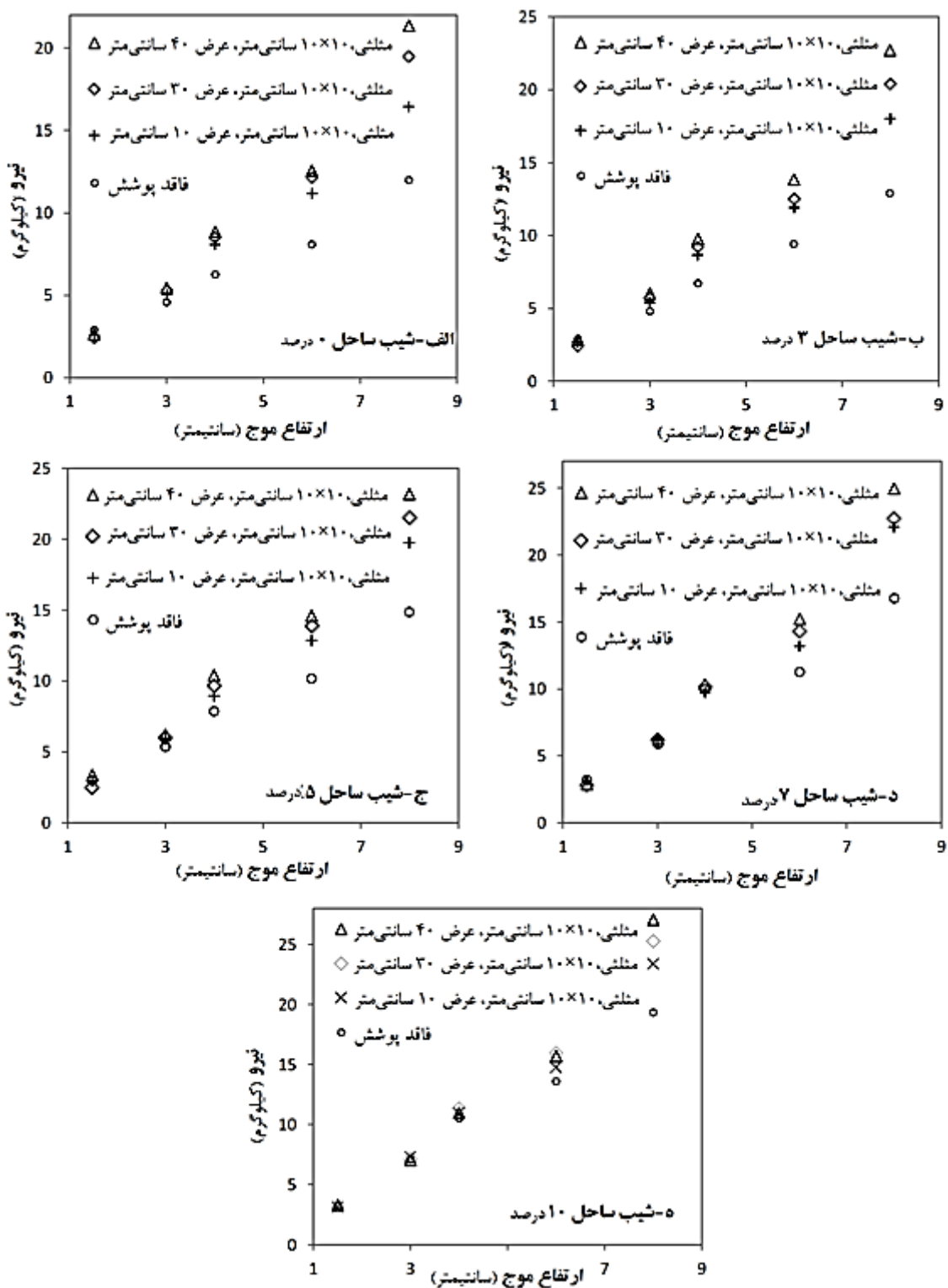
نتایج و بحث

نیروی حاصل از برخورد موج به ساحل و پوشش گیاهی از طریق قسمت متحرک فلوم به حسگر دینامیکی نیرو که در زیر فلوم قرار دارد منتقل شده و بیشترین نیروی وارد شده (برحسب کیلوگرم) ثبت



شکل ۳- نیرو به ازای چیدمان مثلثی با فواصل ۵×۵ متری و طول پوشش‌های مختلف در شیب‌های ساحلی مختلف

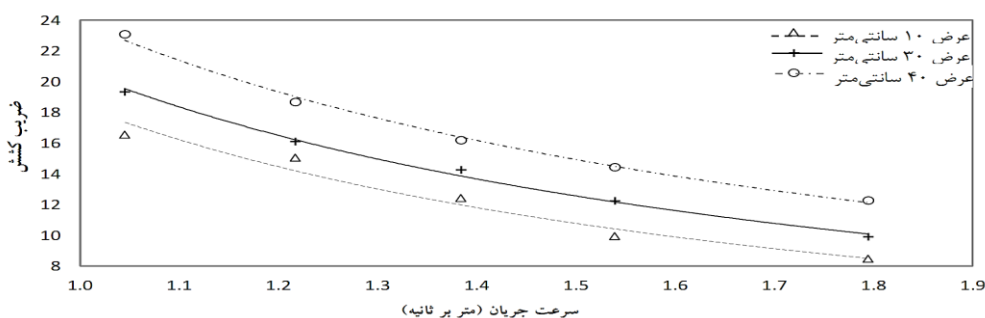
قنبری عدیوی و فتیحی مقدم: تأثیر پوشش گیاهی بر میزان ضریب کشش گروهی درختان...



شکل ۴- نیرو به ازای چیدمان مثلثی با فواصل ۱۰×۱۰ سانتی متر و عرض پوشش های مختلف در سایب های ساحلی مختلف

جدول ۲ - مقایسه نیروی جذب شده (کیلوگرم) از امواج بین حالت ۵×۵ و ۱۰×۱۰ سانتی‌متر

شیب (درصد)	۰	۳	۵	۷	۱۰
۵×۵ سانتی‌متر	۲۷/۷	۲۹	۳۰/۸	۳۲/۱	۳۳/۶
۱۰×۱۰ سانتی‌متر	۲۱/۴	۲۲/۷	۳۲/۲	۲۵	۲۷
نسبت نیروی ۵×۵ سانتی‌متر به نیروی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲



شکل ۵- روند تغییرات ضریب کشش با تغییرات سرعت (در چیدمان ۱۰×۱۰ با شیب ۵ درصد)

سرعت جریان و سطح مقابل جریان را بر میزان این ضریب مقاومتی به وضوح نشان داده است. با داشتن نتایج ثبت شده‌ی نیروی کشش در آزمایشگاه می‌توان با کمک این رابطه ضریب کشش را برآورد نمود.

$$Cd = \frac{2F_D}{\rho A_f v^2} \quad (7)$$

رابطه (۷) ضریب کشش را به صورت کلی برآورد می‌نماید. رابطه ضریب کشش نتیجه مطالعات علمی و کارهای مهندسی گسترده‌ای می‌باشد این رابطه توسط نیکلاس^۱ (۱۹۹۲) و وگل^۲ (۱۹۹۴) ارائه گردید. اساس این معادله بر قانون حرکت نیوتن استوار می‌باشد (وگل ۱۹۹۴). برای بررسی رابطه (۷) در تعیین میزان ضریب کشش، مقادیر نیروی کشش می‌بایست با آزمایش برآورد گردد. به عنوان مقایسه کاون و فتحی مقدم^۳ (۲۰۰۰) و مایهد^۴ (۱۹۷۳) بر اساس کار آزمایشگاهی در تونل باد به تخمین ضریب مقاومت جریان پرداختند. بعضی دیگر از محققین با استفاده از ثبت داده‌های واقعی صحرایی به تخمین ضریب کشش اقدام نمودند که از آن جمله می‌توان به مطالعات رودبارکی و همکاران^۵ (۱۹۹۴) اشاره نمود. در اینجا نیز با استفاده از روش آزمایشگاهی و با اندازه‌گیری مستقیم نیرو به تخمین ضریب کشش بر اساس رابطه (۷) اقدام شده است که نتایج آن در شکل (۵) آورده شده است.

با توجه به شکل (۳) مشخص می‌گردد که با افزایش طول پوشش (تعداد ردیف‌های پوشش) به دلیل اینکه تعداد ردیف‌های پوشش بیشتری در مقابل موج قرار می‌گیرد مقاومت بیشتر گردیده و نیروی بیشتری از موج جذب می‌شود. همچنین متناسب با افزایش ارتفاع موج نیروی بیشتری ایجاد می‌گردد. با افزایش ارتفاع موج فاصله بین داده‌ها بیشتر شده است زیرا موج ایجاد شده با ارتفاع بیشتر، تعداد درخت و سطح برخورد وسیع‌تری را در بر می‌گیرد بنابراین تأثیر چیدمان و طول پوشش بارزتر شده و نرخ تغییرات در میزان نیروی موج جذب شده بیشتر می‌گردد.

با مقایسه شکل‌های (۳) و (۴) مشخص می‌گردد که به ازای حالت‌های مشابه، نیروی جذب شده با فواصل ۵×۵ سانتی‌متر بیشتر از حالت ۱۰×۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. میزان کمی این تغییر نیرو در حدود ۳۰ درصد افزایش در نیروی ۵×۵ سانتی‌متر نسبت به نیروی ۱۰×۱۰ سانتی‌متر در عرض ۴۰ سانتی‌متر ثبت شده است این مقایسه در جدول (۲) آورده شده است. نیروی کشش برای محاسبه نیروی کشش، می‌توان از روش تحلیلی رابطه (۱) استفاده نمود که در اینجا به دلیل فرض جریان شبه ماندگار از تغییرات سرعت با زمان به دلیل ناچیز بودن صرف نظر گردید (هاسرین و همکاران ۲۰۱۲). در نتیجه رابطه (۱) به صورت رابطه (۶) خلاصه گردید:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho Cd. A_p v^2 \quad (6)$$

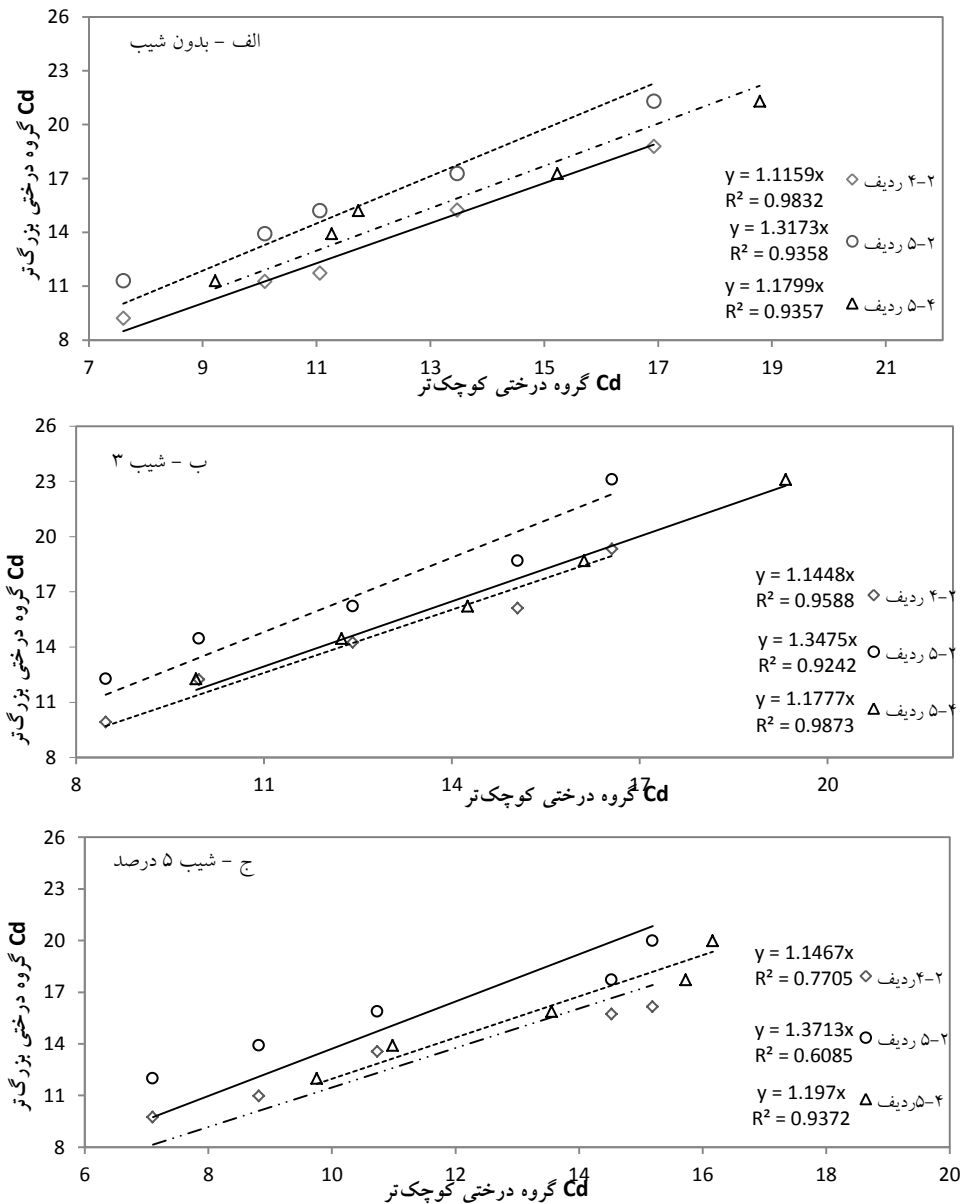
با استفاده از رابطه (۶)، می‌توان ضریب کشش را به صورت رابطه (۷) محاسبه نمود. این رابطه تأثیر پارامترهای مختلف شامل

- 1- Niklas
- 2- Vogel
- 3- Kouwen and Fathi-Moghadam
- 4- Mayhead
- 5- Roodbaraky et al.

قنبری عدیوی و فتیحی مقدم: تأثیر پوشش گیاهی بر میزان ضریب کشتش گروهی درختان...

عرض پوشش و تعداد ردیف پوشش درختی ضریب کشتش گروهی بیشتر گردیده است. در ادامه رابطه‌ای برای تعیین تأثیر افزایش عرض و بزرگتر شدن گروه درختی بر افزایش ضریب کشتش و کمی نمودن میزان این تأثیر، از برازش بین تغییرات ضریب کشتش در عرض‌های مختلف پوشش درختی استخراج شده است. این بررسی در شکل (۶) الف تا ج) نمایش داده شده است.

همان‌طور که از شکل پیداست روند تغییرات ضریب کشتش با سرعت جریان بر اساس رابطه (۷) و منطبق بر واقعیت می‌باشد که این به خوبی صحت نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد. بر این اساس ضریب کشتش با افزایش سرعت جریان کاهش یافته است. به‌طور کلی روند تغییرات ضریب کشتش با سرعت و نحوه‌ی تخمین آن برای یک گروه درختی به‌صورت کلی مشابه روند این تغییرات برای تک درخت می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش



شکل ۶ - تأثیر افزایش عرض (افزایش تعداد ردیف درختی) بر میزان ضریب کشتش گروهی

است. در همه‌ی عرض‌ها میزان نیروی جذب شده در حالت 5×5 سانتی‌متر بیشتر از حالت 10×10 سانتی‌متر بود. نیروی مستهلک شده از امواج در حالت 5×5 سانتی‌متر بطور متوسط $1/3$ برابر نیرو در حالت 10×10 سانتی‌متر برآورد گردید. همچنین با افزایش فواصل از 5×5 سانتی‌متر به 10×10 سانتی‌متر به علت اینکه مقاومت در مقابل جریان کمتر شده است کاهش ارتفاع موج نیز کمتر می‌گردد. با افزایش عرض پوشش نیروی بیشتری از موج توسط درختان مستهلک شده است. نرخ تغییرات نیرو در اثر افزایش عرض، در حالت 10×10 سانتی‌متر بیشتر از حالت 5×5 سانتی‌متر ثبت گردید. بیشترین نرخ تغییرات در حالت 10×10 سانتی‌متر با شیب سه درصد و ارتفاع موج ۸ سانتی‌متر، معادل ۲۶ درصد ثبت گردید؛ یعنی با افزایش عرض در این حالت، عامل کاهنده‌ی نیرو رشد ۲۶ درصدی را از خود نشان داده است. همچنین آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش شیب ساحل تأثیر پوشش درختی در استهلاک نیروی امواج کاهش یافته است. به‌طوریکه در حالت عرض ۴۰ سانتی‌متر و چیدمان 5×5 سانتی‌متر در ساحل بدون شیب (صفر درصد) بیشترین نرخ کاهش نیرو به میزان $2/31$ برابر حالت بدون پوشش که معادل با ۴۳ درصد استهلاک در نیروی موج است، مشاهده گردید. همچنین با اضافه شدن هر ردیف پوشش درختی، به‌طور متوسط ۱۵ درصد به مقادیر ضریب کشش اضافه شده است، در بیشترین تغییرات عرض پوشش، بیشترین مقدار در افزایش ضریب کشش که معادل ۳۷ درصد می‌باشد، برآورد شده است. بیشترین تأثیر پوشش بر ایجاد نیروی کشش و مقاومت در مقابل امواج در ردیف‌های جلویی جریان می‌باشد به طوری که بین ردیف اول پوشش تا ردیف پنجم پوشش حدود ۷۵ درصد کاهش در میزان تأثیر درختان در ایجاد ضریب کشش کل مشاهده شده است.

همان‌طور که از شکل (۶) و روابط برازش داده شده در بالا پیداست در پژوهش حاضر بطور متوسط با اضافه شدن هر ردیف پوشش درختی، ۱۵ درصد به مقادیر ضریب کشش اضافه شده است افزایش ضریب کشش با افزایش عرض پوشش درختی باعث افزایش مقاومت کلی جریان در مقابل امواج گردیده و به استهلاک بیشتر نیروی موج و کاهش انرژی آن در ساحل کمک می‌نماید. در بیشترین افزایش عرض مقایسه شده (از ۲ ردیف به ۵ ردیف) در شکل (۶ ج) بیشترین مقدار در افزایش ضریب کشش که معادل ۳۷ درصد می‌باشد، برآورد شده است.

بیشترین تأثیر پوشش بر ایجاد نیروی کشش و مقاومت در مقابل امواج در ردیف‌های جلویی جریان می‌باشد به طوری که از ضریب کشش ردیف اول به دوم به طور متوسط بین ۱۵ تا ۲۰ درصد و ردیف دوم به سوم بین ۳۰ تا ۴۰ درصد کاسته شده و این روند کم شدن تأثیر ردیف‌های انتهایی بر ضریب کشش کل تا ردیف انتهایی پوشش ادامه دارد به‌طوریکه بین ردیف اول پوشش تا ردیف پنجم پوشش حدود ۷۵ درصد کاهش در میزان تأثیر درختان در ایجاد ضریب کشش کل مشاهده شده است. اما بطور کلی با افزایش عرض پوشش ضریب کشش کل نیز افزایش می‌یابد با این تفاوت تأثیر ردیف‌های انتهایی بر میزان کشش کل کمتر از ردیف‌های جلویی پوشش است.

نتیجه گیری

براساس نتایج، پوشش درختی تأثیر قابل توجهی در کاهش نیروی امواج داشته است. به ازای یک ارتفاع موج، همواره چیدمان متراکم‌تر، نیروی بیشتری را از موج جذب و مستهلک نموده است. به‌طوریکه در حالت عرض ۴۰ سانتی‌متر و چیدمان 5×5 سانتی‌متر به ازای تمام شیب‌ها بیشترین کاهش نیرو و ارتفاع موج مشاهده شده

منابع

- 1- Furukawa, K., Wolanski, E. and H. Mueller. 1997. Currents and sediment transport in mangrove forests. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 44(3): 301-310.
- 2- Hamzah, L., Harada, K. and F. Imamura. 1999. Experimental and numerical study on the effect of mangrove to reduce tsunami. *Tohoku Journal of National Disaster Science*, 35(2): 127-132.
- 3- Harada, K. and F. Imamura. 2007. Experimental study on the resistance by mangrove under unsteady flow. *Proceeding of Asian and Pacific Coastal Engineering Conference*, 24-26 September, Nanjing, China.
- 4- Husrin, S., Strusińska, A. and H. Oumeraci. 2012. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. *Journal of Earth Planets Space*, 64: 973-989.
- 5- Kathiresan, K. and N. Rajendran. 2005. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 67(3): 601-606.

- 6- Kouwen, N., and M. Fathi-Moghadam. 2000. Friction factors for coniferous trees along rivers. *Journal of Hydraulic Engineer*, 126(10):732–740.
- 7- Kutija, V. and K. S. Erduran. 2003. Quasi-three-dimensional numerical model for flow through flexible, rigid, submerged and non-sub merged vegetation. *Journal of Hydro informatics*, 35(3): 189-202.
- 8- Kutija, V. and H. T. M. Hong. 1996. A numerical model for asses-sing the additional resistance to flow introduced by flexible vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 34(1): 99-114.
- 9- 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.
- 10-Mayhead, G. J. 1973. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel Studies of *Agriculture Meteorology*, 12:123–130.
- 11-Namdar, A. and A. Nusrath. 2010. Tsunami numerical modeling and mitigation. *Journal of Frattura ed Integrità Strutturale*, 12: 57-62.
- 12-Niklas, K. J. 1992. *Plant biomechanics: An engineering approach to plant form and function*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- 13-Ratnasooriya, S. P., Samarawichrama, S. S. L, 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.
- 14-Roodbaraky, 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 Industry Aerodyne*. 52:171–184.
- 15-Vogel, S. 1994. *Life in moving fluids: The physical biology of flow* 2nd ed. Princeton University Press, Princeton, NJ.