

## تعیین مکان مناسب پرتاب کننده روی سدهای لاستیکی

سید بهنام سروری نژاد<sup>۱\*</sup>، محمود بینا<sup>۲</sup>، ایوب مرادی<sup>۲</sup> و حسن گلیج<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۶)

### چکیده

سد لاستیکی عبارت از جسم استوانه‌ای خوابیده‌ای است که در عرض کانال‌ها، رودخانه‌ها و تاج سدها قرار می‌گیرد و از هوا یا آب یا ترکیبی از هر دو پر می‌شود. سدهای لاستیکی ممکن است با پرتاب کننده یا بدون پرتاب کننده ساخته شوند. پرتاب کننده زائده‌ای مثلثی یا مستطیلی شکل است که در بدنه پایین دست سد نصب می‌شود. هدف از نصب پرتاب کننده جدا کردن تیغه آب از بدنه سد لاستیکی و جلوگیری از تماس مجدد آب با بدنه است. در این تحقیق ۴ مدل فیزیکی مربوط به سدهای لاستیکی مورد بررسی قرار گرفت. پرتاب کننده‌ها نیز با توجه به ارتفاع مدل و نسبت  $h/P = 0.05$  و در دو شکل مثلثی و مستطیلی با طول ۲۵ سانتی‌متر ساخته شده و در سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از تجزیه و تحلیل مشاهدات آزمایشگاهی، با توجه به پروفیل‌های پرتاب آب و طول آن، زاویه نصب ۴۵ درجه مناسب‌تر از گزینه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه انتخاب گردید. هم‌چنین برداشت‌های آزمایشگاهی و رابطه ارائه شده در این تحقیق با روابط ارائه شده توسط سایر محققین مورد مقایسه قرار گرفت. هم‌بستگی نزدیک مقادیر نشان‌دهنده صحت آزمایش‌ها و روابط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سد لاستیکی، پرتاب کننده، طول پرتاب

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان

۲. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sbsnsarvari@yahoo.com

## مقدمه

پس از مدتی مخزن از رسوبات پر می‌گردد. متداول‌ترین طبقه‌بندی سدهای لاستیکی براساس نوع سیال تغذیه‌کننده درون تیوپ لاستیکی می‌باشد. بر این اساس سدهای لاستیکی به دو دسته سدهای لاستیکی آبی و بادی تقسیم می‌گردند (۴). با توجه به این‌که سرریز آب از روی تاج سد باعث لرزیدن و ارتعاش بدنه سد می‌شود برای جلوگیری از این موضوع از یک پرتاب‌کننده (Deflector) در قسمت پایین دست بدنه استفاده می‌گردد. بر این اساس سدهای لاستیکی را می‌توان به دو دسته سدهای لاستیکی با پرتاب‌کننده و بدون پرتاب‌کننده تقسیم‌بندی نمود. پرتاب‌کننده یک زایده لاستیکی است که در بخش بالائی بدنه و در قسمت پایین تاج، از بدنه لاستیکی بیرون زده است. عمل این پرتاب‌کننده برای کاهش ارتعاشات تیوپ لاستیکی در هنگام عبور جریان سیلاب‌ها از تاج سد لاستیکی است. در این حالت پرتاب‌کننده به جداسازی آب از بخش پایین دست سد لاستیکی و یا جلوگیری از تماس آب با سطح لاستیک در پایین دست کمک می‌نماید. به‌ویژه در سدهای بادی که نسبت به ارتعاشات حساسیت بیشتری دارند. منظور ثانویه از تعبیه پرتاب‌کننده، سهولت عبور مواد جامدی است که توسط رودخانه حمل می‌شود و به محل ساختگاه سد می‌رسد و بدین ترتیب مواد پس از عبور از روی تاج به جلو سد لاستیکی پرتاب می‌گردد. هدف اصلی در این تحقیق تعیین مکان مناسب پرتاب‌کننده روی سدهای لاستیکی می‌باشد. از آنجا که برای عملکرد بهتر پرتاب‌کننده بایستی زیر تیغه جریان هوادهی گردد، پرتاب‌کننده نوعی سیستم هوادهی است.

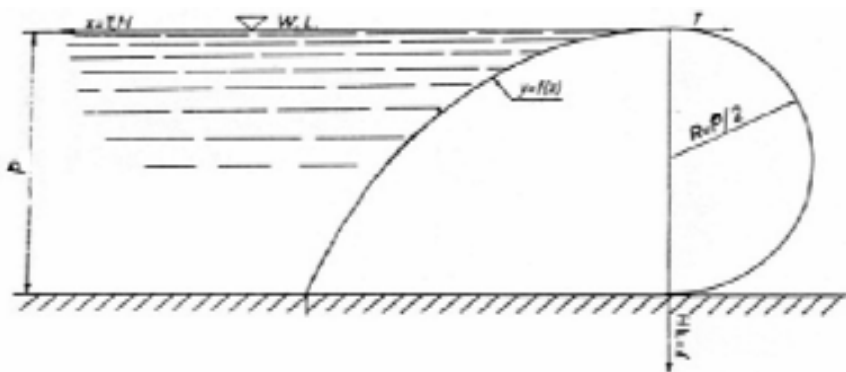
انور (۷) با ساخت یک مدل فیزیکی لاستیکی در مؤسسه تحقیقات هیدرولیک والینگ فورد در انگلستان توانست هیدرولیک جریان را از روی سدهای لاستیکی مورد بررسی قرار دهد. مطابق آزمایش‌های او شکل مقطع پایین دست در سد لاستیکی بادی و در شرایط هیدرواستاتیکی به صورت نیم‌دایره و شکل مقطع بالادست به صورت تابع  $Y = f(x)$  می‌باشد. با توجه به شکل (۱) انور با تحلیل نظری حالت هیدرواستاتیک،

تاکنون استفاده از مصالح بنایی مانند بتن، خاک و سنگریزه در ساخت سازه‌های مختلف آبی به صورت گسترده‌ای رایج و معمول بوده است. یکی از جدیدترین موادی که در سال‌های اخیر در کشورهای مختلف دنیا برای ساخت سد یا سرریز مورد توجه قرار گرفته است ماده مصنوعی لاستیک است. سد لاستیکی یک تیوپ لاستیکی می‌باشد که در امتداد مقطع عرضی رودخانه نصب می‌گردد و با پر و خالی کردن آن با استفاده از هوای فشرده یا آب به صورت مانعی با ارتفاع دلخواه بر سر راه آب رودخانه ایجاد می‌شود (۱۱). در کل باید گفت یک سد لاستیکی می‌تواند در دو حالت قرار گیرد:

۱. کاملاً روی بستر بتنی خوابیده و امکان عبور جریان را بدون هیچ گونه مانعی فراهم نماید.
۲. به طور کاملاً ایستاده به صورت مانعی در برابر عبور جریان باشد و یا اجازه عبور آب به صورت سرریز را تأمین کند. از اهمیت سدهای لاستیکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. هزینه اجرایی ارزان‌تر طرح سد لاستیکی از اجرای طرح با مصالح دیگر
۲. هزینه بسیار پایین دوران بهره‌برداری و نگهداری
۳. مدت زمان طراحی و اجرای عملیات ساختمانی کوتاه‌تر نسبت به سایر گزینه‌ها
۴. سازگاری بیشتر آنها در شرایط مختلف دوره‌های خشک‌سالی و سیلابی نسبت به انواع دیگر سدها با توجه به امکان تغییر ارتفاع سد و غیره.

با توجه به اهمیت‌های اشاره شده امروزه از سدهای لاستیکی در طرح‌های مختلف آبی استفاده می‌گردد که می‌توان به برخی از آنها اشاره کرد: ۱. منحرف کردن آب در کانال‌های باز به منظور آبیاری، ۲. ساخت سدهای لاستیکی جهت افزایش سطح آب در مخازن سدهای ساخته شده، ۳. ذخیره دبی پایه آب رودخانه‌ها برای تأمین آب کشاورزی و غیره (۱ و ۲). هم‌چنین سدهای لاستیکی در موقع سیلاب می‌خوابند و بار بستر همراه سیل از روی سد عبور می‌کند، بدین ترتیب از پر شدن مخزن توسط رسوبات جلوگیری به عمل می‌آید. حال آن‌که در مورد سدهای بتنی چنین نیست و



شکل ۱. مقطع تحلیلی سد لاستیکی مورد نظر انور

ارتفاع سد، شیب کانال بالادست، زبری سد و خصوصیات پرتاب‌کننده از جمله شکل و محل پرتاب‌کننده، پارامترهایی بودند که مورد آزمایش قرار گرفتند.

### هیدرولیک جریان عبوری از روی سدهای لاستیکی

جریان عبوری از روی سد لاستیکی پس از برخورد به پرتاب‌کننده نصب شده روی سد به جلو پرتاب شده و جت آب تشکیل می‌گردد (شکل ۳). در این شکل پارامترهای مختلف هیدرولیکی مشخص شده است.

که در آن،  $L_{\text{max}}$  طول پرتاب جت آب،  $P$  ارتفاع سد،  $h_s$  عمق آب روی تاج،  $Y$  عمق آب بالادست سد،  $h_s$  هد آب روی سد در بالادست،  $\phi_{\text{def}}$  زاویه نصب پرتاب‌کننده و  $d$  ضخامت تیغه آب می‌باشد. **تحلیل ابعادی** در برخی از پدیده‌های هیدرولیکی متغیرهای زیادی دخیل هستند. بنابراین ایجاد روابط ریاضی بین چنین متغیرهایی با استفاده از آنالیز ابعادی انجام می‌گیرد. در این تحقیق ابتدا پارامترهای مؤثر در هیدرولیک جریان از روی سد لاستیکی مشخص و سپس با استفاده از آنالیز ابعادی، اعداد بدون بعد مؤثر استخراج می‌گردد. پارامترهای مؤثر در شرایط جریان آزاد از روی سد لاستیکی عبارت‌اند از:

پارامترهای هندسی، شامل ارتفاع سد ( $P$ )، طول سد لاستیکی ( $L$ )، شیب کف کانال ( $S$ )، ضریب فشار درونی ( $\alpha$ )، ارتفاع جریان نسبت به تاج سد ( $h_s$ )، ارتفاع آب

معادله‌ای را برای شکل مقطع بالادست ارائه نمود.

$$\xi = \sqrt{\frac{\alpha}{\gamma}} \int_{\text{Arccos}\left(\frac{\eta-1}{\alpha}\right)}^{\pi} \left[ \frac{1 - \alpha (\sin \phi)^{\gamma}}{\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\gamma} (\sin \phi)^{\gamma}}} \right] d\phi \quad [1]$$

که در آن  $P_i$  فشار درونی سد،  $P$  ارتفاع سد،  $X$  طول از مبدا مختصات،  $Y$  عرض از مبدأ مختصات و  $\phi$  پارامتری بدون بعد جهت تعریف شکل تابع سد لاستیکی می‌باشد.

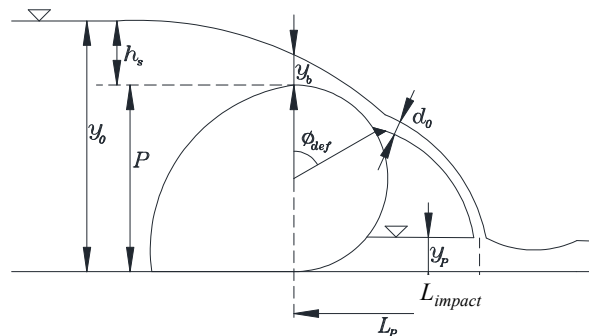
چنسون (۸، ۹ و ۱۰) هیدرولیک جریان از روی سد لاستیکی در دو حالت با پرتاب‌کننده و بدون پرتاب‌کننده را مورد بررسی قرار داد پرتاب‌کننده‌ها به دو شکل مستطیلی و مثلثی مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۲).

در حالت سد لاستیکی با پرتاب‌کننده یکی از موضوعات مهم، مکان زاویه‌ای مناسب پرتاب‌کننده ( $\phi_{\text{def}}$ ) و ارتفاع پرتاب‌کننده ( $h$ ) برای پرتاب آب می‌باشد. مطابق تحقیقات آزمایشگاهی وی، مکان زاویه‌ای  $40 < \phi_{\text{def}} < 60$  و اندازه  $0.15 < h/R < 0.1$  برای نصب مناسب تشخیص داده شده است که در آن  $R$  شعاع انحناء پایین دست می‌باشد.

الهمتی و همکاران (۵ و ۶) در مقالاتی به تعیین ضریب دبی در سدهای لاستیکی بادی و هم‌چنین رفتار سد لاستیکی تحت شرایط هیدرواستاتیکی پرداختند. شمسایی و همکاران (۳)، به تعیین ضریب جریان و بررسی پارامترهای مؤثر بر این ضریب با ساخت مدل فیزیکی از نوع پر شده با هوا پرداختند. شکل و



شکل ۲. پرتاب کننده مثلثی و مستطیلی



شکل ۳. مقطع سد لاستیکی

$$f(P, L, \alpha, h_s, y, Q, g, L_{\text{impact}}, \sin \phi_{\text{def}}, \cos \phi_{\text{def}}) = 0 \quad [3]$$

با استفاده از روش آنالیز ابعادی باکینگهام و در نظر گرفتن پارامترهای  $Q$  و  $h_s$  به عنوان متغیرهای تکراری، اعداد بدون بعد زیر به دست می آید.

$$f\left(\text{Fr}^*, \frac{h_s}{P}, \frac{L_{\text{impact}}}{P}, \text{Fr}, \sin \phi_{\text{def}}, \cos \phi_{\text{def}}, \alpha\right) = 0 \quad [4]$$

بنابراین رابطه کلی به شکل زیر حاصل می شود:

$$\frac{L_{\text{impact}}}{P} = f\left(\text{Fr}^*, \frac{h_s}{P}, \text{Fr}, \sin \phi_{\text{def}}, \cos \phi_{\text{def}}, \alpha\right) \quad [5]$$

که در این رابطه  $\text{Fr}^* = \frac{Q}{Ly \cdot \sqrt{gh_s}}$  و  $\text{Fr} = \frac{Q}{Ly \cdot \sqrt{gy}}$  می باشد.

### مواد و روش ها

با توجه به این که در این تحقیق بررسی سد لاستیکی در شرایط ایستاده مد نظر می باشد لذا با بررسی شکل های مختلف از سد لاستیکی مشاهده گردید که شکل سد تا مقدار حداقل  $\alpha = 0.5$  را می توان جزء شرایط ایستاده در نظر گرفت. مهم بودن انتخاب

بالادست جریان ( $y$ )، طول پرتاب آب ( $L_{\text{impact}}$ )، سینوس زاویه نصب پرتاب کننده ( $\sin \phi_{\text{def}}$ ) و کسینوس زاویه نصب پرتاب کننده ( $\cos \phi_{\text{def}}$ )، پارامترهای سینماتیکی شامل، شدت جریان یا دبی ( $Q_a$ ) و پارامترهای دینامیکی که شامل شتاب ثقل ( $g$ )، لزجت ( $\mu$ )، ضریب مدول الاستیسیته ( $\epsilon$ )، کشش سطحی ( $\sigma$ ) و جرم مخصوص ( $\rho$ ) می باشند. با توجه به این پارامترها تابع عمومی جریان آزاد بر روی سد لاستیکی به صورت زیر خواهد بود:

$$f(P, L, S, \alpha, h_s, y, Q, g, \mu, \epsilon, \sigma, \rho, L_{\text{impact}}, \sin \phi_{\text{def}}, \cos \phi_{\text{def}}) = 0 \quad [2]$$

با توجه به وجود جریان غیرقابل تراکم لذا از تأثیر مدول الاستیسیته ( $\epsilon$ ) و جرم مخصوص ( $\rho$ ) می توان صرف نظر نمود. با توجه به عمق جریان از تأثیر نیروی کشش سطحی ( $\sigma$ ) و با توجه به تلاطم موجود در جریان آزاد از تأثیر نیروی لزجت ( $\mu$ ) نیز می توان صرف نظر نمود. با حذف پارامترهای غیرضروری از تابع فوق تابع عمومی جریان به صورت زیر ارائه می گردد.

لاستیکی نیز درون شیار روی مدل و شیارهای دیواره‌های فلوم قرار گرفت (شکل ۵).

### مشاهدات آزمایشگاهی

حین انجام آزمایش‌ها برخی از پدیده‌های هیدرولیکی مشاهده گردید که با مشاهده این تصاویر می‌توان هدف اصلی این تحقیق یعنی مکان مناسب نصب پرتاب‌کننده را مشخص نمود. سد لاستیکی بدون پرتاب‌کننده با مشکلاتی مواجه است. یکی از این مشکلات تشکیل امواج زیگزاگی در پایین‌دست سد می‌باشد که باعث ناآرامی در پایین‌دست می‌شود (شکل ۶). مشکل دیگری که در این حالت پیش می‌آید، پدیده جداشدگی جریان در پایین‌دست می‌باشد که باعث ناآرامی جریان در پایین‌دست و لرزش در بدنه سد می‌شود (شکل ۷).

هنگامی که پرتاب‌کننده روی بدنه سد نصب می‌شود، جریان ضمن عبور از روی سد با برخورد به پرتاب‌کننده به سمت جلو پرتاب و جت آب تشکیل می‌گردد. در این حالت هوادهی به زیر تیغه آب از لوله‌های هوادهی انجام می‌گیرد. در دبی‌های زیاد و افزایش هد آب بالادست، پرتاب‌کننده اثری در شکل جریان نداشته و جت آب تشکیل نمی‌گردد. در این حالت پدیده جداشدگی رخ می‌دهد (شکل ۸). زمانی که جت پرتابی شکل گرفته و هوادهی به زیر تیغه آب صورت می‌گیرد، هوای محبوس در محفظه زیر تیغه وارد جریان می‌شود. در صورتی که مسیر لوله‌های هوادهی مسدود گردد و هوادهی به زیر تیغه آب انجام نگیرد، تیغه آب به تدریج به سمت بدنه سد کشیده می‌شود تا این که محفظه هوای زیر تیغه آب به‌طور کامل از بین می‌رود. در این حالت پرتاب‌کننده تأثیر خود را از دست داده و پدیده جداشدگی رخ می‌دهد (شکل ۹).

در حالتی که جت پرتابی تشکیل گردیده و هوادهی انجام می‌گیرد، حباب‌های هوا از محفظه هوای محبوس شده زیر تیغه آب به درون جریان راه پیدا می‌کند (شکل ۱۰). پرتاب‌کننده‌ها در این آزمایش‌ها در سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه روی بدنه سد نصب شدند (شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

طیف گسترده از شکل سد لاستیکی در شرایط ایستاده باعث گردید که برای رسیدن به نتایج قابل اطمینان‌تر مقادیر  $\alpha$  برابر با ۰/۵ و ۱/۴ در نظر گرفته شود. با توجه به معادله انور، توسط نرم‌افزار Qbasic و با استفاده از روش دوزنقه‌ای برنامه حل معادله انور تهیه گردید. در حل این معادله، برنامه ابتدا مقدار  $\alpha$  مورد نظر (نوع شکل مقطع) را از کاربر دریافت می‌کند و پس از ورود اطلاعات لازم و اجرای برنامه مقادیر  $\eta$  و  $\xi$  مشخص می‌گردد.

ابتدا با به‌کارگیری مقادیر متفاوت  $\alpha$  ( $\alpha = 0.5, 1/4$ ) و ارتفاع‌های متفاوت ( $P = 15.20 \text{ cm}$ ) معادله منحنی سراب تعیین و منحنی‌های مربوط به مقاطع مذکور روی کاغذ ترسیم شد. جهت ساخت مدل‌های فیزیکی با استفاده از طرح‌های ترسیمی روی کاغذ، برش به طول ۲۴/۸ میلی‌متر (به اندازه عرض فلوم آزمایشگاه) روی تکه‌های به هم متصل شده چوب صنوبر انجام گردید. سپس توسط دو لایه سیلر و دو لایه رنگ روغنی مدل‌ها ضد آب شدند.

پرتاب‌کننده‌ها با نسبت  $h/P = 0.05$  و از جنس چوب توکا ساخته و توسط دو لایه رنگ روغنی پوشش داده شدند. محدوده دبی‌های مورد آزمایش ۱ تا ۲۰ لیتر بر ثانیه بود که با استفاده از سرریز مثلی اندازه‌گیری می‌شد و محدوده هد آب روی سد ۳ تا ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. مدل‌های فیزیکی به‌ترتیب در فلوم آزمایشگاهی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران نصب گردیدند. روی هر مدل، پرتاب‌کننده با دو شکل مستطیلی و مثلثی و در سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ به‌وسیله چسب چسبانده شدند. سپس آزمایشات در ۲۴ حالت مختلف که در جدول ۱ بیان گردیده است، انجام شد. با توجه به این که عمل هوادهی در زیر جت پرتابی می‌بایست از روی پرتاب‌کننده‌های نصب شده انجام گیرد لذا از لوله‌های لاستیکی جهت هوادهی استفاده گردید (شکل ۴). بدین منظور روی دیواره‌های مدل‌های ساخته شده شیبی به عرض و عمق ۱ سانتی‌متر توسط اهر دیسکی تعبیه شد. هم‌زمان با نصب مدل روی کفی، لوله‌های

جدول ۱. مشخصات فیزیکی مدل‌ها و حالت‌های مختلف آنها

ارتفاع مدل‌ها (cm)	زاویه نصب $\varphi_{def}$	شکل پرتاب‌کننده	ضریب $\alpha$	ردیف	ارتفاع مدل‌ها (cm)	زاویه نصب $\varphi_{def}$	شکل پرتاب‌کننده	ضریب $\alpha$	ردیف
۲۰	۳۰	مثلثی	۰/۵	۱۳	۱۵	۳۰	مثلثی	۰/۵	۱
۲۰	۴۵	مثلثی	۰/۵	۱۴	۱۵	۴۵	مثلثی	۰/۵	۲
۲۰	۶۰	مثلثی	۰/۵	۱۵	۱۵	۶۰	مثلثی	۰/۵	۳
۲۰	۳۰	مستطیلی	۰/۵	۱۶	۱۵	۳۰	مستطیلی	۰/۵	۴
۲۰	۴۵	مستطیلی	۰/۵	۱۷	۱۵	۴۵	مستطیلی	۰/۵	۵
۲۰	۶۰	مستطیلی	۰/۵	۱۸	۱۵	۶۰	مستطیلی	۰/۵	۶
۲۰	۳۰	مثلثی	۱/۴	۱۹	۱۵	۳۰	مثلثی	۱/۴	۷
۲۰	۴۵	مثلثی	۱/۴	۲۰	۱۵	۴۵	مثلثی	۱/۴	۸
۲۰	۶۰	مثلثی	۱/۴	۲۱	۱۵	۶۰	مثلثی	۱/۴	۹
۲۰	۳۰	مستطیلی	۱/۴	۲۲	۱۵	۳۰	مستطیلی	۱/۴	۱۰
۲۰	۴۵	مستطیلی	۱/۴	۲۳	۱۵	۴۵	مستطیلی	۱/۴	۱۱
۲۰	۶۰	مستطیلی	۱/۴	۲۴	۱۵	۶۰	مستطیلی	۱/۴	۱۲



شکل ۵. قرار دادن لوله‌های هوا در شیار روی مدل و لوله‌های هوا فلو



شکل ۴. ایجاد شیار روی دیواره جهت قرارگیری

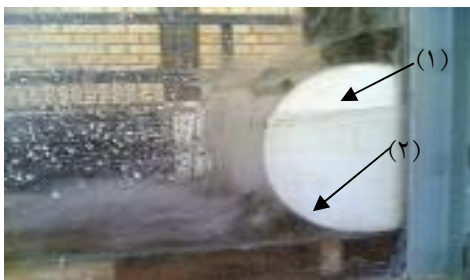


(۱)

شکل ۷. جداشدگی جریان در پایین دست سد در حالت عدم وجود پرتاب‌کننده، (۱): محل ایجاد پدیده جدایی



شکل ۶. تشکیل امواج زیگزاگی در پایین دست سد در حالت عدم وجود پرتاب‌کننده



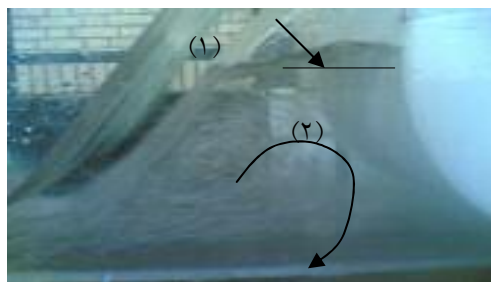
شکل ۹. (۱): عدم هوادهی زیر تیغه آب و از بین رفتن جت پرتابی، (۲): منطقه جداشدگی جریان



شکل ۸. بی تأثیر شدن پرتاب‌کننده در اثر افزایش دبی



شکل ۱۱. جت پرتابی برای پرتاب‌کننده برای زاویه نصب ۶۰ درجه



شکل ۱۰. ورود حباب‌های هوا به درون جریان، (۱): جت پرتابی (۲): چرخش حباب‌های هوا و ورود آنها به درون جریان

موارد زیر می‌باشد:

۱. عدد فرود مرکب ( $Fr^*$ )، ۲. عدد فرود بالادست ( $Fr$ )،
  ۳. نسبت بار هیدرولیکی بالادست به ارتفاع سد ( $h_s/p$ )،
  ۴. سینوس زاویه نصب پرتاب‌کننده ( $\sin \phi_{def}$ )، ۵. کسینوس زاویه نصب پرتاب‌کننده ( $\cos \phi_{def}$ )، ۶. ضریب فشار درونی سد ( $\alpha$ )، مطابق جدول ۲ میزان ضریب هم‌بستگی بین پارامتر  $L_{impact}/P$  با هر یک از پارامترهای فوق مشخص شده است.
- در این جدول تنها پارامترهایی که بیشترین ضریب هم‌بستگی را در هر مقایسه با  $L_{impact}/P$  داشتند، گنجانده شده است. با توجه به جدول ۲ مشخص است به ازای در نظر گرفتن یک پارامتر به‌عنوان متغیر مستقل، نسبت بار هیدرولیکی بالادست به ارتفاع سد ( $h_s/p$ ) با ۶۶/۶۴ درصد بیشترین ضریب هم‌بستگی را در مقایسه با دیگر پارامترهای موجود دارد. در حالت بعد ضریب هم‌بستگی به ازای در نظر گرفتن دو پارامتر به‌عنوان متغیر مستقل محاسبه شده است. مطابق جدول ۲

## نتایج و بحث

پس از انجام آزمایشات هیدرولیکی مورد نظر روی مدل‌های ساخته شده، اطلاعات برداشت شده وارد نرم‌افزار Excel گردید. سپس کلیه محاسبات و به‌دست آوردن پارامترهای مورد نظر در این نرم‌افزار انجام شد. توسط نرم‌افزارهای Excel و SPSS تجزیه و تحلیل آماری روی پارامترها صورت گرفت که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده در چند بخش انجام پذیرفت: ۱. بررسی رابطه پارامتر بدون بعد  $L_{impact}/P$  با سایر پارامترهای بدون بعد هیدرولیکی و هندسی ۲. مقایسه روابط ارائه شده در گذشته و روابط ارائه شده در این تحقیق

بررسی پارامتر  $L_{impact}/P$ :

در این تجزیه و تحلیل حساسیت این پارامتر به‌عنوان یک متغیر وابسته در مقایسه با دیگر پارامترهای بدون بعد مورد نظر برای کلیه داده‌های برداشتی بررسی گردید. این پارامترها شامل



شکل ۱۳. جت پرتابی برای پرتاب‌کننده مستطیلی در زاویه نصب ۴۵ درجه



شکل ۱۴. جت پرتابی برای پرتاب‌کننده مستطیلی در زاویه نصب ۳۰ درجه

جدول ۲. میزان هم‌بستگی  $L_{impact}/P$  با پارامترهای دیگر

تعداد پارامتر	Fr*	$h_s/P$	Fr <sub>o</sub>	$\sin \Phi_{def}$	$\cos \Phi_{def}$	$\alpha$	R <sup>2</sup>
۱	-----	****	-----	-----	-----	-----	۶۶/۶۴
۲	-----	****	-----	-----	-----	****	۶۸/۹۳
۳	-----	****	-----	****	****	-----	۷۶/۸۹
۴	-----	****	-----	****	****	****	۷۹/۱۷
۵	-----	****	****	****	****	****	۷۸/۹۹
۶	****	****	****	****	****	****	۷۸/۷۸

با در نظر گرفتن پنج و شش پارامتر نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد ضرایب هم‌بستگی نسبت به حالت چهار پارامتری افزایش چشمگیری نداشته است. لذا ترکیب‌های پنج و شش پارامتری نمی‌توانند روابط خوبی جهت تخمین پارامتر  $L_{impact}/P$  ارائه کنند. در نهایت با بررسی جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که معادله خطی سه پارامتری با هم‌بستگی قوی می‌تواند جهت تخمین طول پرتاب استفاده گردد و افزایش یک یا دو پارامتر دیگر تأثیر محسوسی در افزایش ضریب هم‌بستگی نخواهد داشت.

معادلات خطی به‌دست آمده که دارای ضرایب هم‌بستگی بالایی هستند در جدول ۳ نشان داده شده است.

مقایسه روابط ارائه شده در گذشته و در این تحقیق

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، چنسون در تحقیقات خود روابطی

مشاهده می‌گردد که ضریب هم‌بستگی نسبت به حالت قبل افزایش اندکی داشته است. ترکیب پارامترهای  $\alpha$  و  $h_s/P$  با ضریب هم‌بستگی ۶۸/۹۳ درصد بیشترین ضریب هم‌بستگی را نسبت به ترکیب دوبه‌دوی پارامترهای دیگر دارد. در حالت سه پارامتری ترکیب سه پارامتری ( $\sin \phi_{def}$  و  $\cos \phi_{def}$  و  $h_s/P$ ) با ضریب هم‌بستگی ۷۶/۸۹ درصد بالاترین هم‌بستگی را نسبت به ترکیب پارامترهای دیگر دارد و می‌تواند رابطه خوبی جهت پیش‌بینی مقدار  $L_{impact}/P$  را ارائه کند. ردیف چهارم جدول ۲ ضرایب هم‌بستگی با در نظر گرفتن چهار پارامتر را نشان می‌دهد. در این حالت افزایش ضریب هم‌بستگی نسبت به حالت سه پارامتری ناچیز می‌باشد. ولی ترکیب چهار پارامتری  $h_s/P$  و  $\sin \phi_{def}$  و  $\cos \phi_{def}$  و  $\alpha$  با ضریب هم‌بستگی ۷۹/۱۷ درصد می‌تواند پارامتر  $L_{impact}/P$  را به خوبی تخمین بزند. در ردیف‌های پنجم و ششم جدول ۲ ضرایب هم‌بستگی



جدول ۳. معادلات خطی به دست آمده جهت تخمین نسبت طول پرتاب به ارتفاع سد

خطا	R2	فرمول مربوطه	شماره معادله	تعداد پارامترها
۰/۰۷	۷۶/۸۹	$\frac{L_{\text{impact}}}{P} = -1/63 + 0/92 \left( \frac{h_s}{P} \right) + 1/83 \sin \phi_{\text{def}} + 1/91 \cos \phi_{\text{def}}$	(۶)	۳
۰/۰۷	۷۹/۱۷	$\frac{L_{\text{impact}}}{P} = -1/57 + 0/91 \left( \frac{h_s}{P} \right) + 1/82 \sin \phi_{\text{def}} + 1/9 \cos \phi_{\text{def}} - 0/05 \alpha$	(۷)	۴

می‌گردد، نتایج به دست آمده از این روابط به هم نزدیک بوده و هم‌چنین مقادیر رابطه (۶) نسبت به مقادیر رابطه (۹) بیشتر می‌باشد.

### بررسی پروفیل پرتاب آب

هنگامی که آب از روی سد لاستیکی جریان پیدا می‌کند، در پایین دست سد از بدنه سد جدا می‌گردد. این جداشدگی باعث ایجاد لرزش در بدنه سد و تلاطم جریان در پایین دست خواهد شد. هدف از قرار دادن پرتاب‌کننده روی بدنه سد لاستیکی، جدا نمودن تیغه آب از بدنه سد و جلوگیری از لرزش بدنه و تلاطم جریان می‌باشد. هر چه که طول پرتاب آب از روی سد بیشتر باشد، فضای هوای محبوس شده زیر جت آب نیز بیشتر خواهد بود.

در طول آزمایش‌های انجام شده، در حالات مختلف هیدرولیکی و هندسی پروفیل جت پرتابی به وسیله عمق‌سنج برداشت گردید. پروفیل‌های برداشت شده برای زاویه‌های نصب پرتاب‌کننده ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه روی مدل‌های مختلف ترسیم شد. با توجه به پروفیل‌های رسم شده و مشاهدات صورت گرفته در آزمایش‌ها، مشاهده شد که در زاویه نصب ۳۰ درجه در دبی‌های پایین برگشت آب به سمت بدنه سد وجود دارد. برگشت آب به سمت بدنه سد مسأله‌ای است که مورد تأیید نمی‌باشد. در زاویه‌های نصب ۴۵ و ۶۰ درجه برگشت آب در هیچ حالتی مشاهده نگردید. پروفیل‌های برداشت شده در اشکال (۱۵-۱) تا (۱۵-۴) ارائه شده است. با توجه به شکل‌های مذکور مشاهده گردید که طول پرتاب در زاویه نصب ۴۵ درجه از طول پرتاب در دو زاویه نصب دیگر بیشتر است. از آنجایی

جهت تخمین طول پرتاب جت آب ارائه نموده است. این رابطه به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{L_{\text{impact}}}{R} \sin \phi_{\text{def}} + F^r \cos \phi_{\text{def}} * \left( \sqrt{(\sin \phi_{\text{def}})^2 + \frac{\gamma}{F^r}} \right) * \quad [8]$$

در رابطه فوق  $F = V / \sqrt{g * R}$  عدد فرود تیغه آب،  $R$  شعاع انحناء پایین دست،  $h$  ارتفاع پرتاب‌کننده و  $D$  ضخامت تیغه پرتاب‌کننده می‌باشد.  $F$  از معادله برنولی و پیوستگی به دست می‌آید. چنسون رابطه ۸ را برای پرتاب‌کننده‌های کوچک که در دامنه  $h/R \ll 1$  قرار می‌گیرند، به صورت زیر ارائه نمود.

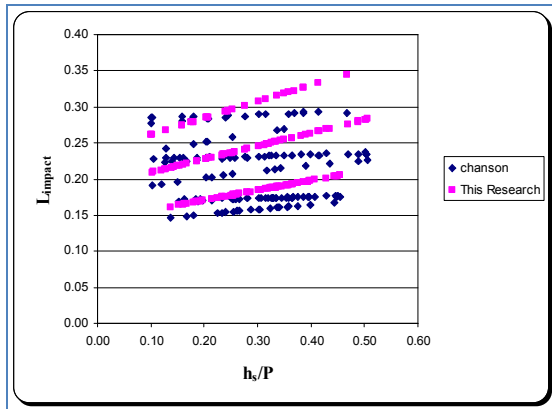
$$\frac{L_{\text{impact}}}{R} = \sin \phi_{\text{def}} + F^r \cos \phi_{\text{def}} * \left( \sqrt{(\sin \phi_{\text{def}})^2 + \frac{\gamma}{F^r}} * \left( \frac{D}{R} - 1 + \cos \phi_{\text{def}} \right) - \sin \phi_{\text{def}} \right) \quad [9]$$

و عدد فرود تیغه آب برابر خواهد بود با:

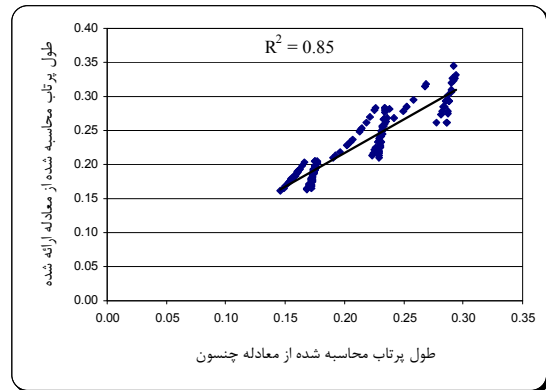
$$F = \sqrt{\frac{\gamma}{3} * \left( \frac{H_1}{R} - \frac{D}{R} \right) + \gamma * (1 - \cos \phi_{\text{def}})} \quad [10]$$

در این تحقیق نسبت  $h/R = 0/05$  جهت ساخت پرتاب‌کننده‌ها استفاده شده است. از این رو برای مقایسه رابطه ارائه شده بایستی از رابطه ۹ و ۱۰ استفاده نمود.

با توجه به شکل ۱۴- الف طول پرتاب‌های محاسبه شده از رابطه ۹ در محور افقی و طول پرتاب‌های محاسبه شده از رابطه (۶) در محور عمودی قرار گرفته است. خط برازش داده شده از داده‌ها دارای هم‌بستگی ۸۵ درصد بوده که نشان‌دهنده نزدیکی رابطه ارائه شده با رابطه چنسون می‌باشد. در شکل ۱۴- ب طول پرتاب به دست آمده از رابطه (۹) و رابطه (۶) در مقابل نسبت  $h_s/P$  ثابت رسم شده است. همان‌طوری که مشاهده

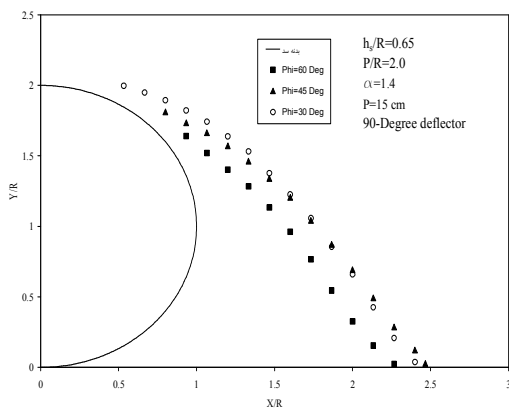


ب

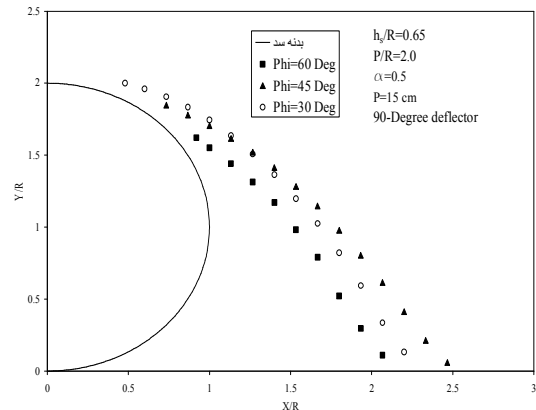


الف

شکل ۱۴. الف- مقایسه‌ای طول پرتاب محاسبه شده از معادله (۹) و معادله (۶).  
ب- مقایسه مقادیر طول پرتاب به دست آمده از معادله (۹) و معادله (۶) برای  $h_s/P$  ثابت

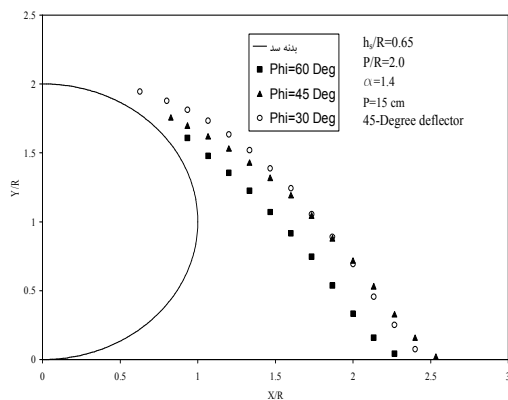


ب

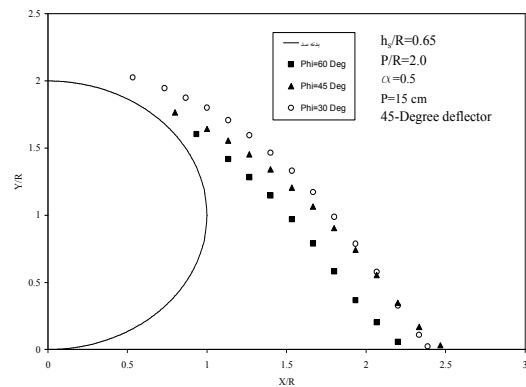


الف

شکل ۱۵-۱. پروفیل پرتاب آب از روی پرتاب‌کننده مستطیلی در ارتفاع سد ۱۵ سانتی با الف ( $\alpha=0/5$ )  
و ب ( $\alpha=1/4$ ) در پرتاب‌کننده ۹۰ درجه

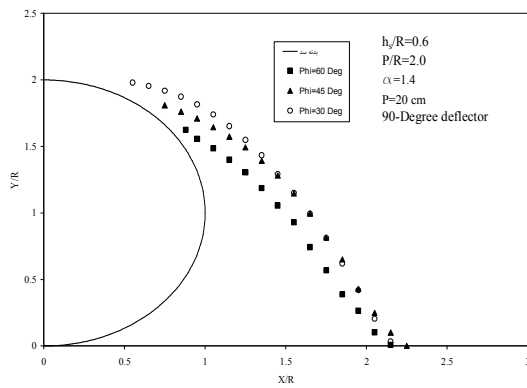


ب

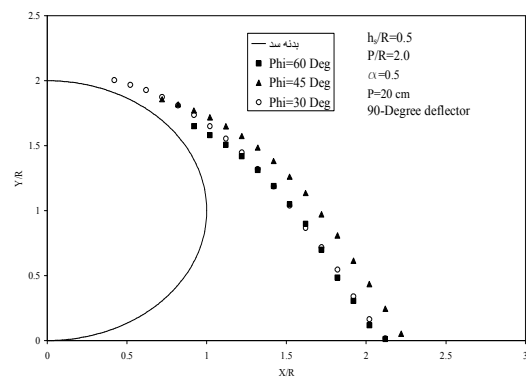


الف

شکل ۱۵-۲. پروفیل پرتاب آب از روی پرتاب‌کننده مثلثی در ارتفاع سد ۱۵ سانتی با الف ( $\alpha=0/5$ )  
و ب ( $\alpha=1/4$ ) در پرتاب‌کننده ۴۵ درجه



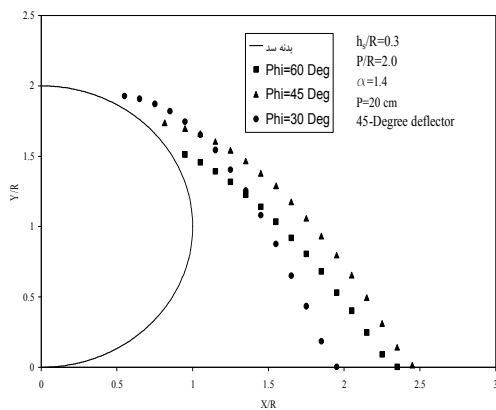
ب



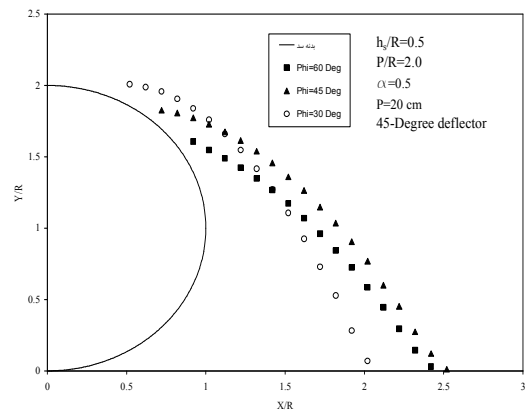
الف

شکل ۱۵-۳. پروفیل پرتاب آب از روی پرتاب کننده مستطیلی در ارتفاع سد ۲۰ سانتی متر با الف ( $\alpha=0/5$ )

و ب ( $\alpha=1/4$ ) در پرتاب کننده ۹۰ درجه



ب



الف

شکل ۱۵-۴. پروفیل پرتاب آب از روی پرتاب کننده مثلثی در ارتفاع سد ۲۰ سانتی متر الف ( $\alpha=0/5$ )

و ب ( $\alpha=1/4$ ) در پرتاب کننده ۴۵ درجه

به همین دلیل استفاده از پرتاب کننده های مثلثی به دلیل شکل خاص خود و هدایت جت پرتابی به صورت آرام به پایین دست سد، نسبت به استفاده از پرتاب کننده های مستطیلی ارجح است.

### نتیجه گیری

پارامتر اصلی جهت تعیین بهترین مکان نصب پرتاب کننده طول پرتاب آب ( $L_{impact}$ ) در نظر گرفته شد. بررسی ارتباط این پارامتر با پارامترهای دیگر نشان داد که پارامترهای  $\sin\phi_{def}$ ،  $\cos\phi_{def}$  و  $h_s/P$  مهم ترین پارامترها در تخمین مقدار طول

که طول پرتاب به عنوان پارامتر تعیین کننده زاویه مناسب انتخاب گردید، می توان زاویه نصب ۴۵ درجه را نسبت به زاویه نصب ۶۰ درجه ترجیح داد. هم چنین با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی و پروفیل های رسم شده، پرتاب کننده های مثلثی نیز نسبت به پرتاب کننده های مستطیلی دارای طول پرتاب بیشتری می باشند. از طرفی پرتاب کننده های مستطیلی به دلیل شکل خود به صورت عمودی در مسیر جریان قرار می گیرند. این امر باعث به وجود آمدن ضربه در هنگام برخورد جت آب به پرتاب کننده خواهد شد که نوعی ناآرامی در جت پرتابی به وقوع می پیوندد.

باشد. برای دو زاویه نصب دیگر ( $\phi_{def} = 45^\circ$  و  $\phi_{def} = 60^\circ$ ) در کلیه دبی‌های مورد آزمایش برگشت آب به سمت بدنه سد دیده نشد، ولی با توجه به پروفیل‌های برداشت شده و مشاهدات آزمایشگاهی، در زاویه ۴۵ درجه طول پرتاب آب در تمامی حالات بیشتر از زاویه ۶۰ درجه می‌باشد. به همین دلیل می‌توان زاویه نصب ۴۵ درجه را بر دو زاویه نصب دیگر ارجح دانست. مشاهدات آزمایشگاهی و بررسی پروفیل‌های برداشت شده برای حالت‌های مختلف نیز نشان می‌دهد که طول پرتاب آب در پرتاب‌کننده‌های مثلثی ( $\theta = 45^\circ$ ) نسبت به پرتاب‌کننده‌های مستطیلی ( $\theta = 90^\circ$ ) بیشتر می‌باشد به همین دلیل پرتاب‌کننده‌های مثلثی به پرتاب‌کننده‌های مستطیلی ترجیح داده می‌شود.

پرتاب می‌باشد. این امر به صورت معادلات ریاضی در جدول ۳ نشان داده شده است. در تمامی روابط خطی ارائه شده با افزایش  $Fr$ ،  $Fr^*$  و  $h_s/p$  طول پرتاب نیز افزایش می‌یابد. در مقایسه روابط ارائه شده در گذشته و معادلات ارائه شده در این تحقیق، دیده شد که نتایج این معادلات از هم‌بستگی بالایی برخوردار هستند. هم‌چنین این معادلات به دلیل سادگی می‌توانند جایگزین مناسبی برای معادلات ارائه شده در گذشته باشند. با توجه به بررسی اشکال و نمودارهای رسم شده، مشاهدات آزمایشگاهی و پروفیل‌های پرتاب آب، مشخص گردید که در زاویه نصب پرتاب‌کننده ۳۰ درجه ( $\phi_{def} = 30^\circ$ ) به علت این که در دبی‌های پایین برگشت آب به سمت بدنه سد رخ می‌دهد این زاویه نمی‌تواند مکان مناسبی جهت نصب پرتاب‌کننده

### منابع مورد استفاده

۱. اکبریان، ع. ۱۳۷۶. طراحی سازه‌های هیدرولیکی کانال‌ها. چاپ دوم، انتشارات عمیدی، تبریز.
۲. بیرامی، م. ک. ۱۳۷۸. سازه‌های انتقال آب. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. شمسایی، الف. ۱۳۷۸. سدهای لاستیکی و مقایسه آنها با سایر گزینه‌ها. مجموعه مقالات پژوهشی دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
۴. نجمایی، م. ۱۳۸۰. سدهای لاستیکی. انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ، ایران.
5. Alhamati, A. *et al.* 2005. Determination of coefficient of discharge for air-inflated dam using physical model. *Suranaree J. Sci. Technol.* 12(1):19-27.
6. Alhamati, A. *et al.* 2005. Behavior of inflatable dams under hydrostatic condition. *Suranaree J. Sci. Technol.* 12(1):1-18.
7. Anwar, H.O. 1967. Inflatable dam. *J. Hydraul. Div. ASCE* 93(3): 99-119.
8. Chanson, H. 1998. Hydraulic of Rubber dam Overflow: A Simple Design Approach. Dept. of Civil Engineering, University of Queensland, Australia.
9. Chanson, H. 1989. A Review of overflow of Inflatable Flexible Membrane Dam. Dept. of Civil Engineering University of Queensland, Australia.
10. Chanson, H. 1996. Some Hydraulic Aspects during Overflow above Inflatable Flexible Membrane Dam. Report CH47/96 Dept. of Civil Engineering University of Queensland, Australia, May, 60 Pages.
11. Imbertson, N. 1960. Collapsible Dam. US Patent 3,173,269. The United State Patent Office.

## Determining the Best Place of Installation for Deflector in Rubber Dams

S.B. Sarvarinezhad<sup>1\*</sup>, M. Bina<sup>2</sup>, A. Moradi<sup>2</sup> and H. Golayj<sup>2</sup>

(Received : Apr. 27-2011 ; Accepted : Aug. 6-2012)

### Abstract

Rubber dam body is a lying cylinder that lies in the width of channels, rivers and weir crests and is filled with water or air or a combination of both. Shape of this structure is one of the obvious features that does not change in the path of rivers or dam spillways. Rubber dams may be with or without deflectors. Deflector is a triangular or rectangular fin that is installed down the stream of the dam. The purpose of installing a deflector is separating the water from the rubber dam body and avoiding the reattachment between the water and dam body. In this study, four Physical models of rubber dams and deflectors were made at height and ratio of  $h/p=0.05$  in 2 triangular and rectangular shapes and 25 cm length. Experiments were carried out in three different angles (30-45-60). After all the analyses and experiments were done according to the water napes profile and their lengths, it was observed that the 45 degree is more suitable than 30 and 60 degrees. In addition, experimental data and presented equation in this study were compared with the past equations, the results of which were close, showing the validity of the experiments and equations.

**Keywords:** Rubber Dam, Deflector, Length of Impact

---

1. Dept. of Water Eng., Khorasgan Azad Univ., Esfahan, Iran.

2. Dept. of Water Struc., College of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: sbsnsarvari@yahoo.com