

بررسی رسوب در سیفون معکوس کارون در خرمشهر

افشین قهاری

کارشناس ارشد سازه های آبی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان ، رئیس قسمت عملیات اجرایی طرح خرمشهرسازمان
آب و برق خوزستان

جمشید سلحشور

دکتری هیدرولوژی، استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

محمود شفاعی بجستان

دکتری هیدرولیک رسوب ،مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده:

مواد معلق رودخانه براساس اندازه و وزن خود ته نشین می شوند و آنچه درانتهای مسیر رودخانه باقی می ماند مواد معلق ریزدانه ای است که با ته نشین شدن در کانال های آبیاری مشکلات عدیده ای را بوجود می آورند. بطور مثال ورود این رسوبات همراه جریان بداخل سازه های موجود در شبکه های آبیاری وزهکشی باعث گرفتگی واحتمالاً واپس زدگی جریان می شود. یکی از این سازه ها سیفون معکوس می باشد که در معرض رسوب گذاری قرار می گیرد. سیفون معکوس یا وارونه مجرای بسته ای است که بصورت پر و تحت فشار عمل می کندو برای انتقال آب از زیر جاده، راه آهن ،رودخانه، دره یا کانال بکار گرفته می شود. تجمع رسوبات در قسمت افقی سیفون ویا بازوی خروجی آن باعث بروز مشکلات زیادی از جمله کاهش ظرفیت سیفون ودر نتیجه وقوع پدیده بلو بک (پس زدن جریان)در کانال بالادست می شود. از آنجائیکه تخلیه رسوبات معمولاً توسط نیروی انسانی انجام می گیردواین عمل مستلزم قطع آب برای مدت طولانی و صرف هزینه زیاد می باشد ، خارج نمودن این مواد رسوبی مشکلات عدیده ای به همراه دارد و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. دراین تحقیق ابتدا به بررسی پروژه سیفون معکوس کارون در خرمشهر وآشنایی با مشکل مورد نظر پرداخته شد.سپس مطالعات و تحقیقات لازم در این زمینه بعمل آمد وآمار واطلاعات مورد نیاز جمع آوری گردید.مهمترین مشخصات طراحی پروژه بازنگری شد ومبحث هیدرولیک رسوب در سیفون مورد توجه قرار گرفت واز منابع و مأخذ موجود و تحقیقات قبلی دراین زمینه استفاده گردید.پس از مشاهدات ونمونه برداریهای صحرایی وکارگاهی ، آزمایشات لازم به منظور مشخص شدن دانه بندی رسوبات وبار معلق انجام شد.با در نظر گرفتن بزرگترین قطر این ذرات ومشخصات هیدرولیکی جریان وسیفون ، مشخص گردید که سیفون طراحی شده با شرایط برقراری جریان رسوبگذار نخواهد بود. اما در اثر قطع جریان آب این امر اتفاق خواهد افتاد.

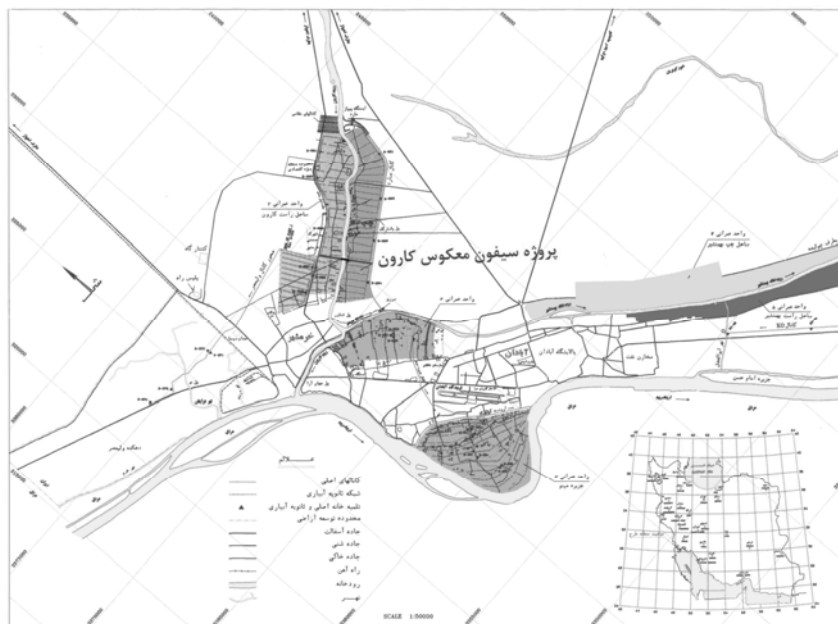
واژه های کلیدی: سیفون معکوس ، انتقال آب ، مواد معلق ، رسوب گذاری ، گرفتگی

مقدمه

معمولاً رسوب در سازه‌های واقع در مسیر کانالهای انتقال ته نشین شده و فرصت ترسیب می‌یابند. یکی از این سازه‌ها سیفون معکوس می‌باشد. با توجه به اینکه در سیفون امکان رسوبگذاری زیاد است، وجود رسوبات باعث افزایش افت انرژی و احتمالاً واپس زدگی جریان در کانال بالادست می‌شود. بطور کلی افزایش رسوب در سیستم باعث کاهش راندمان سازه می‌شود که منجر به افزایش هزینه‌های تخلیه و نگهداری سیستم می‌گردد. در استان خوزستان که معمولاً رودخانه‌ها دارای بارمعلق زیادی هستند و اختلاف شیب کم است افزایش افت در اثر ته نشین شدن بار معلق از اهمیت زیادی برخوردار است. سیفونهای معکوس احداث شده در استان خوزستان با توجه به بار رسوب بالا و دبی زیاد جریان در سطح کشور ما از اهمیت خاصی برخوردار بوده و انجام مطالعات و تحقیقات لازم به منظور کاهش هزینه‌های بهره برداری و نگهداری آنها از ضروریات می‌باشد. سیفون معکوس کارون (خرمشهر) یکی از سازه‌های مهم کانال اصلی ولیعصر (عج) در محل تقاطع این کانال با رودخانه کارون در منطقه حفار بوده که بدینوسیله آب کانال از زیر رودخانه عبور نموده و تا شلمچه منتقل می‌شود. شروع این سیفون در کیلومتر ۱۰+۳۶۵ کانال اصلی ولیعصر (عج) می‌باشد. با توجه به اینکه چنین پروژه‌ای برای اولین بار در کشور اجرا می‌گردد لذا مراحل اجرای عملیات و تدقیق روشهای اجرایی اولیه منظم به قرارداد در حین ساخت تدوین و تکمیل گردید و با توجه به ظرفیت نسبتاً بالای کانال ولی عصر و شرایط رودخانه کارون ظرفیت عبوری بالای آن وعدم امکان انحراف آب با استفاده از روشهای معمول و به لحاظ دقت و حساسیت در اجراء، تکنولوژی ساخت و بهره برداری از آن بی نظیر بوده و از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد و به همین سبب جزء پروژه برتر کشور در صنعت آب شناخته شده است.

هدف تحقیق

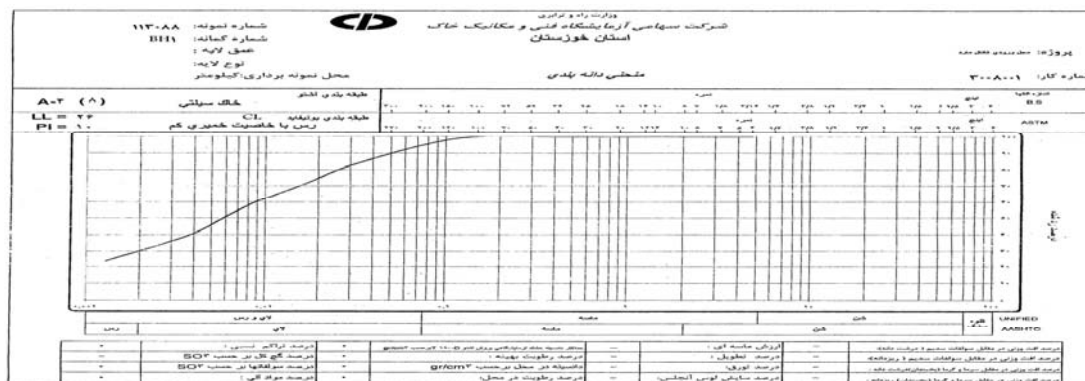
هدف اصلی در این تحقیق تعیین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر پیرامون رسوب در سیفونهای معکوس علی‌الخصوص مطالعه موردی مورد نظر می‌باشد ابتدا به منظور تعیین دانه بندی ذرات ریز دانه معلق در آب با استفاده از آزمایش هیدرومتری مضاعف، نمونه برداریهای لازم از آب در ابتدای کانال مارد و ابتدای کانال ولیعصر (عج) انجام شده و سپس وضعیت رسوگذار بودن سیفون را با استفاده از روشهای تنش برشی و سرعت بحرانی بررسی می‌نماییم. انتظار آن است که یافته‌های این تحقیق منجر به افزایش توان فنی در زمینه تخلیه رسوب از سیفونهای معکوس و افزایش راندمان این سازه گردد.



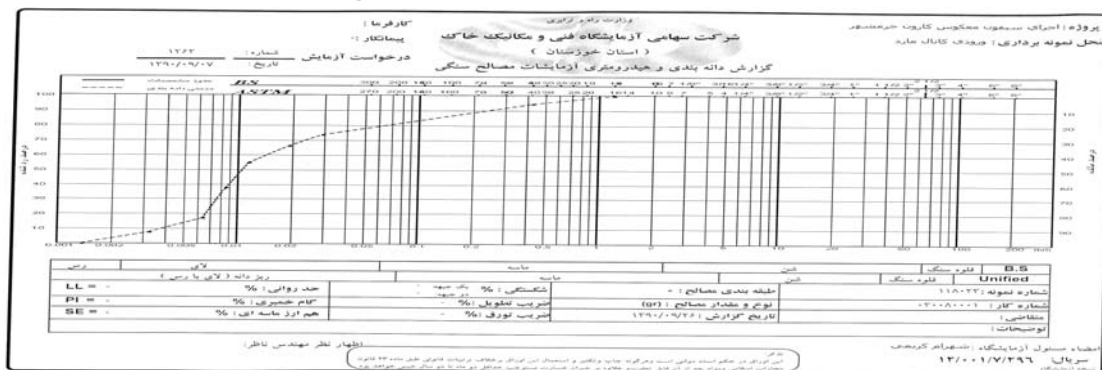
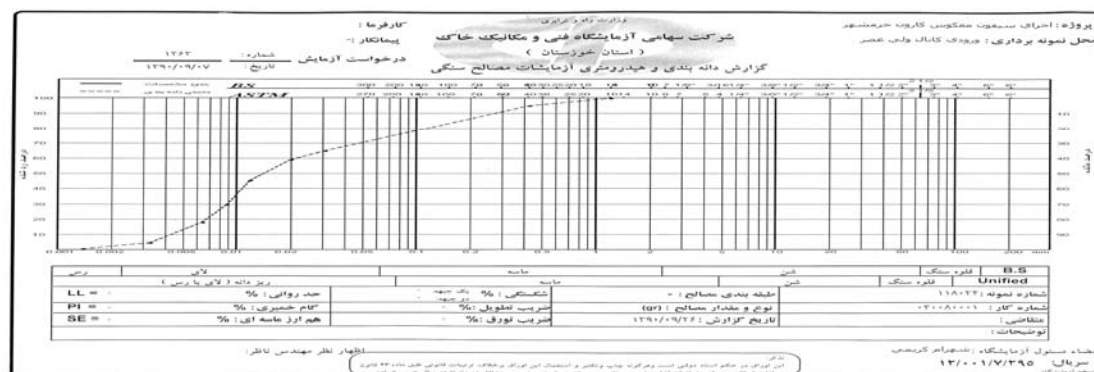
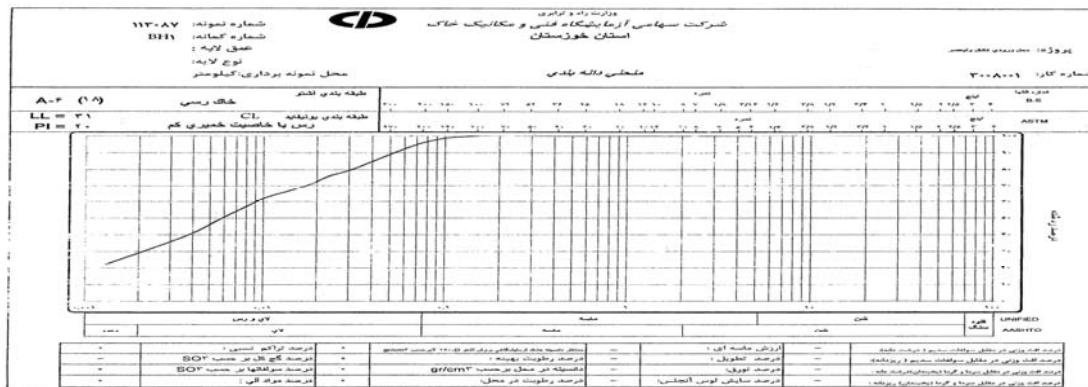
شکل: موقعیت مکانی پروژه

نمونه برداری از آب و ترسیم منحنی دانه بندی ذرات

در تاریخهای ۹۰/۵/۲۴ و ۹۰/۹/۷ جهت انجام آزمایش هیدرومتری از ذرات معلق موجود در آب کانال مارد در دو نقطه، ورودی کانال مارد و ورودی کانال ولی عصر (عج) اقدام به نمونه برداری از آب کانال مارد گردید. پس از انجام آزمایش هیدرومتری بر اساس استاندارد ASTM422 مشخص گردید که رسوبات بدست آمده دارای اندازه ای در محدوده ۱ میلی متر تا ۰/۰۱۵ میلی متر بوده که مطابق تصاویر زیر در محدوده SM و SP یعنی ماسه ریزبا دانه بندی بد همراه بالایی (لای دار) می باشند.



منحنی دانه بندی بار معلق در ورودی کانال مارد ۹۰/۵/۲۴



3

ته نشین نخواهند شد. اما بررسی این موضوع و رسیدن به استدلال محاسباتی نیاز به شناخت آستانه حرکت ذرات دارد که به این منظور ازدو روش تنش برشی و سرعت بحرانی استفاده می کنیم .

۱- روش تنش برشی :

* معیار شیلدرز

$$\theta_c = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)D_{50}} = 29 \quad \text{Re}_* = \frac{U_* \cdot D_s}{\nu} = 0.69$$

با استفاده از منحنی شیلدرز و مشخص کردن مقادیر θ و Re_* روی این منحنی ، محل تلاقی این دو نقطه بالای منحنی شیلدرز می باشد و بنابراین مواد معلق و مصالح بستر در حال حرکت می باشند یعنی رسوبگذار نیستند.

* منحنی گسلر

بر اساس منحنی گسلر که همان منحنی اصلاح شده شیلدرز می باشد،

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)} = 0.035 \rightarrow D_{50} = 8.3 \cdot 10^{-3} m = 8.3 mm$$

در این حالت نیز همانند حالت قبل با توجه به قطر ذرات معلق ، امکان ته نشینی وجود ندارد.

* روش تجربی لین

با استفاده از روش تجربی لین نیز سیفون مذکور بررسی گردید و نتیجه اینکه ذرات رسوبگذار نخواهند بود.

* روش U.S.B.R

از دیدگاه U.S.B.R تنش برشی بحرانی از رابطه زیر بدست می آید:

$$D=R=0.4 \text{ عمق}$$

$$\tau_c = \gamma DS = 480 gr / m^2$$

بر این اساس نیز با استفاده از نمودار تغییرات تنش برشی بحرانی بر حسب اندازه ذرات قابل انتقال ، بار معلق کانال در سیفون رسوب نخواهد نمود.

نتیجه گیری :

در نتیجه با بررسی روش تنش برشی از طریق چهار گزینه فوق امکان رسوبگذاری سیفون در حالت برقراری جریان وجود ندارد.

۲- روش سرعت بحرانی

جهت جلوگیری از ته نشین شدن ذرات جامد همراه سیال در لوله، باید سرعت جریان در حدی حفظ شود که اغتشاش کافی برای معلق ماندن ذرات بوجود آورد. سیال ناهمگنی که حاوی ذرات جامد درشت باشد احتیاج به تلاطم بیشتری برای معلق نگه داشتن این ذرات دارد. در انتخاب سرعت جریان دو موضوع اهمیت دارد، اولاً سرعت مورد نظر باید بتواند تلاطم کافی برای معلق نگه داشتن ذرات بوجود آورد، ثانیاً این سرعت تا حد امکان کم باشد تا اصطکاک در لوله به حداقل برسد. این سرعت به سرعت بحرانی معروف می باشد و چنانچه سرعت

جریان در لوله کمتر از آن باشد، ذرات جامد در لوله ته نشین می‌شود. بسیاری از متخصصین معتقدند که سرعت آب در سیفون می‌بایست حداقل دو برابر سرعت آب در کانال بالادست باشد تا رسوبات کمتری در سیفون نهشته شود، [اکبریان، ۱۳۷۶]. ابتدا برخی از روشهای تجربی در مجاری بسته را بررسی می‌کنیم

$$V_c = \left[\ln \frac{60}{C} \right]^{0.13}$$

* رابطه SRC بادر نظر گرفتن غلظت ذرات رسوبی

جدول مقادیر سرعت بحرانی نسبت به غلظت ذرات معلق براساس نتایج SRC

Cmg/lit	$V_c (m/s)$
10	1.08
20	1.01
30	0.95
40	0.89
50	0.8

$$V_c = 1.04 D^{0.3} (S_c - 1)^{0.75} \left[\ln \left(\frac{60}{C} \right) \right]^{0.13}$$

* رابطه کیو

جدول محاسبات سرعت بحرانی براساس رابطه کیو

Cmg/lit	$V_c (m/s)$
۱۰	۱,۲۴
۲۰	۱,۶
۳۰	۱,۱
۴۰	۱,۰۲۳
۵۰	۹۲,
۶۰	.

جدول محاسبات سرعت بحرانی براساس روابط ساسکا چوان و SRC

نتیجه	رابطه	نام محقق
$V_c=0.8 \text{ m/s}$	$V_c = KD^{.3}$	ساسکا چوان
$V_c = 1.15 \text{ m/s}$	$V_c = KD^{0.3}(Sc-1)^{.75}$	SRC

سرعت بامقادیر بدست آمده از روابط فوق در مجاری بسته ، به لحاظ جلوگیری از تشکیل رسوب درلوله ها همخوانی داشته ، بنابراین بارمعلق درحالت برقراری جریان درون لوله ها با سرعت موجود ته نشین نخواهدشد.

باتوجه به اینکه روابط زیادی برای محاسبه سرعت بحرانی درمجاری بسته وجود ندارد، لذا از روابط سرعت بحرانی درمجاری روباز بادر نظرگرفتن فرضیاتی استفاده می نمائیم . ابتدا براساس روابط استوکس ورابی نسبت به محاسبه سرعت سقوط نهایی یک ذره رسوب اقدام می کنیم

$$\omega = \frac{1}{18} \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\mu} g \frac{d_s^2}{\nu^2} = \frac{(\gamma_s - \gamma)}{18\mu} d_s^2 = .545 \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\mu} d_s^2$$

استوکس

$$\omega = \frac{1}{D_s} \sqrt{\frac{2}{3} g (G_s - 1) + 36\nu^2} - 6\nu^2$$

رابی

باتوجه به اینکه دمای آب در منطقه مورد مطالعه از $30^\circ C$ تا $10^\circ C$ متغیر می باشد دمای میانگین را $20^\circ C$ در نظر می گیریم :

$$\mu = 1.009 \cdot 10^{-2} \quad \text{و} \quad \nu = 1.011 \cdot 10^{-2}$$

با استفاده از روابط فوق سرعت سقوط ذره رسوبی $\omega = 8.910^{-3} (cm/sec)$ بدست می آید

* معیار تانگ و نمودار چن ووان

با استفاده از شکل شماره نمودار chen and wan و بادر نظرگرفتن اندازه ذرات بارمعلق ، سرعت مورد نیاز برای آستانه حرکت ذرات ۶۰ سانتیمتر بر ثانیه می باشد، که سرعت درلوله ها از آن نیز بیشتر است .

* ماویس ولوشی

براساس رابطه ماویس ولوشی، $V_b = K_2 d^{\frac{1}{2}}$ قطر ذرات رسوبی در آستانه حرکت ۳۶,۵ میلیمتر بدست آمد که از قطرمیانگین موجود بسیار بیشتر است. ضمناً سرعت جریان در کف آبراهه ۰,۰۱۵۵ متر در ثانیه و در نتیجه سرعت متوسط جریان ۰,۰۲۲ متر در ثانیه بدست آمد که از حداقل سرعت جریان موجود در سیفون بسیار کمتر می باشد.

جداول محاسبات سرعت بحرانی براساس روابط محقین نامبرده

نتیجه	رابطه	نام محقق
$V_c = .2m / s$	$V_c = K \omega \frac{R^{1/6}}{n \sqrt{g}}$	بگنولدوانگلوند ، رادکیوی وژولین
$V_c = .018m/s$	$U_{*cs} = \sqrt{2(D_s - 1)gD_s}$	سومروهملکاران
$V_c = 0.1m/s$	$V_b = 2.75 \sqrt{D_{50}}$	بری
$V_c = 0.27m/s$	$\frac{V_c}{[g(\frac{\rho_s}{\rho} - 1)D_s]^{.5}} = 2.2$	شفاعی
$V_b = 0.55 m / s$	$V_b = 0.5 \sqrt{D_{50}(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1)}$	ماویس ولوشی

* روابط بوگاردی ، ماینورد، نواک ونالوری وال ضعیمی ، گاردراجو، ایساخ واستراب

$$d = R = \frac{1.6}{4} = 0.4m \quad D_s = D_{50} = 0.01mm \quad \frac{V_c}{[g(G_s - 1)D_s]^{.5}} = a' \left(\frac{d}{D_s} \right)^m$$

محقق	a	m	Vc(ft/s)	Vc(m/s)
ایسباخ	۱/۷	۰	۰/۶۸	۰/۲۱
استراب	۱/۴۹	۱/۶	۱/۱۱	۰/۳۴
نیل	۱/۵۸	۰/۱	۰/۹۲	۰/۲۸
بوگاردی	۱/۷۰	۰/۰۹۵	۰/۹۷	۰/۳
ماینورد	۳/۳۳	۰/۱	۱/۹	۰/۵۸
نواک ونالدوری	۰/۵	۰/۴	۰/۸۸	۰/۲۷
ال ضعیمی	۰/۷۵	۰/۲۴	۰/۷۳	۰/۲
قانی	۱/۰۷	۰/۲۳	۱/۰۰	۰/۳
می	۰/۱۲۵	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۰۹

نتیجه گیری :

با استفاده از تمام روابط بالا مشخص است که سرعت درسیفون ازسرعتهای محاسبه شده بیشتر است و در نتیجه این سیفون در شرایط برقراری جریان رسوبگذار نمی باشد.

روابط دیگر

* معیار میر پیتر ومولر

$$d_s = \frac{SD}{K_1 \left(n / d_{90}^{1/6} \right)^{3/2}}$$

براساس رابطه قطر ذرات رسوبی در آستانه حرکت ۳,۵ میلیمتر بدست می آید که از قطرمیانگین موجود بسیار بیشتر است.

* نتیجه وضعیت رسوبگذاری سیفون

با توجه به محاسبات بعمل آمده از روشهای تنش برشی وسرعت بحرانی ، سیفون مذکور در شرایط برقراری جریان رسوبگذار نخواهد بود . اما در صورت قطع جریان در لوله های سیفون ویا چنانچه سازه آویس پایین دست سیفون اجازه عبور جریان را بصورت کامل ندهد ویا مسدود گردد ، بابوجود آمدن پدیده بلوک یک(پس زدن آب سیفون) وایجاد موج منفی برگشتی ، از سرعت جریان کاسته شده وممکن است تاحدسرعت بحرانی ویا سرعت صفر(درزمان بسته شدن کامل آویس ویا بستن دریچه های ورودی سیفون) کاهش یابد که دراین صورت رسوبات که عمدتاً بسیار ریزدانه وکلوئیدی هستند عمدتاً درمقطع افقی سیفون ته نشین خواهند شد.

نتایج تحقیق

در این تحقیق برای رسیدن به این موضوع ، روش تنش برشی از طریق چهار گزینه بررسی گردید ومشخص شدکه امکان رسوبگذاری سیفون درحالت برقراری جریان وجود ندارد. همچنین روابط تجربی موجود در روش سرعت بحرانی مورد استفاده قرار گرفته ودر نتیجه بادر نظر گرفتن سرعت جریان در لوله های سیفون که حداقل ۱/۳۴ متر درثانیه می باشد، این سرعت نسبت به مقادیر بدست آمده برای سرعت بحرانی توسط روابط تجربی فوق الذکر به لحاظ جلوگیری ازشکیل رسوب درلوله ها بیشتر بوده ، بنابراین بامرعلق درحالت برقراری جریان درون لوله ها با سرعت موجود ته نشین نخواهدشد. اما چنانچه سازه آویس پایین دست سیفون اجازه عبور جریان را بصورت کامل ندهد ویا مسدود گردد ، بابوجود آمدن پدیده بلوک یک(پس زدن آب سیفون) وایجاد موج منفی برگشتی ، از سرعت جریان کاسته شده وممکن است تاحدسرعت بحرانی ویا سرعت صفر (درزمان بسته شدن کامل آویس ویا بستن دریچه های ورودی سیفون) کاهش یابد که دراین صورت رسوبات که عمدتاً بسیار ریزدانه وکلوئیدی هستند عمدتاً درمقطع افقی سیفون ته نشین خواهند شد. لذا باید با تنظیم جریان توسط آویس به مقدارموردنیاز مصرف پایین دست و به همان ظرفیت، با کنترل یاز بودن لوله های سیفون با تعداد لوله ونسبت بازشدگی مشخص دریچه ها وهمچنین تأمین حدآبی موردنیاز توسط ایستگاه پمپاژ مارد ازچنین اتفاقی جلوگیری نمود

پیشنهادهات

با توجه به خاص بودن سازه ، ساخت مدل فیزیکی ایجاب می نماید واین امر در تحقیقات کاملتر وکسب نتایج دقیقتر و کمک به حفظ ونگهداری سازه نقش به سزایی خواهدداشت.

تقدیر وتشکر

از آقای "دکتر جمشید سلحشور" و آقای دکتر محمود شفاعی بجستان که در این تحقیق با رهنمودهای حکیمانه خویش راهنمایی و همکاری نمودند و همچنین از خدمات وزحمات سازمان آب وبرق خوزستان تقدیر وتشکر می نمایم.

مراجع

- ۱- اکبریان، ع.، (۱۳۷۶)، طراحی سازه های هیدرولیکی کانالها، چاپ دوم، انتشارات عمیدی، ۶۹۲ صفحه.
- ۲- بیرامی، م.ک.، (۱۳۸۸) سازه های انتقال آب، چاپ هشتم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۶۲ صفحه
- ۳- تکلدانی، ا؛ سیاهی ، م.ک ؛ طراحی کانالهای آبیاری وسازه های وابسته ، چاپ اول، مؤسسه انتشارات وچاپ دانشگاه تهران ۱۳۸۷، ۴۹۴ صفحه
- ۴- شفاعی بجستان، م.، (۱۳۷۳)، هیدرولیک رسوب، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۳۸ صفحه.
- ۵- مصباحی، ج. و چیتی، م.ح.، (۱۳۷۷)، فرهنگ مهندسی رودخانه، انتشارات دفتر مهندسی رودخانه ها و سواحل کشور (وزارت نیرو) تهران.
- ۶- برنامه ریزی آزمایشهای رسوب نشریه شماره ۲۲۲ سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور ۱۳۸۰ ، ۳۱ صفحه
- ۷- ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمانهای حفاظتی وتقاطعی ، تبدیل وایمنی وساختمانهای حفاظت درمقابل فرسایش سامانه های آبیاری نشریه شماره ۳۳۷ سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور ، ۱۳۸۴ ، ۸۵ صفحه
- ۸- خزیمه نژاد، حسین، شفاعی بجستان، محمود و ایزدجو، فرهاد “ (1384) بررسی شرایط خود تنظیمی بار بستر درسیفونهای معکوس در حال ساخت در استان خوزستان .”نخستین همایش مدیریت رسوب، سازمان آب و برق 31 فروردین ماه.
- ۹- بررسی شرایط هیدرولیکی تخلیه رسوب از سیفون معکوس با ایجاد موج ناگهانی، سازمان آب و برق خوزستان، 13۸۵ .
- ۱۰- بررسی شرایط حد ته نشینی رسوب در بازوی خروجی سیفونهای معکوس کانال پای پل خزیمه نژاد، حسین و محمود شفاعی بجستان (1385) مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران
- ۱۱- بررسی حرکات رسوبات (غیرچسبنده) با استفاده از موج ناگهانی (flushing) در بازوی خروجی سیفون معکوس سعید حاجی علی گل ، محمود شفاعی بجستان