

ارزیابی عملکرد روش محفظه مکش هیدرولیکی در رسوب‌زدایی مخازن

مهدی عباسی‌زاده^۱ و بابک لشکرآرا^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

(دریافت ۹۶/۱۱/۲۴، پذیرش ۹۷/۶/۳۱، نشر آنلاین ۹۷/۶/۳۱)

چکیده

روش‌های لایروبی سیفونی رسوبات برای حل مسئله رسوب‌گذاری در مخازن و دریاچه‌ها به طور گسترده در دهه‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بهره‌بردار بهنگام استفاده از انواع روش‌های مختلف لایروبی سیفونی، با برخی معایب همچون صرف انرژی اضافی، توقف در بهره‌برداری مخزن، هدر رفت آب و تخلیه رسوب بیش از ظرفیت حمل پایین دست مواجه نمی‌باشد. در این مقاله تلاش شده با ساخت یک محفظه مکش هیدرولیکی با خم ۳۶۰ درجه میزان قدرت مکندگی آن ارتقا یابد. برای این منظور ورودی این محفظه به یک بازشدگی ناگهانی مجهز گردید. با این عمل جدایی جریان در ورودی محفظه رخ داده و منجر به تشدید نواحی کم فشار درون آن می‌گردد. در بخش اول تحقیق توزیع عرضی فشار درون محفظه تعیین شد و سپس با تشخیص نواحی کم فشار، نسبت به جایابی بهینه حفره‌های مکنده در کف محفظه مبادرت ورزیده شد. نتایج نشان داد که نسبت فاصله از مرکز خم (r) به شعاع خم (R) برابر ۰/۳۲ و راستای شعاعی ۱۳۵ درجه از ورودی خم به دلیل جدایی جریان و به تبع آن قدرت مکندگی بیشتر، از شرایط مناسب‌تری برای مکش برخوردار است. در گام دوم تحقیق نسبت به ارزیابی میزان بازشدگی حفره‌ها بر راندمان تخلیه رسوبات پرداخته شد. برای این منظور در پنج سناریوی مختلف، میزان نسبت سطوح بازشدگی در کف محفظه به مساحت لوله انتقال جریان (A_D/A_P) معادل ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ نمو داده شد. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت A_D/A_P راندمان رسوب‌زدایی محفظه مکش افزایش می‌یابد. به طور نمونه در نسبت (A_D/A_P) معادل ۰/۵ میزان راندمان سیستم حداکثر ۳۰/۶ درصد ارزیابی می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: رسوب‌زدایی، مکش هیدرولیکی، حوضچه ترسیب، مخزن، لایروبی.

۱- مقدمه

می‌شود که تقریباً معادل ۲۷۷ میلیون مترمکعب رسوب در سال است (ایمان‌شعار و همکاران، ۱۳۹۲).

مدیریت رسوب مخازن سدها به طور کلی به دو دسته اقدامات پیشگیرانه (کاهش دبی رسوبات ورودی به مخزن سد از طریق انجام عملیات آبخیزداری) و اقدامات درمانی (شامل ایجاد سیستم کنارگذر، شستشوی سریع رسوبات، تخلیه جریان‌های گل‌آلود، لایروبی هیدرولیکی و برداشت مکانیکی رسوبات) تقسیم می‌شود. با وجود روش‌های ذکر شده که اغلب به صورت ترکیبی نیز به کار می‌روند همچنان پژوهش در راستای شناخت روش‌های نو و کارا در کاهش میزان رسوب‌گذاری مخازن ضروری به نظر می‌رسد. از جمله روش‌هایی که در سال‌های اخیر به عنوان یک روش کارآمد مورد بررسی قرار گرفته است، سیفون کردن رسوبات داخل مخازن سدها می‌باشد.

در این روش از اختلاف تراز آب داخل مخزن و پایین دست، به

سدها را می‌توان بدون تردید از مهم‌ترین تأسیسات زیربنایی کشور به شمار آورد که از طریق ذخیره‌سازی و تنظیم آب برای مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و تولید برق نقش مهمی در شکوفایی اقتصادی کشور ایفا می‌کنند. احداث سد، هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه را تا حدود زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین پدیده در این میان، رسوب‌گذاری در مخزن سد و کاهش حجم مفید و حجم کنترل سیلاب آن است. هر ساله در حدود ۱ درصد از حجم مخازن دنیا در نتیجه رسوب‌گذاری و تجمع یا انباشت رسوبات در مخزن از دست می‌روند (Shen و Hsieh، ۱۹۹۹).

این در حالی است که عمر مفید و اقتصادی سدها از ابتدای بهره‌برداری بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال پیش‌بینی می‌گردد. متوسط نرخ رسوب‌گذاری سالانه سدها در ایران حدود ۰/۶۵ درصد تخمین زده

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۶۱-۴۲۴۲۸۰۰۰ داخلی ۲۳۲۲

آدرس ایمیل: mehdi781370@yahoo.com (م. عباسی‌زاده)، lashkarara@jsu.ac.ir (ب. لشکرآرا).

غیرچسبنده را مورد ارزیابی قرار دادند (Hakoishi و Sakurai، ۲۰۱۲).

Katayama و همکاران (۲۰۱۳) روابط بین سرعت و غلظت رسوبات را با انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی برای رسوبات درشت‌دانه و ریزدانه بررسی کردند.

Miyakawa و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی مانند رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوب، اتلاف انرژی و غیره، قابلیت کاربرد این روش را برای حذف مواد رسوبی غیرچسبنده و مخازن کوچک تأیید کردند.

تأثیر تغییرات سرعت بر راندمان تخلیه رسوب در روش لوله مدفون نیز با استفاده از مدل آزمایشگاهی در اندازه رسوبات مختلف و در دو قطر لوله مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که در یک رسوب با اندازه مشخص، با افزایش سرعت در لوله، راندمان تخلیه رسوبات خروجی افزایش می‌یابد. هم‌چنین در یک سرعت ثابت، با بزرگتر شدن قطر اندازه رسوبات، راندمان تخلیه رسوبات خروجی کاهش می‌یابد (مقصودلونژاد و همکاران، ۱۳۹۴).

تأثیر تغییرات ارتفاع آب روی رسوبات بر راندمان تخلیه آنها با استفاده از مدل آزمایشگاهی در ترازهای تخلیه مختلف و ۲ قطر متفاوت لوله مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که به ازای کاهش ارتفاع آب، راندمان تخلیه افزایش می‌یابد و هم‌چنین با افزایش تراز تخلیه (سیفونی شدن)، راندمان به دلیل افزایش افت در لوله کاهش می‌یابد (چراغعلی و همکاران، ۱۳۹۴).

اثر قطر روزنه تحتانی و فاصله بین روزنه‌ها بر عملکرد روش هیدروساکشن نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این تحقیق نشان داد که اندازه قطر روزنه و فاصله آنها از یکدیگر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد این روش دارند (پیشگر و همکاران، ۱۳۹۴).

هم‌چنین اثر مشخصات هندسی لوله مکش و میزان تأثیر پارامترهای مختلف آن بر راندمان تخلیه رسوبات در روش هیدروساکشن نیز مورد آزمایش قرار گرفت (پیشگر و همکاران، ۱۳۹۵) در شکل (۱) نحوه کارایی روش هیدروساکشن به روش لوله مدفون به صورت شماتیک نمایش داده شده است. در این پژوهش تلاش شده است تا با تقویت جریان ثانویه و نیروی گریز از مرکز از یکسو و بهره‌گیری از یک بازشدگی ناگهانی در ورودی محفظه از سوی دیگر، شرایط مکش هیدرولیکی درون محفظه بهبود یابد. با افزایش مکش هیدرولیکی درون محفظه، انتظار می‌رود که راندمان رسوب‌زدایی محفظه نیز ارتقاء یابد. بررسی منابع کتابخانه‌ای نیز حاکی از عدم انتشار گزارشی در راستای به‌کارگیری روشی جهت تقویت جریان ثانویه در خم ۳۶۰ درجه به همراه یک بازشدگی ناگهانی می‌باشد. لذا این موضوع به عنوان نوآوری تحقیق حاضر برشمرده می‌شود.

عنوان نیروی مکش و انتقال رسوبات استفاده می‌شود. یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های جریان که در تخلیه رسوبات در این روش مورد استفاده قرار گرفته تا رسوبات بیشتری تخلیه گردد عبارت است از وجود جریان شدیداً آشفته در نزدیکی محل ورود جریان آب (به داخل سیفون) که سبب کنش حجم قابل توجهی از رسوبات تجمع‌یافته در مخزن می‌گردد. از مزیت‌های این روش نسبت به دیگر روش‌های لایروبی می‌توان به عدم نیاز به انرژی، سازگاری با محیط زیست به خاطر قابل کنترل بودن میزان رسوبات خروجی، عدم نیاز به مکانی برای انباشتن رسوبات به خاطر دور شدن مستقیم رسوبات از طریق جریان رودخانه در پایین دست سد و کم هزینه بودن نام برد. از معایب آن نیز می‌توان به قابلیت کاربرد در مخازن کوچک (طول دریاچه مخزن کمتر از ۳ کیلومتر) و نیز سدهای با حجم کمتر از ۱۰۰ میلیون مترمکعب اشاره کرد (پیشگر و همکاران، ۱۳۹۴).

اولین بار از سیستم سیفون در سد ریوماجون به منظور تخلیه رسوبات از مقابل آبگیرهای تحتانی سد استفاده شد (Fan، ۱۹۸۶). Eftekharzadeh (۱۹۸۷) پژوهش‌های گسترده‌ای را روی این روش در ایالات متحده شروع کرد و علاوه بر معرفی اجزای اصلی این روش، طرح سیستم تخلیه هیدروساکشن برای مخزنی در کالیفرنیا را ارائه داده شد.

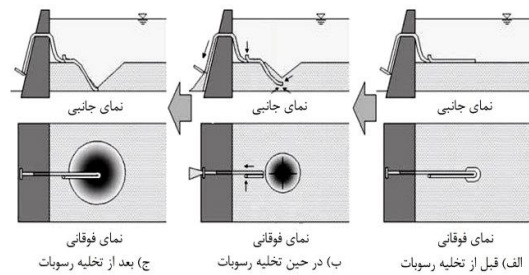
در ادامه تحقیقات صورت گرفته، از روش هیدروساکشن با لوله‌ای به قطر ۰/۷ متر برای رسوب‌زدایی مواد ریزدانه مخزن والدزیاد در کشور ایتالیا استفاده شد (Fan و Morris، ۱۹۹۸). بیشترین تعداد استفاده از این روش با ۱۰ مورد، در کشور چین گزارش شده است. مطالعات آزمایشگاهی این تحقیق با بررسی مدل جدید تخلیه کننده رسوب^۳ که در آن چندین روزنه در قسمت تحتانی لوله با فاصله مساوی وجود داشت ادامه یافت (Okano و همکاران، ۲۰۰۷).

خسرونژاد (۱۳۸۷) در مطالعات خود با کار بر روی یک مدل عددی، راه‌کارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش هیدروساکشن را برای رسوب‌زدایی مخازن سدهای کشور ایران و روابط محاسبه دبی رسوبی در سیستم هیدروساکشن به همراه دستورالعمل طراحی هیدرولیکی آن ارائه کرد.

Hakoishi و Sakurai (۲۰۰۶) با انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی، روش جدید هیدروساکشن لوله مکش دفن‌شونده را معرفی کردند. در ادامه Hakoishi و Sakurai این روش را با استفاده از مدل آزمایشگاهی در دو مقیاس کوچک و متوسط توسعه دادند (Hakoishi و Sakurai، ۲۰۱۱). Hakoishi در ادامه تحقیقات شان با گسترش روزنه‌های تحتانی به سمت بالادست و انجام آزمایش‌های متعدد، رابطه بین سرعت در لوله و غلظت رسوبات و اتلاف انرژی جریان در مواد رسوبی

آزمایش تعیین توزیع عرضی فشار درون محفظه مکش در جدول (۱) ارائه شده است.

پس از شناسایی نواحی کم‌فشار در بخش اول تحقیق، ساخت یک مدل فیزیکی دیگر جهت ارزیابی راندمان رسوب‌زدایی محفظه در دستور کار تحقیق قرار گرفت. برای این منظور یک محفظه مکش هیدرولیکی از جنس فلز ساخته شد و در نواحی کم فشار شناسایی شده در بخش اول تحقیق، تعدادی حفره تعبیه گردید. هدف از اجرای بخش دوم آزمایش‌ها، ارزیابی میزان بازشدگی این حفره‌ها بر راندمان رسوب‌زدایی محفظه می‌باشد.

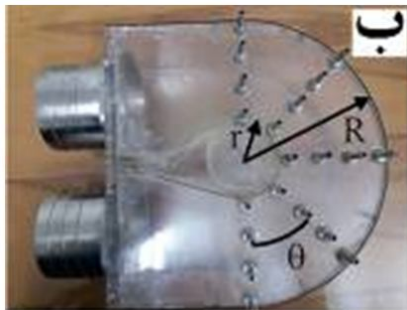


شکل ۱- شماتیک نحوه کارایی روش هیدروساکشن لوله مکش دفن شونده (Hakoishi و Sakurai، ۲۰۱۱)



۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو مدل فیزیکی مختلف استفاده گردید. در بخش اول تحقیق، آزمایش‌ها جهت تعیین چگونگی توزیع عرضی فشار درون محفظه به اجرا درآمد. جهت انجام اهداف این بخش از تحقیق نسبت به ساخت یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک و مهندسی رودخانه دانشگاه صنعتی جندی شاپور اقدام گردید. جزء اصلی این مدل یک محفظه از جنس پلکسی گلاس شفاف به طول، عرض و ارتفاع ۲۷/۵، ۲۷/۵ و ۱۲/۵ سانتی‌متر می‌باشد. شفافیت این محفظه کمک می‌نماید تا وضعیت جریان در حین آزمایش به خوبی مشاهده شود. ناحیه خم محفظه دارای شعاع ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد. تصویر محفظه به کار رفته در تحقیق حاضر در شکل (۲) نشان داده شده است. به منظور انتقال جریان ورودی و خروجی از محفظه از لوله خرطومی انعطاف‌پذیر به قطر داخلی ۴ اینچ استفاده شده است. جهت ارزیابی چگونگی توزیع فشار درون محفظه، در قسمت تحتانی آن تعداد ۲۰ روزنه در ۵ ردیف ۴ تایی تحت زوایای صفر، ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه ایجاد شده است تا با اتصال شیلنگ رابط به این روزنه‌ها بتوان چگونگی تغییرات عرضی فشار درون محفظه را ارزیابی نمود. در شکل (۲-الف) سیستم تغذیه جریان ورودی به محفظه و تخلیه جریان خروجی از آن به نمایش گذاشته شده است. همچنین در شکل (۲-ب) نمای تحتانی و پارامترهای متعلق به موقعیت نقاط اندازه‌گیری کف محفظه نمایش داده شده‌اند. هر یک از موقعیت‌های تعبیه شده توسط یک شیلنگ رابط به ترانس‌میتور^۴ فشار ساخت شرکت کیلر^۵ متصل گردید و متوسط فشار موضعی در کلیه موقعیت‌های بیست‌گانه ثبت شد. همچنین برای دبی و فشار در ورودی محفظه از کنتور الکترومغناطیس ساخت شرکت ایران مدار با دقت ۰/۰۲ درصد مقیاس اصلی استفاده گردید. در مجموع از ۲۳ دبی جهت ارزیابی توزیع فشار موضعی در کف محفظه استفاده شد. محدوده تغییرات پارامترهای تأثیرگذار در



شکل ۲- الف) سیستم آزمایشگاهی شماره ۱ جهت تعیین توزیع عرضی فشار، ب) نمای تحتانی محفظه مکش هیدرولیکی و نمایش پارامترهای موقعیت مکانی نقاط اندازه‌گیری فشار، ج) نمای جانبی محفظه مکش هیدرولیکی

4. Transmitter
5. KELLER

جدول ۱- دامنه پارامترهای مؤثر بر فضای آزمایش تعیین توزیع عرضی فشار درون محفظه

متغیر	نماد	واحد	تغییرات
زاویه روزنه	θ	درجه	۱۸۰ - ۰
دبی	Q	لیتر بر ثانیه	۱۲/۲۹ تا ۱/۱۶
پارامتر نسبی موقعیت روزنه	r/R	بی بعد	۰/۳۲ تا ۰/۹۶
عدد رینولدز	Re	بی بعد	۶۹۲۳۶۴۵۹ تا ۶۵۳۴۹۳۰/۲
عدد فرود	Fr	بی بعد	۱/۵۲ تا ۰/۱۴
عدد اویلر	Eu	بی بعد	۱/۵۱۹ تا ۰/۰۰۲

پارامتر $(\rho_s - \rho)/\rho$ به صورت $(G_s - 1)$ تعریف می شود. از تقسیم (A_D/H^2) بر (A_P/H^2) پارامتر بدون بعد (A_D/A_P) ، از تقسیم (L_1/H) بر (L_2/H) پارامتر بدون بعد (L_1/L_2) ، از تقسیم (Q_S/VH^2) بر (Q_T/VH^2) پارامتر بدون بعد (Q_S/Q_T) ، از تقسیم (H_S/H) بر (H_T/H) پارامتر بدون بعد (H_S/H_T) و نیز با ضرب پارامترهای $D_S g(G_S - 1)/V^2$ و $(G_S - 1)$ در یکدیگر، پارامتر بی بعد $D_S g(G_S - 1)/V^2$ حاصل می شوند. بنابراین پارامترهای بی بعد حاصل به شرح ذیل می باشند:

$$f_1\left(\frac{A_D}{A_P}, \frac{L_1}{L_2}, \frac{Q_S}{Q_T}, \frac{H_S}{H_T}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \frac{v}{VH}, \frac{D_S g(G_S - 1)}{V^2}, \frac{\Delta P}{\rho V^2}, \frac{Vt}{H}\right) = 0 \quad (2)$$

ملاحظه می شود که پارامتر بدون بعد $D_S g(G_S - 1)/V^2$ در رابطه (۲) معرف مجذور عدد فرود ذره $(F_g)^2$ ، پارامتر بدون بعد (v/VH) معرف عدد رینولدز، پارامتر بدون بعد $(\Delta P/\rho V^2)$ معرف عدد اویلر و پارامتر بدون (Vt/H) معرف عدد استروهل می باشد. با توجه به ثابت بودن طول های L_1 و L_2 در طول آزمایش، می توان از اثر (L_1/L_2) صرف نظر کرد. نظر به این که کلیه آزمایشات با استفاده از یک لایه ماسه ریزدانه با ضخامت ثابت مورد آزمون قرار گرفته است، لذا پارامتر بدون بعد (H_S/H_T) در طول آزمایشات نمود نمی نماید، لذا می توان از اثر آن چشم پوشی نمود. از طرفی با توجه به ثابت بودن نوع مصالح رسوبی به کار رفته در آزمایش، از اثر $(\rho_s - \rho)/\rho$ نیز صرف نظر می شود. اگر پارامتر بدون بعد (Q_S/Q_T) با نماد راندمان عملکرد سیستم (E) نمایش داده شود، می توان نوشت:

$$f_1(A_D/A_P, E, Re, F_g^2, Eu, St) = 0 \quad (3)$$

$$E = f_2(A_D/A_P, Re, F_g^2, Eu, St) \quad (4)$$

در این آزمایش مقدار D_S ظاهر شده در عدد فرود ذره، معادل قطر میانگین ذرات (D_{mean}) در نظر گرفته شده است که با توجه به منحنی دانه بندی ارائه شده در شکل (۳)، مقدار D_{mean} ذرات برابر $۰/۱۹$ میلی متر می باشد.

در گام بعد به منظور دستیابی به دو هدف از آنالیز ابعادی استفاده گردید. نخست آن که با شناسایی پارامترهای مؤثر بر عملکرد محفظه بتوان تابع حاکم بر فضای تحقیق را شناسایی نمود. ثانیاً با استفاده از پارامترهای بدون بعد بتوان شرایط و نتایج حاصل از این تحقیق را به موارد مشابه و یا در مقیاس های دیگر تعمیم داد. برای این منظور از تئوری π -باکینگهام استفاده گردید. پارامترهای مؤثر بر فضای پژوهش به شرح زیر طبقه بندی گردید:

الف) خصوصیات دینامیکی سیال شامل: چگالی سیال ρ ، چگالی رسوبات ρ_s ، چگالی مستغرق رسوبات $\rho_s - \rho$ ، لزوجت سینماتیک ν ، شتاب ناشی از ثقل و یا گرانش g

ب) خصوصیات سینماتیکی جریان شامل: سرعت جریان ورودی به محفظه V ، اختلاف فشار در ورودی محفظه با فشار اتمسفر ΔP ، دبی رسوبات Q_S ، دبی خروجی (مجموع دبی آب و دبی رسوبات) Q_T ، زمان آزمایش t

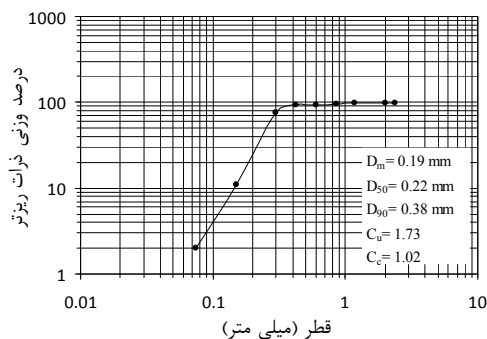
ج) خصوصیات مرزی و هندسی جریان شامل: مجموع سطوح بازشدگی در کف محفظه A_D ، سطح مقطع لوله ورودی به یا خروجی از محفظه A_P ، طول لوله ورودی به محفظه L_1 ، طول لوله خروجی از محفظه L_2 ، ضخامت اولیه لایه رسوبی H_S ، ارتفاع بار آبی روی محفظه تا تراز رسوبات H ، اختلاف رقوم سطح آب بالادست و پایین دست H_T و قطر متوسط ذرات رسوب D_S

با در نظر گرفتن متغیرهای ρ ، V و H به عنوان متغیرهای تکراری در سیستم MLT، نسبت به تجزیه و تحلیل ابعادی اقدام گردید. نسبت های بی بعد برای پارامترهای مشخصه عبارت خواهند بود از:

$$f\left(\frac{A_D}{H^2}, \frac{A_P}{H^2}, \frac{L_1}{H}, \frac{L_2}{H}, \frac{Q_S}{VH^2}, \frac{Q_T}{VH^2}, \frac{H_S}{H}, \frac{H_T}{H}, \frac{\nu}{VH}, \frac{gH}{V^2}, \frac{\Delta P}{\rho V^2}, \frac{Vt}{H}, \frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \frac{D_S}{H}\right) = 0 \quad (1)$$



(الف)



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی رسوب مورد آزمایش

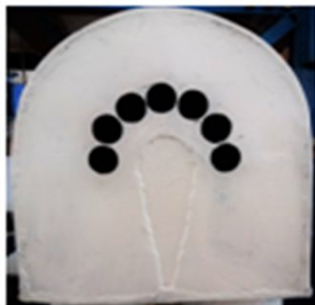


(ب)

شکل ۴- الف) نمایی فوقانی از مدل آزمایشگاهی شماره ۲ جهت ارزیابی راندمان رسوب‌زدایی محفظه مکش هیدرولیکی،
ب) نمای جانبی مدل



(الف)



(ب)

شکل ۵- محفظه مکش هیدرولیکی به ترتیب: الف) سناریوهای اول (S_1) با نسبت بازشدگی ۰/۱، ب) سناریوی پنجم (S_5) با نسبت بازشدگی ۰/۵

مشابه مرحله تعیین توزیع عرضی فشار درون محفظه، در این بخش نیز از لوله خرطومی با قطر ۴ اینچ جهت انتقال جریان استفاده شده است. آزمایش‌های این بخش در فلومی به طول شش متر، عرض و ارتفاع یک متر انجام گرفتند. شدت جریان ورودی به فلوم نیز با استفاده از یک دستگاه دبی‌سنج الکترومغناطیس با دقت نمای کلی از پلان تجهیزات آزمایشگاهی و فلوم مورد استفاده در بخش دوم تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به تابع حاصل از آنالیز ابعادی حاصل شده، مشاهده می‌شود که نسبت بدون بعد Ad/AP بر روی پارامتر راندمان سیستم مؤثر است. از این رو سناریوهای حاکم بر پژوهش بر اساس این پارامتر طرح‌ریزی شد. در این راستا از ۵ نسبت Ad/AP (Ad : مجموع سطوح بازشدگی در کف محفظه و AP : سطح مقطع لوله ورودی به یا خروجی از محفظه) ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ استفاده گردید. طرح آزمایش‌ها در قالب پنج سناریو در جدول (۲) نمایش داده شده‌اند. شکل (۵) نمای کف محفظه را طی سناریوهای اول S_1 و دوم S_2 نمایش می‌دهد. نسبت‌های Ad/AP با تغییر در قطر حفره‌های کف محفظه و افزایش آن‌ها تأمین گردید. هر نسبت Ad/AP در ۱۰ دبی مورد آزمایش قرار گرفت.

جدول ۲- شرایط سناریوهای تدوین شده

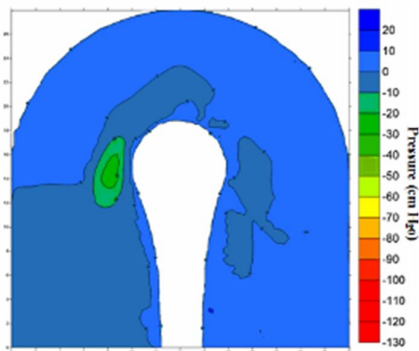
شماره سناریو	سطوح بازشدگی در کف (m^2) Ad	سطح مقطع لوله (m^2) AP	Ad/AP
S_1	۰/۰۰۹۲۹	۰/۰۰۸۱۰۳	۰/۱
S_2	۰/۰۰۱۷۸	۰/۰۰۸۱۰۳	۰/۲
S_3	۰/۰۰۲۶۵۹	۰/۰۰۸۱۰۳	۰/۳
S_4	۰/۰۰۳۷۱۴	۰/۰۰۸۱۰۳	۰/۴
S_5	۰/۰۰۴۶۲۱	۰/۰۰۸۱۰۳	۰/۵

۳- نتایج و بحث

همان طوری که پیشتر بدان اشاره شد مرحله اول آزمایش‌ها به منظور تعیین توزیع عرضی فشار درون کف محفظه به اجرا درآمد. برای این منظور ۲۳ دبی مورد آزمون قرار گرفت و مقادیر موضعی فشار در محل حفره‌های کف محفظه برداشت شد. منحنی‌های هم‌فشار در درون محفظه به ازای دبی‌های مختلف در شکل‌های (۶) تا (۹) نمایش داده شده‌اند.

مشاهدات آزمایشگاهی مربوط به توزیع عرضی فشار شامل مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر (شکل‌های (۱۰) تا (۱۴)) بیانگر این امر است که با کاهش نسبت r/R ، مقدار فشار عرضی در کف محفظه نیز کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر با افزایش فاصله از مرکز داخلی خم محفظه به طرف نقاط بیرونی آن، میزان فشار عرضی از روند نزولی برخوردارند. بنابراین می‌توان دریافت که نقاط واقع در محدوده داخلی قوس محفظه از فشار کم‌تری برخوردار بوده و یا به عبارتی از قدرت مکنندگی بالاتری برخوردار است.

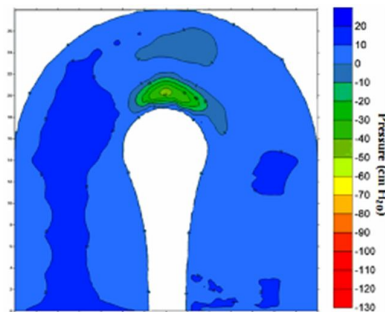
همان‌گونه که از بررسی شکل‌های (۱۰) الی (۱۴) ملاحظه می‌گردد در راستای شعاعی ۱۳۵ درجه (شکل (۱۳)) مقادیر فشار منفی ثبت شده نسبت به راستاهای دیگر بیشتر می‌باشد. لذا می‌توان چنین ادعا نمود که حفره‌های حفر شده در راستای ۱۳۵ درجه از قدرت مکنندگی بیشتری برخوردار خواهند بود. از طرفی با توجه به مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر ارائه شده تحت زوایای مختلف مشاهده می‌شود که در شعاع نسبی $0/32$ هم محدوده فشارهای منفی بیشتر بوده و هم حداکثر فشار منفی درون محفظه در این شعاع نسبی رخ داده است. این امر را می‌توان به تشدید جریان ثانویه ناشی از جدایی جریان از قوس داخلی محفظه نسبت داد که منجر به افزایش فشار منفی در محل حفره‌های کف محفظه شده است.



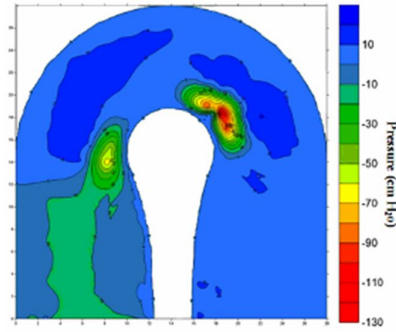
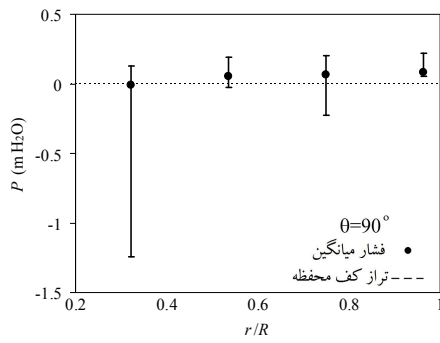
شکل ۷- منحنی‌های هم‌فشار در درون محفظه تحت دبی ۷/۲ لیتر بر ثانیه

جهت حذف اثر زمان‌بر نتایج تحقیق شرایط به گونه‌ای فراهم گردید تا پس از هواگیری، یک بار سیستم تخلیه رسوبات به طور کامل وارد مدار شود. روند تخلیه رسوبات تا زمانی که ۸۰ درصد رسوبات انباشته شده در زیر محفظه تخلیه شود، ادامه خواهد یافت. سپس با قطع جریان نسبت به جایگزینی رسوبات درون مخزن و تخلیه و تنظیف رسوبات فلوم تله انداز رسوب اقدام خواهد گردید. در گام بعد سیستم مکش هیدرولیکی تحت دبی مشابه حالت قبل مجدداً وارد مدار خواهد شد. پس از طی مدت زمان ۱۰ دقیقه از شروع فعالیت مجدد محفظه مکش هیدرولیکی، جریان قطع و رسوبات تخلیه شده اندازه‌گیری می‌شوند.

در این آزمایش از ماسه بادی به عنوان رسوب کف مخزن استفاده شد که وزن مخصوص ظاهری آن معادل $1181/165$ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین گردید. ضخامت لایه رسوب مورد آزمون در کلیه آزمایش‌ها معادل ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طی هر آزمایش، پس از خشک نمودن رسوبات نسبت به توزین آن‌ها اقدام گردید. میزان راندمان هر آزمایش نیز از تقسیم میزان دبی رسوب خروجی بر مجموع دبی ورودی به سیستم و دبی رسوب خروجی از آن تعیین گردید. با شروع زمان هر آزمایش، محفظه فلزی مکش بر سطح رسوبات قرار داده شد و پس از پایان زمان ۱۰ دقیقه آزمایش از روی رسوبات برداشته و جریان قطع گردید. پس از انجام آزمایش‌ها مطابق با سناریوهای تدوین شده، با استفاده از نرم‌افزار تحلیل گر آماری، نسبت به تعیین میزان اثرپذیری هریک از پارامترهای بدون بعد رابطه (۴)، بر روی راندمان سیستم اقدام شده است و در نهایت تجزیه و تحلیل‌های لازم در راستای نقاط ضعف و قوت مدل پیشنهادی ارائه شده است. توابع خطای مورد استفاده برای تحلیل آماری شامل: جذر میانگین مربعات خطا، درصد میانگین خطا، خطای استاندارد تخمین، راندمان مدل‌سازی و همچنین ضریب زاویه خط رگرسیون (m) برازش داده شده از بین نتایج در مقایسه با خط ۴۵ درجه می‌باشد.

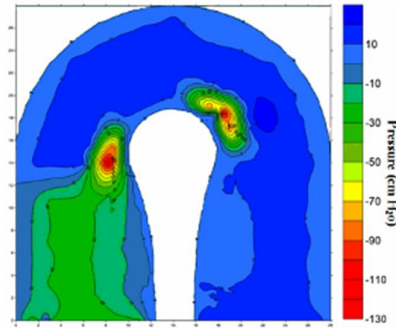
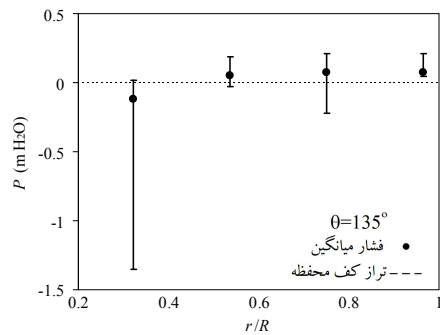


شکل ۶- منحنی‌های هم‌فشار در درون محفظه تحت دبی ۴/۱۲۵ لیتر بر ثانیه



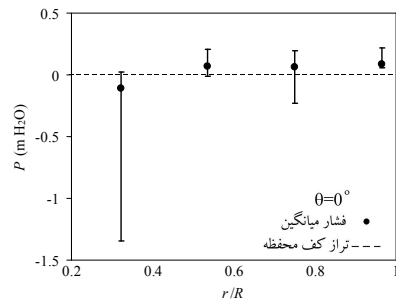
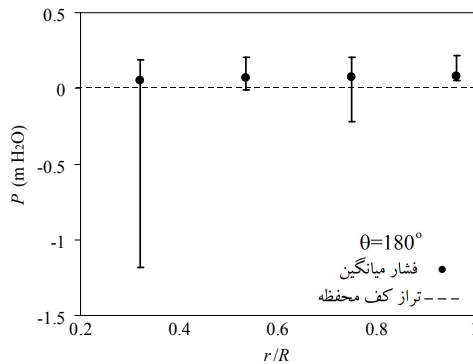
شکل ۸- منحنی‌های هم‌فشار در درون محفظه تحت دبی ۱۰/۸ لیتر بر ثانیه

شکل ۱۲- مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر تحت زاویه ۹۰ درجه



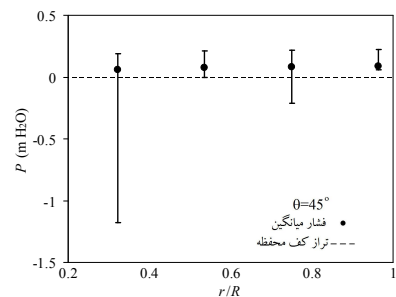
شکل ۹- منحنی‌های هم‌فشار در درون محفظه تحت دبی ۱۱/۶۴ لیتر بر ثانیه

شکل ۱۳- مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر تحت زاویه ۱۳۵ درجه



شکل ۱۰- مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر تحت زاویه صفر درجه

شکل ۱۴- مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر تحت زاویه ۱۸۰ درجه

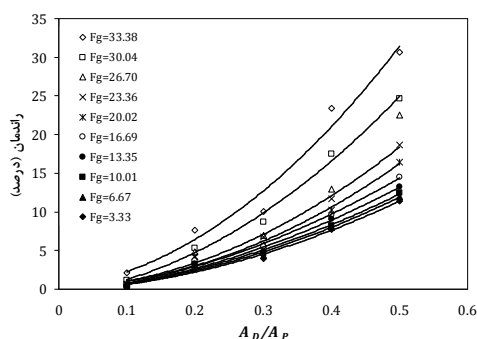


شکل ۱۱- مقادیر فشار میانگین، حداقل و حداکثر تحت زاویه ۴۵ درجه

در راستای تأمین اهداف پیش‌بینی شده در مبحث تحلیل ابعادی و به منظور بررسی اثر تغییرات نسبت Ad/AP بر عملکرد سیستم محفظه مکش هیدرولیکی، آزمایش‌ها مطابق با سناریوهای از پیش تدوین شده به اجرا درآمدند. محدوده تغییرات پارامترهای حاکم بر فضای پژوهش در جدول (۳) خلاصه شده است. همان‌طور که در روش تحقیق اشاره شد، شرایط آزمایشگاهی به گونه‌ای

جدول ۳- محدوده تغییرات پارامترهای مؤثر در شرایط وجود

رسوب		نماد	تغییرات	واحد
نسبت سطح	A_D/A_P		۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵	بی بعد
دبی	Q		۰/۵ تا ۵	لیتر بر ثانیه
هد آب روی رسوب	H		۰/۲۵	متر
عدد رینولدز	Re		۱۵۳۱۹ تا ۱۵۳۱۸۸	بی بعد
عدد فرود ذره	Fg		۳۳/۳۸ تا ۲/۳۳	بی بعد
عدد اویلر	Eu		۰/۵۲۶۳ تا ۵۲/۶۳	بی بعد
عدد استروهل	St		۱۴۸/۰۸۹۵ تا ۱۴۸۰/۸۹۵	بی بعد



شکل ۱۵- تغییرات راندمان رسوب زدایی محفظه مکش هیدرولیکی در مقابل سطح نسبی بازشدگی سطح A_D/A_P

به منظور تشخیص چگونگی روند تغییرات پارامترهای مستقل و وابسته حاصل از آنالیز ابعادی، از مدل رگرسیون غیرخطی استفاده شده است. بدین ترتیب جهت تعیین معادله حاکم بر فضای تحقیق از نرم افزار تحلیل گر آماری Sigma Plot 12.0 استفاده شده است. نگاشت صورت گرفته بر فضای بین پارامترهای مستقل و وابسته را می توان به صورت رابطه (۵) نشان داد:

$$E = 0.0041 \left(\frac{A_D}{A_P} \right)^{1.7403} \times (Re)^{0.0862} \times \left(\frac{F}{g} \right)^{4.4069} \times (Eu)^{-2.6735} \times (St)^{0.416} \quad (5)$$

تجزیه و تحلیل آماری توابع خطای حاصل از پیش بینی پارامتر وابسته در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهد که معادله پیشنهادی جهت پیش بینی پارامتر وابسته (E) دارای ضریب همبستگی ۰/۹۹ و RMSE معادل ۰/۷ درصد می باشد. جدول (۴) سایر توابع خطای حاصل از نتایج پیش بینی شده توسط معادلات پیشنهادی را در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی نشان می دهد. در شکل (۱۶) نحوه فرارگیری مقادیر پیش بینی شده حاصل از معادله پیشنهادی را در مقابل مقادیر مشاهداتی نشان می دهد.

تنظیم گردید که میزان اثرگذاری نسبت A_D/A_P بر راندمان سیستم در ۵ مقدار ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اولین سناریوی تعریف شده، جهت تأمین نسبت A_D/A_P برابر ۰/۱، از ۷ حفره با قطر ۱۳ میلی متر در کف محفظه استفاده شد و عملکرد آن در ۱۰ دبی ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۴، ۴/۵ و ۵ لیتر بر ثانیه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج مشاهدات آزمایشگاهی تحت سناریوهای مختلف در جدول (۴) ارائه شده است. حداکثر راندمان خروجی سیستم در این سناریو برابر ۲/۱ درصد بوده است. نکته دیگر تغییرات ناچیز راندمان طی دبی های مورد آزمایش در این سناریو می باشد. در ادامه با تغییر قطر حفره های کف محفظه به ۱۸ میلی متر، نسبت A_D/A_P برابر ۰/۲ تأمین گردید که در نتیجه مشاهده شد حداکثر راندمان در شرایط آزمایشگاهی سناریوی دوم با افزایش ۵/۴ درصدی نسبت به سناریوی قبلی به ۷/۶ درصد رسیده است. کم ترین افزایش در بهره وری سیستم نیز تقریباً ۳ درصد و متعلق به دبی ۵ لیتر بر ثانیه بوده است. در سناریوی سوم تدوین شده در مرحله دوم آزمایش ها، با ایجاد ۷ حفره با قطر ۲۲ میلی متری در کف محفظه، نسبت A_D/A_P به ۰/۳ افزایش داده شد. نتیجه این افزایش، بهبود ۳ درصدی حداکثر راندمان طرح نسبت به طرح قبلی بوده است. در سناریوی چهارم که پارامتر نسبی سطح برابر ۰/۴ لحاظ شده است، قطر حفره های کف محفظه به ۲۶ میلی متر تغییر پیدا کرد تا این نسبت به دست آید. در طی ۱۰ دبی مورد آزمایش تحت شرایط آزمایشگاهی این سناریو، ۱۳ درصد افزایش در حداکثر راندمان طرح فعلی نسبت به طرح قبلی مشاهده شد. آخرین سناریوی اصلی مورد آزمون با برقراری نسبت A_D/A_P معادل ۰/۵ محقق گردید. این سناریو با تعبیه حفره هایی با قطر ۲۹ میلی متر رقم خورد. نتایج آزمایش های آزمون رسوب نشان داد که راندمان محفظه مکش هیدرولیکی در این سناریو تا ۳۰/۶ درصد افزایش یافته است. ملاحظه می گردد که با افزایش میزان بازشدگی در کف محفظه، راندمان عملکردی سیستم نیز افزایش داشته است. بنابراین می توان چنین بیان نمود که پارامتر نسبی سطح با راندمان سیستم محفظه رابطه مستقیم دارد. روند تغییرات راندمان سیستم محفظه مورد آزمایش در شکل (۱۵) نمایش داده شده است.

در تحلیل حساسیت راندمان سیستم محفظه نسبت به پارامتر بدون بعد اویلر که بیانگر میزان فشار درون محفظه می باشد، نتایج مشاهداتی نشان داد که با افزایش فشار درون محفظه، راندمان سیستم کاهش می یابد. در توجیه این امر می توان چنین بیان نمود که هرچه فشار درون محفظه نسبت به اتمسفر کمتر باشد، قدرت مکندگی حفره های کف بیشتر بوده و با افزایش بازشدگی کف محفظه و کاهش فشار درون آن، راندمان سیستم در مقایسه با میزان بازشدگی کمتر، بالاتر می باشد.

۵- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نگارندگان مقاله، از دانشگاه صنعتی جندی شاپور به پاس تأمین منابع مالی و فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی تقدیر و تشکر می‌نمایند.

۶- مراجع

ایمان شعار ف، حسن‌زاده ی، اعلمی م ت، داننده‌مهر ع، "تحلیل عدم قطعیت در تعیین جرم مخصوص رسوبات ته نشین شده در مخازن سدها"، نشریه آب و خاک، ۱۳۹۲، ۳۳ (۱)، ۲۷-۳۷.

پیشگر ر، ایوب‌زاده ع، صانعی م، قدسیان م، "بررسی آزمایشی اثر آرایش روزنه‌های مکش رسوب بر عملکرد روش لوله دفن شونده در لایروبی مخازن"، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، تیر ۱۳۹۴، ۱۰ (۱)، ۱-۱۲.

پیشگر ر، ایوب‌زاده ع، صانعی م، قدسیان م، "بررسی آزمایشی اثر مشخصه‌های هندسی و مکانیکی لوله مکش بر کارایی روش هیدروساکشن در تخلیه رسوب"، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، تیر ۱۳۹۵، دوره ۱۶ (۲)، ۸۰-۶۷.

چراغعلی م، احمدی الف، صانعی م، امامقلی‌زاده ص، "تأثیر ارتفاع آب بر راندمان روش هیدروساکشن"، کنفرانس ملی مهندسی معماری، عمران و توسعه شهری، بابل، دوره ۱، آبان ۱۳۹۴. خسرونژاد ع، "مطالعه و ارائه راهکارهای عملی طراحی هیدرولیکی روش رسوب‌زدایی هیدروساکشن برای رسوب‌زدایی مخازن سدهای کشور"، طرح پژوهشی وزارت نیرو به شماره ۸۵۱۰۰، ۱۳۸۷.

مقصودلونژاد ع، احمدی الف، صانعی م، امامقلی‌زاده ص، "تأثیر سرعت در لوله مکش بر راندمان روش هیدروساکشن"، اولین کنفرانس ملی مهندسی معماری، عمران و توسعه شهری، بابل، دوره ۱، آبان ۱۳۹۴.

Eftekharzadeh S, "Sediment bypass system for impounding reservoirs", PhD Thesis, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, University of Arizona, Tucson, Arizona, 1987.

Fan, J, "Turbid Density Currents in Reservoirs", Water International, 1986, 11 (3), 107-116.

Hsieh W, Shen H, "Flushing sediment through reservoirs", Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 37 (6), 743-757

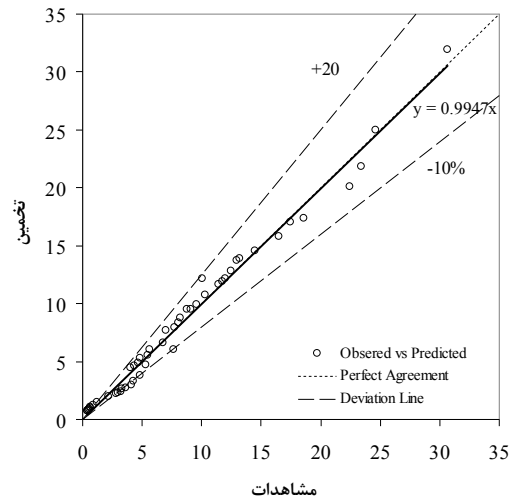
Katayama H, Tajima Y, "Pipeline Sediment Transportation Using Hydro Suction Sediment Removal Systems", Japanese Journal of Multiphase Flow, 2013, 27 (3), 282-289.

Miyakawa M, Hakoishi N, Sakurai T, "Development of the sediment removal suction pipe by laboratory and field experiments", International Symposium on Dams in A Global Environmental Challenges, June 2014.

Morris GL, Fan J, "Reservoir sedimentation handbook", McGraw-Hill, New York, 1998.

جدول ۴- توابع خطای حاصل از به‌کارگیری رابطه (۵) در تخمین

راندمان سیستم محفظه مکش					
پارامتر	میانگین مربعات خطا	درصد میانگین خطا	خطای استاندارد تخمین	راندمان	ضریب ضریب زائویه
	RMSE	MPE	SEE	EF	m
E	۰/۷۸۳۲	۸/۸	۰/۷۹۴۸	۰/۹۸۷۴	۰/۹۹۴۷



شکل ۱۶- پیش‌بینی راندمان سیستم محفظه مکش توسط رابطه (۵) در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، توزیع عرضی فشار درون محفظه مکش هیدرولیکی با خم ۳۶۰ درجه به‌همراه یک بازشدگی ناگهانی به منظور جایابی بهینه حفره‌های مکنده کف آن اندازه‌گیری شد. طی ۲۳ دبی مورد آزمون مشخص شد که نسبت r/R برابر ۰/۳۲ و همچنین راستای شعاعی ۱۳۵ درجه از شروع خم از نظر مقدار فشار میانگین، حداقل و حداکثر دارای مقدار کمتری بوده و در نتیجه با منفی‌تر شدن فشار موضعی از قدرت مکنده‌گی بیشتری نیز برخوردار می‌باشند. از طرفی طی بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که با افزایش نسبت r/R از قدرت مکش حفره‌های کف محفظه کاسته می‌شود. بررسی نتایج آزمون رسوب نشان داد که چنانچه میزان سطح بازشدگی حفره‌های کف محفظه بر سطح لوله ورودی به ۵۰ درصد برسد، محفظه مکش هیدرولیکی با حداکثر راندمان قادر است تا نسبت به تخلیه رسوبات به پایین دست اقدام نماید. بررسی‌های اجمالی نشان داد که محفظه مکش هیدرولیکی قادر است تا با کیفیت و کمیت مطلوبی هم از لحاظ هیدرولیکی و هم زیست‌محیطی، به منظور تخلیه رسوبات انباشته شده در مجاورت دیواره سد مورد استفاده قرار گیرد.

- Okano M, Matano F, Sekimoto T, Katayama H, "Experimental Study on the Hydraulic Characteristics of the Multi-Hole Suction Pipe", Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 2004, 48, 1393-1398.
- Sakurai T, Hakoishi N, "Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs", Dams and Reservoirs under Changing Challenges 79th Annual Meeting of ICOLD 2011, Switzerland, 2011, 371-378.
- Sakurai T, Hakoishi N, "Hydraulic Characteristics of the Burrowing Type Sediment Removal Suction Pipe", International Symposium on Dams for a Changing World, Kyoto, Japan, 2012.
- Sakurai T, Kashiwai J, Kubo Y, "Sediment discharge facility using sheet and pipe", Civil Engineering Journal, 2006, 48 (12), 30-35, (in Japanese).

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of the Performance of the Hydraulic Suction Method in Sediment Removal of Reservoirs

Mehdi Abbasizadeh, Babak Lashkar-Ara*

Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

Received: 13 February 2018; Accepted: 22 September 2018

Keywords:

Sediment Removal, Hydro-suction, Settling Basin, Reservoir, Dredge.

1. Introduction

Siphon sediment dredging methods to solve the problem of sedimentation tanks have been widely studied in recent decades. These methods do not have some disadvantages, such as excess energy, stopping tank utilization, waste water, sediment drainage over lower carrying capacity, etc. (Sakurai and Hakoishi, 2011, 2012). In this article we tried to make a hydro-suction compartment with a U-shaped bend and determining the lateral distribution of pressure inside it. We found the appropriate place for creating suction holes at the bottom of the compartment and thanks to centrifugal force and secondary current escalation we could increase the Sediment Removal Efficiency. The study of library resources shows that the reinforcement of the secondary flow in a U-shaped bend with an abrupt opening with the aim of Sediment Removal of reservoirs has not been investigated.

2. Methodology and materials

The first part of this study involves conducting experiments to determine how the inside pressure cross-section is distributed. The physical model of the plexiglass was designed with lengths, widths and heights of 27.5, 27.5, and 12.5 cm to achieve the aims of this section of the research. The above bend has a radius of approximately 14 centimeters. Twenty holes were formed in the lower portion of the suction cabin, in five rows of four, including angles of zero, 45, 90, 135, and 180 degrees, to monitor the pressure distribution inside the suction cabin, which could be calculated by connecting the interface hose to certain holes to the lateral pressure distribution inside the suction cabin. Fig. 1 shows the experimental setup.



Fig. 1. Experimental setup

* Corresponding Author

E-mail addresses: mehdi781370@yahoo.com (Mehdi Abbasizadeh), lashkarara@jsu.ac.ir (Babak Lashkar-Ara).

In the second part of this study, based on the findings of the first segment, the performance of the suction cabin under sediment conditions was examined by making a number of holes in the suction cabin floor and altering their opening ratio. In order to explain the purposes of this section, the physical metal cabin model described in the first part was examined in the laboratory using 5 A_D/A_P ratios equal to 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 (A_D : the sum of the opening levels in the cabin floor and A_P : the area of the inlet pipe to or out of the cabin).

3. Results and discussion

In Fig. 2, the variations in the performance removal sediment of the hydraulic suction cabin are given for adjusting in relative surface parameter A_D/A_P .

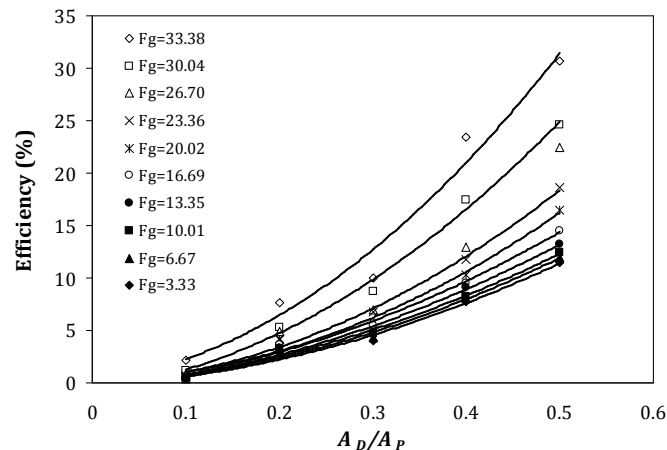


Fig. 2. Changes in device performance versus adjustment in relative-surface-parameter

4. Conclusions

In this study, the lateral distribution of the hydraulic suction pressure inside the cabin was determined by a rapidly expanding U-shaped bend to optimize the location of the floor suction holes. During the 23 experiments, it was found that the average, minimum and maximum pressure conditions are lower in the ratio r/R equal to 0.32 and 135 degrees of cross-section, and, as a result, they have a higher suction capacity with the reduction of the local pressure. On the other hand, raising the r/R ratio has been found to decrease the suction capacity of cabin floor holes. The second stage of sediment experiments showed that the hydraulic suction cabin with peak capability would perform the downstream removal of sediment if the floor area of the cabin opening exceeds 50 percent of the input pipe area.

5. References

- Sakurai T, Hakoishi N, "Burrowing-type sediment removal suction pipe for a sediment supply from reservoirs", Dams and Reservoirs under Changing Challenges 79th Annual Meeting of ICOLD 2011, Switzerland, 2011, 371-378.
- Sakurai T, Hakoishi N, "Hydraulic Characteristics of the Burrowing Type Sediment Removal Suction Pipe", International Symposium on Dams for a Changing World, Kyoto, Japan, 2012.