

## اثر ته‌نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر شرایط جریان

مهدی دستورانی<sup>۱</sup>، محسن نصرآبادی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

در تحقیق حاضر، اثر ته‌نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر مشخصات جریان، شامل ارتفاع و سرعت جریان در بالادست، نیمرخ سطح آب، ضریب دبی جریان، محل تشکیل عمق بحرانی، سرعت در پنجه سرریز و جهش هیدرولیکی در پائین‌دست بررسی شده است. بدین منظور چهار سرریز اوجی متفاوت با شیب وجه بالادست قائم، یک افقی: سه عمودی، دو افقی: سه عمودی و سه افقی: سه عمودی و با ارتفاع ثابت ۲۵ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفت. برای شبیه‌سازی ته‌نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی، از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط ۰/۴ میلی‌متر استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع رسوبات پشت سرریز، عمق آب و سرعت متوسط جریان در بالادست،  $H_e$  افزایش می‌یابد. تغییر  $H_e$  باعث کاهش ضریب دبی سرریز می‌شود، به گونه‌ای که مقدار این پارامتر از ۲/۲۵ در حالت اولیه (شرایط بدون رسوب) به ۱/۶۹ در حالت پر بودن مخزن کاهش یافته است. همچنین با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز، مقادیر سرعت و عدد فروود در پای پنجه سرریز افزایش می‌یابند. مطالب فوق نشان می‌دهد که طراحی سرریز بندهای انحرافی صرفاً بر اساس شرایط اولیه مخزن صحیح نیست و در طول عمر مفید بند انحرافی باعث بروز مشکلات عمده‌ای در پایداری سرریز می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سرریز اوجی، ته‌نشینی رسوبات، ضریب دبی جریان و نیمرخ سطح آب

**ارجاع:** دستورانی م. و نصرآبادی م. ۱۳۹۰. اثر ته‌نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر شرایط جریان. مجله پژوهش آب ایران. ۶(۱۰): ۴۷-۵۶

۱- عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و همکار تحقیق گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [nasrabadim@ut.ac.ir](mailto:nasrabadim@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۲۱

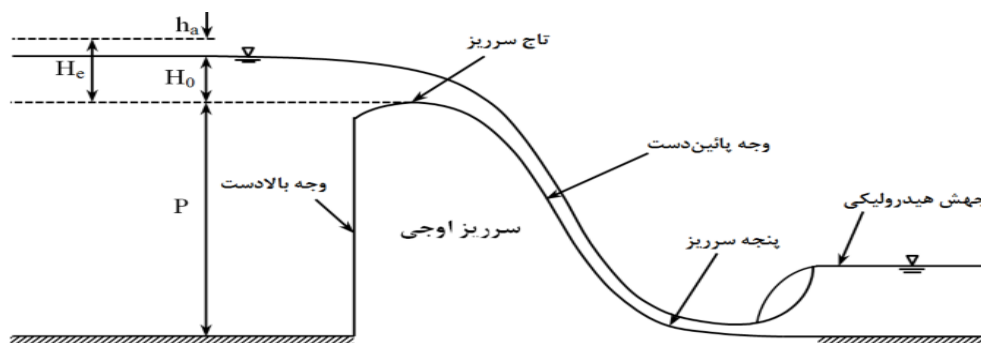
## مقدمه

برای عبور آب‌های اضافی و سیلاب‌ها از سراب به پایاب سدها از سازه‌ای به نام سرریز استفاده می‌شود. معمول‌ترین و در عین حال ارزان‌ترین سرریزی که توانایی عبور مقدار زیادی آب از روی خود را دارد، سرریز اوجی است. این سرریزها اغلب در سدهای انحرافی به دلیل راندمان هیدرولیکی زیاد استفاده می‌شوند (شوشتری، ۱۳۸۷). زمانی که این گونه سرریز به خوبی طراحی و احداث شود، می‌تواند جریان را به طور مؤثر عبور دهد و نیز امکان اندازه‌گیری دقیق جریان را فراهم می‌کند. به همین دلیل مهندسين عمران و هیدرولیک از آن به عنوان یک سازه اندازه‌گیری نیز استفاده می‌کنند (USACE, USBR, 1973 و USACE, 1988). در ارتفاع‌های کمتر از ارتفاع طراحی سرریز، دبی عبوری از روی سرریز به دلیل مقاومت تاج در مقابل جریان کاهش می‌یابد و در ارتفاع‌های بیشتر از ارتفاع طراحی، دبی عبوری افزایش یافته و در این حالت بایستی توجه خاصی به مسئله کاویتاسیون معطوف شود، زیرا ممکن است موجب تولید فشار کمتر از فشار بخار شود (ابریشمی، ۱۳۸۵). همچنین در چنین مواقعی جریان فوق‌بحرانی است و انرژی جنبشی زیادی دارد. برای اینکه این انرژی جنبشی مخرب از آب گرفته شود، حوضچه‌های آرامش در انتهای سرریز اوجی به کار گرفته می‌شوند. این نوع سرریزها شامل چهار قسمت: وجه بالادست، تاج سرریز، وجه پائین‌دست و پنجه سرریز است.

نیمرخ تاج همانند مسیر سطح زیرین سفره آب از روی یک سرریز لبه‌تیز با ارتفاع تاجی برابر ارتفاع سرریز روگذر در حالت جریان آزاد است (شوشتری، ۱۳۸۷). در شکل ۱ شمای کلی یک سرریز اوجی و قسمت‌های مختلف آن نشان داده شده است.

با ورود جریان رودخانه به مخازن و یا پشت سرریزها، عمق جریان، افزایش و سرعت جریان کاهش می‌یابد. این تغییرات باعث ایجاد افت در ظرفیت انتقال جریان و ته‌نشینی رسوبات حمل شده توسط جریان رودخانه می‌شود. رسوبات حمل شده به داخل مخزن ممکن است در سرتاسر طول آن ته‌نشین شود و مشکلاتی از جمله کاهش ظرفیت مخزن، افزایش عمق جریان در بالادست و در نتیجه سرریز آب به زمین‌های مجاور و باتلاقی شدن آنها، افزایش سرعت جریان در پائین‌دست و لزوم حفاظت بستر در پائین‌دست و غیره را ایجاد کنند.

اغلب طراحان و مهندسين، سرریز سدها را بر اساس شرایط بدون رسوب طراحی می‌کنند و اثر پدیده رسوب‌گذاری در پشت سرریز را در نظر نمی‌گیرند. حال آنکه بیشتر رودخانه‌ها مقادیر زیادی بار رسوبی دارند و سدها و مخازنی که در مسیر این رودخانه‌ها احداث می‌شود، پس از مدتی با این رسوبات پر می‌شود و پارامترهای طراحی از مقادیر استاندارد منحرف می‌شوند و عملکرد آنها نسبت به زمان احداث تغییر خواهد کرد. به‌طورکلی اثرات زیان‌بار این پدیده شامل کاهش پایداری سد یا سرریز، کاهش میزان جریان عبوری، آسیب‌دیدگی تأسیسات خروجی مانند دریچه‌ها است (دستورانی، ۱۳۸۶).



شکل ۱- نمایی از یک سرریز اوجی و قسمت‌های مختلف آن (شوشتری، ۱۳۸۷)

$$q = g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{3}{2}} \varphi_2 \left( \frac{\rho g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{3}{2}}}{\mu}, \frac{\rho g H^2}{\sigma}, \alpha, \frac{H}{z} \right) \quad (2)$$

از طرفی، دبی جریان روی سرریز به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود:

$$q = C \sqrt{2g} H_e^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

که C ضریب جریان است. در نتیجه می‌توان معادله ۴ را برای ضریب دبی جریان ارائه داد:

$$C = \varphi_3 \left( \frac{\rho g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{3}{2}}}{\mu}, \frac{\rho g H^2}{\sigma}, \alpha, \frac{H}{z} \right) \quad (4)$$

اما دبی جریان بر روی سرریزهای اوجی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$Q = CLH_e^{1.5} \quad (5)$$

$$H_e = H_0 + \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

$$L = L_t - 2(N.K_p + K_a)H_e - N.t \quad (7)$$

که در این معادلات، Q دبی جریان عبوری از روی سرریز (متر مکعب بر ثانیه)، L طول مؤثر تاج سرریز (متر)، H<sub>e</sub> بار مؤثر واقعی روی سرریز (متر)، H<sub>0</sub> ارتفاع جریان در بالادست سرریز (متر)، V سرعت جریان در نزدیکی سرریز (متر بر ثانیه)، L<sub>t</sub> طول کل سرریز (متر)، N تعداد پایه های پل، K<sub>p</sub> ضریب فشردگی در کنار پایه پل، K<sub>a</sub> ضریب فشردگی در دماغه ساحل و t ضخامت پایه های پل (متر) است. ضریب دبی جریان به ارتفاع سرریز p، بار واقعی جریان روی سرریز، شیب وجه بالادست سرریز، رقوم کف و ارتفاع آب در پایاب و اثر پایه‌های پل که ممکن است در روی سرریز احداث شود بستگی دارد (که در این تحقیق استفاده نشده است). با توجه به اینکه با تهنشینی رسوبات در پشت سرریز، از ارتفاع مفید سرریز کاسته می‌شود، می‌توان گفت رسوب‌گذاری در پشت سرریز نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در مقدار ضریب دبی جریان است و باید در طراحی‌ها و محاسبات در نظر گرفته شود.

مطالعات زیادی در زمینه طراحی شکل سرریزهای اوجی انجام شده و روش‌های متفاوتی ارائه شده است که بستگی به ارتفاع نسبی و شیب وجه بالادست سرریز دارد (مینورد، ۱۹۸۵). بیشتر اطلاعات در خصوص شکل سرریزهای اوجی برگرفته از مطالعات روی مدل‌های فیزیکی است و این مطالعات را USBR و USACE انجام داده‌اند. برای اطلاع در مورد معیارهای طراحی سرریزهای اوجی می‌توان به منابعی مانند USACE (۱۹۹۰)، مینورد (۱۹۸۵)، مورفی (۱۹۷۷) و چاو (۱۹۵۹) رجوع کرد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه رسوب‌گذاری در مخازن سدها انجام شده است. بیشتر این مطالعات مربوط به چگونگی تخمین توزیع رسوبات تهنشینی شده در مخازن می‌باشد و مطالعه‌ی خاصی به اثر تهنشینی رسوبات بر مشخصات جریان در بالادست و پائین‌دست مخازن و یا سرریزها و اینکه این رسوبات تهنشینی شده تا چه اندازه می‌توانند روی این مشخصات تأثیرگذار باشد انجام نشده است. با توجه این که اکثر مهندسين در طراحی این گونه سرریزها اثر تهنشینی رسوبات را در بالادست سرریز در نظر نمی‌گیرند، هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی تأثیر ارتفاع تهنشینی رسوبات بر مشخصات جریان در بالادست و پائین‌دست سرریزهای اوجی و همچنین میزان این تغییرات است.

## مواد و روش‌ها

### تئوری جریان

به طور کلی پارامترهای مؤثر بر جریان روی سرریزهای اوجی به صورت معادله ۱ است (دستورانی، ۱۳۸۶):

$$\varphi_1(q, g, H, \rho, \mu, \sigma, \alpha, z) = 0 \quad (1)$$

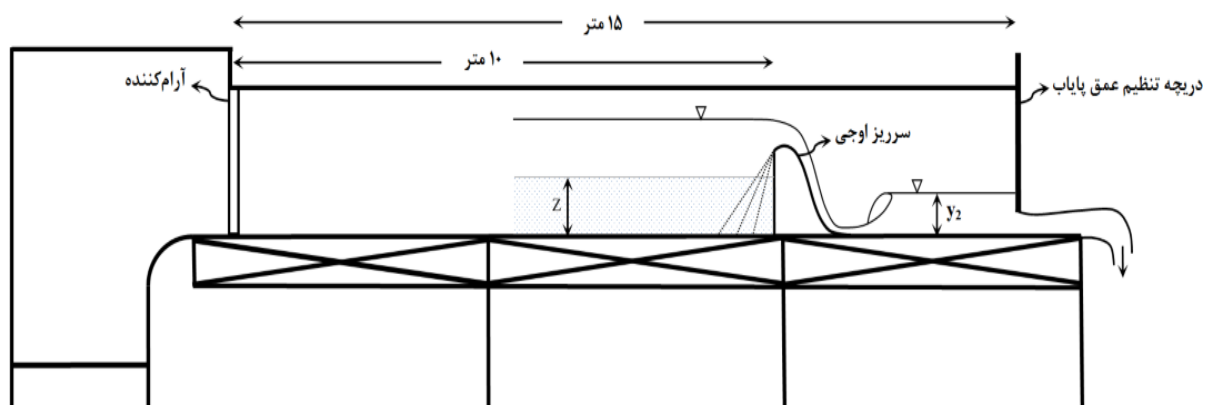
که در این معادله q دبی در واحد عرض، g شتاب ثقل، H بار جریان در بالادست، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت دینامیکی سیال، σ کشش سطحی سیال، α شیب وجه بالادست سرریز، z ارتفاع رسوبات در بالادست سرریز می‌باشند. با استفاده از اصول تحلیل ابعادی (π باکینگهام) معادله ۲ برای دبی در واحد عرض جریان روی سرریز بدست می‌آید:

### تجهیزات آزمایشگاهی

برای بررسی آزمایشگاهی اثر ته‌شینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر مشخصات جریان، از یک مدل آزمایشگاهی که در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شده بود، استفاده شد. کانال مورد استفاده در این تحقیق، یک کانال فلزی با دیواره‌های شیشه‌ای به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۷ متر و ارتفاع ۰/۶ متر بود. برای تنظیم عمق پایاب و همچنین تثبیت موقعیت جهش تشکیل شده در پایین‌دست، از یک دریچه قابل کنترل در پایین‌دست کانال استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان در سیستم، از سرریز لبه‌تیز مثلثی ۹۰ درجه که قبلاً واسنجی شده بود استفاده شد. دبی جریان با استفاده از یک دبی سنج الکترونیکی که بر روی لوله تأمین آب نصب شده بود، اندازه‌گیری می‌شد. برای اندازه‌گیری عمق آب در کانال از یک عمق‌سنج که بر روی شاسی متحرک نصب شده بود استفاده شد. نمایی از کانال آزمایشگاهی مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

پس از طراحی سرریز اوجی مورد نظر با استفاده از معیارهای موجود (USBR)، اقدام به ساخت یک سرریز در فاصله ۹ متری از ابتدای کانال مذکور با استفاده از ورقه‌های فلزی از جنس گالوانیزه شد. ارتفاع سرریز ۲۵ سانتی‌متر و طول تاج آن برابر با عرض کانال (۷۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد.

روش انجام آزمایش‌ها نیز بدین صورت بود که پس از قرار دادن رسوبات در پشت سرریز به اندازه ارتفاع مورد نظر و تا فاصله ۲ تا ۳ متری در بالادست، جریان با دبی مورد نظر بر روی سرریز برقرار می‌شد. اندازه‌گیری‌ها در این تحقیق شامل اندازه‌گیری نیمرخ سطح آب روی سرریز، ارتفاع جریان نسبت به تاج، عمق جریان در پنجه سرریز و نسبت عمق ثانویه جهش هیدرولیکی در پایین‌دست است. در مجموع ۱۰۸ سری آزمایش انجام شد. اندازه‌گیری ارتفاع آب در بالادست و پایین‌دست سرریز اوجی برای هر ارتفاع رسوب و در سه حالت دبی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر برثانیه و چهار حالت شیب وجه بالادست، شیب قائم، یک افقی: سه عمودی، دو افقی: سه عمودی و سه افقی: سه عمودی اجرا شد (شکل ۲).



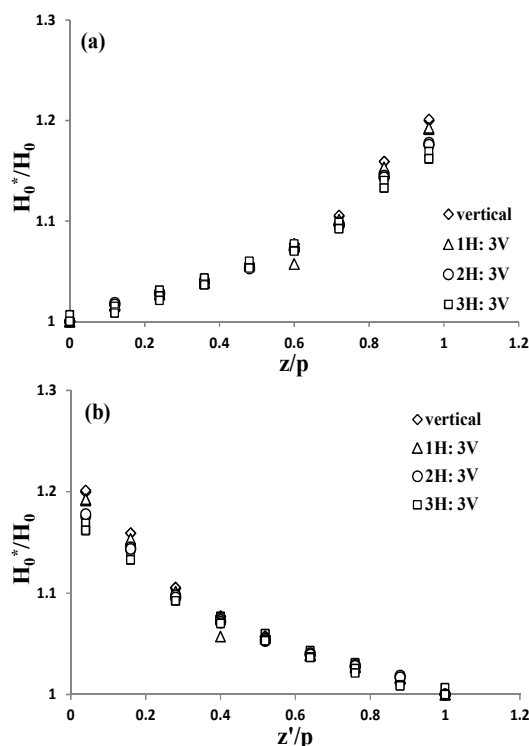
شکل ۲- نمایی از کانال مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها

معیارهای متفاوتی برای مکان اندازه‌گیری این پارامتر هست، که در این تحقیق، اندازه‌گیری ارتفاع آب در بالادست سرریز، با استفاده از معیار باس (۱۹۷۸) (یعنی ۳ تا ۴ برابر ارتفاع حداکثر در بالادست سرریز) صورت گرفت

محل اندازه‌گیری ارتفاع جریان نسبت به تاج در بالادست برای شرایط جریان آزاد باید به اندازه‌ای از سازه دور باشد که انحنای خطوط جریان بر روی اندازه‌گیری مؤثر نباشد. از طرفی فاصله محل اندازه‌گیری تا سازه باید به اندازه‌ای باشد که افت جریان در فاصله بین محل اندازه‌گیری و سازه قابل نظر کردن باشد.

یکی دیگر از مشخصات جریان در بالادست سرریز، بار جریان نسبت به تاج سرریز در بالادست  $H_e$  است. دبی جریان در همه سرریزها تابعی از این پارامتر است. در واقع دقت محاسبه دبی در این سازه‌ها وابسته به دقت اندازه‌گیری این پارامتر است و این مطلب اهمیت تعیین دقیق موقعیت ایستگاه اندازه‌گیری جریان را نشان می‌دهد.

برای بررسی تأثیر ارتفاع تهنشینی رسوبات بر هد جریان بالادست سرریز، تغییرات نسبت  $H_0^*/H_0$  در مقابل نسبت  $z/p$  در شکل ۴a به ازای سه دبی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه رسم شده است. در این نسبت‌ها،  $H_0$  ارتفاع جریان نسبت به تاج سرریز در شرایط بدون رسوب و  $H_0^*$  ارتفاع جریان نسبت به تاج سرریز با افزایش ارتفاع رسوب‌گذاری است.



شکل ۴- تغییرات ارتفاع جریان در بالادست سرریز در مقابل نسبت  $z/p$

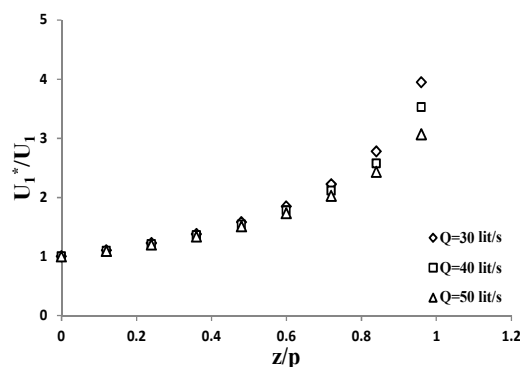
همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع تهنشینی رسوبات در پشت سرریز  $z$ ، ارتفاع جریان افزایش می‌یابد، به طوری که به ازای حداکثر میزان

## نتایج و بحث

پس از اندازه‌گیری مشخصات جریان شامل ارتفاع و سرعت جریان در بالادست سرریز، پروفیل سطح آب روی سرریز، ضریب جریان، محل تشکیل عمق بحرانی، سرعت در پنجه و جهش هیدرولیکی در پایین دست سرریز اوجی، در نهایت مشاهدات زیر حاصل شد:

### ارتفاع و سرعت جریان در بالادست

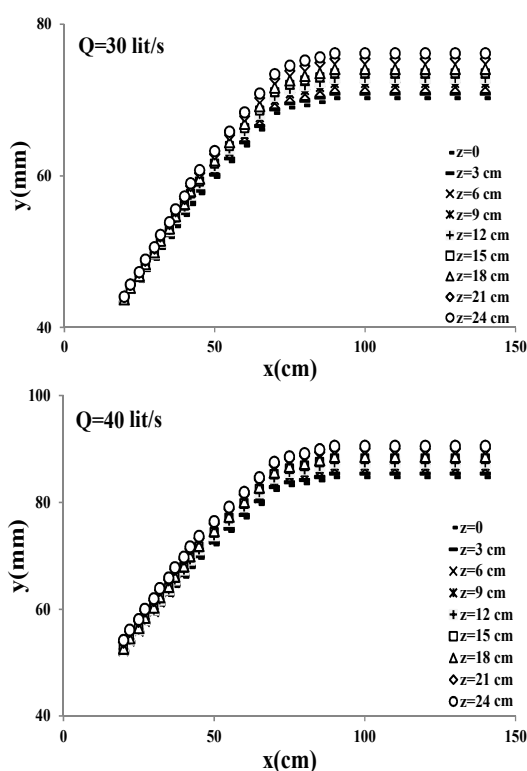
شکل ۳ تغییرات سرعت متوسط جریان در بالادست سرریز را به ازای سه دبی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه و ارتفاع تهنشینی رسوبات در محدوده ۰ تا ۲۴ سانتی‌متر نشان می‌دهد. در این نمودار  $U_1$  و  $U_1^*$  به ترتیب سرعت جریان در بالادست در شرایط بدون و در حضور رسوبات در بالادست است.



شکل ۳- تغییرات سرعت جریان در بالادست سرریز در مقابل نسبت  $z/p$

همان طور که مشاهده می‌شود در تمامی دبی‌ها با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز  $z$ ، سرعت متوسط جریان  $U_1$  در بالادست افزایش می‌یابد. به ازای حداکثر میزان تهنشینی رسوبات در پشت سرریز، سرعت جریان تقریباً سه برابر نسبت به شرایط بدون رسوب افزایش خواهد یافت. در توجیه این تغییرات می‌توان گفت که با توجه به معادله پیوستگی جریان، با افزایش ارتفاع تهنشینی رسوبات سطح مقطع جریان کاهش یافته و در نتیجه سرعت متوسط جریان در بالادست افزایش می‌یابد.

می‌شود. با افزایش ارتفاع ته‌نشینی رسوبات (کاهش ارتفاع سرریز توسط رسوبات) این انحنا کاهش می‌یابد و با پرشدن پشت سرریز از رسوبات، انحنا به حداقل میزان خود می‌رسد. انحنا زیاد خطوط جریان در این مقطع باعث ایجاد نیروی گریز از مرکز و در نتیجه کاهش فشار می‌شود و احتمال ایجاد پدیده کاویتاسیون را افزایش می‌دهد. می‌توان این طور نتیجه گرفت که با پرشدن پشت سرریز با رسوبات، احتمال پدیده کاویتاسیون در این سرریزها افزایش می‌یابد.

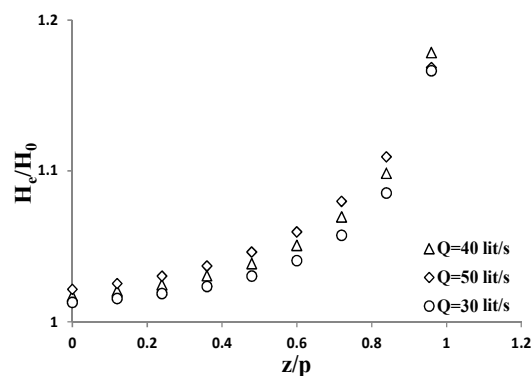


شکل ۶- تغییرات پروفیل سطح آب روی سرریز با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز

برای بعد زدایی از پارامترهای  $X_c$  (محل تشکیل عمق بحرانی) و  $Y_c$  (عمق بحرانی) استفاده شد، به طوری که با رسم مقادیر نسبت  $y/Y_c$  در مقابل مقادیر نسبت  $x/X_c$ ، نمودار شکل ۷ حاصل شد. این نمودار شباهت پروفیل‌های سطح آب روی سرریز را با افزایش دبی نشان می‌دهد.

رسوب‌گذاری در پشت سرریز، هد جریان تا حدود ۱۴ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش میزان رسوب‌گذاری، عمق مفید جریان در بالادست کاهش می‌یابد. این تغییرات در شکل ۴b با معرفی عمق مفید جریان به صورت  $Z^*=p-Z$  و رسم مقادیر نسبت  $Z^*/p$  در مقابل نسبت  $H_e/H_0$  نشان داده شده است.

در شکل ۵ تغییرات نسبت  $H_e/H_0$  در مقابل نسبت  $z/p$  رسم شده است. در این شکل آنجا که  $H_e$  مجموع بار سرعت و ارتفاع آب نسبت به تاج سرریز در بالادست سرریز است، تأثیر رسوب‌گذاری بر هر دو پارامتر ارتفاع و سرعت جریان در بالادست نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع رسوب‌گذاری در بالادست  $Z$ ، مقدار این نسبت افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به افزایش نسبت  $H_e/H_0$  می‌توان نتیجه گرفت که رسوب‌گذاری در بالادست سرریز بر پارامتر سرعت تأثیر بیشتری دارد.

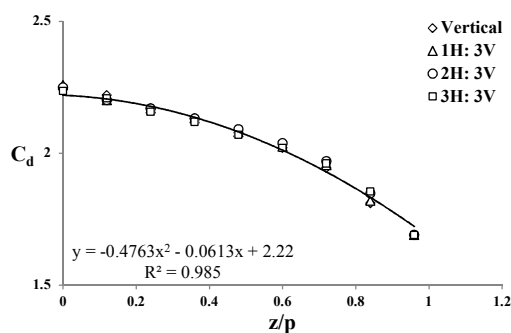


شکل ۵- تغییرات نسبت  $H_e/H_0$  در مقابل نسبت  $z/p$

### پروفیل سطح آب

در شکل ۶ تغییرات پروفیل سطح آب روی سرریز به ازای دو دبی ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه و ارتفاع ته‌نشینی رسوبات در محدوده ۰ تا ۲۴ سانتی‌متر نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود افزایش ارتفاع رسوب پشت سرریز باعث افزایش ارتفاع آب نسبت به تاج سرریز در بالادست سرریز می‌شود. در حالتی که سرریز در بالادست بدون رسوب باشد، ریزش جریان و در نتیجه حداکثر انحنا خطوط جریان مشاهده

درصد کاهش یافته است. بدین معنی است که برای مثال در صورتی که دبی طراحی سرریز بدون در نظر گرفتن رسوب‌گذاری در بالادست ۵۰ لیتر بر ثانیه باشد، پس از رسوب‌گذاری و با کاهش ضریب دبی جریان، سرریز می‌تواند تا ۷۵ درصد دبی (۳۵ لیتر بر ثانیه) را از روی خود عبور دهد. از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که طراحی سرریز بدون در نظر گرفتن رسوبات در بالادست صحیح نیست و مطمئناً عدم کارایی سرریز را در طول عمر مفید به همراه خواهد داشت.



شکل ۸- تغییرات ضریب دبی جریان با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز

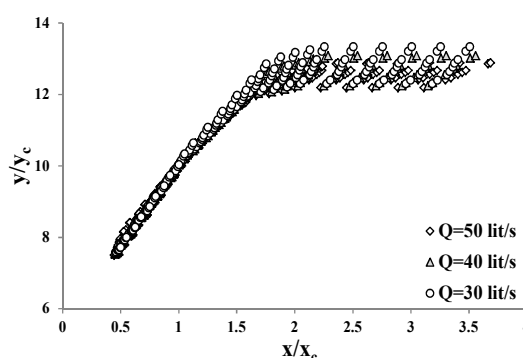
#### محل تشکیل عمق بحرانی

از آنجایی که سرریز اوجی براساس استاندارد USBR طراحی شده است، در شرایط جریان آزاد، عمق بحرانی در فاصله‌ای برابر با ۳ تا ۴ برابر ارتفاع آب روی تاج در بالادست سرریز نسبت به تاج سرریز تشکیل می‌شود. موقعیت این عمق وابسته به دبی جریان و شرایط سرریز است. به علت تشکیل جریان فوق بحرانی بر روی سرریز، شرایط جریان در پائین دست بر شرایط جریان بالادست موثر نیست.

تغییرات موقعیت عمق بحرانی نسبت به تاج سرریز، به ازای سه دبی متفاوت در شکل ۹ رسم شده است. در این نمودار از نسبت بدون بعد  $X_c/X_{cmax}$  استفاده شده است که  $X_{cmax}$  محل تشکیل عمق بحرانی در حالتی که هیچ رسوبی پشت سرریز نیست، تشکیل شده است.

#### ضریب دبی جریان

همان طور که گفته شد، یکی از عوامل مؤثر در ضریب دبی جریان، ارتفاع سرریز است، به طوری که هر قدر نسبت ارتفاع سرریز به کل بار موثر آب روی تاج سرریز بیشتر باشد مقدار ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد به طوری که اگر نسبت  $p/H_e$  بزرگتر از ۱/۳۳ باشد مقدار ضریب دبی جریان تقریباً معادل ۲/۲ خواهد بود.



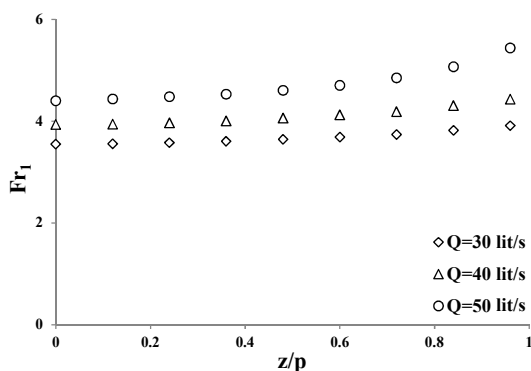
شکل ۷- پروفیل بدون بعد بعد سطح آب روی سرریز

معادله ۵ نشان می‌دهد که به ازای دبی و عرض تاج ثابت سرریز،  $C$  با  $H_e$  به توان ۱/۵ نسبت معکوس دارد. به دلیل اینکه با افزایش ارتفاع رسوب‌گذاری در پشت سرریز، مقدار  $H_e$  افزایش می‌یابد، در نتیجه باید مقدار  $C$  با افزایش ارتفاع رسوب‌گذاری کاهش یابد.

برای بررسی تأثیر رسوبات بر ضریب دبی جریان با افزایش ارتفاع رسوب‌گذاری در پشت سرریز، ۹ حالت مختلف ارتفاع رسوب‌گذاری در پشت سرریزهای اوجی با ۴ حالت شیب وجه بالادست قائم، ۱:۳، ۲:۳ و ۳:۳ مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۸ تغییرات ضریب دبی جریان عبوری از روی سرریز به ازای سه دبی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود نتایج آزمایش‌ها نیز تحلیل فوق را تأیید می‌کند، به طوری که ضریب دبی جریان از ۲/۲۵۸ در حالت بدون رسوب و طراحی اولیه به ۱/۶۹ در شرایطی که رسوبات تمام مخزن سرریز را اشغال کرده‌اند کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر در حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری، ضریب دبی تا حدود ۲۵

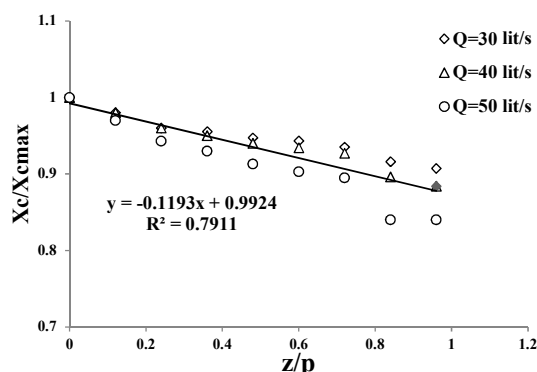
معادله ۴ نشان می‌دهد سرعت تئوری جریان در پنجه سرریز با ریشه دوم  $H_e$  رابطه مستقیم دارد. از طرفی، همانطور که در بخش‌های قبلی نشان داده شده است، افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز باعث افزایش  $H_e$  می‌شود بنابراین از مطالب فوق استنباط می‌شود که افزایش رسوبات مخزن باعث افزایش سرعت در پنجه سرریز می‌شود. با در دست داشتن اطلاعات هیدرولیکی جریان در پنجه سرریز نظیر سرعت و عمق در این مقطع عدد فرود جریان  $Fr_1 = V_t / (gd_1^2)^{0.5}$  محاسبه شده است. در شکل ۱۰ عدد فرود در مقابل نسبت  $Z/p$  به ازای دبی‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه ترسیم شده است.



شکل ۱۰- تغییرات عدد فرود  $Fr_1$  با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز

همان‌طور که مشاهده می‌شود، به ازای یک دبی ثابت و با افزایش ارتفاع رسوبات در بالادست سرریز، مقدار عددی فرود در این مقطع افزایش می‌یابد. به ازای حداکثر میزان رسوب‌گذاری، مقدار عدد فرود تا حدود ۱۹ درصد افزایش یافت. با افزایش تدریجی رسوبات پشت سرریز سرعت جریان در پنجه سرریز افزایش و عمق کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش عمق رسوبات در پشت سرریز باعث افزایش عدد فرود می‌شود.

همان‌طور که در بحث تحلیل سرعت اشاره گردید عامل افزایش عدد فرود نیز باعث عدم تطابق حوضچه آرامش در شرایط پر بودن مخزن می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پر شدن مخزن از رسوبات به مرور زمان باعث می‌شود حوضچه آرامشی که بر مبنای شرایط عدم رسوب طراحی شده است کارایی مناسب را نداشته باشد.



شکل ۹- تغییرات محل تشکیل عمق بحرانی با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز

با توجه به نمودار مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع رسوبات در پشت سرریز نسبت  $X_c/X_{cmax}$  کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، با افزایش دبی و ارتفاع رسوبات در پشت سرریز، موقعیت این عمق به سمت پایین دست منتقل می‌شود. به عبارت دیگر با پر شدن مخزن، مقطع کنترل جریان به تاج سرریز نزدیکتر می‌شود. با توجه به این که تجمع رسوبات پشت سرریز باعث افزایش انرژی مخصوص می‌شود، با استناد به منحنی انرژی مخصوص می‌توان گفت که با افزایش انرژی مخصوص، جریان برای به حداقل رساندن انرژی مخصوص خود و عبور حداکثر دبی نیاز به افت انرژی بیشتری دارد.

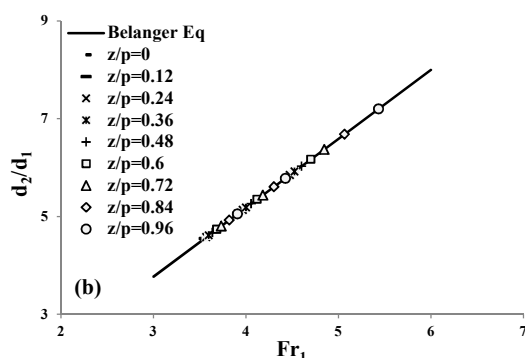
در سرریز با افزایش دبی، افزایش ارتفاع رسوبات پشت سرریز، انرژی مخصوص افزایش پیدا کرده و جریان برای رسیدن به حداقل انرژی مخصوص خود نیاز به افت انرژی بیشتری است. بنابراین جریان تا رسیدن به مقطع بحرانی مسیر بیشتری را طی می‌کند. به همین دلیل نقطه انتقال جریان زیر بحرانی به فوق بحرانی به پایین دست منتقل شده و مقطع کنترل (مقطع بحرانی) به تاج سرریز نزدیکتر می‌شود.

#### سرعت در پنجه سرریز

در این تحقیق، سرعت در پنجه سرریز با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد (USBR, 1973):

$$V_t = \sqrt{2g\left(Z - \frac{H_e}{2}\right)} \quad (8)$$





شکل ۱۲- مقایسه نسبت عمق ثانویه اندازه گیری شده با رابطه عمومی جهش هیدرولیکی آزاد

### نتیجه گیری

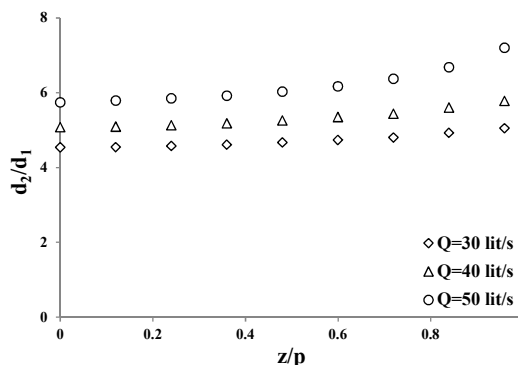
در تحقیق حاضر، اثر ته نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر مشخصات جریان شامل ارتفاع (هد) و سرعت جریان در بالادست، نیمرخ سطح آب، ضریب دبی جریان، محل تشکیل عمق بحرانی، سرعت در پنجه سرریز و جهش هیدرولیکی در پائین دست بطور آزمایشگاهی بررسی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که:

- عموماً بندهای انحرافی بدون در نظر گرفتن رسوب در بالادست طراحی می شود. در این شرایط ضریب تخلیه تقریباً مقدار ۲/۲۵ منظور می شود. اما همانطور که نتایج این تحقیق نشان داد، با افزایش رسوبات پشت سرریز ضریب تخلیه کاهش می یابد به طوری که در شرایط پر بودن مخزن از رسوبات، این پارامتر با ۲۵ درصد کاهش به مقدار ۱/۶۹ می رسد.
- با افزایش ارتفاع رسوبات در بالادست سرریز، عمق جریان نسبت به تاج تا حدود ۱۴ درصد افزایش یافته ولی عمق مفید جریان نسبت به کف روند کاهشی دارد.
- با افزایش ارتفاع رسوبات، سرعت جریان در بالادست تاج نیز افزایش می یابد. در حداکثر میزان رسوب گذاری در پشت سرریز، سرعت جریان تا حدود سه برابر نسبت به شرایط بدون رسوب افزایش یافت. پرشدن تدریجی مخزن منجر به کاهش سطح مقطع

لذا با توجه به اینکه حداکثر سرعت در پنجه سرریز در حالتی که مخزن کاملاً توسط رسوبات اشغال شده است رخ می دهد، توصیه می شود که طراحی حوضچه آرامش بر اساس این شرایط صورت گیرد.

### پرش هیدرولیکی در پائین دست سرریز

جهت بررسی شرایط پرش هیدرولیکی در پائین دست سرریز متأثر از حضور رسوبات در بالادست سرریز، اعماق مزدوج در شرایط مختلف رسوبات بالادست اندازه گیری شد. در شکل ۱۱ تغییرات نسبت عمق ثانویه جهش هیدرولیکی با افزایش میزان ارتفاع رسوبات در بالادست نشان داده شده است.



شکل ۱۱- تغییرات نسبت عمق ثانویه در مقابل نسبت  $z/p$

همان طور که مشاهده می شود با افزایش ارتفاع رسوبات، نسبت اعماق ثانویه جهش ( $d_2/d_1$ ) افزایش می یابد. به عبارت دیگر عمق ثانویه با افزایش ارتفاع رسوبات افزایش و عمق اولیه با افزایش سرعت در پنجه کاهش یافته است، بنابراین پرش هیدرولیکی جهت تأمین عمق ثانویه به سمت پائین دست انتقال می یابد. در این شرایط حوضچه آرامش طراحی شده بر مبنای شرایط اولیه سرریز (عدم وجود رسوب در پشت سرریز) جوابگوی طرح در طول عمر مفید سرریز نخواهد بود. اما همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود این نسبت کاملاً با معادله عمومی جهش آزاد مطابقت دارد.

## منابع

- ۱- حسینی م. و ابریشمی ج. ۱۳۸۵. هیدرولیک کانال-های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ چهاردهم. ۶۱۳ صفحه.
- ۲- دستورانی م. ۱۳۸۶. تأثیر رسوبات پشت سرریز اوجی بر ضریب تخلیه و شرایط جریان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شیراز.
- ۳- محمودیان شوشتری م. ۱۳۸۷. اصول جریان در مجاری باز، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. چاپ اول. جلد دوم. ۵۰۸ صفحه.
- 4- Bos M. G. 1989. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 20. 3rd revised edition. Wageningen, The Netherlands.
- 5- Chow V. T. 1959. Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill. New York. 680 pp.
- 6- Maynard S. T. 1985. General spillway investigation. Tech. Rep. HL-85-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Miss.
- 7- Murphy T. E. 1973. Spillway crest design. MP H-73-5. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- 8- U.S. Army Corp of Engineers (USACE) 1990. Hydraulic design of spillways. EM 110-2-1603, Department of the Army, Washington, D.C.
- 9- US Army Corps of Engineers (USACE) 1988. Hydraulic design criteria, Mississippi, USA.
- 10- US Bureau of Reclamation (USBR) 1973. Design of small dams, Washington, USA.

- مفید جریان گشته و باعث افزایش سرعت جریان می‌شود.
- به دلیل افزایش عمق جریان نسبت به تاج و سرعت متوسط جریان در بالادست با افزایش عمق رسوبات پشت سرریز مقدار پارامتر  $H_e$  نیز روند صعودی دارد.
- با افزایش دبی نقطه انتقال جریان زیر بحرانی به فوق بحرانی به پایین دست منتقل می‌شود و مقطع کنترل (مقطع بحرانی) به تاج سرریز نزدیک می‌شود.
- به علت افزایش پارامتر  $H_e$  با پر شدن مخزن از رسوبات، سرعت در پنجه سرریز و در نتیجه عدد فرود نسبت به شرایط اولیه (بدون رسوب) افزایش می‌یابد. بطوریکه در حداکثر میزان رسوب‌گذاری، مقدار عددی فرود تا حدود ۱۹ درصد افزایش یافت.
- با توجه به معادله عمومی اعماق مزدوج در پرش هیدرولیکی، به دلیل افزایش عدد فرود به ازای یک دبی ثابت در طول عمر مفید بند، مقدار نسبت عمق ثانویه جهش هیدرولیکی،  $d_2/d_1$  روند صعودی داشته که این عامل باعث انتقال پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست می‌شود.
- با توجه به مطالب بیان شده پیشنهاد می‌شود که جهت طراحی سدهای انحرافی در رودخانه‌ها از ضریب دبی  $1/69$  استفاده شود. برای طراحی سرریز اوجی در سدهای مخزنی از ضریب دبی  $2/25$  استفاده شود، زیرا رسوبات وارده به مخزن سد تأثیری بر ارتفاع سرریز اوجی نداشته و ضریب تخلیه دبی در طول عمر مفید سد تغییر محسوسی نخواهد داشت.