



## بررسی راندمان تله اندازی رسوب در حالت قرارگیری یک مانع با شکل، ارتفاع و زاویه مختلف در بالادست لوله گردابی

ابوالقاسم گرمسیری<sup>۱</sup>، حیدرعلی کشکولی<sup>۲</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۳</sup> و هوشنگ حسونی زاده<sup>۴</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. mo\_he3197@yahoo.com

۴- سازمان آب و برق خوزستان، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۱

بازنگری: ۱۳۹۶/۹/۹

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۱

### چکیده

لوله گردابی سازه‌ای است که از طریق یک شکاف طولی روی آن و جریان گردابی تشکیل یافته درون آن رسوب بستر را جدا می‌کند. لوله گردابی از جمله سازه‌های جداکننده رسوب می‌باشد که به راحتی و با وجود هزینه بسیار کم می‌توان در ابتدای آب‌گیر کانال‌ها نصب نمود. حتی در کانال‌هایی که در حال بهره‌برداری هستند، احداث آن به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. در مطالعه حاضر با بررسی آزمایشگاهی سعی گردید تا با قراردادن یک مانع با ارتفاع و زاویه قرارگیری مختلف راندمان تله‌اندازی رسوب در لوله گردابی را افزایش داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که درصد رسوب ورودی به لوله گردابی به شرایط هیدرولیکی جریان (فروود جریان) و زاویه قرارگیری مانع و لوله بستگی دارد، به طوری که با افزایش عدد فروود و ارتفاع مانع، راندمان تله‌اندازی کاهش یافت. همچنین راندمان تله‌اندازی در لوله گردابی و مانع با زاویه ۶۰ درجه حدود ۱۳ درصد از حالت نصب با زاویه ۹۰ درجه بیشتر بود.

کلید واژه‌ها: لوله گردابی، مانع، رسوب، عدد فروود، راندمان تله‌اندازی.

یک سمت لوله هدایت نماید (Moazen and Shafai, 2003).

این سازه ابتدا توسط Parshall (1951) معرفی و در ابتدای یکی از کانال‌ها که به طور مستقیم از رودخانه منشعب می‌شد نصب گردید. وی مشاهده کرد که کمترین کارایی لوله‌های گردابی، هنگامی رخ می‌دهد که جریان بحرانی باشد (Nikmehr et al., 2010).

Blench (1952) نشان داد که رسوبگیر ورتکس برای کانال‌های بزرگ با ظرفیت حمل جریان ۲۸۰ مترمکعب بر ثانیه قابل به کارگیری است. Ahmed (1958) استفاده از تونل‌های شکاف‌دار در مسیر جریان را مطرح کرد. وی به این نتیجه رسید که لوله گردابی راندمان بالاتری در خروج رسوبات برای یک آبگیر جلویی (Frontal Intake) می‌تواند داشته باشد. وی همچنین بهترین عدد فروود در محل لوله گردابی را ۰/۸ بیان کرد که در آن بیشترین راندمان تله‌اندازی رسوب داشته باشد. Robinson (1962) به این نتیجه رسید که هنگامی که شکل کف کانال مسطح باشد و هیچ‌گونه افزایش یا کاهش ارتفاعی نداشته باشد، وابستگی به عدد فروود بیشتر تأثیرگذار است. همچنین ایشان در این مطالعه به این نتیجه رسید که قطر لوله گردابی باید تقریباً

### مقدمه

یکی از نکات مهم در طراحی آبگیر این است که شرایطی فراهم شود تا آب منحرف شده توسط آب‌گیر، دارای حداکثر دبی جریان و حداقل رسوب باشد. به طور کلی انتقال رسوب رودخانه به آب‌گیر و کانال انتقال، مشکلات عدیده‌ای را به همراه دارد. به طور مثال، ترسیب آنها در کانال باعث کاهش ظرفیت و افزایش هزینه‌های نگهداری تأسیسات می‌شود. معمولاً تلاش می‌گردد تا از ورود رسوبی که به صورت بار بستر در رودخانه‌ها حرکت می‌کند، به آبگیر جلوگیری شود. روش‌هایی چون افزایش تراز کف آب‌گیر (sill) نصب دیواره‌های کف یا صفحات مستغرق (submerged vane) برای دور کردن رسوب از دهانه آبگیر از جمله این روش‌ها است (Jafarzadeh, 1992).

لوله گردابی سازه‌ای است با یک شکاف طولی در بالای آن که در بستر و عرض کانال نصب می‌گردد. عملکرد این لوله بر اساس نیروی ثقل ذرات رسوبی و نیروی چرخشی حلزونی شکلی است که درون لوله بوجود می‌آید و می‌تواند ذرات رسوبی را که از شکاف بالایی در اثر وزن ذره به درون لوله سقوط کرده به

با افزایش نسبت عرض شکاف به قطر لوله به صورت محسوسی افزایش یافت.

مطالعه‌های انجام شده تاکنون توانسته است عملکرد این سازه را در جداکردن بار بستر نشان دهد، در این تحقیق جهت افزایش راندمان تله‌اندازی لوله گردابی از یک مانع با اشکال هندسی مختلف شامل مربع، مثلث و منحنی با ارتفاع و زاویه مختلف در بالادست لوله گردابی استفاده شد. این آزمایش‌ها با تغییر در عدد فرود کانال (شرایط هیدرولیکی جریان) انجام گرفت که نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

### مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این مطالعه با توجه به اینکه متغیرهای زیادی در میزان راندمان تله‌اندازی رسوب و میزان تلفات آب لوله گردابی موثر هستند، ابتدا سعی گردید تا با شناخت این متغیرها و استفاده از قضیه باکینگهام رابطه کلی شامل پارامترهای بی‌بعد استخراج گردد. روابط کلی استخراج شده عبارتند از:

$$Te, R = f(Q, QS, y, V, g, \mu, \rho, D50, v, hs, sh, \beta, D, Tp, \theta s, Ap, Sp, \sigma) \quad (1)$$

که در آن  $Q$  دبی جریان در کانال،  $QS$  دبی تزریق رسوبات،  $y$  عمق جریان در کانال،  $V$  سرعت جریان در کانال،  $g$  شتاب ثقل،  $\mu$  ویسکوزیته دینامیکی،  $\rho$  چگالی سیال،  $D50$  قطر متوسط رسوبات،  $v$  ویسکوزیته جنبشی،  $hs$  ارتفاع مانع،  $\beta$  زاویه کمان در مانع منحنی شکل،  $Sh$  شکل مانع،  $D$  قطر لوله گردابی،  $Tp$  عرض شیار روی لوله گردابی،  $\theta s$  زاویه قرارگیری لوله و مانع نسبت به امتداد جریان در آبگیر،  $Sp$  شیب کف لوله گردابی،  $\sigma$  کشش سطحی،  $Te$  راندمان تله‌اندازی.

پس از انتخاب متغیرهای  $Q, D50$  و  $\rho$  به عنوان متغیرهای تکراری و انجام آنالیز ابعادی رابطه بدون بعد به شکل زیر به دست آمد:

$$Te, R = f\left(Gs, \frac{V^2}{gy}, \frac{D50}{D}, \frac{y}{D}, \frac{\rho Vy}{\mu}, \theta s, Sh, hs/y\right) \quad (2)$$

که در این رابطه  $Te$  راندمان تله‌اندازی و برابر است با نسبت دبی رسوب خروجی از لوله گردابی،  $(Qs)$  به کل رسوب بستر در کانال آبگیر  $(Qsi)$  و به همین ترتیب  $R$  درصد تلفات آب و برابر است با نسبت دبی خروجی از لوله گردابی  $(Qvt)$  به دبی کل در کانال آبگیر  $(Qi)$ ، سرعت  $V$ ، عمق جریان در کانال بالادست لوله گردابی،  $G_s$  چگالی ذرات رسوب،  $g$  شتاب ثقل،  $D50$  قطر متوسط ذرات،  $\rho$  جرم واحد حجم آب،  $D$  قطر لوله،  $\mu$  لزوجت دینامیکی،  $\theta s$  زاویه مانع و لوله نسبت به جریان،  $Sh$  شکل مانع و  $hs/y$  نسبت ارتفاع مانع می‌باشد و  $\frac{\rho Vy}{\mu}$  عدد رینولدز و  $\frac{V^2}{gy}$  عدد فرود جریان می‌باشد. در نهایت با توجه به ثابت بودن عمق جریان، اندازه و

برابر با عمق جریان (در عدد فرود  $0/8$ ) باشد و دو لبه لوله باید هم‌تراز بوده و قطر دهانه شکاف لوله یک ششم محیط لوله باشد. رایبسون برای رسوباتی با قطر متوسط  $0/45$  میلی‌متر هنگامی که کف کانال یک دست (در یک سطح) باشد، بهترین دامنه عدد فرود را  $0/6$  الی  $0/7$  تخمین زد و برای قطرهای بزرگتر رسوب، عدد فرود بیشتری را پیشنهاد داد. Robinson (1962) دریافت که در طراحی رسوب‌گیر ورتکس در صورتی که دو لبه لوله در یک سطح باشند، راندمان افزایش می‌یابد. همچنین ایشان به این نتیجه دست یافت که در یک شرایط مشخص در صورتی که غلظت رسوب از یک حدی زیادتر شود، به علت مسدود شدن لوله‌ها، راندمان به شدت کاهش می‌یابد. ایشان عدد فرود  $0/8$  را در کانال پیشنهاد دادند (Robinson, 1962). Atkinson (1994a) با تحقیقاتی که بر روی زاویه قرارگیری لوله ( $\theta$ ) و نسبت عرض شکاف لوله به قطر لوله ( $t/d$ ) انجام داد، نشان داد که سرعت مماسی درون لوله هنگامی حداکثر مقدار خود را دارد که لوله با زاویه  $90^\circ$  یا نزدیک آن نسبت به مسیر جریان قرار گیرد و نسبت ( $t/d$ ) کم باشد (حدود  $0/3$  یا کمتر). Nikmehr et al. (2010) به بررسی پارامترهای موثر بر تله‌اندازی لوله رسوب‌گیر گردابی با دبی خروجی به صورت کنترل شده و کنترل نشده پرداختند. نتایج ایشان نشان داد زمانی که نسبت عرض شکاف لوله (ورودی رسوبات) به قطر لوله برابر  $0/15$  باشد، پارامترهای موثر بر تله‌اندازی رسوبات، در شرایط کنترل شده و کنترل نشده در شرایط بهینه می‌باشند.

به نظر Atkinson (1994a) اگر چه لوله گردابی یک راه‌حل جامع برای مشکلات رسوب‌گذاری در کانال‌ها نمی‌باشد ولی در مقایسه با سایر روش‌های کنترل رسوب، ارزان‌تر بوده و بخش اعظم رسوبات بستر را با صرف  $10\%$  تا  $20\%$  درصد دبی کانال جدا می‌نماید.

Moazen و Shafai bejestan (2003) نشان دادند که راندمان تله‌اندازی به عدد فرود جریان بستگی دارد، به طوری که با افزایش عدد فرود، ابتدا راندمان تله‌اندازی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بیشترین راندمان تله‌اندازی در محدوده عدد فرود  $0/6$  می‌باشد. میزان تلفات آب نیز با افزایش عدد فرود کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین میزان تلفات آب  $8/5\%$  درصد برای عدد فرود  $0/2$  و کمترین آن  $4\%$  درصد برای عدد فرود  $1/09$  بوده است. مقدار تلفات آب برای عدد فرود  $0/6$  تا  $0/8$  حداکثر  $7\%$  درصد می‌باشد.

Moradi (2013) اثر لوله گردابی بر خروج رسوبات ورودی به آب‌گیرهای جانبی در قوس  $180^\circ$  درجه را مورد بررسی قرار دادند که نتایج این تحقیق نشان داد با تغییر زاویه قرارگیری لوله گردابی از  $90^\circ$  درجه به سمت  $60^\circ$  درجه، راندمان تله‌اندازی رسوب افزایش می‌یابد و همچنین نشان داد راندمان تله‌اندازی لوله گردابی در عدد فرود حدود  $0/8$  بیشترین مقدار را خواهد داشت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد با افزایش نسبت عرض شکاف لوله به قطر آن راندمان تله‌اندازی افزایش می‌یابد. در این تحقیق درصد تلفات آب

اشل مدرج با دقت کمتر از یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار سرعت جریان نیز از تقسیم دبی کل به سطح مقطع بالادست لوله گردابی محاسبه گردید.

در کلیه آزمایش‌ها مقدار دبی رسوب تزریقی در ابتدای کانال مساوی بود. مکانیسم کار به این گونه بود که ابتدا تمامی مخزن از آب پر شده و سپس تا ارتفاع معین (که در همه آزمایش‌ها مساوی بود) رسوب وارد مخزن شد. طی بررسی‌های به عمل آمده در خصوص این دستگاه و اندازه‌گیری مقدار رسوب خروجی در حالت‌های مختلف، مشخص شد که در صورت وجود هد ثابت آب بر روی رسوبات و تزریق رسوب به صورت متناوب در دستگاه، نرخ خروج رسوبات ثابت بود. سپس درحالی که درپچه پایین دست اصلی و خروجی لوله گردابی کاملاً بسته بودند، جریان به آهستگی وارد کانال می‌گردید تا سطح آب بالا بیاید. آنگاه درپچه پایین دست فلوم به آهستگی باز و همزمان با تغییر در گشودگی درپچه مقدار سطح آب در کانال تنظیم می‌شد و سپس لوله گردابی باز شده و همزمان شیر تزریق رسوب نیز باز شده و آزمایش شروع می‌شد. لازم به ذکر است عمق آب در فلوم اصلی در تمامی آزمایشات ثابت در نظر گرفته شد و دبی به صورت کنترل نشده در کانال و لوله گردابی در جریان بود. این شرایط به مدت یک ساعت ادامه یافت و پس از آن رسوب مطابق آنچه که قبلاً ارائه شده، جمع‌آوری و اندازه‌گیری می‌شد. با توجه به این که هدف این آزمایش مقایسه بین شرایط مختلف قرارگیری مانع بر راندمان تله‌اندازی رسوب بود و از طرفی تزریق رسوب در این تحقیق انجام شد، یک ساعت به عنوان زمان آزمایش مد نظر قرار گرفت. در مجموع ۷۲ آزمایش انجام گردید. جدول (۱) دامنه تغییرات پارامترهای به کاررفته در این مطالعه را نشان می‌دهد.

چگالی ذرات و همچنین بدون تأثیر بودن عدد رینولدز، رابطه (۲) به شکل زیر اصلاح می‌شود:

$$T_{e,R} = f\left(\frac{V^2}{g\nu}, \theta s, Sh, hs/y\right) \quad (3)$$

برای یافتن تأثیر هر یک از پارامترهای بی‌بعد معادله (۳) بر  $R$  و  $T_e$  لازم است تا آزمایش‌هایی انجام گردد. بنابراین آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاهی با طول ۶ متر و عرض و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر، که به این منظور در آزمایشگاه هیدرولیک سازمان آب و برق خوزستان ساخته شد، انجام گرفت که در آن جریان اصلی از مخزن زیرزمینی وارد مخزن ابتدایی کانال شده و از آنجا با عبور از روی سرریز ۹۰ درجه وارد فلوم گردید. برای آرام کردن جریان ورودی از توری و پوشال استفاده گردید. جریان پس از عبور از فلوم وارد حوضچه‌ای می‌شود که در انتهای آن سرریز مثلی ۹۰ درجه قرار دارد که برای اندازه‌گیری دبی استفاده می‌شود. موقعیت قرارگیری لوله گردابی در فلوم آزمایشگاهی (آزمایش شاهد)، در شکل (۱) نشان داده شده است. نمای شماتیک از نحوه قرار گرفتن مانع بر روی لوله گردابی در شکل (۲) نشان داده شده است.

دبی جریان خروجی از لوله گردابی وارد کانال شیشه‌ای به ابعاد  $130 \times 70 \times 40$  سانتی‌متری می‌شود که هم به روش حجمی و هم توسط تفاضل دبی ورودی از سرریز ابتدایی و خروجی از سرریز انتهایی اندازه‌گیری شد (هر دو روش مقادیر مشابهی را نشان دادند). در پایان هر آزمایش میزان رسوب خارج شده توسط لوله گردابی که در کانال شیشه‌ای ترسیب گردید، به روش حجمی به وسیله ظرف مدرج اندازه‌گیری شد. رسوب مورد نیاز آزمایش نیز از طریق مخزن تزریق رسوب با حجم مشخص و دبی تزریق ثابت تامین گردید (رسوبات با قطر متوسط  $0/5$  میلی‌متر و به صورت بار بستر بودند). عمق آب در مقاطع بالادست محل نصب لوله توسط

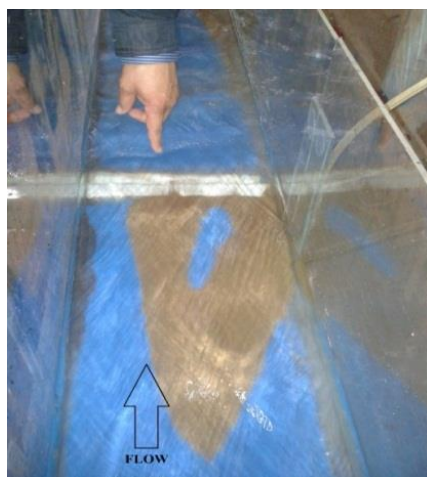


Fig. 1- Location of the vortex tube in the experimental flume - the control experiment (without baffle)

شکل ۱- موقعیت قرارگیری لوله گردابی در فلوم آزمایشگاهی - آزمایش شاهد (بدون حضور مانع)

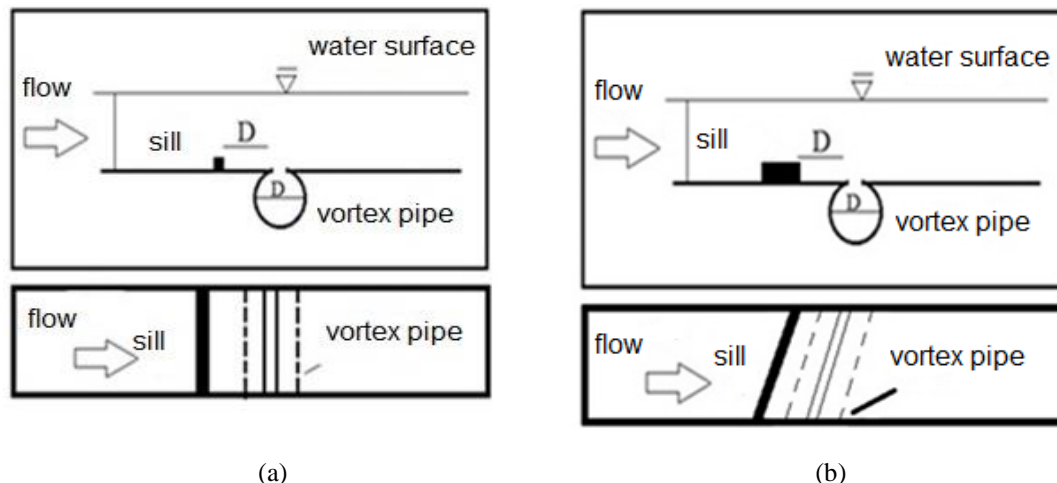


Fig. 2- Placement of the a) 90 deg, b) 60 deg, baffle before the vortex tube on the flume bed (D is pipe diameter and distance of baffle to pipe)

شکل ۲- نحوه قرارگیری مانع (الف) با زاویه ۹۰ درجه و (ب) مانع با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جریان در ابتدای لوله گردابی در کف فلوم (D قطر لوله و فاصله مانع تا لوله)

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای بکار رفته در این مطالعه

Table 1- The range of parameters incorporated in this study

Parameter	Ratio of the slit width to the tube diameter (%)	Baffle shape	Ratio of baffle height to water depth (%)	Froude number	The average size of the sediments (mm)	The angle of vortex tube and baffle (°)	Distance of baffle from tube upstream
Range	20	Square, Triangular, Parabolic	19, 25, 31	0.5-0.9	0.5	60, 90	Equal to tube diameter (D)

در لوله به وجود می‌آید به حرکت درآمده و از قسمت خروجی وارد کانال فرعی می‌شود که پس از تله‌اندازی، در انتهای آزمایش اندازه‌گیری شد (به روش حجمی). رسوبات ترسیب شده در پایین دست لوله در کانال نیز در طول آزمایش به صورت حجمی با استفاده از ظرف مدرج اندازه‌گیری گردید. به این ترتیب درصد رسوب ورودی به لوله محاسبه گردید.

برای بررسی و یافتن نوع رابطه بین متغیرهای مختلف در آزمایش‌ها، خلاصه اشکال و نمودارهای این تغییرات در این قسمت آورده شده است.

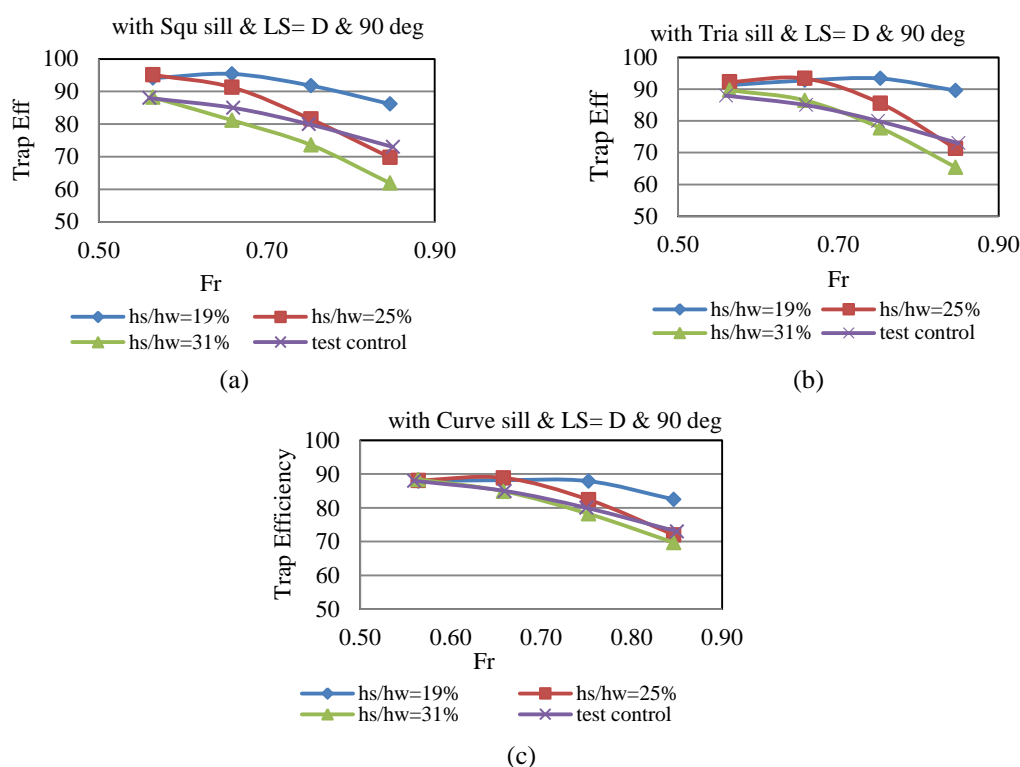
#### تأثیر ارتفاع مانع بر راندمان تله‌اندازی رسوب لوله گردابی

در این تحقیق با قرار دادن مانع با سه شکل مربع، مثلث و سهمی در بالادست و با فاصله‌ای برابر با قطر لوله گردابی راندمان تله‌اندازی بررسی گردید. هر مانع با سه ارتفاع ۱۹، ۲۵ و ۳۱ درصد عمق آب مورد آزمایش قرار گرفت، شکل (۳) راندمان تله‌اندازی را تحت تأثیر ارتفاع مانع به ترتیب در سه حالت مربع، مثلث و سهمی نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است عمق آب در کانال به صورت ثابت ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. لوله و مانع در هر دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه با هم موازی می‌باشند. دبی جریان نیز ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ لیتر در ثانیه بود که عدد فرود متناظر با این دبی‌ها، ۰/۵۶، ۰/۶۶، ۰/۷۵ و ۰/۸۵ است. با توجه به این که در خصوص کارایی لوله گردابی در خروج رسوبات ورودی به کانال‌ها تحقیقاتی صورت گرفته است و نتیجه تمام آنها توانایی و کارایی مناسب این سازه را نشان می‌دهد. در این تحقیق سعی شده است در خصوص افزایش راندمان تله‌اندازی در لوله گردابی مطالعه صورت گیرد. لذا در این تحقیق استفاده از یک مانع با اشکال مربع، مثلث و منحنی و با فاصله یک برابر قطر لوله ( $L=D=6\text{ cm}$ ) از شکاف لوله و با نسبت‌های ارتفاع سازه به عمق آب، ۱۹، ۲۵ و ۳۱ درصد بررسی شد. همچنین یک مانع مربع شکل در زاویه نصب ۶۰ و ۹۰ درجه در بالادست لوله گردابی مورد آزمایش قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

با شروع هر آزمایش بخشی از رسوب منتقل شده وارد لوله گردابی و بخشی هم از روی آن عبور کرده و به پایین دست منتقل شد. رسوب ورودی به لوله گردابی در اثر جریان‌های چرخشی که



**Fig. 3- The effect of height of the a) square baffle, b) triangular baffle, c) parabolic baffle on sediment trapping efficiency of the vortex tube.**

شکل ۳- تأثیر ارتفاع مانع با شکل (الف) مربع، (ب) مثلث و (ج) سهمی بر راندمان تله اندازی رسوب لوله گردایی

شکل ۳ (ج) نشان می‌دهد مانع سهمی شکل با ارتفاع ۱۹ درصد تأثیر مثبت بر راندمان تله اندازی داشته است به طوری که با افزایش عدد فرود از ۰/۵۶ تا ۰/۸۵ درصد راندمان تله اندازی از صفر تا ۱۳ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش یافته است.

#### تأثیر شکل مانع بر راندمان تله اندازی رسوب لوله گردایی

شکل ۴ (الف) نشان می‌دهد در مانع با ارتفاع ۱۹ درصد تا سه ارتفاع مختلف را نشان می‌دهد.

شکل ۴ (الف) نشان می‌دهد در مانع با ارتفاع ۱۹ درصد تا فرود حدود ۰/۷ مانع مربعی شکل حدود ۱۸ درصد و پس از آن مانع مثلثی ۲۳ درصد راندمان تله اندازی رسوب را افزایش دادند.

شکل ۴ (ب) نشان می‌دهد در مانع با ارتفاع ۲۵ درصد، به ترتیب در اعداد فرود ۰/۵۶، ۰/۶۶ و ۰/۷۵ راندمان تله اندازی پنج، ۱۰ و ۷ درصد افزایش و در فرود ۰/۸۵ حدود ۲/۵ درصد کاهش یافته است. در فرودهای کمتر از ۰/۶ مانع مربعی شکل، ۸ درصد و از فرود ۰/۶ تا ۰/۸ مانع مثلثی شکل، ۱۰ درصد راندمان تله اندازی را بهبود بخشیدند و در فرودهای بالاتر از ۰/۸ تمامی اشکال تأثیر منفی بر راندمان تله اندازی داشته‌اند.

شکل شماره ۴ (ج) نشان می‌دهد در مانع با ارتفاع ۳۱ درصد نیز در فرودهای کم، تأثیر معنی داری مشاهده نگردید و در فرودهای بالاتر حضور مانع تأثیر منفی داشته است.

شکل ۳ (ب) نشان می‌دهد در مانع مربع شکل در ارتفاع مانع ۱۹ درصد در تمامی فرودهای جریان تأثیر مثبت داشته است و باعث افزایش راندمان تله اندازی نسبت به حالت بدون مانع گردیده است. به طوری که در مقادیر کم عدد فرود حدود ۷ درصد و در فرود ۰/۸۵ حدود ۱۸ درصد راندمان تله اندازی نسبت به حالت بدون مانع بیشتر شده است. در مانع با ارتفاع ۲۵ درصد در فرودهای تا ۰/۷۸ حضور مانع باعث افزایش راندمان تله اندازی و در فرودهای بالاتر باعث کاهش راندمان نسبت به حالت بدون مانع شده است. به طوری که در فرودهای کم حدود ۸ درصد راندمان تله اندازی افزایش داشته است و با افزایش عدد فرود این مقدار کمتر می‌شود و در فرود ۰/۸۵ راندمان تله اندازی حدود چهار درصد نسبت به حالت شاهد کمتر شده است. در مانع با ارتفاع ۳۱ درصد در تمامی حالات راندمان تله اندازی نسبت به شاهد کمتر شده است و به طوری که این ارتفاع تأثیر منفی بر راندمان تله اندازی دارد و افزایش ارتفاع مانع باعث کاهش راندمان تله اندازی گردیده است. طبق شکل ۳ (ج)، در مانع با شکل مثلث در ارتفاع ۱۹ درصد در تمامی فرودهای جریان باعث افزایش راندمان تله اندازی نسبت به حالت بدون مانع گردیده است. به طوری که در عدد فرود ۰/۵۶ حدود چهار درصد و در فرود ۰/۸۵ حدود ۲۳ درصد راندمان تله اندازی نسبت به حالت بدون مانع بیشتر شده است.

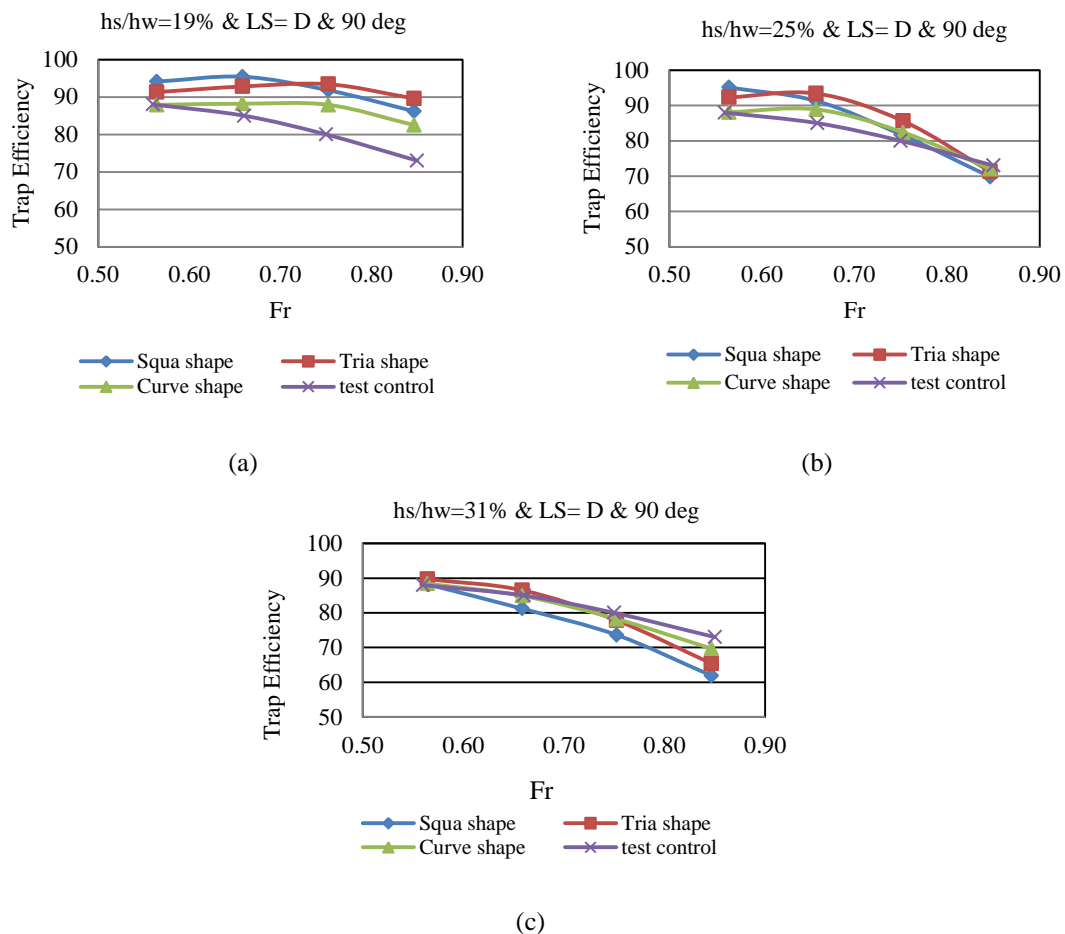


Fig. 4-The effect of baffle shape on sediment trapping efficiency at baffle heights a) 19%, b) 25% and c) 31%

شکل ۴- تأثیر شکل مانع بر راندمان تله اندازی رسوب در مانع با ارتفاع (الف) ۱۹ درصد، (ب) ۲۵ درصد و (ج) ۳۱ درصد

با افزایش ارتفاع مانع راندمان تله اندازی تا حدود ۲۹ درصد کاهش یافت. لازم به ذکر است مانع با ارتفاع ۱۹ درصد بیشترین راندمان تله اندازی را دارا بود و مانع با ارتفاع ۳۱ درصد نسبت به حالت شاهد (بدون حضور مانع) راندمان کمتری را داشت. و در مانع با این ارتفاع نه تنها باعث افزایش راندمان تله اندازی نشده بود بلکه کاهش راندمان را نسبت به حالت شاهد از خود نشان داد.

در حالت نصب لوله و مانع با زاویه ۶۰ درجه نیز با افزایش عدد فرود راندمان تله اندازی رسوب بین ۱۲ تا ۳۰ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش ارتفاع مانع، راندمان تله اندازی رسوب بین ۷ تا ۲۶ درصد کاهش یافت. به طور کلی در این زاویه، مانع با نسبت ارتفاع ۱۹ درصد بین ۶ تا ۹ درصد، و مانع با نسبت ارتفاع ۲۵ درصد حدود سه درصد افزایش راندمان تله اندازی نسبت به حالت شاهد را نشان داد.

#### تأثیر وجود مانع در بالادست لوله گردابی بر راندمان تله اندازی رسوب در دو زاویه قرارگیری

شکل (۵) راندمان تله اندازی رسوب لوله گردابی را در حالت شاهد (بدون حضور مانع) در دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به جریان نشان می دهد. در این شکل راندمان تله اندازی رسوب در حالت نصب لوله با زاویه ۶۰ درجه بین چهار تا ۹ درصد بیشتر از زاویه نصب ۹۰ درجه است. شکل (۶) راندمان تله اندازی رسوب در حضور مانع مربع شکل در بالادست لوله گردابی و در دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان می دهد.

شکل (۶) نشان می دهد در حالت نصب مانع و لوله با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان، با افزایش عدد فرود جریان راندمان تله اندازی در مانع مربع شکل بین ۸ تا حدود ۳۰ درصد، در شکل مثلث بین دو تا ۲۷ درصد و در شکل منحنی بین ۶ تا ۲۱ درصد کاهش یافت.

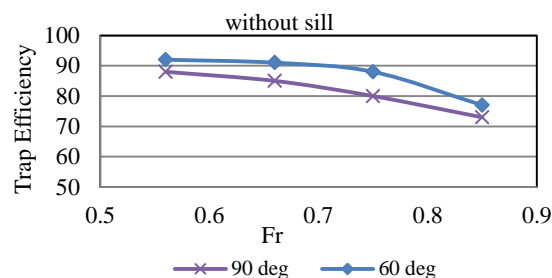


Fig. 5- Sediment trapping efficiency of the vortex tube at two orientations (60° and 90°) with respect to the flow, with no baffle.

شکل ۵- راندمان تله اندازی لوله گردابی در دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به جریان بدون حضور مانع

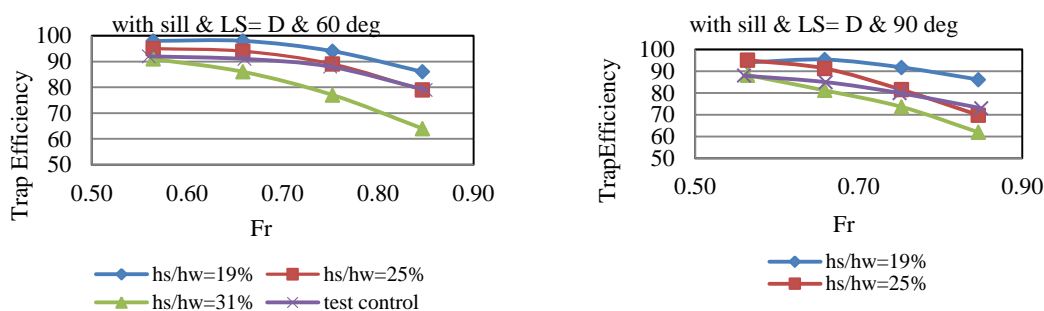


Fig. 6- Sediment trapping efficiency with baffle at 60° and 90° orientations, at different Froude numbers

شکل ۶- راندمان تله اندازی رسوب در حضور مانع مربع شکل با زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه با اعداد فرود مختلف

درجه با افزایش عدد فرود و افزایش ارتفاع مانع، تلفات جریان کاهش یافت. با توجه به این که افزایش عدد فرود به معنی افزایش سرعت جریان عبوری از روی شیار است، لذا دبی انحرافی به درون لوله گردابی بین ۴۱ تا ۴۶ درصد کاهش یافت. با افزایش ارتفاع مانع، درصد انسداد افزایش یافته و قدرت گرداب تشکیل شده بر روی آن نیز بیشتر می شود که در این حالت امتداد گرداب پس از شکاف لوله اتفاق می افتد که ورود جریان به درون لوله را بین ۱۹ تا ۲۹ درصد کاهش داد. شکل (۹) مقایسه مقدار تلفات دبی در دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه در ارتفاع های مختلف را نشان می دهد. در این شکل ها، تلفات دبی در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۹۰ درجه بین یک تا ۱۳ درصد (با توجه به فرود جریان) بیشتر است که دلیل آن می تواند سطح باز بیشتر لوله در مسیر جریان نسبت به زاویه ۹۰ درجه باشد. با افزایش عدد فرود اختلاف تلفات دبی در دو زاویه کمتر می شود.

شکل (۷) راندمان تله اندازی رسوب را در حالت نصب لوله و مانع مربع شکل با زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه نشان می دهد. مطابق شکل (۷) راندمان تله اندازی در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۹۰ درجه بیشتر است، به طوری که این راندمان در ارتفاع مانع ۱۹ درصد در اعداد فرود کم بیشترین اختلاف را داشته و راندمان تله اندازی در زاویه ۶۰ درجه حدود ۴/۲ درصد بیشتر از راندمان در زاویه ۹۰ درجه بود. در این حالت با افزایش عدد فرود راندمان تله اندازی در دو زاویه به هم نزدیک تر شده و در اعداد فرود بالا تقریباً مساوی به دست آمد. راندمان تله اندازی در ارتفاع مانع ۲۵ درصد در اعداد فرود کم در هر دو زاویه تقریباً برابر است ولی با افزایش عدد فرود، به تدریج راندمان تله اندازی در زاویه ۶۰ درجه تا حدود ۱۳/۲ درصد بیشتر از زاویه ۹۰ درجه به دست آمد. راندمان تله اندازی در ارتفاع مانع ۳۱ درصد در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۹۰ درجه در تمامی اعداد فرود، بین سه تا ۶ درصد بیشتر بود.

تأثیر شرایط هیدرولیکی جریان، شکل و ارتفاع مانع بر تلفات دبی شکل (۸) درصد تلفات دبی را در حالت نصب مانع مربع شکل با دو زاویه نصب ۶۰ و ۹۰ درجه نشان می دهد. در هر دو زاویه ۶۰ و ۹۰

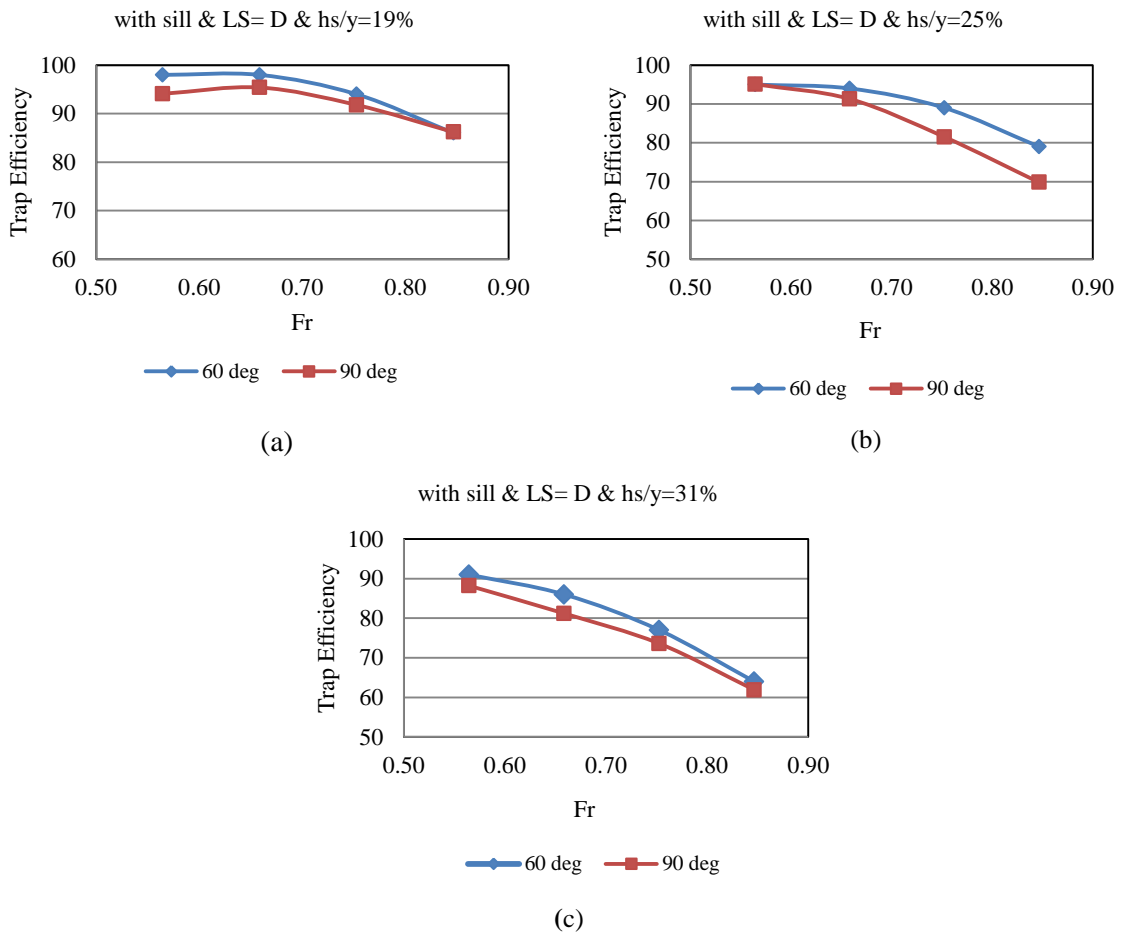


Fig. 7-Sediment trapping efficiency with 60° and 90° oriented tubes and baffles at the height a) 19%, b) 25%, and c) 31%

شکل ۷- راندمان تله اندازی رسوب در حالت نصب لوله و مانع مربع شکل با زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه با ارتفاع ۱۹ درصد، ۲۵ درصد و ۳۱ درصد

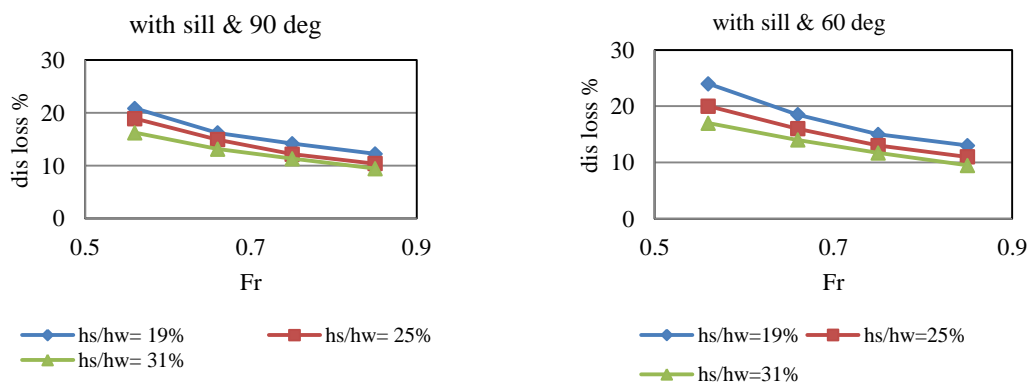


Fig. 8- Flow rate loss at 60° and 90° tube and baffle orientations

شکل ۸- درصد تلفات دبی در زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه قرارگیری لوله و مانع مربع شکل



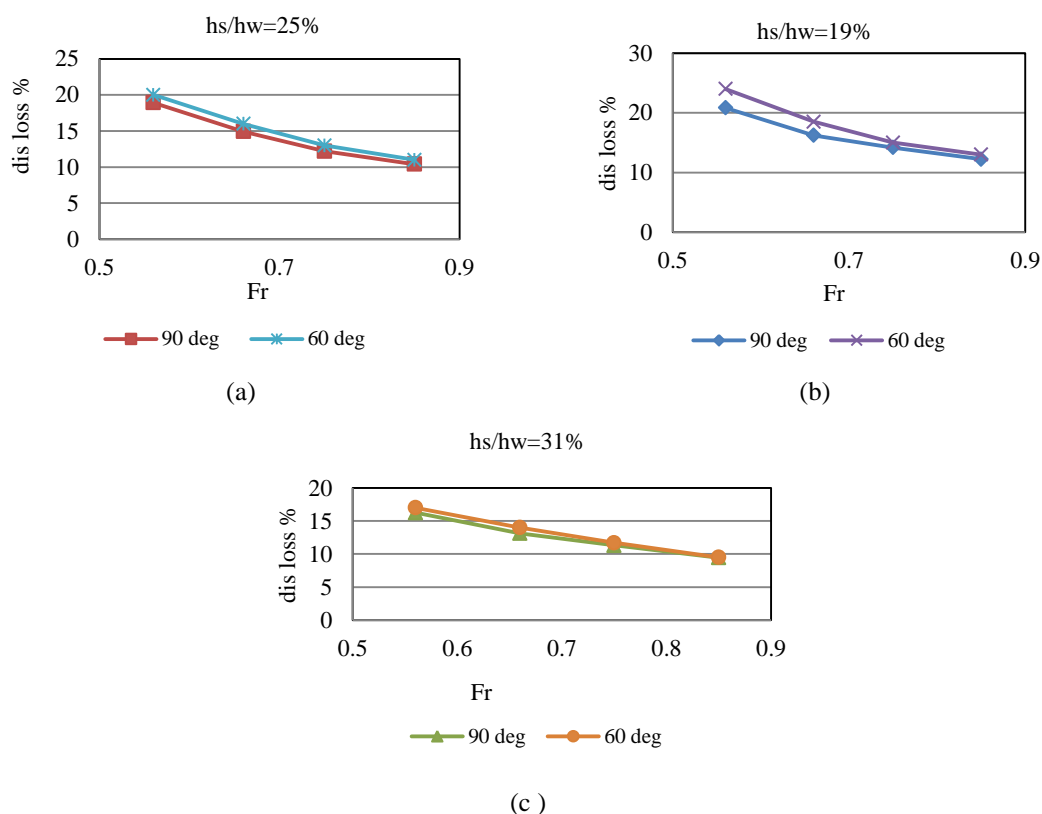


Fig.9- flow loss at 60° and 90° orientations and a) 19%, b) 25%, and c) 31% baffle height  
 شکل ۹- درصد تلفات دبی در حالت قرارگیری لوله و مانع مربع شکل با زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه در ارتفاع مانع (الف) ۱۹ درصد، (ب) ۲۵ درصد و (ج) ۳۱ درصد

سانتی متر ( $hs/y=31\%$ ) کمترین راندمان را داشته‌اند. با توجه به جدول (۵) تفاوت معنی‌دار تحت‌تأثیر دبی‌های مختلف وجود دارد. (در سطح آماری یک درصد) مقایسه میانگین مقادیر رسوب در دبی‌های مختلف نشان داد که بیشترین مقدار راندمان تله‌اندازی رسوب در دبی کم و کمترین مقدار راندمان تله‌اندازی در دبی‌های بالا اتفاق می‌افتد. در دبی‌های بالا به دلیل افزایش سرعت آب و افزایش قدرت جریان ثانویه بعد از مانع، درصدی از رسوبات از روی لوله عبور کرده و به پایین دست منتقل می‌شود که باعث کاهش راندمان تله‌اندازی در این حالت گردید. براساس این نتایج می‌توان گفت با افزایش دبی (یا به عبارت دیگر با توجه به ثابت بودن عمق جریان، با افزایش عدد فرود جریان) مقدار راندمان تله‌اندازی کاهش می‌یابد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه و تحلیل آماری سعی شد بهترین مدل برای بررسی تأثیر پارامترهایی شامل دبی، ارتفاع و شکل مانع بر راندمان تله‌اندازی به دست آید که نتایج تجزیه واریانس و رگرسیون در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

#### تأثیر ارتفاع (آنالیز واریانس Anova)

با توجه به جدول (۴) براساس نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل آماری بین ارتفاع‌های موانع اختلاف معنی‌داری در سطح آماری یک درصد وجود دارد. مقایسه میانگین مقادیر درصد تله‌اندازی رسوب برای ارتفاع‌های موانع مختلف نشان می‌دهد که ارتفاع  $1/5$  سانتی‌متر ( $hs/y=19\%$ ) بیشترین مقدار راندمان و ارتفاع  $2/5$

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌ها

Table 2- Analysis of variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F (sig)
Model	11	0.23693144	0.02153922	12.37	< 0.0001
Error	24	0.04178444	0.00174102		
Corrected Total	35	0.27871589			

جدول ۳- رگرسیون

Table 3- Regression

R - Squire	Coeff Var	Root MSE	S Mean
0.850082	4.944107	0.041726	0.843944

جدول ۴- نتایج تأثیر ارتفاع مانع بر راندمان تله‌اندازی رسوب

Table 4- The effect of baffle height on sediment trapping efficiency

Duncan Grouping	Mean Te	N	hs/hw
A	0.90083	12	(19%)
B	0.84308	12	(25%)
C	0.78792	12	(31%)

جدول ۵- تجزیه واریانس (Anova) تأثیر دبی

Table 5- Flow rate analysis of variance

Duncan Grouping	Mean Te	N	Q (L/s)
A	0.90556	9	12
B	0.89178	9	14
C	0.83578	9	16
D	0.74267	9	18

افزایش ارتفاع بین ۶ تا ۲۸ درصد، مثلث شکل بین دو تا ۲۷ درصد و منحنی شکل بین صفر تا ۱۵ درصد راندمان تله‌اندازی را کاهش داد. لازم به ذکر است در مانع با ارتفاع ۱۹ درصد تا فرود حدود ۰/۷، مانع مربعی شکل حدود ۱۸ درصد و پس از آن مانع مثلثی ۲۳ درصد راندمان تله‌اندازی رسوب را افزایش دادند. همچنین در مانع با ارتفاع ۲۵ درصد، در فرودهای کمتر از ۰/۶ مانع مربعی شکل، ۸ درصد و از فرود ۰/۶ تا ۰/۸ مانع مثلثی شکل، ۱۰ درصد راندمان تله‌اندازی را بهبود بخشیدند. راندمان مناسبی داشته‌اند و در فرودهای بالاتر از ۰/۸ تمامی اشکال تأثیر منفی بر راندمان تله‌اندازی داشتند. در مانع با ارتفاع ۳۱ درصد نیز حضور مانع تأثیر مثبتی بر راندمان تله‌اندازی نداشته است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از سازمان آب و برق خوزستان به‌ویژه بخش مدیریت منابع آب جهت در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی و همچنین از حمایت‌های شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب تشکر و قدردانی نمایند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به موارد عنوان شده در خصوص تأثیر قرارگیری مانع در بالادست لوله گردابی در دو زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه بر راندمان تله‌اندازی رسوب، به‌طور کلی وجود مانع با ارتفاع ۱۹ و ۲۵ درصد (نسبت ارتفاع مانع به عمق آب)، باعث افزایش راندمان تله‌اندازی نسبت به حالت بدون مانع گردید. مانع با نسبت ارتفاعی ۱۹ درصد، شکل مربع بین ۷ تا ۱۸ درصد، شکل مثلث بین ۴ تا ۲۳ درصد و شکل منحنی نیز بین صفر تا ۱۳ درصد راندمان تله‌اندازی را افزایش دادند. در مانع با نسبت ارتفاعی ۲۵ درصد، شکل مربع تا حدود ۸ درصد، شکل مثلث تا ۱۰ درصد و شکل منحنی تا حدود پنج درصد باعث بهبود راندمان تله‌اندازی رسوب شدند. مانع با نسبت ارتفاعی ۳۱ درصد در تمامی اشکال مانع یا بدون تأثیر بوده یا تأثیر منفی داشته و باعث کاهش راندمان تله‌اندازی رسوب گردید. نصب لوله و مانع مربع شکل با زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۹۰ درجه عملکرد بهتری بین صفر تا ۱۳ درصد را در تله‌اندازی رسوبات ورودی به آب‌گیر از خود نشان داد. همچنین در حالت تأثیر ارتفاع مانع بر راندمان تله‌اندازی رسوب در اشکال مختلف مانع، مشخص شد که در تمامی اشکال مربع، مثلث و سهمی، افزایش ارتفاع باعث کاهش راندمان تله‌اندازی رسوب می‌شود. در مانع مربع شکل

### References

- 1- Ahmed, M., 1958. Final recommendation from experiments of silt ejector of DG Kahn canal. *Hydraulic Research*, IAHR.
- 2- Atkinson, E., 1994a. vortex-tube sediment extractors.i: trapping efficiency. *Journal of Hydraulic Engineering*, (ASCE), 120(10), pp. 1110-1125.
- 3- Atkinson, E., 1994b. Vortex-tube sediment extractors. II: design. *Journal of Hydraulic Engineering* (ASCE), 120(10), pp. 1126- 1138.
- 4- Blench, T., 1952. *Discussion of Model and Prototype studies of sand traps by, R.L. Parshall*. Transactions of the American Society of Civil Engineers ASCE, 117 (1) pp. 213- 213.
- 5- Jafarzadeh, E., 1992. *Sediment control methods in Irrigation System*, First Edition, Publishing Farhangjame (In Persian).
- 6- Moazen, E. and Shafai bejestan, M., 2003. Determining of the hydraulic condition of flow in Vortex Tube, MSc Thesis. University of Shahid Chamran. . (In Persian).
- 7- Moradi, A., 2013. *Examining the effect of vortex tube on separation of sediments entering lateral intakes at 180° arcs of the rivers*. PhD thesis, Islamic Azad University of Khuzestan p.145. (In Persian).
- 8- Nikmehr, S., Farhoudi, J. and Omid, M.H., 2010. A study on the parameters effective on sediment trapping of the vortex tube with controlled and un-controlled outlet flow. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(1), pp. 53-61. (In Persian).
- 9- Parshall, R. L., 1951. Model and prototype studies of sand traps. In: *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* (ASCE).
- 10- Robinson, A.R., 1962. Vortex tube sand trap. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*., ASCE, 127, Part III, pp. 391-43