

## بررسی آزمایشگاهی ضربه‌های دانه‌های رسوب بر حوضچه آرامش سدها

محمد ابراهیم بنی حبیب

دکترای عمران - مهندسی آب، استادیار دانشگاه تهران

فکس: ۰۲۹۲-۳۰۲۵۳۶۶ پست الکترونیکی: banihabib@ut.ac.ir

مهران ایران پور

کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، مربی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لنجان، گروه مهندسی عمران، اصفهان، ایران

آدرس پست الکترونیکی: Iranpour@iauln.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۲۶

### چکیده

مقاله حاضر وجود رابطه تجربی برای تعیین درصد خوردگی بتن حوضچه‌های آرامش بر اثر ضربه دانه‌های رسوبات جریان واریزه‌ای را بررسی می‌نماید. بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که در آزمایش‌های تحقیقات پیشین، مخلوطی از ضربه و سایش مدل‌سازی گردیده است بدون این که سهم ضربه در آن‌ها مشخص باشد و قطر دانه‌های رسوب نیز در حد قطرهای رسوب متداول در جریان‌های واریزه‌ای نیست. بنابراین در مقاله حاضر، روش آزمایشگاهی پیشنهاد گردیده است که اثر ضربه رسوبات درشت دانه جریان واریزه‌ای بر روی دال‌های بتنی حوضچه‌های آرامش را بررسی می‌کند. بر اساس روابط همبستگی بررسی شده در سری اول آزمایش‌ها، وجود رابطه مستقیم تجربی بین درصد خوردگی دال بتنی با انرژی پتانسیل جمععی در واحد وزن دال بتنی اثبات شده است و بر اساس خطای روابط خطی، توانی و نمایی با داده‌های آزمایش‌های سری اول، حداقل بودن میانگین خطای نسبی رابطه توانی نسبت به آزمایش تایید گردیده است. بنابراین رابطه توانی بین درصد خوردگی و انرژی پتانسیل جمععی در واحد وزن بتن دال، پیشنهاد گردیده است. اثر وجود آب در حوضچه آرامش در کاهش سرعت ضربه هنگام برخورد بحث گردیده و نشان داده شده است که نتایج رابطه تجربی و پیشنهادی برای عمق‌های نسبی کمتر از واحد، خطای نسبی کمتر از ۱۰٪ نسبت به حالت دخیل نمودن وجود آب، خواهد داشت و این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که اثر وجود آب در دانه‌های رسوب ریزتر در سیلاب‌های معمولی تعیین کننده و قابل توجه بوده و ممکن است تا ۹۰٪ سرعت برخورد را کاهش دهد.

**کلید واژه‌ها:** سدهای انحرافی، جریان واریزه‌ای، تخریب حوضچه آرامش، ضربه دانه‌های رسوب.

### مقدمه

عبور سیلاب واریزه‌ای از روی سرریز سدهای بتنی مخزنی، تنظیمی و انحرافی موجب خوردگی سرریز و حوضچه آرامش آنها می‌شود. سیلاب‌های واریزه‌ای به سیلاب‌هایی گفته می‌شود که دارای غلظت بالایی از رسوبات درشت

دانه باشد (بنی حبیب، ۱۳۷۶). تعدادی از گزارش‌ها و مقالات خسارت وارده به سرریز و حوضچه آرامش سدهای مخزنی و برق آبی در اثر عبور رسوبات درشت دانه را در نقاط مختلف دنیا گزارش نموده‌اند. (Bhargava, et al, 1987, Morris, and Fan, 1997, Schnable Engineering Associate Inc 2001)

نامشخص می‌باشد. اندازه رسوبات مورد استفاده نیز در مقایسه با رسوبات درشت دانه جریان واریزه‌ای گزارش شده در مراجع کوچک می‌باشد (Bhargava, et al, 1987, Banihabib, et al, 2002). بنابراین بررسی مقالات یادشده نشان می‌دهد که اثر تخریبی ضربه رسوبات بر روی حوضچه آرامش به تفکیک و روشن بررسی نشده است و رابطه ای برای تخمین تخریب بتن حوضچه آرامش بر اثر رسوبات درشت دانه جریان واریزه‌ای پیشنهاد نگردیده است. در این راستا هدف مقاله حاضر نتایج تحقیق در خصوص روش آزمایشی مناسب جهت بررسی اثر تخریبی ضربه رسوب بر حوضچه آرامش سدهای انحرافی بوده و سوال اصلی تحقیق امکان تعیین رابطه‌ای بین درصد خوردگی با انرژی پتانسیل رسوبات جریان واریزه‌ای می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

تعداد ۲۹ آزمایش ضربه بر روی دو نمونه بتنی انجام گرفته است. طرح اختلاط نمونه‌های بتنی بر اساس ACI 11.1 12 می‌باشد. اسلامپ بتن مورد استفاده برابر ۶۵ میلی متر بوده و مشخصات مصالح مورد استفاده و وزن آنها در جدول (۱) ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشخص گردیده است نسبت آب به سیمان بتن مورد استفاده ۰/۵ بوده است. در ساخت بتن از شن و ماسه رودخانه استفاده گردیده است. روش ساخت و عمل آوری نمونه‌های بتنی بدین ترتیب بوده است که پس از مخلوط کردن مصالح مورد استفاده در مخلوط کن آزمایشگاه، تعدادی نمونه استاندارد و تعدادی نمونه با ابعاد مذکور در جدول (۲) تهیه گردیده است. نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت از قالب خارج گردیده و تا پایان روز بیست و هشتم در آب قرار داده شدند. پس از ۲۸ روز از نمونه‌های استاندارد آزمایش مقاومت فشاری بعمل آمد که مقاومت فشاری متوسط آنها ۳۵۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بود.

موارد مشابه در سد انحرافی روزبهان در استان فارس ملاحظه گردیده است (Banihabib, et al, 2002). گزارش‌ها و مقالات یادشده مبین ضرورت تحقیق در زمینه اثر تخریبی عبور سیلاب واریزه‌ای از روی سرریز و حوضچه آرامش سدها می‌باشد. خوردگی حوضچه آرامش سدها به دو دلیل سایش و ضربه رسوبات بر سطح آنها می‌باشد (Liu, et al, 2006). استانداردهای تدوین شده برای آزمایش بتن توسط رسوبات عمدتاً بر روی اثر سایشی رسوبات و نه اثر ضربه رسوبات پرداخته است (The American society for testing and materials, 1999a and 199b). در آخرین استاندارد ارائه شده از طرف انجمن امریکایی آزمایش و مصالح بر کیفی بودن نتایج آزمایش تاکید شده است (The American society for testing and materials, 1999a & 199b).

در تحقیق دیگری از جریان جت حاوی ماسه که بر روی قطعه بتنی پاشیده می‌شد، بعنوان وسیله آزمایش استفاده شده است و در آن تحقیق، عمدتاً اثر جریان جت فوق الذکر بر روی انواع بتن‌های ساخته شده با درصد آب به سیمان مختلف بحث شده است (Liu, et al, 2006). در تحقیق یادشده اثر سایش و ضربه رسوبات ریزدانه ماسه ای ترکیب شده و شناخت لازم از اثر تخریبی ضربه به تفکیک و روشن بررسی نگردیده و روش و نوع بحث انجام شده بر روی مقایسه اثر روش آزمایش پیشنهادی بر روی بتن با درصدهای مختلف آب به سیمان متمرکز شده است. کار انجام شده توسط عمل سایشی رسوبات بر روی نمونه‌های بتنی در تحقیق دیگری با مقدار سایش مرتبط دانسته شده است (Horszczaruk, 2004). این تحقیق نشان می‌دهد که درصد سایش نمونه‌های بتنی با کار انجام شده در جرم واحد نمونه‌های بتنی در ارتباط است. عمده تفاوت بین آزمایش پیشنهادی توسط تحقیق یادشده با مکانیسم تخریبی رسوبات درشت دانه سیلاب واریزه‌ای بر روی حوضچه‌های آرامش را می‌توان در دو نکته دانست. در آزمایش تحقیق یاد شده مخلوطی از سایش و ضربه مدلسازی شده که سهم سایش عمده ولی

جدول (۱): وزن و مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت بتن

ردیف	مصالح مورد استفاده	وزن (Kg)
۱	شن رودخانه با دانه بندی ۲۰-۵ میلی متر	۱۹/۸۴
۲	ماسه رودخانه با قطر دانه بندی بین صفر تا ۵ میلی متر	۱۶/۹۸
۳	سیمان	۷/۳۲
۴	آب	۳/۶۶

ضربه زدن به نمونه دوم استفاده شد. سایر وسایل مورد استفاده در آزمایش عبارتند از:

- ترازوی رقومی با دقت ۰/۰۱ گرم برای وزن زیر ۳۰۰ گرم و دقت ۰/۱ گرم برای وزن‌های بالاتر
- خط کش و متر فلزی
- لوله هادی برای هدایت اصابت ضربه سنگ‌ها به وسط نمونه‌ها

مشخصات نمونه‌های مورد استفاده برای آزمایش ضربه در جدول (۲) ارائه شده است. علاوه بر نمونه‌های فوق ۶ عدد سنگ گرد رودخانه‌ای به عنوان رسوب واریزه‌ای جهت ضربه زدن به این نمونه‌ها استفاده شده که وزن آنها به ترتیب شماره سنگ ۸۹۰/۱، ۱۰۵۰، ۳۱۴۱، ۲۰۹۴، ۱۰۳۱/۵ و ۱۰۴۲ گرم بود. سنگ اول برای ضربه زدن به نمونه بتنی اول استفاده گردیده و پنج سنگ بعدی برای

جدول (۲): مشخصات نمونه های مورد استفاده در آزمایش ضربه

شماره نمونه	وزن نمونه (gr)	ابعاد نمونه (cm)	تعداد ضربه
۱	۲۵۹۵/۳	۱۴/۵×۱۴/۵×۵/۴	۱۹
۲	۴۱۸۹/۵	۲۰×۲۰×۵	۱۰

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از ضربات وارده بر نمونه اول و دوم به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. در این جداول وزن سنگ ضربه زننده و وزن نمونه بتنی قبل و بعد از ضربه ارائه شده است. ارتفاع ضربه در هر دو آزمایش ۱/۵ متر بوده است.

بمنظور بحث روی نتایج و بررسی روابط تجربی بین تخریب بتن و انرژی پتانسیل سنگ ضربه زننده ابتدا درصد خوردگی بصورت زیر تعریف گردید.

همانطور که در مقدمه مقاله بحث گردید، سوال اصلی تحقیق بررسی امکان وجود رابطه‌ی تجربی بین درصد تخریب با انرژی پتانسیل رسوبات واریزه‌ای ضربه زننده به نمونه بتنی است. بنابراین روش آزمایش بدین صورت بود که لوله هادی بر روی نمونه‌های بتنی قرار گرفت و سنگ از فاصله ۱/۵ متری با سرعت اولیه صفر به سمت بتن رها می‌گردید. وزن نمونه بتنی قبل و بعد از هر ضربه با ترازوی رقومی اندازه گیری می‌گردید. ضربات و اندازه گیری وزن تا شکست نمونه بتنی و تبدیل آن به چند بخش ادامه می‌یافت. روش تحلیل نتایج و بررسی رابطه تجربی بر مبنای بررسی خطای رابطه‌های همبستگی خطی، توانی و نمایی در آزمایش‌های سری اول و صحت‌یابی این روابط با آزمایش‌های سری دوم بوده است. این تحلیل و بحث روی نتایج در بخش بعدی ارائه می‌شود.

$$A_i = \frac{\text{وزن اولیه بتن} - \text{وزن بتن بعد از آزمایش } m}{\text{وزن اولیه بتن}} \times 100 \quad (1)$$

جدول (۳): نتایج آزمایش سری اول (ضربه روی نمونه اول)

شماره ضربه	وزن سنگ (gr)	وزن نمونه بتن قبل از ضربه (gr)	وزن نمونه بتن بعد از ضربه (gr)
۱	۸۹۰/۱	۲۵۹۵/۳	۲۵۹۴/۸
۲	۸۹۰/۱	۲۵۹۴/۸	۲۵۹۴/۱
۳	۸۹۰/۱	۲۵۹۴/۱	۲۵۹۳/۷
۴	۸۹۰/۱	۲۵۹۳/۷	۲۵۹۳/۴
۵	۸۹۰/۱	۲۵۹۳/۴	۲۵۹۳/۱
۶	۸۹۰/۱	۲۵۹۳/۱	۲۵۹۲/۸
۷	۸۹۰/۱	۲۵۹۲/۸	۲۵۹۲/۴
۸	۸۹۰/۱	۲۵۹۲/۴	۲۵۹۲/۲
۹	۸۹۰/۱	۲۵۹۲/۲	۲۵۹۱/۹
۱۰	۸۹۰/۱	۲۵۹۱/۹	۲۵۹۱/۷
۱۱	۸۹۰/۱	۲۵۹۲/۷	۲۵۹۱/۷
۱۲	۸۹۰/۱	۲۵۹۱/۷	۲۵۹۱/۴
۱۳	۸۹۰/۱	۲۵۹۱/۴	۲۵۹۱/۲
۱۴	۸۸۹/۲	۲۵۹۱/۲	۲۵۹۰/۹
۱۵	۸۸۹/۲	۲۵۹۰/۹	۲۵۹۰/۷
۱۶	۸۸۹/۲	۲۵۹۰/۷	۲۵۹۰/۳
۱۷	۸۸۹/۲	۲۵۹۰/۳	۲۵۹۰/۰
۱۸	۸۸۹/۲	۲۵۹۰/۰	۲۵۸۸/۶
۱۹	۸۸۹/۲	۲۵۸۸/۶	۲۵۸۷/۶

جدول (۴): نتایج آزمایش سری دوم (ضربه روی نمونه دوم)

شماره ضربه	وزن سنگ (gr)	وزن نمونه بتن قبل از ضربه (gr)	وزن نمونه بتن بعد از ضربه (gr)
۱	۱۰۵۰	۴۱۸۹/۵	۴۱۸۹/۵
۲	۱۰۵۰	۴۱۸۹/۵	۴۱۸۹
۳	۱۰۴۷	۴۱۸۹	۴۱۷۸/۵
۴	۳۱۴۱	۴۱۷۸/۵	۴۱۷۷
۵	۳۱۴۱	۴۱۷۷	۴۱۶۶/۵
۶	۲۰۹۴	۴۱۶۶/۵	۴۱۴۷
۷	۲۰۹۴	۴۱۴۷	۴۱۴۷
۸	۱۰۳۱/۵	۴۱۴۷	۴۱۱۵/۵
۹	۱۰۳۱	۴۱۱۵/۵	۴۱۰۵
۱۰	۱۰۴۲	۴۱۰۵	۴۰۰

مستقل نمودن نتایج تحلیل نسبت به ابعاد نمونه، پارامتر جدیدی تحت عنوان انرژی پتانسیل تجمعی در واحد وزن اولیه نمونه بتن بصورت رابطه (۳) تعریف گردید.

$$E = \frac{\text{انرژی پتانسیل در واحد وزن نمونه}}{\text{وزن اولیه نمونه}} \quad (3)$$

از آنجا که این درصد خوردگی ناشی از ضربه اول تا  $n$  ام بوده است، انرژی پتانسیل تجمعی که صرف ضربه زدن و تولید این خوردگی را داشته به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E = \sum_{i=1}^n W_{si} H_i \quad (2)$$

که در این رابطه  $H_i$  ارتفاع رهاسازی سنگ و  $W_{si}$  وزن سنگ ضربه زننده در ضربه شماره  $i$  می‌باشد. بمنظور

جدول (۵): بررسی روابط تجربی بین درصد خوردگی و انرژی پتانسیل در واحد وزن تجمعی

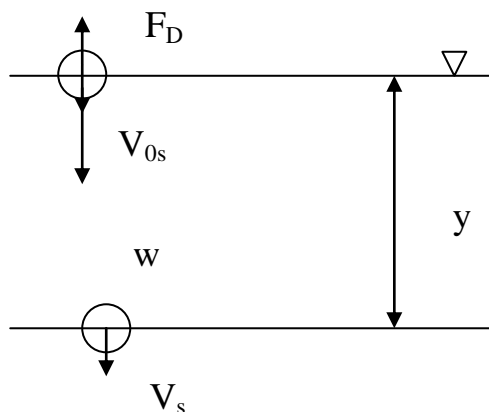
آزمایش سری دوم	آزمایش های سری اول		رابطه	نوع رابطه مورد بررسی
	MRE	R <sup>2</sup>		
۰/۹۹۴۸۶۳	۰/۱۱۱۱۳۸	۰/۹۳۸	$A=۰/۰۲۳۴ (E/W_0)+۰/۰۱۷۸$	خطی
۰/۹۹۸۵۸۴	۰/۰۸۲۳۴۳	۰/۹۷۳۵	$A=۰/۰۳۹۱(E/W_0)^{۰/۷۸۷۴}$	توانی
۱/۱۲	۰/۱۸۹۱۴۵	۰/۸۴۶۹	$A=۰/۰۴۱۲ L (E/W_0)^{-۰/۳۰۴۹}$	نمایی

هر سه رابطه بر وجود رابطه مستقیم بین این دو پارامتر تاکید دارد و بر اساس بحث‌های فوق رابطه توانی بعلت خطای نسبی کمتر به دو رابطه دیگر ترجیح داده می‌شود. از آن جا که عملاً در سدهای انحرافی ضربات سنگ‌ها به کف حوضچه آرامش در شرایطی صورت می‌پذیرد که در محل ضربه عمقی معادل عمق اولیه پرش در حوضچه آرامش وجود دارد، لازم است اثر وجود آب بر اساس تئوری‌های موجود تحلیل و محدوده دقت روابط تجربی بدست آمده روشن گردد. بدین منظور مدل شکل (۱) را برای تحلیل بکار می‌بریم.

بمنظور بررسی وجود رابطه‌ی تجربی بین پارامترهای رابطه‌های (۳) و (۱)، همبستگی این پارامترها در نتایج ۱۹ آزمایش سری اول بصورت روابط خطی، توانی و نمایی بررسی گردید. متوسط خطای نسبی (MRE)<sup>۱</sup> این روابط و ضریب همبستگی R<sup>2</sup> در جدول (۵) ارائه شده است. با استفاده از این روابط درصد خوردگی در آزمایش‌های سری دوم و با مقادیر مشاهداتی مقایسه و متوسط خطای نسبی روابط نسبت به مقادیر مشاهداتی درستون آخر جدول (۵) ارائه شده است.

بررسی خطای روابط در آزمایش‌های سری اول و دوم نشان می‌دهد که رابطه توانی بین درصد خوردگی و انرژی پتانسیل تجمعی در واحد وزن کمترین خطای متوسط نسبی نسبت به آزمایش‌های سری اول داشته است ولی در آزمایش‌های سری دوم رابطه خطی مقدار جزئی خطای متوسط نسبی کمتری نسبت به رابطه توانی داشته است. بنابراین با توجه به اینکه رابطه توانی در آزمایش‌های سری اول کمترین خطای متوسط نسبی دارد رابطه توانی ارجح تر خواهد بود. همبستگی بالا و خطای متوسط نسبی پایین در هر سه رابطه، مؤید وجود رابطه تجربی بین پارامترهای تعریف شده در آزمایش یعنی درصد خوردگی و انرژی پتانسیل تجمعی ضربه در واحد وزن نمونه‌ها می‌باشد.

<sup>1</sup> Mean Relative Error



شکل (۱): شکل شماتیک مدل مورد استفاده برای تحلیل وجود عمق آب در محل ضربه

که در این رابطه  $F_D$  نیروی مقاوم،  $C_D$  ضریب شکل می- باشد که در این جا شکل رسوب کره فرض شده است،  $A$  سطح مقطع رسوب و  $\rho$  جرم مخصوص آن می-باشد. از تعادل دینامیکی نیروهای وزن، مقاوم و قانون دوم نیوتن پس از ساده کردن رابطه می-توان نوشت:

سرعت متوسط سنگ در آب از رابطه زیر تعیین می-شود:

$$V = \frac{V_{0s} + V_0}{2}$$

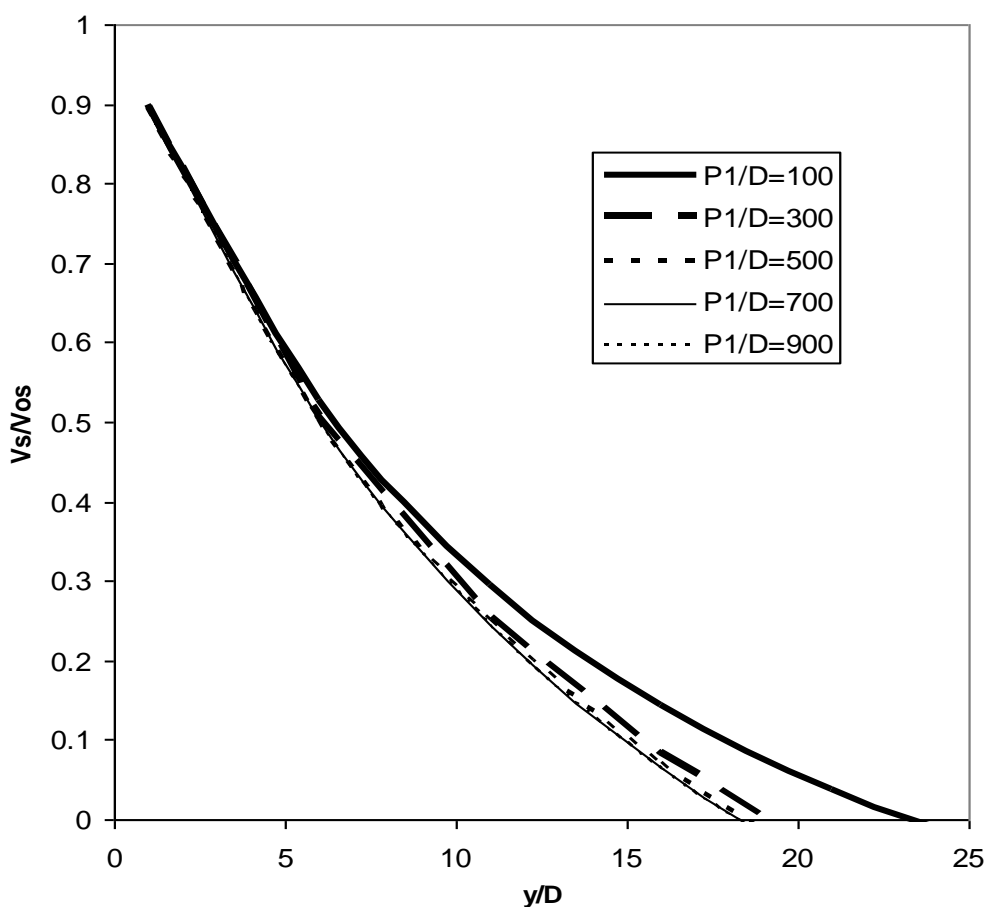
سنگ با سرعت یادشده، نیروی مقاومی در مقابل حرکت ایجاد خواهد کرد. که از رابطه‌ی زیر بدست می-آید.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A \rho V^2$$

$$\frac{V}{V_{0s}} = \frac{-0.056 \frac{y}{D} \pm \sqrt{(0.056 \frac{y}{D})^2 - [(1 + 0.056 \frac{y}{D})(0.056 \frac{y}{D} - 1 - \frac{2gy}{V_{0s}^2})]}}{1 + 0.056 \frac{y}{D}} \quad (6)$$

متر می-رسد (Banihabib, et al, 2002). استفاده از رابطه بدست آمده بین درصد خوردگی و انرژی پتانسیل تجمعی واحد وزن در حالت بدون آب به حالت وجود عمق آب کمتر از ۱۰ درصد خطا خواهد داشت. بدیهی است که این شکل به اثر تعیین کننده موجود آب در حوضچه آرامش در کاهش سرعت رسوبات ریزدانه تر سیلاب‌های معمولی اذعان دارد. بنابراین نتایج تحقیق حاضر محدود به اثر سیلاب‌های واریزه‌ای با سنگ‌های درشت با عمق اولیه کوچک پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش در حد  $y/d < 1$  خواهد بود.

که در این رابطه  $y$  عمق آب در حوضچه،  $D$  قطر سنگ،  $V_{0s}$  و  $V_s$  به ترتیب سرعت سنگ هنگام ورود به آب و ضربه به کف بند می-باشد. این رابطه به صورت دسته منحنی در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل  $P_1$  ارتفاع سرریز سد می-باشد. این شکل نشان می-دهد که برای نسبت‌های کوچک  $y/D$  در حد مقدار واحد، نسبت اثر کاهشی عمق آب زیر ۱۰ درصد خواهد بود. از آنجا که عمق اولیه در سدهای انحرافی به چند ده سانتی متر می-رسد و سیلاب‌های واریزه‌ای که اثر تخریبی روی حوضچه دارند نیز قطر سنگ‌ها بعضاً به ۵۰ سانتی



شکل (۲): بررسی نسبت سرعت قبل و بعد از ورود به آب، نسبت به عمق نسبی اولیه پرش در حوضچه آرامش

### نتیجه گیری

در مقاله حاضر نتایج تحقیقی ارائه شده است که در آن بر آزمایش‌های ضربه رسوب سیلاب واریزه-ای بر روی نمونه‌های بتنی انجام شده و روابط تجربی موجود بین نتایج آزمایش تحلیل گردیده نتایج زیر حاصل شد:

- در مقاله حاضر روشی برای بررسی اثر ضربه رسوب جریان‌های واریزه‌ای بر حوضچه آرامش سدهای انحرافی پیشنهاد شده است.  
- بررسی نتایج آزمایش نشان می‌دهد که رابطه تجربی بین درصد خوردگی و انرژی پتانسیل تجمعی وارد بر وزن واحد نمونه بتنی وجود دارد و رابطه توانی نسبت به روابط خطی و نمایی مناسب تر است.

- تحلیل نتایج نشان می‌دهد که نتایج تحقیق حاضر در محدوده عمق نسبی کمتر از واحد، قابل استفاده است. عمق نسبی در تحقیق حاضر عمق اولیه پرش حوضچه آرامش نسبت به قطر دانه رسوب واریزه‌ای تعریف شده است.  
- تحلیل اولیه اثر عمق آب نشان می‌دهد که وجود عمق جریان در حوضچه آرامش برای رسوبات ریزدانه تر سیلاب‌های معمولی می‌تواند اثر قابل توجهی در سرعت هنگام ضربه رسوب داشته و آن را به کمتر از ۱۰٪ سرعت قبل از ورود به آب برساند.

### تقدیر و تشکر:

از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مدیریت پردیس ابوریحان و آزمایشگاه بتن دانشگاه صنعتی اصفهان که امکان تحقیق و ارائه مقاله حاضر را فراهم نموده اند، تشکر می‌گردد.

### منابع:

بنی حبیب م. ا. ۱۳۷۶. عامل طغیان رودخانه‌ای با غلظت بالای رسوب، مجموعه مقالات چهارمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز.

Banihabib, M. E., H. Shantia and S. Ghotbi. 2002. Measures for problems of hydraulic structures in rivers transporting debris flow. Proceeding of international conference on fluvial hydraulics. Sept. 4-6. 2002. Louvain- La-Neuve, Belgium.

Bhargava, D.N. L., Narair, S.S. Tiagai, and P.P. Gupta. 1987. Sedimentation problems at low dams in the Himalayas. Water power & Dam Construction.

Horszczaruk, E. 2004. The model of abrasive wear of concrete in hydraulic structures. Wear 256 (2004), ELSEVIER. 787-796.

Liu, Y. W., T. yen and T. Hsu. 2006. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. Cement and Concrete Research, ELSEVIER No. 36. 1814-1820.

Morris, G. and J. Fan. 1997. Reservoir sedimentation handbook. Mc Graw –Hill.

Schnable Engineering Associate Inc. 2001. Laboratory tests and field studies on erosion and abrasion resistance of soil cement and roller-compacted concrete; results of literature review. PCAR & D No2436.

The American society for testing and materials, Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surface by the rotating-cutter method, ASTM Designation C944. Philadelphia. 1999a.

The American society for testing and materials, Standard test method for abrasion resistance of concrete (under water method), ASTM Designation C1138. Philadelphia. 1999b.



## Experimental Study of Sediment Grain's Impact on Stilling Basins of Dams

**Mohammad Ebrahim Banihabib,**

PhD of Civil Engineering, Water Engineering, Assistant professor, University of Tehran, Iran.

Email: [banihabib@ut.ac.ir](mailto:banihabib@ut.ac.ir), Fax: 0292-3040906

**Mehran Iranpoor**

M.Sc. Hydraulic structures, Instructor of Islamic Azad University-Lenjan, Civil Engineering Dept. Esfahan, Iran,

Email: [Iranpoor@iauln.ac.ir](mailto:Iranpoor@iauln.ac.ir)

### **Abstract:**

This paper studies existing of an empirical equation for the determination of abrasion rate of concrete stilling basins by debris flow sediments' impact. Mix of friction and impact are modeled by previous researches' experiments without dividing their share in abrasion and impact. In addition, grains' size were not as big as grains of debris flow in their experiments. Therefore, experimental method is presented for studying the effect of the impact of large grains of the debris flows' sediment on apron of stilling basins in this paper. According to studied correlation equations between first set of experiments' data, the direct relation between abrasion rate and cumulative potential energy in unite weight of the concrete of the stilling basins is proved. In addition, according to error of linear, power and exponential equations between first set of experiments' data, is verified that the error of power equation is minimum. The equations are verified using second set of experiments. The power equation between abrasion rate and cumulative potential energy in unite weight of concrete stilling basins is recommended. The effect of existing water in stilling basin on reduction of sediment grain's velocity is discussed and it is showed that the reducer effect of water is less than 10% for relative depth smaller than one. In addition, the analysis show that the effect of existing water on reduction of finer sediment of ordinary floods is important and it may reduce the velocity about 90%.

**Keywords:** Diversion Dams, debris flow, abrasion of stilling basin, sediment grain's impact.