2017, Vol.3, No.2, Pages 43 to 54
Journal of Water and Sustainable Development

سال سوم، شماره ۲، اسفند ۱۳۹۵، صفحات ۴۳ تا ۵۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Investigation of Capabilities and Limitations of Different Cleaning Methods for Sewer Lines

M. Kamali[1*], M. Pirouz[2], M. Ghobadian[3], H.R. Tashayoee[4]

1- Lecturer of Chemical Process Research Group, Institute of Process Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, and PhD of water and Wastewater Engineering, Graduate Faculty of Environment, Department of Environmental Engineering, University of Tehran, Iran. 2- Master of Science in chemical engineering, chemical engineering department, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Iran. 3- B.Sc. of Environmental Health Engineering, Isfahan Water and Wastewater Company, Isfahan, Iran. 4- Ass. Prof., Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Medical Engineering, Islamic Azad University, Branch of Tehran Medical Science, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: m.kamali@eng.ui.ac.ir)
Received: 20-2-2016
Accepted: 3-8-2016

Abstract

Mechanical, hydraulic, and chemical washing methods are the most common methods for sewer line cleaning. Each of these methods includes several sub methods. Rodding and bucket machine are the two most important of mechanical cleaning methods, whereas high-speed and flushing are the most important hydraulic cleaning methods. Acids, alkalis, surfactants, and enzymes are widely used materials in sewer line chemical cleaning. When choosing the appropriate cleaning procedure, the network conditions must be considered. Studies indicate that, in general, the hydraulic method is the best cleaning method among the reviewed procedures. Studies have shown that more than 90% of cities in the USA use hydraulic method to clean their sewer systems. Whilst mechanical and chemical methods are employed 50% and 3%, respectively. In Iran, there is no information about the comparison of sewer system cleaning methods, and it can only be said that due to the limitation of equipment, high-velocity cleaning using a water-jet machine, conventional, and empirical methods are used more. The hydraulic cleaning method in spite of its low cost has a high efficiency and uses minimum manpower.

Keywords: Sewer line blockage, Mechanical cleaning, Hydraulic cleaning, chemical cleaning.

بررسی قابلیت‌ها و محدودیت‌های روش‌های مختلف شست‌وشوی خطوط فاضلاب

مهدی کمالی[1*]، مجید پیروز[2]، مجتبی قبادیان[3] و حمیدرضا تشیعی[4]

۱- مربی گروه فرآیندهای شیمیایی، مرکز پژوهشی مهندسی فرآیند، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان و دانشجوی دکتری مهندسی آب و فاضلاب، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان. ۳- کارشناس مهندسی بهداشت محیط، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، اصفهان. ۴- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم پزشکی تهران، تهران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: m.kamali@eng.ui.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱
تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۳

چکیده

متداول‌ترین روش‌های شست‌وشوی خطوط جمع‌آوری فاضلاب روش‌های شست‌وشوی مکانیکی، هیدرولیکی و شیمیایی هستند. هرکدام از این روش‌ها خود از چند زیر روش تشکیل شده‌اند. رودینگ و ماشین باکت (روش فنرزنی و انتقال رسوب‌ها با سطل) مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی مکانیکی و شست‌وشوی با واترجت (پرفشار) و فلاشینگ (جاری‌سازی) مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی هیدرولیکی هستند. اسیدها، بازها، مواد فعال سطحی و شوینده‌های زیستی نیز پرکاربردترین مواد در روش شست‌وشوی شیمیایی می‌باشند. هنگام انتخاب روش شست‌وشوی مناسب باید به وضعیت شبکه توجه کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌طورکلی روش شست‌وشوی هیدرولیکی مناسب‌ترین روش شست‌وشو در بین روش‌های بررسی شده است. تحقیقات نشان می‌دهد بیش از ۹۰ درصد از شهرهای آمریکا از روش هیدرولیکی برای شست‌وشوی خطوط جمع‌آوری فاضلاب خود استفاده می‌کنند. درحالی‌که میزان استفاده از روش‌های مکانیکی و شیمیایی به ترتیب ۵۰ و ۳ درصد است. متأسفانه در ایران اطلاعاتی درزمینهٔ مقایسه روش‌های شست‌وشوی شبکه جمع‌آوری فاضلاب وجود ندارد و صرفاً می‌توان گفت به دلیل محدودیت در تجهیزات، به‌جز روش شست‌وشوی پرفشار به کمک ماشین‌های واترجت معمولی، از روش‌های سنتی و تجربی بیش‌تر استفاده می‌شود. روش شست‌وشوی هیدرولیکی با توجه به کم‌هزینه بودن، راندمان بالایی دارد و از حداقل نیروی انسانی ممکن استفاده می‌کند.

واژه‌های کلیدی: انسداد خطوط فاضلاب، شست‌وشوی مکانیکی، شست‌وشوی هیدرولیکی، شست‌وشوی شیمیایی.

DOI: 10.22067/jwsd.v3i2.51996

مقدمه

شست‌وشو و رفع انسداد از مهم‌ترین اصول نگه‌داری خطوط فاضلاب هستند. این فعالیت‌ها به دلایل زیر انجام می‌شوند:
۱- جلوگیری از ایجاد یا رفع رسوب‌های موجود و جلوگیری از ایجاد شرایط بی‌هوازی در چارچوب برنامه‌ی اقدامات نگه‌داری، ۲- رفع گرفتگی لوله‌ها، ۳- به‌عنوان اقدام اولیه قبل از بازرسی داخل لوله‌ها، ۴- به‌عنوان اقدام اولیه قبل از شروع عملیات نگه‌داری و تعمیرات (شرکت پاکاب‌سازان، ۱۳۹۰).

شست‌وشوی خطوط جمع‌آوری فاضلاب می‌تواند برنامه‌ریزی‌شده یا برنامه‌ریزی‌نشده باشد. شست‌وشوی برنامه‌ریزی‌شده یک روش پویا[1] است. به این معنی که شست‌وشو بر اساس اصل پیشگیرانه انجام می‌شود تا آلودگی‌ها را قبل از انسداد خطوط فاضلاب برطرف کند. شست‌وشوی برنامه‌ریزی‌نشده زمانی انجام می‌شود که انسداد یا پس‌زدگی خطوط فاضلاب گزارش شود و بنابراین غیرپویا[2] است. هنگامی‌که شست‌وشوی غیرپویا بخش اصلی برنامه نگه‌داری شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب را تشکیل دهد (به‌ویژه زمانی که عمر شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب زیاد باشد)، عملکرد شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب کاهش می‌یابد. معمولاً این نوع شست‌وشو در مواقع اضطراری به‌منظور رفع انسداد و بازگرداندن ظرفیت کامل لوله انجام می‌شود (محسنی مفیدی، ۱۳۸۵).

روش‌های شست‌وشوی خطوط فاضلاب

• روش‌های مکانیکی:

شست‌وشوی مکانیکی به صورت دستی همراه با مواد شوینده، تجهیزات متعارف و یا تجهیزات ویژه انجام می‌شود. تجهیزات مکانیکی در ابتدا از طریق آدم‌رو وارد لوله می‌شوند و با استفاده از قرقره‌های دستی یا مکانیکی با قدرت ۵ تا ۵۰ کیلو نیوتن به حرکت درمی‌آیند. هرچند استفاده از این روش در لوله‌های با قطر کم نتایج خوبی به همراه دارد، اما انتقال، نصب و راه‌اندازی تجهیزات با زحمت زیادی همراه است و جمع‌آوری و تخلیه رسوب‌ها نیز کار زیادی می‌طلبد (محسنی مفیدی، ۱۳۸۵). روش‌ها یا تجهیزات مورد استفاده در شست‌وشوی مکانیکی خود به چند دسته تقسیم می‌شوند، که در ادامه به برخی از مهم‌ترین روش‌ها پرداخته می‌شود.

۱- تجهیزات حفاری دوار

این‌گونه دستگاه‌ها معمولاً دارای تجهیزات کنترل از راه دور بوده و تحت نظارت دوربین مداربسته در لوله‌های تا قطر ۶۰۰ میلی‌متر برای حذف رسوب‌ها و یا اصلاح انشعابات فرعی که بخشی از آن‌ها در لوله‌ی اصلی قرارگرفته‌اند و همچنین مواردی همچون حذف ریشه‌ی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، ۱۳۸۸).

۲- تجهیزات حفاری چرخشی ضربه‌ای

این تجهیزات برای رفع رسوب‌های سیمانی‌شده، گرفتگی لوله‌ها و همچنین حذف ریشه‌های گیاهان در داخل لوله‌ها تا قطر ۶۰۰ میلی‌متر مورد استفاده قرار می‌گیرند. راهبری تجهیزات مزبور به کمك ماشین‌های نقلیه‌ی شست‌وشوی تحت‌فشار ۶۰ تا ۱۵۰ بار و توان تلمبه معادل ۲۵۰ تا ۴۵۰ لیتر بر دقیقه انجام می‌شود (راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، ۱۳۸۸). افشانك‌های حفاری ضربه‌ای از این نوع هستند.

۳- دستگاه سند بلاست (شن‌زنی) (زدودن رسوب‌ها به کمك ذرات ماسه‌ی تحت‌فشار)

این دستگاه معمولاً برای دست‌یابی به بازدهی بالای حذف رسوب‌ها در لوله‌های چدنی و فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابتدا باید این دستگاه را در محل مورد نظر قرار داده، سپس به‌آرامی به‌طرف عقب کشید. ماسه‌ی مورد استفاده به کمك هوای تحت‌فشار به‌طرف بخش جلوی لوله منتقل می‌گردد. این تجهیزات برای لوله‌هایی تا قطر ۱۶۰۰ میلی‌متر قابل استفاده است (راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، ۱۳۸۸).

۴- رودرها[3] (فنرها)

رودرها به دو دسته رودرهای دستی و برقی تقسیم می‌شوند. روش شست‌وشوی شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب باید مطابق برنامه‌ای منظم اجرا شود. به‌عنوان‌مثال در یک دوره‌ی ۱، ۳ یا ۵ ساله همه‌ی بخش‌های شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب شسته شوند، مگر اینکه در بخش‌هایی از شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب به دلیل وجود شرایط بحرانی برنامه‌ی شست‌وشوی دیگری تعریف شده باشد (Monson، ۲۰۱۴). در اغلب شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، برخی بخش‌ها به شست‌وشوی متناوب نیاز ندارند؛ درحالی‌که برخی بخش‌ها به دلیل احتمال انسداد به شست‌وشوی بیش‌تری (مثلاً به‌صورت ماهانه) نیازمندند. برای یافتن نواحی با مشکلات شدید و تنظیم یک برنامه‌ی شست‌وشوی پیشگیرانه بر مبنای شرایط واقعی شبکه‌ی جمع‌آوری فاضلاب، از اطلاعات به‌دست‌آمده از بازرسی‌های مستمر استفاده می‌شود (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف).

روش‌های مورد استفاده برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب را می‌توان به سه دسته روش‌های هیدرولیکی، مکانیکی و شیمیایی تقسیم کرد. برای انتخاب روش بهینه شست‌وشوی خطوط فاضلاب باید علاوه بر میزان شست‌وشوی مطلوب و هدف از شست‌وشوی خطوط فاضلاب، به مواردی مانند امکان دسترسی به لوله‌ها، شکل سطح مقطع و ابعاد لوله‌ها، تغییر سطح مقطع یا رسوب‌های موجود، جنس لوله‌ها و وضعیت سازه، شرایط اقلیمی (باران، برف و یخبندان) و وضعیت ترافیك محل توجه کرد (León و همکاران، ۲۰۱۳). در ادامه به بررسی این سه روش پرداخته می‌شود.

اصلی که رودینگ (فنرزنی) دستی نامیده می‌شود، قدیمی‌ترین روش شست‌وشوی مکانیکی است که به بیش‌ترین تعداد کارکنان نیاز دارد (Fierro و Nyer، ۲۰۰۷). هم‌اکنون ماشین‌های رودینگ برقی کوچک در بازار موجود است. این ماشین‌ها بسیار ارزان هستند و مؤثرترین روش شست‌وشو برای دستگاه‌های کوچک‌تر و نیز نقاط دور از دسترس می‌باشند (Najafi و Gokhale، ۲۰۰۵).

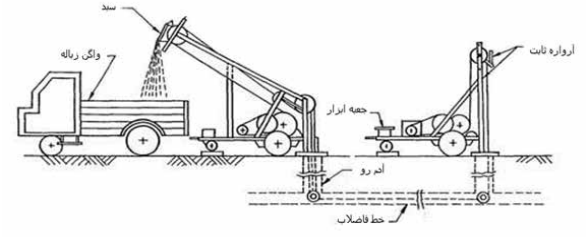
رودرهای برقی می‌توانند اغلب موانع موجود در خطوط فاضلاب را برطرف نمایند. این رودرها برای قطع کردن ریشه‌ها، پاک کردن چربی و نیز رفع انسداد، روش مؤثری هستند. این دستگاه هنگام مواجهه با شن، ماسه یا دیگر پسماندهای جامد بازده بالایی ندارد؛ چون قادر به حرکت دادن این مواد نیست. این تجهیزات برای بریدن یا خراشیدن مواد از جداره‌ی لوله طراحی شده‌اند و روی ریشه‌ها و چربی‌های سفت‌شده بیش‌ترین تأثیر را دارند (Poltak، ۲۰۰۳). شکل (۱) طرح‌واره این روش را نشان می‌دهد.

شکل ۱- طرح‌واره روش رودینگ برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب

۵- ماشین باکت[۴] (سطل‌کش)

ماشین باکت (سطل‌کش) برقی نوع دیگری از تجهیزات شست‌وشوی مکانیکی است. از این وسیله برای حذف شن و ماسه، ریشه و چربی یا رسوب‌های موجود در خطوط اصلی فاضلاب استفاده می‌شود. این دستگاه به یک سری جرثقیل ویژه مجهز است که یک سطل مخصوص را درون لوله می‌کشند و پسماندها را جمع می‌کنند (شکل ۲). مواد جمع‌آوری‌شده به‌صورت فیزیکی از لوله خارج می‌شوند (Ashley و همکاران، ۲۰۰۵).

عملکرد این ماشین‌ها بسیار سریع است. همچنین به دلیل اینکه انسان کم‌ترین دخالت را در حین کار این ماشین‌ها دارد، احتمال وقوع خطای انسانی تا حد بسیار زیادی کاهش می‌یابد. این ماشین‌ها نسبت به دیگر روش‌ها به افراد بیش‌تری برای کار نیاز دارند و معمولاً از آن‌ها برای مقاصد شست‌وشوی خاص به‌ویژه حذف مقادیر زیاد پسماند از لوله‌های بزرگ استفاده می‌شود (Poltak، ۲۰۰۳).



شکل ۲- طرح‌واره ماشین باکت (سطل‌کش) برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب

برخی از موارد استفاده و نیز محدودیت‌های دو روش شست‌وشوی مکانیکی رودینگ و ماشین باگت در جدول (۱) ارائه شده است. از آنجایی که سایر روش‌های مکانیکی به‌ندرت در موارد عملی بکار می‌روند، در جدول (۱) به آن‌ها اشاره نشده است.

جدول ۱- موارد استفاده و کاربرد، نحوه عمل و محدودیت‌های مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی مکانیکی خطوط فاضلاب
(کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف؛ Environmental Protection Agency، ۱۹۹۹)

فناوری	نحوه عمل، استفاده‌ها و کاربردها	محدودیت‌ها
رودینگ (فنرزنی)	۱- از یک موتور و یک واحد متحرک با میله‌های پیوسته یا مقطعی استفاده می‌کند. ۲- با حرکت تیغه‌ها، رسوب‌های چربی شکسته شده، ریشه‌ها قطع‌شده و دیگر پسماندها سست می‌شوند. ۳- تیغه‌ها همچنین به کشیدن کابل‌های مورداستفاده در بازرسی تلویزیونی[۵] و نیز ماشین‌های باکت کمک می‌کنند. ۴- در لوله‌های با قطر کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر بیش‌ترین تأثیر را دارد.	اصلاح و تعمیر رودهای پیوسته در صورت شکستن سخت است و برای استفاده در لوله‌های با قطر بزرگ‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر مناسب نیستند. چون رودر (فنر) تمایل به پیچیدن و خم شدن دارد، این وسیله گل و شن را به‌صورت مؤثری حذف نمی‌کند، اما ممکن است فقط این مواد را سست کند تا در زمانی دیگر با آب شسته شوند.
ماشین باکت (سطل‌کش)	۱- یک انتهای آن بسته و در انتهای دیگر دو فک در مقابل هم لولا شده‌اند. ۲- فک‌ها باز می‌شوند و پسماندها را وارد سطل می‌کنند. ۳- فقط بخشی از مقادیر زیاد گل، شن و دیگر پسماندهای جامد را جمع می‌کند.	این دستگاه در صورت عدم توجه می‌تواند به خطوط فاضلاب آسیب برساند. هنگامی‌که لوله کاملاً بسته شده باشد، نمی‌توان از ماشین باکت استفاده کرد، چون برای استفاده از این ماشین باید کابل آن را از یک آدم‌رو به آدم‌رو بعدی وصل نمود. نصب و راه‌اندازی این دستگاه زمان‌بر است.

• روش‌های شیمیایی:

روش شیمیایی همان‌طور که از نام آن مشخص است به معنای استفاده از مواد شیمیایی مانند اسیدها، بازها، مواد فعال سطحی و مواد زیستی به‌منظور حذف عوامل ایجادکننده انسداد در خطوط جمع‌آوری فاضلاب است (Newton و Townsend، ۲۰۱۵).

۱- شوینده‌های قلیایی (بازی)

شوینده‌های قلیایی عمدتاً حاوی هیدروکسید سدیم (NaOH) و برخی هم حاوی هیدروکسید پتاسیم (KOH) هستند. این مواد ممکن است به شکل جامد و یا مایع باشند. شوینده‌های مایع حاوی هیپوکلریت سدیم و هیدروکسید سدیم (یا هیدروکسید پتاسیم) با غلظت حدود ۵۰ درصد هستند. برخی دیگر از این شوینده‌ها به‌صورت دو بخشی هستند که بعد از ریخته شدن در مجرای فاضلاب با هم ترکیب می‌شوند. واکنش این دو جزء باعث ایجاد گاز می‌شود و مواد فعال سطحی[۶] موجود در ترکیب، این گاز را به فوم تبدیل می‌کنند. این فوم درون لوله را پوشانده، و بخش عمده مواد مسدودکننده را خارج می‌کند. برخی شوینده‌های جامد حاوی ذرات آلومینیوم هستند که در آب با هیدروکسید جامد واکنش می‌دهند و با ایجاد گرما، مخلوط قلیایی را تا نقطه‌ی جوش می‌رسانند. شوینده‌های قلیایی می‌توانند از طریق واکنش هیدرولیز قلیایی (واکنش ۱)، استر چربی را در خود حل کنند (Nitsch و همکاران، ۲۰۰۳). فرمولاسیون دو شوینده‌ی قلیایی پودری و مایع در جدول (۲) و فرمولاسیون دو نوع شوینده بازی گرانولی در جدول (۳) آمده است.

$$RCO_2R' + OH^- \longrightarrow R'OH + RCOO- \quad (1)$$

جدول ۲- فرمولاسیون یک شوینده‌ی قلیایی پودری و مایع (Nitsch و همکاران، ۲۰۰۳)

ترکیب	شوینده‌ی پودری (درصد وزنی)	شوینده‌ی مایع (درصد وزنی)
هیدروکسید سدیم	۲۵-۱۰۰	۵-۲۵
نیترات سدیم	۰-۴۰	-
کلرید سدیم	۰-۳۰	-
آلومینیوم	۰-۵	-
فعال‌کننده‌ی سطحی	-	۰-۵
محلول کلرین	-	۰-۶۰

جدول ۳- ترکیب درصد دو نوع شوینده‌ی بازی گرانولی (Dawson و همکاران، ۲۰۰۰)

نوع شوینده	ماده	درصد وزنی
ترکیب الف	پودر هیدروکسیدسدیم	۳۹/۵۵
	کربناتسدیم	۱۳/۰۷
	اسیدسیتریک	۱۳/۰۷
	پلی اتیلن گلایکول ۸۰۰۰	۳/۳۵
	سوربیتول	۳/۳۵
	بنزوات سدیم	۱/۳
	دی کلرو ایزوسیانورات	۲۶/۳۱
ترکیب ب	پودر هیدروکسید سدیم	۳۵/۲
	پودر هیدروکسید لیتیم	۷
	کربنات سدیم	۱۴
	اسیدسیتریک	۱۴
	بنزوات‌سدیم	۱/۴
	دی کلرو ایزوسیانورات	۲۸

۲- شوینده‌های اسیدی

شوینده‌های اسیدی معمولاً حاوی اسید سولفوریک غلیظ (H_2SO_4) هستند. این شوینده‌ها می‌توانند چربی‌ها را از طریق هیدرولیز اسیدی (واکنش ۲) در خود حل کنند.

$$RCO_2R' + H_2O + acid \leftrightarrow RCO_2H + R'OH \quad (2)$$

به دلیل واکنش شدید بین آب و اسید، این‌گونه شوینده‌ها بایستی به‌آرامی به آب اضافه شوند. باید دقت کرد که این دسته از شوینده‌ها در حضور اکثر فلزات در واکنش با آب، بخارات هیدروژنی قابل اشتعال ایجاد می‌کنند. همچنین این مواد در صورت تماس با بدن سوختگی ایجاد می‌کنند. به دلیل خورندگی شدید شوینده‌های اسیدی، استفاده از آن‌ها چندان مناسب به نظر نمی‌رسد (Van Vlahakis و Manols، ۱۹۹۵). فرمولاسیون یک نوع شوینده‌ی اسیدی را می‌توان در جدول (۴) دید.

جدول ۴- فرمولاسیون یک شوینده‌ی اسیدی (Van Vlahakis و Manols، ۱۹۹۵)

شماره	ترکیب	مقدار (درصد وزنی)
۱	اسیدسولفوریک	۹۱/۴
۲	آب	۸
۳	ایگپال کو-۶۳۰[۷]	۰/۵
۴	رودین ۲۱۲[۸]	۰/۱

۳- شوینده‌های حاوی مواد فعال سطحی

مواد فعال سطحی باعث انحلال چربی‌ها در آب می‌شوند و یک فاز همگن تشکیل می‌دهند. این روش هرچند مناسب به نظر می‌رسد، اما با از بین رفتن ماده‌ی فعال سطحی مجدداً این مشکل ایجاد می‌گردد. البته می‌توان با افزودن ماده‌ی فعال سطحی مسیر لوله‌ها را باز کرده و در مکان دیگر با افزودن ماده‌ای ماده‌ی فعال سطحیِ تعلیق‌شکن، چربی‌ها را از حالت محلول خارج نموده و آن‌ها را

جمع‌آوری کرد (John و William، ۱۹۷۱). برخی از مواد فعال سطحی مورد استفاده در این دسته از شوینده‌ها در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵- مشخصات برخی از شوینده‌های حاوی مواد فعال سطحی (John و William، ۱۹۷۱)

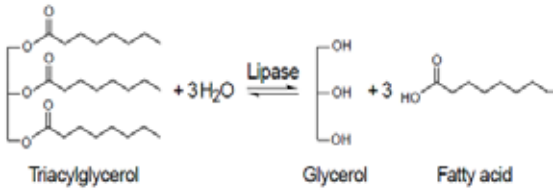
شماره	نام ماده‌ی فعال سطحی	مقدار تقریبی HLB[9]	درصد وزنی ماده فعال سطحی	درصد وزنی حلال
۱	ایگپال کو ۵۳۰	۱۰	۲/۵	۹۷/۵
۲	ایگپال کو ۶۳۰	۱۲	۲/۵	۹۷/۵
۳	ایگپال کو ۷۱۰	۱۴	۵	۹۵
۴	ایگپال کو ۸۵۰	۱۴-۱۵	۱-۲	۹۸-۹۹
۵	ایگپال کو ۹۷۰	۱۶-۱۸	۲-۵	۹۵-۹۸

برخی از حلّال‌های رایج مورد استفاده در این‌گونه شوینده‌ها عبارت‌اند از: تتراکلریدکربن، ۱و۲-دی کلرو اتان، ۱و۱و۱-تری کلرو اتان، تری کلرو اتیلن، تترا کلرو اتیلن، اورتو دی کلرو بنزن، ۱و۲-دی کلرو پروپان، ۱و۱و۲-تری کلرو اتان، پنتا کلرو اتان، ۱و۱و۲و۲-تترا کلرو اتان و هگزا کلرو اتان (John و William، ۱۹۷۱).

۴- مواد زیستی

شوینده‌های زیستی به دو دسته تقسیم می‌شوند. یکی شوینده‌های حاوی آنزیم و دیگری شوینده‌های حاوی میکروارگانیسم‌ها.

آنزیم‌ها موجودات زنده نبوده و در واقع پروتئین‌هایی هستند که به‌عنوان کاتالیست (کنشیار) عمل می‌کنند. آنزیم‌ها مسئول افزایش سرعت واکنش هستند. به‌طورمعمول، هر آنزیم تنها کاتالیزور یک واکنش است و تنها روی یک سوبسترا (بستر) عمل می‌کند. در نتیجه آنزیم‌ها بسیار ویژه‌اند و قادرند بین مواد با تفاوت بسیار جزئی هم تمایز قائل شوند. به‌علاوه آنزیم‌ها قادرند در محدوده‌ی کوچکی از دما، قدرت یونی و pH عملکرد بهینه داشته باشند. همچنین آنزیم‌ها در این واکنش مصرف می‌شوند و واکنش‌های آنزیمی ممکن است برگشت‌پذیر باشند. شکل (۳) واکنش بین آب و یک تری‌گلیسرید در حضور آنزیم لیپاز را نشان می‌دهد.



شکل ۳- واکنش بین آب و یک تری‌گلیسرید در حضور آنزیم لیپاز (Jaeger و Reetz، ۱۹۹۸)

پس از انجام واکنش، الکل و اسید چرب تولید می‌شود. اسید چرب ممکن است با کلسیم واکنش داده و صابون کلسیمی اسید چرب ایجاد کند (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵ب). استفاده از آنزیم به‌عنوان شوینده، رفع انسداد می‌کند، اما در واقع روغن و چربی انحلالی به پایین‌دست منتقل می‌شود. ترکیبات موجود در یک نمونه از شوینده‌های آنزیمی در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶- ترکیبات موجود در یک شوینده‌ی آنزیمی نوعی (Paul، ۱۹۷۰)

شماره	ترکیب	درصد وزنی
۱	مخلوط آمیلاز و پروتئاز باکتریایی	۸
۲	مخلوط باکتری غیر پاتوژن هوازی و بی هوازی	۸
۳	لیپاز پانکراس[10]	۸
۴	اتوکسیلیتد اولامید[11]	۲
۵	پلی اوکسی اتیلیتد آلکیل فنول[12]	۲
۶	پکتیناز	۱
۷	فیسین	۱
۸	سلولاز	۱
۹	سدیم کلرید	۸
۱۰	گلوکونو دلتا لاکتون	۱۹/۷
۱۱	سدیم بی کربنات	۴۱/۳

آمیلازِ باکتریایی به هیدروکربن‌ها حمله و آن‌ها را به شکرها و دکسترین‌های محلول تبدیل می‌کند. پروتئاز باکتریایی و فیسین به پروتئین‌ها حمله می‌کنند و آن‌ها را به پلی‌پپتیدها و آمینو اسیدهای باقابلیت حلالیت بیش‌تر تبدیل می‌نمایند. لیپاز به چربی‌ها و پکتیناز به پکتین‌ها حمله می‌کنند. باکتری‌های غیرپاتوژنی هوازی و بی‌هوازی از رسوب‌های درون فاضلاب تغذیه می‌نمایند و آنزیم‌های بیش‌تری تولید می‌کنند و این آنزیم‌ها به‌نوبه خود به رسوب‌ها حمله می‌نمایند (Paul، ۱۹۷۰). ترکیبات موجود در یک شوینده‌ی آنزیمی دیگر در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷- ترکیبات موجود در یک شوینده‌ی آنزیمی نوعی (Kamiya، ۱۹۹۵)

شماره	ترکیب	درصد وزنی
۱	لیپاز[13]	۵
۲	سدیم هیدروژن کربنات[14]	۷۰
۳	ان آکریلیک آمینو اسید[15]	۲۰
۴	پروستسیس[16]	۲/۵
۵	آمیلاز[17]	۲/۵

شوینده‌های حاوی میکروارگانیسم عملکرد بهتری دارند. میکروارگانیسم‌های موجود در شوینده، از روغن و چربی به‌عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند. این میکروارگانیسم‌ها ابتدا با تولید برخی آنزیم‌ها، مولکول‌های بزرگ روغن و چربی را می‌شکنند و سپس آن را مصرف می‌کنند. بدین ترتیب مشکل شوینده‌های آنزیمی یعنی انتقال روغن و چربی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر وجود ندارد. این کار باعث کاهش بار آلودگی ورودی به تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب هم می‌شود. همچنین میکروارگانیسم‌های استفاده‌شده در خطوط فاضلاب باقی می‌مانند و به مصرف مواد چرب و سایر هیدروکربن‌ها ادامه می‌دهند. اما یکی از مشکلات این‌گونه شوینده‌ها، مدت‌زمان زیاد لازم برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب است که استفاده عملی از آن را به‌ویژه در مواقع اضطراری مشکل می‌کند. در جدول (۸) فهرستی از میکروارگانیسم‌های موجود در یک شوینده‌ی تجاری آمده است. در جدول (۹) می‌توان خلاصه کاربردها و محدودیت‌های شست‌وشوی شیمیایی خطوط فاضلاب را مشاهده کرد.

جدول ۸- ترکیب میکروبی یک شوینده‌ی تجاری (Martínez و همکاران، ۲۰۱۲)

گونه	تعداد سویه‌ها	گونه	تعداد سویه‌ها
باسیلوس سوبتیلیس	۱۳	باسیلوس اس پی	۵
باسیلوس مگانریوم	۴	ساکارومایسیس سرویستا	۲
باسیلوس تورینجینسیس	۶	سودوموناس فلوئورسنس	۵
باسیلوس استئاروترموفیلوس	۳	سودوموناس استوتزری	۳
باسیلوس لیچنیفورمیس	۵	سلولوموناس یودا	۱
باسیلوس پولیمیکسا	۴	میکروکوکوس اس پی	۱
باسیلوس پومیلوس	۲	تیوباسیلوس ناولوس	۱
لاکتوباسیلوس اسپروجنس	۲		

جدول ۹- موارد استفاده و محدودیت‌های مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی مکانیکی خطوط فاضلاب (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف؛ Environmental Protection Agency، ۱۹۹۹)

استفاده‌ها و کاربردها	محدودیت‌ها
۱- برای کنترل ریشه، چربی، بو، خوردگی بتن، جوندگان و حشرات مؤثر است. ۲- اثرات بلندمدت‌تری نسبت به رودر برقی دارد (تقریباً ۲ تا ۵ سال). ۳- برخی مواد از جمله بیواسیدها، هاضم‌ها، آنزیم‌ها، کاتالیست‌ها، مخلوط باکتری، محلول‌های بازی، هیدروکسیدها و غیره برای رفع مشکل چربی بکار می‌روند.	۱- هزینه زیاد ۲- زمان عملیات زیاد ۳- خطرات جانبی

• شست‌وشوی هیدرولیک:

مهم‌ترین روش مورد استفاده در شست‌وشوی هیدرولیک خطوط فاضلاب، شست‌وشوی پرفشار با استفاده از واترجت است. علاوه بر این روش، روش‌های دیگری مانند فلاشینگ (جاری‌سازی) (Shahsavari و همکاران، ۲۰۱۵)، اسکوتر و کایت (American water college، ۲۰۱۵) نیز وجود دارند که کم‌تر بکار می‌روند.

۱- شستشوی پرفشار با استفاده از واترجت

ماشین‌های شست‌وشوی پرفشار (واترجت‌ها)، ماشین‌های بسیار کارآمدی هستند که با حداقل یک نفر، بیش‌ترین انعطاف‌پذیری را دارند. در این روش یک جریان پرفشار آب به سطح مورد نظر پاشیده می‌شود (شکل ۴).

شکل ۴- طرح‌واره روش شست‌وشوی پرسرعت برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب

واترجت‌ها هم روی کامیون و هم‌روی تریلر نصب می‌شوند. در هر دو صورت، این ماشین‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که همه‌ی تجهیزات لازم را در خود داشته باشند. همه‌ی تجهیزات لازم برای کنترل ترافیک، برداشتن درپوش آدم‌روها و لوازم ایمنی کار در محل از قبیل انواع نازل و شلنگ مورد نیاز، برای عملکرد مناسب روی کامیون یا تریلی قرار می‌گیرند (Medan و Ravai Nagy، ۲۰۱۵).

برای حذف شن، ماسه و آوار از فاضلاب با استفاده از شست‌وشوی پرفشار معمولی، اغلب به دو نفر نیاز است. یکی از تغییرات انجام‌شده روی ماشین‌های شست‌وشوی پرفشار، افزودن یک واحد خلأ برای حذف مواد از آدم‌رو است. وقتی شن، ماسه، گل و دیگر پسماندها به آدم‌رو برده شدند به‌جای جمع‌آوری دستی می‌توان به‌راحتی با استفاده از این واحد خلأ، آن‌ها را جمع‌آوری کرد. دیگر مزیت ماشین‌های شست‌وشوی پرفشار وجود تیغه قطع‌کننده ریشه (ریشه‌بر) است. این ریشه‌بر اساساً یک تیغه‌ی مسطح است که به انتهای نازل متصل می‌شود. فشار وارد شده از طرف جریان پرفشار آب، این تیغه را می‌چرخاند و تیغه ریشه‌ی درختان را در مسیر حرکت درون خطوط فاضلاب قطع می‌کند. با افزودن تیغه ریشه‌بر، به ماشین‌های شست‌وشوی پرفشار، این ماشین‌ها قادر به حذف هرگونه پسماند از خطوط فاضلاب خواهند بود. ماشین‌های شست‌وشوی پرفشار (واترجت‌ها) رایج‌ترین وسیله برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب هستند. البته فشاری که جت سیال (سیال پرفشار) به

بدنه لوله‌های فاضلاب وارد می‌کند ممکن است باعث آسیب دیدن لوله‌ها شود. بنابراین برای فشار جت سیال یک مقدار بیشینه تعریف شده است. حداکثر فشار استاندارد پمپ جت آب با حداکثر زمان نگهداشت ۶۰ ثانیه روی یک نقطه از جداره لوله، وابسته به جنس بدنه لوله در جدول (۱۰) آمده است.

جدول ۱۰- حداکثر فشار قابل‌استفاده در روش شست‌وشوی پرفشار

جنس لوله	حداکثر فشار پمپ واترجت bar (psi)
سیمان آزبست	۳۴۰ (۵۰۰۰)
آجر/سنگ	۱۰۰ (۱۵۰۰)
سفال	۳۴۰ (۵۰۰۰)
بتن	۳۴۰ (۵۰۰۰)
فیبر زمین	۱۰۰ (۱۵۰۰)
پلاستیک (PE، PP و PVC)	۱۸۰ (۲۶۰۰)

به کمك روش شستشوی پرفشار می‌توان با استفاده از کم‌ترین نیروی انسانی ممکن (معمولاً ۲ یا ۳ نفر)، فعالیت مؤثری داشت. گرم کردن آب شست‌وشو امکان فعالیت در دماهای پایین تا حدود منهای ۱۵ درجه سانتی‌گراد را فراهم می‌سازد.

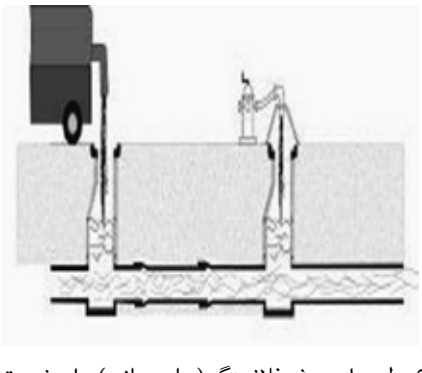
از لحاظ اقتصادی استفاده از روش شست‌وشوی پرفشار برای لوله‌های فاضلاب تا قطر ۲۵۰۰ میلی‌متر توصیه می‌گردد. برای جلوگیری از گرفتگی لوله‌ها در بخش جلویی واترجت از افشانك‌های اضافی استفاده می‌شود. در لوله‌های قابل‌دسترسی از تجهیزات دستی شست‌وشوی تحت‌فشار نیز استفاده می‌گردد (محسنی مفیدی، ۱۳۸۵).

۲- سایر روش‌های هیدرولیک

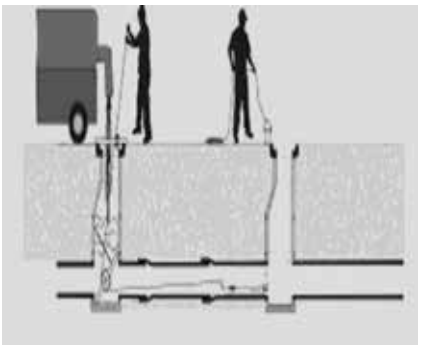
وسایل یا ابزار دیگری از قبیل توپی‌ها[۱۸]، کایت‌ها[۱۹]، بگ‌ها[۲۰]، پاراشوت‌ها[۲۱]، اسکوترها[۲۲] و غیره هم وجود دارند که می‌توان از آن‌ها برای بهبود عملکرد ماشین‌های شست‌وشوی هیدرولیک به‌ویژه در سیستم‌های فاضلاب ثقلی استفاده کرد؛ چرا که در این سیستم‌ها نازل‌های پرفشار کارایی کافی را ندارند. در این روش‌های شست‌وشو از فشار آب پشت ابزار نامبرده برای تمیزکردن لوله حین حرکتِ ابزار استفاده می‌کنند (Poltak، ۲۰۰۳).

طرح‌واره روش‌های بالا در شکل‌های (۵) تا (۸) آورده شده است. همچنین کاربردها و محدودیت‌های مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی هیدرولیکی در جدول (۱۱) آورده شده است.

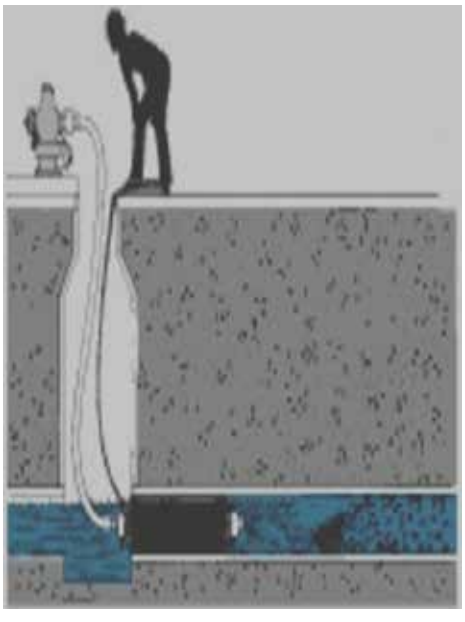
شکل ۵- طرح‌واره روش توپی برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب



شکل ۶- طرح‌واره روش فلاشینگ (جاری‌سازی) برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب



شکل ۷- طرح‌واره روش اسکوتر برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب



شکل ۸- طرح‌واره روش کایت برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب

جدول ۱۱- موارد استفاده و محدودیت‌های مهم‌ترین روش‌های شست‌وشوی هیدرولیکی خطوط فاضلاب
(کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف؛ Environmental Protection Agency، ۱۹۹۹)

فناوری	نحوه عمل، استفاده‌ها و کاربردها	محدودیت‌ها
توپی	۱- یک توپی تمیزکننده‌ی لاستیکی که کابلی به آن متصل است با افزایش جریان درون لوله می‌چرخد و سطح داخلی لوله را تمیز می‌کند. ۲- مواد غیرآلی رسوب‌کرده و چربی‌های جمع‌شده را حذف می‌کند. ۳- در لوله‌های با قطر کمتر از ۶۰۰ میلی‌متر بیش‌ترین کارایی را دارد.	به‌طورکلی این روش‌ها تنها زمانی مؤثرند که بدون ایجاد پس‌زدگی بتوان فشار آب مورد نیاز را تأمین کرد. محدودیت اصلی استفاده از جت این است که در هنگام استفاده در مناطق با شیب زیاد و دارای تجهیزات زیرزمینی، بایستی با احتیاط عمل کرد. از توپی‌ها نمی‌توان به‌صورت مؤثر در لوله‌های با اتصالات معیوب یا اتصالات برآمده استفاده کرد. هنگام شست‌وشوی لوله‌های بزرگ‌تر باید آدم‌روها به‌صورت بزرگ‌تری ساخته شوند تا بتوان از اسکوتر استفاده نمود. در غیر این صورت باید اسکوتر را درون آدم‌رو سوار کرد.
فلاشینگ (جاری‌سازی)	۱- مقدار زیادی آب را از راه آدم‌رو وارد خط فاضلاب می‌کند. ۲- مواد معلق و مقداری شن و ماسه را جمع‌آوری می‌کند. ۳- هنگامی‌که در کنار دیگر روش‌های مکانیکی مانند فنرزنی یا ماشین باکت (سطل‌کش) استفاده شود، بیش‌ترین بازده را دارد.	این روش برای حذف جامدات سنگین چندان مؤثر نیست. فلاشینگ این مشکل را حل نمی‌کند، چون تنها به‌صورت موقتی پسماند را از یک بخش سیستم به بخش دیگر منتقل می‌کند.
جت پرفشار	۱- جریان آب با سرعت زیاد را به سمت دیواره‌ی لوله هدف می‌گیرد. ۲- شن و ماسه و چربی‌های جمع‌شده را حذف می‌کند، انسدادها را رفع کرده و ریشه‌ی درختان را در لوله‌های با قطر کم قطع می‌نماید. ۳- در شست‌وشوی متناوب لوله‌های کم قطر و خطوط فاضلاب با جریان کم کارآمد است.	- در لوله‌های با پوسیدگی یا عیوب ساختاری، نمی‌توان استفاده کرد. چرا که موجب تخریب بیش‌تر می‌شود. - نازل‌های مختلف و مخصوص برای هر نوع جنس یا شرایط لوله باید در دسترس باشد. - قدرت دبی و فشار باید توسط اپراتور با تجربه تنظیم و استفاده شود.
اسکوتر	۱- یک سپر فلزی گرد با لبه‌های لاستیکی که روی قاب فولادی و چند چرخ کوچک قرار گرفته است و آب مورد نیاز را در پشت خود جمع می‌کند. ۲- دیواره‌های داخلی خطوط فاضلاب را تمیز می‌کند. ۳- در حذف پسماند سنگین و تمیزکردن چربی کارآمد است.	همانند توپی
کایت، بگ و پلی‌پیگ	۱- عملکرد آن مشابه توپی است. ۲- فک‌های ثابت روی بگ و کایت باعث تمیزکاری می‌شوند. ۳- در حرکت‌دادن رسوب‌ها و چربی به پایین‌دست جریان مؤثر است.	هنگام استفاده در مناطق با شیب زیاد و دارای تجهیزات زیرزمینی، بایستی با احتیاط عمل کرد.

مقایسه روش‌های مختلف شست‌وشو

از آنجا که کارآیی هر کدام از روش‌های شست‌وشو برای برطرف‌نمودن یک مشکل به‌خصوص بیش‌تر است و نمی‌توان در مواجه با یک مشکل مشخص، از همه روش‌ها استفاده نمود. به همین دلیل مقایسه همه روش‌ها با یکدیگر شاید مبنای صحیح علمی از لحاظ پارامترهای دیگر نداشته باشد. اما به هر حال آمار و اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این خصوص ما را به نتیجه‌گیری کلی در این زمینه به شرح زیر سوق می‌دهد.

۱- کارایی روش‌های مختلف برای مقاصد مختلف متفاوت است. بنابراین ضروری است قبل از انجام عملیات شست‌وشو از کارایی روش مورد استفاده اطمینان حاصل کرد (Mäkinen، ۲۰۱۵).

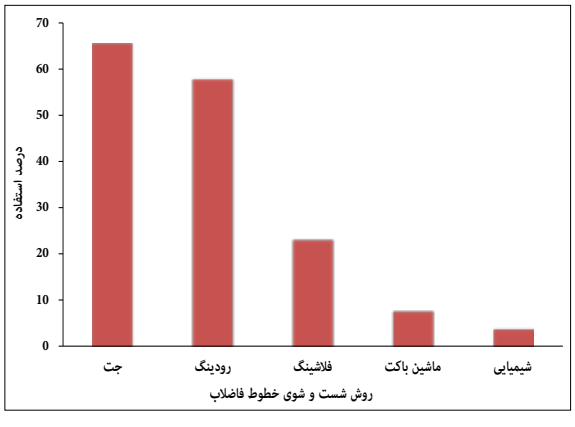
۲- روش‌های شست‌وشوی مکانیکی و هیدرولیکی کم‌هزینه‌تر از روش شست‌وشوی شیمیایی هستند. همچنین خطرات این روش‌ها کم‌تر است (Siringi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Abidin و همکاران، ۲۰۱۵).

۳- تجربه نشان می‌دهد روش هیدرولیک بیش‌ترین استفاده را در شست‌وشوی خطوط فاضلاب کشور آمریکا دارد و این روش در ۹۴ درصد از شهرهای بررسی‌شده مورد استفاده قرار گرفته بود (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵ب).

۴- پس از روش هیدرولیک، روش شست‌وشوی مکانیکی با ۵۰ درصد کارآیی در مرتبه دوم در کشور آمریکا قرار داشت.

شکل ۹- میزان استفاده از روش‌های مختلف شست و شوی خطوط فاضلاب در کشور آمریکا به تفکیک روش‌های کلی (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف)

همچنین در شکل (۱۰) میزان استفاده از روش‌های شست‌وشوی مختلف به تفکیک هر روش آورده شده است. همانگونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، روش جت پرفشار در بین روش‌های هیدرولیک و روش رودینگ در بین روش‌های مکانیکی بیش‌ترین استفاده را دارند. همچنین روش جت پرفشار بیش‌ترین استفاده را در بین همه روش‌های شست‌وشو داشته است. از آنجایی که در برخی مناطق از ترکیب دو یا چند روش برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب استفاده شده بود، مجموع درصدهای موجود در دو شکل (۹) و (۱۰) بیش از ۱۰۰ درصد می‌شود. همچنین با توجه به عدم دسترسی به نوع دقیق روش شست‌وشو در برخی مناطق، به‌منظور محاسبه داده‌های شکل (۱۰)، برخی از داده‌های شکل (۹) حذف گردید.



شکل ۱۰- میزان استفاده از روش‌های مختلف در شست‌وشوی خطوط فاضلاب در کشور آمریکا به تفکیک نوع روش (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف)

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده شست‌وشوی پرفشار به کمک ماشین‌های واترجت معمولی و نیز روش فرزنی بیش‌ترین استفاده را در ایران دارند. اما متأسفانه اطلاعات جزئی‌تر و آمار دقیق در مورد میزان استفاده از هر کدام از این روش‌ها در دست نیست. مقایسه‌ی مختصری از روش‌های مختلف شست‌وشو در جدول (۱۲) آورده شده است (Ellison، ۲۰۰۳).

جدول ۱۲- میزان تأثیر روش‌های شست‌وشوی مختلف (کمالی و همکاران، ۱۳۹۵الف؛ Najafi و Gokhale، ۲۰۰۵)

روش شست‌وشو	توقف اضطراری	چربی	ریشه	ذرات جامد	بو	نیروی کار لازم	حداقل آب مورداستفاده	طول تمیزشونده در روز	نوع لوله‌ی قابل تمیز شدن	رتبه از نظر هزینه*
هیدرولیکی	خیلی کم	بسیار زیاد	-	زیاد	متوسط	۱	۲ تا ۳ برابر حجم لوله	۳ تا ۵ کیلومتر	همه	۱
مکانیکی	زیاد	خیلی کم	کم	-	-	۲-۳	۲ تا ۳ برابر حجم لوله	۱ تا ۱/۵ کیلومتر	همه	۲
شیمیایی	-	کم	متوسط	-	متوسط	۲-۳	۲ تا ۳ برابر حجم لوله	۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	لوله‌ی چدنی یا فولادی	۳

*شماره‌ی ۱، کم‌ترین هزینه

جمع‌بندی

شست‌وشوی منظم و برنامه‌ریزی‌شده خطوط فاضلاب به‌منظور جلوگیری از کاهش ظرفیت، گرفتگی، پس‌زدگی و مشکلات ناشی از آن‌ها یک امر ضروری به‌حساب می‌آید. سه روش کلی برای شست‌وشوی خطوط فاضلاب وجود دارد که عبارت‌اند از: مکانیکی، شیمیایی و هیدرولیکی. در روش مکانیکی با استفاده از ابزار و نیروی مکانیکی، رسوب‌های موجود در خطوط جداشده و جمع‌آوری می‌گردند. در روش شیمیایی فرآیند جدا کردن با استفاده از مواد شیمیایی مانند اسیدها و بازها انجام می‌گیرد. این قبیل مواد می‌توانند رسوب‌ها را در خود حل کنند و فرآیند جمع‌آوری و یا تصفیه در پایین‌دست جریان انجام می‌شود. در روش هیدرولیکی فرایند جدا کردن رسوب‌ها با استفاده از نیروی جت سیال (سیال پرفشار) صورت می‌گیرد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، روش شست‌وشوی هیدرولیکی بهترین روش شست‌وشو در بین روش‌های موجود است. این روش کم‌هزینه و سریع است و به کم‌ترین نیروی کار ممکن نیاز دارد. هرچند باید به این نکته توجه کرد که انتخاب روش شست‌وشوی مناسب تابع شرایط شبکه است که دقت در این امر می‌تواند کمک به‌سزایی در انتخاب بهینه‌ترین روش شست‌وشو کند؛ چون هر روش قابلیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارد و الزاماً یک روش مشخص در همه شرایط بهترین نتیجه ممکن را نخواهد داشت.

پیشنهادات کاربردی

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده شست‌وشوی پرفشار به کمک ماشین‌های واترجت معمولی و نیز روش فرزنی بیش‌ترین استفاده را در ایران دارند. اما متأسفانه اطلاعات جزئی‌تر و آمار دقیق در مورد میزان استفاده از هر کدام از این روش‌ها در دست نیست. داشتن اطلاعات دقیق و به‌روز درزمینهٔ خطوط جمع‌آوری فاضلاب، جدیدترین و مناسب‌ترین روش‌های شست‌وشو و نگه‌داری آن‌ها و همچنین شرایط کنونی این خطوط می‌تواند وضعیت شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب را بهبود و هزینه نگهداری آن‌ها را کاهش دهد. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود در صورت عدم وجود اطلاعات اشاره شده در کشور، نسبت به تهیه آن‌ها اقدام نمود. با استفاده از این اطلاعات می‌توان بهترین روش‌ها و راهکارها را برای شست‌وشو و نگه‌داری خطوط جمع‌آوری فاضلاب یافت. در همین راستا با تهیه یک بانک اطلاعاتی ضمن نگه‌داری اطلاعات به‌دست آمده، امکان به اشتراک‌گذاری سریع و آسان آن‌ها و نیز تجربیات حاصل‌شده به‌وسیله افراد و نهادهای مختلف در زمینه حل مشکلات مربوط به شست‌وشو و نگه‌داری خطوط جمع‌آوری فاضلاب فراهم می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری در زمینه خرید یا ساخت جدیدترین تجهیزات شست‌وشوی خطوط فاضلاب افزایش یابد، چون این تجهیزات گران‌قیمت بوده و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارند. اما به دلیل سهولت کار با آن‌ها، سرعت بالای آن‌ها در شست‌وشوی خطوط، استفاده از نیروی کار کم‌تر و نیز آسیب کم‌تر به خطوط فاضلاب، این سرمایه‌گذاری منطقی و به‌صرفه به نظر می‌رسد. علاوه بر مطالب بیان‌شده، ایجاد یک برنامه شستشوی مدون و مناسب برای همه شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب موجود در سطح کشور با توجه به مشخصات شبکه توصیه می‌گردد. زیرا بنا بر تجربیات جهانی موجود در این زمینه، این برنامه تأثیر بسزایی در حل مشکلات ناشی از عدم شست‌وشوی مناسب و به‌موقع خطوط فاضلاب خواهد داشت.

تقدیر و تشکر

ازآنجاکه این مقاله حاصل اطلاعات و تجربیات نویسندگان در سالیان متمادی است و در همین راستا طرح پژوهشی شماره ۹۳۲۴۲۲۷ فی‌مابین معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان و شرکت آب و فاضلاب مشهد توسط نویسنده مسئول مقاله و تیم تحقیقاتی دانشگاه اصفهان نیز انجام شده است، لذا نویسندگان برای حمایت مالی طرح مذکور از شرکت آب و فاضلاب مشهد به‌ویژه جناب آقای مهندس جلیل جلیلیان مدیر محترم نظارت بر بهره‌برداری شبکه فاضلاب آبفا مشهد و ناظر پروژه و سرکار خانم مهندس ثمانه توکلی و آقای مهندس مسعود روح‌بخش در دفتر تحقیقات آن شرکت و همچنین از کارشناسان صاحب‌نظر شرکت‌های آب و فاضلاب مشهد و اصفهان و همچنین شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور نیز برای مشاوره و راهنمایی‌های مناسب، تشکر و قدردانی می‌کنند.

پی‌نوشت

1- Proactive
2- Reactive
3- Rodder
4- Bucket machine
5- CCTV inspection
6- Surfactants
7- Igepal CO-630
8- Rodine 213
9- Hydrophile-Lipophile Balance
10- Pancreatic lipase
11- Ethoxylated oleamide
12- Polyoxyethylated alkyl phenol
13- Lipase
14- Sodium hydrogen carbonate
15- N-acrylic amino acid
16- Prosthesis
17- Amylase
18- Balls
19- Kites
20- Bags
21- Parachutes
22- Scooters

منابع

شرکت پاکاب سازان. ۱۳۹۰. طراحی و ساخت ربات برش و شست‌وشوی لوله‌های فاضلاب.

کمالی، م.، پیروز، م.، جلیلیان، ج. و اسدالهی، م.ع. ۱۳۹۵ الف. مشخصه‌یابی فیزیکی و شیمیایی رسوب چربی و روغن موجود در خطوط فاضلاب شهر مشهد و راه‌های جلوگیری از آن. مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۷(۶): ۶۹-۷۷.

کمالی، م.، پیروز، م.، اسدالهی، م.ع.، توکلی، ث. و امین، م.م. ۱۳۹۵ب. بررسی نحوه‌ی انسداد خطوط فاضلاب شهری در اثر تجمع رسوب‌های روغن و چربی و روش‌های مقابله با آن. مجله تحقیقات نظام سلامت، ۱۲(۴): ۳۹۶-۴۰۵.

محسنی مفیدی، ح. ۱۳۸۵. روش‌های نوین بازسازی شبکه‌ی فاضلاب. پایان‌نامه‌ی کارشناسی، مجتمع صنعت آب و برق خراسان.

راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب. ۱۳۸۸. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. نشریه شماره ۵۲۰.

Abidin A.S.Z., Zaini M.H., Pauzi M.F.A.M., Sadini M.M., Chie S.C., Mohammadan S., Jamali A., Muslimen R., Ashari M.F., Jamaludin M.S. and Ming C.Y. 2015. Development of Cleaning Device for In-pipe Robot Application. Procedia Computer Science, 76: 506-511.

American Water College. 2015. Waste collection systems: System maintenance and repair. Retrieved from: http://americanwatercollege.org/Course_files/Collections/Handouts/System/System%20Maintenance%20and%20Repair.pdf.

Ashley R.M., Bertrand-Krajewski J.L., Hvitved-Jacobsen T. and Verbanck M. 2005. Solids in sewers: Characteristics, effects and control of sewer solids and associated pollutants. Water Intelligence Online, 4, 9781780402727.

Dawson H.G., Warnock R.P. and DeSenna R.A. 2000. Drain cleaner: Google Patents.

Ellison D. 2003. Investigation of pipe cleaning methods. American Water Works Association.

Environmental Protection Agency. 1999. Collection Sys-

Monson J. 2014. Sewer Maintenance the Greeley Way–How to make the 80: 20 rule work for you. Proceedings of the Water Environment Federation, 2014(1): 1-4.

Najafi M. and Gokhale S. 2005. Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction and Renewal. McGraw-Hill, New York, NY.

Newton B. and Townsend L. 2015. Sewer root control. Cooperative extension service. University of Kentucky. Retrieved from: http://pest.ca.uky.edu/PSEP/Manuals/16-manual.pdf.

Nitsch C., Heitland H.J., Marsen H. and Schlüssler H.J. 2003. Cleansing agents. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.

Paul G.D. 1970. U.S. Patent No. 3,506,582. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Poltak F.R. 2003. Optimizing Operation, Maintenance, and Rehabilitation of Sanitary Sewer Collection Systems. NEW ENGLAND INTERSTATE WATER POLLUTION CONTROL COMMISSION.

Shahsavari G., Arnaud-Fassetta G., Bertilotti R., Campisano A. and Riou F. 2015. Bed Evolution under One-Episode Flushing in a Truck Sewer in Paris, France. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 9(7): 814-823.

Siringi D.O., Home P.G. and Koehn E. 2014. Cleaning Methods for Pipeline Renewals.

Van Vlahakis E. and Manolas J.A. 1995. U.S. Patent No. 5,429,764. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

tems O&M Fact Sheet Sewer Cleaning and Inspection. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency.

Fierro P. and Nyer E.K. 2007. The Water Encyclopedia, Third Edition: Hydrologic Data and Internet Resources: CRC Press.

Jaeger K.E. and Reetz M.T. 1998. Microbial lipases form versatile tools for biotechnology. Trends in biotechnology, 16(9): 396-403.

John B.C. and William G.L. 1971. U.S. Patent No. 3,553,145. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kamiya A. 1995. U.S. Patent No. 5,407,595. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

León L.R., Altamirano C.E.Q., Toro M.L.L., and Orozco A.M. 2013. Proactive Sewer Planning in Colombia: Plan and Prioritization for Cleaning and CCTV Inspection of the Medellin Sewer System. Proceedings of the Water Environment Federation, 2013(15): 2852-2861.

Mäkinen A. 2015. Evaluation of Sewer System Overflows: Uusimaa Region.

Martínez E.J., Fierro J., Sánchez M.E. and Góme X. 2012. Anaerobic co-digestion of FOG and sewage sludge: Study of the process by Fourier transform infrared spectroscopy. International Biodeterioration & Biodegradation, 75: 1-6.

Medan N. and Ravai Nagy S. 2015. Determining the Equation of the Impact Forces Produced by Water Jets Used in Sewer Cleaning. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 809, pp. 1579-1584). Trans Tech Publications.