

بررسی شرایط غیر رسوب گذار در سیفون معکوس کرخه با استفاده از مدل فیزیکی

حسین خزیمه نژاد^{1*} و محمود شفاعی بجزستان²

(1) دانشجوی دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه سازه‌های آبی.

(2) استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه سازه‌های آبی.

* نویسنده مسئول مکاتبات: Hkh_59@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 90/08/28

تاریخ دریافت: 90/06/20

چکیده

نهشته شدن رسوب در سازه‌های انتقال آب، از قبیل سیفون‌های معکوس، باعث کاهش سطح مقطع جریان و نیز افزایش زبری می‌شود که در نتیجه، کاهش آب‌دهی سازه را به دنبال خواهد داشت. از جمله روش‌های جلوگیری از نهشته شدن رسوب و یا خروج آنها، ایجاد شرایط غیر رسوب‌گذار، در سازه می‌باشد. با توجه به این‌که بحرانی‌ترین قسمت سیفون معکوس، از لحاظ نهشته شدن رسوب، مجرای خروجی است، در تحقیق حاضر، ابتدا با استفاده از آنالیز ابعادی، یک رابطه کلی، برای آستانه حرکت ایجاد شد که مرز شرایط غیر رسوب‌گذار، در مجرای خروجی سیفون معکوس کرخه می‌باشد. سپس، با استفاده از یک مدل فیزیکی، از مجرای خروجی سیفون معکوس کرخه و نیز 5 نمونه رسوب غیر چسبنده با ابعاد 0/5، 0/7، 1، 2 و 3/2 میلی‌متر، آزمایش‌های لازم انجام گرفت و در نتیجه یک گراف کاربردی، جهت بررسی شرایط غیر رسوب‌گذار، در مجرای خروجی سیفون معکوس کرخه، استخراج گردید. با استفاده از این گراف و نیز منحنی توزیع دانه‌بندی مواد معلق رودخانه کرخه، در محل سد انحرافی حمیدیه، حداقل سرعت غیر رسوب‌گذار یا همان حداقل سرعت عدم ته‌نشینی ذره‌ای، به قطر 1/5 میلی‌متر که بزرگ‌ترین ذره رسوب ورودی به کانال بالادست سیفون معکوس کرخه از محل سد انحرافی حمیدیه می‌باشد، تعیین گردید. نتایج تحقیق، حاکی از حاکم بودن شرایط غیر رسوب‌گذار در سیفون معکوس کرخه در دبی و سرعت طراحی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شرایط غیر رسوب‌گذار، مدل فیزیکی، سیفون معکوس کرخه.

مقدمه

موضوع رسوب و انتقال آن و نیز مشکلات ناشی از وجود آن در سازه‌های آبی، موضوعی است که سال‌ها، مورد مطالعه مهندسی و مورفولوژیست‌های رودخانه بوده است. نهشته‌شدن رسوب در سازه‌های انتقال آب، نظیر کانال‌ها، باعث ایجاد مشکلاتی هم چون کاهش ظرفیت، کاهش سرعت و به طور کلی کاهش راندمان سازه می‌شود. هم‌چنین بخشی از سازه‌های انتقال در شبکه‌های آب رسانی به صورت بسته و با فشار کم وجود دارند که از نمونه‌های بارز آن می‌توان به سیفون معکوس و زیرگذر جاده اشاره کرد. نهشته‌شدن رسوب در مجاری این سازه‌ها، باعث کاهش سطح مقطع جریان و نیز افزایش زبری می‌شود که در نتیجه، کاهش ظرفیت انتقال سازه را به دنبال خواهد داشت و باعث خواهد شد تا در دبی طراحی، پس‌زدگی جریان آب به وجود آمده و در نتیجه خسارت زیادی به کانال بالادست وارد خواهد شد. به منظور عمل‌کرد صحیح این‌گونه سازه‌ها، ضروری است تا طراحی به گونه‌ای انجام گیرد که از تجمع رسوب در مسیر انتقال آب جلوگیری کند و در صورت نهشته شدن، با ایجاد شرایط لازم بتوان رسوبات را تخلیه نمود. به اعتقاد May در سال 1996 یکی از روش‌های جلوگیری از نهشته‌شدن رسوب در مجاری، اعمال شرایط غیر رسوب‌گذار یا ایجاد شرایطی است که در آن، رسوبات همراه جریان، فرصت ته‌نشینی نداشته باشند. از جمله‌ی روش‌های دیگر می‌توان به مطالعات Nalluri در سال 1998 اشاره کرد. وی برای حد ته‌نشینی بار بستر بر پایه داده‌های وسیعی که برای مجاری مستطیلی تحت شرایط جریان آزاد وجود داشت رابطه‌ای را پیشنهاد نمود. این رابطه، هم برای مجاری تمیز که فاقد رسوبات ته‌نشین شده هستند کاربرد دارد می‌باشند و هم در مجاری دارای بستر رسوبات ته‌نشین شده ثابت. این رابطه به شرح زیر است:

$$\frac{V_s}{\sqrt{g(s-1)d_{50}}} = 1.94C_V^{0.165} \left(\frac{b}{y_0}\right)^{0.4} \left(\frac{d_{80}}{D}\right)^{-0.57} (6.6\lambda_s^{1.49})^{0.19} \quad (1)$$

$$\lambda_s = 0.88C_V^{0.01} \left(\frac{b}{y_0}\right)^{0.03} \lambda^{0.94} \quad (2)$$

V_s سرعت حد ته‌نشینی، g شتاب ثقل، $s = \rho_s / \rho$ چگالی ویژه‌ی رسوب، ρ جرم مخصوص آب، ρ_s جرم مخصوص رسوب، C_V غلظت حجمی رسوب در مقیاس ppm ، b عرض بستر، y_0 عمق آب، d_{50} اندازه‌ی متوسط رسوب، D قطر لوله، λ_s و λ ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ. این رابطه هم برای جریان‌های رسوب‌دار و هم برای جریان‌های فاقد رسوب به کار برده می‌شود. در مجاری دایره‌ای، به جای b عرض بستر، باید $0.5 \times D$ جایگزین شود و برای مجاری مستطیلی، به جای (D) قطر مجرای دایره‌ای، پارامتر $c \times b$ جای‌گزین می‌شود که در آن، c یک ضریب ثابت و معادل $1/35$ می‌باشد. با استفاده از آنالیز داده‌های تجربی که نتیجه آزمایش بر روی مجاری مستطیلی با بستر نرم و زیر بود، برای عدد ثابت C ، مقدار متوسط $1/53$ را پیشنهاد داد.

Ghani در سال 1996 با استفاده از آزمایش روی رسوبات چسبنده، در مجاری دایره‌ای با شرایط جریان آزاد، روابط زیر را ارائه نمود:

برای لوله‌های دارای بستر تمیز :

$$\frac{V_s}{\sqrt{g(s_s-1)d_{50}}} = 3.08C_V^{0.21} D_{gr}^{-0.09} \left(\frac{R}{D}\right)^{0.53} \lambda_s^{-0.021} \quad (3)$$

$$\lambda_s = 1.13\lambda_0^{0.98} C_V^{0.02} D_{gr}^{0.01} \quad (4)$$

برای لوله‌های دارای بستر مواد ته‌نشین شده ثابت:

$$\frac{V_s}{\sqrt{g(s_s-1)d_{50}}} = 1.18C_V^{0.16} \left(\frac{wb}{y_0}\right)^{-0.18} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.94} \lambda_s^{-0.31} \quad (5)$$

$$\lambda_s = 0.0014C_V^{-0.04} \left(\frac{wb}{y_0}\right)^{0.34} \left(\frac{R}{D}\right)^{0.24} D_{gr}^{0.54} \quad (6)$$

V_s سرعت خودتنظیمی یا به عبارتی، سرعت غیر رسوب‌گذار یا حداقل سرعتی است که در مجرا باید وجود داشته باشد تا ذرات با غلظت C_V ، نهشته نشوند. C_V غلظت حجمی رسوب بر حسب ppm ، R شعاع هیدرولیکی، λ_s فاکتور اصطکاک برای جریان رسوب‌دار، λ_0 فاکتور اصطکاک برای جریان فاقد رسوب، d قطر متوسط رسوب، wb عرض بستر رسوبی، y_0 عمق متوسط جریان، D قطر لوله، s_s چگالی نسبی رسوب، g شتاب ثقل، و D_{gr} پارامتری بعد است که نماینده‌ی اندازه ذره بوده و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$D_{gr} = \left(\frac{d(G_s-1)g}{v^2}\right)^{1/3} \quad (7)$$

تحقیق دیگری نیز توسط May در سال 2003 در زمینه نهشته‌شدن رسوب در سیفون معکوس، انجام گرفته است. آزمایش‌های وی جهت تعیین کم‌ترین سرعت جهت جلوگیری از نهشته‌شدن رسوب، در شیب‌های معکوس و لوله‌های عمودی انجام شد. وی 107 آزمایش مجزا را با غلظت‌های مختلف رسوب، و اندازه ذرات و زاویه شیب لوله انجام داد. وی دو نمونه رسوب ماسه و شن را با اندازه‌های متوسط 0/78 و 4/3 میلی‌متر در شیب‌های 0، 15، 22/5، 30، 37/5، 45، 60 و 90 درجه، مورد آزمایش قرار داد و روابط زیر را ارائه نمود. شیب لوله هم در شن و هم در ماسه، روی مقدار کوچک‌ترین سرعت خودتنظیمی، اثری مشابه داشت.

$$C_V = (0.0303 - 0.169\sin\theta) \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{0.6} \left(1 - \frac{\sigma V_T}{V_s}\right)^4 \left[\frac{V_s^2}{g(G_s-1)D\cos\theta}\right]^{3/2} \quad (8)$$

$$V_T = 0.125\sqrt{g(G_s-1)d_{50}} \left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{0.47} \quad (9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\{\sin\theta + \mu\cos\theta\}}{\mu}} \quad (10)$$

C_V غلظت حجمی رسوب بر حسب ppm ، θ شیب لوله، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب، D قطر لوله، فاکتور σ مربوط است به اثر شیب لوله، V_T سرعت متوسط آستانه حرکت ذرات رسوب در لوله افقی، V_s سرعت خودتنظیمی، g شتاب ثقل زمین، s چگالی ذرات رسوب و μ ضریب اصطکاک مؤثر بین رسوب و جدار لوله می‌باشد. ایکرز جهت طراحی لوله‌ها، مقدار 0/45 را برای این ضریب پیشنهاد نمود.

از روش‌های دیگر جلوگیری از نهشته‌شدن رسوب، تعیین و اعمال سرعت آستانه حرکت می‌باشد که در حقیقت می‌توان آن را حداقل سرعت غیر رسوب‌گذار سازه، برای رسوبات بستر نامید. با ایجاد این شرایط، در واقع شرایط غیر رسوب‌گذار سازه برای کلیه رسوبات فراهم می‌گردد. شفاعی بجزستان در سال 1387 نشان داده که رابطه مربوط به سرعت آستانه حرکت را می‌توان به صورت کلی زیر نوشت:

$$\frac{V_T}{[g(G_s - 1)d_s]^{0.5}} = a \left(\frac{D}{d_s}\right)^m \quad (11)$$

که در آن V_T سرعت آستانه حرکت، G_s چگالی رسوب، d_s اندازه ذرات رسوب، g شتاب ثقل، D عمق جریان و a و m ضرایبی هستند که با استفاده از نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و با شرایط جریان آزاد، به دست می‌آیند. جدول (1) این ضرایب را نشان می‌دهد.

جدول 1: ضرایب a و m در رابطه‌ی (1)

توضیحات	m	a	محقق
بستر کانال	0/167	1/49	استراب (1953)
بستر کانال	0/1	1/58	نیل (1968)
بستر کانال	0/095	1/70	بوگاردی (1968)
بستر کانال، $d_s/D < 0.1$	0	2/2	شفاعی بجزستان (1990)
بستر کانال، $d_s/D > 0.1$	0/25	1/237	شفاعی بجزستان (1990)
بستر مجاری بسته‌ی مستطیلی	0/4	0/287	نالوری و قانی (1996)
بستر مجاری بسته‌ی دایره‌ای	0/47	0/125	می (2003)

سیفون معکوس کرخه

سیفون معکوس کرخه یکی از بزرگ‌ترین سیفون‌های معکوس خاورمیانه است که از زیر رودخانه کرخه عبور می‌کند. برای آبیاری اراضی آبخور، دشت آزادگان، پس از آبیاری توسط آب‌گیر سمت راست سد انحرافی حمیدیه و انتقال آب توسط کانال اصلی (کانال AMC) به طول 14 کیلومتر، با ظرفیت 65 متر مکعب بر ثانیه، پس از تغذیه چند شبکه آبیاری و زه‌کشی (زمزم و قدس) در حال بهره‌برداری، به رودخانه‌ی کرخه برخورد نموده که با احداث سازه‌ی بزرگ سیفون معکوس کرخه، مقدار 65 متر مکعب بر ثانیه آب از سمت راست به چپ رودخانه و ابتدای دشت آزادگان انتقال می‌یابد. مشخصات هندسی سیفون به شرح زیر است:

طول سیفون: 424 متر

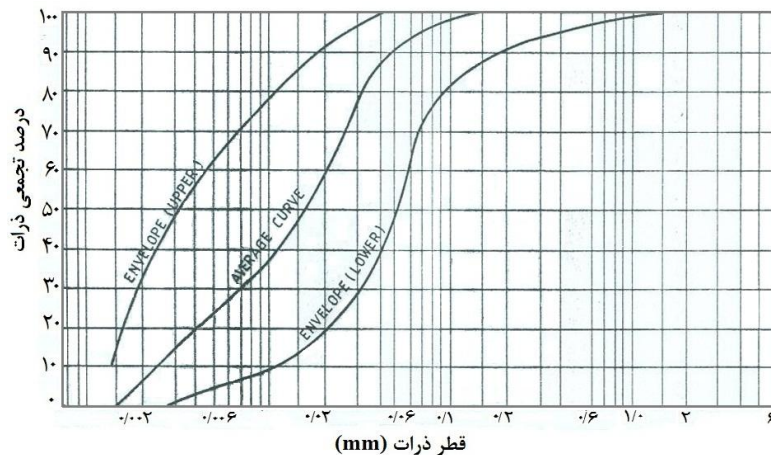
- دبی و سرعت طراحی به ترتیب عبارتند از: 65 متر مکعب بر ثانیه و 1/54 متر بر ثانیه
- شیب مقطع ورودی، میانی و خروجی به ترتیب عبارتند از: 28، 1 و 14 درصد
- تعداد دهانه‌ها و ابعاد آن: 3 عدد دهانه 3/75 در 3/75 متر

در شکل (1) نمایی از سیفون معکوس کرخه پس از اتمام مرحله ساخت نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایی از سیفون معکوس کرخه پس از پایان مرحله ساخت

یکی از مسائلی که کانال‌ها و دیگر سازه‌های انتقال آب به خصوص سیفون‌های معکوس با آن مواجه هستند، مشکل ورود ذرات رسوب است که عمده‌ترین منشاء آن، رسوبات معلقی است که همراه جریان، از محل آب‌گیرها وارد شده و در صورتی که سرعت جریان، کمتر از سرعت رسوب‌گذاری باشد منجر به ته‌نشینی رسوبات و تحمیل هزینه‌های سنگین لایروبی می‌گردد. هدف اصلی این تحقیق، بررسی شرایط غیر رسوب‌گذار سیفون معکوس کرخه با استفاده از مدل فیزیکی و ارائه یک گراف کاربردی بدین منظور است. برای اعمال شرایط غیر رسوب-گذار، از تئوری آستانه حرکت استفاده شده است که مرز شرایط غیر رسوب‌گذار می‌باشد. به این صورت که آستانه حرکت رسوبات مختلف در مقطع آزمایشی، مورد بررسی قرار می‌گیرد و گراف حاصل با توجه به آن، استخراج می‌شود. منحنی به دست آمده در گراف، مرز شرایط رسوب‌گذار و غیر رسوب‌گذار را نشان خواهد داد. همچنین با توجه به گراف کاربردی به دست آمده، سرعت رسوب‌گذار برای بزرگ‌ترین ذره رسوبی که امکان ورود به کانال بالادست و در نتیجه احتمال ورود به سیفون را دارد، تعیین خواهد شد. قطر بزرگ‌ترین ذره رسوبی با استفاده از منحنی توزیع دانه‌بندی مواد معلق رودخانه کرخه، در محل سد انحرافی حمیدیه و نیز آبگیر اصلی کانال، تعیین می‌گردد. با توجه شکل (۲) بزرگ‌ترین قطر ذره‌ی معلق، حداکثر برابر ۱/۵ میلی‌متر است.



شکل ۲: منحنی توزیع دانه‌بندی مواد معلق در محل ایستگاه سد انحرافی حمیدیه

تحلیل ابعادی

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، ابتدا لازم است رابطه کلی برای مرز شرایط غیر رسوب‌گذار یا همان آستانه حرکت در سیفون معکوس، استخراج گردد. و به همین جهت از آنالیز ابعادی استفاده می‌شود. بنابراین چنانچه V_s سرعت جریان در آستانه‌ی حرکت باشد، می‌توان نوشت:

$$f(V_s, \rho, \rho_s - \rho, d, d_s, S, g, \mu) = 0 \quad (12)$$

که ρ جرم واحد حجم آب، $\rho_s - \rho$ جرم واحد حجم مستغرق ذره، d اندازه ضلع مجرای خروجی سیفون معکوس است که در این تحقیق 3/75 متر می‌باشد، d_s قطر متوسط ذرات رسوب، S شیب مجرای خروجی است که در سیفون معکوس کرخه 14 درصد یعنی معادل 8 درجه می‌باشد، g شتاب ثقل زمین، μ ضریب دینامیکی آب می‌باشد. با به کار بردن تئوری باکینگهام و انتخاب سه پارامتر V_s ، d_s و g به عنوان سه متغیر تکراری، رابطه (12) را می‌توان به یک رابطه بدون بعد، به صورت زیر تبدیل نمود.

$$\frac{V_s}{\sqrt{g(G_s - 1)d_s}} = f_1(d_s / d, S, R_e) \quad (13)$$

در این رابطه G_s چگالی نسبی ذرات رسوبی، d_s / d نسبت اندازه ذره به اندازه ضلع مجرای خروجی است که بیشتر به زبری نسبی معروف است و R_e عدد رینولدز ذره می‌باشد. پارامتر بی‌بعد $\frac{V_s}{\sqrt{g(G_s - 1)d_s}}$ به عدد پایداری ذره معروف است که با SN_s نشان داده می‌شود. با توجه به این‌که در آزمایش‌های این تحقیق، عدد رینولدز ذره، بسیار بزرگ‌تر از حد بستر زبر می‌باشد، لذا به استناد مطالعات شیلدز به نقل از شفافی بجستان در سال 1990، می‌توان از اثر آن صرف‌نظر کرد. ضمن این‌که شیب مقطع خروجی نیز ثابت و برابر 8 درجه است. بنابراین رابطه (13) به رابطه (14) تبدیل می‌شود:

$$SN_s = f_2(d_s / d) \quad (14)$$

رابطه به دست آمده گویای این مطلب است که عدد، تابعی از زبری نسبی بوده و پارامترهای دیگر از جمله طول، تأثیری در عدد پایداری ذره نخواهند داشت. لازم به ذکر است که مقدار d در این تحقیق برابر 3/75 متر (ضلع دهانه خروجی) می‌باشد. در حقیقت زبری نسبی از تقسیم قطر ذرات بر عدد 3/75 به دست می‌آید. رابطه‌ی (14) یک رابطه کلی بوده و برای هر سیفون معکوس دیگر به اندازه‌ای که شیب خروجی آن 8 درجه باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

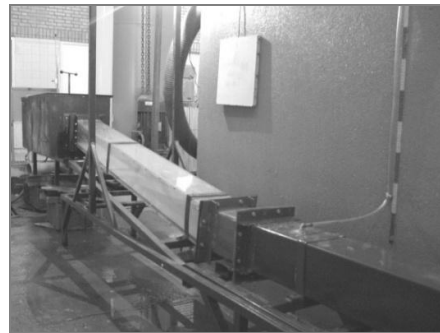
مواد و روش‌ها

رابطه (14) یک رابطه کلی بدون بعد، برای شرایط آستانه حرکت یا مرز شرایط غیر رسوب‌گذار در مجرای خروجی سیفون معکوس می‌باشد. برای برقراری رابطه خاص، نیاز به داده‌های آزمایشگاهی است. سیفون معکوس کرخه در بخش خروجی، شامل سه باکس مربعی است که از لحاظ شرایط هندسی و نیز شرایط جریان ورودی، کاملاً یکسان می‌باشد. از این رو مدل فیزیکی از یکی از سه مجرای خروجی سیفون معکوس کرخه و با مقیاس 25 مهیا گردید. این مدل، شامل سیستم جریان رفت و برگشتی می‌باشد. پس از عبور آب از مجرا و

داخل شدن آن به مخزن، آب توسط مجدداً یک پمپ، به ورودی مجرا پمپاژ شده و از آنجا به درون مجرا هدایت می‌گردد. قبل از ورود جریان به مجرا، میزان دبی، توسط یک شیر تنظیم که در مسیر جریان واقع شده است کنترل می‌گردد. بخش اصلی مدل، دارای سطح مقطع مربعی به ابعاد 15 در 15 سانتی‌متر و طول آن معادل 1/8 متر است (همان‌طور که در بخش تحلیل ابعادی عنوان شد، طول سازه از پارامترهای موثر در عدد پایداری ذره نمی‌باشد. بنابراین طول در نظر گرفته شده برای بررسی شرایط غیر رسوب‌گذار، کافی خواهد بود). شیب معکوس، 14 درصد و معادل 8 درجه می‌باشد. جنس این بخش از پلکسی گلاس به ضخامت 1 سانتی‌متر است و یک صفحه فلزی بسیار نازک به صورت کشویی، در داخل این بخش قرار می‌گیرد. این صفحه فلزی پس از قرار گرفتن رسوب روی آن، در داخل مقطع، جای‌گزين می‌شود. هدف از این کار، تسهیل در جای‌گذاری مصالح در کف مجرا می‌باشد. آب به وسیله ی پمپ به قسمت ورودی مدل، منتقل می‌شود. مقدار جریان ورودی، قبل از وارد شدن به مدل از طریق شیر تنظیم دبی، کنترل می‌شود. قبل از مجرای اصلی، یک بخش ابتدایی وجود دارد که وظیفه آرام و یک نواخت نمودن جریان و نیز هدایت آن را به بخش اصلی مدل بر عهده دارد. در انتهای مجرا، بخش آرام‌کننده و سرریز مثلی وجود دارد که به ترتیب وظیفه آرام‌کردن و اندازه‌گیری جریان را بر عهده دارند. حد فاصل بین بخش آرام‌کننده و سرریز مثلی یک دریچه تاشویی جهت کنترل سطح آب نصب می‌شود تا سطح آب، همیشه در حدی که برای استغراق دهانه خروجی سیفون معکوس لازم است، تنظیم گردد. آب، پس از عبور از سرریزها، وارد مخزن می‌شود. مصالح مورد استفاده در این آزمایش‌ها، 5 نمونه رسوب از جنس غیرچسبنده با چگالی 2/65 به ابعاد 0/5، 0/7، 1، 2 و 3/2 میلی‌متر می‌باشند. شکل 3 نمایی از مدل فیزیکی را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)



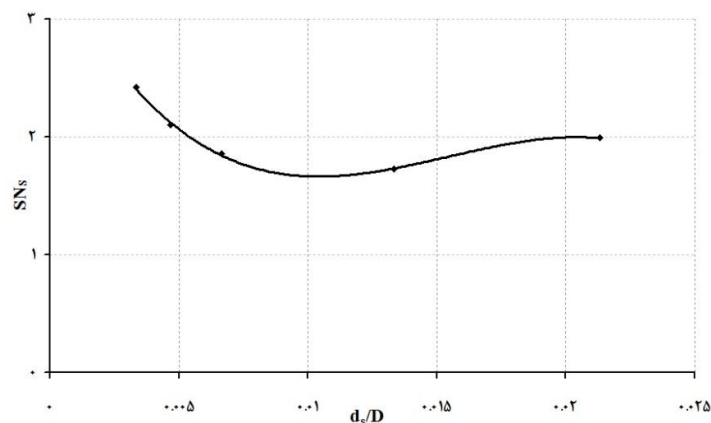
(ج)

شکل 3: الف) نمایی کامل از مدل فیزیکی، ب) و ج) مقطع اصلی مدل به ترتیب از نمای بیرون و درون نحوه انجام آزمایش‌ها

مواد رسوبی شرح داده شده در بخش قبلی، در مجرای خروجی سیفون معکوس، مورد آزمایش، قرار گرفتند. در هر آزمایش ابتدا مواد رسوبی به ضخامت حدود 1 سانتی‌متر بر روی صفحه کشویی قرار داده شد. سپس صفحه کشویی در درون مجرا، جاسازی می‌گردید. پس از آماده‌شدن مدل، شیر قطع و وصل جریان به آرامی باز شده و سپس به وسیله شیر تنظیم، دبی آن کنترل شده و آب به آرامی وارد مدل شود. به وسیله شیر تنظیم، جریان آب به آرامی زیاد شده، سپس شرایط تا مدتی ثابت باقی می‌ماند. در این فاصله زمانی، سطح آب خروجی، کنترل و اشل سرریز، قرائت گردد. پس از این‌که آب وارد کانال انتهایی شد، به کمک دریچه تاشو، سطح آب، در مخزن خروجی در رقوم مورد، تنظیم می‌گردد. این رقوم با توجه به حداقل ارتفاع مورد نیاز حد استغراق که در طراحی خروجی سیفون معکوس و یا زیر گذر جاده، باید رعایت شود محاسبه گردید. برای جلوگیری از تغییرات شرایط جریان در مجرای خروجی سیفون معکوس و به خصوص افزایش یا کاهش سرعت، این رقوم تا پایان آزمایش، ثابت باقی نگه داشته شود. پس از این‌که شرایط تا مدتی ثابت باقی ماند، مقدار جریان ورودی، اندکی کمی زیاد شده و مراحل قبل تکرار می‌گردد تا این‌که شرایط حرکت ذرات رسوب، مشاهده شود. در این تحقیق، شروع حرکت، بدون توقف ذرات به عنوان شرایط آستانه حرکت و مرز شرایط غیر رسوب‌گذار تعریف شد (حرکات منقطع، تصادفی، نوسانی و جزئی شامل این شرایط نمی‌شوند) و سرعت متوسط مجرا در آن زمان به عنوان سرعت آستانه حرکت در نظر گرفته شد. پس از ثبت شرایط، باز هم آزمایش ادامه داده شود تا وضعیت حرکت رسوب، مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین در حین آزمایش، چند مرتبه، مقدار دبی و سطح آب بالادست، کنترل می‌گردد تا احیاناً دچار تغییر نشده باشند. پس از اتمام آزمایش، رسوب باقی مانده بر روی صفحه فلزی، خارج می‌گردد. مراحل فوق برای تمامی مصالح رسوب انجام گیرد. به این ترتیب در هر آزمایش، دامنه بسیاری از سرعت‌ها از مقدار نزدیک به صفر گرفته تا آبشستگی کامل با توجه به اشل قرائت شده، محاسبه و ثبت گردیدند.

نتایج و بحث

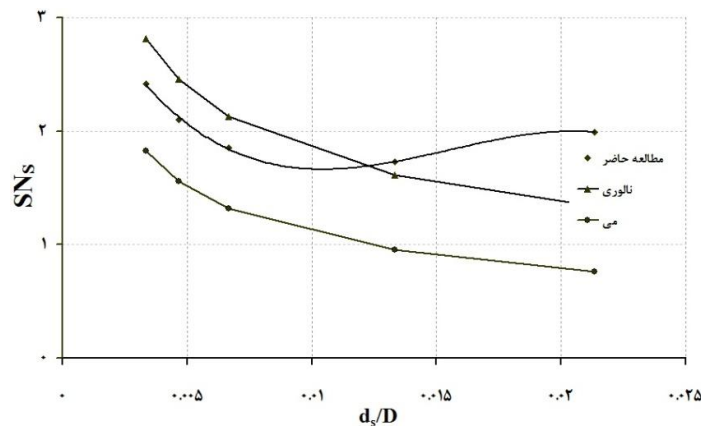
با توجه به نتایج آزمایش و رابطه (14)، نمودار زیر شکل شماره (4) استخراج گردید. نمودار استخراج شده، بی‌بعد می‌باشد. بنابراین علاوه بر مجرای خروجی سیفون معکوس کرخه برای کلیه سیفون‌های معکوس با مقطع مربعی که دارای شیب خروجی 14 درصد هستند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این نمودار، پارامتر SN_s (پارامتر پایداری ذره) در مقابل پارامتر ds/d (پارامتر زبری نسبی) ترسیم شده است.



شکل 4: پارامتر پایداری ذره در مقابل زبری نسبی

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، پارامتر پایداری ذره، در شرایط آستانه حرکت، با افزایش پارامتر زبری نسبی، ابتدا کاهش یافته و سپس اندکی متمایل به افزایش دیده می‌شود. منحنی نشان داده شده، مرز شرایط رسوب‌گذاری را در سیفون معکوس کرخه را مشخص می‌نماید. به نحوی که اگر محل تلاقی دو پارامتر پایداری ذره و زبری نسبی در زیر این منحنی واقع شوند، نهشته‌شدن رسوب اتفاق خواهد افتاد. اگر محل تلاقی دو پارامتر مذکور در بالای منحنی واقع شوند، رسوب‌گذاری اتفاق نیفتاده و شرایط غیر رسوب‌گذار در سیفون، حاکم خواهد شد.

با توجه به گراف حداقل سرعت غیر رسوب‌گذار برای ذره‌ای به قطر $1/5$ میلی‌متر (بزرگ‌ترین ذره رسوب معلق که به طور طبیعی احتمال ورود به سیفون را دارد)، برابر $0/52$ متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به این که سرعت طراحی، برابر $1/54$ متر بر ثانیه است امکان نهشته‌شدن ذراتی با قطر $1/5$ میلی‌متر و کمتر از آن وجود ندارد. در صورتی که سرعت در سیفون به حدود 34 درصد سرعت طراحی برسد، خطر نهشته‌شدن و در نتیجه، گرفتگی سیفون وجود خواهد داشت. علاوه بر رسوبات معلق که از بالادست وارد سازه می‌شوند، رسوبات دیگری نیز وجود دارند که امکان ورود آنها به سیفون و جامکان پذیر است. به عنوان مثال، ذراتی که همراه باد جابجا می‌شوند و یا از خاک ریزهای کنار کانال کنده شده و همراه جریان حمل می‌شوند، امکان ته‌نشینی در سازه را داشته و با استفاده از گراف، قابل بررسی می‌باشند. در شکل (5) نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از روابط تجربی نالوری و می (با استفاده از رابطه‌ی 11 و جدول 1) مقایسه شده است.



شکل 5: مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از روابط تجربی نالوری و می

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در روند کاهشی ابتدایی این تحقیق و دو تحقیق دیگر شباهت بسیاری وجود دارد. اما در تحقیق حاضر، روند کاهشی در زبری نسبی $0/01$ متوقف شده و منحنی، روند افزایشی را طی می‌کند. از جمله دلایل اصلی این اختلاف، تعاریف متفاوت شرایط جریان و شرایط آزمایش می‌باشد. زیرا که مقطع آزمایش، در دو تحقیق می و نالوری در حالت افقی قرار داشتند، در حالی که در این تحقیق، مقطع آزمایش، در وضعیت شیب معکوس 8 درجه قرار داشته است. همچنین جزء اصلی پارامتر پایداری که سرعت بحرانی آستانه‌ی حرکت یا حداقل سرعت غیر رسوب‌گذار است، در بین دانشمندان مختلف، تعریف کاملاً یکسانی نداشته و بنابراین، نتایج گراف‌ها و روابط به دست آمده توسط محققین مختلف، متفاوت خواهد بود.

نتیجه‌گیری

گراف استخراج شده در این تحقیق، کاملاً کاربردی بوده و جهت بررسی شرایط رسوب‌گذاری سیفون معکوس کرخه در خصوص ذرات رسوبی با اندازه‌های مختلف در سرعت‌های مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در دبی و سرعت طراحی، نتایج تحقیق، حاکی از حاکم بودن شرایط غیر رسوب‌گذار در سیفون معکوس کرخه می‌باشد. ضمن این‌که با توجه به گراف، می‌توان اندازه ذره ی رسوبی که سیفون معکوس کرخه در مرز رسوب‌گذاری و وضعیت بحرانی قرار می‌دهد، را محاسبه و در طراحی شبکه آشغال‌گیر سیفون، از آن استفاده نمود.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی سازمان آب و برق خوزستان انجام گردید و نویسندگان از این بابت تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منابع

- شفاعی بجهستان، م. (1387). مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ویرایش دوم.
- سازمان آب و برق خوزستان. (1383). طرح شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت‌های پای‌پل. مطالعات مرحله‌ی دوم. جلد پنجم. گزارش سیمای طرح.
- سازمان آب و برق خوزستان. (1371). طرح آبیاری و زهکشی کرخه. مطالعات مرحله‌ی اول. گزارش هیدرولوژی.
- **May, R.W.P. (2003).** preventing sediment deposition in inverted sewer siphons. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. April, pp. 283-290.
- **May, R.W.P. Ackers, C.J. Butler, D. and John s. (1996).** Development of design methodology for self-cleansing. wat. sci. tech. vol 33. No 9, pp. 195-205.
- **Nalluri, C., Ghani, A.b. (1996).** Design options for Self-cleansing storm sewers. wat. sci. tech. vol 33. No 9, pp. 215-220.
- **Nalluri, C. Spaliviero, P. (1998).** Suspended sediment transport in rigid boundary channels at limit deposition. wat. sci. tech. vol 37. No 1, pp. 147-154.
- **Shafai Bejestan, M. (1990).** Critical stability number in rock lined channels. Iran Agricultural Research. vol 9. Shiraz university, pp. 121-138.