

اثرات نفوذپذیری کف ساحل بر بالاروی امواج و تنش اعمال شده به بستر

مجتبی ذوالجودی* و عباسعلی علی اکبری بیدختی**

* واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی و مرکز علوم جوی و اقیانوسی سازمان هواشناسی کشور.

** موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.

دریافت مقاله: ۸۱/۲/۱۶ پذیرش مقاله: ۸۲/۶/۲۵

چکیده

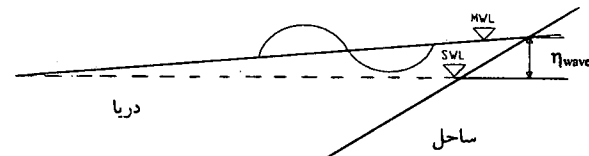
در این تحقیق اثر نفوذپذیری بستر ساحل، بر بالاروی موج از ساحل و نیز شمای اولبری خطوط جریان و مسیر حرکت ذرات شاره درون بستر نفوذپذیر با استفاده از روش آزمایشگاهی بررسی شده است. آزمایش‌ها با استفاده از تابش امواج به ساحل مصنوعی نفوذپذیر در آزمایشگاه هیدرولیک دریای مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری انجام شده است. همانطور که می‌دانیم خصوصیات کلی جریان به نوع ساختار (نفوذپذیری) بستر بستگی دارد. بر حسب این ساختار، سه پارامتر تنش برشی بستر، پروفیل سرعت و مؤلفه سرعت‌های تراوشی نوسانی (W) درون بستر تغییر می‌کنند. هنگامی که شاره در اثر افزایش "هد" به درون بستر نفوذ می‌کند ($W < 0$)، در اصطلاح درون بستر مکش ایجاد می‌شود. در این حالت خطوط جریان به بستر نزدیک‌تر می‌شود و متوسط سرعت در نزدیک بستر بیشتر و تنش روی بستر تا $2/5$ برابر افزایش می‌یابد. در اثر کاهش "هد"، شاره از درون بستر به بیرون تراوش می‌کند ($W > 0$) و در اصطلاح از درون بستر به سمت شاره جوش ایجاد می‌شود. در این حالت خطوط جریان از بستر دور می‌شود و متوسط سرعت در نزدیک بستر کاهش می‌یابد و از تنش روی بستر تا 70% درصد کاسته می‌شود. برای بررسی تأثیر ساختار (نفوذپذیری) ساحل روی بالاروی، از 5 موج منظم در محدوده تیزی $0.15(5\%)$ تا 0.05 در آب عمیق استفاده شده است. میزان بالاروی امواج با استفاده از دریاچه‌های ارتفاع‌سنج موج که به‌صورت مایل روی شیب ثابت ($1:4$) ساحل مصنوعی نصب شده بودند، ثبت و اندازه‌گیری شده است. با استفاده از دوربین فیلمبرداری در زیر آب و درون بستر و با تزریق رنگ به درون بستر، خطوط جریان و مسیر حرکت ذرات شاره در سه نفوذپذیری متفاوت رسم شده است. همچنین سرعت جریان درون بستر در دو نقطه نزدیک سطح بستر و عمق بستر محاسبه شده است. با معرفی سرعت تراوشی نسبی بدون بعد $\bar{V} = W/U$ ، نشان داده شده است که در یک تناوب خاص، با افزایش \bar{V}_s در حالت مکش، مقدار تنش وارد بر بستر افزایش و با افزایش سرعت نسبی \bar{V}_p در حالت جوش، مقدار تنش وارد بر بستر کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: نفوذپذیری، امواج، بالاروی موج، تنش بستر

۱ مقدمه

قرار گرفته است، اما اثر نفوذپذیری بستر روی مشخصه‌های امواج، تنها توسط کانلی و اینمن (۱۹۹۴) انجام شده است. یکی از نتایج مطالعات کانلی و اینمن (۱۹۹۴) روی جریان‌های درون بستر نفوذپذیر در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت مکش، تنش اعمال شده به بستر افزایش و با افزایش سرعت جوشش، تنش بستر کاهش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌شود که سرعت مکش رابطه‌ای مستقیم با ضریب نفوذپذیری، گرادیان فشار و رابطه‌ای عکس با ویسکوزیته شاره دارد. تحقیق کانلی و

جریان شاره در یک محیط متخلخل نظیر یک بستر شنی، به میزان نفوذپذیری آن بستگی دارد. در محاسبه نفوذپذیری بستر، ضریب آبگذری رسوبات بستر و گرادیان هیدرولیکی شاره دارای اهمیت است. براساس جستجوی به‌عمل آمده در خصوص مسئله نفوذپذیری، با توجه به شرایط آزمایشگاهی این تحقیق، کار زیادی صورت نگرفته است، اما مطالعات میدانی در مورد اثر بستر روی رفتار موج، توسط کانلی و اینمن (۱۹۹۲) انجام شده است که نحوه شکل‌گیری کف بستر را وابسته به تغییرات تنش کف دانسته‌اند. اثر نفوذپذیری روی لایه مرزی تلاطمی نیز مورد مطالعه



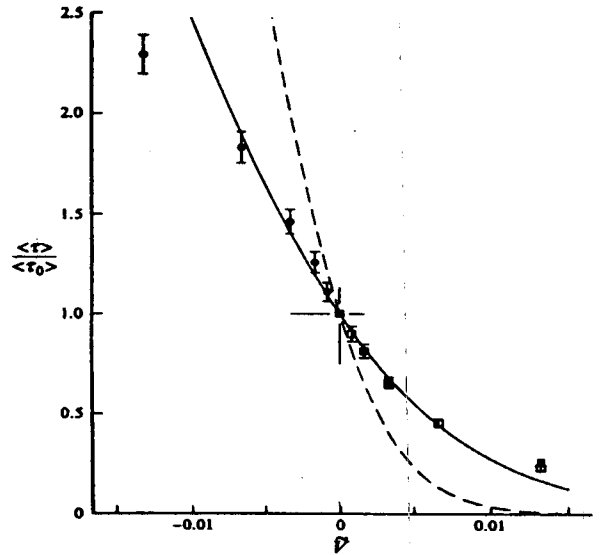
شکل ۲. خیزاب موج.

کاهش عمق، ارتفاع موج افزایش می‌یابد و در نهایت منجر به شکست موج می‌شود. پس از شکست امواج، به دلیل شکافتن موج و به تعادل رسیدن آن با نیروی هیدرواستاتیکی، سطح متوسط آب افزایش پیدا می‌کند. این افزایش سطح متوسط آب را پدیده خیزاب می‌نامند. از این رو یک "هد" ثابت (η_{wave}) هنگام موج بودن دریا در سمت ساحل نسبت به سطح ایستابی ایجاد می‌شود (شکل ۲). در این حالت تراز متوسط آب، بالاتر از تراز ایستابی قرار می‌گیرد (سیلیگ و آهرنز، ۱۹۸۱؛ آلسوب و همکاران، ۱۹۸۵؛ پوستما، ۱۹۸۹).

واکنش هیدرولیکی بالاروی موج زمانی رخ می‌دهد که امواج به خط ساحل می‌رسند. در این لحظه امواج به دلیل دارا بودن انرژی جنبشی، از شیب ساحل بالا می‌روند و فاصله قائم نوسان سطح آب در بالای سطح ایستابی، بالاروی موج نامیده می‌شود (شکل ۳-الف). زمانی که انرژی جنبشی به صفر رسید، به واسطه انرژی پتانسیل موجود و پیوستگی شاره، موج از شیب ساحل به سمت پایین حرکت می‌کند و واکنش هیدرولیکی پایین روی موج رخ می‌دهد. فاصله قائم نوسان سطح آب در زیر سطح ایستابی، پایین روی موج نامیده می‌شود. (شکل ۳-ب).

بالاروی موج، به بستر ساحل فشار مثبت و پایین روی موج به بستر فشار منفی اعمال می‌کند.

اگر بستر دریا نفوذ پذیر باشد، با حرکت موج به سمت ساحل و انجام واکنش‌های هیدرولیکی بالاروی و پایین روی موج از شیب ساحل، جریان‌هایی در درون بستر ساحل ایجاد می‌شوند. جریان فوق درون بستر نفوذ می‌کند ولی میرایی آنها در اندرکنش



شکل ۱. نتایج تحقیق کانلی و اینمن، در سال ۱۹۹۴. روی تغییرات نسبی تنش بستر نفوذپذیر برای حالت جوشش (مقادیر مثبت \bar{v}) و برای حالت مکش (مقادیر منفی \bar{v}).

اینمن، روی یک بستر افقی و با تغییر نوسانی "هد" شاره، با تناوب ثابت انجام شده است.

آنتونیا و همکاران (۱۹۹۰) نیز روی اثر مکش سطح بر لایه مرزی تلاطمی و پدیده جدایش مطالعاتی انجام داده‌اند.

در این بررسی، اثرات جوشش و مکش بر تنش سطحی یک بستر شیبدار که تحت بالاروی یا پایین روی قرار دارند، بررسی می‌شود. همچنین این اثرات روی بالاروی امواج نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

با توجه به اینکه در مدل‌های آزمایشگاهی برای بررسی میزان بالاروی، پایین روی و در کل واکنش‌های هیدرولیکی در موج شکن‌ها و سازه‌های ساحلی، نفوذپذیری بستر را به دلیل انتخاب مقیاس‌های بین ۳۰ تا ۵۰ قابل صرف نظر کردن فرض می‌کنند، لذا برای بررسی تأثیر نفوذپذیری بستر انجام چنین آزمایش‌هایی ضروری است.

۲. مبانی فیزیکی خیزاب و بالاروی

هنگامی که امواج به ناحیه کم عمق دریا می‌رسند، تحت تأثیر

تیزی موج است:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s}} \quad (1)$$

که در آن s تیزی موج، که عددی بدون بعد بوده و برابر نسبت ارتفاع موج H ، به طول موج L است:

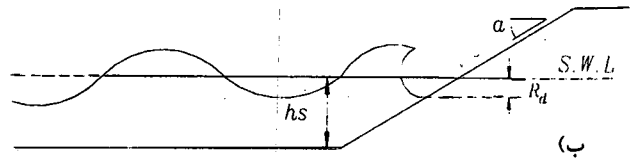
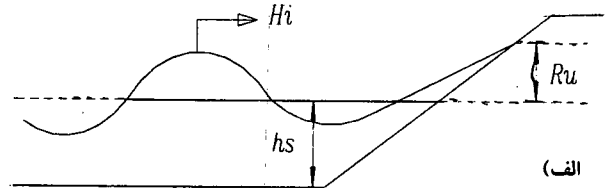
$$s = \frac{H}{L} \quad (2)$$

۳ مراحل انجام آزمایشها

جهت بررسی تأثیر نفوذپذیری بستر ساحل بر واکنشهای هیدرولیکی موج، از مدل آزمایشگاهی استفاده شده است. آزمایشها در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است. این فلوم موج دارای ۳۵ متر طول، ۵/۵ متر عرض و یک متر عمق است. برای جلوگیری از ایجاد امواج عرضی، فلوم موج توسط دو دیواره جدا کننده به سه قسمت تقسیم شده است که فلوم میانی دارای ۲۴ متر طول از ابتدای فلوم، ۱/۰ متر عرض و ۱/۰ متر عمق می باشد. آزمایشها بر روی یک ساحل مصنوعی در ابتدای فلوم میانی و در قسمت قابل رؤیت آن انجام شده است. در انتهای فلوم موج یک پاروی پیستونی قائم قرار دارد که امواج را تولید می کند.

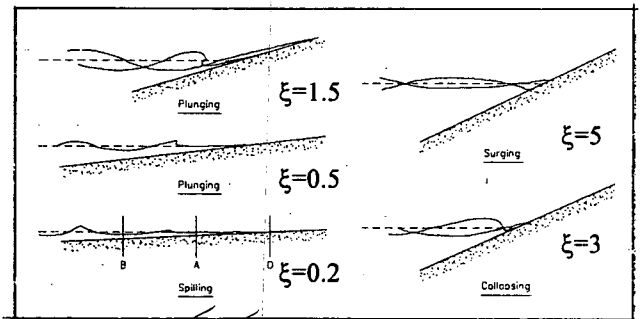
ساحل مصنوعی در یک محفظه به ابعاد ۲/۰ متر طول، ۱/۰ متر عرض و ۰/۴۵ متر عمق با شیب ثابت ۴ : ۱ ساخته شده است. این محفظه با مصالح سنگریزه‌ای مختلف که دارای نفوذپذیریهای متفاوت هستند پر شده که معرف مصالح ساحل است (سالزی، ۱۹۹۷). مصالح ماسه‌ای و سنگریزه‌ای براساس آزمایشهای مکانیک خاک با سه نفوذپذیری مختلف (با سه ضریب آبگذری ۰/۰۸۳ و ۰/۰۸۰ و ۰/۰۷۹ سانتیمتر بر ثانیه) برای انجام آزمایشها در نظر گرفته شده‌اند. همچنین آزمایشها روی بستر نفوذناپذیر برای مقایسه به عنوان شاهد تکرار شده است.

در طول انجام آزمایشها، پنج عدد موج منظم با سامانه مولد موج تولید و به ساحل مصنوعی تابیده شده است. امواج تابیده شده به ساحل مصنوعی دارای محدوده‌ای از تیزی موج بین



شکل ۳. الف) بالا روی موج، ب) پایین روی موج.

با مصالح بستر باعث می شود که جریان تا عمق خاصی در بستر نفوذ کند. علت جریان فوق گرادیان فشار آب است و برای جریان فوق در درون بستر، گرادیان سرعت ایجاد شده با توجه به دانه بندی و نفوذپذیری بستر متفاوت خواهد بود. استهلاک جریانهای ساحلی به واسطه نفوذپذیری بستر منجر به اتلاف انرژی امواج به صورت کاهش در میزان بالاروی و پایین روی و نیز تغییر در نحوه شکست و همچنین بازتاب موج از ساحل خواهد شد.

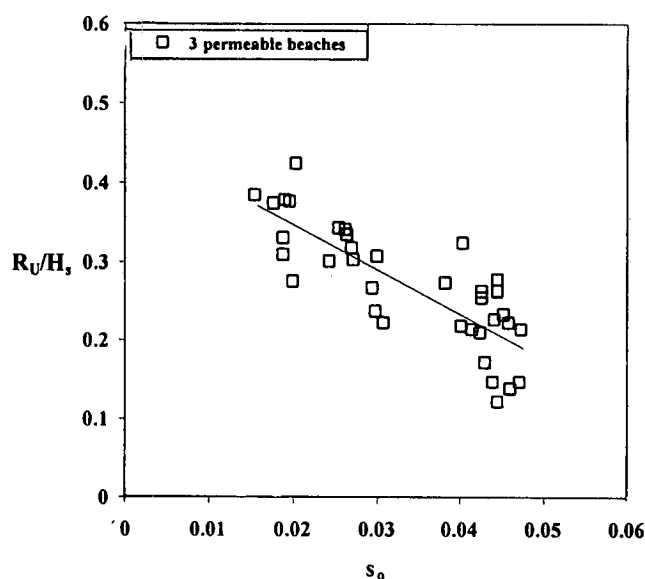


شکل ۴. پارامتر تشابه شکست (بتجس، ۱۹۷۴).

برای نشان دادن نحوه شکست موج و اندرکنش موج با شیب ساحل از پارامتر تشابه شکست، ξ ، یا عدد بدون بعد ایری بارن استفاده می شود (شکل ۴). پارامتر تشابه شکست برابر نسبت شیب ساحل α به جذر

جدول ۱. مقادیر خطای کمیت‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها.

کمیت	بالاروی موج	ارتفاع موج	تناوب موج	سرعت جریان ناشی از بالاروی و پایین‌روی	سرعت جریان داخل بستر (مکش و جوشش)	سرعت جریان عمومی داخل بستر در دو عمق ۳ و ۱۳ سانتی‌متری
نماد	R_u	H_s	T	U_{ru}, U_{rd}	W_s, W_i	V_1, V_2
واحد	cm	cm	s	cm/s	cm/s	cm/s
خطا	± 0.1	± 0.05	± 0.01	± 0.025	± 0.01	± 0.05



شکل ۵. بالاروی نسبی امواج بر حسب تیزی موج، برای سه بستر با نفوذپذیری‌های مختلف.

شکل ۵، نمودار بالاروی نسبی موج بر حسب تیزی موج برای سواحل نفوذپذیر و خط برازش داده شده بر نقاط اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

در شکل ۶، میزان بالاروی نسبی بر حسب تیزی موج روی سواحل نفوذپذیر با سواحل نفوذناپذیر مقایسه شده و بهترین خط با بیشترین ضریب همبستگی بر داده‌ها برازش داده شده است. اثر نفوذپذیری به‌طور آشکاری باعث کاهش قابل ملاحظه (تا پنج برابر) بالاروی موج، به ویژه برای امواج با تیزی کم می‌شود.

در شکل ۷، بالاروی نسبی موج بر حسب تیزی موج روی سواحل نفوذپذیر با سه ضریب نفوذپذیری (با ضرایب آنگدردی $K_1 = 0.083$ cm/s، $K_2 = 0.080$ cm/s و $K_3 = 0.079$ cm/s)

در طول انجام آزمایش و هنگام اندرکنش موج و ساحل، یک دستگاه دوربین فیلمبرداری در زیر آب و روی بستر ساحل نصب شده و جریان شاره درون بستر توسط تزریق رنگ و دنبال کردن مسیر حرکت آن ثبت و مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت جریان با اندازه‌گیری زمان صرف شده و مسافت جابه‌جایی رنگ استخراج شده است. دقت مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است.

دو دستگاه ارتفاع‌سنج موج روی بستر شیبدار ساحل استقرار یافته تا میزان بالاروی و پایین‌روی موج از شیب ساحل ثبت شود. در مجموع تعداد ۴۳ آزمایش صورت گرفت که نتایج آن به صورت نمودار و جداول ارائه شده است.

۱-۳ خطاهای اندازه‌گیری در آزمایش

پارامترهای مورد اندازه‌گیری در آزمایش‌ها به ترتیب عبارت‌اند از بالاروی موج، ارتفاع عمده امواج، تناوب امواج، سرعت جریان درون بستر. در جدول ۱ میزان خطای اندازه‌گیری کمیت‌های فوق در آزمایش‌ها ارائه شده است.

۴ نتایج

۱-۴ تأثیر نفوذپذیری بر میزان بالاروی امواج

در این بخش نمودارهای بالاروی نسبی موج (به شکل بدون بعد، R_u/H) بر حسب تیزی موج و پارامتر تشابه شکست ارائه شده‌اند. همچنین میزان سرعت جریان درون بستر و نمودار اثر سرعت جوشش و مکش بر تنش ایجاد شده، مورد بررسی قرار گرفته است.

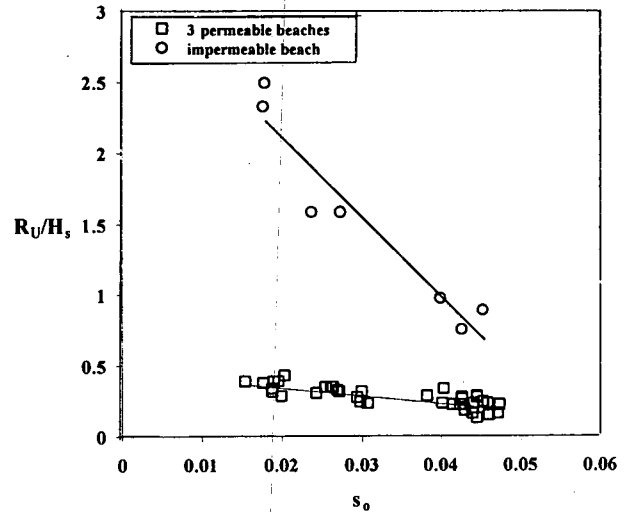
صفحه مشبک دوربین فیلمبرداری، تأثیر نفوذپذیری بستر روی جریان درون بستر بررسی شده است. روش کار استفاده از حرکت ذرات رنگ و محاسبه سرعت عمومی جریان در درون بستر در دو نقطه نزدیک سطح بستر و عمق آن بوده است. در جدول ۲ ارتفاع، تناوب امواج و سرعت جریان داخل بستر ارائه شده است. نتایج حاصل از تحلیل فیلم، منجر به تهیه نمودارهایی مشابه اشکال ۸ و ۹ شده است. کاهش شعاع انحنای مسیر حرکت لکه رنگ با کاهش نفوذپذیری مشهود است. در ضمن با افزایش عمق نیز این شعاع کاهش پیدا می کند که نشانگر افزایش مقاومت بستر در مقابل حرکت شاره با افزایش عمق و کاهش قطر ذرات است.

۳-۴ تأثیر نفوذپذیری بستر بر تنش وارد بر بستر همان طور که در قبل اشاره شد، هنگامی که شاره به درون بستر، نفوذ می کند ($W_{suction}$) در اصطلاح یک مکش رخ می دهد و در حالتی که شاره از بستر خارج می شود ($W_{injection}$) یک جوشش پدید می آید.

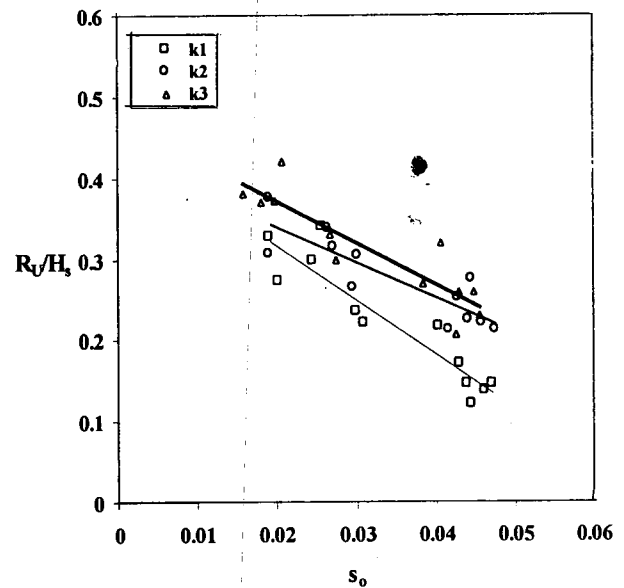
با مطالعه مسیر حرکت رنگ تزریق شده به درون بستر، $W_{injection}$ و $W_{suction}$ در آزمایش های مختلف برای سه نوع نفوذپذیری K_1 ، K_2 و K_3 اندازه گیری شد. در شرایط آزمایشگاهی و در هنگام بالاروی موج، سرعت افقی روی بستر همان سرعت بالاروی، U_{runup} است که پدیده مکش بستر مشاهده می شود. در هنگام پایین روی موج، سرعت افقی روی بستر، همان سرعت پایین روی، $U_{rundown}$ است که پدیده جوشش از بستر رخ می دهد. با توجه به تحقیقات کانلی و اینمن (۱۹۹۴) و معرفی پارامتر بدون بعد $\tilde{V} = W/U$ ، این پارامتر در دو حالت:

$$\tilde{V}_i = \frac{W_{injection}}{U_{rundown}} \quad \text{و} \quad \tilde{V}_s = \frac{W_{suction}}{U_{runup}} \quad (۳)$$

برای تمامی آزمایش ها، محاسبه شد که از نظر قدر مطلق \tilde{V}_s تقریباً با \tilde{V}_i مساوی بود. این نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۶. بالاروی نسبی امواج بر حسب تیزی موج در سواحل نفوذپذیر در مقایسه با ساحل نفوذناپذیر.



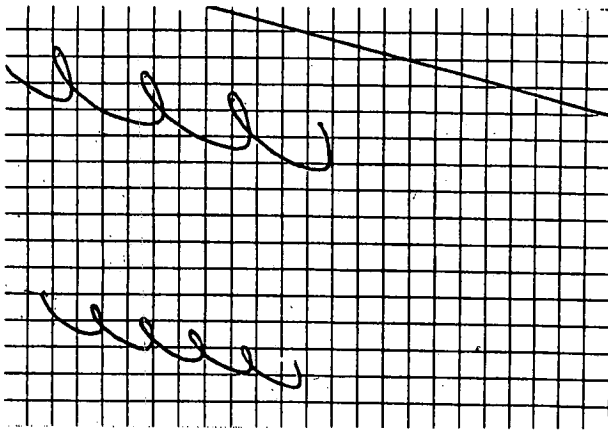
شکل ۷. مقایسه بالاروی نسبی امواج بر حسب تیزی موج روی ساحل با ضرایب نفوذپذیر مختلف K_1 ، K_2 و K_3 .

به همراه خطوط برازش داده شده، مقایسه شده اند. مشاهده می شود که بالاروی نسبی موج با افزایش نفوذپذیری کاهش می یابد.

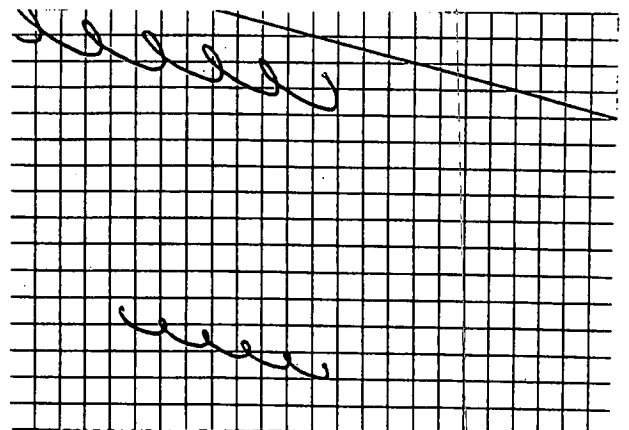
۲-۴ تأثیر نفوذپذیری بستر روی جریان درون بستر با استفاده از بازبینی فیلم مسیر حرکت رنگ تزریق شده در جلوی

جدول ۲. اطلاعات مربوط به آزمایش‌ها اندازه‌گیری سرعت درون بستر:

شماره آزمایش	نفوذپذیری	ارتفاع موج cm	تناوب موج (s)	سرعت جریان داخل بستر	
				سرعت در عمق ۳ سانتی‌متر V_1 (cm/s)	سرعت در عمق ۱۳ سانتی‌متری V_2 (cm/s)
۱۰۰۱	K_1 (۰/۰۸۳)	۱۰/۹	۱/۹۶	۳/۸	۲/۸
۱۰۰۲		۹/۲	۱/۶	۳/۴	۲/۶
۱۰۰۳		۹/۱	۱/۳۹	۳/۶	۲/۹
۱۰۰۴		۹/۷	۱/۲۴	۳/۶	۲/۸
۱۰۰۵		۸/۸	۱/۱۳	۳/۵	۲/۵
۱۰۰۶		۷/۵	۱/۰۵	۳/۶	۲/۵
۳۰۰۷	K_2 (۰/۰۸۰)	۱۱/۵	۱/۹۶	۱/۷۸	۱/۰۲
۳۰۰۸		۱۰/۶	۱/۶	۱/۸۴	۱/۰۶
۳۰۰۹		۷/۸	۱/۳۹	۱/۸۳	۱/۰۸
۳۰۱۰		۱۰	۱/۲۴	۱/۸۵	۱/۱۳
۳۰۱۱		۸/۵	۱/۱۳	۱/۸۶	۱/۱۵
۳۰۱۲		۸/۷	۱/۰۵	۱/۸۶	۱/۰۵
۲۰۰۷	K_3 (۰/۰۷۹)	۹/۸	۱/۹۶	۱/۲۸	۰/۸۷
۲۰۰۸		۹/۴	۱/۶	۱/۳۱	۰/۸۸
۲۰۰۹		۸/۳	۱/۳۹	۱/۳۷	۰/۹
۲۰۱۰		۹/۵	۱/۲۴	۱/۳۳	۰/۹۷
۲۰۱۱		۸/۹	۱/۱۳	۱/۳۳	۰/۸۸
۲۰۱۲		۹/۶	۱/۰۵	۱/۳۳	۰/۸۶



شکل ۹. نمودار مسیر حرکت رنگ تزریق شده در دو نقطه به ترتیب از بالا در نزدیک ۳ سانتی‌متری سطح بستر ($V_1 = 1/78$ cm/s) و در عمق ۱۳ سانتی‌متری بستر ($V_2 = 1/02$ cm/s)، آزمایش ۳۰۰۷ (نفوذپذیری بیشتر). خط مستقیم در بالا، سطح بستر ساحل مصنوعی را نشان می‌دهد. اندازه چهارگوش‌ها 1 cm^2 است.



شکل ۸. نمودار مسیر حرکت رنگ تزریق شده در دو نقطه به ترتیب از بالا در ۳ سانتی‌متری از سطح بستر ($V_1 = 1/28$ cm/s) و در عمق ۱۳ سانتی‌متری از سطح بستر ($V_2 = 0/87$ cm/s)، آزمایش ۳۰۰۷ (نفوذپذیری کمتر). خط مستقیم در بالا، سطح بستر ساحل مصنوعی را نشان می‌دهد. اندازه چهارگوش‌ها 1 cm^2 است.

جدول ۳. اندازه‌گیری پارامترهای متفاوت سرعت در آزمایش‌ها.

شماره آزمایش	W_{suction} (cm/s)	$W_{\text{injection}}$ (cm/s)	U_{runup} (cm/s)	U_{rundown} (cm/s)	$\tilde{V}_s = \frac{W_s}{U_{\text{runup}}}$	$\tilde{V}_i = \frac{W_i}{U_{\text{rundown}}}$
۱۰۰۱	-۷/۹۸۷۴	۲/۲۵۹	۶۶/۰۵۴	۱۸/۲۳۶۰	-۰/۱۲۰۹	+۰/۱۲۰۹
۱۰۰۲	-۷/۸۶۲۸	۲/۳۲۳۹	۴۰/۱۹۳۵	۱۱/۸۷۹۵	-۰/۱۹۵۶	+۰/۱۹۵۶
۱۰۰۳	-۹/۳۸۹۳	۲/۶۱۱۴	۳۴/۸۲۹	۹/۶۸۶۹	-۰/۲۶۹۶	+۰/۲۶۹۶
۱۰۰۴	-۹/۰۳۷	۳/۳۵۰	۳۲/۱۰۶۹	۱۱/۹۱۰۳	-۰/۲۸۱۳	+۰/۲۸۱۳
۱۰۰۵	-۸/۵۹۶۵	۳/۳۷۷۴	۲۶/۹۹۲۹	۱۰/۶۰۵۱	-۰/۳۱۸۵	+۰/۳۱۸۵
۱۰۰۶	-۷/۱۸۳۶	۳/۲۳۰۹	۲۰/۹۶۱۹	۹/۴۲۷۸	-۰/۳۴۲۷	+۰/۳۴۲۷
۳۰۰۷	-۳/۶۴۱۳	۱/۵۱۸۱	۶۱/۳۹۵۳	۲۵/۵۹۷۲	-۰/۰۵۹۳۱	+۰/۰۵۹۳۱
۳۰۰۸	-۳/۴۸۰۲	۱/۸۶۰۸	۳۸/۵۵۲۱	۲۰/۶۱۳۳	-۰/۰۹۰۳	+۰/۰۹۰۳
۳۰۰۹	-۴/۱۸۲	۱/۵۴۱۷	۲۳/۵۷۱۶	۱۲/۰۰۱۱	-۰/۱۲۸۵	+۰/۱۲۸۵
۳۰۱۰	-۴/۱۸۲	۲/۲۸۰۶	۲۷/۵۸۸۱	۱۵/۰۴۵	-۰/۱۵۱۶	+۰/۱۵۱۶
۳۰۱۱	-۳/۹۱۲۲	۲/۱۱۲۳	۲۳/۰۰۵۸	۱۲/۴۲۲۹	-۰/۱۷	+۰/۱۷
۳۰۱۲	-۳/۸۹۹۵	۲/۴۷۵۷	۲۰/۸۳۶۵	۱۳/۲۲۸۵	-۰/۱۸۷۲	+۰/۱۸۷۲
۲۰۰۷	-۱/۹۹۲۵	۱/۰۵۲۷	۴۷/۳۹۲۱	۲۵/۴۳۵۷	-۰/۰۴۲	+۰/۰۴۲
۲۰۰۸	-۲/۱۵۹	۱/۳۰۲۶	۳۱/۸۳۳	۱۹/۴۳۰۹	-۰/۰۶۷۰	+۰/۰۶۷۰
۲۰۰۹	-۲/۰۵۷	۱/۳۶۰	۲۳/۴۲۸۸	۱۵/۵۲۴۹	-۰/۰۸۷۸	+۰/۰۸۷۸
۲۰۱۰	-۲/۵۶۶۴	۱/۷۹۵۶	۲۴/۰۳۱۶	۱۶/۸۱۳۷	-۰/۱۶۰۸	+۰/۱۶۰۸
۲۰۱۱	-۲/۵۰۵	۱/۹۲۵	۲۰/۲۲۱۵	۱۵/۵۳۹۴	-۰/۱۲۳۹	+۰/۱۲۳۹
۲۰۱۲	۲/۸۵۶۷	۲/۲۴۵۴	۲۱/۰۵۷۱	۱۶/۹۰۶۲	-۰/۱۳۲۸	+۰/۱۳۲۸

۱۰)، در مورد تنش اعمال شده به بستر نشان دهنده تشابه روند تغییرات تنش با سرعت بدون بعد در این دو مطالعه است. البته نتایج کانلی و اینمن برای بستر افقی و با یک تناوب موج است. اما در این مطالعه، با ۶ تناوب موج روی بستر شیبدار، حاصل شده است. کاهش نسبی تنش تا حدود ۷۰٪ برای حالت جوشش کاملاً مشهود است. برای حالت مکش نیز افزایش تنش نسبی تا ۲/۵ برابر قابل ملاحظه است. نتایج مشابهی نیز توسط کانلی و اینمن (۱۹۹۴) به دست آمده است. این تغییرات شدید نشانگر نقش نفوذپذیری بستر روی تنش است که باید در شرایط واقعی نیز در نظر گرفته شود.

در شیب‌های صاف و نفوذناپذیر (تخته‌های بالاروی موج) و تحقیق وندرمیر (۱۹۸۸)، در مورد شیب‌های سنگریزه‌ای نفوذپذیر (با هسته نفوذناپذیر) ارائه شده است. لازم به ذکر است که

مشاهدات کانلی و اینمن (۱۹۹۴) نشان می‌دهد که در موجی با تناوب ثابت، با افزایش \tilde{V}_s نسبت تنش بستر در حالت نفوذپذیر (τ) به تنش بستر در حالت بستر نفوذناپذیر (τ_0) یعنی τ/τ_0 افزایش می‌یابد و با افزایش \tilde{V}_i نسبت τ/τ_0 کاهش پیدا می‌کند. در تحقیق حاضر این مسأله با در نظر گرفتن شش تناوب ثابت برای نفوذپذیری‌های متفاوت بررسی شد که نتیجه آن در شکل ۱۰ ارائه شده است.

قابل ذکر است $\frac{\tau}{\tau_0} \propto \frac{U^2}{U_0^2}$ که بر این اساس تنش سطحی ارزیابی شده است.

۵ بحث نتایج

مقایسه نتایج کانلی و اینمن (شکل ۱)، با نتایج این تحقیق (شکل

را نشان می‌دهند. البته این بررسی روی ساحل شیبدار ماسه‌ای با مصالح ریزدانه انجام شده ولی وندرمیر بررسی خود را روی سازه موج شکن سنگریزه‌ای انجام داده است.

۶ نتیجه‌گیری

با افزایش نفوذپذیری بستر، میزان بالاروی تا پنج برابر کاهش می‌یابد (شکل ۶) و افزایش تیزی موج، کاهش بالاروی موج را به همراه دارد.

با کاهش نفوذپذیری، بالاروی نسبی موج افزایش می‌یابد که در مقایسه با حالت نفوذناپذیر بستر (حالت شاهد) قابل پیش‌بینی است. تفاوت نفوذپذیری تأثیر محسوسی بر روند کاهش بالاروی موج به ازاء افزایش تیزی موج ندارد.

بالاروی امواج از سواحل شیبدار نفوذناپذیر در مقایسه با سواحل دارای شیب‌های صاف و نفوذناپذیر تحقیق آهرنز (۱۹۸۱) مقادیر کمتری را نشان می‌دهد.

با کاهش نفوذپذیری و افزایش عمق بستر، سرعت جریان درون بستر کاهش می‌یابد.

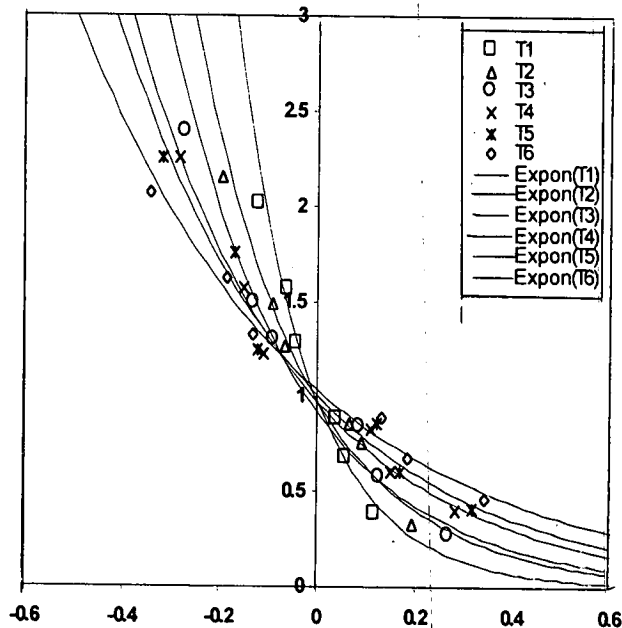
بر اساس مشاهدات این آزمایش، سرعت جریان درون بستر مستقل از تناوب امواج است و خط عمومی جریان داخل بستر از سطح تراز آب ساکن پیروی می‌کند.

مسیر قائم حرکت ذرات شاره بر اثر فشارهای مثبت و منفی اعمال شده به بستر به واسطه بالاروی و پایین‌روی موج، کاملاً وابسته و متناسب با ارتفاع موج و میزان "هد" ناشی از آن است.

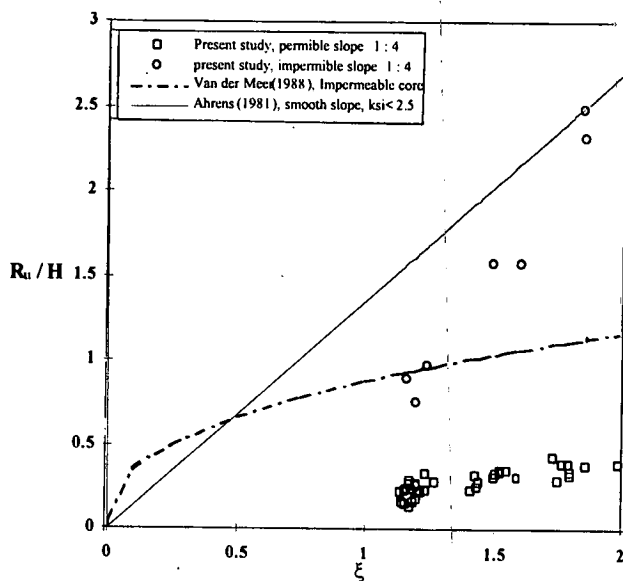
مسیر حرکت شاره از درون بستر به سمت بیرون آن به صورت بیضی‌وارهای ناقص است که به صورت موازی با سطح تراز آب، به طرف بیرون بستر حرکت می‌کند.

در یک چرخه موج، پدیده مکش و جوشش جریان از درون بستر مشاهده شده است. در صورتی که با افزایش "هد" ناشی از بالاروی و اعمال فشار مثبت به درون بستر، پدیده مکش و با کاهش "هد"، پدیده جوشش مشاهده می‌شود.

نتایج حاصل از این تحقیق در مورد تأثیر نفوذپذیری بر تنش



شکل ۱۰. نمودار پارامتر بدون بعد \bar{V} بر حسب τ/τ_0 .



شکل ۱۱. مقایسه نتایج بالاروی نسبی امواج بر حسب ξ ($\propto S^{-1/2}$) با آهرنز و وندرمیر.

تغییرات بالاروی موج از شیب‌های نفوذناپذیر حاصل از این تحقیق و تحقیق آهرنز (۱۹۸۱)، تقریباً هماهنگ است و در هر دو مورد بالاروی موج از شیب‌های نفوذناپذیر مقدار قابل ملاحظه‌ای

منابع

- Ahrens, J. P., 1981, Irregular Wave Run up on Smooth Slops, Technical Paper No. 81-17, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia.
- Allsop, N. W. H., Hawkes, P. J., Jackson, F. A. and Franco, L., 1985, Wave Run-up on Steep Slopes - Model Tests under Random Waves, Report SR2 Hydraulics Research Ltd, Wallingford, 1985.
- Antonia, R. A., Bisset, D. K., Fulachisr, D., 1990, Effect of wall suction on bursting in a turbulent boundary layer. Phys. Fluids A2, 1241-1247.
- Battjes, J. A., 1974, Wave Run-up and Overtopping, Technical Advisory Committee on Protection Against Inundation, Hagg.
- Conley, D. C. and Inman, D. L., 1992, Field observation of the Fluid Granular Boundary Layer under Near-Breaking J. Geophysical Research. 97, C6, 9631-9643.
- Conley, D. C. and Inman, D. L., 1994, Ventilated Oscillatory boundary layer J. Fluid Mech. 273, 261-284.
- Postma, G. M., 1989, Wave Reflection from Rock Slopes Under Random Wave Attack, Msc Thesis, Delft University of Technology.
- Seelig, W. N. and Ahrens, J. P., 1981, Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation Coefficient for Beaches, Revetments and Breakwaters, TP 81-1 U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va., Feb.1981, 40 Pages.
- Soulsby, R., 1997, Dynamics of marine sands, a manual for practical applications. Thomas Telford Publications.
- Van der Meer J. W., 1988, Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack, Doctoral Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.

اعمال شده به بستر (مطابق شکل ۱۰ و جدول ۲) بدین صورت است که با افزایش \bar{V}_S (سرعت مکش)، تنش وارد بر بستر تا حدود ۲/۵ برابر افزایش پیدا می کند و با افزایش \bar{V}_i (سرعت جوشش)، تنش وارد بر بستر تا حدود ۷۰٪ کاهش می یابد و علت آن نزدیک و یا دور شدن لایه تلاطمی به بستر است. این تغییرات تنش روی لایه مرزی تلاطمی نزدیک بستر اثر عمده ای دارد (آنتونیا و همکاران، ۱۹۹۰).

در یک نفوذپذیری خاص و با یک تناوب مشخص، با تغییر ارتفاع موج، تغییری در \bar{V} ایجاد نشده است؛ یعنی نسبت $\bar{V} = \frac{W}{U}$ مستقل از ارتفاع موج است.

در یک تناوب خاص ملاحظه شد که با افزایش \bar{V}_S مقدار $\frac{\tau}{\tau_0}$ افزایش و با افزایش \bar{V}_i مقدار $\frac{\tau}{\tau_0}$ کاهش می یابد که مشابه نتایج کانلی و اینمن (۱۹۹۴) است. با توجه به اثر قابل ملاحظه نفوذپذیری روی تنش بستر، لازم است این اثرات در موارد کاربردی نیز در نظر گرفته شوند.

تشکر و قدردانی

از حمایت های ریاست و مسئولین محترم سازمان هواشناسی و همکاری های ارزنده علمی و عملی آقایان مهندس پیمان آق تومان، مهندس کامران لاری و دکتر حمید رحیمی پور انارکی و نظرات ارزنده داوران علمی مقاله کمال تشکر و امتنان به عمل می آید.