

بررسی آزمایشگاهی اثر آرایش روزنه‌های مکش رسوب بر عملکرد روش لوله دفن‌شونده در لایروبی مخازن

رضا پیشگر^۱، سید علی ایوب‌زاده^{۲*}، مجتبی صانعی^۳، مسعود قدسیان^۴

- ۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشیار گروه مهندسی رودخانه‌ها و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران
۴- استاد گروه سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*ayyoub@modares.ac.ir

چکیده - روش‌های لایروبی سیفونی رسوبات برای حل مسأله رسوبگذاری مخازن سدها به‌طور گسترده در دهه‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این روش‌ها برخی معایب مانند صرف انرژی اضافی، توقف در بهره‌برداری مخزن، هدر رفت آب، تخلیه رسوب بیش از ظرفیت حمل پایین‌دست و غیره را ندارد. تخلیه سیفونی رسوبات توسط لوله مکش دفن‌شونده خودکار، از مهمترین روش‌های لایروبی سیفونی است که در آن بدون نیاز به انرژی اضافی و تنها با استفاده از انرژی پتانسیل ناشی از اختلاف تراز آب بالادست و پایین‌دست، رسوبات از طریق روزنه‌هایی که در قسمت تحتانی لوله مکش قرار گرفته‌اند، مکش می‌یابند و تخلیه می‌شوند. در این مطالعه، با استفاده از لوله مکش به قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر، تأثیر آرایش روزنه‌های تحتانی با قطر ۱۶ و ۳۰ میلی‌متر در سه فاصله متفاوت بین روزنه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که آرایش روزنه‌ها تأثیر چشمگیری بر عملکرد روش دارد و در هر دو قطر روزنه تحتانی، هنگامی که روزنه‌ها تنها بر روی قسمت خم لوله مکش قرار گرفته‌اند، عملکرد روش دارای بیشترین مقدار است. همچنین فاصله بین روزنه‌ها بر کارایی روش تأثیرگذار است و نهایتاً طرحی از روزنه‌ها که دارای قطر روزنه تحتانی ۳۰ میلی‌متر و فاصله بین روزنه‌ها برابر ۹۰ میلی‌متر است (مجموعاً پنج روزنه تحتانی در قسمت خم) با متوسط غلظت خروجی ۳/۴۱ درصد حجمی، دارای بهترین عملکرد است.

کلیدواژگان: تخلیه، رسوبگذاری مخازن، روزنه تحتانی، غلظت، لایروبی سیفونی.

۱- مقدمه

رسوبگذاری مخازن سدها با ایجاد مشکلات زیادی مانند کاهش عمر مفید مخزن، کاهش حجم کنترل سیلاب، گرفتگی آبگیرها، صدمه به تونل‌ها و توربین‌ها، مخاطرات زیادی در تامین اهداف اولیه مخازن سدها ایجاد می‌کند. روش‌های موجود در حل مسأله رسوبگذاری مخازن سدها عبارتند از: کنترل فرسایش و انتقال رسوبات در حوضه

آبریز (Sukatja and Soewarno, 2011)، ایجاد سیستم کنارگذر (Kantoush et al., 2011)، شستشوی سریع رسوبات (Liu et al., 2004)، تخلیه جریان‌های گل‌آلود (Lee and Foster, 2013)، لایروبی هیدرولیکی و برداشت مکانیکی رسوبات. این روش‌ها اغلب در شرایط خاصی دارای کاربرد هستند و در حالت ترکیبی نیز راندمان کمی دارند. سیفون کردن رسوبات داخل مخازن سدها از روش‌هایی

اتلاف انرژی در جریان برای مواد غیرچسبیده و اندازه‌های مختلف لوله مکش ادامه یافت (Sakurai and Hakoishi, 2012, Sakurai and Hakoishi, 2011) و تأکید شد که استفاده از این روش برای حذف مواد رسوبی غیرچسبیده و مخازن کوچک کاربرد دارد (Miyakawa et al., 2014). در تحقیقات انجام شده در داخل کشور، زبری داخلی لوله‌های شفاف انعطاف‌پذیر که برای مکش رسوبات قابل استفاده می‌باشد، مطالعه شد و زبری معادل سطح داخلی آن‌ها تخمین زده شد (پیشگر و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مطالعه تأثیر قطر روزنه تحتانی و فاصله بین روزنه‌ها بر عملکرد روش هیدروساکشن نشان داده است که این پارامترها بر عملکرد روش تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند (Pishgar et al., 2015). اثر مشخصات هندسی لوله مکش بر راندمان تخلیه رسوب مخازن سدها به روش هیدروساکشن نیز با جزئیات مورد بررسی قرار گرفت (پیشگر، ۱۳۹۴). ملاحظه می‌شود که بطور مشخص اثر آرایش روزنه‌ها بر عملکرد روش مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه، تأثیر آرایش روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و پایین‌دست قسمت خم لوله مکش بررسی خواهد شد. همچنین تأثیر قطر روزنه‌های تحتانی و فاصله بین آن‌ها در امتدادهای گوناگون روزنه‌های تحتانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا امتداد روزنه‌های تحتانی و در کنار آن قطر و فاصله این روزنه‌ها که موجب حداکثر عملکرد روش می‌شود، استخراج شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

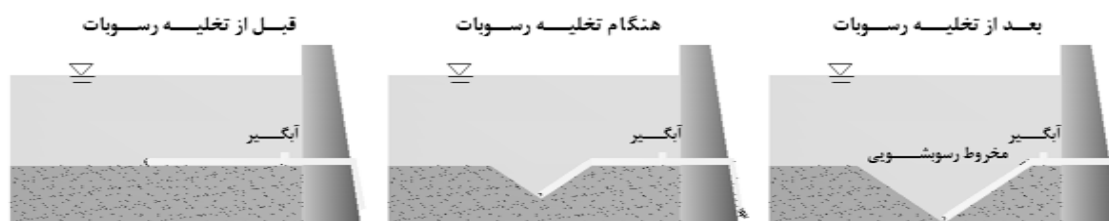
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. برپایی آزمایش‌ها شامل سیستم تامین آب، مخزن آزمایشگاهی، لوله مکش، محفظه اندازه‌گیری جریان و محفظه تله‌اندازی رسوب می‌باشد (شکل ۲). جنس دیواره‌های مخزن آزمایشگاهی از شیشه نشکن و جنس کف آن از فلز می‌باشد. مخزن دارای طول ۷/۱۰، عرض ۱/۴ و ارتفاع ۱/۵ متر می‌باشد و در راستای طولی به سه بخش برگشت جریان اضافی، بخش آرام‌کننده و بخش اصلی تقسیم شده است.

است که طی سال‌های اخیر به‌عنوان یک روش کارا مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. کاربرد این روش در مخازن سدها در کشورهایی مانند فرانسه (Evrard, 1980)، چین (Bruk, 1985) و آمریکا (Atkinson, 1996) گزارش شده است. تحقیقات گسترده تئوری بر روی این روش در ایالات متحده شروع شد (Eftekharzadeh, 1987) و مطالعات آزمایشگاهی آن توسط سایرین ادامه یافت (Hotchkiss et al., 1993, Hotchkiss and Huang, 1995). از مزیت‌های این روش نسبت به دیگر روش‌ها، می‌توان به عدم نیاز به انرژی اضافی، سازگاری با محیط زیست بخاطر قابلیت کنترل رسوبات خروجی، عدم نیاز به مکانی برای دپو رسوبات بخاطر دور شدن رسوبات از طریق جریان رودخانه و ارزان بودن اشاره کرد. همچنین این روش می‌تواند در رفع گرفتگی دهانه آبگیر نیروگاه‌ها نقش مؤثری ایفا کند.

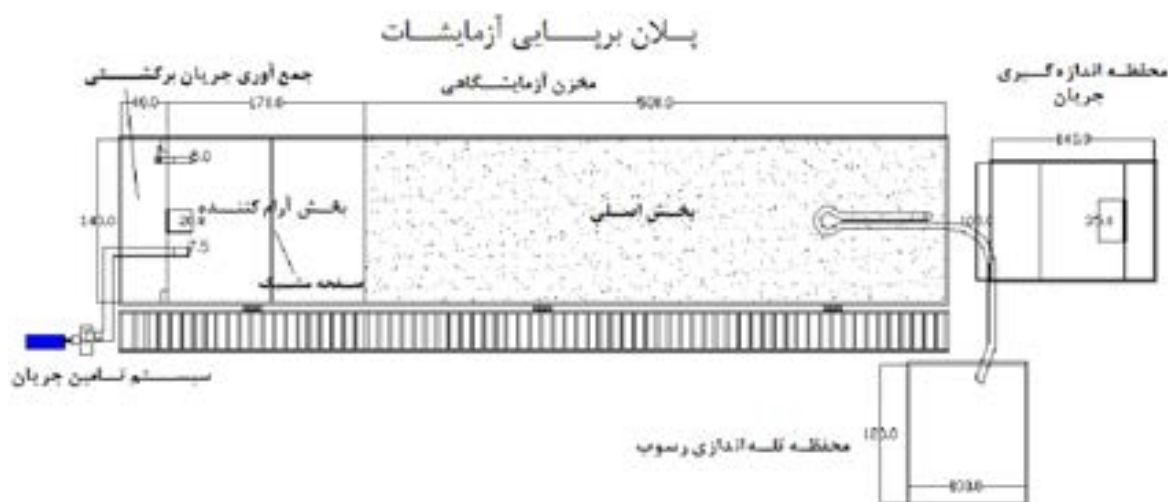
طرح‌های مختلفی از سیفونی کردن رسوبات مورد بررسی قرار گرفت (Eftekharzadeh, 1987, Okano et al., 2004, Sakurai et al., 2006, Chen et al., 2010, Sakurai and Hakoishi, 2011 & 2012 Katayama and Tajima, 2013) که از بین آن‌ها طرح لوله مکش دفن‌شونده^۱ به علت راندمان مناسب و عدم نیاز به کنترل همیشگی دهانه مکش بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این طرح که در شکل ۱ نشان داده شده است، از اختلاف تراز آب داخل مخزن و پایین‌دست به عنوان نیروی مکش به منظور تخلیه رسوبات استفاده می‌شود.

مطالعات آزمایشگاهی بر روی مدل جدید تخلیه‌کننده رسوب^۲ که در آن روزنه‌هایی در قسمت تحتانی لوله با فاصله مساوی وجود داشت، انجام شد (Okano et al., 2004). سپس این روش با انجام تحقیقات آزمایشگاهی بیشتر مورد بررسی قرار گرفت و به‌عنوان روش جدید هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده معرفی شد (Sakurai et al., 2006). در این روش لوله مکش داری یک آبگیر، دو وجه بالادست و پایین‌دست و یک ناحیه خم ۳۶۰ درجه می‌باشد. مطالعات روی این روش با بررسی مقیاس‌های مختلف لوله مکش، رابطه بین سرعت و غلظت رسوبات و

1. Burrowing-Type Sediment Removal Suction Pipe
2. Multi-Hole Suction Sand Pipe



شکل ۱ شماتیک نحوه کارایی روش هیدروساکشن لوله مکش دفن شونده



شکل ۲ پلان برپایی آزمایشها



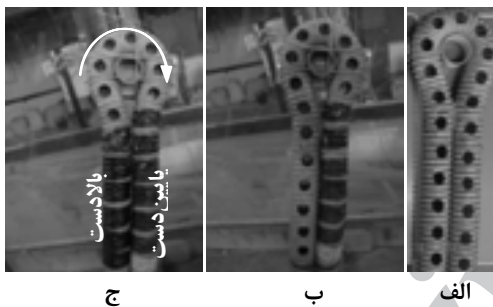
شکل ۳ لوله مورد استفاده در این تحقیق

در شکل ۲ لوله مکش روی محور مرکزی مخزن قرار دارد، اما لزوماً نیاز نیست چنین باشد و می‌تواند در هر جای مخزن و روی بستر رسوبات قرار داده شود. این لوله از جنس پی‌وی‌سی، ساخت داخل کشور بوده و در قطرهای مختلف موجود است. طول گام فنرهای لوله ۱ سانتی‌متر، جرم لوله ۰/۶۳۵ کیلوگرم بر واحد طول (متر) و چگالی مواد لوله ۱/۱۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. برای رسوبات کف مخزن از ماسه شکسته سیلیس با چگالی

بخش برگشت جریان اضافی و بخش آرام کننده توسط یک صفحه فلزی دارای دو روزنه دایره‌ای و مستطیلی از هم جدا شدند. برای آرام کردن جریان ورودی نیز از یک صفحه مشبک فلزی استفاده شد.

سیستم تأمین آب شامل یک مخزن ذخیره اصلی آب در کف آزمایشگاه و یک مجموعه الکتروموتور و پمپ با تأمین حداکثر دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. محفظه اندازه‌گیری جریان نیز از سه بخش تشکیل شده است، آرام کننده جریان خروجی، اندازه‌گیری جریان توسط یک سرریز مثلی ۶۰ درجه و جمع‌آوری و هدایت جریان بسمت مخزن اصلی. برای جمع‌آوری رسوبات خروجی در طول آزمایش‌ها از محفظه‌ای جداگانه استفاده شد. این محفظه با طول ۱/۲، عرض ۱ و ارتفاع ۰/۸۶ متر شامل اتصالات آلومینیومی و نفوذپذیر می‌باشد که یک پارچه مناسب برای تله‌اندازی رسوبات در آن نصب شده است. در این تحقیق، از لوله خرطومی انعطاف‌پذیر با قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر به‌عنوان لوله مکش استفاده شد (شکل ۳).

گرفته است. در شکل ۴ روزنه‌های مربوط به قسمت خمیده لوله مکش و روزنه‌های بالادست و پایین‌دست قسمت خمیده نشان داده شده است. در شکل ۶ نیز نحوه غیرفعال کردن روزنه‌های تحتانی نشان داده شده است. در شکل ۶- الف، کلیه روزنه‌های موجود فعال هستند، به عبارت دیگر امتداد روزنه‌ها به وجه بالادست و پایین‌دست کامل است (طرح امتداد نوع T). در شکل ۶- ب، روزنه‌های موجود روی وجه پایین‌دست غیرفعال شده‌اند و تنها روزنه‌های قسمت خم و بالادست لوله مکش فعال هستند (طرح امتداد نوع FUP). در شکل ۶- ج نیز کل روزنه‌های بالادست و پایین‌دست قسمت خم غیرفعال شده و تنها روزنه‌های قسمت خم لوله مکش فعال هستند (طرح امتداد نوع F).



شکل ۶ نحوه غیرفعال نمودن روزنه‌های تحتانی، پیکان جهت جریان را نشان می‌دهد

۳-۲- مشخصات آزمایش‌ها

عملکرد روش هیدروساکشن لوله مکش در این تحقیق بصورت غلظت متوسط حجمی رسوبات خارج شده از سیستم در کل زمان آزمایش تعریف شد. بعبارت دیگر نسبت حجم واقعی کل رسوبات خشک خارج شده از سیستم هیدروساکشن به حجم کل جریان خروجی به‌عنوان عملکرد روش در نظر گرفته شد و بصورت درصد بیان شد:

$$\eta = \frac{V_{S_T}}{V_{W_T} + V_{S_T}} \times 100 \quad (1)$$

$$V_{S_T} = \frac{M_{S_T}}{\rho_s} \quad (2)$$

که در رابطه (۱)، η عملکرد روش به درصد، V_{S_T} و V_{W_T} ، به‌ترتیب، حجم کل رسوبات و جریان خروجی در

ویژه ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و قطر متوسط ۰/۲۴ میلی‌متر استفاده شد. سرعت متوسط جریان داخل لوله مکش بر اساس تحقیق ساکورای و هاگوشی (۲۰۱۲) باید در محدوده ۲ متر بر ثانیه باشد، که با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی ثابت و برابر ۱/۷۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. از این‌رو، دبی جریان مکش نیز برای تمام آزمایش‌های این مطالعه ۵/۱۱ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در شکل ۴ شماتیک اجزای لوله مکش دفن‌شونده خودکار و روزنه‌های تحتانی به تفکیک وجه بالادست، وجه پایین‌دست و قسمت خم، به همراه روزنه جانبی نشان داده شده است.

در این تحقیق برای حفظ فاصله بین روزنه تحتانی و سطح رسوبات مخروط مکش رسوبات (شکل ۱) از یک وزنه روی قسمت خم لوله مکش استفاده شده است (شکل ۵). در طرح‌های میدانی می‌توان از افزایش چگالی (جنس لوله و فشردگی) و یا افزایش ضخامت لوله در جایگزینی وزنه بکار گرفته شده در تحقیق حاضر استفاده کرد.



شکل ۴ نمای شماتیک سامانه لوله مکش و روزنه‌های تحتانی و جانبی بکار رفته در این تحقیق



شکل ۵ نحوه وزن‌دار نمودن انحنای لوله مکش

۲-۲- طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌ها

همان‌طور که قبلاً گفته شد، طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌های تحتانی ارائه شده در شکل ۴ مورد بررسی قرار

مخزن قرار داده می‌شد و بین روزنه‌های مکش رسوبات و سطح رسوبات از یک صفحه نفوذناپذیر پلاکسی گلاس استفاده می‌شد. این پلاکسی گلاس از ورود جریان کافی به داخل لوله مکش ممانعت نمی‌کرد، بلکه تنها مانع از تماس مستقیم جریان مکش با سطح رسوبات می‌شد. پس از پایین آوردن تراز خروجی لوله مکش و تنظیم دبی خروجی، خروجی لوله داخل محفظه پارچه‌ای تله‌اندازی رسوب قرار می‌گرفت و آزمایش با برداشتن صفحه پلاکسی گلاس شروع می‌شد. در طول زمان آزمایش، رسوبات داخل محفظه پارچه‌ای جمع می‌شد و در پایان آزمایش، کل رسوبات محفظه پارچه‌ای جمع‌آوری و وزن خشک آن، از طریق خشک کردن نمونه‌ای از آن، بدست می‌آمد. رسوباتی که از مخزن تخلیه شده بود به مخزن برگشت داده می‌شد و با ترازبندی دوباره رسوبات، شرایط برای آزمایش بعدی آماده می‌شد. برای اندازه‌گیری غلظت جریان خروجی طی آزمایش از ظرف‌های استوانه‌ای درب‌دار با حجم ۶۰۰ میلی‌لیتر استفاده شد. آزمایش در سطح غلظت ۲ گرم بر لیتر خروجی (۰/۱ درصد حجمی) متوقف می‌شد.

۳- نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج بدست آمده از اثر طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌های تحتانی بر عملکرد روش هیدروساکشن ارائه می‌شود و سپس نتایج تحقیق مورد بحث و مقایسه قرار می‌گیرد.

۳-۱- نتایج

جدول ۲ مشخصات هر یک از آزمایش‌ها به همراه نتایج بدست آمده را ارائه می‌دهد. در این جدول آزمایش‌ها به سه سری تقسیم شدند؛ A، B و C.

کل مدت زمان آزمایش می‌باشد. در رابطه (۲) نیز MS_T جرم کل رسوبات خروجی در کل مدت زمان یک آزمایش و ρ_s چگالی رسوبات بکار رفته می‌باشد که برابر ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

بطور کلی، روزنه‌های تحتانی در طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌ها در دو قطر ۱۶ و ۳۰ میلی‌متر بودند که نسبت قطر آن‌ها به قطر لوله مکش ۰/۲۵ و ۰/۵ می‌باشد. علت انتخاب لوله مکش با قطر داخلی ۶۱ میلی‌متر و قطر ۳۰ میلی‌متر برای روزنه تحتانی استفاده از همین مشخصات توسط ساکورای و هاگوشی (۲۰۱۲) و امکان مقایسه این مطالعه با مطالعات پیشین می‌باشد. برای بررسی عملکرد روش برای قطرهای مختلف روزنه تحتانی قطر دیگر انتخاب شد. از آنجا که قطر ۳۰ میلی‌متر برای لوله ۶۱ میلی‌متر نسبتاً بزرگ است، قطری کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر یعنی ۱۶ میلی‌متر برای روزنه تحتانی، انتخاب شد. همین‌طور فاصله بین روزنه‌های تحتانی در آزمایش‌های مختلف از ۰/۵ برابر قطر لوله مکش تا چهار برابر آن متغیر بود. برای حفظ فاصله بین روزنه تحتانی و سطح رسوبات هنگام شکل‌گیری مخروط مکش نیز از یک وزنه بر روی قسمت خم لوله مکش استفاده شد. با توجه به آزمایش‌های اولیه، مجموع وزن شناوری وزنه بکار رفته و وزن شناوری لوله مکش در محدوده قسمت خم، ۱۲/۳ نیوتن انتخاب شد. طول کل لوله مکش و طول قسمت روزنه‌دار لوله مکش بکار رفته ثابت بوده است و به ترتیب برابر ۴/۷ و ۱/۲ متر بود. همین‌طور با توجه به مطالعات پیشین، سرعت و دبی جریان در لوله مکش به ترتیب برابر ۱/۷۵ متر بر ثانیه و ۵/۱۱ لیتر بر ثانیه بود. تمام پارامترهای تأثیرگذار به همراه محدوده تغییرات در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۴- شرح آزمایش

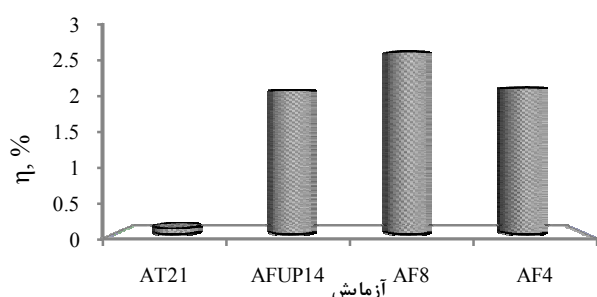
در شروع آزمایش تراز خروجی لوله بالاتر از تراز آب داخل

جدول ۱ محدوده تغییرات پارامترهای تأثیرگذار در آزمایش‌ها

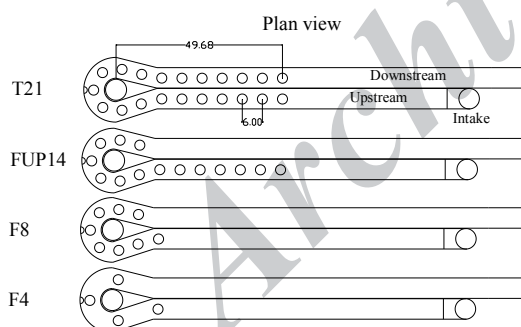
تعداد آزمایش‌ها	قطر روزنه تحتانی، میلی‌متر	قطر روزنه جانبی، میلی‌متر	فاصله بین روزنه‌های جانبی، میلی‌متر	قطر نسبی روزنه‌ها	فاصله نسبی روزنه‌ها	وزن شناوری قسمت خم، نیوتن	دبی، لیتر بر ثانیه	سرعت، متر بر ثانیه	عدد رینولدز
۹	۱۶-۳۰	۱۰-۲۰	۳۰-۱۲۰	۰/۲۵-۰/۵۰	۰/۵-۲	۱۲/۳۰	۵/۱۱	۱/۷۵	۱۰۶۷۵۰

جدول ۲ نتایج آزمایش‌ها

نام سری	نسبت قطر روزنه‌ها، D_0/D	نسبت فاصله روزنه‌ها، s/D	تعداد روزنه‌های تحتانی	مدت زمان آزمایش، دقیقه	عملکرد، η درصد
A	T21	۰/۵۰	۲۱	۶۰	۰/۰۸
	FUP14	۰/۵۰	۱۴	۱۵	۲/۱۰
	F8	۰/۵۰	۸	۱۱ و ۴۵ ثانیه	۲/۶۶
	F4	۰/۵۰	۴	۱۵	۲/۱۴
B	T41	۰/۲۵	۴۱	۲۰	۱/۵
	F16	۰/۲۵	۱۶	۱۱ و ۳۶ ثانیه	۲/۴۴
	F8	۰/۲۵	۸	۱۲	۲/۱۵
C	T13	۰/۵۰	۱۳	۲۰	۱/۱۹
	F5	۰/۵۰	۵	۸	۳/۴۱



شکل ۷ نتایج نسبت قطر برابر ۰/۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۱- سری A



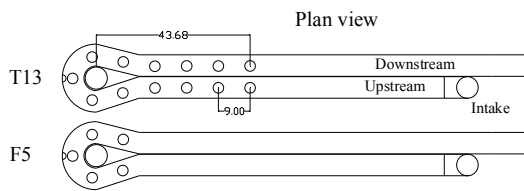
شکل ۸ طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌ها برای نسبت قطر برابر ۰/۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۱- سری A

این شکل بیانگر آن است که، مانند سری A، غیر فعال کردن روزنه‌ها در وجه بالادست و پایین دست لوله مکش موجب افزایش عملکرد می‌شود. بطوری که عملکرد در حالت F16 با مقدار ۲/۴۴ درصد، ۱/۶۳ برابر عملکرد در حالت T41 می‌باشد. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود اگر در حالت F16 روزنه‌ها بصورت یک در میان

سری A مربوط به نسبت قطر ۰/۵ و نسبت فاصله‌ی ۱ است که با غیر فعال کردن روزنه‌ها بصورت یک در میان، در حالت F4 نسبت فاصله ۲ می‌شود. سری B مربوط به نسبت قطر ۰/۲۵ و نسبت فاصله‌ی ۰/۵ است که با غیر فعال کردن روزنه‌ها بصورت یک در میان، در حالت F8 نسبت فاصله ۱ می‌شود. سری C نیز مربوط به نسبت قطر ۰/۵ و نسبت فاصله‌ی ۱/۵ می‌باشد.

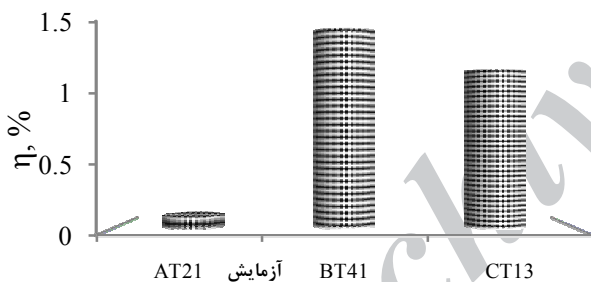
نتایج مربوط به آزمایش‌های سری A و طرح‌های امتداد روزنه‌های مربوطه به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده‌اند. ملاحظه می‌شود تغییر امتداد روزنه‌ها از T21 به FUP14 (حذف هفت روزنه پایین دست) موجب افزایش چشمگیر عملکرد می‌شود. عملکرد روش در حالت FUP14 ۲۵ برابر عملکرد در حالت T21 می‌باشد. در حالت F8 که ۶ روزنه بالادست حذف شده‌اند و تنها روزنه‌های قرار گرفته در قسمت خم فعال است، عملکرد روش افزایش بیشتری نشان داده است، بطوری که نسبت به حالت FUP14، ۱/۲۷ برابر شده است. شکل ۷ همچنین نشان می‌دهد، اگر در حالت F8، روزنه‌ها بصورت یک در میان غیر فعال شوند، عملکرد روش افت محسوسی می‌یابد. در حالت F4 نسبت به حالت F8 عملکرد ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. عملکرد حالت F4 تقریباً با عملکرد FUP14 برابر می‌شود و تنها ۲ درصد از آن بیشتر است.

نتایج سه آزمایش سری B و طرح‌های امتداد روزنه‌های تحتانی مربوطه به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده‌اند.

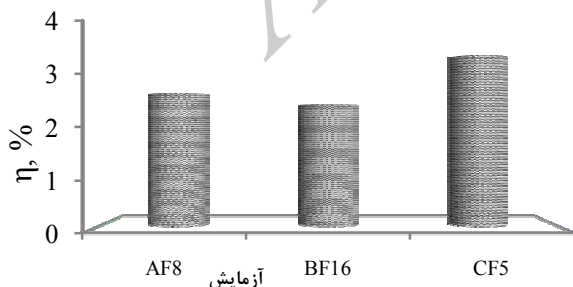


شکل ۱۲ طرح‌های مختلف آرایش روزنه‌ها برای نسبت قطر برابر ۰/۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۱/۵- سری C

نتایج مربوط به سه آزمایش AT21، BT41 و CT13 در شکل ۱۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود در حالت $s/D_0=2$ و $D_0/D=0.25$ (BT41) عملکرد روش بیشتر است. اختلاف بین عملکرد BT41 و CT13 نسبت به حالت AT21، به ترتیب، $17/8$ و $14/2$ برابر می‌باشند. همچنین رسوبات خروجی در حالت BT41 معادل ۲۶ درصد از CT13 بیشتر است. شکل ۱۴ عملکرد روش برای حالاتی را نشان می‌دهد که در آن‌ها روزنه‌ها فقط در قسمت خمیده لوله مکش قرار دارند.



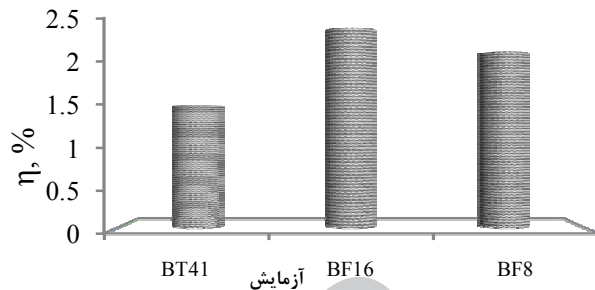
شکل ۱۳ مقایسه آزمایش‌های سه سری A، B و C برای آرایش کامل روزنه‌ها



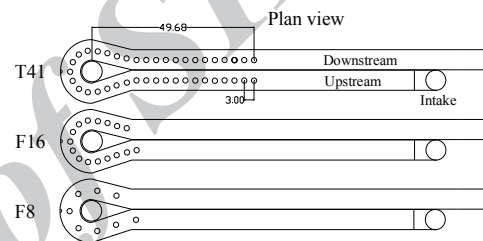
شکل ۱۴ مقایسه آزمایش‌های سه سری A، B و C برای حالت روزنه‌ها محدود به قسمت انحنای لوله مکش

ملاحظه می‌شود، در حالت CF5 عملکرد روش افزایش

غیرفعال شوند، مانند سری A، عملکرد روش افت می‌کند. عملکرد F8 نسبت به F16، ۱۲ درصد کاهش یافته است.

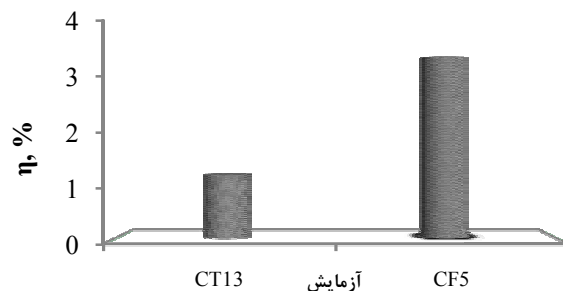


شکل ۹ نتایج نسبت قطر برابر ۰/۲۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۰/۵- سری B



شکل ۱۰ طرح‌های مختلف امتداد روزنه‌ها برای نسبت قطر برابر ۰/۲۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۰/۵- سری B

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز نتایج دو آزمایش سری C و طرح‌های روزنه‌های تحتانی نشان داده شده‌اند. ملاحظه می‌شود استفاده از روزنه‌های تحتانی در قسمت خم لوله مکش، به جای گسترش آن به سمت بالادست و پایین‌دست، موجب افزایش عملکرد روش می‌شود. تغییر چینش روزنه‌های تحتانی از حالت T13 به F5 باعث افزایش ۱۷۸ درصدی در عملکرد می‌شود و آن را از $1/19$ درصد به $3/42$ درصد می‌رساند.



شکل ۱۱ نتایج نسبت قطر برابر ۰/۵ و نسبت فاصله‌های برابر ۱/۵- سری C

ترتیب ۲۸ و ۵۹ درصد بیشتر است. در حالت نسبت فاصله‌ها برابر ۰/۲۵ نیز نسبت فاصله برابر ۱ (BF16) در مقایسه با نسبت فاصله برابر دو (BF18) ۱۴ درصد نتیجه بهتری می‌دهد.

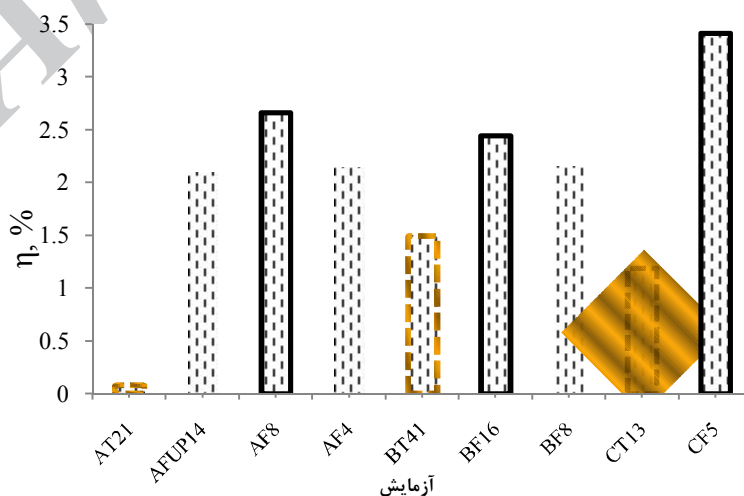
علت اینکه چرا عملکرد در طرح‌هایی که روزنه‌ها در قسمت خم هستند افزایش می‌یابد را می‌توان به این صورت شرح داد؛

همان‌طور که از فیزیک روش هیدروساکشن مشخص است، در روش هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده، که خودکار است، می‌بایست شرایط به‌گونه‌ای فراهم شود تا لوله مکش بتواند از قسمت خمیده خود به تدریج داخل رسوبات پایین برود. یکی از اهداف مهم آرایش روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و پایین‌دست ایجاد شرایطی است که هنگام رفتن لوله مکش داخل رسوبات بین روزنه‌های تحتانی و سطح رسوبات فاصله ایجاد نشود. به عبارت دیگر، هنگام تشکیل مخروط رسوبشویی، انطباق‌پذیری لوله مکش با سطح رسوبات حفظ شود. طرح‌های روزنه‌های تحتانی در لوله مکش می‌تواند بر نحوه انطباق‌پذیری لوله مکش با سطح رسوبات اثر بگذارد و فرایند تشکیل مخروط رسوبشویی را کندتر یا تندتر کند. در روش تخلیه رسوب ارائه شده در این تحقیق، کل جریان مکش توسط آبگیر و روزنه‌های لوله مکش تأمین می‌شود. از این‌رو، هر یک از روزنه‌ها در تأمین جریان لوله مکش سهم دارند.

محسوسی نسبت به حالت‌های AF8 و BF16 دارد. عملکرد در حالت CF5، با مقدار ۳/۴۲ درصد نسبت به حالت‌های AF8 و BF16، به ترتیب، ۲۸ و ۴۰ درصد افزایش نشان داده است. بنابراین، از بین سه چینش ارائه شده در این شکل، چینش CF5 موجب بیشترین عملکرد روش می‌شود.

۳-۲- بحث

شکل ۱۵ عملکرد روش تخلیه هیدروساکشن برای آرایش‌های مختلف روزنه‌های تحتانی را در یک شکل نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود سه آزمایشی که بیشترین راندمان را دارند، مربوط به طرح‌هایی هستند که روزنه‌های تحتانی تنها در قسمت خمیده لوله مکش قرار گرفته‌اند (AF8، BF16 و CF5). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تخلیه رسوب به روش هیدروساکشن لوله مکش وقتی دارای عملکرد بیشتری می‌باشد که روزنه‌ها تنها بر روی قسمت خمیده قرار داشته باشند و بهترین طرح روزنه‌ها طرحی است که نسبت قطرها برابر ۰/۵، نسبت فاصله‌ها برابر ۱/۵ و تعداد روزنه‌های روی قسمت خمیده برابر ۵ باشد. یک بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد، فاصله بین روزنه‌ها نیز در عملکرد روش تأثیرگذار است. مشاهده می‌شود در حالتی که نسبت قطرها برابر ۰/۵ باشد و روزنه‌ها بر روی قسمت خم لوله هستند (AF8، AF4 و CF5) عملکرد روش در نسبت فاصله‌های برابر سه (CF5) از نسبت فاصله‌های برابر دو و چهار (AF8 و AF4) به



شکل ۱۵ مقایسه آزمایش‌های آرایش روزنه‌ها به سمت بالادست و پایین دست

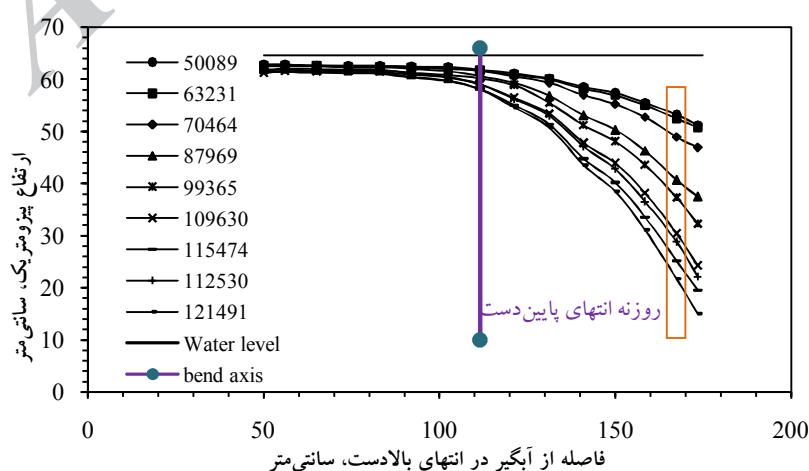
طرح‌هایی که روزنه‌های تحتانی در قسمت خم هستند و روزنه‌های بالادست و پایین‌دست غیرفعال می‌شوند، روزنه‌های قرارگرفته در قسمت خم جزء روزنه‌های اول در مکش جریان محسوب می‌شوند و قدرت مکش آن‌ها زیاد می‌باشد و تأثیر مستقیمی بر سرعت دفن شدن لوله مکش داخل رسوبات دارند. نتایج این تحقیق نشان داد غیرفعال کردن روزنه‌های پایین‌دست موجب تفاوت چشمگیری در انطباق‌پذیری لوله مکش می‌شود، بطوری که در حالت AFUP14 نسبت به حالت AT21 عملکرد روش ۲۵ برابر شده است. اما غیرفعال کردن روزنه‌های بالادست، اگرچه موجب افزایش راندمان لوله مکش می‌شود، اما تفاوت چشمگیری ایجاد نمی‌کند.

در حالت F8، ۶ تا از روزنه‌های بالادست نیز غیرفعال می‌شوند و کل روزنه‌های فعال محدود به قسمت خمیده لوله مکش خواهند شد. در این حالت نقش روزنه‌های قسمت خم در تامین جریان کل مکش برجسته‌تر از حالت AFUP14 می‌باشد. به عبارت دیگر روزنه‌های قسمت خم جریان بیشتری را باید مکش کنند و قدرت مکش بیشتری نسبت به حالت AFUP14 دارند. در نتیجه سرعت شکل‌گیری مخروط مکش و تخلیه رسوبات بیشتر می‌شود. نتایج نیز این مسأله را نشان داد و غلظت متوسط رسوبات خروجی در حالت F8 نسبت به حالت AFUP14 حدود ۲۷ درصد افزایش یافته است. به دلیل گفته شده حالت BF16، حدود ۶۳ درصد عملکرد بیشتری نسبت به BT41 دارا می‌باشد. همچنین عملکرد روش در حالت CF5، حدود ۱۷۸ درصد بیشتر از حالت CT13 می‌باشد.

قدرت مکش هر روزنه با سهمی که هر روزنه در تأمین کل جریان لوله مکش ایفا می‌کند، رابطه مستقیم دارد. چینش روزنه‌های تحتانی نیز موجب می‌شود روزنه‌ها سهم متفاوتی در تأمین جریان مکش ایفا کنند، در نتیجه، قدرت مکش متفاوتی داشته باشد. به عبارت بهتر چینش روزنه‌های تحتانی در اطراف قسمت خم لوله مکش از طریق تأثیری که بر قدرت مکش روزنه‌ها دارد، انطباق‌پذیری لوله مکش با سطح رسوبات مخروط مکش را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

شکل ۱۶ قدرت مکش روزنه‌ها (اختلاف هد پیزومتریک در مقطعی از لوله که روزنه واقع شده است نسبت به تراز آب داخل مخزن) برای حالتی را نشان می‌دهد که روزنه‌های تحتانی در بالادست، قسمت خم و پایین‌دست لوله مکش گسترش یافته‌اند. در این شکل محور قائم هد پیزومتریک لوله مکش در مقاطع مختلف لوله و محور افقی فاصله از آبگیر در بالادست می‌باشد (آبگیر در انتهای بالادست لوله مکش واقع شده است، شکل ۴). ملاحظه می‌شود آخرین روزنه در پایین‌دست بیشترین قدرت مکش را دارد و قدرت مکش از پایین‌دست به بالادست کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود شیب کاهش قدرت مکش در وجه پایین‌دست زیاد، اما در وجه بالادست کم است. این شکل بیان می‌کند که اگر از سمت پایین‌دست به سمت بالادست حرکت شود، اولین روزنه‌ها بخاطر قدرت مکش بسیار زیاد می‌توانند نقش مهمی در عملکرد روش ایفا کنند.

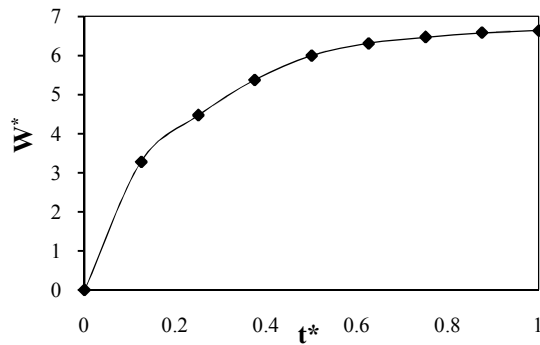
با توجه به مطالب گفته شده می‌توان بیان داشت؛ در



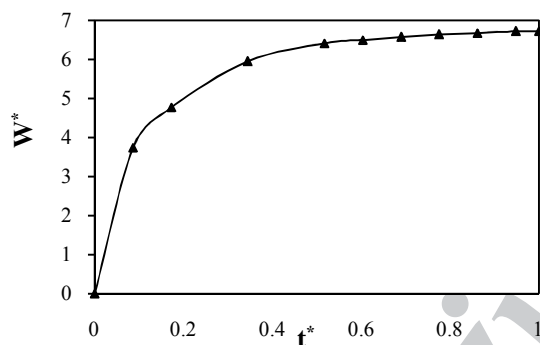
شکل ۱۶ منحنی‌های ارتفاع پیزومتریک لوله مکش برای نسبت فاصله‌ها برابر ۰/۲۵ و نسبت فاصله‌ها برابر ۲

۳-۳- ابعاد مخروط رسوب‌شویی

حجم تجمعی مخروط رسوب‌شویی در مقابل زمان بی‌بعد برای دو آزمایش BF16 و CF5 در شکل‌های ۱۷ نشان داده شده است. این دو آزمایش به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفتند. ملاحظه می‌شود در هر دو آزمایش حجم خالص رسوبات خروجی (حجم رسوبات بدون تخلخل) در انتهای هر دو آزمایش نزدیک به ۰/۱۶ متر مکعب شده است.



الف - BF16

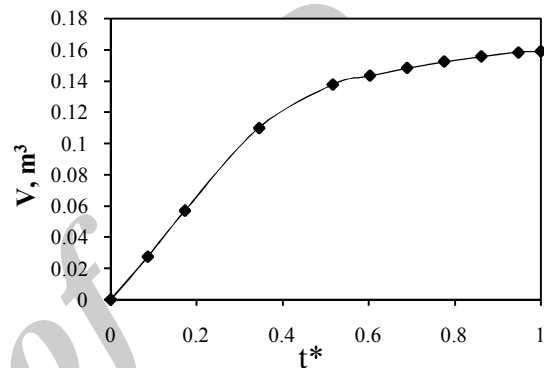


ب - CF5

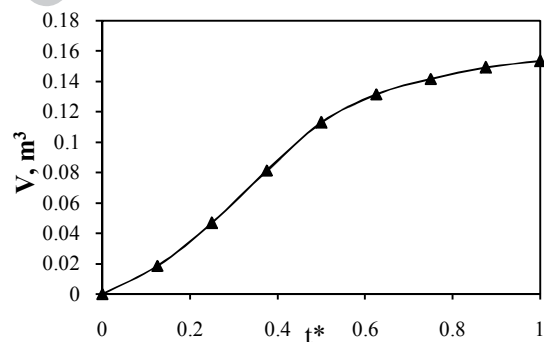
شکل ۱۸ نسبت عرض مخروط رسوب‌شویی به عرض قسمت انحناء

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر آرایش روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و پایین‌دست قسمت خم لوله مکش بر عملکرد روش مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آرایش روزنه‌های تحتانی، تأثیر قطر روزنه تحتانی و فاصله بین آن‌ها نیز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد آرایش روزنه‌ها به سمت بالادست و پایین‌دست موجب کاهش شدید عملکرد می‌شود و آرایش روزنه‌ها تنها به سمت بالادست نیز افت محسوسی در عملکرد ایجاد می‌کند. طرح‌هایی که روزنه‌های تحتانی تنها در قسمت خم لوله مکش قرار دارند، دارای بیشترین عملکرد می‌باشند. از این‌رو توصیه می‌شود در مطالعات بعدی روزنه‌ها تنها در



الف - BF16



ب - CF5

شکل ۱۷ حجم تجمعی مخروط رسوب‌شویی

عرض تجمعی مخروط رسوب‌شویی نسبت به عرض سیستم مکش در محل انحناء در مقابل زمان بی‌بعد برای دو آزمایش BF16 و CF5 در شکل‌های ۱۸ نشان داده شده است. عرض سیستم مکش در قسمت انحناء برای این تحقیق ۲۰ سانتی‌متر است. بر اساس این دو شکل، نسبت عرض مخروط رسوب‌شویی در انتهای آزمایش به حدود ۶ تا ۷ می‌رسد. این بدان معنی است که سیستم مکش دفن‌شونده قادر است تا عرضی حدود ۶/۵ برابر حداکثر عرض خود (۱۳۰ سانتی‌متر) را تحت فرسایش و تخلیه

Bruk, S. (1985). *Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs*. UNESCO, Paris.

Eftekharzadeh, S., (1987). "Sediment bypass system for impounding reservoirs", Ph.D Dissertation, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanic University of Arizona, Tucson, Arizona.

Evrard, J., (1980). "Considerations on sedimentation in the hydraulic installations of electricite de France (French electricity Authority), International Seminar of Experts on Reservoir Desiltation. Committee, 14.

Hotchkiss, B.H. and Huang, X., (1995). "Hydro suction sediment-removal systems (HSRS): Principles and field test" J. of Hydraulic Engineering, June, Vol. 126, No. 6, pp. 479-489.

Hotchkiss, R.H., Huang, X. and Gutzmer, M. (1993). "Achieving a sediment balance across dams: stepping up a technology", Proceeding of Environmental and Natural Resources of the Niobrara River Basin Resources Symposium, University of Nebraska Water Clr. Lincoln, Nebr.

Kantoush, S.A., Sumi, T. and Murasaki, M. (2011). "Evaluation of sediment bypass efficiency by flow field and sediment concentration monitoring techniques", Annual J. Hydraulic Engineering, 55: S-169-S-174.

Lee, C. and Foster, G. (2013). "Assessing the potential of reservoir outflow management to reduce sedimentation using continuous turbidity monitoring and reservoir modeling", Hydraulic Processes, 27, pp. 1426-1439.

Liu, J., Minami, S., Otsuki, H., Liu, B. and Ashida, K. (2004). "Environmental impacts of coordinated sediment flushing", Hydraulic Resources, 42, pp. 461-472.

Miyakawa, M., Hakoishi, N. and Sakurai, T. (2014). "Development of the sediment removal suction pipe by laboratory and field experiments", International Symposium on Dams in A Global Environmental Challenges, June, 2-6 in Bali, Indonesia, V15-V24.

Okano M, Matano F., Sekimoto T. and Katayama H. (2004). "Experimental study on the hydraulic characteristics of the multi-hole suction pipe", Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE.48, pp. 1393-1398.

Sakurai, T., Kashiwai, J. and Kubo, Y. (2006). "Sediment discharge facility using sheet and pipe", Civil Engineering Journal, Vol. 48, No. 12, pp. 30-

قسمت خم لوله مکش قرار گیرند. نتایج آزمایش‌های این مطالعه نشان داد که، طرحی که نسبت قطر روزنه تحتانی به قطر لوله مکش برابر ۰/۵، نسبت فاصله بین روزنه‌ها به قطر روزنه‌ها برابر سه و تنها روزنه‌های قسمت خم فعال می‌باشند، با متوسط غلظت خروجی ۳/۴۲ درصد دارای بیشترین عملکرد است. در این حالت تعداد روزنه‌های تحتانی پنج می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد، در شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده، روش هیدروساکشن دفن‌شونده قادر است تا حدود ۶/۵ برابر عرض خود رسوبات را تخلیه نماید.

۵- فهرست علائم

D	قطر لوله مکش (mm)
D_o	قطر روزنه تحتانی (mm)
s	فاصله بین روزنه‌های تحتانی (mm)
V_{S_T}	حجم کل رسوبات خروجی طی آزمایش (m^3)
V_{W_T}	حجم کل جریان آب خروجی طی آزمایش (m^3)
M_{S_T}	جرم خشک کل رسوبات خروجی طی آزمایش (kg)
ρ_s	چگالی رسوبات (kgm^{-3})
η	عملکرد روش هیدروساکشن دفن‌شونده (Volume, %)
W^*	نسبت عرض مخروط رسوبشویی به عرض قسمت انحنا
t^*	نسبت زمان به زمان کل آزمایش

۶- منابع

پیشگر، ر.، ایوب‌زاده، س.ع. و صانعی، م. (۱۳۹۳). "تعیین فاکتور اصطکاکی و زبری نسبی معادل لوله‌های انعطاف‌پذیر شفاف رایج در کشور با استفاده از روش تعیین افت فشار"، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.

پیشگر، ر. (۱۳۹۴). "بررسی اثر مشخصه‌های هندسی لوله مکش بر راندمان تخلیه رسوب از مخازن سدها به روش هیدروساکشن"، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

Atkinson, E., (1996). "Flushing Sediment from Reservoirs: RESFLUSH User Manual. Report OD/ITM 54", HR Wallingford, Wallingford.

Sukatja, B. and Soewarno, C. (2011). "The problems of small reservoir that built in river basins with high sediment rate, a case study of Sengguruh Reservoir", International Journal of Academies Resources, 3, pp. 146–150.

Pishgar, R., Ayyoubzadeh, S.A., and Ghodsian, M. (2015). "The effect of bottom holes's spacing and diameter of suction pipe on the efficiency of burrowing-type sediment removal method", Proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June-3 July, The Hague, the Netherlands.

35 (in Japanese)

Sakurai, T. and Hakoishi, N. (2012). "Hydraulic characteristics of the burrowing type sediment removal suction pipe, International Symposium on Dams for a Changing World, Kyoto, Japan.

Sakurai, T. and Hakoishi, N. (2011). "Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs", Dams and Reservoirs under Changing Challenges 79th Annual Meeting of ICOLD, Switzerland, pp. 371-378.

Archive of SID