



ISSN 2251-7480

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۲

بررسی آزمایشگاهی تأثیر اندازه ذرات رسوبی و هندسه ورودی و خروجی بر راندمان حوضچه‌های تله‌اندازی رسوب

علی آریان فر^۱، محمود شفاعی بجستان^۲، امیر خسروجردی^{۳*} و حسین بابازاده^۴

- (۱) دانشجوی دکتری؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه مهندسی آب؛ تهران؛ ایران
(۲) استاد؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران اهواز؛ گروه سازه‌های آبی؛ اهواز؛ ایران
(۳) استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه مهندسی آب؛ تهران؛ ایران
* نویسنده مسئول مکاتبات: khosrojerdi@srbiau.ac.ir
(۴) استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ گروه مهندسی آب؛ تهران؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۲

چکیده

یکی از روش‌های جدا کردن و گردآوری رسوبات در مجاری باز، ایجاد حوضچه‌های تله‌اندازی رسوب می‌باشد. در این پژوهش، برای تعیین بهترین هندسه حوضچه بر پایه بیشترین درصد تله‌اندازی رسوبات، آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۴ متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر، برای ۱۳ شکل هندسی حوضچه با زوایای ورودی و خروجی مختلف انجام شد. چهار نوع ماده پلاستیکی به عنوان رسوبات آزمایشگاهی با اندازه و وزن ظاهری متفاوت ولی با چگالی‌های یکسان انتخاب و آزمایش‌ها در زمان ثابت انجام شد. نتایج نشان داد که زوایای ورودی و خروجی حوضچه‌ها، بر مقدار رسوبات ته‌نشین شده تأثیر بسزایی دارد. به گونه‌ای که در حالت دیواره ورودی قائم، هرچه زاویه دیواره خروجی ملایم‌تر باشد، مقدار تله‌اندازی بیشتر است. همچنین در حوضچه‌های رسوب که زاویه ورودی دارای شیب ملایم بوده و دیواره خروجی قائم است، هرچند رسوبات به آسانی وارد حوضچه می‌شوند، لیکن بر اثر گرداب‌های قوی تشکیل شده در پایین‌دست، بخش عمده‌ای از این رسوبات دوباره تعلق شده و به بیرون از حوضچه راه می‌یابند. بررسی کمی نتایج این پژوهش از میان ۱۳ هندسه آزمایش شده نشان داد که تله‌رسوبی با زاویه ورودی ۹۰ درجه و زاویه خروجی ۳۴ درجه، بیشترین راندمان تله‌اندازی رسوبات را دارند.

واژه‌های کلیدی: حوضچه‌های تله‌اندازی رسوب؛ راندمان تله‌اندازی؛ مدل فیزیکی

مقدمه

می‌شوند (ابراهیمی محمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ بهزادفر و همکاران، ۱۳۹۱؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۲). تخلیه این رسوبات یکی از دغدغه‌های بهره‌برداران از کانال‌ها بوده است. در مجاری بزرگ معمولاً تنها راه حل، استفاده از وسایل مکانیکی است که علاوه بر هزینه‌های زیادی که به همراه دارد، باعث آشفتنگی جریان و تعلق بخش زیادی از رسوبات نهشته شده گردیده و انتقال آنها به دوردست را نیز در پی خواهد داشت. در کانال‌های کوچک‌تر، جهت

ورود رسوبات غیرچسبنده به شبکه کانال‌های آبیاری و زهکشی و مجاری فاضلاب شهری، امری اجتناب‌ناپذیر بوده است و همیشه معضل بزرگی به شمار می‌رود. تجمع رسوبات در کانال‌ها باعث کاهش ظرفیت دبی عبوری کانال می‌گردد. رسوبات غیرچسبنده به شکل بار بستر از طریق دهانه آبگیر و یا در زمان‌های سیلابی از طریق اراضی مجاور وارد کانال می‌گردد و به تدریج در کانال انباشته

جلوگیری از ترسیب مواد، تعلیق مجدد مواد ته‌نشین شده و همچنین سیستم فلاشینگ خط فاضلاب جهت خروج بهینه مواد، مورد توجه قرار دادند. نتایج نشان داد که جهت کنترل و جلوگیری از ترسیب مواد فاضلابی، بایستی شیب تند همراه با اشکال بهینه برای کف لوله‌ها در نظر گرفت تا حتی در شرایط ورودی جریان‌های با دبی اندک، سرعت بالای جریان ایجاد شده و حفظ شود.

Thinglas و Kaushal (۲۰۰۸) در تحقیقی پنج هندسه مختلف تله شامل مستطیلی بدون درپوش، مستطیلی با درپوش، دوزنقه‌ای، دوزنقه‌ای با قاعده مستطیلی و مستطیلی با قاعده دوزنقه‌ای با درپوش در دو طرف، را مورد بررسی قرار دادند. شرایط جریان برای سه نوع ماده رسوبی شامل ذرات شن و پلاستیک در شش دبی شامل ۰/۳۵، ۰/۷، ۱/۰۵، ۱/۳۵، ۴/۵۵ و ۹/۹۵ لیتر بر ثانیه برای هر تله در مدل فلوئنت استفاده شد. این شبیه‌سازی قادر بود تا مسیر حرکت ذرات و تأثیر شدت جریان و هندسه تله را بر روی الگوی جریان توسعه یافته در داخل تله نشان دهد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که تله با شکل مستطیلی و قاعده دوزنقه‌ای بیشترین کارایی را در محبوس کردن ذرات رسوبی دارا می‌باشد.

به دلیل نبود اطلاعات کافی در زمینه رفتار ذرات و مواد مختلف در مخازن ترسیب در سیستم‌های فاضلاب مرکب، Dufresne و همکاران (۲۰۰۹) به کمک مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی سه بعدی رفتار دقیق جریان، رسوبات وارده و مکانیزم ته‌نشینی آنها و همچنین جداسازی مواد جامد را در این مخازن با یک ورودی از نوع لوله و دو خروجی شامل لوله و سرریز بررسی نمودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در خصوص درصد انتقال جرم و همچنین مناطق ترسیب شده در سیستم، هماهنگی نزدیکی با شرایط حادث شده در واقعیت (سیستم‌های فاضلاب اجرا شده) داشتند.

پرهیز از این امر، استفاده از لوله گردابی (مودن و شفاعی بجزستان، ۱۳۸۴؛ فلامکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۲) و انتقال توسط امواج ناگهانی (Shafai *et al.*, 2012) مطرح شده است. از جمله راه حل‌های کم هزینه دیگر استفاده از تله‌های رسوبی می‌باشد.

Hubbell (۱۹۹۴) گزارشی کرد که سازه‌های تله‌انداز رسوب (تله‌های رسوبی) به عنوان روشی جهت جمع‌آوری مؤثر مواد رسوبی در بستر کانال انتقال و با فواصل معینی قرار می‌گیرند تا رسوبات ورودی به کانال به راحتی وارد آنها شوند. جمع‌آوری و تخلیه این رسوبات در دوره‌های زمانی معین، توسط کارگر و یا سیستم پمپاژ (لجن کش) صورت می‌گیرد. Hubbell اولین بار به منظور کاهش مشکلات ادوات نمونه‌گیری در جریان و عملکرد بهتر آنها استفاده از تله رسوبی را مطرح نمود و در زمان خود روشی مؤثر جهت خارج نمودن انتخابی یا گزینشی مواد جامد غیرآلی به شمار می‌رفت.

Chebbo و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که استفاده از تله‌های رسوبی می‌تواند روشی مؤثر در جهت جمع‌آوری رسوبات باشد. آنها همچنین نشان دادند که این تله‌ها بایستی در موقعیت‌هایی که بیشترین پتانسیل رسوبگذاری را دارد، قرار گیرند.

Buxton و همکاران (۲۰۰۲) یک مدل محاسباتی دو بعدی جهت مقایسه نتایج تله رسوبی در مدل فیزیکی و عددی ارائه دادند. شبیه‌سازی تله مستطیلی با ۳ شکاف به اندازه ۹۰، ۴۵ و ۲۲/۵ میلی‌متر انجام شد. این تحقیقات نشان داد که نتایج مدل عددی نسبت به مدل آزمایشگاهی بسیار بیشتر است. این نتایج غیرواقعی و بیشتر از واقعیت در مدل‌های دوبعدی مذکور، بعلاوه در نظر نگرفتن نقش و تأثیر جریان عرضی یا جانبی می‌باشد.

Fan و همکاران (۲۰۰۳) علل ته‌نشینی مواد جامد فاضلاب و توسعه روش‌های کنترل و جلوگیری از تجمع این مواد را با توجه به خصوصیات فاضلاب در مقابل سرعت جریان،

زیادی در راندمان رسوب گذاری دارد. آزمایشات انجام شده نشان داد که از بین پنج هندسه مذکور، هندسه با قسمت فوقانی مستطیلی و قسمت پائینی دوزنقه بالاترین میزان تله اندازی رسوبات را داشته و نسبت به سایر هندسه ها بهتر عمل می کند.

Salem (۲۰۱۳) ضخامت رسوبات بستر در کانال های مستطیلی را بر روی آستانه حرکت ذرات با اندازه های متفاوت در آزمایشگاه بررسی نمود. نتایج نشان داد که ضخامت رسوبات بستر و اندازه ذرات رسوبی به شدت آستانه حرکت ذرات را تحت تأثیر قرار می دهند. ایشان رابطه ای براساس ضخامت مواد ته نشین شده در بستر، تنش برشی بحرانی بستر و همچنین سرعت بحرانی نیز ارائه نمود.

از آنجائیکه سرریزهای فاضلاب ترکیبی اغلب هندسه های پیچیده ای داشته و تحت شرایط هیدرولیکی کاملاً متغیری عمل می نمایند، نمی توان هیچگونه استاندارد خاصی برای آنها ارائه نمود و لذا اندازه گیری دقیق میزان تخلیه از آنها بسیار مشکل است. Lsel و همکاران (۲۰۱۴) از روشی مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی جهت ارزیابی میزان جریان سرریز شده و همچنین حل مشکل عدم قطعیت در خصوص اندازه گیری عمق جریان در شبکه های فاضلاب استفاده نمودند. روش ارائه شده محاسن بسیاری از جمله: بهینه سازی موقعیت مکانی سنسور استفاده شده در سیستم و همچنین ادغام نمودن شرایط مرزی متنوع و متفاوت و ارائه رابطه ارتفاع - تخلیه را دارد.

متاسفانه علیرغم در نظر گرفتن تأثیر دبی و نوع رسوب، پارامتر زمان که باید در آزمایش ها ثابت می بود، در مطالعات آنها مورد توجه قرار گرفته نشده است که خود صحت نتایج را زیر سوال می برد. با وجود نیاز روزافزون به تله های رسوبی، مطالعات در این زمینه بسیار اندک بوده و هنوز در خصوص چگونگی تأثیر زوایای ورودی و خروجی چاهک و تأثیر اندازه رسوب بر نرخ ته نشینی رسوبات، شناخت کافی وجود ندارد. ضمن اینکه در

Zinatizadeh و Bonakdari (۲۰۱۱) مدلی عددی را تدوین نمودند که قادر است ضریبی را که در سنسورهای آکوستیک داپلر جهت تعیین سرعت متوسط جریان در شبکه های فاضلاب استفاده می شود تعیین نماید. واسنجی مدل عددی با اندازه گیری سرعت در مقاطع مختلف در روی مدل فیزیکی در حالات مختلف انجام شد.

Piro و همکاران (۲۰۱۱) ستون های ته نشینی در شبکه های مرکب آب و فاضلاب را مورد آزمایش قرار دادند. این آزمایش ها شبیه سازی فرآیند ته نشینی در سیستم واقعی بوده و به ارزیابی کل مواد جامد معلق آبی که پس از ته نشینی از سیستم مرکب فاضلاب خارج می شود، منجر می گردد.

Kaushal و همکاران (۲۰۱۲) اولین بار بود که مطالعه عددی و آزمایشگاهی محدودی برای بررسی عملکرد تله های رسوبی انجام دادند. مدل فیزیکی از فلومی به طول ۵ متر، عرض ۱۵ و عمق ۱۵ سانتیمتر و شیب کف ۱:۵۰۰ تشکیل گردید. ۲ مخزن به ظرفیت های ۱۲۵ و ۳۰۰ لیتر به ترتیب در بالادست و پائین دست کانال قرار گرفت. در انتهای کانال جهت جمع آوری رسوبات، توری با شبکه بندی ریز تعبیه گردید. با اندازه گیری شدت جریان در عمق های مختلف، معادله دبی اشل برای کانال مذکور $Q = 0.838 d^{1.534}$ ثبت گردید. پنج هندسه تله در فاصله ۳/۵ متری ورودی مخزن بالادست در آزمایش های مختلف استفاده شد. هندسه اول مستطیلی به طول ۳۲ و عمق ۲۸ سانتیمتر، هندسه دوم دوزنقه به طول کف ۱۶ سانتیمتر و سه هندسه دیگر ترکیبی از مستطیل با کف دوزنقه و برعکس در نظر گرفته شد. رسوبات استفاده شده شامل دو مورد شن با قطرهای ۰/۱۵ و ۰/۸۰ میلیمتر، شیشه با قطر ۰/۳ و چهار دانه بندی پلاستیکی با قطرهای ۰/۳، ۰/۴، ۰/۹، ۳/۴ و ۲/۴ میلی متر می باشند. آزمایشات برای رسوبات و هندسه های مذکور برای سه دبی ۱/۵، ۳/۴ و ۴/۵ لیتر در ثانیه انجام گردید. آنها در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که نوع شکل هندسی تله رسوبی اهمیت بسیار

پائین دست کانال $200 \times 60 \times 50$ سانتیمتر می باشد. ورق هایی از جنس پلاستیک فشرده به ضخامت ۱۰ میلیمتر بر اساس ابعاد مذکور برش داده شد و پس از پیچ نمودن آنها به یکدیگر، دور تا دور آن توسط چسب های سیلیکونی درزگیری و آماده کار گردید. تله های رسوبی به عمق ۲۵ سانتیمتر، طول ۵۰ سانتیمتر و عرضی برابر عرض کانال (۲۵ سانتیمتر) ساخته شدند. جهت بررسی دقیقتر و تهیه عکس و فیلم، وجوه روبرویی کانال اصلی و کلیه تله ها، از ورق های پلکسی گلاس کاملاً شفاف به ضخامت ۸ میلیمتر تهیه گردید. جهت برقراری جریان در مدل، از یک الکتروپمپ سانتریفیوژ با دبی ماکزیمم ۸۰۰ لیتر در دقیقه استفاده شد. دبی ورودی به کانال، توسط شیرری که بر روی لوله رانش و قبل از مخزن بالادست تعبیه و مدرج گردید، تنظیم شد. جهت جمع آوری رسوبات خارج شده از تله، در انتهای کانال سازه ای فلزی با کف توری و شبکه بندی بسیار ریز تعبیه گردید. کانال ساخته شده بر روی اسکلتی فلزی به شیب $1:300$ و در ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتری از کف آزمایشگاه قرار گرفت. این ارتفاع به جهت انجام راحت تر آزمایشات و بررسی بهتر شرایط هر آزمایش و همچنین قرار دادن بیش از هشتاد درصد طول مخزن پائین دست در زیر فلوم اصلی می باشد. خلاصه ای از پارامترهای مدل فیزیکی و ویژگی های جریان، در جدول شماره ۱ ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ مدل فیزیکی استفاده شده در این تحقیق نمایش داده شده است.

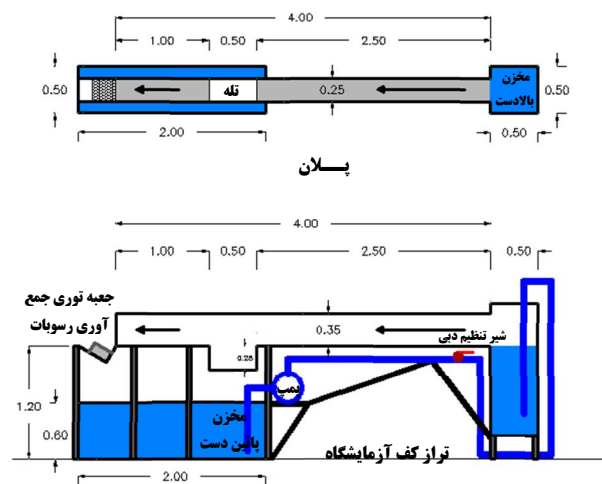
جدول ۱. خلاصه ای از پارامترهای مدل فیزیکی

پارامترهای مربوط به کانال	مقدار
طول	۴/۰ متر
عرض	۰/۲۵ متر
عمق	۰/۳۵ متر
تراز کف کانال	۱/۲ متر
شیب کف کانال (S0)	۱:۳۰۰
محدوده دبی جریان	۳ تا ۱۲ لیتر در ثانیه
معادله دبی - عمق (اشل)	$Q = 2.815 d^{1.383}$

مطالعات کاشال و همکاران به پارامتر مهم زمان تله اندازی توجه نشده است و نتایج آزمایش ها در زمان های مختلف با هم مقایسه شده است. از این رو در پژوهش حاضر، فاکتورهای بسیار مهمی همچون زمان و تأثیر زوایای ورودی و خروجی دیواره ها بر میزان تله اندازی رسوبات، بررسی گردید. بطوریکه در این تحقیق، تعداد سیزده هندسه مختلف مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش ها

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، مدل آزمایشگاهی با مشخصات و نمای پلان و ارتفاع (دید از روبرو) نشان داده شده در شکل ۱ مورد استفاده قرار گرفت. اعداد روی اشکال بر حسب متر می باشند.



شکل ۱. پلان شماتیک و دید از روبروی مدل فیزیکی ساخته شده در این تحقیق

مدل ساخته شده شامل کانالی به طول ۴ متر، عرض ۲۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۵ سانتیمتر بوده و به منظور حصول اطمینان از توسعه یافتگی و یکنواختی جریان، تله های رسوبی در فاصله ۲/۵ متری از ورودی کانال تعبیه شده اند. دو مخزن به گنجایش ۳۰۰ و ۶۰۰ لیتر به ترتیب در بالادست و پائین دست کانال تعبیه گردید. ابعاد مخزن بالادست کانال $50 \times 50 \times 120$ سانتیمتر و ابعاد مخزن

آبیاری - زهکشی یا سیستم های آب و فاضلاب به راحتی با اندازه های واقعی آنها را اجرا نمود.

به منظور انتخاب رسوب در مدل، بررسی های متعددی صورت گرفت و با در نظر گرفتن ویژگی هائی که رسوبات باید داشته باشند، یعنی الف) حالت انتقال و جابجائی رسوبات آزمایشگاهی در شرایط هیدرولیکی مشابه، بایستی مشابه حرکت رسوبات واقعی باشد ب) رسوبات آزمایشگاهی بایستی به صورت مجزا رفتار نمایند تا بتوان شرایط را در مدل های CFD نیز شبیه سازی نمود ج) رسوبات بایستی قابلیت جابجائی، شمارش و یا توزین داشته و در عین حال از ریسک کمتری نسبت به گم شدن و یا خارج شدن از سیستم آزمایش، به علت ریز بودن بیش از حد برخوردار باشند تا در هر آزمایش وزن و یا تعداد رسوبات مانده در تله و خارج شده از آن ثابت باشد. د) رسوبات انتخاب شده بایستی کاملاً شرایط فیزیکی خود را در طول آزمایشات حفظ نموده و از موادی استفاده شود که کاملاً غیرقابل تراکم باشند. نهایتاً براساس ابعاد و شرایط مدل فیزیکی و بویژه دبی جریان، چهار نوع ماده از جنس پلاستیک فشرده با چگالی ۱/۱ جهت انجام آزمایشات انتخاب گردید.

جهت تأیید اندازه و جنس رسوبات انتخابی، از مطالعات رودکیوی استفاده شد. (Raudkivi, 1990)

بدین ترتیب که عدد راوس که معمولاً جهت تعیین نوع حرکت رسوبات استفاده می شود و به صورت رابطه شماره ۱ تعریف شده است، برای رسوبات مورد استفاده در کلیه آزمایش ها تعیین گردید:

$$\eta = \frac{\omega_s}{kV^*} \quad (1)$$

در رابطه فوق η عدد راوس، ω_s سرعت ته نشینی، V^* سرعت برشی بستر و k ضریب ثابت برابر 0.4 می باشد. مشخصات و ویژگی های رسوبات مصنوعی انتخاب شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. مدل فیزیکی ساخته شده در این تحقیق

در این تحقیق تعداد ۱۳ هندسه مختلف حوضچه به صورت ترکیبی از زوایای ورودی و خروجی ۹۰، ۶۳، ۴۵ و ۳۴ درجه، مورد استفاده قرار گرفت. زوایای ورودی و خروجی، براساس تقسیم کف حوضچه ساده یا مستطیلی (هندسه شماره شش) به طول ۵۰ سانتیمتر، به چهار قسمت مساوی به طول ۱۲/۵ سانتیمتر ایجاد شده اند. برای مثال در مورد هندسه شماره یک، زاویه ورودی ۶۳ درجه از $Tan-1 (25/12.5)$ حاصل شده است. این زاویه (۶۳ درجه) در مورد هندسه شماره هفت به عنوان زاویه خروجی لحاظ شده است. یا زاویه ورودی ۴۵ درجه در مورد هندسه شماره یازده از $Tan-1 (25/25)$ حاصل شده است که همان زاویه (۴۵ درجه) در مورد هندسه شماره سیزده به عنوان زاویه خروجی لحاظ گردید. و یا زاویه ورودی ۳۴ درجه در مورد هندسه شماره ده از رابطه $Tan-1 (25/37.5)$ حاصل شده است که همان زاویه (۳۴ درجه) در مورد هندسه شماره پنج به عنوان زاویه خروجی عمل می نماید. ۱۳ مورد هندسه حوضچه، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

در این پژوهش سعی شده است تا از هندسه هایی که جنبه تئوریک داشته و در عمل قابل اجرا نیستند صرف نظر نموده و هندسه هایی انتخاب شوند که از نظر ساخت کاملاً توجیه داشته و با یک قالب بندی ساده بتوان در کانال های

جدول ۲. ویژگی و مقدار مواد انتخاب شده در این تحقیق به عنوان رسوبات آزمایشگاهی

محدوده عدد راوس	سرعت ته نشینی (mm/s)	قطر (mm)	تعداد (در ۱۰۰ گرم)	وزن (gr)	چگالی (kg/m ³)	مواد انتخاب شده به عنوان رسوبات آزمایشگاهی
۰۵/۶۹ تا ۴/۲۷	۳۵/۷۱	۴	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۱۰۰	مواد پلاستیکی شماره ۱
۰۶/۹۳ تا ۵/۱۹	۴۳/۴۸	۱۱	۱۲۳	۱۰۰	۱۱۰۰	مواد پلاستیکی شماره ۲
۱۱/۰۰ تا ۸/۲۴	۶۷/۹۶	۲۰	۶۵	۱۰۰	۱۱۰۰	مواد پلاستیکی شماره ۳
۱۱/۵۹ تا ۸/۶۹	۷۲/۷۲	۱۳	۲۰۰	۱۰۰	۱۱۰۰	مواد پلاستیکی شماره ۴

مشکل و زمان بر بود. جهت جمع‌آوری رسوبات خارج شده از تله، در انتهای کانال سازه‌ای فلزی که در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است، تعبیه گردید. جعبه‌ای فلزی با کف توری و شبکه بندی بسیار ریز (شکل ۴) که به راحتی امکان جابجائی دارد، در قسمت داخلی این سازه قرار گرفت. پس از اتمام زمان هر آزمایش (۱۰ دقیقه)، جعبه حاوی رسوبات از داخل اسکلت فلزی خارج شده و رسوبات داخل آن به عنوان رسوبات خارج شده از تله اندازه‌گیری گردید.



شکل ۴. سیستم جمع‌آوری رسوبات خارج شده از تله در انتهای کانال

روش انجام آزمایشات

چنانچه عدد راوس بین ۵ تا ۱۵ باشد، حرکت ذرات رسوبی به صورت بار بستر می‌باشد. داده‌های جدول شماره ۲ نیز نشان می‌دهد که در تمام آزمایش‌ها ذرات به صورت بار بستر حرکت خواهند نمود.

یکی از مشکلات آزمایش‌های مرتبط با رسوب، نحوه تزریق و جمع‌آوری در طول آزمایش و همچنین توزین آنها می‌باشد. خوشبختانه با توجه به کاربرد ذرات پلاستیک فشرده در این تحقیق، از روش شماره گذاری ذرات به تله افتاده و یا رد شده از تله استفاده شد. برای تعیین وزن ذرات رسوبی، ابتدا ذرات با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند تا وزن هر ذره، وزن هر ده ذره و صد ذره مشخص گردد. بدین ترتیب با توجه به اندازه هر ذره، تزریق رسوب توسط وسیله‌ای با نرخ تعیین شده انجام گردید. جهت اطمینان از یک فرآیند یکسان جهت تزریق رسوبات به جریان در طول آزمایشات، برای رسوبات نوع اول یا رسوبات ریزدانه در هر ثانیه ۲ گرم، نوع دوم در هر ثانیه ۲ عدد، نوع سوم در هر ثانیه ۱ عدد و نوع چهارم در هر ثانیه ۴ عدد به جریان تزریق شد. به این ترتیب برای کلیه رسوبات، در هر ثانیه حدود ۲ گرم تزریق داشته و زمان ورود کل رسوبات از هر نوع (۱۰۰ گرم) به جریان، در هر آزمایش بین ۵۰ تا ۶۵ ثانیه طول کشید. بر خلاف سه نوع از رسوبات که کلیه آزمایشات چه از نظر تزریق به جریان و چه از منظر جمع‌آوری و ثبت نتایج، براساس تعداد انجام شد، آزمایشات مربوط به نوع اول (ریزدانه)، به علت نیاز به خشک نمودن و سپس توزین آنها در هر آزمایش،

بندی مختلف رسوب به جریان تزریق و پس از وارد شدن آخرین رسوب به سیستم، میزان رسوبات خارج شده از تله پس از مدت زمان ۱۰ دقیقه، در انتهای کانال جمع‌آوری گردید. در طول هر آزمایش دبی و عمق جریان نیز مرتب کنترل گردید.

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری رسوبات و توزین آنها، با تقسیم وزن رسوبات باقیمانده در تله به وزن کل رسوبات تزریق شده از قسمت بالادست کانال، درصد تله‌اندازی برای هر هندسه از تله برای هر نوع رسوب تعیین شد. خلاصه نتایج در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

پیش از شروع به کار، کلیه قسمت های مدل فیزیکی بررسی و هرگونه رسوب یا مواد اضافی خارج و سیستم به خوبی تمیز گردید. سپس اولین شکل یا هندسه تله در مکان مخصوص خود قرار گرفته توسط پیچ و مهره ثابت شد. جهت اطمینان از صحت آزمایشات و عدم نشت یا خروج جریان و رسوب از سیستم، کلیه درزهای ریز توسط چسب های سیلیکونی درزگیری و جعبه جمع آوری رسوبات خارج شده از تله، در انتهای کانال و درون اسکلت فلزی از قبل آماده شده قرار گرفت. پس از تنظیم شیر بر روی حالت اول و روشن نمودن پمپ و سپری شدن حدود ۱۰ الی ۲۰ دقیقه، صحت دبی کانال با اندازه-گیری عمق جریان و براساس رابطه دبی - اشل سرریز کالیبره شده، کنترل شد. برای هر هندسه از تله، چهار دانه

جدول ۳. درصد تله اندازی در زمان ۱۰ دقیقه برای چهار نوع رسوب همراه با شرایط هیدرولیکی هر آزمایش

Q (L/s)	عدد راوس	درصد تله اندازی برای هر هندسه تله - زمان : ۱۰ دقیقه - رسوبات : نوع اول												
		۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵/۰	۴/۲۷	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۲/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۴/۰	۴/۵۵	۰/۶۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۸/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۲/۵	۵/۳۸	۷/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۴/۵۰	۱/۳۰	۷۵/۱۰۰	۳/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱/۱۰۰
۲/۰	۵/۶۹	۶۵/۱۰۰	۳۰/۱۰۰	۳/۱۰۰	۸/۱۰۰	۴/۱۰۰	۴/۱۰۰	۳۲/۱۰۰	۱۹/۱۰۰	۹۵/۱۰۰	۳۴/۱۰۰	۱۰/۱۰۰	۱۹/۱۰۰	۳۰/۱۰۰
Q (L/s)	عدد راوس	درصد تله اندازی برای هر هندسه تله - زمان : ۱۰ دقیقه - رسوبات : نوع دوم												
		۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵/۰	۵/۱۹	۰/۸۱	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۲۰/۳۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۴/۰	۵/۵۴	۴/۰۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۸۱	۰/۱۰۰	۵۲/۸۴	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۸۱	۰/۱۰۰
۲/۵	۶/۵۶	۲۹/۲۷	۱/۶۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۸/۱۳	۴/۸۷	۸۴/۵۵	۶/۵۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۱/۶۲
۲/۰	۶/۹۳	۸۲/۹۳	۵۳/۶۶	۷/۳۱	۵/۷۰	۴/۸۸	۷/۳۱	۶۵/۰۴	۴۳/۰۸	۹۴/۳۰	۶۱/۷۹	۴/۸۸	۳۲/۵۲	۵۳/۶۶
Q (L/s)	عدد راوس	درصد تله اندازی برای هر هندسه تله - زمان : ۱۰ دقیقه - رسوبات : نوع سوم												
		۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵/۰	۸/۲۴	۲۶/۱۵	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱/۵۴	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۸۱/۵۳	۳/۰۷	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۴/۰	۸/۷۸	۴۴/۶۱	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۳/۰۷	۳/۰۷	۰/۱۰۰	۹/۲۳	۷/۶۹	۱۰۰/۱۰۰	۱۳/۸۴	۰/۱۰۰	۴/۶۱	۰/۱۰۰
۲/۵	۱۰/۴۰	۹۶/۹۲	۸۳/۰۷	۶/۱۵	۳۲/۳۰	۱۶/۹۲	۱۲/۳۰	۷۳/۸۴	۷۲/۳۰	۱۰۰/۱۰۰	۶۱/۵۴	۴/۶۱	۲۳/۰۷	۴۱/۵۴
۲/۰	۱۱/۱۰	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰	۹۰/۷۷	۹۵/۳۸	۸۱/۵۴	۹۲/۳۰	۱۰۰/۱۰۰	۹۸/۴۶	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰	۸۷/۶۹	۴۹/۲۳	۹۶/۹۲
Q (L/s)	عدد راوس	درصد تله اندازی برای هر هندسه تله - زمان : ۱۰ دقیقه - رسوبات : نوع چهارم												
		۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۵/۰	۸/۶۹	۱۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۶۰/۱۰۰	۲/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰
۴/۰	۹/۲۷	۲۷/۵۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۴/۵۰	۵/۱۰۰	۹۱/۵۰	۵/۵۰	۰/۱۰۰	۰/۵۰	۰/۵۰
۲/۵	۱۰/۹۷	۹۱/۵۰	۶۷/۱۰۰	۲/۵۰	۴/۱۰۰	۴/۱۰۰	۳/۱۰۰	۵۹/۱۰۰	۵۵/۱۰۰	۹۹/۵۰	۴۳/۵۰	۰/۱۰۰	۱۵/۱۰۰	۴۱/۱۰۰
۲/۰	۱۱/۵۹	۱۰۰/۱۰۰	۹۸/۱۰۰	۶۶/۱۰۰	۸۸/۵۰	۸۱/۵۰	۷۵/۵۰	۱۰۰/۱۰۰	۹۵/۵۰	۱۰۰/۱۰۰	۹۷/۵۰	۹۷/۱۰۰	۷۹/۵۰	۹۹/۱۰۰

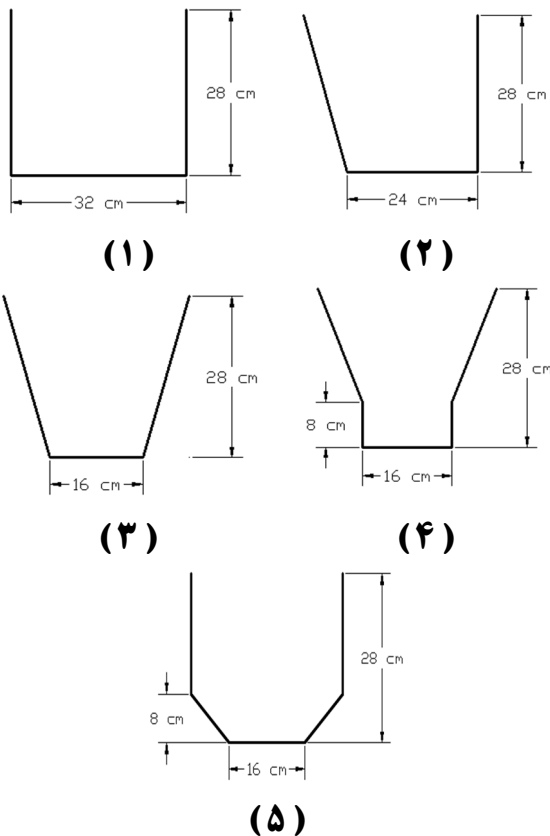
تأثیر عدد رسوب و دبی جریان بر میزان تله اندازی

عدد رسوب استخراج شده به صورت تجربی، یک پارامتر بی بعد بوده و محدوده آن برای رسوبات استفاده شده در این تحقیق در جدول شماره ۲ ارائه شده است. درصد تله اندازی در مقابل عدد رسوب و دبی جریان، برای هر هندسه از تله و چهار نوع رسوب آزمایشگاهی، در اشکال شماره ۵ و ۶ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، افزایش عدد رسوب، منجر به افزایش درصد تله اندازی می گردد. با مقایسه عملکرد تله با توجه به جنس و نوع رسوبات استفاده شده در تحقیق، نتیجه می گیریم که تله ها رفتار متفاوتی در هر مورد داشته و درصد تله اندازی برای رسوبات نوع اول و دوم (شماره ۱ و ۲) کمتر و برای رسوبات نوع سوم و چهارم (شماره ۳ و ۴) بیشتر است.

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه کاشال و همکاران

(۲۰۱۲)

کاشال و همکاران پنج هندسه تله شامل مستطیلی، دوزنقه ای و ترکیبی از مستطیل و دوزنقه را که در شکل ۷ نمایش داده شده است در آزمایشات خود بکار بردند.



شکل ۷. هندسه های استفاده شده در آزمایشات کاشال و همکاران

رسوبات استفاده شده شامل دو مورد شن با قطرهای ۰/۱۵ و ۰/۸۰ میلیمتر، شیشه با قطر ۰/۳ و چهار دانه بندی پلاستیکی با قطرهای ۰/۳، ۰/۴، ۰/۹، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ میلیمتر به وزن ۱۰۰۰ گرم بوده و آزمایشات در سه دبی ۱/۵، ۳/۴ و ۴/۵ لیتر در ثانیه انجام گردید. آزمایشات انجام شده نشان داد که از بین پنج هندسه مذکور، هندسه با قسمت فوقانی مستطیلی و قسمت پائینی دوزنقه (هندسه شماره ۵) بالاترین میزان تله اندازی رسوبات را داشته و نسبت به سایر هندسه ها بهتر عمل می کند. علیرغم استفاده از چند

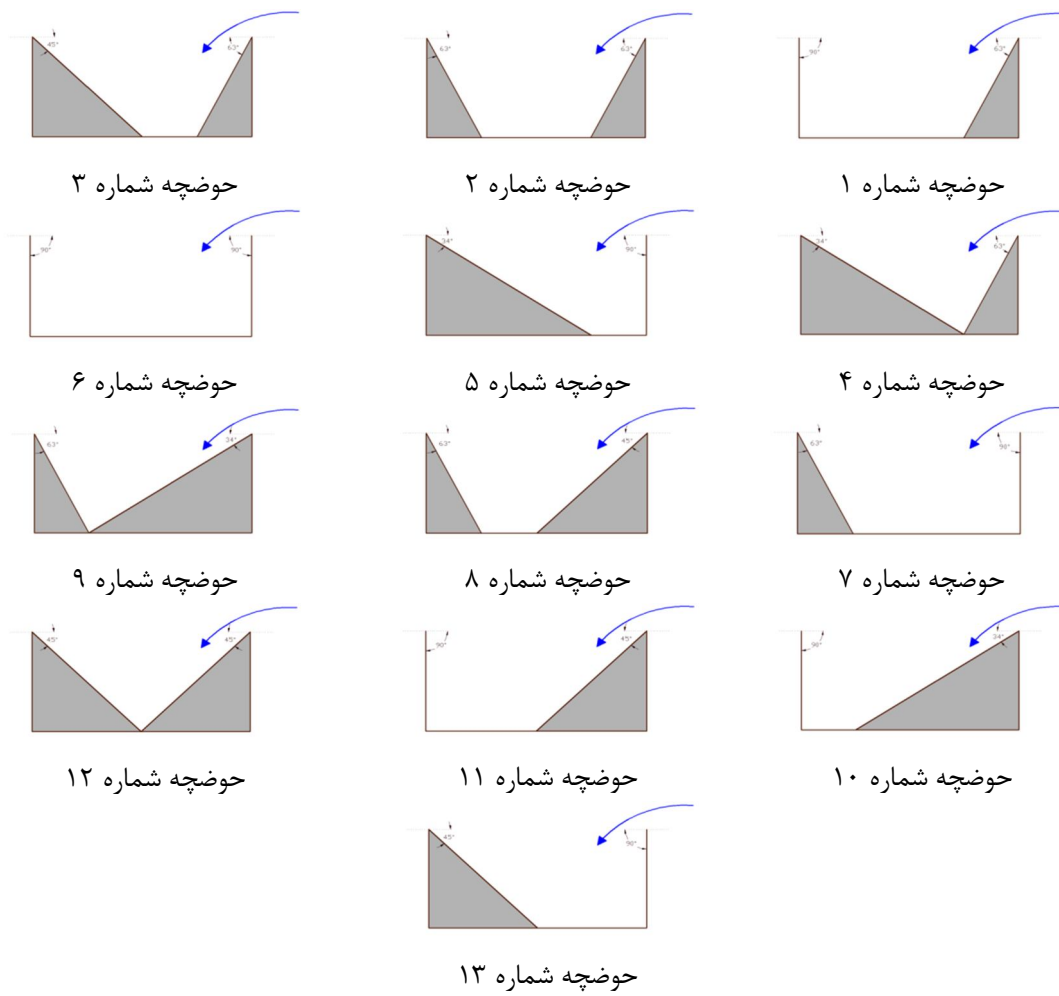
تأثیر شکل یا هندسه تله بر میزان تله اندازی

تأثیر هندسه تله بر میزان تله اندازی، برای رسوبات استفاده شده در این تحقیق، در اشکال شماره ۵ و ۶ نمایش داده شده است. نتایج حاصله بخوبی اثر مثبت کاهش زاویه خروجی (کاهش شیب خروجی) را نشان می دهد. به عبارت دیگر، با مقایسه اشکال مختلف نسبت به حالت ساده (مستطیلی) که دارای زوایای ورودی و خروجی قائم است، نتیجه می شود که برای زاویه خروجی قائم، هرچه زاویه ورودی به تله ملایم تر یا کندتر شود، میزان تله اندازی کاهش می یابد. این موضوع برای زاویه خروجی کاملاً عکس بوده و به عبارت دیگر، برای زاویه ورودی قائم، هرچه زاویه خروجی از تله، کندتر یا ملایم تر شود، میزان تله اندازی بیشتر و بیشتر می شود. با توجه به توضیحات ارائه شده، هندسه شماره ۵، یعنی تله با زاویه ورودی عمودی (قائم) و زاویه خروجی ۳۴ درجه، بهترین هندسه در میان سیزده هندسه آزمایش شده بوده و بیشترین درصد تله اندازی را در دبی های مختلف، برای رسوبات متفاوت آزمایش شده به همراه داشته است.

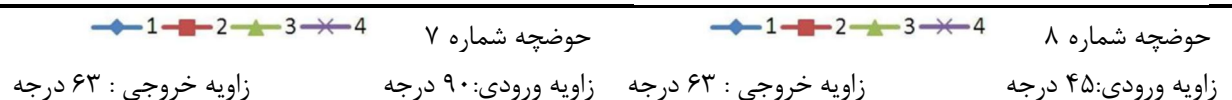
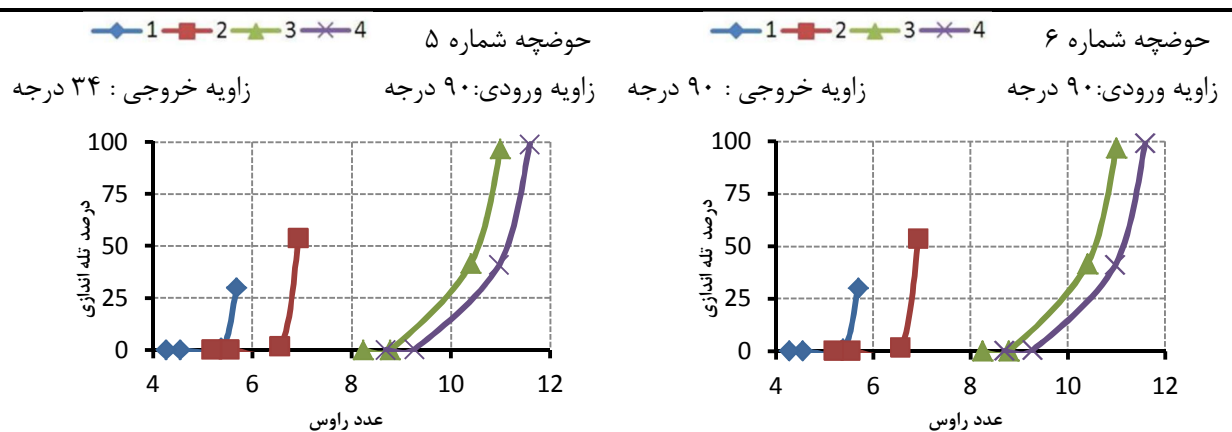
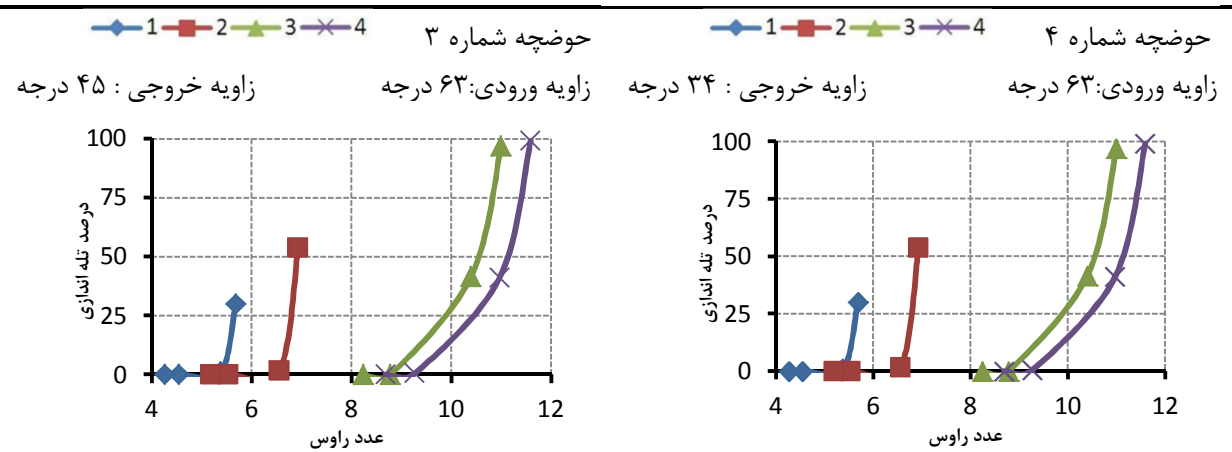
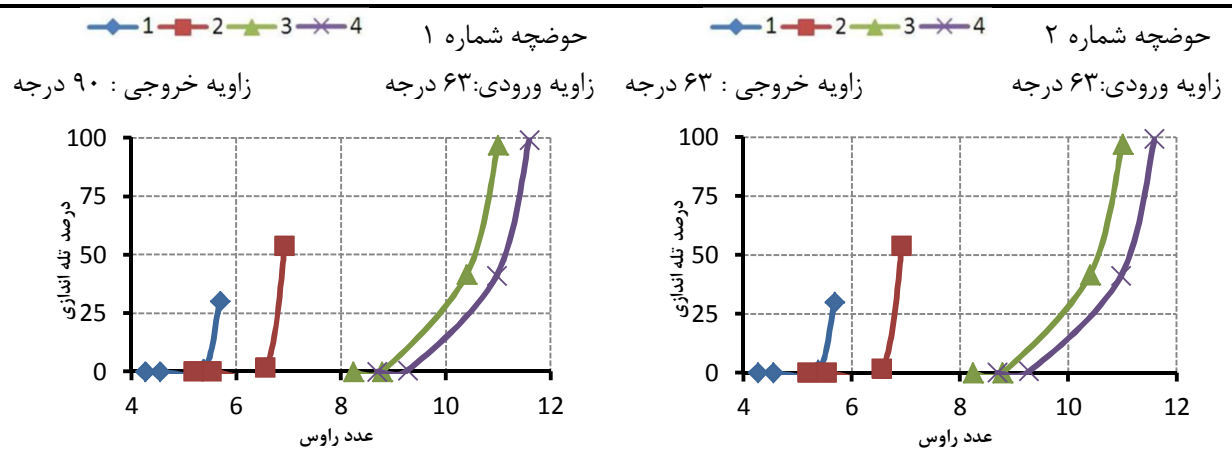
نتیجه گیری

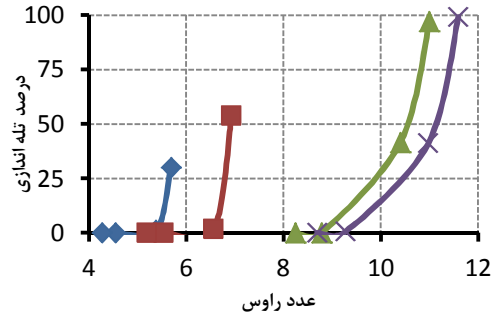
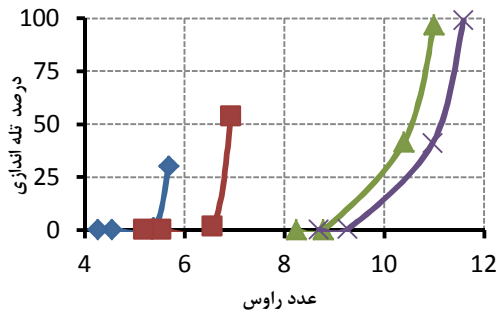
براساس آزمایشات انجام شده (۲۰۸ آزمایش) و بررسی حالات مختلف، نتایج حاصل گردید که عبارتند از ۱- مدل فیزیکی (آزمایشگاهی) نشان داد که درصد تله اندازی مواد در داخل تله در حالتی که عدد راوس و زمان انجام آزمایش بیشتر بوده و دبی جریان (سرعت) کمتر باشد، بیشتر است. ۲- الگوی ته نشینی مواد یا تله اندازی، در مدل فیزیکی ثبت گردید. این الگو در مقابل تغییر در شرایط جریان، نوع رسوبات و شکل (هندسه) تله متفاوت است. ۳- تغییر زوایای ورودی و خروجی تله، تأثیر بسیاری در میزان تله اندازی مواد در سایر شرایط یکسان به همراه دارد. به عبارت دیگر برای یک جنس رسوب و با ثابت بودن زمان آزمایش و شرایط جریان، تغییر زوایای ورودی جریان به تله و خروجی از آن، درصد تله اندازی متفاوتی را در بر خواهد داشت. ۴- کاهش شیب ورودی جریان به تله و ترکیب حالات مختلف از آن، میزان تله اندازی مواد را کاهش می دهد. ۵- کاهش شیب خروجی جریان از تله و ترکیب حالات مختلف از آن، تأثیر مثبتی داشته و میزان تله اندازی مواد را به سرعت افزایش می دهد. ۶- از میان ۱۳ مورد هندسه تله که در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفت، تله با زاویه ورودی عمودی (قائم) و زاویه خروجی با کمترین شیب (۳۴ درجه)، حداکثر میزان تله اندازی مواد را در تمامی حالات به همراه خواهد داشت.

هندسه مختلف، توجهی به زاویه های تله نشده و تأثیر زوایای ورودی و خروجی جریان به تله در میزان تله اندازی در نظر گرفته نشده است. متاسفانه آنها پارامتر زمان را که باید در آزمایش ها ثابت می بود را نیز در مطالعات خود مورد توجه قرار ندادند که خود صحت نتایج را زیر سوال می برد. مقوله ی زمان و توجه به آن، در هیچکدام از پژوهش های مشابه قبلی نیز لحاظ نشده است که متاسفانه عدم توجه به بحث زمان، کلیه نتایج حاصله را تحت الشعاع قرار داده و صحت نتایج را به طور کامل زیر سوال خواهد برد. بنابراین تا موقعیکه مدت زمان آزمایش یکسان نباشد، چنین نتایجی قابل قبول نخواهد بود. برای مثال، در حالتی که در یک دبی ثابت و برای رسوبات یکسان با وزن یکسان و حتی نرخ تزریق یکسان در آزمایش، بیان شده است که هندسه های شماره ۱ تا ۵ به ترتیب ۲۰/۸۱، ۲۱/۵۳، ۱۲/۴۴، ۷/۱۰ و ۲۳/۴۷ درصد تله اندازی داشته اند پس هندسه ی شماره پنج بهتر عمل نموده است، براساس زمان می توان کل این نتیجه گیری را رد نمود. زیرا ممکن است ۲۳/۴۷ درصد (۲۳۴/۷ گرم) در مدت زمان ۱۵ دقیقه رخ داده باشد ولی تله اندازی هندسه چهارم یعنی ۷/۱۰ درصد (۷۱/۰ گرم) در ۳ دقیقه رخ دهد، لذا با توجه به بحث زمان، هندسه چهارم نسبت به هندسه پنجم بهتر است! زیرا برای هندسه پنجم میزان تله اندازی ۱۵ گرم در هر دقیقه خواهد بود در حالیکه برای هندسه چهارم این میزان بیش از ۲۳ گرم در دقیقه است!



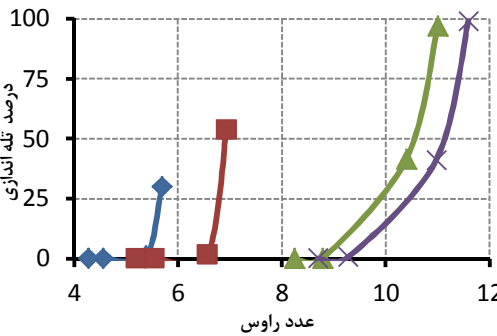
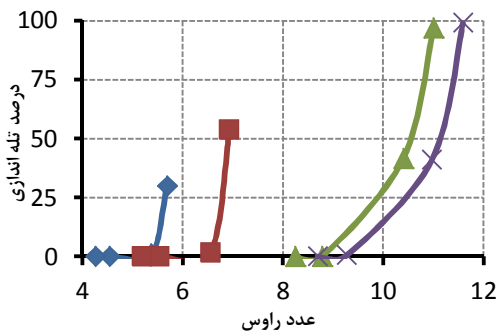
شکل ۳. سیزده هندسه حوضچه آزمایش شده در این تحقیق





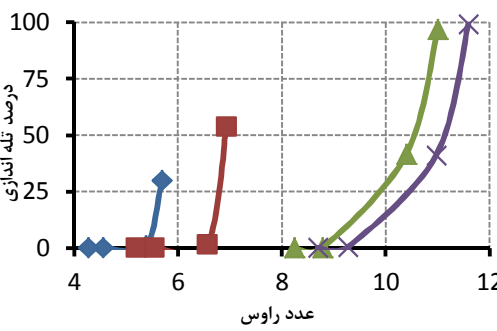
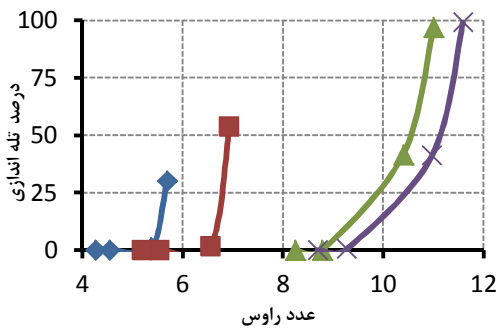
حوضچه شماره ۹ زاویه ورودی: ۳۴ درجه زاویه خروجی: ۶۳ درجه

حوضچه شماره ۱۰ زاویه ورودی: ۳۴ درجه زاویه خروجی: ۹۰ درجه



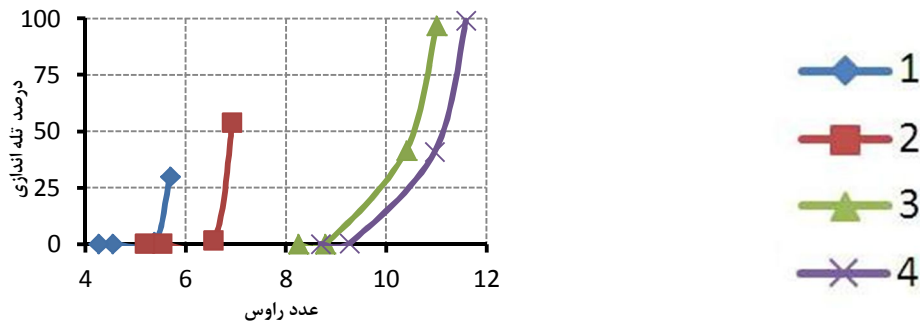
حوضچه شماره ۱۱ زاویه ورودی: ۴۵ درجه زاویه خروجی: ۹۰ درجه

حوضچه شماره ۱۲ زاویه ورودی: ۴۵ درجه زاویه خروجی: ۴۵ درجه



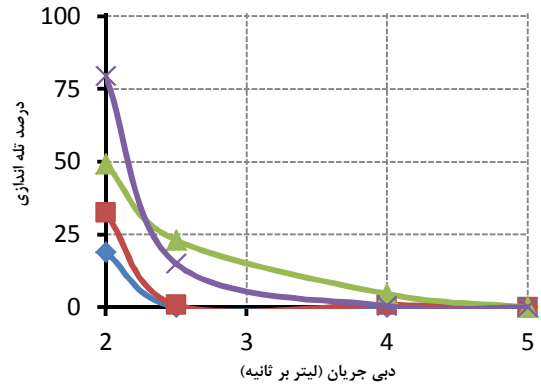
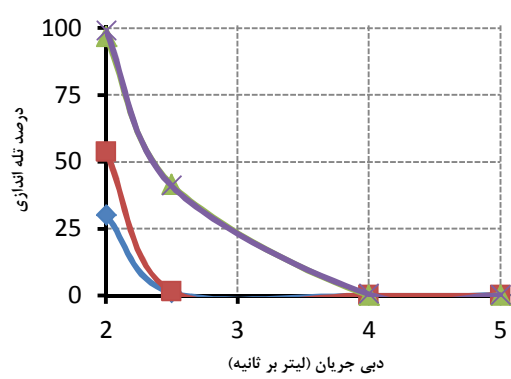
حوضچه شماره ۱۳ زاویه ورودی: ۹۰ درجه زاویه خروجی: ۴۵ درجه

نوع رسوبات: ۱، ۲، ۳ و ۴



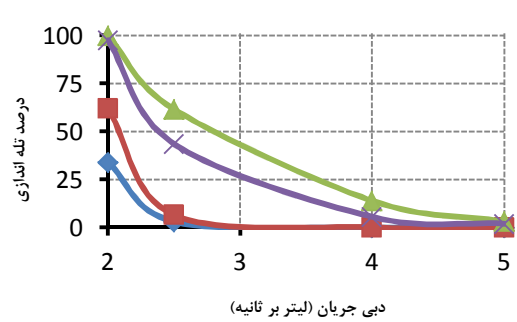
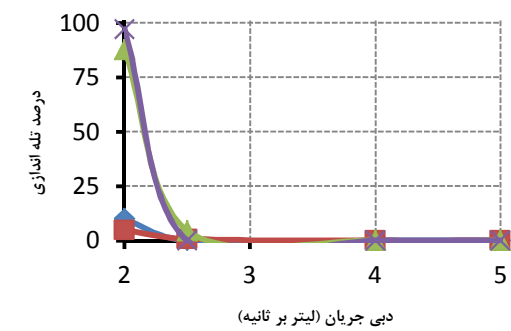
شکل شماره ۵. تغییرات درصد تله اندازی در مقابل عدد راوس برای ۱۳ هندسه تله

حوضچه شماره ۱ زاویه ورودی: ۶۳ درجه زاویه خروجی: ۹۰ درجه
حوضچه شماره ۲ زاویه ورودی: ۶۳ درجه زاویه خروجی: ۶۳ درجه



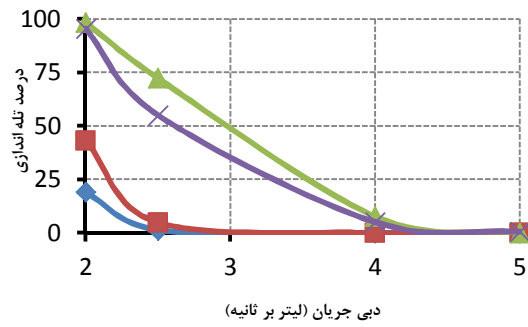
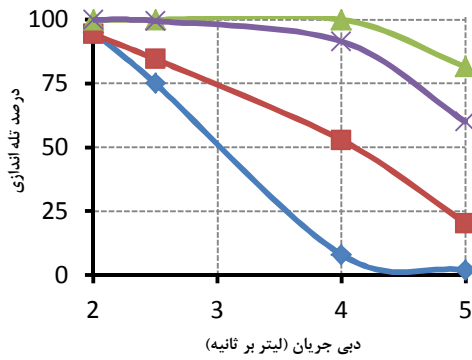
حوضچه شماره ۳ زاویه ورودی: ۶۳ درجه زاویه خروجی: ۴۵ درجه

حوضچه شماره ۴ زاویه ورودی: ۶۳ درجه زاویه خروجی: ۳۴ درجه



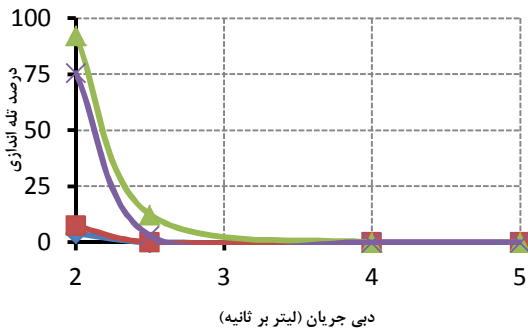
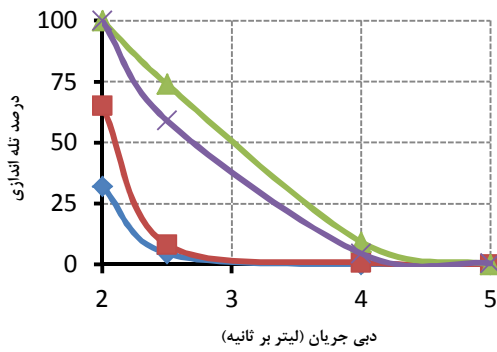
حوضچه شماره ۵ زاویه ورودی: ۹۰ درجه زاویه خروجی: ۳۴ درجه

حوضچه شماره ۶ زاویه ورودی: ۹۰ درجه زاویه خروجی: ۹۰ درجه



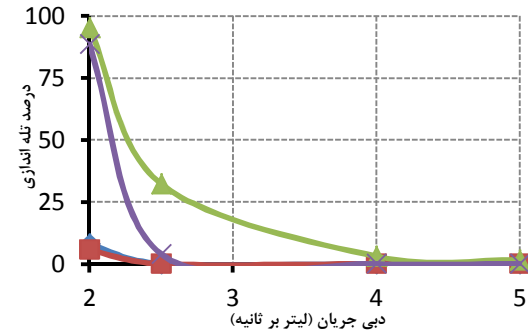
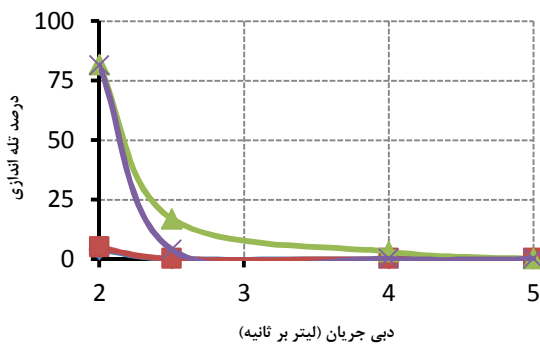
حوضچه شماره ۷
زاویه ورودی: ۹۰ درجه
زاویه خروجی: ۶۳ درجه

حوضچه شماره ۸
زاویه ورودی: ۴۵ درجه
زاویه خروجی: ۶۳ درجه



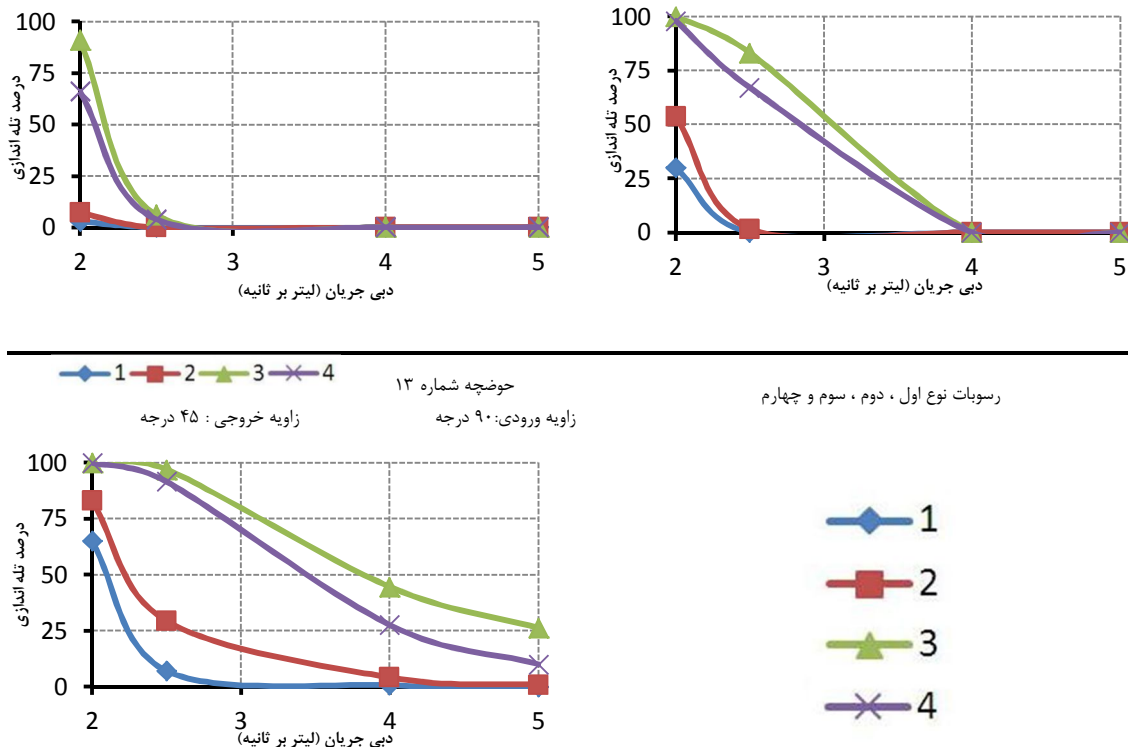
حوضچه شماره ۹
زاویه ورودی: ۲۴ درجه
زاویه خروجی: ۶۳ درجه

حوضچه شماره ۱۰
زاویه ورودی: ۳۴ درجه
زاویه خروجی: ۹۰ درجه



حوضچه شماره ۱۱
زاویه ورودی: ۴۵ درجه
زاویه خروجی: ۹۰ درجه

حوضچه شماره ۱۲
زاویه ورودی: ۴۵ درجه
زاویه خروجی: ۴۵ درجه



شکل ۶. تغییرات درصد تله اندازی در مقابل دبی جریان برای ۱۳ هندسه تله

فهرست منابع

- ابراهیمی محمدی، ش.، صادقی، س. ح. و چپی، ک. ۱۳۹۱. تحلیل آورد رواناب، رسوب معلق و مواد مغذی ورودی های مختلف به دریاچه زریوار در پایه زمانی رگبار و آب پایه. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۱): ۶۱-۷۶.
- اسدزاده، ف.، گرجی، م.، واعظی، ع.، سکوتی، ر. و میرزایی، س. ۱۳۹۲. اثر اندازه کورت بر میزان رواناب و رسوب اندازه گیری شده ناشی از رگبارهای طبیعی. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۴): ۶۹-۸۱.
- بهبادفر، م.، صادقی، س. ح.، خانجانی، م. ج. و حزباوی، ز. ۱۳۹۱. تأثیرپذیری تولید رواناب و رسوب خاک های تحت چرخه انجماد- ذوب در شرایط شبیه ساز باران. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۱): ۱۳-۲۴.
- صادقی، س. ح.، حزباوی، ز.، یونسی، ح. و بهبادفر، م. ۱۳۹۲. روند تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب بر اثر کاربرد پلی آکریل آمید. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۴): ۵۳-۶۷.
- فلامکی، ا.، اسکندری، م.، بغلانی، ع. و احمدی، س. ا. ۱۳۹۲. مدل سازی بار رسوب کل رودخانه ها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۳): ۱۳-۲۶.
- مؤذن، ا. و شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۴. تعیین راندمان تله اندازی رسوب توسط سازه ی لوله گردابی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۱ آبان، کرمان، ایران.
- Bonakdari H., Zinatizadeh A.A., 2011. Influence of position and type of Doppler flow meters on flow-rate measurement in sewers using computational fluid dynamic. *Flow Measurement and Instrumentation* 22 (3) 225-234.
- Buxton A., Saul A., Stovin V., Tait S., 2002. Developments in a methodology for the design of engineered invert traps in combined sewer systems. *Water Science and Technology* 45 (7) 133-142.

- CSO chambers with water level measurements – One side validation of a CFD-based methodology. *Flow Measurement and Instrumentation* (35) 39-43.
- Piro P., Carbone M., Marsalek J., 2011. Characterization of settling process for wastewater from a combined sewer system. *Water Research* 45 (20) 6615-6624.
- Raudkivi, A.J., 1990. *Loose boundary hydraulics*, 3rd ed. pergamon press, Oxford.
- Salem A., 2013. The effects of the sediment bed thickness on the incipient motion of particles in a rigid rectangular channel. *Seventeenth International Water Technology Conference*, Istanbul, Turkey.
- Thinglas T., Kaushal D., 2008. Comparison of two and three dimensional modeling of invert trap for sewer solid management. *Journal of Particuology*, 6 (3) 176-184.
- Shafai Bejestan, M., Naser esfahani, M. and Hekmat, K., 2012. Hydraulic flushing in box cross section conduits. *Journal of environmental engineering and technology*, 1 (1): 4-8.
- Chebbo, G., Krajewski, J.L.B., Laplace, D., Milisic, V. and Schmitt, F. 1996. Technical solutions envisaged in managing solids in combined sewer networks. *Water Science and Technology*, 33:237-224.
- Dufresne M., Vazquez J., Terfous A., Ghenaim A., Poulet J., 2009. Experimental investigation and CFD modeling of flow, sedimentation and solids separation in a combined sewer detention tank. *Computers and Fluids* (38) 1042-1049.
- Fan C., Field R., Lai F., 2003. Sewer-Sediment control: Overview of an Environmental protection agency wet-weather flow research program. *Journal of Hydraulic Engineering* 129 (4) 253-259.
- Hubbell, D.W., 1994. Apparatus and techniques for measuring bed load: U.S. Geological Survey Water Supply, pp. 1748.
- Kaushal, D.R., Thinglas T., Tomita Y., Kuchii S., Tsukamoto H., 2012. Experimental investigation on optimization of invert trap configuration for sewer solid management. *Powder Technology*, 215: 1-14.
- Lsel S., Dufresne M., Fischer M., Vazquez J., 2014. Assessment of the overflow discharge in complex

Laboratory investigation on sediment particle size and inlet and outlet angles effect on trapping efficiency in invert traps

Ali Aryanfar¹, Mahmood Shafai Bejestan², Amir Khosrojerdi^{3*}, Hossein Babazadeh⁴

- 1) Ph.D. student, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2) Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3*) Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Corresponding author email: khosrojerdi@srbiau.ac.ir
4) Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 04-10-2013 Accepted: 03-12-2013

Abstract

Invert traps are one of the most effective methods for separating and collecting sediments in open channels. In this research, some experiments were performed in a channel with 4 m long and 25 cm wide for 13 different invert trap configurations with different inlet and outlet angles. To determine the best trap geometry that has the most retention ratios, four types of plastic beads as a laboratory sediments with the same density but different size and apparent weight were tested in a constant time. Results showed that the inlet and outlet angles of the trap, has a considerable impact on the amount of deposited sediments. In the case of vertical walls of the entrance, whatever outlet wall of the trap has milder angle, trapping rate was larger the incoming angle of the trap was smooth and the outlet wall is vertical, although sediments could easily sinked in, but due to strong vortices formed downstream of the trap, much of these sediments re-suspended and directed away from the trap. Quantitative analysis of the results showed that from the 13 tested geometries, trap with inlet angle of 90° and 34° as an outlet angle, has the highest efficiency on trapping the sediments.

Keywords: physical model; sediment traps basins; trap efficiency