

## تأثیر قرارگیری سازه نیم استوانه بر راندمان رسوب شویی تحت فشار مخازن

میلاذ عبدالله پور<sup>1\*</sup> و علی حسین زاده دلیر<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 91/02/13 تاریخ پذیرش: 91/06/11

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

<sup>2</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

\* مسئول مکاتبه: Email: [m.abdolahpour@yahoo.com](mailto:m.abdolahpour@yahoo.com)

### چکیده

این مطالعه به منظور توسعه روشی برای تخلیه رسوبات انجام شده تا به کمک آن بتوان بخشی از حجم مرده مخزن را بازیابی کرد. در این تحقیق با کارگذاری سازه نیم استوانه در جلوی تخلیه کننده تحتانی تأثیر این سازه در ایجاد جریان گردابی برای تخلیه رسوبات مورد آزمایش قرار گرفت. در زیر سازه شکاف‌هائی در ارتفاع و طول‌های مختلف ایجاد گردید به طوری که بالای شکاف هم سطح رسوبات در مخزن که آن قسمت نیز هم‌تراز پایین دریچه بود. آزمایش‌ها بر روی سازه نیم استوانه در قطر‌ها و ارتفاع سطح آب مختلف انجام پذیرفت. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات حجم رسوب شویی در یک سطح آب حساسیت کمتری نسبت به طول شکاف دارد. در حالتی که نسبت قطر سازه به طول شکاف برابر 2 بود رسوب شویی بیشتری اتفاق افتاد. تغییرات حجم رسوب شویی نسبت به ارتفاع شکاف زیاد بوده به طوری که در نسبت ارتفاع شکاف به قطر سازه نیم استوانه برابر 0/6، حجم رسوب شویی به میزان قابل توجهی افزایش یافت. هم چنین با قطر سازه 2/5 برابر قطر تخلیه کننده، بیشترین حجم رسوب شویی حاصل شد و در این حالت حجم رسوب شویی نسبت به حالت بدون قرارگیری سازه 30 برابر گردید.

واژه‌های کلیدی: تخلیه کننده تحتانی، جریان گردابی، رسوب شویی، سازه نیم استوانه، مخزن

## Effect of Semi-Cylinder Structure Position on Pressurized Flushing Efficiency of Reservoirs

M Abdolahpour<sup>1\*</sup> and A Hosseinzadeh Dalir<sup>2</sup>

Received: 2 May 2012 Accepted: 1 September 2012

<sup>1</sup>- M.Sc Student in Hydraulic Structures, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran.

<sup>2</sup>- Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author Email: [m.abdolahpour@yahoo.com](mailto:m.abdolahpour@yahoo.com)

### Abstract

This study is done with the purpose of developing an effective method to release sediment out of dam reservoirs. Semi-cylinder is employed in front of bottom outlet to enhance vortex flow and their effects were tested. On the semi-cylinder, gaps with different height and length were created in such a way that the top of the gap was in the bed level and as well as the bottom level of the outlet. The experiments were carried out on the semi-cylinder with different diameters and water levels. The results indicated that for a given water level flushing capacity was less sensitive to gap length. When the ratio of semi-cylinder diameter to length of gaps equals to 2, the maximum flushing capacity occurred. The flushing capacity variation with respected to the gap height is large, and when the ratio of gap height to diameter of the semi-cylinder was 0.6 flushing capacity increased significantly. Furthermore when diameter of semi-cylinder was 2.5 times larger than the bottom outlet diameter the maximum amount of flushing capacity was occurred. This flushing capacity was 30 times more than the rate in which no semi-cylinder was installed.

**Keywords:** Bottom outlet, Reservoir, Sediment flushing capacity, Semi-cylinder structure, Vortex flow.

کنترل سیلاب وجود دارد و سالانه حدود 300 الی 400 سد جدید برای ذخیره‌سازی ساخته می‌شود (وایت، 2000). رسوب زدایی یک امر ضروری است که برای حفظ ذخیره سازی طولانی مدت در مخازن سدها بکار می‌رود. اگر رسوب زدایی بطور صحیح انجام شود دیگر نیاز به ساخت سدهای جدید کم شده و می‌توان از هزینه‌های اضافی جلوگیری کرد. رسوب شویی به دو صورت آزاد و تحت فشار در مخازن سدها انجام می‌پذیرد. در رسوب شویی تحت فشار تراز آب بالاتر از تخلیه کننده تحتانی بوده و با باز کردن دریچه، آب از آن به صورت تحت فشار خارج می‌گردد. فانگ و کائو

### مقدمه

در رودخانه‌های طبیعی مقدار رسوب ورودی و خروجی در یک بازه تقریباً در حالت تعادل می‌باشد، با ساخت و ساز سدها در مسیر رودخانه‌ها این تعادل به طور چشم‌گیری به هم خورده و با کم شدن سرعت جریان آب، بازده تله اندازی زیاد شده و رسوبی منتقل نمی‌شود. رسوبگذاری در مخازن سدها از جمله مسائل مهم و حیاتی می‌باشد که باید در زمینه‌ی بهره‌برداری و بحث عمر مفید مخزن مد نظر قرار گیرد. رسوبگذاری حجم مفید مخزن را کاهش می‌دهد. در دنیا حدود 40000 مخزن بزرگ برای تأمین آب، تولید انرژی و

لازم برای رسوب شویی دو برابر حالتی است که جت آب در مخزن کار گذاشته شود. همچنین در این مدت، در حالت بدون جت آب، 80 درصد رسوبات نسبت به حالت با جت تخلیه می‌شود. جلیلی و حسین زاده دلیر (2012) تحقیقاتی در مورد رسوب شویی تحت فشار روی مدل آزمایشگاهی انجام دادند. ایشان با بکارگیری سازه نیم استوانه و ایجاد یک اندازه شکاف روی سازه نیم استوانه تحقیقاتی انجام دادند سازه جلوی تخلیه کننده تحتانی کارگذاری شده و از بالای درچه شروع شده و تا کف مخزن ادامه داشت. آنها بیان نمودند که با افزایش قطر سازه نیم استوانه مقدار تخلیه رسوبات افزایش می‌یابد و مقدار رسوبشویی حدود 15 برابر بیشتر از حالت بدون کارگذاری آن است.

جلیلی و حسین زاده دلیر (2012) روی یک اندازه شکاف تأثیر رسوب شویی را بررسی کردند همچنین ایشان سازه را از دریچه به کف ادامه دادند. با توجه به تحقیقات انجام شده در این تحقیق سعی بر آن شده است که طول و عرض شکاف به عنوان متغیر در نظر گرفته شود و اندازه شکاف بهینه بدست آید. همچنین سازه از دریچه به تا بالا ادامه دارد. تعداد قطرهای سازه نیم استوانه نیز بیشتر در نظر گرفته شد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تقویت و ایجاد جریان گردابی در مقابل تخلیه کننده تحتانی با ایجاد شکاف-هائی در سازه نیم استوانه و بدست آوردن قطر و شکاف بهینه روی سازه می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در مخزنی به شکل مکعب مستطیل انجام گرفت. مدل مخزن دارای سه قسمت اصلی می‌باشد: 1- قسمت ورودی مدل 2- مخزن رسوبات 3- قسمت اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات). آب مورد نیاز از طریق

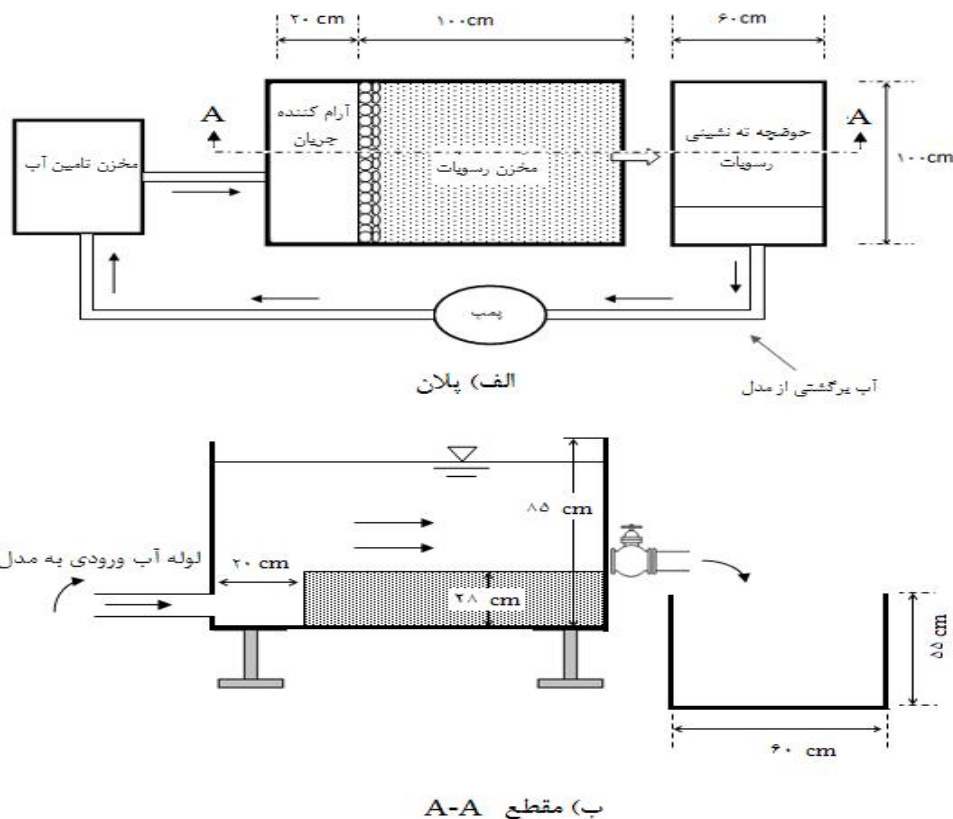
(1996) بر اساس مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از رسوبات شنی با قطر متوسط 0/15 میلی‌متر گزارش نمودند که شیب طولی و جانبی مخروط رسوب شویی در حالت تعادل تقریباً مساوی یکدیگر می‌باشد. در این تحقیق شیب در جهت طولی برابر با 31/5 درجه بدست آمد که مقداری کمتر از زاویه ایستایی برای رسوب مذکور (32/5) می‌باشد. موریس و فان (1997) بیان نمودند که ابعاد مخروط رسوب شویی و مدت زمان لازم برای تشکیل و پایدار شدن ژئومتری آن، بستگی به عمق آب داخل مخزن، دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی، ارتفاع رسوبات و نوع رسوبات تجمع یافته دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز ادامه یابد. طالب بیدختی و نقشینه (2004) در تحقیقی که در دانشگاه شیراز روی مدلی با اندازه متوسط ذرات پلیمر 2/4 میلی‌متر انجام دادند بیان نمودند که میزان شسته شدن رسوبات با افزایش دبی جریان ارتباط مستقیم دارد. حکمت و شفافی بجزستان (1385) تخلیه رسوبات را با استفاده از موج ناگهانی در سه نمونه رسوبات انجام دادند و بیان کردند در موج‌های ابتدایی پیوند بین ذرات سست شده و موج‌های بعدی باعث می‌شود رسوبات با سرعت بیشتر تخلیه گردد. امامقلی‌زاده و همکاران (1386) در بررسی که انجام دادند عواملی همچون عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه کننده، ابعاد تخلیه کننده، ژئومتری مخزن، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته را در تخلیه رسوبات مؤثر دانستند و بیان کردند در کمترین ارتفاع آب، بیشترین ظرفیت تخلیه رسوبات اتفاق می‌افتد. مشکاتی و همکاران (1388) تأثیر ابعاد دریچه تحتانی را بر روی حجم و ابعاد مخروط رسوب شویی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش قطر دریچه راندمان رسوب شویی را افزایش می‌دهد. آلتوس (2011) تأثیر قرارگیری جت آب را در مخزن رسوبات بر افزایش میزان رسوبات تخلیه شده مورد بررسی قرار داد و بیان کرد که در حالت بدون اعمال جت آب، مدت زمان

به مخزن زیر زمینی به مخزن هوایی پمپاژ شده و از مخزن هوایی، مدل تغذیه می‌شود. مخزن رسوبات به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد 120 سانتی‌متر طول، 100 سانتی‌متر عرض و 85 سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. در قسمت ورودی مخزن از یک آرام کننده جریان استفاده شد تا جریان متلاطم وارد مخزن نگردد. همچنین رسوبات در مخزن به ارتفاع 28 سانتی‌متر از کف مدل تا قسمت پایینی دریچه تحتانی انباشته شد (شکل 1-ب). به منظور رسوب شویی، یک تخلیه کننده تحتانی با مقطع دایره‌ای شکل به قطر 5/08 سانتی‌متر در خط مرکزی مخزن در نظر گرفته شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه کننده تحتانی وارد حوضچه ته‌نشینی رسوبات می‌شد. حوضچه به شکل مکعب مستطیل در ابعاد 100 سانتی‌متر طول، 60 سانتی‌متر عرض و 55 سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. جریان از حوضچه ته‌نشینی

مخزن زیر زمینی به مخزن هوایی پمپاژ شده و از مخزن هوایی، مدل تغذیه می‌شود. مخزن رسوبات به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد 120 سانتی‌متر طول، 100 سانتی‌متر عرض و 85 سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. در قسمت ورودی مخزن از یک آرام کننده جریان استفاده شد تا جریان متلاطم وارد مخزن نگردد. همچنین رسوبات در مخزن به ارتفاع 28 سانتی‌متر از کف مدل تا قسمت پایینی دریچه تحتانی انباشته شد (شکل 1-ب). به منظور رسوب شویی، یک تخلیه کننده تحتانی با مقطع دایره‌ای شکل به قطر 5/08 سانتی‌متر در خط مرکزی مخزن در نظر گرفته شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه کننده تحتانی وارد حوضچه ته‌نشینی رسوبات می‌شد. حوضچه به شکل مکعب مستطیل در ابعاد 100 سانتی‌متر طول، 60 سانتی‌متر عرض و 55 سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. جریان از حوضچه ته‌نشینی

### تئوری و آنالیز ابعادی

با باز شدن دریچه تخلیه کننده تحتانی مخروط رسوب شویی در جلوی دریچه تشکیل می‌شود. دبی رسوب خروجی ( $Q_s$ )، بستگی به پارامترهای متفاوتی دارد و تابعی از: ارتفاع سطح آب در مخزن ( $H_w$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، چگالی رسوبات نهشته شده ( $r_s$ )، چگالی آب ( $r_w$ )، قطر ذره رسوبات ( $d_{50}$ )، قطر دریچه تخلیه کننده تحتانی ( $D$ )، لزوجت دینامیکی سیال ( $m$ )، قطر سازه نیم استوانه ( $D_a$ )، ارتفاع شکاف در زیر نیم استوانه ( $H_a$ ) و طول شکاف در سطح نیم استوانه ( $L_a$ ) می‌باشد.



شکل 1- پلان و پروفیل طولی مدل آزمایشگاهی به همراه مشخصات آن.

در حالت کلی می توان نوشت:

$$f_w(g, r_s, r_w, d_{50}, D, m, D_a, H_a, L_a) = 0 \quad [1]$$

رابطه 1 را با بکارگیری روش باکینگهام به صورت رابطه 2 می توان نوشت

$$\frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}}, \frac{m}{r_w g^{0.5} D^{1.5}}, \frac{L_a}{D}, \frac{H_a}{D}, \frac{D_a}{D} = 0 \quad [2]$$

با توجه به اینکه  $r_s$ ،  $r_w$ ،  $d_{50}$  و  $D$  در تمام آزمایشات ثابت می باشند و همچنین پارامتر  $\frac{m}{r_w g^{0.5} D^{1.5}}$  بیانگر تأثیر نیروی لزوجت بوده (عدد رینولدز) که در این تحقیق مقدار این پارامتر حدوداً 35000 بوده، لذا از تأثیر این پارامترها می توان صرف نظر کرد و رابطه 2 را می توان به شکل رابطه 3 نوشت.

$$f_3\left(\frac{H_w}{D}, \frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}}, \frac{L_a}{D}, \frac{H_a}{D}, \frac{D_a}{D}\right) = 0 \quad [3]$$

#### انجام آزمایشها

برای انجام آزمایشها از رسوبات غیر چسبنده با قطر متوسط 0/51 میلی متر و با جرم مخصوص 1700 کیلوگرم بر مترمکعب استفاده گردید. آزمایشها در سه ارتفاع سطح آب 15، 30 و 50 سانتی متر انجام گرفت. در ارتفاع سطح آب 15 سانتی متر با تمام بازشدگی دریچه تحتانی (شیر فلکه 2 اینچی) حداکثر دبی 2 لیتر بر ثانیه از آن می توان تخلیه کرد. بنابراین تمام آزمایشها با دبی ثابت 2 لیتر بر ثانیه در سه ارتفاع سطح آب  $(H_w)$  15، 30 و 50 سانتی متر برای هر مدل انجام گرفت. در این آزمایشها برای ایجاد و تقویت جریان گردابی در جلوی تخلیه کننده تحتانی از سازه

نیم استوانه ای استفاده گردید. با قرارگیری این سازه، جریان گردابی با قدرت بیشتری تشکیل شده و رسوبات بیشتری را از جلوی تخلیه کننده تحتانی به پایین دست منتقل می کند. آزمایشها با قرارگیری سازه در جلوی محور مرکزی تخلیه کننده تحتانی و چسبیده به بدنه بالادست دیواره مخزن انجام گرفت. با توجه به اینکه ارتفاع مخزن در بالای رسوبات 55 سانتی متر می باشد و با کارگذاری سازه نیم استوانه به قطر 25/4 سانتی متر نهایت ارتفاع مورد استفاده 55 سانتی متر می باشد به همین دلیل ارتفاع سازه 2 برابر قطر آن (51 سانتی متر) انتخاب گردید و همه قطرهای نیم استوانه نیز به تبعیت از این موضوع و انجام آزمایش در یک شرایط، این نسبت برای همه قطرهای اعمال گردید.

سازه های نیم استوانه از جنس پی وی سی انتخاب گردید. برای ایجاد جریان گردابی شکافی در سطح نیم استوانه ها ایجاد شد. ابتدا آزمایشها روی نیم استوانه های به قطر 12/7 سانتی متر و 15/24 سانتی متر با ایجاد شکافهایی با طول قوس متفاوت ( $L_a$ ) و ارتفاع شکاف ثابت ( $H_a$ ) انجام پذیرفت و طول قوس بهینه ای که در آن بیشترین مقدار رسوب شویی اتفاق می افتد تعیین شد. سپس در طول قوس بهینه ارتفاع شکافها تغییر داده شد به طوری که در هر آزمایش بالای شکاف مماس و هم سطح رسوبات انباشته شده در مخزن باشد. جداول 1 و 2 مشخصات مدل های آزمایش برای قطرهای مذکور را نشان می دهد که در آن مدلها با  $A_i$  نشان داده شده اند که اندیس اول مربوط به قطر نیم استوانه و اندیس دوم شماره مدل آن را نشان می دهد.

جدول 1- مشخصات مدل سازه نیم استوانه با قطر 12/7 سانتی متر.

مدل	A <sub>5,1</sub>	A <sub>5,2</sub>	A <sub>5,3</sub>	A <sub>5,4</sub>	A <sub>5,5</sub>	A <sub>5,6</sub>	A <sub>5,7</sub>
مشخصات	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7
مدل	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =1/27	H <sub>a</sub> =2/55
مدل	L <sub>a</sub> =12/7	L <sub>a</sub> =10/2	L <sub>a</sub> =8/5	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =4/2	L <sub>a</sub> =3/1	L <sub>a</sub> =6/35
مدل	A <sub>5,8</sub>	A <sub>5,9</sub>	A <sub>5,10</sub>	A <sub>5,11</sub>	A <sub>5,12</sub>	A <sub>5,13</sub>	
مشخصات	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	D <sub>a</sub> =12/7	
مدل	H <sub>a</sub> =3/8	H <sub>a</sub> =5/1	H <sub>a</sub> =6/35	H <sub>a</sub> =7/6	H <sub>a</sub> =8/9	H <sub>a</sub> =10/2	
مدل	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =6/35	L <sub>a</sub> =6/35	

\* تمام واحد ها در جدول بر حسب سانتیمتر می باشد.

جدول 2- مشخصات مدل سازه نیم استوانه با قطر 15/24 سانتی متر.

مدل	A <sub>6,1</sub>	A <sub>6,2</sub>	A <sub>6,3</sub>	A <sub>6,4</sub>	A <sub>6,5</sub>	A <sub>6,6</sub>	A <sub>6,7</sub>
مشخصات	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24
مدل	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =1/52	H <sub>a</sub> =3/1
مدل	L <sub>a</sub> =15/24	L <sub>a</sub> =12/2	L <sub>a</sub> =10/2	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =5/1	L <sub>a</sub> =3/8	L <sub>a</sub> =7/7
مدل	A <sub>6,8</sub>	A <sub>9,6</sub>	A <sub>6,10</sub>	A <sub>6,11</sub>	A <sub>6,12</sub>	A <sub>6,13</sub>	
مشخصات	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	D <sub>a</sub> =15/24	
مدل	H <sub>a</sub> =4/6	H <sub>a</sub> =6/1	H <sub>a</sub> =7/6	H <sub>a</sub> =9/2	H <sub>a</sub> =10/6	H <sub>a</sub> =12/2	
مدل	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =7/7	L <sub>a</sub> =7/7	

\* تمام واحد ها در جدول بر حسب سانتی متر می باشد.

مورد آزمایش قرار گرفت. تعداد 93 آزمایش بر روی سازه نیم استوانه و تعداد 3 آزمایش بدون کار گذاری سازه انجام پذیرفت که در نهایت 96 آزمایش انجام پذیرفت. شکل 2 مدل نیم استوانه و نحوه قرار گیری آن در جلوی دریچه را نشان می دهد.

بعد از پیدا کردن ارتفاع و طول قوس مناسب ادامه آزمایش ها روی نیم استوانه های با قطرهای 5/08، 7/62، 10/16، 12/7، 15/24، 20/82 و 25/4 سانتی متر تکرار شد. تمامی مدل ها در هر 3 ارتفاع سطح آب،

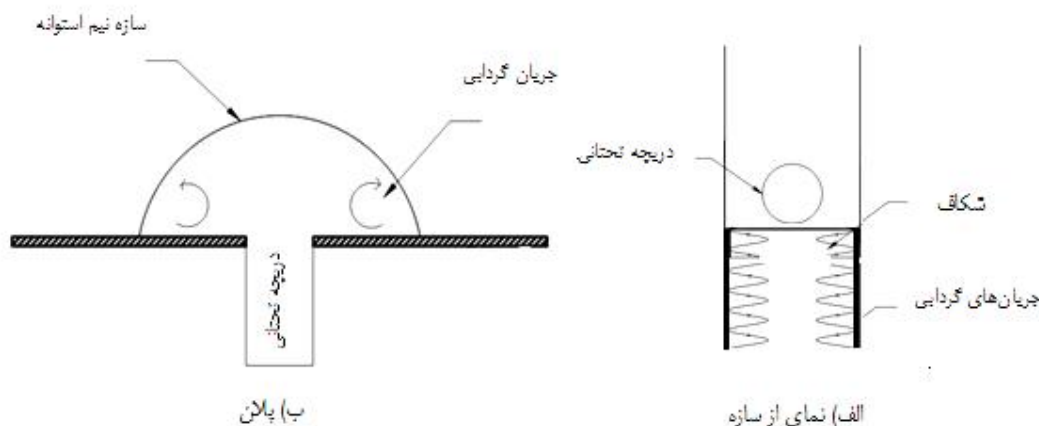


شکل 2- نمای مدل و پلان مخزن رسوبات با کارگذاری سازه نیم استوانه.

## نتایج و بحث

کارگذاری سازه‌های نیم استوانه جلوی تخلیه کننده تحتانی باعث می‌شود که قبل از اینکه بخشی از حجم مرده مخزن که در مقابل دریچه قرار می‌گیرد پر شود و دریچه غیر قابل استفاده شود رسوبات جلوی دریچه شسته شود. جریان‌های شعاعی با سرعت زیاد در بالادست دریچه وجود دارد که باعث انتقال رسوبات می‌گردد. با کارگذاری این سازه نزدیک دریچه، زمانی که جریان‌های شعاعی با سرعت بالا به دریچه نزدیک می‌شوند با گذر از شکاف سازه نیم استوانه به جریان گردابی تغییر شکل داده و رسوبات ته‌نشین شده را از بستر جدا می‌سازند (جلیلی و حسین زاده دلیر 2012). بر اساس تحقیقات پاول (2007) دو عدد گرداب چرخشی از زیر دریچه در دو طرف محور مرکزی ایجاد می‌گردد که این گرداب‌ها برای بالا بردن رسوبات از کف مخزن کمک می‌کند (شکل 3-ب). در سازه نیم استوانه مورد آزمایش شکاف‌هایی با طول ( $L_a$ ) و ارتفاع ( $H_a$ ) روی سازه نیم استوانه ایجاد گردید. شکاف‌ها باعث می‌شد که هنگام باز شدن دریچه، جریان آب با فشار زیاد وارد نیم استوانه شود و قدرت جریان گردابی چند برابر شده و رسوبات بیشتری از دریچه خارج شود. شکل 3 نحوه تشکیل جریان گردابی را داخل سازه نشان می‌دهد.

در ابتدای هر آزمایش مخزن به تدریج پر از آب می‌شد. پس از رسیدن آب به ارتفاع مورد نظر تخلیه‌کننده تحتانی باز می‌گردید. در مراحل اولیه آزمایش رسوبات با غلظت بیشتری از دریچه خارج شد و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش یافت به طوری که تغییرات ابعاد حفره بعد از گذشت 60 دقیقه ناچیز بود. آزمایش‌ها تا زمانی که حفره رسوب شویی به تعادل برسد ادامه - یافت، بر اساس نظر کومار و همکاران (1999) زمان تعادل زمانی است که در مدت زمان 3 ساعت تغییرات کمتر از یک میلی‌متر باشد. هر چه ارتفاع سطح آب کمتر می‌شد زمان تعادل برای شکل‌گیری مخروط رسوب-شویی نیز کاهش می‌یافت، لذا با در نظر گرفتن ارتفاع سطح آب 50 سانتی‌متر (بیشترین ارتفاع سطح آب) زمان تعادل برای تمام آزمایش‌ها 60 دقیقه در نظر گرفته شد. پس از اتمام هر آزمایش برای اینکه شکل مخروط رسوب شویی تغییر نکند ابتدا شیر ورودی به مخزن را بسته سپس دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی با کم کردن دور شیر خروجی، کاهش می‌یافت. زهکشی مخزن توسط شیر آب خروجی که در انتهای مخزن در قسمت آرام کننده قرار داشت انجام می‌گردید.



شکل 3- پلان و نمایی از نیم استوانه و جریان گردابی (جلیلی و حسین زاده دلیر 2012).

بی بعد  $\frac{D_a}{L_a} = 2$  و  $\frac{H_a}{D_a} = 0/6$  برقرار باشد، حجم رسوب شویی در ارتفاع آب 50، 30 و 15 سانتی متر به ترتیب به میزان 30، 17 و 13 برابر نسبت به حالت بدون قرارگیری نیم استوانه افزایش می یابد. همانطور که در تحلیل ابعادی مشخص گردید از پارامتر بدون بعد  $\frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}}$  (رابطه 4) برای نمایش نتایج حاصل از این آزمایش ها در مقابل سایر پارامترها استفاده شد که در شکل های 4 و 5 برای سازه با قطر 12/7 سانتی متر به تفکیک نشان داده شده است.

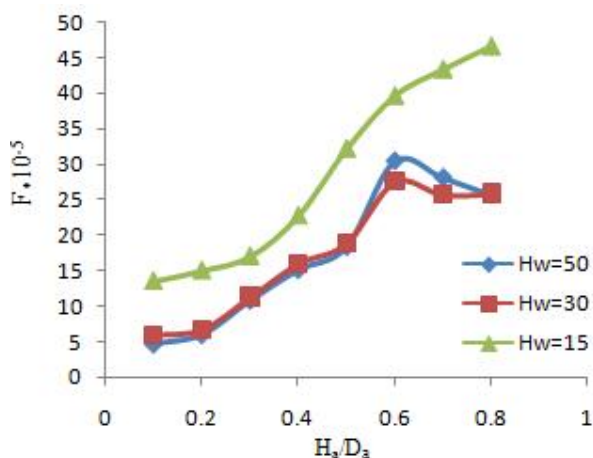
$$F = \frac{Q_s}{D^{2.5} g^{0.5}} \quad [4]$$

جدول 3 حجم حفره رسوب شویی را برای سازه با قطر 12/7 سانتی متر بر حسب سانتی متر مکعب نشان می دهد. بررسی ها نشان داد که ابتدا با ثابت نگه داشتن  $H_a$  ( $\frac{H_a}{D_a} = 0/1$ ) بیشترین افزایش به ترتیب 380، 300 و 385 درصد نسبت به حالت بدون قرارگیری سازه برای ارتفاع سطح آب 50، 30 و 15 سانتی متر مربوط به مدل A<sub>5,4</sub> می باشد. سپس با مشخص شدن طول شکاف بهینه  $\frac{D_a}{L_a} = 2$  ارتفاع شکاف تغییر داده شد که در این حالت بیشترین رسوب شویی مربوط به  $\frac{H_a}{D_a} = 0/6$  بود. بررسی ها به طور کلی نشان داد در سازه نیم استوانه با قطر 12/7 سانتی متر زمانی که در آن نسبت پارامترهای

جدول 3- مقایسه مدل های مختلف نیم استوانه با قطر 12/7 سانتی متر در افزایش رسوب شویی.

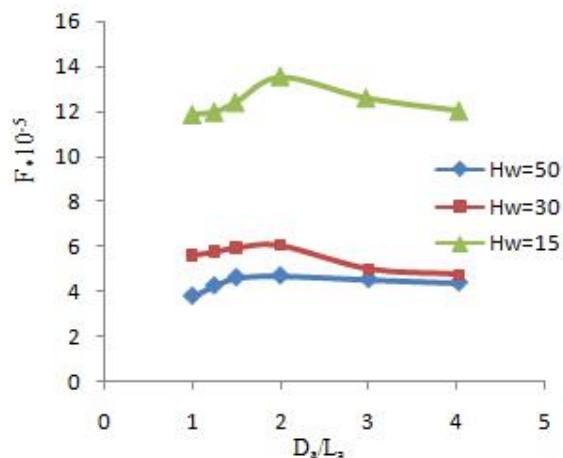
حجم رسوب شویی (cm <sup>3</sup> )			$\frac{H_a}{D_a}$	$\frac{D_a}{L_a}$	مدل سازه نیم استوانه
H <sub>w</sub> =15cm	H <sub>w</sub> =30cm	H <sub>w</sub> =50cm			
749	353	238	0/1	1	A <sub>5,1</sub>
756	362	268	0/1	1/25	A <sub>5,2</sub>
782	374	291	0/1	1/5	A <sub>5,3</sub>
853	379	296	0/1	2	A <sub>5,4</sub>
794	315	286	0/1	3	A <sub>5,5</sub>
759	300	276	0/1	4	A <sub>5,6</sub>
947	426	379	0/2	2	A <sub>5,7</sub>
1074	715	682	0/3	2	A <sub>5,8</sub>
1435	1012	953	0/4	2	A <sub>5,9</sub>
2029	1191	1156	0/5	2	A <sub>5,10</sub>
2501	1735	1915	0/6	2	A <sub>5,11</sub>
2735	1624	1768	0/7	2	A <sub>5,12</sub>
2941	1629	1618	0/8	2	A <sub>5,13</sub>





شکل ۵- مقدار رسوب شویی برای حالت طول شکاف ثابت ۶/۳۵ سانتی‌متر در نیم استوانه با قطر ۱۲/۷ سانتی‌متر.

تغییرات کمتر می‌شود. قابل ذکر است که با کاهش ارتفاع سطح آب از ۵۰ به ۳۰ سانتی‌متر حجم رسوب شویی تغییر چندانی نداشته و تنها ۱/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد ولی با کاهش ارتفاع آب از ۵۰ به ۱۵ سانتی‌متر حجم رسوب شویی به میزان ۶۲ درصد افزایش نشان می‌دهد. علت بالا بودن درصد افزایش شستشوی سطح آب ۱۵ سانتی‌متر از دیگر سطوح آب می‌تواند این باشد که با انتخاب ارتفاع سازه‌های نیم استوانه به اندازه ۲ برابر قطر نیم استوانه، در ارتفاع سطح آب ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر، سازه‌ها در آب مستغرق بوده ولی در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر مستغرق نبوده و سطح بالای نیم استوانه به حالت باز و آزاد می‌باشد و گرداب‌های چرخشی به صورت آزادانه می‌توانند حرکت کرده به همین دلیل دارای قدرت بیشتری بوده و رسوبات بیشتری را منتقل می‌کنند. در ادامه برای اطمینان از نتایج آزمایش‌ها تمامی آزمایش‌ها برای سازه نیم استوانه با قطر ۱۵/۲۴ سانتی‌متر در همان شرایط که برای سازه با قطر ۱۲/۷ سانتی‌متر قبلاً گفته شد انجام گردید. جدول ۴ حجم رسوب شویی برای نیم استوانه به قطر ۱۵/۲۴ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.

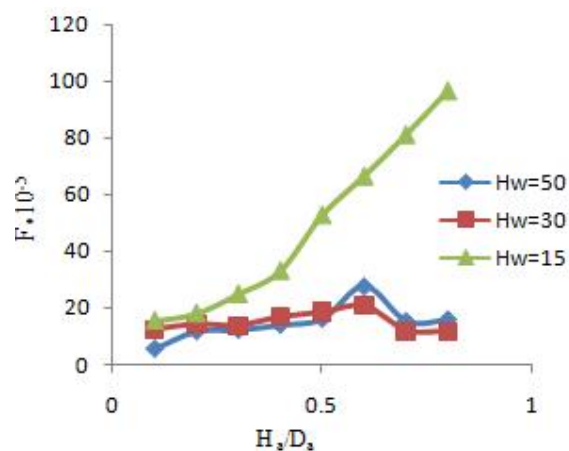


شکل ۴- مقدار رسوب شویی برای حالت ارتفاع شکاف ثابت ۱/۲۷ سانتی‌متر در نیم استوانه با قطر ۱۲/۷ سانتی‌متر.

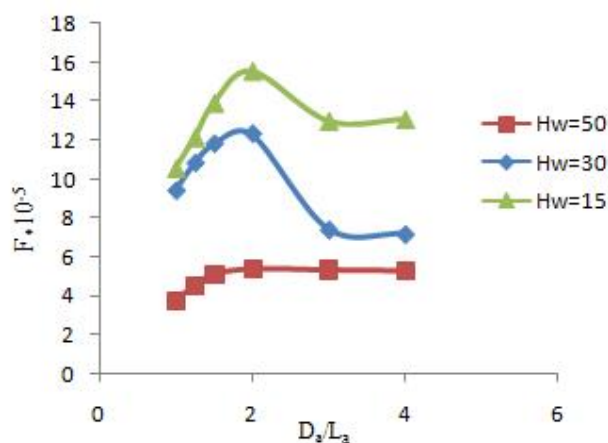
همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود تغییرات مقدار حجم رسوب شویی نسبت به طول قوس ( $L_a$ ) کمتر بوده به طوری که تغییرات حجم رسوب شویی در حالت ماکزیم نسبت به دیگر حالت‌ها برای ارتفاع آب ۱۵، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر ۱۱/۵، ۱۱ و ۹ درصد افزایش نشان می‌دهد. در مقایسه عملکرد طول قوس مشاهده می‌شود که با کاهش ارتفاع آب از ۵۰ به ۳۰ سانتی‌متر (کاهش ارتفاع به میزان ۴۰ درصد) حجم رسوب شویی به میزان ۲۵/۹ درصد افزایش می‌یابد و با کاهش ارتفاع آب از ۵۰ به ۱۵ سانتی‌متر حجم رسوب شویی به میزان ۱۸۳ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین این نتیجه حاصل می‌شود که با کاهش سطح آب در مخزن، حجم رسوب شویی افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که حجم رسوب شویی برای حالت بدون قرارگیری سازه برای ارتفاع‌های ۱۵، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب برابر ۶۲، ۹۴ و ۱۷۷ سانتی‌متر مکعب می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشخص است در ارتفاع سطح آب ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر با افزایش ارتفاع شکاف، مقدار رسوب شویی افزایش می‌یابد تا جایی که نسبت  $H_a$  به  $D_a$  برابر ۰/۶ باشد و در ارتفاع سطح آب ۱۵ از این نسبت به بعد شیب نمودار کاهش می‌یابد یعنی نسبت

جدول 4- مقایسه مدل‌های مختلف سازه نیم استوانه با قطر 15/24 سانتی‌متر در افزایش رسوب شویی

حجم رسوب شویی (cm <sup>3</sup> )			$\frac{H_a}{D_a}$	$\frac{D_a}{L_a}$	مدل سازه نیم استوانه
H <sub>w</sub> =15cm	H <sub>w</sub> =30cm	H <sub>w</sub> =50cm			
665	594	238	0/1	1	A <sub>6,1</sub>
765	682	285	0/1	1/25	A <sub>6,2</sub>
876	744	321	0/1	1/5	A <sub>6,3</sub>
976	776	338	0/1	2	A <sub>6,4</sub>
818	468	335	0/1	3	A <sub>6,5</sub>
824	453	332	0/1	4	A <sub>6,6</sub>
1141	897	735	0/2	2	A <sub>6,7</sub>
1574	871	771	0/3	2	A <sub>6,8</sub>
2088	1071	882	0/4	2	A <sub>6,9</sub>
3331	1179	1018	0/5	2	A <sub>6,10</sub>
4202	1328	1749	0/6	2	A <sub>6,11</sub>
5125	747	965	0/7	2	A <sub>6,12</sub>
6109	744	1000	0/8	2	A <sub>6,13</sub>



شکل ۷- مقدار رسوب شویی برای حالت طول شکاف ثابت ۷/۷ سانتی‌متر در نیم استوانه با قطر ۱۵/۲۴ سانتی‌متر.



شکل ۶- مقدار رسوب شویی برای حالت ارتفاع شکاف ثابت ۱/۵۲ سانتی‌متر در نیم استوانه با قطر ۱۵/۲۴ سانتی‌متر.

دهد که برای سطح آب 30 و 15 سانتی‌متر با کاهش طول شکاف تا نصف قطر سازه نیم‌استوانه میزان رسوب شوئی به شدت افزایش یافته اما بعد از آن کاهش چشمگیری در رسوب شویی دیده می‌شود. لذا این نتایج نشان می‌دهد که طول شکاف نباید از نصف قطر سازه کمتر باشد. در شکل 7 که تغییرات حجم رسوب شویی در طول شکاف ثابت 7/7 سانتی‌متر را

با بررسی شکل 6 مشاهده گردید که برای سطح آب 50 سانتی‌متر زمانی که طول شکاف از قطر تخلیه کننده کمتر می‌شود حجم رسوب شوئی افزایش پیدا می‌کند. این افزایش رسوب شوئی تا زمانی که طول شکاف برابر با نصف قطر سازه نیم استوانه بشود ادامه پیدا می‌کند اما بعد از آن با کاهش طول شکاف میزان رسوب شویی ثابت باقی می‌ماند. شکل 6 هم چنین نشان می‌-

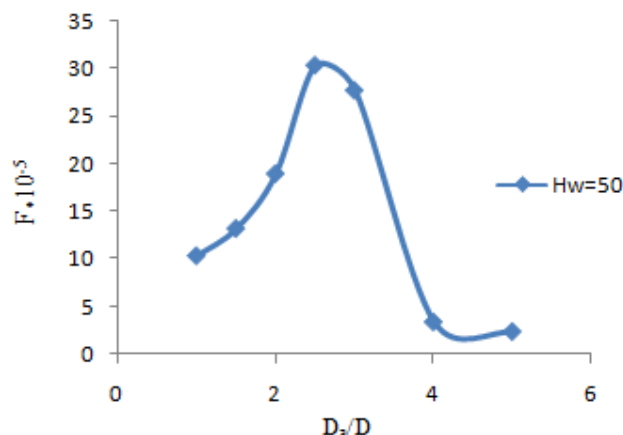
قطر سازه‌ی نیم استوانه بهینه که در آن بیشترین رسوب‌شویی اتفاق می‌افتد آزمایش‌ها بر روی نیم استوانه‌های با قطرهای مختلف انجام گرفت. با توجه به انتخاب ارتفاع سازه نیم استوانه که دو برابر قطر سازه بود و با انتخاب ارتفاع 50/8 سانتی‌متر برای سازه 25/4 سانتی‌متر تنها ارتفاع ممکن برای مقایسه قطرهای مختلف و مستغرق بودن آنها در شرایط یکسان ارتفاع سطح آب 50 سانتی‌متر انتخاب شد بنابراین مقایسه بیشترین حجم رسوب شویی در ارتفاع سطح آب 50 سانتی‌متر انجام پذیرفت. جدول 5 درصد افزایش حجم رسوب شویی برای نیم استوانه‌های با قطرهای 5/08، 7/62، 10/16، 12/7، 15/24، 20/82 و 25/4 سانتی‌متر را نشان می‌دهد. در آزمایش با قطرهای مختلف که با  $A_i$  نشان داده شده اندیس، مربوط به قطر سازه نیم استوانه می‌باشد. شکل 8 حجم رسوب شویی را برای قطرهای نیم استوانه در ارتفاع سطح آب 50 سانتی‌متر نشان می‌دهد.

نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در ارتفاع سطح آب 50 و 30 سانتی‌متر زمانی که ارتفاع شکاف 0/6 برابر قطر سازه شود تقریباً مقدار رسوب شویی ثابت بوده ولی در این نسبت حجم حفره به میزان 96 و 50 درصد برای ارتفاع سطح آب 50 و 30 سانتی‌متر، نسبت به دیگر حالت‌ها افزایش می‌یابد و پس از آن نمودار روند کاهشی از خود نشان می‌دهد. در ارتفاع آب 15 سانتی-متر هم مشاهده شد که حجم رسوب شویی به علت مستغرق نبودن سازه همیشه در حال افزایش می‌باشد ولی از حالتی که ارتفاع شکاف 0/6 برابر قطر سازه می-شود شیب خط افزایشی کمتر می‌شود.

با بررسی و مقایسه حجم آبشویی مربوط به سازه نیم استوانه با قطر 15/24 سانتی‌متر و مقایسه آن با آبشویی سازه با قطر 12/7 سانتی‌متر مشاهده گردید همان روند آزمایش‌ها در این سازه نیز وجود دارد و بیشترین افزایش درصد رسوب‌شویی زمانی صورت می‌پذیرد که در آن نسبت پارامترهای بی بعد  $\frac{D_a}{L_a} = 2$  و  $\frac{H_a}{D_a} = 0/6$  بر قرار باشد. بنابراین برای بدست آوردن

جدول 5- حجم رسوب شویی و درصد افزایش آن برای نیم استوانه با قطرهای مختلف.

مدل	$\frac{D_a}{D}$	$\frac{D_a}{L_a}$	$\frac{H_a}{D_a}$	حجم رسوب شویی ( $\text{cm}^3$ )	درصد افزایش رسوب شویی
A <sub>2</sub>	1	2	0/6	653	957
A <sub>3</sub>	1/5	2	0/6	834	1250
A <sub>4</sub>	2	2	0/6	1197	1838
A <sub>5</sub>	2/5	2	0/6	1915	3000
A <sub>6</sub>	3	2	0/6	1749	2733
A <sub>8</sub>	4	2	0/6	215	243
A <sub>10</sub>	5	2	0/6	150	143



شکل ۸- مقدار حجم رسوب شویی برای قطرهای مختلف نیم استوانه

استوانه از حالت مستغرق خارج شده و گرداب‌های داخل نیم استوانه می‌توانند آزادانه در داخل آن حرکت کنند و با قدرت بیشتری رسوبات زیادی را منتقل کنند. به همین دلیل در آزمایش‌های بعدی تأثیر ارتفاع نیم استوانه ( $H_s$ ) برای کارگذاری جلوی تخلیه کننده تحتانی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها که بر روی سازه‌ی نیم استوانه با قطرهای مختلف انجام گرفت ارتفاع سطح آب ثابت و برابر 40 سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر سازه نیم استوانه چنان کار گذاشته شد که به ترتیب سازه 10 سانتی‌متر بیرون از سطح آب، هم‌تراز با سطح آب و 10 سانتی‌متر زیر سطح آب قرار گرفت. لازم به توضیح است که در حالت سوم سازه به صورت مستغرق عمل نمود. همچنین شکاف‌های بهینه نیز در پایین سازه ایجاد گردید ( $\frac{D_a}{L_a} = 2$  و  $\frac{H_a}{D_a} = 0/6$ ).

جدول 6 حجم رسوب شویی را برای سازه‌هایی با ارتفاع کارگذاری مختلف نشان می‌دهد. شایان ذکر است که حجم رسوب شویی در حالت بدون قرارگیری سازه برای ارتفاع سطح آب 40 سانتی‌متر برابر 82/5 سانتی-متر مکعب می‌باشد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین رسوب شویی برای  $\frac{D_a}{D} = 2/5$  اتفاق می‌افتد ( $D_a$  قطر نیم استوانه و  $D$  قطر دریاچه خروجی می‌باشد). که مربوط به قطر 12/7 سانتی‌متر است که حجم رسوب شویی در حدود 30 برابر گردید. همچنین بررسی‌ها نشان داد که در قطرهای بزرگ نیم استوانه (20/82 و 25/4 سانتی‌متر)، رسوبات کمتری به پایین دست منتقل می‌شود که شاید این مساله با تشکیل گرداب‌های ضعیف‌تر در داخل سازه در ارتباط بوده باشد. به طور کلی با افزایش قطر سازه نیم استوانه به 2/5 برابر قطر تخلیه کننده تحتانی حجم حفره به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که قطر سازه نصب شده نباید بیشتر از 3 برابر قطر تخلیه کننده و نیز همچنین کمتر از 2/5 برابر تخلیه کننده تحتانی باشد تا بیشترین عملکرد را داشته باشد.

تأثیر ارتفاع سازه نیم استوانه بر روی رسوب شویی

همان طور که در شکل‌های 5 و 7 مشاهده شد با کاهش ارتفاع سطح آب به 15 سانتی‌متر نمودارها روند افزایشی از خود نشان دادند. در این حالت سازه‌های نیم

جدول 6- حجم رسوب شویی با ارتفاع کارگذاری ( $H_s$ ) مختلف .

حجم رسوب شویی ( $\text{cm}^3$ )			مدل
$H_s=30\text{cm}$	$H_s=40\text{cm}$	$H_s=50\text{cm}$	
427	744	735	$A_2$
668	947	935	$A_3$
1126	1482	1461	$A_4$
1753	2124	2088	$A_5$
1618	3694	3676	$A_6$
276	5500	5471	$A_8$

همان‌طور که در جدول 5 مشاهده می‌شود با کاهش ارتفاع سازه حجم رسوب شویی کاهش می‌یابد. زمانی که ارتفاع سازه بالاتر یا هم‌تراز سطح آب باشد حجم رسوب شویی تقریباً مساوی و بیشتر از حالتی است که سازه در آب مستغرق باشد همچنین کاهش حجم رسوب شویی در حالت مستغرق بودن سازه در نیم استوانه‌هایی با قطر بزرگتر بیشتر بوده و در نیم استوانه با قطر 20/82 سانتی‌متر بطور متوسط حجم رسوب شویی به میزان 95 درصد کاهش از خود نشان می‌دهد. پس می‌توان نتیجه گرفت هر چه ارتفاع سازه نیم استوانه از سطح آب بیشتر باشد گرداب‌های تشکیل شده داخل نیم استوانه با قدرت بیشتری رسوبات را تخلیه نمایند.

همچنین نتایج نشان داد که با کاهش ارتفاع سطح آب از 50 به 30 سانتی‌متر افزایش حجم رسوب شویی نسبت به کاهش ارتفاع از 50 به 15 سانتی‌متر به اندازه 34 درصد کمتر بوده است. علت این است که با انتخاب ارتفاع سازه‌های نیم استوانه به اندازه 2 برابر قطر نیم استوانه در ارتفاع سطح آب 50 و 30 سانتی‌متر سازه‌ها در آب مستغرق بوده ولی در ارتفاع 15 سانتی‌متر سازه نیم استوانه به حالت غیر مستغرق بوده و در

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که با کارگذاری سازه‌ی نیم استوانه در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی حجم رسوب شویی افزایش می‌یابد به عبارت بهتر یک جفت گرداب چرخشی در داخل سازه نیم استوانه در دو طرف محور مرکزی دریاچه بوجود می‌آید. شدت گرداب‌ها بستگی به ارتفاع شکاف ایجاد شده بر روی سازه دارد. آزمایش‌ها روی سازه با قطرهای 12/7 و

تحتانی، بیشترین حجم رسوب شویی را تولید می‌نماید و در این حالت حجم رسوب شویی به میزان 30 برابر حالت بدون سازه افزایش یافت.

این حالت رسوبات بیشتری منتقل می‌شدند. با کارگذاری سازه نیم استوانه با قطرهای مختلف و با شکاف‌های ایجاد شده معین مشخص گردید که نیم استوانه با قطر 2/5 برابر قطر دریچه تخلیه کننده

#### منابع مورد استفاده

امامقلی زاده ص، بینا م، قمشی م و جهانی ح، 1386. بررسی و ارزیابی رسوب شویی تحت فشار در سدهای مخزنی با استفاده از مدل فیزیکی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. جلد سوم، شماره 1. صفحه‌های 68 تا 79.

حکمت ک و شفافی بجستان م، 1385. شرایط تخلیه رسوب چسبیده از مجاری تحت فشار با استفاده از موج ناگهانی. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، 24-26 بهمن ماه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

مشکاتی م، دهقانی ا، ناصرغ، امامقلی زاده ص و ابراهیمی ف، 1388. تأثیر ابعاد دریچه تحتانی بر حجم و ابعادمخروط آبشستگی در رسوب‌شویی تحت فشار. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، 6-8 بهمن ماه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- Althous J, 2011. Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet induced flow. PhD Thesis. Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Swiss.
- Fang D and Cao S, 1996. An Experimental study on scour funnel in front of a sediment flushing outlet of a Reservoir. Pp. I.78-I.84. Proceedings of the 6<sup>th</sup> Federal Interagency Sedimentation Conference. 10-14 March, Las Vegas, USA
- Jalili H and Hosseinzadeh Dalir A, 2012. Extend the vortex flow around the reservoirs sluice gate, Proceeding of the First International Conference on Dams and Hydropower. 7-9 February, Tehran, IRAN.
- Kumar V, Rango Raju KG, Vittal N, 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. Journal of Hydraulics Engineering ASCE 125(12): 1302-1305.
- Morris L G and Fan J, 1997. Reservoir Sedimentation Handbook. Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use, McGraw-Hill, New York.
- Talebbeydokhti N and Naghshineh A, 2004. Flushing sediment through reservoirs. Iranian Journal of Science & Technology Transaction B 28:119-136
- Powell N D, 2007. Sediment transport upstream of orifice. PhD Thesis, Clemson University. South Carolina UMI Number: 3290698.
- White R, 2000. Flushing of Sediments from Reservoirs, ICOLD. World Register of Large Dams, HR Wallingford, UK.