

یادداشت فنی

بررسی شرایط خودتنظیفی کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی

حسین خزیمه‌نژاد^{۱*}، محمود شفاعی بجستان^۲ و رحیم آورد^۳

چکیده

از جمله روش‌های جلوگیری از نهشته شدن رسوب این است که شرایط جریان عبوری از سازه طوری تعیین شود که از نهشته شدن رسوب جلوگیری کند و یا سازه شرایط خودتنظیفی را داشته باشد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از تحلیل ابعادی یک رابطه کلی برای شرایط خودتنظیفی کانال روباز و سیفون معکوس ایجاد شد. سپس با استفاده از دو مدل آزمایشگاهی و ۱۴ نمونه رسوب غیرچسبنده با ابعاد ۰/۲ تا ۴/۴ میلی‌متر در سه شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد کانال و چهار شیب ۰، ۸، ۱۶ و ۲۴ درجه برای مجاری افقی و خروجی سیفون معکوس آزمایش‌های لازم انجام شد. با به‌کاربردن داده‌های آزمایشگاهی، منحنی‌هایی برای شرایط خودتنظیفی در کانال و مجاری افقی و خروجی سیفون معکوس ایجاد گردید. سپس با استفاده از این منحنی‌ها و خصوصیات دانه‌بندی مواد معلق رودخانه کرخه در محل ایستگاه پای‌پل، سرعت خودتنظیفی یا همان حداقل سرعت برای عدم ته‌نشینی ذره‌ای به قطر ۲ میلی‌متر که بزرگ‌ترین ذره رسوب ورودی به کانال اصلی پای‌پل و سیفون‌های معکوس آن است، به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پای‌پل، خودتنظیفی، سیفون معکوس، کانال، مدل آزمایشگاهی.

ارجاع: خزیمه‌نژاد ح. شفاعی بجستان م. و آورد ر. ۱۳۹۴. بررسی شرایط خودتنظیفی کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۶: ۱۹۵-۱۹۹.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

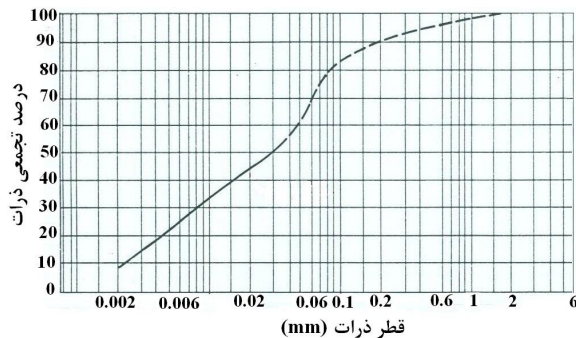
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- مدیر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب و برق خوزستان.

* نویسنده مسئول: hkhozevmeh@birjand.ac.ir

مقدمه

پای‌پل و سیفون‌های معکوس آن است برای نیل به این هدف، ابتدا بزرگ‌ترین ذره رسوبی که امکان ورود به کانال دارد با استفاده از منحنی توزیع دانه‌بندی مواد معلق رودخانه کرخه در محل سد تنظیمی- انحرافی و آب‌گیر اصلی کانال پای‌پل مشخص و سپس با استفاده از پژوهش‌های آزمایشگاهی شرایط خودتنظیفی در کانال و سیفون‌های معکوس آن تعیین شد. با توجه شکل ۱ بزرگ‌ترین قطر ذره معلق حداکثر برابر ۲ میلی‌متر است.



شکل ۱- منحنی توزیع دانه‌بندی مواد معلق در محل ایستگاه پای‌پل در شرایط رژیم طبیعی رودخانه کرخه (سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۸۳)

پس با استفاده از تحلیل ابعادی رابطه کلی برای تعیین شرایط خودتنظیفی به شرح زیر استخراج شد.

$$f(V_s, \rho, \rho_s - \rho, d, d_s, S, g, \mu) = 0 \quad (1)$$

که در این رابطه V_s سرعت خودتنظیفی، ρ و $\rho_s - \rho$ جرم واحد حجم آب و رسوب مستغرق، d عمق آب کانال و اندازه ضلع مجاری افقی و خروجی سیفون معکوس، d_s قطر متوسط ذرات رسوب، S شیب کانال و مجاری افقی و خروجی سیفون، g شتاب ثقل زمین، μ ضریب دینامیکی آب است. با به کار بردن تئوری باکینگهام، رابطه ۱ به رابطه بدون بعد زیر تبدیل می‌شود.

$$V_s / \sqrt{g(G_s - 1)d_s} = f_1(d_s / d, S, R_e) \quad (2)$$

در این رابطه G_s چگالی نسبی ذرات رسوبی و R_e عدد رینولدز ذره است. پارامتر بی‌بعد $V_s / \sqrt{g(G_s - 1)d_s}$ به عدد پایداری ذره در شرایط خودتنظیفی معروف است و در اینجا با SN_s نشان داده می‌شود و d_s / d نیز به زبری نسبی معروف است. با توجه به اینکه در آزمایش‌های این پژوهش عدد رینولدز ذره بسیار بزرگ‌تر از حد بستر زبر است بنابراین می‌توان به استناد مطالعات شیلدز از اثر آن صرف‌نظر کرد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷). در این صورت

نهشته شدن رسوب در سازه‌های انتقال آب مانند کانال‌ها سبب کاهش راندمان سازه می‌شود، همچنین بخشی از سازه‌های انتقال در شبکه‌های آبرسانی به صورت بسته و با فشار کم هستند که از نمونه بارز آن می‌توان به سیفون معکوس و زیرگذر جاده اشاره کرد. برای عملکرد صحیح این‌گونه سازه‌ها ضروری است تا طراحی به گونه‌ای انجام گیرد که از تجمع رسوب در مسیر انتقال آب جلوگیری کند و یا در صورت نهشته شدن بتوان با ایجاد شرایط لازم رسوبات را تخلیه کرد. یکی از روش‌های جلوگیری از نهشته شدن رسوب در مجاری اعمال شرایط خودتنظیفی است یا به عبارتی ایجاد شرایطی است که در آن رسوبات همراه جریان فرصت ته‌نشینی ندارند (می و همکاران، ۱۹۹۶). از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات نالوری و قانی (۱۹۹۶) اشاره کرد که به ترتیب رابطه‌هایی را برای حد ته‌نشینی بار بستر برای مجاری مستطیلی و دایره‌ای تحت شرایط جریان آزاد پیشنهاد کردند (نالوری و اسپالیوریو، ۱۹۹۸ و نالوری و قانی، ۱۹۹۶).

پژوهش دیگری نیز می (۲۰۰۳) در زمینه نهشته شدن رسوب در لوله‌های عمودی و لوله‌های با شیب معکوس انجام داد و رابطه‌ای در این زمینه ارائه کرد (می، ۲۰۰۳). اعمال سرعت آستانه حرکت نیز از دیگر روش‌های جلوگیری از نهشته شدن رسوب است که در حقیقت می‌توان آن را سرعت خودتنظیفی سازه برای رسوبات بستر نامید که با ایجاد این شرایط در واقع شرایط خودتنظیفی سازه برای کلیه رسوبات فراهم می‌شود. در این پژوهش با استفاده از تئوری آستانه حرکت شرایط خودتنظیفی در کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل بررسی شد.

مواد و روش‌ها

کانال اصلی دشت‌های پای‌پل و سیفون‌های معکوس آن کانال پای‌پل در جنوب غربی ایران در شمال استان خوزستان قرار دارد. این کانال از سد تنظیمی- انحرافی پای‌پل آب‌گیری می‌کند، با توجه به موقعیت کانال و بزرگ بودن تعدادی از مسیل‌ها در بعضی موردها کانال به صورت سیفون از زیر مسیل عبور داده شده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی شرایط خودتنظیفی کانال

رابطه ۲ به رابطه ۳ تبدیل می‌شود:

$$SN_S = f_2(d_s / d, S) \quad (3)$$

برای برقراری رابطه خاص نیاز به داده‌های آزمایشگاهی است، از این رو دو مدل آزمایشگاهی از یک کانال روباز و سیفون معکوس آماده شد. مدل‌ها شامل سیستم جریان رفت و برگشتی هستند. بخش اصلی مدل کانال، دارای سطح مقطع مربعی به ابعاد ۸ در ۸ سانتی‌متر و طولی معادل ۱/۶ متر است و بخش اصلی مدل سیفون معکوس نیز دارای سطح مقطع مربعی به ابعاد ۱۵ در ۱۵ سانتی‌متر و طولی معادل ۱/۸ متر است (شکل ۲). در هر دو مدل قبل از مجرای اصلی یک بخش ابتدایی وجود دارد که وظیفه آرام و یکنواخت کردن جریان و هدایت آن به بخش اصلی مدل را بر عهده دارد. در انتهای مجرای مدل کانال، برای اندازه‌گیری جریان یک سرریز مستطیلی شکل وجود دارد و در انتهای مجرای مدل سیفون معکوس بخش آرام‌کننده و سرریز مثلثی وجود دارد که به ترتیب وظیفه آرام کردن و اندازه‌گیری جریان را بر عهده دارند. حد فاصل بخش آرام‌کننده و سرریز مثلثی دریچه تاشویی برای کنترل سطح آب نصب شده است تا سطح آب

همیشه در حدی که برای استغراق دهانه خروجی سیفون معکوس لازم است، تنظیم گردد. آب پس از عبور از سرریزها در دو مدل وارد مخزن می‌شود. مشخصات مصالح یاد شده در این آزمایش‌ها به شرح جدول ۱ از جنس غیرچسبیده هستند که به ضخامت حدود ۱ سانتی‌متر در سه شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بستر کانال و چهار شیب ۰، ۸، ۱۶ و ۲۴ درجه مجاری افقی و خروجی سیفون معکوس آزمایش شدند. پس از آماده شدن مدل، شیر قطع و وصل جریان به آرامی باز شده و سپس با شیر تنظیم، دبی آن کنترل و به تدریج افزوده می‌شد تا اینکه شرایط حرکت ذرات رسوب مشاهده شود. در این پژوهش شروع حرکت بدون توقف ذرات به عنوان شرایط خودتنظیمی تعریف شد (حرکت منقطع، تصادفی، نوسانی و جزئی شامل این شرایط نمی‌شوند) و سرعت متوسط مجرا در آن زمان که با سرریز اندازه‌گیری می‌شد به عنوان سرعت خودتنظیمی در نظر گرفته شد. در هنگام آزمایش چندین مرتبه مقدار دبی و سطح آب بالادست کنترل می‌شد تا دچار تغییر نشده باشند. روند مذکور برای کلیه مصالح رسوبی در شیب‌های مختلف انجام شد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- نمایی از مدل آزمایشگاهی الف) کانال، ب) سیفون معکوس

جدول ۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در آزمایش‌ها

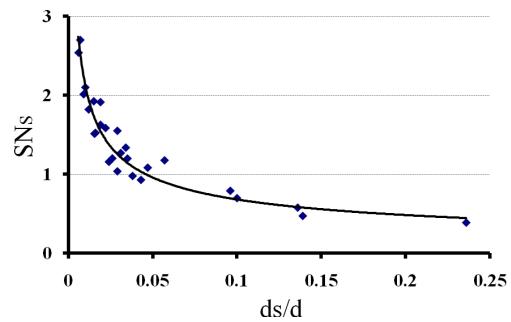
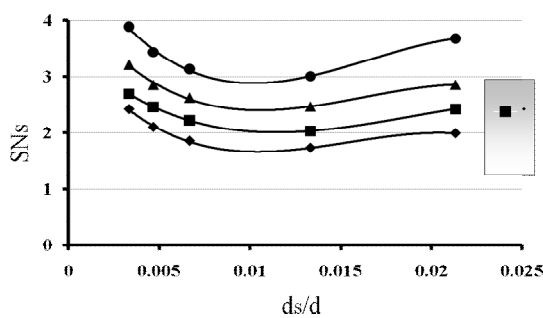
مدل آزمایشی	G_S	d_s	ردیف	مدل آزمایشی	G_S	d_s	ردیف
کانال	۲/۶۴	۱/۲	۸	کانال	۲/۶۵	۰/۲	۱
سیفون	۲/۶۵	۲	۹	کانال	۲/۶۵	۰/۴	۲
سیفون	۲/۶۵	۳/۲	۱۰	کانال و سیفون	۲/۶۵	۰/۵	۳
کانال	۱/۶۸	۳/۲	۱۱	کانال	۲/۶۵	۰/۶	۴
کانال	۱/۶۴	۳/۲	۱۲	سیفون	۲/۶۵	۰/۷	۵
کانال	۱/۴۷	۳/۲	۱۳	کانال	۲/۶۴	۰/۸	۶
کانال	۱/۶۸	۴/۴	۱۴	کانال و سیفون	۲/۶۵	۱	۷

نتایج و بحث

با توجه به نتایج آزمایش و رابطه ۳، نمودار ۳ استخراج شد. با توجه به اینکه در مدل کانال در شیب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری بین نتایج وجود ندارد، در نمودار مربوط به کانال شیب‌ها تفکیک نشدند (شکل ۳-الف). در ادامه با استفاده از نمودارها، شرایط خودتنظیفی در موقعیت‌های مختلف کانال پای‌پل و سیفون‌های معکوس آن بررسی شد که نتایج در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، شرایط خودتنظیفی در موقعیت‌های مختلف کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل برقرار است. با توجه به این گراف‌ها می‌توان قطر ذرات بحرانی که کانال و سیفون‌های معکوس را در مرز شرایط خودتنظیفی قرار می‌دهد را محاسبه و در طراحی شبکه‌های آشغال‌گیر از آن استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نمودارهای استخراج شده در این پژوهش به طور کامل کاربردی بوده و علاوه بر کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل برای تمامی کانال‌ها و سیفون‌های معکوس با مقطع مربع می‌توانند استفاده شوند. نتایج پژوهش نشان از حاکم بودن شرایط خودتنظیفی در کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل برای بزرگ‌ترین ذره رسوب وارد شده به سازه دارد. علاوه بر این با توجه به نمودارها می‌توان اندازه ذرات رسوبی که کانال و سیفون‌های معکوس پای‌پل را در مرز شرایط خودتنظیفی و وضعیت بحرانی قرار می‌دهد محاسبه کرد.



شکل ۳- پارامتر SN_s در مقابل ds/d برای الف) مدل کانال ب) مدل سیفون معکوس

جدول ۲- نتایج محاسبات سرعت خودتنظیفی برای موقعیت‌های مختلف کانال اصلی دشت‌های پای‌پل

(V/Vs)	Vs(m/S)	V(m/s)	S	d(m)	Q(m ³ /s)	مقصد (کیلومتر)	مبدأ (کیلومتر)
۱/۳۷	۱/۲۰	۱/۶۵	۰/۰۰۰۲	۳/۵	۸۲	۲+۴۸۰	۰+۰۰۰
۱/۱۷	۱/۲۲	۱/۴۲	۰/۰۰۰۱۵	۳/۵۸	۶۸	۳۱+۴۰۱/۲۶	۲+۴۸۰
۱/۱۷	۱/۲۱	۱/۴۱	۰/۰۰۰۱۵	۳/۵۴	۶۶/۵	۳۹+۳۱۰	۳۱+۴۰۱/۲۶
۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۴۱	۰/۰۰۰۱۵	۳/۵۸	۶۱/۷	۵۱+۶۹۹	۳۹+۳۱۰
۱/۱۲	۱/۲۰	۱/۳۵	۰/۰۰۰۱۵	۳/۵۱	۵۳/۲	۶۶+۷۸۱/۸۴	۵۱+۶۹۹
۱/۱۸	۱/۰۸	۱/۲۷	۰/۰۰۰۱۸	۲/۷۷	۵۰/۲	۷۳+۷۴۵	۶۶+۷۸۱/۸۴
۱/۱۲	۱/۱۹	۱/۳۳	۰/۰۰۰۱۵	۳/۴۱	۵۰/۲	۷۴+۶۲۰	۷۳+۷۴۵
۱/۱۲	۱/۱۵	۱/۲۹	۰/۰۰۰۱۵	۳/۲۱	۴۴/۶	۸۰+۱۰۰	۷۴+۶۲۰
۱/۲۸	۱/۱۰	۱/۴	۰/۰۰۰۲	۲/۸۷	۴۱/۴	۸۳+۶۲۵	۸۰+۱۰۰
۱/۲۵	۱/۰۹	۱/۳۶	۰/۰۰۰۲	۲/۸۴	۳۵/۶	۸۶+۷۱۰	۸۳+۶۲۵
۱/۱۵	۱/۰۳	۱/۱۹	۰/۰۰۰۲	۲/۵۲	۲۰/۲	۸۹+۵۹۲	۸۶+۷۱۰
۱/۱۵	۱/۰۱	۱/۱۶	۰/۰۰۰۲	۲/۴	۱۸/۳	۹۲+۵۴۳	۸۹+۵۹۲
۱/۱۵	۰/۹۹	۱/۱۴	۰/۰۰۰۲	۲/۳۳	۱۷/۳	۹۵+۵۰۰	۹۲+۵۴۳
۱/۳۹	۰/۹۳	۱/۲۹	۰/۰۰۰۲	۲/۰۱	۱۵/۶	۱۰۰+۶۲۵	۹۵+۵۰۰
۱/۱۴	۰/۹۶	۱/۱	۰/۰۰۰۲	۲/۱۸	۱۵	۱۰۵+۳۳۰	۱۰۰+۶۲۵
۱/۰۸	۰/۹۲	۱	۰/۰۰۰۲	۲	۱۰	۱۰۷+۸۲۰	۱۰۵+۳۳۰

جدول ۳- نتایج محاسبات سرعت خودتخلیفی برای سیفون‌های معکوس پای پل

(V/V _{SO})	(V/V _{SH})	V _{SO} (m/s)	V _{SH} (m/s)	V(m/s)	d(m)	S(درجه)	Q(m ³ /s)	کیلومتر از سیفون
۲/۷۰	۳/۴۶	۰/۷۷	۰/۶۰	۲/۰۸	۳/۳ × ۳/۳	۱۷/۵	۶۸	۵+۲۰۰
۴/۰۶	۴/۲۱	۰/۶۲	۰/۶۰	۲/۵۲	۳ × ۳	۱۰/۵	۶۸	۱۷+۲۰۰
۲/۵۳	۳/۲۹	۰/۷۸	۰/۶۰	۱/۹۷	۳ × ۳	۱۸	۵۳/۲۵	۵۵+۲۴۰
۳/۱۵	۳/۲۳	۰/۶	۰/۵۹	۱/۸۹	۲/۲ × ۲/۲	۱۱	۱۸/۳۰	۸۹+۸۲۵
۳/۰۲	۳/۳۶	۰/۶۵	۰/۵۸	۱/۹۶	۲/۱ × ۲/۱	۱۴	۱۷/۳۰	۹۲+۷۵۵
۳/۱۶	۳/۳۶	۰/۶۲	۰/۵۸	۱/۹۶	۲/۱ × ۲/۱	۱۲	۱۷/۳۰	۹۵+۰۵۰
۳/۲۵	۳/۳۵	۰/۵۹	۰/۵۸	۱/۹۵	۲ × ۲	۹	۱۵/۶	۹۶+۷۱۰
۳/۲۰	۳/۳۵	۰/۶۱	۰/۵۸	۱/۹۵	۲ × ۲	۱۱/۵	۱۵/۶	۱۰۰+۱۰۰

V_{SO} و V_{SH} به ترتیب سرعت خودتخلیفی مجاری افقی و خروجی سیفون معکوس است.

منابع

۱. شفافی بجستان م. ۱۳۸۷. مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ویرایش دوم. ۴۶۲ ص.
۲. سازمان آب و برق خوزستان. ۱۳۸۳. طرح شبکه آبیاری و زهکشی دشت‌های پای پل. مطالعات مرحله دوم. جلد پنجم. گزارش سیمای طرح.
3. May R. W. P. 2003. preventing sediment deposition in inverted sewer siphons. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. April. 283-290.
4. May R. W. P. Ackers C. J. Butler D. and John s. 1996. Development of design methodology for self-cleansing. wat. sci. tech. 33(9):195-205.
5. Nalluri C. and Ghani A. B. 1996. Design options for Self-cleansing storm sewers. wat. sci. tech. 33(9): 215-220.
6. Nalluri C. and Spaliviero P. 1998. Suspended sediment transport in rigid boundary channels at limit deposition. wat. sci. tech. 37(1): 147-154.