

The Effect of Rigid Vegetation on the Sediment Transport Rate on the Coast

GOLNAZ MIRZAKHANI¹, ELHAM GHANBARI ADIVI^{*1}, ROHOLLAH FATAHI NAFCHI¹

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

(Received: June. 7, 2021- Revised: July. 13, 2021- Accepted: July. 19, 2021)

ABSTRACT

Sediment load is one of the important factors affecting the hydraulic performance and morphological structure of the beach. One of the solutions to reduce sediment transportation is vegetation as a bio system for sediment trapping. Vegetation due to flow obstruction and turbulence change, affects sediment transport. In this study, the effect of vegetation density on sediment transport rate along the shoreline was investigated. To consider this effect, beach and vegetation models were embedded in a knife edge flume equipped with a load cell and an Acoustic Doppler Velocimeter system (ADV). Experiments were performed in two triangular and rectangular layouts with a density of 12 to 273 stems per unit area. The results showed that by increasing the density of the vegetation and the number of tree rows, the sediment transfer rate decreases; So that in the highest density, the sediment transfer rate has increased up to 80% and in the lowest density this amount has reached 20%. Also, the triangular arrangement at the highest density was 25% and at the lowest density, it was 3% superior to the rectangular arrangement in reducing the sediment transfer rate. According to the variables studied in this investigation, density number changes have the greatest effect on sediment transfer rate, so that sediment transfer rate would decrease by increasing vegetation density. Through experimental formulas such as Kamphuis, Galvin, C.E.R.C and Van Der Meer, the obtained results were compared with the other studies. According to the statistical analyzes performed, the modified C.E.R.C formula would calculate the estimated sediment by a correlation coefficient of 92%.

Keywords: Vegetation, Coast, Sediment, Wave.

تأثیر پوشش گیاهی صلب بر نرخ انتقال رسوب در سواحل

گلناز میرزاخانی^۱، الهام قنبری عدیوی^{۱*}، روح اله فتاحی^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۲۸)

چکیده

بار رسوبی یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در عملکرد هیدرولیکی و ساختار ریخت‌شناسی سواحل تلقی می‌شود. یکی از راهکارهای کاهش انتقال رسوب، استفاده از پوشش گیاهی به عنوان یک بیوسیستم جهت به دام انداختن رسوب است. پوشش گیاهی با انسداد جریان، تغییر تلاطم و ایجاد مقاومت بر میزان انتقال رسوب تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش تأثیر تراکم پوشش گیاهی روی نرخ انتقال رسوب در خط ساحلی بررسی شده است. به منظور بررسی این اثر مدل ساحل و پوشش گیاهی در یک فلوم لبه چاقویی مجهز به سیستم نیروسنج (لودسل) و دستگاه سرعت سنج صوتی داپلر (ADV) تعبیه شد. آزمایش‌ها در دو چیدمان مثلثی و مستطیلی که شامل تراکم ۱۲ تا ۲۷۳ ساقه در واحد سطح می‌باشد، انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پوشش و تعداد ردیف‌های پوشش، نرخ انتقال رسوب کاهش می‌یابد؛ بطوری‌که در بیشترین تراکم نرخ انتقال رسوب تا ۸۰ درصد افزایش داشته و در کمترین تراکم این میزان به ۲۰ درصد رسیده است. همچنین چیدمان مثلثی در بیشترین تراکم ۲۵ درصد و در کمترین تراکم ۳ درصد نسبت به چیدمان مستطیلی در کاهش نرخ انتقال رسوب برتری داشته است. با توجه به متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش تغییرات عدد تراکم بیشترین تأثیر را در نرخ انتقال رسوب دارد، بطوریکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی نرخ انتقال رسوب کاهش می‌یابد. با استفاده از فرمول‌های تجربی نظیر کامفوس، گالوین، سرک و فن در میر به مقایسه نتایج استخراج شده از این آزمایش با مطالعات سایر پژوهشگران پرداخته شد. با توجه به تحلیل‌های آماری انجام شده فرمول سرک اصلاح شده می‌تواند مقدار رسوب منتقل شده را با ضریب همبستگی ۹۲ درصد برای حالت با پوشش تخمین بزند.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، ساحل، رسوب، موج.

مقدمه

پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان سیلاب شده و به کاهش نرخ انتقال رسوب کمک می‌کند. تا به امروز، تعامل بین انتقال رسوب و پوشش گیاهی در سواحل تا حد زیادی ناشناخته است. تلاش‌های زیادی در زمینه تحقیقات اثرات پوشش گیاهی روی شرایط هیدرولیکی جریان انجام شده است. اما اثرات پوشش گیاهی در انتقال رسوب به خوبی درک نشده است. رشد پوشش گیاهی در سواحل و دشت‌های سیلابی توسط تنظیمات ژئومورفولوژیکی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی این مناطق کنترل می‌شوند. علاوه بر این، پوشش گیاهی از خاک محافظت می‌کند و مقاومت خاک را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد. در نتیجه، گیاهان به عنوان مهندسان اکوسیستم عمل می‌کنند و شرایطی را ایجاد می‌کنند که به نفع بقا و استقرار است. Chen et al., (2012) بیان داشتند که پوشش گیاهی در امتداد سواحل توانایی به دام انداختن رسوبات و تثبیت سواحل را

دارد. به‌طور کلی پوشش گیاهی باعث کاهش فرسایش رسوبات بستر می‌شوند.

Vastila et al. (2016) طبق بررسی‌های انجام شده در سواحل، تأثیر قابل توجه پوشش گیاهی بر روی جریان‌های فصلی و سطح آب را مشاهده نمودند و بیان داشتند که پوشش گیاهی باعث بهبود فرایند فرسایش و انتقال رسوبات در سواحل می‌گردد. پوشش گیاهی در سواحل به اشکال مختلف وجود دارد و وجود آن‌ها در پویایی جریان، انتقال رسوب و فرآیندهای بیولوژیکی و طبیعی دیگر تأثیر می‌گذارد.

Wang et al. (2015) حرکت اولیه رسوب با حضور پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مستغرق را با داده‌های آزمایشگاهی بررسی کردند. شبیه‌سازی پوشش‌های گیاهی به صورت سیلندرهای استوانه‌ای انعطاف‌پذیر و در ردیف‌های موازی انجام شد. در این آزمایش‌ها تأثیر پارامترهایی از قبیل تراکم پوشش گیاهی، عمق آب و اندازه دانه‌های رسوبی بر روی حرکت اولیه رسوب بررسی

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سرعت انتقال رسوب ابتدا با تغییر عمق آب کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

Emamizadeh *et al.* (2017) به مقایسه برآورد نرخ و حجم رسوب گذاری در کانال دسترسی بندر امام خمینی (ره) با استفاده از روش‌های هیدروگرافی، تئوری بایکر و مدلسازی توسط مایک ۲۱ پرداختند. تحلیل‌هایی در مورد وضعیت جغرافیایی از قبیل تراز بستر و تحلیل سری‌های زمانی موج و جزر و مد (به عنوان جریان) در منطقه توسط نرم افزار مایک ۲۱ انجام و مدل‌سازی مناسبی ارائه شد. براساس نتایج حاصله و بررسی نقشه‌های هیدروگرافی مقدار واقعی رسوب گذاری $m^3/s/m$ 0.00078 بدست آمد و با توجه به اینکه روش هیدروگرافی معیاری برای کار و محاسبات به روش‌های دیگر در نظر گرفته شد، درصد خطای نتایج حاصل از محاسبات بایکر ۱۲ درصد و مدلسازی مایک حدود ۲۰ درصد برآورد شد.

Parnak *et al.* (2018) تأثیر پوشش گیاهی سخت (انعطاف‌ناپذیر) و انعطاف‌پذیر بر میزان انتقال رسوب در مجاری روباز را بررسی کردند. آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر بر روی یک مدل فیزیکی برای محاسبه میزان رسوب انتقال یافته در جریان کانال باز با پوشش گیاهی سخت و انعطاف‌پذیر، در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق طراحی و اجرا شد. بدین منظور تعداد ۶۸ آزمایش با هدف بررسی تأثیر تراکم و موقعیت قرارگیری پوشش گیاهی بر انتقال رسوب صورت پذیرفت. نقش پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر در این زمینه چشمگیرتر بوده است به طوری که نرخ انتقال رسوب را حدود ۷۰ درصد کاهش داده است که نشان دهنده اهمیت پوشش گیاهی در پایداری بستر و سواحل می‌باشد.

Ebrahimi *et al.* (2016) به بررسی آزمایشگاهی تله اندازی رسوب و مؤلفه‌های جریان در حضور پوشش گیاهی پرداختند. آزمایش‌ها را در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۷ متر، عرض ۲۵ سانتی‌متر با پوشش گیاهی درختچه‌ای مصنوعی به ارتفاع ۷ سانتی‌متر (در کف) و با تراکم‌های ۱۲، ۲۵ و ۵۰ درصد، ۳ دبی جریان ۴، ۶ و ۸ لیتر بر ثانیه، در ۳ شیب مختلف ۲، ۴ و ۶ در هزار و با تزریق ۴۰۰۰ گرم رسوب در دقیقه اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین راندمان تله اندازی رسوب در شرایط تراکم ۵۰ درصد و با کمترین دبی ۴ لیتر بر ثانیه و با عدد فرود ۰/۱۵ و در شیب ۰/۰۲ محقق شده است. با افزایش تراکم پوشش گیاهی میزان رسوب تله افتاده افزایش می‌یابد و با افزایش شیب نیز دبی رسوب خروجی افزایش و تله اندازی رسوب کاهش می‌یابد.

Zhang *et al.* (2020) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی آبی بر ساختار جریان و انتقال رسوب پرداختند. آن‌ها مطالعات خود

شد. نتایج نشان داده است که سرعت حرکت اولیه رسوب‌ها با کاهش تراکم پوشش گیاهی افزایش یافته است. سرعت حرکت اولیه رسوب‌ها در گیاهان انعطاف‌پذیر خیلی کم‌تر از زمانی است که بستر رسوبی فاقد پوشش گیاهی بوده است.

Horppila & Nurmine (2003) دریافتند که در شبکه‌های رودخانه‌ای، پوشش گیاهی به‌طور موثری می‌تواند باعث تعلیق رسوبات و ظرفیت انتقال رسوبات شود. Fu Li *et al.* (2018) به تأثیر تراکم و آرایش‌های پوشش گیاهی روی انتقال رسوب پرداختند. در این مطالعه از سه تراکم پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر استفاده شد و رسوبات به‌طور مداوم با سرعت 21 kg/h برای شبیه‌سازی شرایط جریان به فلوم اضافه شدند. نتایج نشان داد که پروفیل سرعت جلوی پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر ساختار پوشش گیاهی قرار می‌گیرد.

Sharpe and James, (2006) مواد رسوبی را در میان پوشش گیاهی در دو سری فلوم آزمایشگاهی (A) و (B) بررسی کردند. در سری (A) انتقال طولی در یک فلوم با عرض ۰/۳۸ متر و شیب ۰/۰۱۹ و ساقه‌هایی با قطر ۱۰ میلی‌متر و جریان یکنواخت برقرار و میزان رسوب ۱۷۳ گرم بر ثانیه در نظر گرفته شده بود و در سری (B) انتقال عرضی در یک فلوم با طول ۱۲ متر و عرض ۰/۷۶ متر و شیب ۰/۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفته بود. همچنین در این تحقیق میزان ته نشست مواد رسوبی در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی، مقایسه شده است. نتایج نشان داد که ته نشست مواد رسوبی با افزایش عمق جریان و تراکم ساقه متوقف می‌شود و رسوب بیشتری درون پوشش گیاهی متوقف می‌شود.

Zhou *et al.* (2013) تله اندازی رسوب را از جریان بیش از حد متمرکز شده بر اثر باریکه‌های فیلتر و نیز اثر باریکه‌های پوشش گیاهی را روی تله اندازی رسوب بررسی کردند. آزمایش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی پوشش گیاهی علفی به صورت پلاستیکی و یک شیب قابل تعدیل فلوم آهنی اجرا شد. تراکم پوشش ۳۶ درصد و غلظت رسوب ورودی جریان ۳۲۰، ۲۳۸، ۱۴۷، ۴۲۹ گیلوگرم بر متر مکعب بود. نتایج بررسی نشان داد که پوشش علفی بیشترین رسوبات را از درون جریان با کمترین تمرکز رسوب به تله انداخته است و راندمان ته نشینی با افزایش تجمع رسوب از ۵۵/۲ به ۱۵/۷ درصد کاهش یافته است.

Shiono *et al.* (2009) اثر زبری سیلاب دشت را روی سازه‌های هیدرولیکی، جریان، فرم بستر و سرعت انتقال رسوب، بررسی کردند. آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی با عرض ۰/۳ متر و طول ۴ متر و اندازه متوسط ذرات رسوب ۰/۸۸ میلی‌متر و با جریان یکنواخت و سرعت انتقال رسوب ۲۰ دقیقه انجام گرفت.

را در دریاچه دونگینگ چین انجام دادند و سرعت جریان و غلظت رسوب را در حضور سه نوع پوشش گیاهی *Phragmites communis*، *Artemisia selengensis*، *Carex cinerascens* و ترکیبی از این سه نوع بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بطور کلی حضور پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت متوسط و انرژی جنبشی جریان می‌شود. از طرفی تغییر در نوع پوشش و تراکم آن باعث تغییر در نرخ انتقال رسوب می‌گردد، به طوری که در تراکم‌های نوع ۱ و ۲ در مقایسه با تراکم‌های نوع ۳ و ۴ نرخ انتقال رسوب کمتر بوده است.

Nardin *et al.* (2018) به بررسی رابطه میان هیدرودینامیک، رسوبات و پوشش گیاهی در ساحل ویرجینیا در ایالات متحده پرداختند و از مدل سازی عددی برای نشان دادن اثرات آن استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی باعث تثبیت بستر و افزایش مقاومت در برابر طوفان‌ها و تله اندازی رسوبات می‌شود. همچنین باتوجه به نتایج عددی پوشش گیاهی تنش برشی را کاهش می‌دهد و رسوب گذاری را در باتلاق‌ها تا ۱۰ درصد افزایش می‌دهد.

Tuan Wu *et al.* (2017) به بررسی تأثیر گیاه *posidonia oceanica* در هیدرودینامیک و انتقال رسوب در خلیج جینز پرداختند. در این مطالعه به شبیه‌سازی عددی حضور پوزیدونیا و همچنین تأثیر عدم حضور آن در هیدرودینامیک و انتقال رسوب در ساحل آلمانار پرداختند. نتایج مدل‌سازی آنها نشان داد که حضور گیاه *Posidonia* منجر به تغییرات معنی داری در پارامترهای هیدرودینامیکی و رسوبی در طول ساحل آلمانار می‌شود. در صورت عدم وجود پوزیدونیا نسبت به حضور این گیاه، بار کل رسوب از ۲۵۲ به ۴۲۶ افزایش یافته است.

Jalil Masir *et al.* (2020) به بررسی تأثیر پوشش جنگلی ساحلی در تثبیت، حفاظت و احیای سواحل ماسه‌ای در معرض امواج سونامی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که وجود پوشش جنگلی، ۴۱/۱۷ درصد از فرسایش و آبشستگی سواحل جلوگیری و به تثبیت و احیای سواحل کمک می‌کند. همچنین در نظر گرفتن شرایطی از قبیل انتخاب چیدمان مثلثی و افزایش تراکم پوشش، به ترتیب منجر به بهبود ۷/۵۷ و ۱۱/۲۰ درصدی وضعیت سواحل می‌گردد.

باتوجه به بررسی منابع موجود و ضرورت مطالعه تأثیر برآورد رسوب در سواحل همراه با پوشش گیاهی، در این مقاله تأثیر تراکم پوشش گیاهی صلب بر نرخ انتقال رسوب مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفی روابط تجربی مورد استفاده در این پژوهش
در این بخش به معرفی فرمول‌های تجربی جهت بدست آوردن نرخ انتقال رسوب پرداخته شده است.

فرمول C.E.R.C

این فرمول از جمله فرمول‌هایی است که به طور گسترده برای محاسبه انتقال رسوب کل Q_{LS} مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرکز تحقیقات مهندسی ساحل ارتش آمریکا (۱۹۸۴) به نقل از SadeghiFar *et al.* (2013) رابطه ای برای نرخ انتقال رسوب به صورت حجمی و در راستای امتداد ساحل به صورت رابطه (۱) ارائه داد. این معادله ساده‌ترین شکل معادله سرک است که با به کار بردن تئوری خطی امواج آب کم عمق به دست آمده است:

$$Q_{LS} = 0.02 H_{sb}^2 C_b \sin^2 \beta \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن Q_{LS} نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل (m^3/s)، H_{sb} ارتفاع موج موثر در نقطه شکست، β زاویه موج در نقطه شکست با خط ساحلی و C_b سرعت موج در نقطه شکست می‌باشند.

فرمول Galvin, 197

(رابطه ۲)
$$Q_{LS} = 2 \times 10^5 \times H_{sb}^2$$

این فرمول تجربی و شامل ارتفاع موج موثر در نقطه شکست H_{sb} برحسب فوت و Q_{LS} متوسط سالیانه دبی رسوب عبوری کل برحسب یاردمکعب در سال است.

فرمول Van Der Meer, 1990

(رابطه ۳)
$$Q_{LS} = 0.0038 H_{sb}^2 \left(\frac{gT}{2\pi}\right) \sin(2\beta)$$

که در آن Q_{LS} نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل (m^3/s)، T دوره‌ی تناوب موج، β زاویه موج در نقطه شکست، H_{sb} ارتفاع موج موثر در نقطه شکست و g شتاب گرانش زمین (۹/۸۱) است.

فرمول Kamphuis, 1991

فرمول کامفوس شامل تأثیرات دوره تناوب موج، شیب ساحل و اندازه دانه و به صورت معادله (۴) است.
(رابطه ۴)
$$Q_{LS} = 2.27 H_{sb}^2 T^{1.5} S^{0.75} D^{-0.25} \sin^{0.6}(2\beta)$$

که در آن Q_{LS} نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل (m^3/s)، H_{sb} ارتفاع موج موثر در نقطه شکست، T دوره تناوب موج، β زاویه موج در نقطه شکست با خط ساحلی، S شیب ساحل و D اندازه دانه بندی ذرات ماسه (۰/۳۵ میلی‌متر) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

به منظور تعیین نرخ انتقال رسوب و با در نظر گرفتن شرایط جریان

با استفاده از نسبت $QLS = \frac{M_0}{M_i}$ نرخ انتقال رسوب در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

مراحل انجام آزمایش‌ها

در این پژوهش آزمایش‌ها در ۱۱/۴ متری ابتدای فلو می به طول ۲۰ متر، عرض و ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام شد. آزمایش‌ها در ۱۵ تراکم، دو حالت مستطیلی و مثلثی، سه ارتفاع موج ورودی، فواصل ۵×۵، ۱۰×۱۰، ۱۵×۱۵ و ۲۰×۲۰، ۴ عرض پوشش ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ سانتیمتر و در دو حالت با و بدون پوشش (آزمایش‌های شاهد) انجام شد. نحوه قرارگیری پوشش در جدول ۱ بیان شده است. عدد تراکم (λ) از ضرب تعداد ساقه در واحد سطح در هر چینش (Q) در تعداد ساقه (در عرض و فاصله بین درختان در هر چینش (G)) تقسیم بر تعداد ساقه در عرض واحد و فاصله بین درختان در هر چینش (T) $(\frac{Q \times G}{T})$ بدست می‌آید. باتوجه به اینکه در هر دو چیدمان مثلثی و مستطیلی تعداد ردیف پوشش مقابل جریان یکسان می‌باشد و باتوجه به تعریفی که از تراکم در اینجا مد نظر قرار گرفت، تراکم بدست آمده برای هر دو چینش یکسان می‌باشد، اما تمایز این تراکم‌ها در شیوه چینش و تعداد درخت مقابل جریان خواهد بود.

از نظر مقیاس هندسی، شبیه‌سازی آزمایشگاهی امواج بلند با مشکل مواجه می‌شود. این امواج در محل تشکیل طول و سرعت بسیار زیادی دارند، اما با نزدیک شدن به ساحل و ایجاد اثرات خزش، کاهش سرعت و طول امواج رخ می‌دهد. این ویژگی باعث می‌شود که مدلسازی موج در ناحیه نزدیک به ساحل آسان‌تر و امکان‌پذیر باشد. با توجه به مطالعات Chegini, 1998 آخرین نیم‌رخ قبل از شکست موج، موج منفرد می‌باشد. Chang and Hwung, 2006 اظهار داشتند که از مهم‌ترین دلیل شبیه‌سازی رفتار امواج بلند در نزدیک ساحل، با استفاده از موج منفرد انتقالی بودن موج منفرد یا به عبارتی حرکت ذرات زیر سطح آزاد موج، شکل نیم‌رخ موج و تقریباً بدون تغییر شکل و پایدار ماندن آن در حین حرکت بر روی عمق یکنواخت، می‌باشد. بنابراین با توجه به این نکات در این پژوهش از تئوری موج منفرد برای شبیه‌سازی بر مبنای عدد فرود استفاده شده است.

جهت ایجاد موج منفرد در آزمایشگاه غالباً از روش حذف قائم یک مانع و آزادسازی حجم زیادی آب در انتهای مخزن استفاده شده است. بنابراین می‌توان از ایجاد اختلاف ارتفاع سطح آب طرفین یک دریچه کشویی و گشودن سریع دریچه برای تولید موج منفرد استفاده نمود. محققان بسیاری از این روش جهت ایجاد موج منفرد استفاده نمودند از جمله Esteban et al. (2008) در تحقیقات خود جهت بررسی نیروی وارد بر یک موج‌شکن در

و ثابت بودن خصوصیات سیال، پارامترهای مختلفی از جمله ارتفاع موج (H)، سرعت موج (V)، 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)، شیب ساحل (S)، قطر رسوب (D_{50})، جرم رسوب خروجی در حالت بدون پوشش (M_i)، جرم رسوب خروجی در حالت با پوشش (M_0)، تأثیرگذارند. (رابطه ۵) در جدول ۱ نیز به معرفی پارامترهای موثر بر موج پرداخته شده است

جدول ۱- معرفی پارامترهای موثر بر میزان انتقال رسوب ناشی از امواج ساحلی

پارامتر	ابعاد	نماد
نرخ انتقال رسوب	$L^3 T^{-1}$	QLS
قطر ذرات	L	D_{50}
جرم رسوب انتقال یافته در شرایط عدم حضور پوشش	M	M_i
جرم رسوب انتقال یافته در شرایط حضور پوشش	M	M_0
شیب ساحل	-	S
دانسیته جرمی	ML^{-3}	ρ_w
لزجت دینامیکی	$ML^{-1} T^{-1}$	μ_w
شتاب ثقل	LT^{-2}	g
عرض پوشش (هم‌راستای موج)	L	w
طول پوشش (در راستای عرض کانال)	L	L_g
قطر درخت	L	d
فواصل ردیف درختان	L	L
سرعت موج	LT^{-1}	V
ارتفاع موج	L	H
ارتفاع آبپایه	L	y

$$f(H, d, V, \mu_w, \rho_w, w, g, L_g, L, S, D_{50}, M_i, M_0) = 0 \quad (\text{رابطه ۵})$$

که با استفاده از روش π باکینگهام ۱۰ پارامتر بی‌بعد زیر به‌دست آمد:

$$f\left(\frac{gd}{V^2}, \frac{H}{y}, \frac{\mu}{\rho_w V H}, \frac{W}{d}, \frac{gd}{V^2}, \frac{L}{d}, \frac{D_{50}}{d}, S, \frac{L_g}{d}, \frac{M_0}{M_i}\right) = 0 \quad (\text{رابطه ۶})$$

به‌علت ثابت بودن شیب ساحل (S)، طول پوشش (L_g)، قطر پوشش (d)، و قطر رسوب (D_{50}) از نسبت‌های بی‌بعد $\frac{L_g}{d}, S, \frac{D_{50}}{d}$ صرف‌نظر شده است در اینجا از ترکیب $\frac{W}{d}$ و $\frac{L}{d}$ عدد تراکم (λ) تعریف و جایگزین شده است، که در بخش بعد روش بدست آوردن این عدد شرح داده شده است. از دو عدد بدون بعد $\frac{\mu}{\rho_w V H}, \frac{gd}{V^2}$ که به ترتیب عدد فرود و عدد رینولدز می‌باشند، بدلیل ماهیت جریان مورد بررسی و تلاطم ایجاد شده از امواج در ناحیه ساحلی نیز صرف‌نظر شده است. در نهایت سایر پارامترهای بی‌بعد به صورت زیر می‌باشد.

$$f\left(\frac{M_0}{M_i}, \frac{H}{y}, \lambda\right) = 0 \quad (\text{رابطه ۷})$$

و هم Battjes (1974) از شکست موج رسیده به ساحل اطمینان حاصل شود. بر اساس رابطه پیشنهادی Miche, 1954 عمق آبپایه ۶/۵ سانتیمتر برای موج ۶ سانتی متری و ۱۰ سانتی متر برای موج ۹ سانتی متری و ۱۳/۳ سانتی متر برای موج ۱۲ سانتی متری تعیین شد. در نهایت برای اجرای آزمایش‌ها عمق ثابتی که هر سه ارتفاع موج نسبت به آن دچار شکست می‌شوند (۶/۵)، انتخاب گردید. معادله پیشنهادی Miche (1954) برای شکست موج در هر عمقی در شرایط آب کم عمق، $(H/y)_{max} = 0.9$ می‌باشد. از طرفی در جهت اطمینان بیشتر از شکست موج، شیب ورودی ساحل رو به دریا (قبل از ساحل بدون شیب)، بر اساس روابط پیشنهادی Battjes (1974) تعیین گردید. بر این اساس شکست یک موج در آب کم عمق ساحلی، بر اساس مشخصات آن و شیب ساحل می‌تواند بر اساس رابطه $\psi = \frac{\tan s}{\sqrt{H/y}}$ بررسی شود که در آن H ارتفاع موج، L طول موج و S شیب ساحل می‌باشد. اگر مقدار ψ کمتر از ۰/۵ شود در آن صورت موج شکسته (spilling) می‌شود (Battjes, 1974). بر این اساس، شیب لازم برای شکست موج قابل تعیین است. که در اینجا شیب برای هر سه ارتفاع موج ۶، ۹ و ۱۲ سانتی متر به ترتیب ۱۲، ۱۵ و ۱۷ درصد بدست آمد که بر اساس معیار ψ می‌توان برای هر سه ارتفاع از شیب ۱۲ درصد استفاده نمود. این شیب در ورودی ساحل در بخش رو به دریا اجرا شد.

برای مدل سازی ساحل، طولی معادل ۳ متر از فلوم در نظر گرفته شد و در یک متری انتهای قسمت مدل، صفحه متحرک مدل ساحل با استفاده از ورق گالوانیزه به طول ۱ متر، عرض ۰/۵۹ متر و ضخامت ۶ میلی متر قرار گرفت. صفحه ساحل که محل نصب پوشش درختی می‌باشد، به وسیله قاب فلزی با تکیه گاه‌های لبه چاقویی، بر روی لبه های فلوم و به موازات و با فاصله خیلی کم در بالای بستر فلوم آزمایشگاهی نصب گردید (شکل شماره ۱ تا ۳).

مقابل امواج بلند (سونامی) به منظور تولید موج منفرد از روش حذف دستی دریاچه در مقابل مخزن آب استفاده کردند. همچنین Ghanbari-Adivi *et al.*, Ratnoooriya and Tanaka (2008) (2015) و Jalil Masir *et al.* (2021) به منظور بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر کنترل سیل ناشی از امواج بلند و سونامی با استفاده از دریاچه اقدام به تولید موج منفرد کردند. با توجه به موارد ذکر شده در این پژوهش نیز از روش بالا برای تولید موج منفرد استفاده شده است.

در فلوم آزمایشگاه طولی معادل ۸/۳ متر از فلوم جدا و دریاچه پلکسی در ابتدای آن برای مخزن آب به طول ۲ متر در نظر گرفته شد. سپس دریاچه فلزی برای شبیه سازی انتشار موج در انتهای این مخزن نصب شد و برای باز کردن آن از سیستم نخ و قرقره که متشکل از سیم بکسل و وزنه می‌باشد، استفاده گردید. ارتفاع اولیه امواج ورودی با توجه ارتفاع موج منفرد با مقیاس ۰/۰۱ شبیه سازی شد، به طوریکه با انجام آزمایش‌های مقدماتی ارتفاع امواج با توجه به ارتفاع دیواره‌های فلوم در محدوده ۵-۱۵ سانتی متر قرار گیرد. بنابراین عمق آب پشت دریاچه باید به گونه ای تنظیم می‌شد که ارتفاع امواج در مطالعه حاضر را به سوی این محدوده سوق دهد. لذا با سعی و خطا هر بار مخزن تا عمقی دلخواه پر شد سپس دریاچه به سرعت باز و ارتفاع موج شکسته شده در پنجه ساحل به دست آمد. بنابراین با سه عمق آب پشت دریاچه ۲۵/۶ سانتی متر و ۳۹/۵ سانتی متر و ۴۷ سانتی متر از کف بستر فلوم می‌توان به ترتیب به ارتفاع موج‌های (H)، ۶ و ۹ و ۱۲ سانتی متر در پنجه ساحل رسید. همچنین عمق ثابت آب پای ساحل (y)، ۶/۵ سانتی متر در نظر گرفته شد.

در شرایط مورد بررسی در این تحقیق برای اطمینان از شکست موج می‌توان شیب ورودی یا ارتفاع آبپایه را تغییر داد. در اینجا جهت اطمینان از شکست موج با ارتفاع های متفاوت در پای ساحل، از طریق محاسبات مقدماتی، شیب اولیه و ارتفاع آبپایه معینی در نظر گرفته شد تا هم بر طبق پیشنهاد Miche (1954)



شکل ۱- الف) فلوم مستطیلی و ساحل مورد استفاده در آزمایش‌ها (ب) نمایی از دریاچه ایجاد موج

فریم بر ثانیه، بر روی سه پایه‌هایی در مقابل دیواره فلوم با فاصله کم، به‌گونه‌ای مستقر شد تا امکان برداشت فیلم از حرکت موج بر روی ساحل فراهم گردد. با توجه به اینکه بر روی دیواره‌های فلوم به فواصل یک متری اشل‌هایی نصب شده بود، قرائت ارتفاع موج در ناحیه شکست امکان‌پذیر گردید. از تبدیل فیلم به تصویر، امکان استخراج اطلاعاتی همچون ارتفاع موج در هر نقطه، تعیین محل شکست موج، زاویه شکست موج و طول موج قابل قرائت و ثبت است.

قبل از صفحه ساحل بستر فلوم با ذرات ماسه به قطر ۰/۳۵ میلی‌متر و با ضخامت ۶ سانتی‌متر، به عنوان بستر ثابت پوشش داده شد. در انتهای فلوم برای جمع آوری رسوبات از شیر تخلیه رسوب استفاده شد.

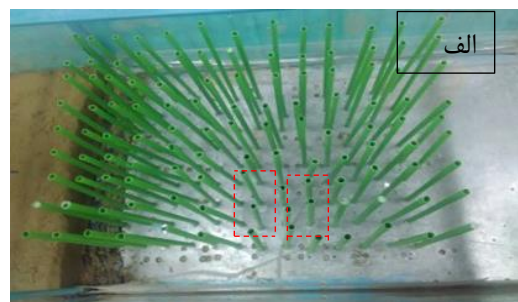
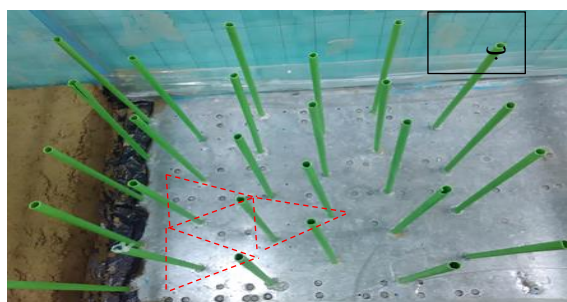
در این آزمایش‌ها از دستگاه ADV برای اندازه‌گیری سرعت و برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی صلب از میله‌های پلاستیکی به قطر ۰/۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور استخراج اطلاعات لازم جهت تحلیل اندرکنش تراکم پوشش گیاهی و موج، دوربین فیلم برداری با سرعت برداشت ۳۰

جدول ۲- شرایط و نحوه قرار گیری پوشش

فواصل (cm×cm)	تعداد ردیف	تراکم (m ² /تعداد)	تعداد ساقه		کد مستطیلی	کد مثلثی
			مثلثی	مستطیلی		
۲۰×۲۰	۴	۲۴	۱۲	۱۰	R1	T1
	۳	۱۸	۹	۸		
	۲	۱۲	۶	۵		
۱۵×۱۵	۵	۴۰	۲۰	۱۸	R2	T2
	۴	۳۲	۱۶	۱۴		
	۳	۲۴	۱۲	۱۱		
۱۰×۱۰	۷	۷۷	۳۵	۳۱	R3	T3
	۶	۶۶	۳۰	۲۷		
	۴	۴۴	۲۰	۱۸		
۵×۵	۱۳	۲۷۳	۱۱۷	۱۱۱	R4	T4
	۱۰	۲۱۰	۹۰	۸۵		
	۷	۱۴۷	۶۳	۶۰		
	۴	۸۴	۳۶	۳۴		

نظر ضبط و جمع آوری شد. رسوب خروجی در کیسه‌های مخصوص، جمع آوری شد و پس از خشک شدن آن‌ها طی ۳۶ ساعت با ترازوی دیجیتال وزن آن‌ها تعیین گردید. در شکل ۲ ساحل مورد بررسی با پوشش گیاهی نشان داده شده است.

در هر حالت، آزمایش با نصب کردن پوشش گیاهی در تراکم مورد نظر و با در نظر گرفتن یک ارتفاع موج ورودی آغاز شد. سپس مخزن آب در ارتفاع مورد نظر پر شد. با بازکردن ناگهانی دریچه موج و کشیدن وزنه به سمت پایین موجی به وجود آمده و به سمت ساحل حرکت می‌کند. در نهایت اطلاعات مورد



شکل ۲- چیدمان‌های مختلف پوشش گیاهی

الف- تراکم ۲۷۳ ساقه در واحد سطح (چیدمان مستطیلی)-ب- تراکم ۶۶ ساقه در واحد سطح (چیدمان مثلثی)

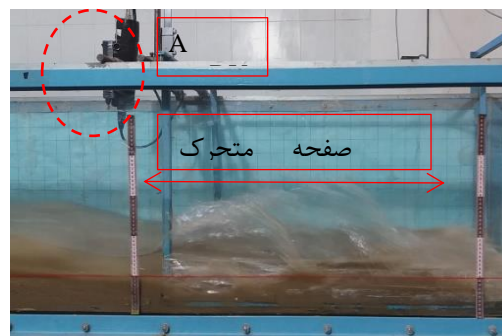
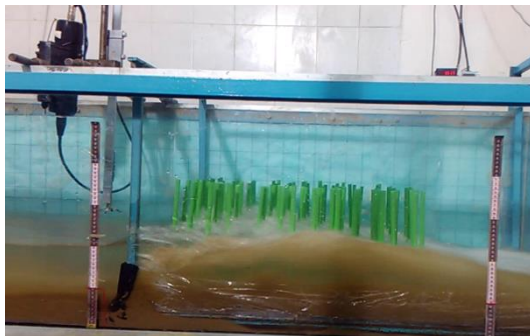
است.

جدول ۳ - محدوده تغییرات پارامترهای هیدرودینامیکی موج در حالت بدون

پوشش	
پارامتر	محدوده تغییرات
ارتفاع موج موثر در نقطه شکست (m)	۶/۵-۹
زاویه موج در نقطه شکست (درجه)	۳۸-۵۰
سرعت موج در نقطه شکست (m/s)	۱/۴۳-۱/۴۹
دوره تناوب موج	۰/۲۴-۰/۳۲

در این پژوهش پارامترهای ذکر شده شامل ارتفاع موج موثر در نقطه شکست و زاویه موج در نقطه شکست با استفاده از روشی که در قسمت قبل ذکر شد، به دست آمد. همچنین سرعت موج با استفاده از داده‌های ثبت شده توسط ADV و دوره تناوب موج از تقسیم طول موج به سرعت موج تعیین شدند.

در جدول ۲ محدوده تغییرات این پارامترها در حالت بدون پوشش آورده شده است. در شکل ۳ نحوه برخورد موج به ساحل و نمایی از شکست موج در دو حالت با و بدون پوشش بیان شده



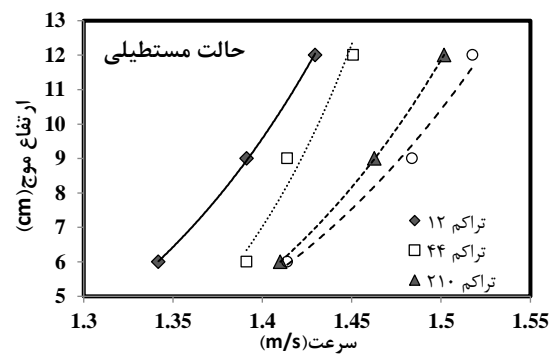
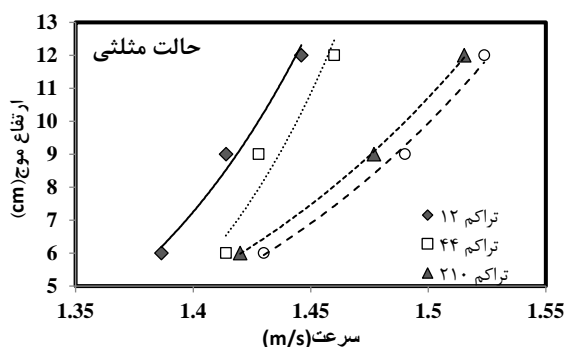
شکل ۳- نمایی از پروفیل موج در لحظه شکست موج در حالت با و بدون پوشش

افزایش می‌یابد. مطالعات Dean and Dalrymple (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 می‌باشند. در واقع افزایش ارتفاع موج منجر به افزایش انرژی موج می‌شود و وقتی موج انرژی بیشتری دارد سریعتر حرکت کرده و سرعت پیشروی آن بیشتر است.

نتایج و بحث

تأثیر ارتفاع موج ورودی بر سرعت موج

در شکل ۴ نحوه تغییرات ارتفاع موج ورودی به ازای تغییر در سرعت موج در دو حالت مستطیلی و مثلثی ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع موج سرعت آن

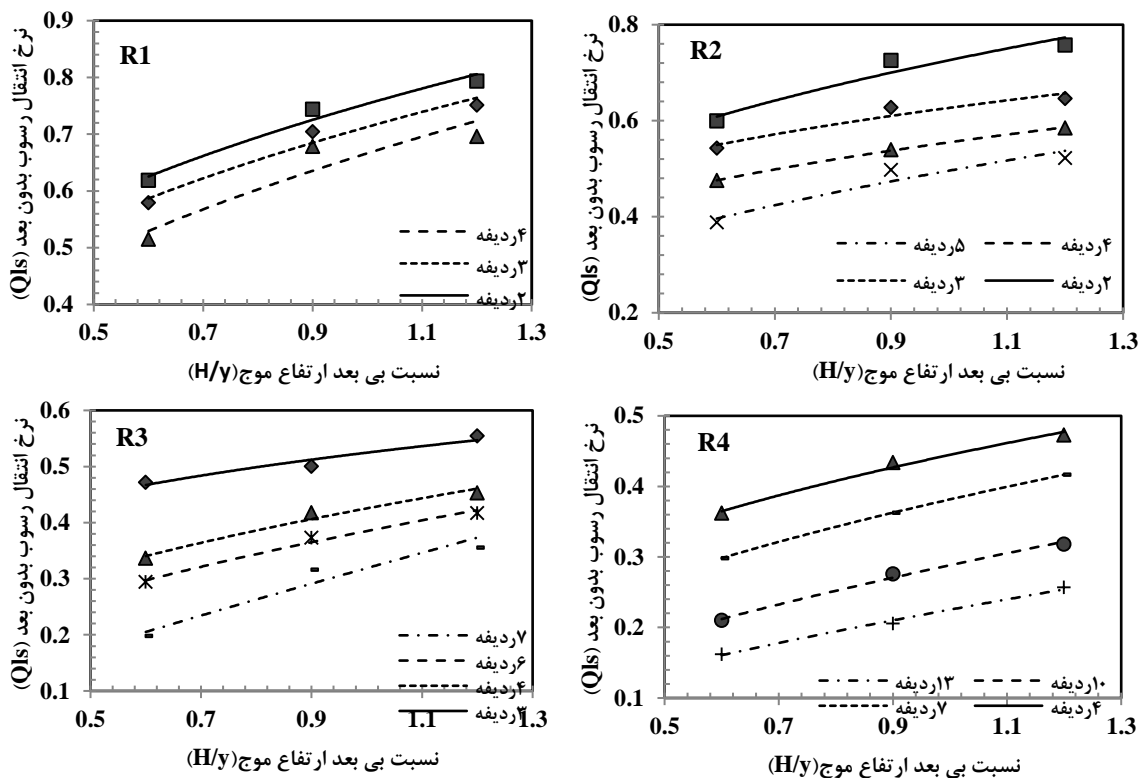


شکل ۴- تغییرات ارتفاع موج ورودی به ازای تغییر در دو حالت مستطیلی و مثلثی

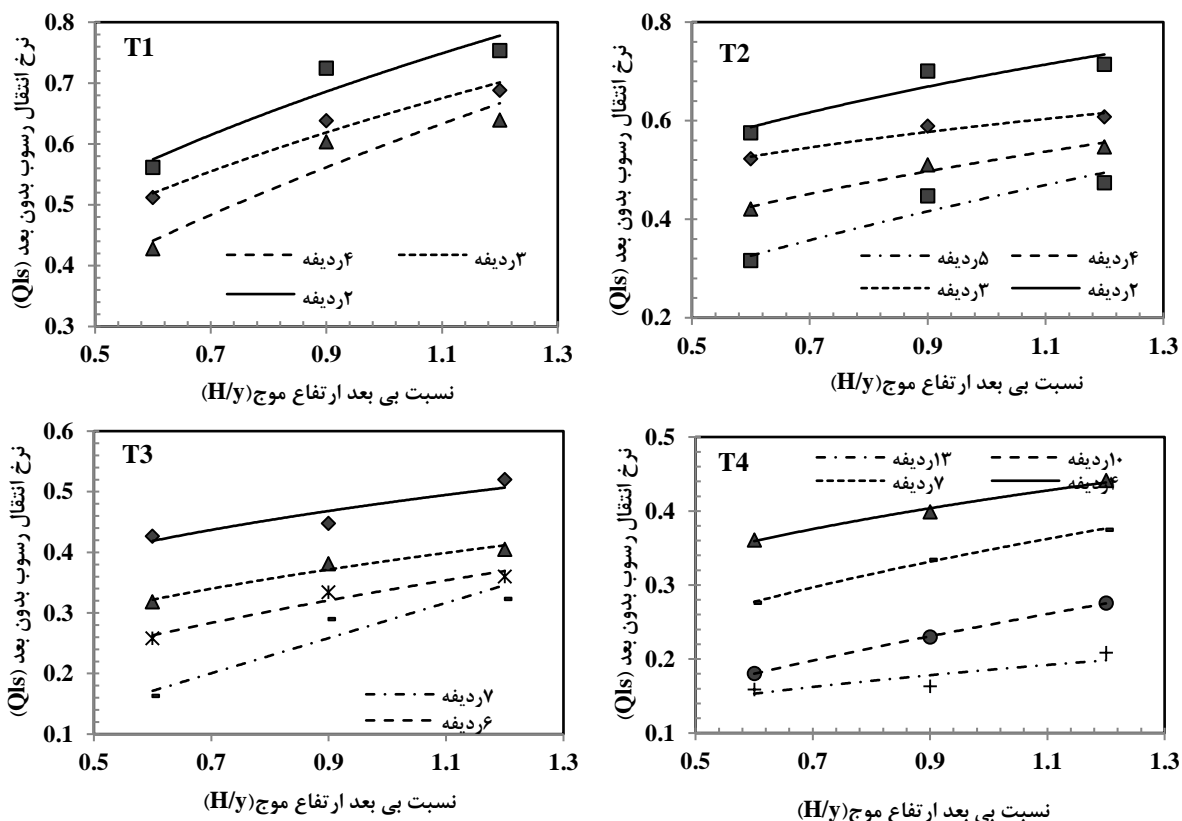
با توجه به شکل‌های مذکور نرخ انتقال رسوب نسبت به حالت بدون پوشش کاهش یافته است. وجود پوشش تأثیر چشمگیری در کاهش نرخ انتقال رسوب در سواحل داشته است، بطوریکه در بیشترین تراکم وجود پوشش تا ۸۰٪ مانع از انتقال رسوب شده و در کمترین تراکم این درصد به ۲۰ رسیده است.

تأثیر پوشش گیاهی بر نرخ انتقال رسوب

در شکل‌های ۵ و ۶ نرخ انتقال رسوب بر حسب نسبت بی‌بعد ارتفاع موج عبوری (نسبت ارتفاع موج به عمق ثابت آب پای ساحل) برای همه فواصل و دو حالت مستطیلی و مثلثی نشان داده شده است.



شکل ۵- نسبت نرخ انتقال رسوب بدون بعد برای چیدمان مستطیلی با تعداد ردیف های متفاوت پوشش



شکل ۶- نسبت نرخ انتقال رسوب بدون بعد برای چیدمان مثلثی با تعداد ردیف های متفاوت پوشش

افزایش می‌یابد. به عنوان مثال موج ۶ سانتی‌متر نسبت به موج-های ۹ و ۱۲ سانتی‌متر نرخ انتقال رسوب پایین‌تری دارد به دلیل

با توجه به شکل‌ها با افزایش ارتفاع موج به دلیل اینکه سطح مقطع آب پشت دریچه افزایش می‌یابد نرخ انتقال رسوب نیز

باتوجه به شکل در هر دو حالت مستطیلی و مثلثی با افزایش تراکم نرخ انتقال رسوب کاهش یافته است و نمودارها سیر نزولی دارند. با توجه به داده‌ها تراکم پوشش گیاهی یکی از موثرترین عوامل در کنترل و انتقال رسوب در سواحل به شمار می‌رود. پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان و نیروی موج شده و در نتیجه نرخ انتقال رسوب را کاهش می‌دهد. همچنین پوشش گیاهی به راحتی جریان ورودی را مسدود می‌کند و در چیدمان‌ها به ویژه چیدمان‌هایی که تراکم بالاتری دارند ارتفاع موج بعد از پوشش کاهش بیشتری دارد و رسوب کمتری را با خود حمل می‌کند. در جدول ۴، قسمتی از داده‌های آزمایشی در ۴ تراکم ارائه شده است.

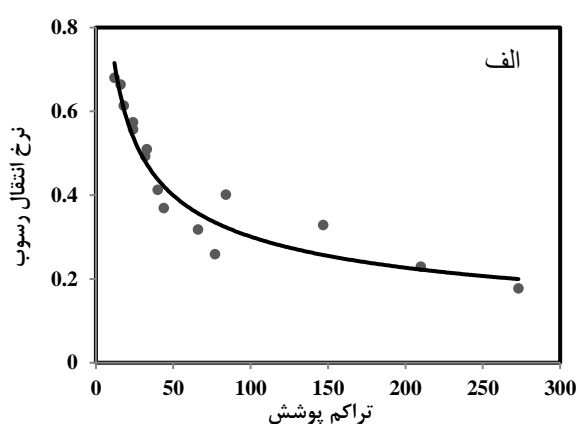
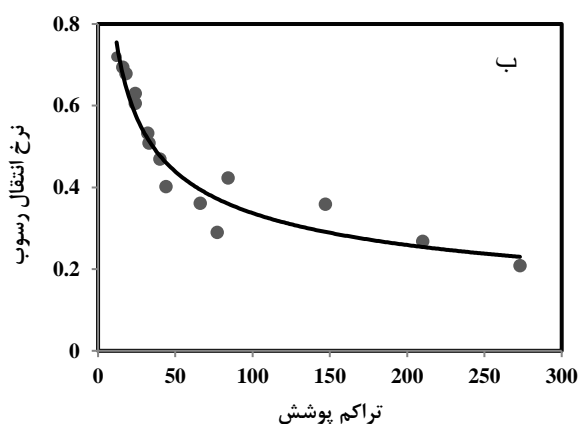
با توجه به شکل ۷ با دو برابر شدن تراکم پوشش گیاهی به عنوان مثال تراکم ۳۳ به ۶۶ (تعداد ساقه در واحد سطح) نرخ انتقال رسوب ۳۳ درصد کاهش داشته است. این درصد برای تراکم‌های پایین‌تر مثلاً ۱۲ به ۲۴ کمتر بوده است به دلیل اینکه در این پژوهش فواصل نیز متغیر بوده و تاثیر فواصل بیشتر از عرض پوشش بوده است. با افزایش تراکم و کاهش فواصل و افزایش تعداد ردیف پوشش نرخ انتقال رسوب هم کاهش یافته است و پوشش به عنوان عامل مقاوم در جلوی جریان قرار دارد و مانع از رسیدن رسوب به پایین دست می‌شود. همچنین در حالت مثلثی نسبت به حالت مستطیلی نمودار از شیب ملایم‌تری برخوردار است به نحوی که نرخ انتقال رسوب در حالت مستطیلی نسبت به حالت مثلثی در بیشترین تراکم و کمترین تراکم، به ترتیب ۶ درصد و ۲۰ درصد افزایش یافته است. در حالت مثلثی به علت نحوه قرار گیری پوشش، سطح وسیع‌تری را نسبت به حالت مستطیلی معادل خود در بر می‌گیرد. در چنین شرایطی انرژی بیشتری از موج مستهلک می‌شود و در واقع کارایی پوشش افزایش می‌یابد. در نهایت مجموع این عوامل باعث کاهش نرخ انتقال رسوب در حالت مثلثی شده است.

اینکه با افزایش عمق سطح آب و فشار آب مخزن سرعت برخورد موج به پوشش بیشتر شده و باعث افزایش رسوب در پایین دست شده است و نرخ انتقال رسوب افزایش یافته است. همچنین با بررسی نمودارها در دو حالت مستطیلی و مثلثی به این نتیجه می‌توان رسید که حالت مثلثی عملکرد بهتری در مقابل انتقال رسوب داشته و رسوب خروجی کمتری را در این حالت داریم. به دلیل اینکه آرایش و نحوه چیدمان در این حالت یک در میان بوده و باعث می‌شود که اتلاف انرژی موج بیشتر شود و نیروی بیشتری را از موج دریافت می‌کند و در نتیجه رسوب منتقل شده کمتر خواهد بود.

با بررسی پارامترهای موثر بر آزمایش‌ها نظیر فواصل و عرض پوشش می‌توان این مطلب را بیان داشت که با افزایش عرض پوشش به دلیل اینکه تعداد ردیف پوشش بیشتری در مقابل موج وجود دارد نیروی بیشتری مستهلک می‌شود و نرخ انتقال رسوب پایین می‌آید در یک فاصله ثابت با عرض متغیر به عنوان مثال در فاصله 10×10 با افزایش عرض از ۱۵ به ۶۰ سانتی‌متر، نرخ انتقال رسوب نیز از $0/5$ به $0/31$ رسیده است، در واقع $0/62$ کاهش انتقال رسوب داشتیم. همچنین در یک عرض ثابت با فواصل متغیر با کاهش فاصله بین درختان، نرخ انتقال رسوب کاهش یافته است. به عنوان مثال در عرض ۶۰ در فاصله 20×20 سانتی‌متر در سانتی‌متر، نرخ انتقال رسوب $0/67$ بوده که به $0/2$ رسیده است یعنی $0/71$ کاهش داشته است. بنابراین می‌توان بیان کرد که تاثیر فواصل بین درختان و عرض پوشش بر میزان انتقال رسوب تاثیر چشمگیری داشته است.

تاثیر تراکم پوشش گیاهی روی نرخ انتقال رسوب

برای بررسی تاثیر تراکم پوشش گیاهی روی نرخ انتقال رسوب نمودارهای نرخ انتقال رسوب بر حسب تراکم در دو حالت مستطیلی و مثلثی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- نسبت نرخ انتقال رسوب بر حسب تراکم پوشش، الف- حالت مثلثی ب- حالت مستطیلی

با توجه به مقادیر نرخ انتقال رسوب در حالت بدون پوشش و مقادیر بدست آمده از فرمول‌ها در حالت بدون پوشش در جدول ۵ و شکل ۸ می‌توان بیان داشت که فرمول سرک نتایج را نزدیک‌تر به نتایج آزمایشگاهی این پژوهش پیش‌بینی کرده است (خط چین رسم شده در شکل ۸ مقدار نرخ انتقال رسوب در حالت بدون پوشش از داده‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد). بنابراین از این فرمول می‌توان برای بدست آوردن نرخ انتقال رسوب استفاده کرد. ولی به دلیل اینکه در این فرمول‌ها اثر حضور موانع در نظر گرفته نشده است لازم است این فرمول برای شرایط حضور پوشش اصلاح گردد. بنابراین برای مقایسه مقادیر آزمایشگاهی در حالت با پوشش و مقادیر بدست آمده از فرمول سرک از ضریب اصلاحی استفاده شده است. به این منظور ابتدا ضریب اصلاحی، معادل نسبت نرخ انتقال رسوب مقادیر مشاهده‌ای در حالت با پوشش به مقادیر بدست آمده از فرمول سرک (بدون پوشش)، در دو حالت مثلثی و مستطیلی تعیین گردید، که مقادیر آن در مقابل عرض پوشش در شکل ۹ آورده شده است.

جدول ۵- تحلیل آماری روابط تجربی با مقادیر آزمایشگاهی در حالت بدون پوشش

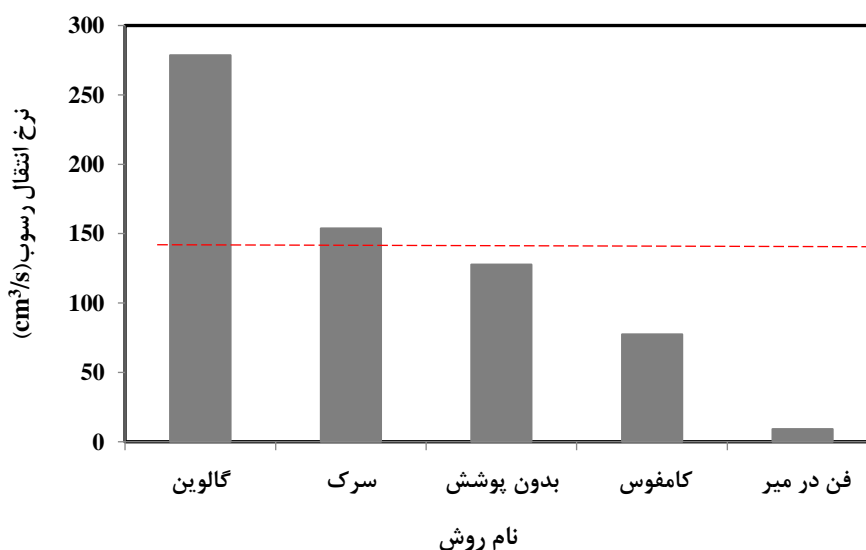
پارامتر آماری	نام روش			
	سرک	گالوبین	فن درمیر	کامفوس
R^2	۹۸	۹۶	۹۰	۹۴
CE	۰/۹۲	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۵۸
NRMSE	۱/۸۳	۷/۱۴	۴/۹۷	۲/۲۳

جدول ۴- نرخ انتقال رسوب در ۴ تراکم و دو حالت مثلثی و مستطیلی

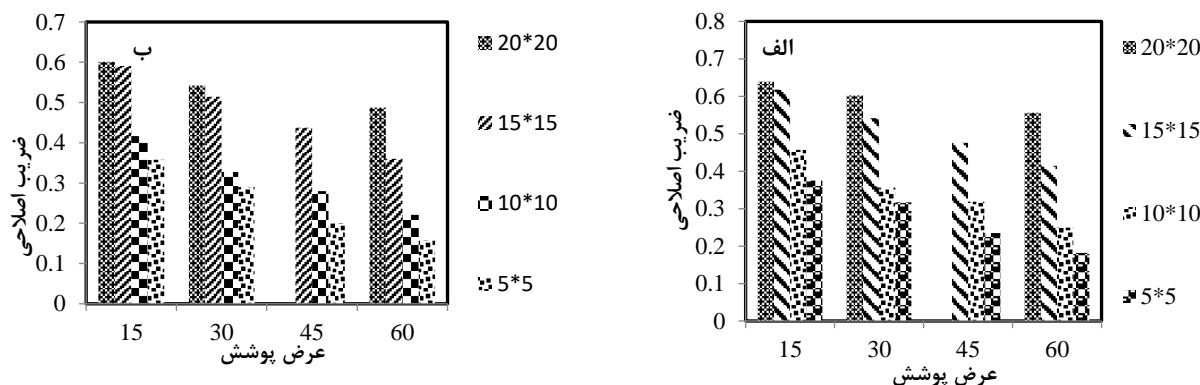
حالت	تراکم			
	۱۲	۳۳	۶۶	۲۷۳
مستطیلی	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۱۲
مثلثی	۰/۶۸	۰/۴۹	۰/۳۱	۰/۱۷

تحلیل آماری و مقایسه مقادیر مشاهده‌ای رسوب خروجی با مقادیر حاصل از روابط تجربی

در این قسمت مقادیر نرخ انتقال رسوب حاصل از آزمایش‌ها در دو حالت با پوشش و بدون پوشش با مقادیر تجربی به دست آمده از فرمول‌ها مقایسه شد. با توجه به اینکه فرمول‌های تجربی در حالت بدون حضور پوشش کارایی دارند بنابراین ابتدا به مقایسه مقادیر نرخ انتقال رسوب در حالت بدون پوشش با مقادیر بدست آمده از فرمول‌ها پرداخته شده است که در ادامه روند آنالیز آماری آورده شده است. همچنین در این مقاله چون شکست موج در ارتفاع موج ۶ به دلیل پایین بودن سطح آب اتفاق نیفتاده است بنابراین از مقادیر نرخ انتقال رسوب بدست آمده از دو ارتفاع موج ۹ و ۱۲ سانتی‌متر که در آنها شکست موج رخ داده، استفاده شده است. به این منظور از ۴ فرمول سرک، گالوبین، فن در میر و کامفوس و برای تحلیل آماری از ۳ پارامتر مجذور مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R^2) و ضریب کارایی (CE) و درصد خطا (Pe) استفاده شد. نتایج در جدول ۵ آمده است. همچنین نمودار نرخ انتقال رسوب در مقابل هر یک از روش‌ها در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- نرخ انتقال رسوب برای روش‌های مختلف و حالت بدون پوشش این پژوهش



شکل ۹- مقادیر ضریب اصلاحی در مقابل عرض پوشش، الف-حالت مستطیلی ب- حالت مثلثی

پوشش گیاهی با در نظر گرفتن شرایط مشابه پژوهش حاضر، استفاده کرد.

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر پارامترهای تراکم پوشش گیاهی، فواصل و عرض پوشش بر روی تغییرات نرخ انتقال رسوب در خط ساحلی است. از مهم ترین پارامترهای موثر در میزان نرخ انتقال رسوب ترتیب قرارگیری و تراکم پوشش گیاهی در ساحل می باشد. زمانی که پوشش گیاهی متراکم تر باشد برخورد جریان با مانع ها بیشتر شده و اتلاف انرژی موج بیشتر می شود در نتیجه از میزان رسوب خروجی در پایین دست کاسته می شود. به طوری که نتایج نشان می دهد، در صورت وجود پوشش، نرخ انتقال رسوب تا ۸۰ درصد کاهش می یابد اما با افزایش ارتفاع موج، نرخ انتقال رسوب افزایش می یابد. با توجه به متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش عدد تراکم تاثیر بیشتری در کاهش نرخ انتقال رسوب دارد بطوریکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی و کاهش فواصل بین پوشش و افزایش تعداد ردیف نرخ انتقال رسوب کاهش می یابد و مقدار رسوب به تله افتاده افزایش می یابد، تا جایی که با افزایش ۱۰۰ درصدی تراکم، نرخ انتقال رسوب ۳۳ درصد کاهش داشته است.

روابط ارائه شده نیز می تواند با شرایط مشابه با شرایط مورد آزمایش به کار برده شود. با توجه به تحلیل های آماری انجام شده فرمول سرک اصلاح شده می تواند مقدار تخمین زده شده رسوب برآوردی را با ضریب همبستگی ۹۲ درصد در حالت باپوشش به واقعیت نزدیک نشان دهد.

بنابراین می توان به این نتیجه رسید که پوشش گیاهی به عنوان عامل نیروی مقاوم، نقش قابل توجهی در کاهش نرخ انتقال رسوب دارد و در شرایط خاص مانند سیل و امواج بلند می تواند مفید و موثر واقع شود تا خسارات کمتری به مناطق ساحلی وارد شود.

با توجه به مقادیر ضریب اصلاحی بدست آمده که برای تراکم های مختلف متفاوت می باشد و از مقایسه این ضریب با عدد تراکم (۸)، بهترین ضریب اصلاحی برای رابطه ای که هم حضور پوشش را در نظر گرفته باشد و هم در تمام شرایط آزمایش ها (به ازای تراکم های مختلف) صدق کند، استفاده از نسبت عکس عدد تراکم می باشد. اما بررسی نتایج نشان داده است که اثر تراکم موانع در ردیف های ابتدایی پوشش بیش از سایر ردیف ها می باشد لذا برای اعمال صحیح تر مفهوم تراکم، از معادل بهتری به نام تراکم موثر استفاده شده است و این تراکم موثر به رابطه سرک وارد شده است. ضریب تراکم موثر طبق مطالعات انجام شده توسط Ghanbari-Adivi and Fathi-Moghadam, 2014 مطرح گردید. به دلیل اینکه بیشترین تاثیر پوشش بر ایجاد نیروی کششی و مقاومت در ردیف های جلویی (۲۵ درصد) ابتدایی می باشد، در این مطالعه نیز با توجه به شرایط مشابه آزمایش ها از نظر صلب بودن پوشش گیاهی و عرض محدوده مورد بررسی، می توان از ضریب پیشنهادی ایشان استفاده نمود. بنابراین رابطه اصلاحی سرک برای شرایط حضور موانع، به صورت رابطه ۸ تبدیل می شود.

$$Q_{LS} = \frac{0.02H_{sb}^2 C_b \sin(2\alpha_b)}{0.25\lambda} \quad (\text{رابطه ۸})$$

سپس تحلیل آماری بین مقدار محاسباتی بدست آمده از رابطه اصلاحی سرک با و مقادیر آزمایشگاهی در حالت با پوشش انجام شد که نتایج در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- تحلیل آماری فرمول سرک اصلاح شده با مقادیر آزمایشگاهی در

حالت با پوشش			
NRMSE	CE	R ²	Pe
۱/۱۵	۰/۵۹	۹۲	۰/۳۱

با توجه به جدول ۶ و مقادیر ضرایب همبستگی و کارایی و مجذور مربعات خطا که در حد قابل قبول هستند، می توان بیان نمود که از فرمول سرک اصلاح شده می توان برای سواحل دارای

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله بدین وسیله قدردان این حمایت می‌باشند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

تحقیق حاضر با حمایت مالی دانشگاه شهرکرد انجام شده است.

REFERENCES

- Battjes, J. A. (1974), Surf similarity, in 'Proceedings of the 14-th Conference on Coastal Engineering', number 1, pp. 466-480
- Chang HY and Hwung HH, (2006). *Experimental on the run-up of solitary waves over sloping bottom*. Symposium of Coastal and Ocean Engineering 1:14.
- Chegini, W., (1998), Wave Theories, Jihad Water and Watershed Management Research Company Publications. First Edition. Tehran. Iran. 311 pages. . (in Farsi).
- Chen, Y., C. E. L. Thompson, and M. B. Collins, (2012), *Saltmarsh creek bank stability: Biostabilisation and consolidation with depth*, Continental Shelf Research, 35, 64-74.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A., (1991), *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist*, World Scientific Publishing, Singapore.
- Ebrahimi. N. GH., Shirdeli. A., and Shafaei. H.,(2016), *Sediment Trap and Flow Components in the Channel with Vegetation Cover*. Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering/Vol.16/No.65/P:71-84.(in Farsi).
- Emamzadeh, A. M., Zoljudi, M. and Lari, K.,(2017), Comparison of Estimation Rate and Volume of Sedimentation in Imam Khomeini Port Access Canal Using Hydrographic Methods, Biker Theory and Modeling by Mike 21. Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR) Vo.27,No.106.(in Farsi).
- Esteban, M. Thao, D. N. Takagi, H. and T, Shibayama, (2008), *Analysis of rubble mound foundation failure of a caisson breakwater subjected to tsunami attack*. 18th Offshore and Polar Engineering Conference, Vancouver, 7p.
- Fu Li, J., Samkele S, T. and Su, C. C., (2018), Effects of Vegetation Density and Arrangement on Sediment Budget in a Sediment-Laden Flow, Journal Water, 10(10):1412.
- Galvin, C.J. (1972). A cross longshore transport rate formula. Proceeding of the 13th Coastal Engineering Conference. Vancouver, B.C., Canada
- Ghanbari Adivi, A. and Fathi Moghaddam, M.,(2014), *Vegetation impact on the drag coefficient and resistance of trees against shore waves*, Agricultural Journal of Irrigation Science and Engineering. Volume 38. Number 2 . Pages 103 - 112(in Farsi).
- Ghanbari Adivi, E., Fathi Moghadam, M. and Sadri Nasab, M., 2015. Laboratory study at the impact of coastal green belt on wave attenuation. Journal of Marine Science and Technology, 13(4), pp.40-50 (in Farsi).
- Gurnell, A., (2014), *Plants as river system engineers*, Earth Surf Process Landforms 39:4-25.
- Horppila, J. and Nurminen, L.,(2003), Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in lake hiidenvesi. Water Res, 37, 4468-4474.
- Jalil Masir, H., Fattahi, R. And Ghanbari Adivi, A.,(2020), *Impact of coastal forest cover on stabilization, protection and rehabilitation of sandy beaches exposed to tsunami waves*. Khorramshahr Journal of Marine Science and Technology.(in Farsi).
- Jalil Masir, H., Fattahi, R., Ghanbari-Adivi, E. and Aghbolaghi, M.A., 2021. Effects of different forest cover configurations on reducing the solitary wave-induced total sediment transport in coastal areas: An experimental study. Ocean Engineering, 235, p.109350
- Kamphuis, J.W. (1991). Alongshore Sediment Transport Rate. Journal of Waterway, Port, Coastal, and OceanEng. 117(6), pp. 624-640
- Miche, R. (1954). Mouvement ondulatoires de la mer en profondeur constante ou décroissante, Annales des ponts et chaussées.
- Nardin, W., Larsen, L., Fagherazzi, S. and Wiberg, P., (2018), *Tradeoffs among hydrodynamics, sediment fluxes and vegetation community in the Virginia Coast Reserve, USA*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 210: 98-108.
- Parnak. F., Rahimpour. M. and Qaderi. K.,(2018), *Experimental Investigation of the Effect of Rigid and Flexible Vegetation on Sediment Transport in Open Channels*. Journal of Water and Soil Vol. 32, No. 2, May.-Jan. 2018, p. 239-252.(in Farsi).
- 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.
- Sadeghifar T, Azarmsa S A, Vafakhah M. Prediction of Alongshore Sediment Transport Rate Using Semi-Empirical Formulas and an Artificial Neural Networks (ANNs) model in Noor Coastal zone . marine-engineering. 2013; 9 (17) :77-86
- Sharpe, R. G. and James, C. S.,(2006), *Deposition of sediment from suspension in emergent vegetation*. Water SA. 32(2): 211-218.
- Shiono, K. L., Chan, T. L., Spooner, J., Rameshwaran. P. and Chandler, J. H.,(2009), The effect of floodplain roughness on flow structures, bedforms and sediment transport rates in meandering channels with overbank flows, Part II. J. Hydraul. Res. 47(1): 20-28.
- Tuan Vu, M., Lacroix, Y. and Nguyen, V.T. Investigating the impacts of the regression of Posidonia oceanica on hydrodynamics and sediment transport in Giens Gulf. Ocean Engineering 146 -70-86.

- Van der Meer, J.W. and Pilarczyk, K.W. (1990). Static and Dynamic Stability of Loose Materials. Coastal Protection. Balkema, Rotterdam. PP. 157-195
- Vastila, K., Jarvela, J. and Koivusalo, H., (2016), *Flow vegetation sediment interaction in a cohesive compound channel*. Journal Hydraul Eng 142(1).
- Wang, H., Tang, H.W., Zhao, H.Q., Zhao, X.Y. and Lü, S.Q., 2015. *Incipient motion of sediment in presence of submerged flexible vegetation*. Water Science and Engineering, 8(1), pp.63-67
- Wang, H., Tang, H.W., Zhao, H.Q., Zhao, X.Y. and Lu, S.Q., (2015), *Incipient motion of sediment in the presence of submerged flexible vegetation*, Water Sci. Eng., 8, 63-67.
- Zhang, Y., Laib, X., Zhanga, L., Songc, K., Yaoa, X., Gub, L. and Pangd, C., (2020). The influence of aquatic vegetation on flow structure and sediment deposition: A field study in Dongting Lake, China. Journal of Hydrology 584 . 124644.
- Zhou, Z. C., Gan, Z. T. and Shangguan, Z. P., (2013), *Sediment trapping from hyperconcentrated flow as affected by grass filter strips*. Pedosphere. 23(3): 372-375.