

# بازتاب امواج و جریان درون بستر در ساحلهای با نفوذپذیری متفاوت

مجتبی ذوالجودی<sup>۱\*</sup>، حمید رحیمی پور انارکی<sup>۲</sup>، پیام زرگنج فرد<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار فیزیک دریا، مرکز علوم جوی و اقیانوسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران
- ۲- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۳- کارشناس ارشد هواشناسی، مرکز علوم جوی و اقیانوسی، سازمان هواشناسی کشور

## چکیده

بازتاب امواج از ساحل و تاثیر نفوذپذیری بر میزان آن با استفاده از روش منسارد<sup>۱</sup> بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش هد سیال، مقداری از آن به درون بستر نفوذ می کند که به آن مکش<sup>۲</sup> گویند. در این حالت خطوط جریان به بستر نزدیک شده، باعث افزایش سرعت جریان در نزدیک بستر و تنش روی بستر تا ۲/۵ برابر می شود. برعکس با کاهش هد، سیال از درون بستر به بیرون تراوش<sup>۳</sup> می کند و پدیده جوشش حاصل می شود. متوسط سرعت نیز در نزدیک بستر کاهش پیدا می کند و از تنش تا ۷۰٪ کاسته می شود. ضریب بازتاب امواج با افزایش تیزی موج برای سواحل نفوذپذیر تا ۱/۵ برابر کاهش می یابد و همچنین با افزایش شاخص تشابه شکست ضریب بازتاب موج تا ۲ برابر افزایش و با افزایش نفوذپذیری ضریب بازتاب کاهش می یابد. برای بررسی نفوذپذیری بر بازتاب امواج از ۷ موج منظم در محدوده تیزی ۰/۰۲-۰/۰۴ در آب عمیق استفاده شد. در بحث جریان درون بستر با افزایش شیب بستر (۱:۳) برای نفوذپذیریهای خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نتایج مطالعات قبل با کمی اختلاف در شکل جریان که به صورت مارپیچی بیضوی کشیده بودند، به دست آمد.

کلید واژگان: نفوذپذیری امواج، جریان درون بستر، شاخص تشابه به شکست، تیزی موج.

## ۱- مقدمه

افزایش می یابد [۱]. سلیگ و آهرنز در سال ۱۹۸۱ میلادی در بررسی بازتاب موج در شیبهای نفوذپذیر زبر و شیبهای صاف، به این نتیجه رسیدند که با افزایش شاخص تشابه شکست، ضریب بازتاب افزایش می یابد که در شیبهای زبر تا دو برابر به صورت تقریباً ثابت و در شیبهای صاف تا چهار برابر خواهد بود [۲]. بالاخره سادرلند<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۶ میلادی

ضریب بازتاب موج تابعی از شاخصهای مختلف است که برخی به سازه و برخی به خصوصیات موج مربوط می باشد. براین قیاس، بتجس در سال ۱۹۷۴ میلادی با مطالعه ای در مورد شیبهای صاف و نفوذپذیر، به این نتیجه رسید که با افزایش شاخص تشابه شکست بازتاب موج تا چهار برابر

نویسنده مسؤل مقاله: تلفن: ۰۲۱۲۲۹۵۳۰۹۴، کد پستی: ۱۳۴۱۱-۱۶۹۳۷، E-mail: mzoljoodi@yahoo.com

1. Mansard
2. Suction
3. Injection
4. Suther land

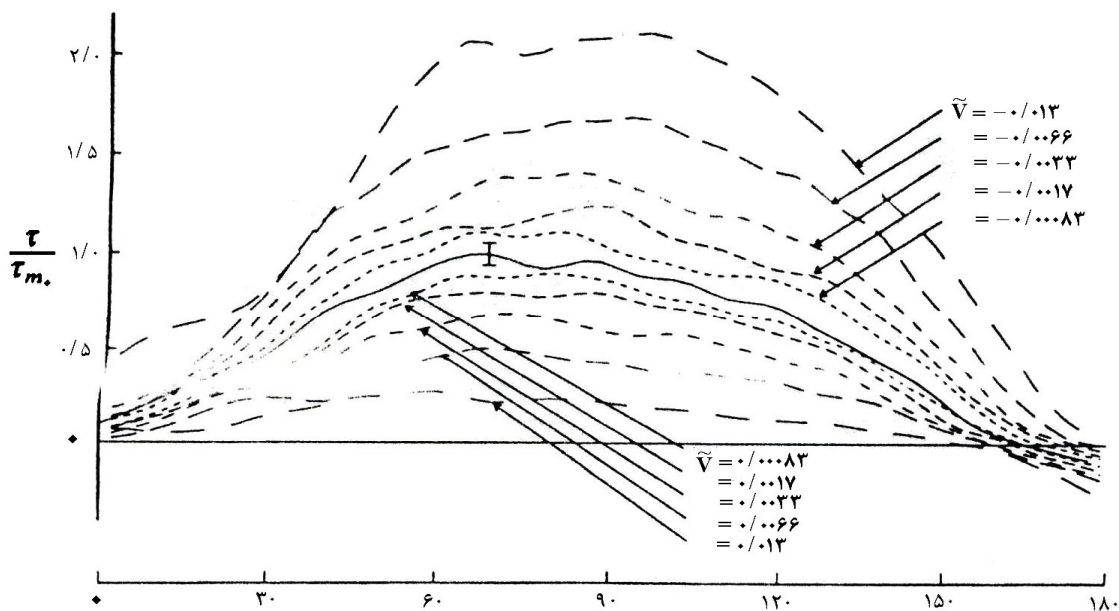
وجود ندارد، پیدا کردند [۵، ۶]. این مسأله در شکل ۱ نشان داده شده است.

تحقیق کانلی و اینمن، روی یک بستر افقی با تغییر نوسانی هد شاره با دوره ثابت انجام شد. همچنین در سال ۲۰۰۳ مطالعه‌ای به وسیله بیدختی و همکاران با آثار جوشش و مکش بر تنش سطحی یک بستر شیبدار با توجه به آثار آن بر بالاروی به عمل آمد و چنین نتیجه گرفتند که تأثیر نفوذپذیری بر تنش اعمال شده به بستر بدین صورت است که با افزایش سرعت مکش<sup>۲</sup>، تنش وارد بر بستر تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت جوشش<sup>۳</sup> تنش وارد بر بستر تا ۷۰٪ کاهش می‌یابد [۷، ۸].

شاخص مذکور را در مورد شبیه‌های نفوذپذیر بررسی و به طور واضح مشخص کرد با افزایش شاخص تشابه شکست ضریب بازتاب حداکثر تا دو برابر خواهد بود [۳].

مطالعات میدانی در مورد اثر بستر روی رفتار موج به وسیله کانلی و اینمن<sup>۱</sup> انجام شد که چگونگی شکل‌گیری کف بستر را وابسته به تغییرات تنش کف دانستند [۴].

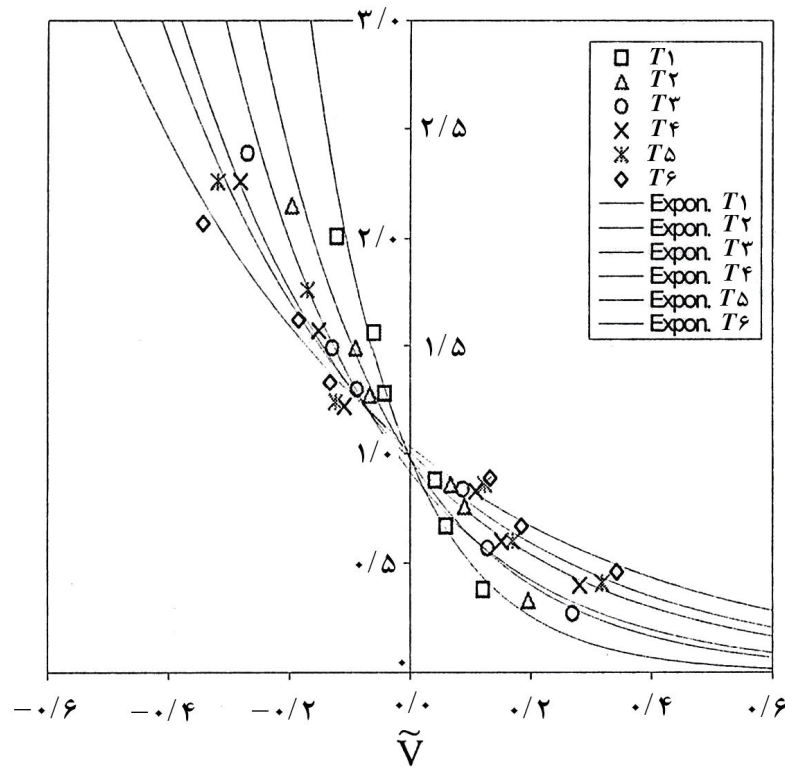
اثر نفوذپذیری بستر روی مشخصه‌های امواج به وسیله کانلی و اینمن بررسی شد و با توجه به یک شبیه‌سازی فیزیکی، کاهش نسبتاً شدید تنش کف را در اثر فوران در زیر ناوه موج تا حدود ۴ برابر مقداری که نفوذپذیری وجود ندارد، یافتند. همچنین افزایش مقدار تنش در اثر مکش در زیر قله موج تا حدود ۲ برابر مقدار آن را در حالتی که نفوذپذیری



شکل ۱ نمودار رابطه بین تنش بستر و سرعت جریان نفوذی در یک سیکل موج [۶]

2. suction velocity  
3. injection velocity

1. Cenley, Inman



شکل ۲ نمودار شاخص بی بعد  $\tilde{V}$  بر حسب  $\tau/\tau_0$

## ۲- مبانی و فیزیکی

به طور کلی ضریب بازتاب موج تابعی از شاخصهای مختلف است که برخی به سازه و برخی به خصوصیات موج مربوط می باشد [۹]  
 $K_r = f\{H, T_m, L, \tan \theta, h, D_n, P, r, d, N, D_{\lambda\delta}, R_{\delta}, \gamma, \dots\}$   
 بعضی از این شاخصها در آزمایشهایی که انجام شد، ثابت فرض شد و در نتیجه آنها در محاسبات، در نظر گرفته نشدند. پارامترهای شاخص عبارتند از:

$$K_r = f\{H, T_m, L, \tan \theta, h, D_n\}$$

$D_n$  = دانه بندی؛

$h$  = ارتفاع موج در هنگام شکست؛

$\tan \theta$  = شیب ساحل؛

$L$  = طول موج؛

$T_m$  = دوره موج؛

$H$  = ارتفاع موج؛

پس از انجام آنالیز ابعادی خواهیم داشت:

$$C_r = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} = \sqrt{\frac{\lambda_r H_r}{\lambda_i H_i}} = \frac{H_r}{H_i}$$

ضریب بازتاب متناسب است با نسبت ارتفاع موج بازتابش به ارتفاع موج تابشی، شاخص تشابه به شکست ( $\xi$ ) برابر است با نسبت شیب ساحل  $\alpha$  به جذر تیزی موج  $S$  و تیزی موج برابر است با نسبت ارتفاع موج  $H$  به طول موج  $L$ .

برای نشان دادن اندرکنش موج با ساحل از شاخص تشابه شکست  $\xi$  یا عدد بدون بعد ایری بارن استفاده می شود [۱۰]. اگر بستر ساحل نفوذپذیر باشد با حرکت موج به سمت آن و انجام واکنشهای هیدرولیکی، جریانهایی درون بستر ساحل نفوذ می کند که میرایی آن در اندرکنش با مصالح باعث می شود

مصالح سنگ ریزه‌ای در این مطالعه با ضرایب نفوذپذیری متفاوت از سواحل جنوب و شمال کشور تهیه شدند. ضریب آبگذری ماسه و سنگ‌ریزه‌های مذکور براساس گزارش آزمایشهای مکانیک خاک عبارت از  $0/09$ ،  $0/082$ ،  $0/075$ ،  $0/069$  و  $0/06$  cm/s است.

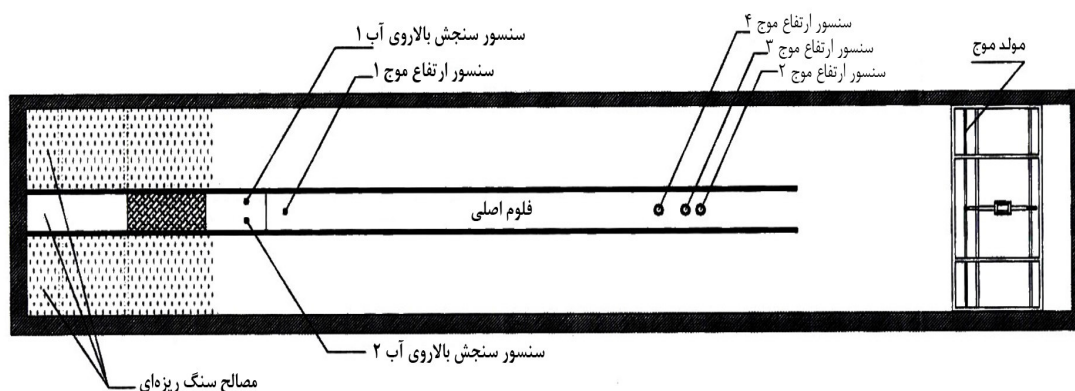
همچنین مشابه مطالعه قبل [۷] طی اجرای آزمایشها، هفت موج منظم به وسیله سیستم مولد موج تولید و به ساحل مصنوعی تابیده شد. امواج تابیده شده به ساحل مصنوعی دارای محدوده‌ای از تیزی موج  $0/02 - 0/04$  بودند. طی اجرای آزمایش و هنگام اندرکنش موج و ساحل، یک دستگاه دروین فیلمبرداری در زیر آب و بستر ساحل نصب و جریان شاره درون بستر به وسیله تزریق رنگ و دنبال کردن مسیر حرکت آن ثبت و بررسی شد. دقت سرعت جریان داخل بستر  $0/01 \pm$  بود.

طی اجرای آزمایشها از ۹ حسگر ارتفاع موج مطابق شکل ۳ استفاده شد؛ حسگر شماره یک در پای ساحل مصنوعی برای ثبت ارتفاع امواج تابشی در ابتدای ساحل نصب شد. حسگرهای شماره ۲، ۳ و ۴ برای ثبت امواج بازتابی از ساحل با استفاده از روش منسارد مطابق شکل ۴ برای هر دوره خاص مطابق با جدول ۱ نصب شدند [۱۱].

که جریان تا عمق خاصی در بستر نفوذ کند و علت آن گرادیان فشار آب است؛ برای جریان فوق در درون بستر، گرادیان سرعت ایجاد می‌شود که با توجه به دانه بندی بستر متفاوت است.

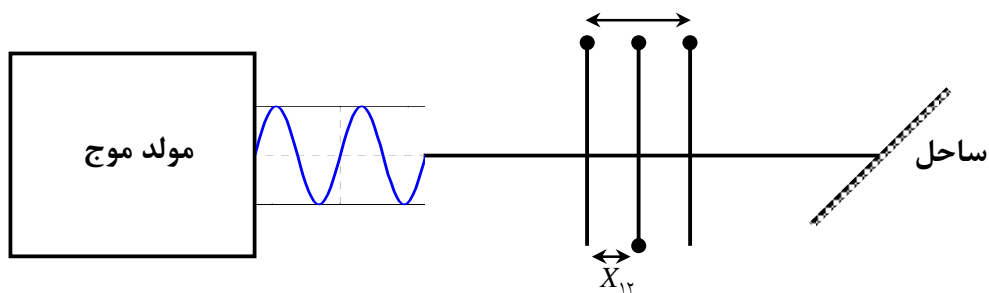
### ۳- مراحل انجام آزمایشها

در این تحقیق مانند مطالعه بیدختی و همکاران [۷] برای بررسی تأثیر نفوذپذیری بستر ساحل بر واکنشهای هیدرولیکی موج، از مدل آزمایشگاهی استفاده شد. با این تفاوت که ساحل مصنوعی در اینجا با شیب بیشتر (۱:۳) به ابعاد ۱m عرض، ۳m طول و ۵/۵m عمق تهیه شد. فلوم موج دارای ۳۵m طول ۵/۵m عرض و ۱m عمق بود. برای جلوگیری از ایجاد امواج عرضی، فلوم موج به وسیله دو دیواره جداکننده به سه قسمت تقسیم شد که فلوم میانی دارای ۲۴m طول از ابتدای فلوم، ۱m عرض و ۱m عمق است. آزمایشها روی یک ساحل مصنوعی در ابتدای فلوم میانی و در قسمت قابل رویت آن اجرا شد. در انتهای فلوم موج یک پاروی پیستونی قائم قرار داشت که امواج را تولید می‌کرد.



شکل ۳ مقطع عرضی و پلان فلوم امواج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی

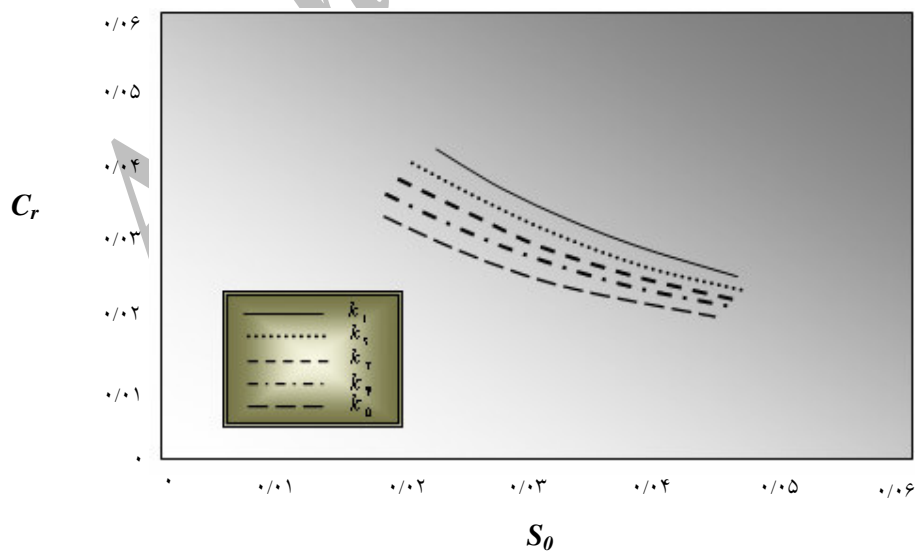
X<sub>۱۳</sub>



شکل ۴ چگونگی استقرار سه حسگر در روش منسارد

جدول ۱ فاصله حسگرهای بازتاب امواج به ازای دوره‌های مربوطه

دوره (ثانیه)	$K_{12}$ (cm)	$K_{13}$ (cm)
۱/۹۶	۶۰	۱۵۰
۱/۸۱	۵۰	۱۲۰
۱/۶	۴۰	۱۰۰
۱/۳۲	۳۰	۷۵
۱/۲۷	۲۴	۶۰
۱/۱۲	۲۰	۵۰
۱/۰۳	۱۷	۴۰



شکل ۵ بازتاب برحسب تیزی موج روی سواحل با نفوذپذیری متفاوت

در شکل ۶ ضرایب بازتاب امواج برحسب شاخص تشابه شکست برای سواحل با نفوذپذیری متفاوت رسم شده است و مشخص است با افزایش نفوذپذیری، ضریب بازتاب موج تا ۱/۵ برابر کاهش می‌یابد. بویژه در جاهایی که عدد شاخص تشابه شکست موج در حدود ۲ می‌باشد.

#### ۴-۲- تأثیر افزایش نفوذپذیری بستر روی جریانهای درونی و تنش وارد به بستر

در این قسمت همانند روش مطالعه قبل [۷] تأثیر نفوذپذیری بستر روی جریان درون بستر با استفاده از بازیابی فیلم مسیر حرکت ذره تزیق شده در جلوی صفحه مشبک بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل فیلم به صورت ۵ نمودار (شکل ۷) آورده شده است. به دلیل شیب تند ساحل مصنوعی در این مطالعه، سرعت حرکت ذرات از سمت داخل بستر به بیرون با سرعت بیشتر اتفاق افتاد و شعاع حرکت نیز به صورت بیضوی تر و کشیده مشاهده شد. کاهش شعاع انحنای مسیر حرکت لکه رنگ با کاهش نفوذپذیری و افزایش عمق مشهود بود که نشانگر مقاومت بستر در مقابل حرکت شاره با افزایش عمق و کاهش قطر ذرات و سرعت بیشتر سیال به دلیل نیروی بیشتر در شیب بالاتر بستر است. در اینجا به دلیل شیب بالاتر سرعت جریانهای نفوذی بیشتر است؛ در نتیجه تنش وارد شده به بستر نیز افزایش خواهد یافت و شیب تغییرات آن به مراتب تندتر می‌باشد.

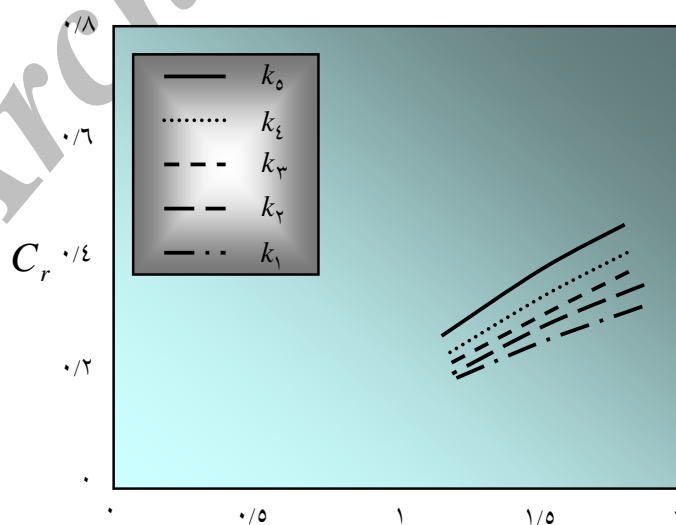
حسگرهای بالاروی و پایین‌روی، روی شیب ساحل برای ثبت میزان بالاروی و پایین روی امواج بترتیب نصب شدند. سه دستگاه حسگر نیز درون ساحل، به صورت قائم و از سطح تراز آب به سمت بالای شیب ساحل با فواصل ۲۵cm نصب شدند. این حسگرها نوسانات سطح آب را در سه نقطه مورد ذکر ثبت کردند.

استهلاک جریانهای ساحلی بر اثر نفوذپذیری بستر به اتلاف انرژی امواج به صورت تغییر در چگونگی شکست و همچنین بازتاب موج از ساحل منجر خواهد شد.

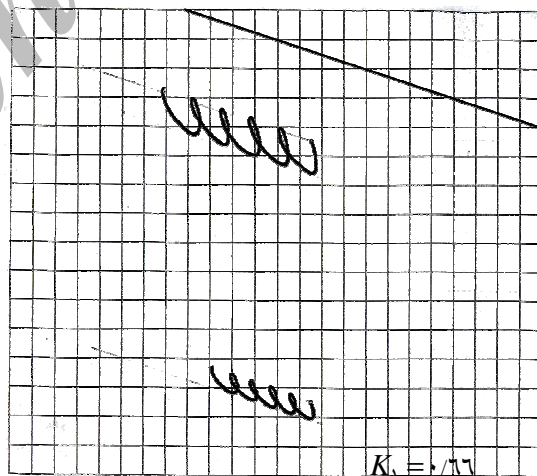
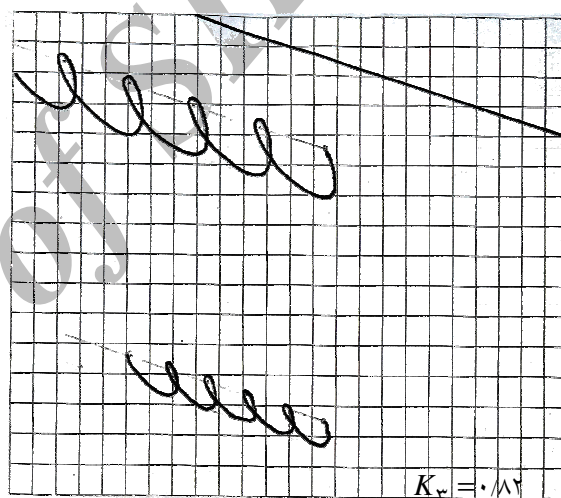
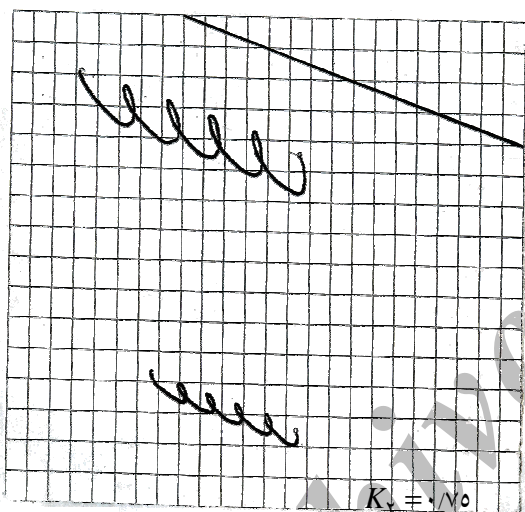
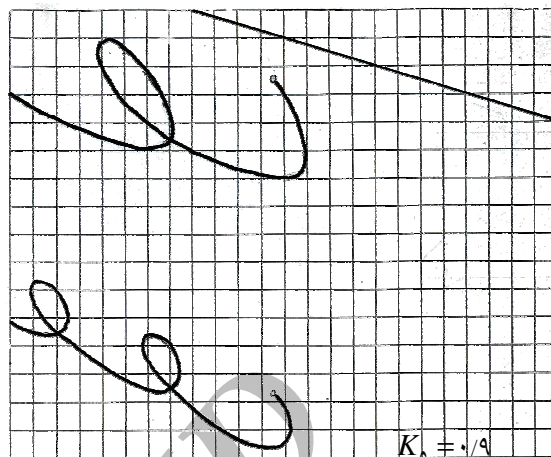
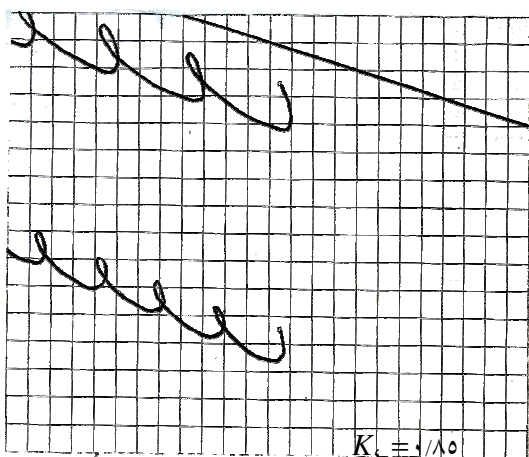
#### ۴- نتایج

۴-۱- تأثیر افزایش نفوذپذیری بر بازتاب امواج  
نمودارهای بازتاب امواج در ۵ حالت نفوذپذیر قابل ترسیم و مقایسه است و بهترین خط همراه با بیشترین ضریب همبستگی بر داده‌های ثبت شده برازش داده شده است. افزایش نفوذپذیری به طور واضحی باعث کاهش بازتاب موج تا دو برابر می‌شود و این بویژه برای امواج با تیزی کمتر است.

در شکل ۵ بازتاب برحسب تیزی موج روی سواحل با نفوذپذیری متفاوت (با ضرایب آبگذاری)  $(K_1 = 0.766 \quad K_2 = 0.75 \quad K_3 = 0.82 \quad K_4 = 0.85 \quad K_5 = 0.9)$  همراه با خطوط پردازش داده شده مقایسه شده‌اند.



شکل ۶ ضرایب بازتاب امواج برحسب شاخص تشابه شکست برای سواحل با نفوذپذیری متفاوت



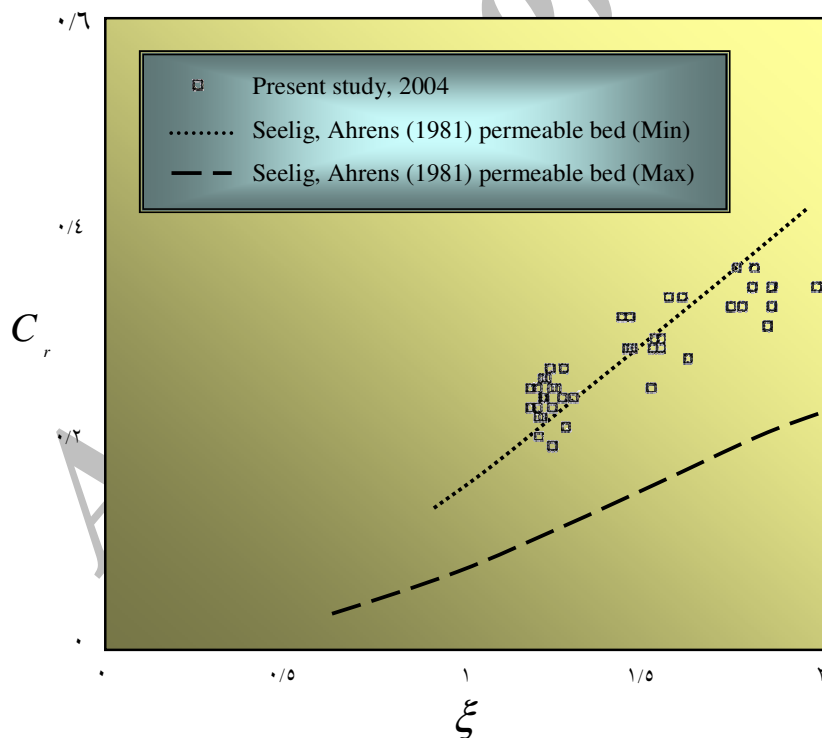
شکل ۷ مسیر حرکت جریانهای سیال درون بستر در ۵ نفوذپذیری مورد آزمایش

## ۵- بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه در مورد تأثیر نفوذپذیری بر تنش اعمال شده به بستر با نتایج کانلی و اینمن و نتایج بیدختی و همکاران مقایسه شد که هر سه تطابق مناسبی را ارائه می کنند و علت آن نزدیک یا دور شدن لایه تلاطمی به بستر است. این تغییرات بر تنش روی لایه مرزی تلاطمی نزدیک بستر، اثر عمده ای دارد.

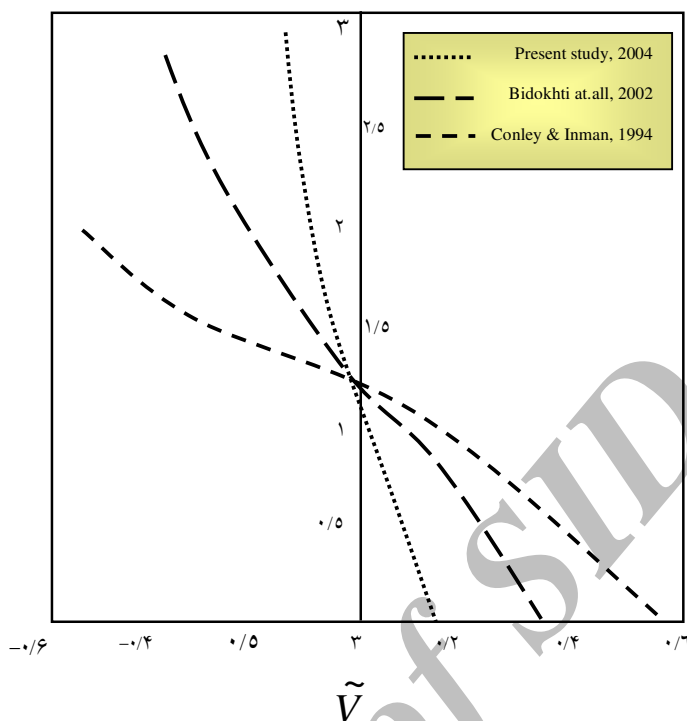
با توجه به اینکه آزمایش اخیر با شیب بیشتری انجام شد، بنابراین سرعتهای جریان درونی ثبت شده، مقدار بیشتری را نشان می دهد. تنش محاسبه شده نیز که با توان دوم سرعت منطبق است، شدت تغییر بیشتری را نشان می دهد. قابل ذکر است مقدار عددی محاسبات کانلی و اینمن به طور نسبی ارائه شده است.

نتایج بازتاب امواج حاصل از این تحقیق در مورد شیبهای سواحل نفوذپذیر در مقایسه با نتایج سلیگ و آهرنز در سال ۱۹۸۱ در مورد شیبهای نفوذپذیر، در دو حالت نفوذپذیری بیشتر و نفوذپذیری کمتر (برحسب مصالح به کار برده شده) در شکل ۸ ارائه شده است [۲، ۱۲] و هماهنگی بین مطالعه سلیگ و آهرنز و این مطالعه قابل قبول می باشد و بیانگر افزایش ضریب بازتاب امواج تا دو برابر با افزایش مقدار عددی شاخص تشابه شکست است. همچنین با توجه به نتایج حاصل به نظر می رسد با افزایش تیزی موج، ضریب بازتاب امواج از سواحل با نفوذپذیر بیشتر به نفوذپذیری کمتر، افزایش می یابد و در مقایسه با ضرایب بازتاب موج از ساحل نفوذپذیر کم، بیشترین مقدار را نشان می دهد.



شکل ۸ مقایسه نتایج بازتاب موج در این مطالعه با تحقیق سلیگ و آهرنز ۱۹۸۱





شکل ۹ مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه در مورد تاثیر نفوذپذیری بر تنش اعمال شده به بستر با نتایج کانلی و اینمن و نتایج بیدختی و همکاران

با توجه به شکل ۹، با افزایش شیب شدت تغییرات سرعت و تنش تندتر می‌شود اما روند کلی آن با مطالعات بیدختی و همکاران در سال ۲۰۰۳ و کانلی و اینمن در سال ۱۹۹۲ قابل قیاس است.

## ۶- منابع

- [1] Battjes J. A.; Wave Run-up and Overtopping; Technical Advisory Committee on Protection Against Inundation, Hagg; 1974.
- [2] Seelig W. N., Ahrens J. P.; 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 P
- [3] Sutherland A.J.; Scouring in Channel Confluences, Proc, 9<sup>th</sup> Australasian fluids Mechanics. Conf, Auckland, New Island; 1986; 260-263.
- [4] Conley Daniel C., Inman Douglas L.; «Field observation of the Fluid Granular Boundary Layer under Near-Breaking» *J. Geophysical Research*; 1992; 97(C6) pp.9631-9643.
- [5] Soulsby R.; Dynamics of marine sands, a manual for practical applications Thomas telford Publications; 1997.
- [6] Conley Daniel C., Inman Douglas L.; «Ventilated Oscillatory boundary layer» *J. Fluid Mech.*; 1994; 273: 261-284.
- [7] بیدختی ذ؛ آثار نفوذپذیری کف ساحل بر بالاروی امواج و تنش اعمال شده به بستر؛ ن. فیزیک زمین و فضا؛ جلد ۲۹؛ شماره ۱؛ ۱۳۸۲؛ صص. ۲۳ و ۳۱.
- [8] Allsop N. W. H., Hawkes P. J., Jackson F. A., Franco L.; Wave Run-up on Steep Slopes – Model

- Tests under Random Waves, Report SR2 Hydraulics Research Ltd, Wallingford; 1985.
- [9] Antonia R.A, Bisset D.K, Fulachisr; Effect of wall suction on bursting in a turbulent boundary layer. Phys. Fluids A2; 1990; 1241-1247.
- [10] Van der Meer J. W.; Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack, Doctoral Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands; 1988.
- [11] Mansard E.P.D., funke E.R.; the measurement of incident and reflected spectral using a list squares method, 17<sup>th</sup> International Coastal Engineering Conf. Sydney, Australia; 1980.
- [12] Ahrens J. P.; «Irregular Wave Run up on Smooth Slopes», Technical Paper No. 81-17, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia, July 1981.

Archive of SID