

## اثر شیب اولیه سازه بر میزان سرریزی امواج از دیوارهای ساحلی شکل پذیر

هومن صاعدی<sup>۱</sup>، مهدی شفیعی فر<sup>۲\*</sup> و پیمان آق تومانیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشکده فنی (عمران) - دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست - دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۱/۱۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۷/۲۸، تاریخ تصویب ۸۹/۹/۱۴)

### چکیده

در این تحقیق با استفاده از مدل سازی فیزیکی، تأثیر شیب اولیه سازه بر میزان سرریزی امواج نامنظم دریا از دیوارهای ساحلی توده سنگی شکل پذیر بررسی شده است. امواج تأبیده شده به مدل سازه، نامنظم و طیف انرژی امواج به کار رفته JONSWAP بوده است (اجرا شده در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی). برای بررسی تأثیر شیب دیوارهای ساحلی، شیب‌های سازه‌ای ۱:۱/۲۵، ۱:۲ و ۱:۲/۵، مصالح لایه آرمور با دانه‌بندی  $D_{85}/D_{15}=1/82$  و مقیاس مدل ۱:۲۰ در نظر گرفته شده است. در این تحقیق تعداد امواج تأبیده شده به سازه ۱۰۰۰ موج بوده و در مجموع ۵۷ آزمایش انجام شده است. نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها پس از رسم نمودارها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و تأثیر شیب اولیه سازه بر میزان سرریزی امواج بررسی شده است. نتایج بیانگر آن است که شیب اولیه تأثیر قابل توجهی بر میزان سرریزی از دیوارهای شکل پذیر ندارد، هر چند که با کاهش شیب اولیه سازه، دبی میانگین سرریزی امواج اندکی کاهش می‌یابد.

### واژه‌های کلیدی: سرریزی امواج، دیوارهای ساحلی شکل پذیر، مدل فیزیکی

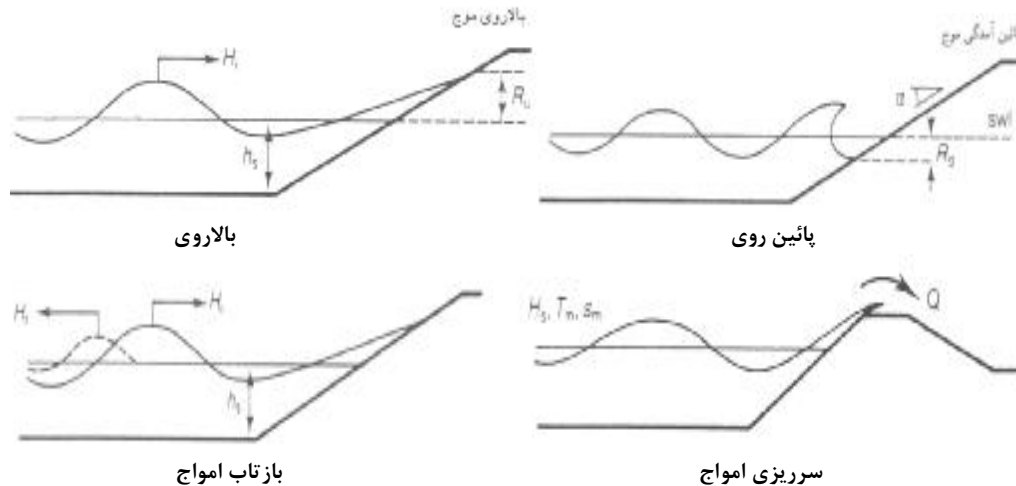
### مقدمه

هیدرولیکی این دیوارها اطلاعات زیادی موجود نیست. عوامل حاکم در طراحی دیوارهای ساحلی به سه دسته کلی عوامل محیطی (مربوط به موج)، عوامل هیدرولیکی و عوامل سازه‌ای تقسیم می‌شوند. میزان سرریزی امواج، یکی از عوامل هیدرولیکی مهم و تعیین کننده در طراحی دیوارهای ساحلی بوده که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

میزان سرریزی امواج از سازه‌های ساحلی که تعیین کننده میزان آسیب ناشی از آن به سازه و تأسیسات پشت آن است، یکی از عوامل مهم هیدرولیکی در طراحی دیوارهای ساحلی است که مشخصات هندسی سازه مانند تراز تاج سازه را می‌توان با استفاده از آن مشخص کرد. با افزایش ارتفاع تاج، نرخ سرریزی امواج کاهش می‌یابد، اما افزایش ارتفاع تاج منجر به تغییر هندسه سازه و افزایش حجم عملیات اجرایی شده و منجر به افزایش هزینه‌های پروژه می‌شود. به عبارت دیگر، طراحی این سازه‌ها بر این مبنا که در طول عمر این سازه هیچ موجی از روی تاج آن سرریز نکند، باعث صرف هزینه‌های بسیار زیاد و تا حدی

دیوارهای ساحلی، سازه‌هایی هستند که به موازات و نزدیک خط ساحلی برای حفاظت از ساحل و تأمین امنیت ساختمان‌ها و تأسیسات ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیوارهای ساحلی از نظر شکل و نوع مصالح به کار رفته در آنها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که دیوارهای ساحلی توده سنگی یکی از آنها است. این نوع دیوارها خود به دو دسته پایدار ایستا (سنتی) و پایدار پویا (شکل پذیر) تقسیم می‌شوند.

به کارگیری دیوارهای ساحلی شکل پذیر در بیشتر موارد نسبت به دیوارهای ساحلی سنتی اولویت دارند، زیرا در این نوع از دیوارها به دلیل مجاز بودن تغییر شکل سازه می‌توان از مصالح سبک‌تر و محدوده وسیع‌تری از دانه بندی استفاده کرد. از این رو می‌توان برای احداث آنها از همه مصالح خروجی قرضه استفاده کرد. همچنین، برای اجرای این نوع سازه‌ها می‌توان از روش‌های ساده‌تر و ابزارآلات سبک‌تر و در دسترس‌تر بهره برد. با وجود مزایا و برتری‌های دیوارهای ساحلی شکل پذیر که نسل جدید دیوارهای ساحلی هستند، درباره روند طراحی و عملکرد



شکل ۱: واکنش‌های هیدرولیکی سازه‌های ساحلی.

### سرریزی امواج

در صورتی که تراز حداکثر بالاروی موج بیشتر از تراز تاج سازه باشد، سرریزی امواج اتفاق می‌افتد (شکل (۱)). سازه‌های ساحلی بر اساس مجاز بودن مقدار کمی "دبی میانگین سرریزی"<sup>۱</sup> تحت شرایط حدی موج طراحی می‌شوند که این حد مجاز، بر اساس نوع سازه و عملکردی که از آن سازه انتظار می‌رود، متفاوت است و مقدار حدی آن توسط محققان برای سازه‌های مختلف مشخص شده است. سرریزی، مقدار آب عبور کرده در واحد زمان بوده و واحد آن مترمکعب بر ثانیه [ m<sup>3</sup>/s ] است. به این دلیل که اغلب مقدار آب سرریز شده به طور تقریباً یکسان در طول سازه اتفاق می‌افتد، بنابراین سرریزی اغلب به صورت مقدار دبی در واحد طول [ m<sup>3</sup>/s/m ] تعریف می‌شود.

### عامل هیدرولیکی سرریزی امواج

سرریزی موج در نتیجه بالاروی امواج از وجه رو به دریای سازه (دیوار ساحلی، موج شکن و ...) و عبور آب از روی تاج سازه اتفاق می‌افتد. آب سرریز شده ناشی از امواج به سه شکل کلی تقسیم‌بندی می‌شود:  
الف- آب سبز<sup>۲</sup>: در صورتی که حجم آب سرریز شده از روی تاج به صورت یک ورق پیوسته از آب از روی تاج عبور کند، به اصطلاح به آن "آب سبز" یا حجم پیوسته آب می‌گویند.

غیراقتصادی شدن پروژه می‌شود.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر شیب سازه بر میزان سرریزی امواج است. از آنجا که با کاهش شیب، میزان حجم مصالح افزایش می‌یابد، بنابراین انتخاب مناسب و بهینه شیب باعث اقتصادی شدن پروژه می‌شود.

### عوامل هیدرولیکی

عوامل هیدرولیکی مطرح در سازه‌های توده سنگی در حالت کلی عبارتند از: بالاروی و پایین روی امواج، سرریزی امواج، بازتاب امواج و عبور موج (شکل (۱)). در مورد دیوارهای ساحلی که مورد بحث تحقیق حاضر است، پدیده عبور موج وجود ندارد، چرا که در پشت سازه ساحل قرار دارد.

تا کنون کارهای آزمایشگاهی زیادی برای تعیین عوامل هیدرولیکی در محدوده خاصی از شرایط امواج برای سازه‌های مختلف انجام شده است، ولی هنوز روشی جامع و کامل که از آن بتوان برای تخمین عوامل هیدرولیکی استفاده کرد وجود ندارد. بنابراین در عمل هر یک از عوامل هیدرولیکی را با استفاده از نتایج به دست آمده از سازه‌های مشابه تخمین می‌زنند که اگر در مورد آن سازه خاص اطلاعاتی موجود نباشد یا آن اطلاعات چندان قابل اعتماد نباشند، باید از نتایج آزمایش‌ها مدل فیزیکی استفاده کرد. در ادامه به اختصار عوامل هیدرولیکی دیوارهای ساحلی شرح داده می‌شوند.

روش‌های موجود برای پیش‌بینی دبی سرریزی امواج به دو روش کلی مدل‌های عددی و فرمول‌های تجربی که از آزمایش‌ها به دست می‌آیند، تقسیم می‌شوند. ولی از آنجا که پدیده سرریزی بسیار پیچیده است، هنوز یک مدل عددی که در آن همه عوامل لحاظ شده باشد و بتواند سرریزی را با دقت خوبی تخمین بزند، ارائه نشده است. مدل‌های عددی موجود هم حیطة کاربردشان به شرایط خاص محدود می‌شود.

درباره دبی میانگین سرریزی امواج محققان زیادی کار کرده‌اند که از جمله پیشگامان آن می‌توان به تحقیقات Goda (۱۹۷۱) [۳]، Fukuda (۱۹۷۴) [۴]، Battjes (۱۹۷۴) [۵] و Ahrens (۱۹۷۷) [۶] اشاره کرد.

Owen یکی از شاخص‌ترین افرادی است که روی سرریزی امواج، تحقیقاتی انجام داده است. Owen سرریزی ناشی از امواج نامنظم بر سازه‌های مسطح هموار<sup>۵</sup> و زبر<sup>۶</sup> روی شیب‌های مستقیم و سکویی انجام داده است. [۷ و ۸]

Owen، بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل، فرمول زیر را برای تخمین دبی میانگین سرریزی امواج ارائه کرد:

$$Q^* = a \times e^{-bR^*} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، a و b ضرایب ثابت  $Q^*$  دبی سرریزی بدون بعد است و  $R^*$  ارتفاع آزاد بدون بعد هستند که به این ترتیب تعریف می‌شوند: [۷ و ۸]

$$Q^* = \frac{q}{(g \cdot H_s^3)^{\frac{1}{3}}} \cdot \left( \frac{S_{om}}{2\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۲)$$

$$R^* = \frac{R_c}{H_s} \cdot \left( \frac{S_{om}}{2\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_r} \quad (۳)$$

در این روابط، ( $H_s$ ) ارتفاع موج (میانگین  $\frac{1}{3}$  بزرگ‌ترین امواج)، ( $g$ ) شتاب ثقل، ( $R_c$ ) ارتفاع آزاد تاج، ( $q$ ) دبی میانگین سرریزی امواج،  $\gamma_r$  ضریب کاهش زبری برای سازه‌های ناهموار (برای سازه‌های هموار  $\gamma_r = 1$  است) و ( $S_{om}$ ) تیزی موج است که در رابطه (۴) تعریف شده است:

$$S_{om} = \frac{2\pi H_o}{g T_m^2} T \quad (۴)$$

پریود میانگین موج و  $H_o$  ارتفاع موج در آب عمیق است، شایان ذکر است که مقادیر ضرایب ثابت a و b ارائه

ب- پاشش (اسپلش)<sup>۳</sup>: هنگامی که امواج روی دیواره سازه می‌شکنند، مقداری از قطره‌های آب ممکن است تحت اثر مومنتم خودشان و یا در نتیجه یک باد ساحلی از روی تاج سازه عبور کنند که به این نوع سرریزی، پاشش می‌گویند.

ج- افشانه (اسپری)<sup>۴</sup>: افشانه یا اسپری به طور مستقیم به وسیله حرکت سریع باد روی تاج امواج به وجود می‌آید و بدون حضور بادهای ساحلی قوی این نوع سرریزی سهم بسیار کمی در حجم کل سرریزی خواهد داشت.

پیش‌بینی میزان سرریزی امواج که توسط فرمول‌های تجربی انجام می‌شود، شامل حجم آب سرریز شده ناشی از قسمت (الف) و (ب) یعنی آب سبز و پاشش است و در آنها اثر افشانه لحاظ نشده است؛ چرا که در آزمایش‌ها از اثر باد صرف‌نظر شده است [۱]. افشانه در عین حال مهم است، چرا که می‌تواند به کالاهای انبارشده نزدیک ساحل آسیب برساند و باعث یخ‌زدگی بدنه بالایی کشتی‌ها در مناطق سردسیر شود [۲].

### دبی میانگین سرریزی

از تقسیم همه حجم آب سرریز شده بر زمان کل طوفان بر واحد طول، تاج سازه به دست می‌آید. ( $m^3/s/m$ )

### مروری بر تحقیقات انجام شده

با مطالعه سرریزی امواج از سازه‌های دریایی مشخص شده است که دبی سرریزی نه تنها به شرایط محیطی مانند ارتفاع امواج، پریود امواج و تراز ایستایی وابسته است، بلکه به شکل هندسی و نوع مصالح سازه نیز بستگی دارد. بنابراین، ترکیبات بسیار زیادی از این عوامل وجود دارد که نیاز به بررسی دارد. بنابراین اگر چه تحقیقات زیادی در رابطه با سرریزی امواج انجام گرفته است، اما همه حالات محتمل را در بر نمی‌گیرند. هر یک از تحقیقات انجام شده تنها یک یا چند حالت خاص را بررسی می‌کند. تحقیقات انجام شده اغلب توسط مدل‌های آزمایشگاهی انجام گرفته است که نتیجه آن اغلب به یک رابطه تجربی بین شرایط محیطی، هندسی و نوع مصالح سازه و ارتباط این عوامل با دبی سرریزی منتهی می‌شود. به این دلایل تا کنون آزمایش‌های زیادی برای سرریزی انجام شده است، به طوری که تا سال ۲۰۰۲ نزدیک به ۶۵۰۰ آزمایش انجام شده است.

بر امتداد سازه هستند. به طور خلاصه Besley، رابطه زیر را در صورت برخورد امواج نرمال برای محاسبه دبی میانگین سرریزی ارائه می‌دهد: [۱]

$$R^* = R_C / (T_m (g H_S))^{0.5} \quad (۵)$$

$$Q^* = A \exp(-BR^*) \quad (۶)$$

$$Q = Q^* T_m g H_S \quad (۷)$$

$R_C$  ارتفاع آزاد (m)،  $H_S$  ارتفاع شاخص امواج (m)،  $T_m$  پریود میانگین امواج (S)،  $g$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ )،  $A, B$  ضرایب تجربی وابسته به مقطع عرضی دیوار ساحلی (مقادیر ضرایب در مرجع [۱] آمده است) و  $Q$  دبی میانگین سرریزی در واحد طول دیوار ساحلی ( $m^3/s/m$ ). شایان ذکر است رابطه (۶) برای  $0.05 < R^* < 0.30$  معتبر است.

### مدل سازی فیزیکی

در آزمایش‌های مربوط به مدل سازی سازه‌های ساحلی نیروی غالب، نیروی ثقل است. از این رو معیار مناسب برای مدل سازی، معیار فرود است و نوع جریان نیز باید به طور کامل آشفته در نظر گرفته شود. باید محدوده عدد رینولدز را چنان انتخاب کرد که بتوان از اثرات نیروی لزجت صرف نظر کرد و اثر آن را به حداقل ممکن رساند. برای نیل به این هدف در انتخاب مقیاس مدل باید عدد رینولدز را کنترل کرد. Van der Meer برای کنترل رینولدز محدوده ذیل را پیشنهاد می‌کند [۱۰]:

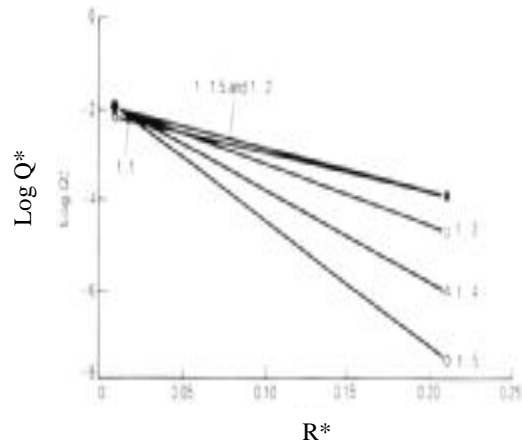
$$1 \times 10^4 \leq Re = \frac{D_{n50} \times \sqrt{g H_S}}{\nu} \leq 4 \times 10^4 \quad (۸)$$

$D_{n50}$  و  $H_S$  متناظر با مقادیر مورد استفاده در مدل هستند.  $D_{n50}$  در رابطه (۸) قطری است که ۵۰ درصد مصالح، قطری کمتر از آن داشته باشند. در این تحقیق برای ایجاد تشابه سینماتیکی و دینامیکی از رابطه (۹) که اصلاح شده نسبت عدد پایداری هادسون در نمونه اصلی و مدل است، استفاده شده است:

$$\frac{W_m}{W_p} = \frac{1}{\lambda^3} \times \frac{\left( \frac{\rho_{ap}}{\rho_{wp}} - 1 \right)}{\left( \frac{\rho_{am}}{\rho_{wm}} - 1 \right)} \quad (۹)$$

در این معادله،  $\rho_{ap}$  چگالی سنگدانه‌ها در نمونه اصلی،  $\rho_{am}$  چگالی سنگدانه‌ها در مدل،  $\rho_{wp}$  چگالی آب در نمونه اصلی،  $\rho_{wm}$  چگالی آب در مدل و  $\lambda$  مقیاس (در

شده توسط Owen برای شیب‌های مختلف، همگی از طریق آزمایش‌ها به دست نیامده‌اند (تنها شیب‌های ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۴ از طریق آزمایش به دست آمده‌اند)، بلکه قسمتی از آنها از طریق برون‌یابی استخراج شده‌اند. همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، مشاهده‌های Owen بیانگر آن است که برای سازه‌هایی با ارتفاع تاج کوتاه و میزان سرریزی زیاد، منحنی‌های حاصل از ترسیم رابطه (۱) در یک نقطه واحد همگرا می‌شوند و نشان‌دهنده این موضوع هستند که در سرریزی‌های زیاد، اثر شیب سازه چندان مهم نیست. از طرفی مشاهده می‌شود که میزان سرریزی مربوط به شیب‌های مستقیم هموار نفوذناپذیر در شیب‌های ۱:۱، ۱:۱/۵ و ۱:۲ بسیار نزدیک به یکدیگر هستند.



شکل ۲: دبی سرریزی برای شیب‌های مسطح یکنواخت ارائه شده توسط Owen [۷]

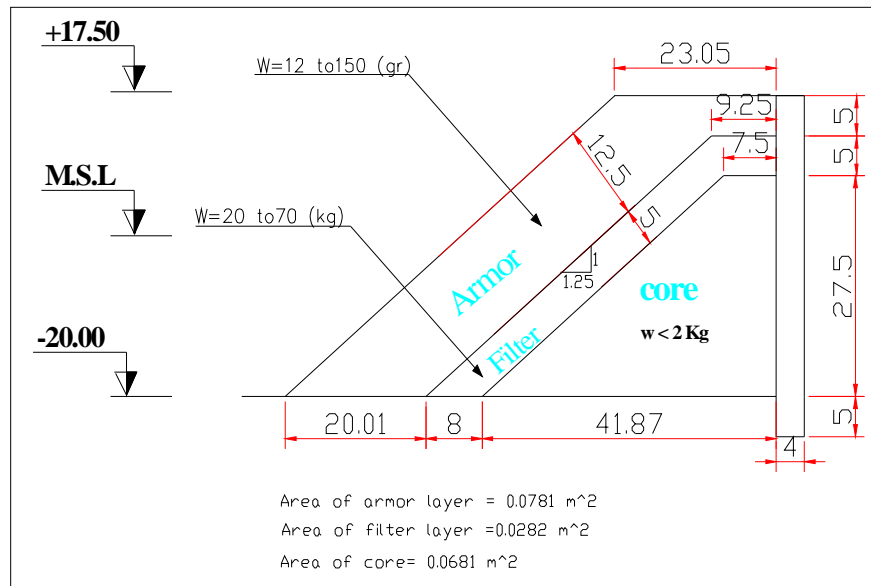
Besley و همکارانش در سال ۱۹۹۹ همه اطلاعات موجود درباره سرریزی امواج از دیوارهای ساحلی را جمع‌آوری و تدوین کردند. در راستای این هدف، آنها تعدادی آزمایش‌های تکمیلی انجام داده و برخی از فرمول‌های محققان قبلی را اصلاح کردند. Besley آزمایش‌های تکمیلی انجام داد و ضرایب Owen را اصلاح کرد. تحقیقات انجام شده نشان داد که روش Owen اغلب دبی سرریزی را برای امواج با پریود بزرگ‌تر از ۱۰ ثانیه کمی بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. به عبارتی، روش Owen محافظه‌کارانه است. Owen، آزمایش‌های زیادی درباره انواع مختلف سازه‌هایی که شیب ساده دارند، انجام داده است. شایان ذکر است، روش Owen مربوط به حالتی است که ارتوگونال‌های امواج (خطوط عمود بر تاج امواج) عمود

متر عمق دارد (شکل ۴ و ۵)، انجام شده است. امواج توسط پاروی مولد موج که از نوع پیستونی قائم است، تولید شده است. ثبت نوسانات سطح آب توسط چهار سنسور ارتفاع سنج انجام شده است که یکی از سنسورها در جلوی سازه و برای اندازه‌گیری امواج تابشی ترکیب شده با امواج بازتابی و سه سنسور دیگر برای اندازه‌گیری مقدار بازتاب در وسط فلوم نصب شدند. برای اندازه‌گیری میزان سرریزی امواج از یک بانکت و مجرای سرریزی و برای انتقال آب از مخزن سرریزی به ظرف مدرج تعیین حجم از یک پمپ کوچک استفاده شد. در مدل از گستره ارتفاع امواج بین ۶ تا ۱۲ سانتیمتر و پرپودهای میانگین  $0.704$ ،  $1.056$ ،  $1.409$  ثانیه استفاده شد و در مجموع ۵۷ آزمایش که هر یک شامل ۱۰۰۰ موج بودند، انجام شد.

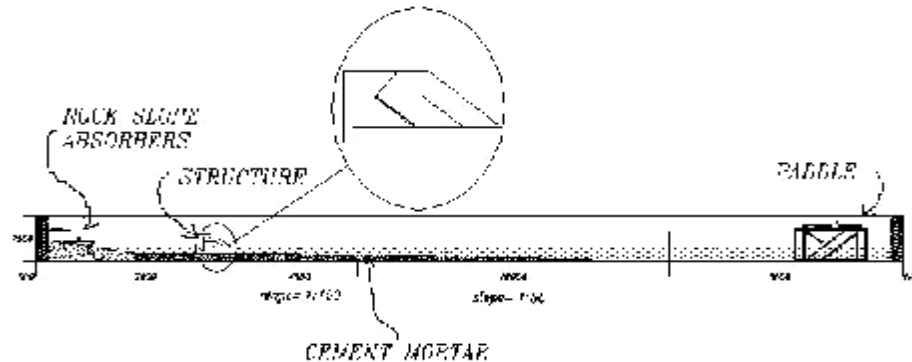
اینجا ۲۰ در نظر گرفته شده) و  $W$  وزن سنگدانه هستند. با رعایت این معیارها و قابل اغماض بودن اثر مقیاسی، مقیاس ۱:۲۰ برای آزمایش‌ها انتخاب شده است.

### برپایی مدل فیزیکی و آزمایش‌های انجام شده

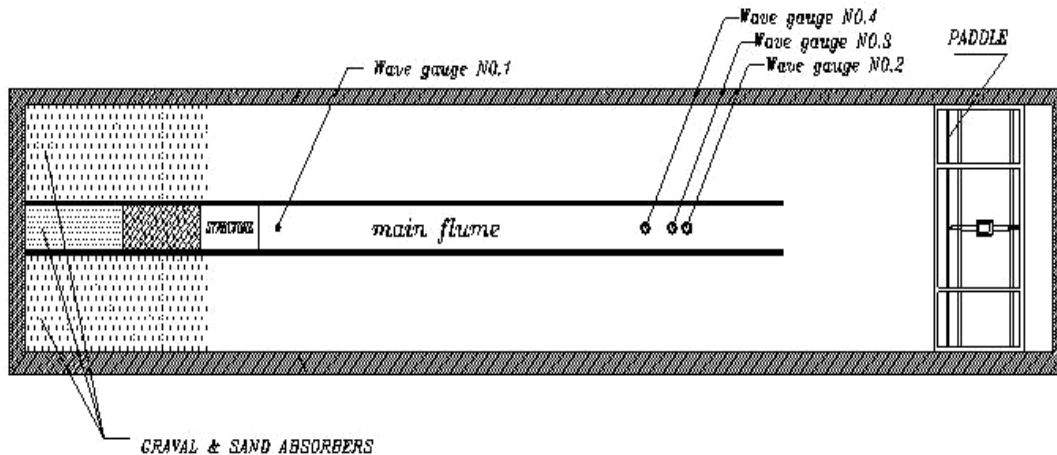
آزمایش‌های مدل فیزیکی بر مقطع دیوار ساحلی شکل‌پذیر طراحی شده (شکل ۳) و با طراحی ۳ شیب به ترتیب  $1:25$ ،  $1:2$  و  $1:2.5$  انجام شده است. در روند طراحی و دانه‌بندی مصالح لایه آرمور با نسبت  $1/82$   $D_{85}/D_{15}$  در نظر گرفته شده است. آزمایش‌ها در فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی که ۳۳ متر طول،  $5/5$  متر عرض و  $1/5$



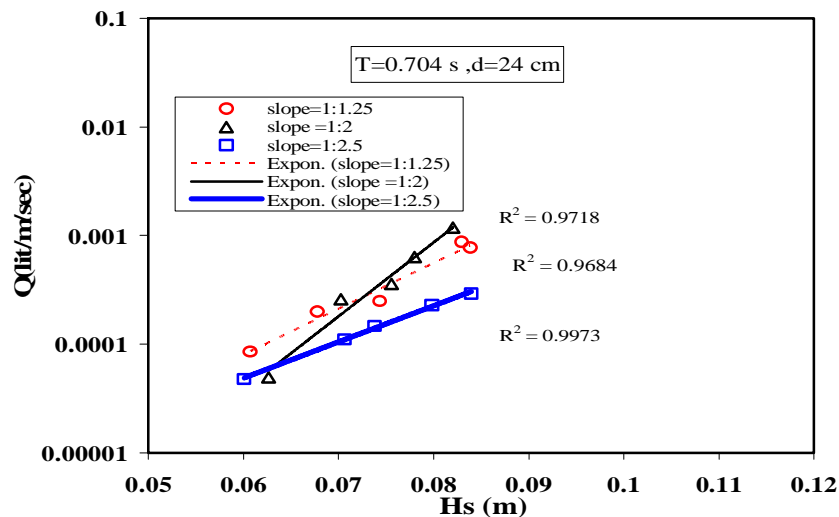
شکل ۳: مقطع عرضی مدل دیوار ساحلی با شیب ۱:۲۵. ۱.



شکل ۴: مقطع عرضی فلوم موج.



شکل ۵: پلان فلوم موج.



شکل ۶: نمودار  $Q$  بر حسب  $H_s$ ، به تفکیک شیب سازه، برای عمق آب ۲۴ سانتی متر و پرپود حداکثر ۰/۷۰۴ ثانیه.

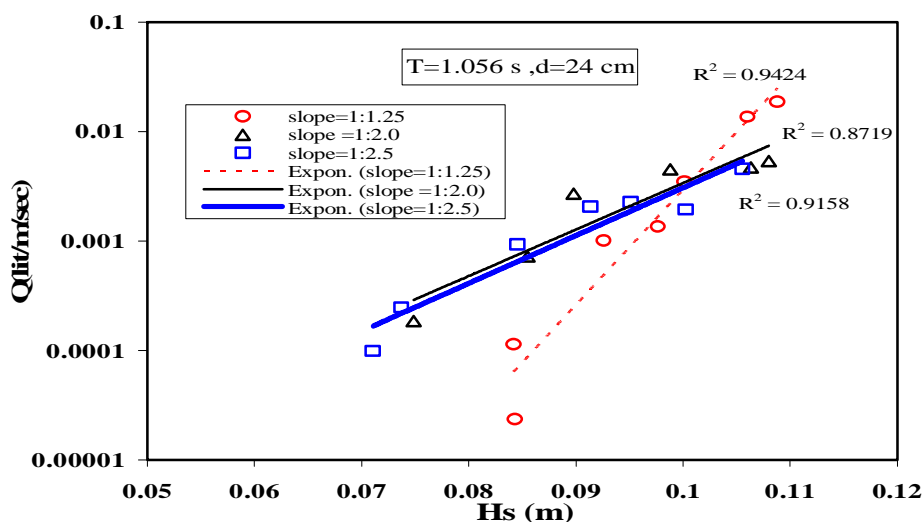
## تجزیه و تحلیل نتایج

برای نشان دادن اثر شیب اولیه سازه در میزان دبی میانگین سرریزی امواج، نمودار  $Q$  بر حسب  $H_s$ ، به تفکیک شیب سازه، برای آب با عمق ۲۴ سانتی متر در پرپودهای میانگین ۰/۷۰۴، ۱/۰۵۶، ۱/۴۰۹ ثانیه در شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) رسم شده است. با توجه به این شکل‌ها نتایج زیر حاصل می‌شود:

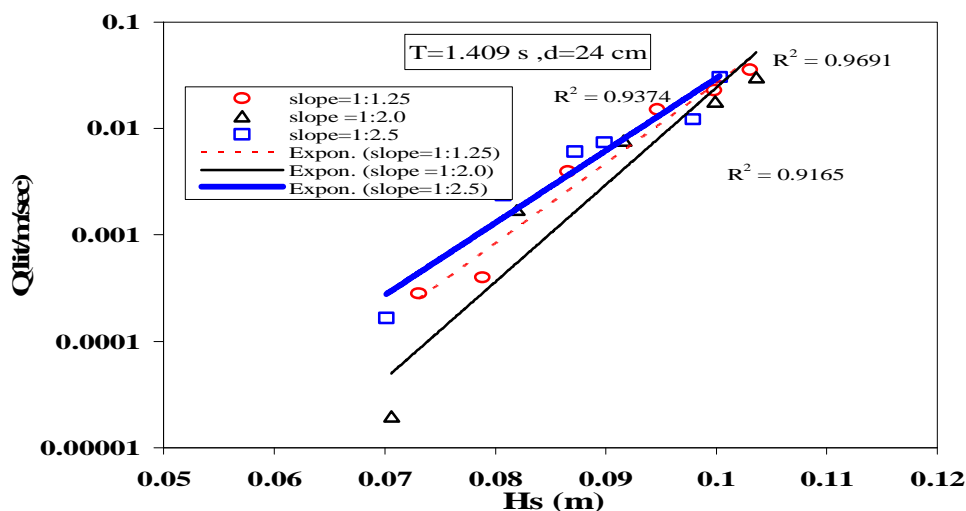
- تأثیر شیب اولیه سازه، در مقایسه با عوامل ارتفاع مشخصه امواج و پرپود بر میزان سرریزی امواج کمتر است.
- تفاوت میان دبی سرریزی شیب‌های ۱:۲ و ۱:۲/۵ در پرپودهای حداکثر ۱/۰۵۶ و ۱/۴۰۹ ثانیه کم است (شکل‌های (۷) و (۸)) و دلیل آن را

می‌توان در مشاهده‌های آزمایشگاهی جستجو کرد که در این دو شیب، تاج دیوار ساحلی فرسایش نیافته و میزان تغییر شکل سازه در هر دو شیب تا حدودی یکسان است.

با افزایش پرپود امواج (افزایش طول موج یا کاهش تیزی موج)، تأثیر شیب سازه بر میزان سرریزی کاهش می‌یابد. همان گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، مقادیر سرریزی، در شیب‌های مختلف بسیار نزدیک به هم هستند و مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع مشخصه امواج، اختلاف دبی‌های میانگین سرریزی کمتر می‌شود و تا حدودی اثر شیب اولیه سازه از بین می‌رود.



شکل ۷: نمودار  $Q$  بر حسب  $H_s$ ، به تفکیک شیب سازه، برای عمق آب ۲۴ سانتیمتر و پریرود حداکثر ۱/۰۵۶ ثانیه.



شکل ۸: نمودار  $Q$  بر حسب  $H_s$ ، به تفکیک شیب سازه، برای عمق آب ۲۴ سانتیمتر و پریرود حداکثر ۱/۴۰۹ ثانیه.

$$Q^* = a \cdot R^{*-b} \quad (10)$$

$$R^* = \frac{R_C}{H_s} \quad (11)$$

$$Q^* = \frac{Q}{T_m g H_s} \quad (12)$$

ضرایب  $a$  و  $b$  از جدول (۱) به دست می‌آید. (از روی نمودار شکل‌های (۹) الی (۱۱) به دست می‌آیند) در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نمودار همبستگی داده‌ها در شیب‌های مختلف نشان داده شده است.

برای عمومیت بخشیدن به نتایج به دست آمده و مقایسه با نتایج سایر محققان، از طریق آنالیز ابعادی و استفاده از نرم‌افزار SPSS همه عوامل بدون بعد مناسب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که در نهایت مشخص شد که عوامل ارتفاع آزاد بدون بعد  $R^* = \frac{R_C}{H_s}$  و سرریزی بدون بعد  $Q^* = \frac{Q}{T_m g H_s}$  بهترین برازش را بر داده‌ها دارند.

به این ترتیب رابطه سرریزی امواج از دیوارهای ساحلی شکل‌پذیر به صورت زیر به دست می‌آید:

جدول ۱: ضرایب a و b مورد استفاده در رابطه (۱۰)، برای دیوارهای ساحلی شکل پذیر.

Slope	a	b
1:1.25	$8 \times 10^{-5}$	8.29
1:2	$7 \times 10^{-5}$	7.97
1:2.5	$8 \times 10^{-5}$	8.98

در شکل (۱۲) همه داده‌ها به تفکیک شیب برای ارتفاع‌های آزاد بدون بعد و سرریزی‌های بدون بعد مختلف رسم شده است و نتایج زیر به دست می‌آید:

- با کاهش شیب اولیه سازه، سرریزی امواج کمی کاهش می‌یابد (دلیل آن می‌تواند به دلیل افزایش طول سطح زبری که آب باید تا قبل از سرریزی طی کند، باشد).

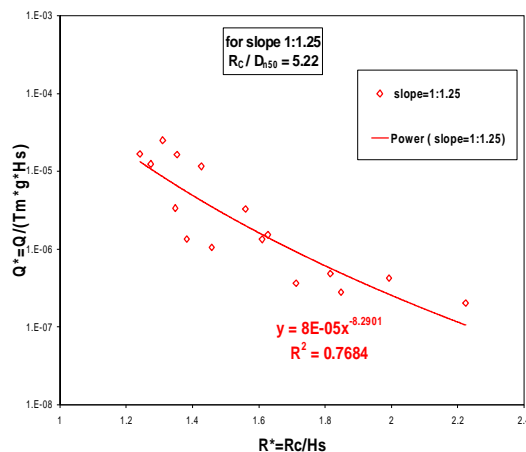
- تفاوت سرریزی بین شیب‌های ۱:۲ و ۱:۲.۵ بسیار کم است (این نتیجه مشابه نتایجی است که Owen در مورد شیب‌های مستقیم نفوذناپذیر به دست آورده و در شکل (۲) نشان داده شده است).

- برای سازه‌هایی با  $R^*$ های کوچک (ارتفاع آزاد کم یا ارتفاع مشخصه امواج بلند) و سرریزی‌های زیاد، منحنی‌های حاصل از شیب‌های مختلف به یک نقطه همگرا می‌شوند و نشان‌دهنده این مطلب است که در سرریزی‌های زیاد، اثر شیب اولیه سازه از بین می‌رود.

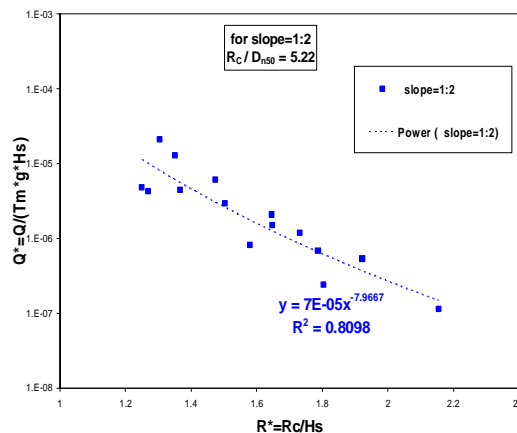
در شکل (۱۳) نمودار سرریزی بدون بعد مشاهداتی، بر حسب سرریزی بدون بعد پیشگویی شده از رابطه (۱۰) برای همه شیب‌ها ترسیم شده است. با توجه به تعداد داده‌ها و نیز ضرایب همبستگی به دست آمده، رابطه پیشنهادی (۱۰) اعتبار قابل قبولی دارد.

### مقایسه با نتایج Owen (۱۹۸۰)

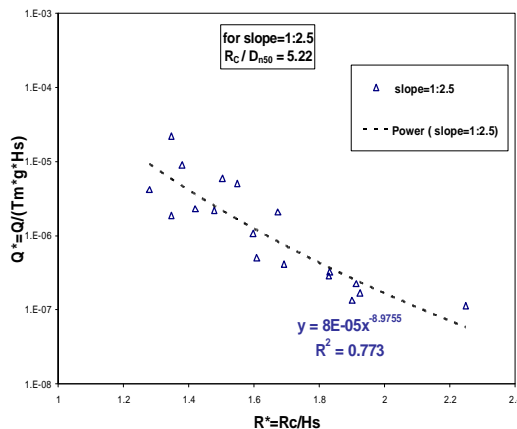
با انتخاب ضرایب کاهش زبری سطح Owen ( $\gamma_r$ )، برابر ۰/۵ (از جداول موجود در مراجع ۷ و ۸) و جایگزینی آن در رابطه (۳)،  $R^*$  محاسبه می‌شود. با جایگذاری آن در رابطه (۱)،  $Q^*$  قابل محاسبه است. در ادامه مقادیر حاصل از فرمول Owen با داده‌های آزمایشگاهی حاصل از این تحقیق مقایسه شده است. با توجه به شکل (۱۴) مشاهده می‌شود که فرمول Owen (۱۹۸۰) در بیشتر نقاط، مقدار سرریزی بیشتری را نسبت به مقادیر مشاهده شده پیش‌بینی می‌کند. دلیل این اختلاف می‌تواند به دلیل شکل پذیر بودن سازه مورد مطالعه در این تحقیق باشد. زیرا روابط ارائه شده توسط Owen برای سازه‌های پایدار ایستا به دست آمده بود.



شکل ۹: نمودار همبستگی داده‌ها در شیب ۱:۲.۵

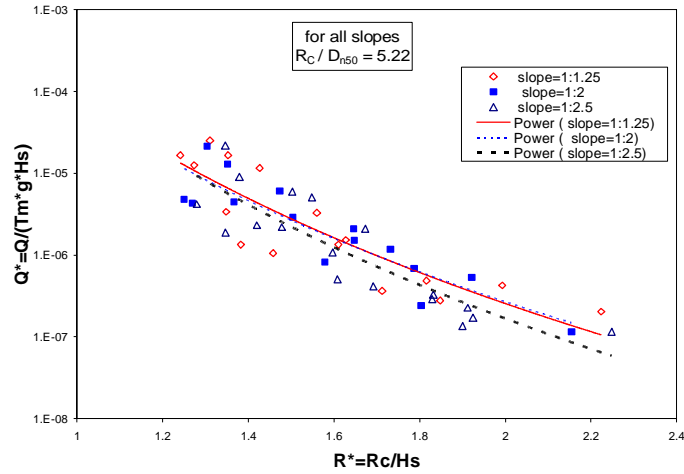


شکل ۱۰: نمودار همبستگی داده‌ها در شیب ۱:۲

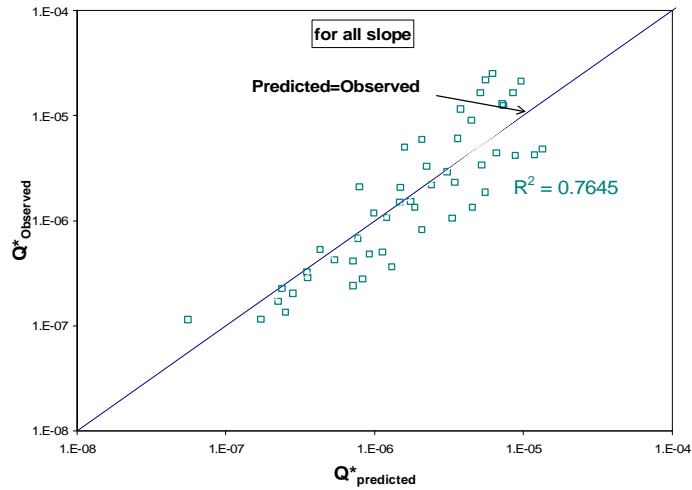


شکل ۱۱: نمودار همبستگی داده‌ها در شیب ۱:۲/۵

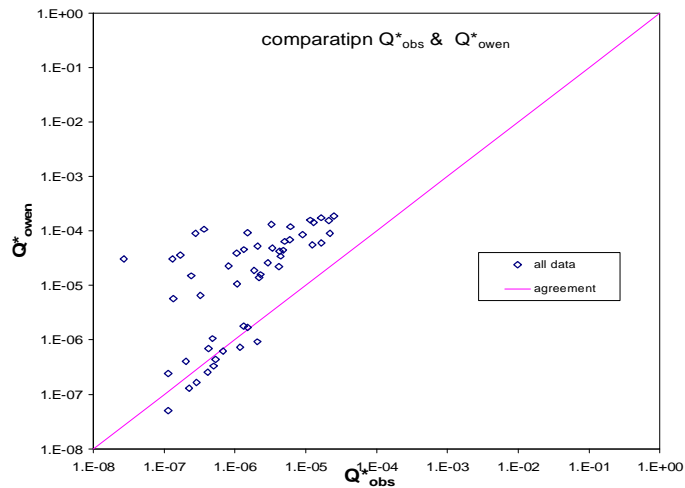




شکل ۱۲: نمودار بررسی تأثیر شیب سازه برای سرریزی بدون بعد  $\frac{Q}{T_m g H_s}$  در مقابل ارتفاع آزاد بدون بعد  $\frac{R_c}{H_s}$  در  $R_c/D_{n50}=5.22$ .



شکل ۱۳: نمودار سرریزی بدون بعد مشاهده شده، بر حسب سرریزی بدون بعد پیشگویی شده از رابطه (۱۰) برای همه شیب‌ها.



شکل ۱۴: نمودار عامل سرریزی بدون بعد OWEN (۱۹۸۰)، در مقابل سرریزی بدون بعد مشاهده شده برای همه داده‌ها.

## جمع‌بندی نتایج

با کاهش شیب اولیه سازه، دبی میانگین سرریزی امواج کمی کاهش می‌یابد (به دلیل افزایش طول سطح زبری که آب باید تا قبل از سرریزی طی کند). تفاوت دبی میانگین سرریزی بین شیب‌های ۱:۲ و ۱:۱/۲۵ بسیار ناچیز است (این نتیجه، مشابه نتایجی است که Owen در مورد شیب‌های مستقیم نفوذناپذیر به دست آورده بود). برای سازه‌هایی با سرریزی‌های زیاد، منحنی‌های

حاصل از شیب‌های مختلف در یک نقطه همگرا شده که نشان‌دهنده از بین رفتن اثر شیب اولیه سازه بر میزان سرریزی است. از این رو برای سرریزی‌های زیاد، استفاده از سازه‌هایی با شیب تند که مصالح کمتری برای ساخت نیاز دارند، اقتصادی‌تر است. از طرفی سرریزی امواج از دیوارهای ساحلی شکل‌پذیر نسبت به دیوارهای ساحلی پایدار ایستا کمتر است که مؤیدی بر اقتصادی بودن دیوارهای ساحلی شکل‌پذیر است.

## مراجع

- 1 - Besley, P. (1999). *Wave Overtopping of Seawalls, Design and Assessment Manual*, R&D Technical Report W 178. Hydraulics Research Ltd, Wallingford.
- 2 - Burcharth, H. F. and S.A. Hughes, (2003). *Coastal Engineering Manual, Chapter 5, part VI, "Design of Coastal Project Elements."*
- 3 - Goda, Y. (1971). "Expected rate of irregular wave overtopping of seawalls." *Coastal Eng.* In Japan, Vol. 14, PP. 43-52.
- 4 - Fukuda, N., Uno, T. and Irie, I. (1974). "Field observation of wave overtopping of wave absorbing revetment." *Coastal Eng.* In Japan, Vol.17, PP. 117-128.
- 5 - Battjes, J. A. (1974). *Wave Run-up and Overtopping*. Technical advisory committee on Protection against inundation, Haag.
- 6 - Ahrens, J. P. (1977). "Prediction of irregular wave overtopping." *CETA 77-7*, U.S.Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Ft. Belvoir, Virginia December 1977b.
- 7 - Owen, M. W. (1980). "Design of seawalls allowing for wave overtopping." *Rep. EX924, Hydraulics Research Wallingford, England.*
- 8 - Owen, M. W. (1982). "The hydraulic design of seawall profiles." *Proc. Conf. On Shoreline Protection, Institution of Civil Engineers, London*, PP.129-136.
- 9 - CIRIA/CUR, (1995). "Manual on the Use of Rock in Hydraulic engineering." *CUR/RWS Report 169, A.A.BALKEMA, Rotterdam.*
- 10 - Hughes, S. A. (1993). "Physical models and laboratory techniques in coastal engineering." *Advanced Series on Ocean engineering*, Vol. 7, World Scientific Publishing, Singapore.
- 11 - Van der Meer, J. W. (1992). "Conceptual design of rubble mound breakwater." *Proc. of Short Course on the Design and Reliability of Coastal Structures, 23<sup>rd</sup> Conf. Coastal Eng.*, Venice, ASCE, New York, PP. 447-510.
- 12 - Shankar, N. J. and Jayaratne, M. P. R. (2003). "Wave run-up and Overtopping on Smooth and rough Slope of Coastal Structures." *Ocean Engineering*, Vol. 30, PP. 221-238.
- 13 - Rouck, J. D. (2004). *The Land-Sea Margin: Wave Overtopping and Protection along the Coastline*. ICE Seminar, London, March 18<sup>th</sup>.

## واژه‌های انگلیسی به فارسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Mean Overtopping Discharge
- 3- Splash
- 5- Smooth

- 2- Green water
- 4- Spray
- 6- Rough