

Methods of controlling Hydrogen Sulfide production and emission in sewerage

E. Azimi Galibaf¹, S.khodashenas^{2*}, E. Ghorbani³, K. Saeb⁴

1- Ph.D. Student of Engineering Water, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad Water and Wastewater CO., Iran. 2- Profesor in Dept. of water engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3,4- MS c Student & Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Iran.

*(Corresponding Author Email: khodashenas@um.ac.ir)

Received: 9-9-2015

Accepted: 7-2-2016

روش‌های کنترل تولید و انتشار سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب

احسان عظیمی قالی‌باف^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، الهام قربانی^۳، کیوان صائب^۴

۱- دانشجوی دکتری رشته‌ی آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد. ۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: khodashenas@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۸

Abstract

Sulfide production has been one of the most important problems in sewage collection systems that came to be known as an important factor of corrosion in concrete sewerage systems since early 1900. The emission of hydrogen sulfide gas in sewerage conduits creates problems including biological corrosion of concrete, release of repulsive odors in the city environment, as well as the potential danger that the toxic sulfide gas poses for the workers. Several factors such as high sulfate density, the organic material, temperature, waste water retention period, pH, Oxidation reduction potential (ORP), flow rate and surface area can increase the probable emission of sulfide. Due to the adverse effects of this chemical material, in recent years broader studies have been conducted on the control of sulfide production in sewage collection networks, including the injection of air, nitrate, H_2O_2 , and iron salt. The purpose of these studies was to find suitable solutions for controlling the emission of hydrogen sulfide taking into account the construction conditions and economic profitability. This article is a review of all the research done on controlling the production of sulfate in sewage collection systems. It also reviews the advantages and disadvantages of the methods used in these studies which have examined the effectiveness of using formaldehyde, MgO_2/CaO_2 , MFCs, nitrates, microbe-eliminators. The results of this study show that using the aforementioned chemical and biological materials for controlling the challenges of hydrogen sulfide production in sewerage, besides being economical and effective, are able to protect sewerage from corrosion and we can also arrive at a healthy and odorless environment.

Keywords: sewerage, hydrogen sulfide gas, methods to control build up gas H_2S .

چکیده

تولید سولفید یکی از مهم‌ترین مشکلات بهره‌برداری شبکه‌های فاضلاب می‌باشد که از اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی به عنوان مهم‌ترین عامل ایجاد خوردگی در شبکه‌های فاضلاب بتنی شناخته شد. انتشار سولفید هیدروژن در مجاری فاضلاب منجر به مشکلات متعددی از جمله خوردگی بیولوژیکی بتن، آزاد شدن بوهای نامطبوع به اتمسفر شهری و سمیت گاز سولفید برای کارگران اشاره کرد. عوامل متعددی نظیر بالا بودن غلظت سولفات، مواد آلی، دما، زمان ماند فاضلاب، pH، ظرفیت اکسیداسیون احیا، سرعت جریان، مساحت سطح می‌توانند در میزان انتشار سولفید موثر باشند. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه کنترل تولید سولفید در شبکه‌های فاضلاب به دلیل اثرات مخرب این ماده شیمیایی صورت گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تزریق هوا، نیترات، H_2O_2 و نمک آهن اشاره کرد. هدف از پژوهش‌های انجام شده یافتن راه‌حل بهینه جهت کنترل انتشار سولفید هیدروژن با توجه به شرایط عملیاتی و بهره‌روزی اقتصادی بوده است. این مقاله مروری بر مطالعات صورت گرفته جهت کنترل تولید سولفید در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بوده و مزایا و معایب روش‌های استفاده شده در این مطالعات را بررسی می‌کند. براساس بررسی‌های انجام شده استفاده از فرمالدهید، MgO_2/CaO_2 ، MFC، نیترات و میکروبوخوارها برای کنترل سولفید موثر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش ضمن نشان‌دادن موثر و مقرون به صرفه بودن استفاده از این ترکیبات شیمیایی و بیولوژیکی برای برطرف نمودن و کنترل چالش‌های حاصل از تولید سولفید هیدروژن در شبکه‌های فاضلاب، نشان می‌دهد که این روش‌ها نخست موجب حفاظت از شبکه‌های فاضلاب در برابر خوردگی و سپس رسیدن به محیط زیستی سالم و عاری از بو و سمیت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شبکه جمع‌آوری فاضلاب، گاز سولفید هیدروژن، روش‌های کنترل تولید گاز H_2S .

و همکاران، ۲۰۰۵؛ Hobson و Yang، ۲۰۰۰؛ Bertran و همکاران، ۲۰۰۷). این آزمایشات تحت شرایط متفاوت و در موقعیت‌های مختلف صورت گرفته است که هدف از این پژوهش‌ها یافتن راه‌حل‌های بهینه جهت کنترل انتشار سولفید هیدروژن با توجه به شرایط عملیاتی و بهره‌وری اقتصادی بوده است. کاهش غلظت سولفید فاضلاب به محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر و رساندن غلظت اکسیژن محلول فاضلاب به میزان بیش از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر از جمله اهداف مورد نظر در اتخاذ روش مناسب کنترل کننده غلظت سولفید در فاضلاب به شمار می‌روند. در حال حاضر چندین تکنیک در پساب صنایع در سراسر جهان برای جلوگیری یا کنترل سولفید تولید شده در شبکه‌های فاضلاب استفاده می‌شود که اساس اغلب روش‌های پیش‌گیری و کنترل این است که از تولید H_2S جلوگیری بعمل آید و یا پس از تولید آن، قبل از ورود به فضای بالای لوله از بین برده شود (Bertran و همکاران، ۲۰۰۷). به طور مثال برای جلوگیری از تولید H_2S بایستی از رشد باکتری‌های تولیدکننده H_2S ممانعت به عمل آید یا از بی‌هوازی شدن فاضلاب جلوگیری شود. با توجه به اینکه سولفید هیدروژن خسارات فراوانی به شبکه‌های فاضلاب می‌رساند، این مقاله مروری بر مطالعات صورت گرفته جهت کنترل تولید سولفید در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب می‌باشد و همچنین مزایا و معایب روش‌های استفاده شده در این مطالعات را هم بررسی می‌کند.

لوله از یک تا دو هفته می‌گردد. معمولاً به دلیل تأثیر جریان‌های فرعی با pH خنثی و تولید اسیدهای آلی و گاز CO_2 حاصل از فعالیت‌های بیولوژیکی در فاضلاب، pH فاضلاب کاهش یافته که افزودن مستمر هیدروکسید سدیم به منظور جلوگیری از این امر، مقرون به صرفه نمی‌باشد. استفاده از این روش تشکیل H_2S را ۳ تا ۴ روز به تعویق می‌اندازد (EPA، ۱۹۷۴).

• میکروبوخوار

اولین میکروبوخوار در سال ۱۹۷۴ شناسایی شد و از آن زمان بالغ بر ۲۵۰ نوع ویروس شناسایی شده‌اند که می‌توان از آن‌ها برای از بین بردن باکتری‌هایی چون *Escherichia Coli* و *Enterobacter aerogenes* استفاده نمود. میکروبوخوارها می‌توانند باکتری‌های اضافی را تا ۹۹٪ در عرض ۲ روز کاهش دهد. سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا می‌توان میکروبوخواری را پیدا کرد که SBR را به نحو موثری کاهش دهد؟ در صورت پیدا شدن چنین میکروبوخواری با هزینه اندک می‌توان جمعیت باکتری‌های کاهش‌دهنده سولفات (SBR) را کنترل نمود. هر چند در صورت یافتن چنین میکروبوخواری و

سولفید هیدروژن گازی سمی و بدبوئیست که در اثر تجزیه مواد آلی به خصوص آلبومین‌ها، به وجود می‌آید و به دلیل بوی بد به آسانی قابل تشخیص است. این گاز تحت شرایط بی‌هوازی و زمان ماند طولانی در شبکه‌های فاضلاب، از سولفات موجود در فاضلاب شهری به وجود می‌آید و سپس تبدیل به اسید سولفوریک می‌شود (Elmaleh و همکاران، ۱۹۹۸). در صورتی که میزان H_2S از حد استاندارد تعیین شده بیشتر باشد باعث ایجاد مشکلات بهداشتی و خسارات مالی فراوانی خواهد بود. بنابراین، کنترل تولید سولفید هیدروژن و اثرات آن در شبکه‌های فاضلاب از ملاحظات اصلی در طراحی شبکه محسوب می‌شود. میزان انتشار سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب به عوامل متعددی بستگی دارد که می‌توان به بالابودن غلظت سولفات و مواد آلی، دما، زمان ماند فاضلاب، pH، ORP، سرعت جریان و مساحت سطح لوله اشاره کرد (ASCE، ۱۹۸۹؛ Delgado و همکاران، ۱۹۹۹؛ Kienow و Pomeroy، ۱۹۸۲؛ Nielsen و همکاران، ۲۰۰۶).

روش‌های نگهداری، بهره‌برداری و تصفیه برای جلوگیری از تولید سولفید یا حذف آن سال‌هاست که استفاده می‌شود. در طی ۱۰ سال گذشته (از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲) آزمایشات متعددی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب انجام شده است (Lomas

روش‌های کنترل انتشار سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب

۱. حذف یا غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های تولیدکننده سولفید هیدروژن
حذف یا غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های تولیدکننده سولفید هیدروژن با استفاده از افزایش pH، میکروبوخوار و ترکیبات فرمالدهید یا پارافرمالدهید انجام می‌گیرد.

• افزایش pH فاضلاب

براساس تحقیقات انجام شده، غلظت گاز H_2S محلول در فاضلاب با افزایش pH فاضلاب کاهش یافته بطوریکه در pH بالاتر از ۹ مقدار H_2S ناچیز می‌باشد؛ زیرا در این حالت سولفید به صورت یونی (HS^-) موجود است. از جمله مواد قابل کاربرد در این روش می‌توان به هیدروکسید سدیم^۲ و هیدروکسید کلسیم^۳ اشاره نمود. عموماً تزریق هیدروکسید سدیم به فاضلاب موجب افزایش pH فاضلاب به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه گردیده و باعث غیرفعال شدن باکتری‌های احیاءکننده سولفات به سولفید در لایه لجن دیواره

قبل از استفاده آن، مطالعاتی باید بر روی اثر معکوس آن در سیستم‌های فاضلاب و محیط زیست انجام شود (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸).

• فرمالدهید یا پارافرمالدهید

فرمالدهید به عنوان مهارکننده باکتری کاربرد دارد درحالیکه می‌تواند در واحدهای تصفیه فاضلاب برای تجزیه زیستی استفاده شود. پارافرمالدهید یک ماده شیمیایی ارزان و ایمن است که در بسیاری از مصارف صنعتی به عنوان جایگزین فرمالدهید به کار می‌رود. پارافرمالدهید در دمای اتاق در pH خنثی در محلول‌های آبی به فرمالدهید تبدیل می‌شود. فرمالدهید با آب واکنش داده و گاز متان دیول تشکیل می‌شود که با توجه به اینکه شبکه فاضلاب یک محیط بسته است، تبادل بین هوای شهری و فاز گازی در شبکه فاضلاب محدود می‌باشد و احتمال مسمومیت کارگران شبکه فاضلاب وجود دارد. بررسی‌های مقدماتی نشان داده است مقدار 20 mgL^{-1} فرمالدهید برای مهار تولید سولفید هیدروژن در مجاری فاضلاب مطلوب است. اما مطالعات بیشتری لازم است تا خطر فرمالدهید را برای محیط شهری و سلامتی کارگران بررسی شود (Zhang، ۱۹۷۴، EPA؛ و همکاران، ۲۰۰۸).

۲. پیش‌گیری از تولید سولفید هیدروژن با افزودن مواد شیمیایی افزودن نیترات

نیترات می‌تواند به عنوان یک منبع تأمین‌کننده اکسیژن برای باکتری‌ها مورد مصرف قرار گیرد. باکتری‌های خاصی در فاضلاب وجود دارند که از نیترات‌ها به عنوان منبع تأمین اکسیژن مورد نیاز خود استفاده کرده و موجب احیاء آن به گاز نیتروژن در شرایط بی‌هوازی می‌گردند. اصولاً برای احیاء سولفات به سولفید در فاضلاب، محیط باید عاری از اکسیژن محلول، نیترات و سایر عوامل اکسیدکننده باشد؛ بنابراین در صورت وجود نیترات‌ها در فاضلاب عمل احیاء بیولوژیکی سولفات به سولفید رخ نخواهد داد. Allen در سال ۱۹۹۴ بیان نمود افزودن 1 gL^{-1} نیترات به شبکه جمع‌آوری فاضلاب از تولید سولفید برای حداقل ۲۹ روز جلوگیری می‌کند. این پیش‌گیری به افزایش پتانسیل اکسیداسیون احیا ناشی از وجود نیترات مربوط می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این ترکیبات نیترات در نتیجه افزایش pH باعث ایجاد قلیانیت در شبکه می‌شود که این عمل موجب جلوگیری از انتشار H_2S در اتمسفر شبکه می‌شود (Bertran و همکاران، ۲۰۰۷). معمولاً نیترات بصورت نیترات سدیم به فاضلاب افزوده می‌گردد که براساس تحقیقات انجام گرفته نسبت وزنی نیترات سدیم مورد نیاز ۱۰ برابر سولفید برای اکسید نمودن سولفید برآورد گردیده است.

۳. پیش‌گیری از تولید سولفید هیدروژن با انتقال هوا و سیستم‌های تأمین‌کننده هوا
پیش‌گیری از تولید سولفید با این روش با استفاده از هوادهی، تزریق اکسیژن و تهویه شبکه فاضلاب انجام می‌شود.

• هوادهی

تولید سولفید در فاضلاب بر اثر احیاء بی‌هوازی سولفات به سولفید توسط باکتری‌های احیا کننده سولفات انجام می‌پذیرد. معمولاً اگر غلظت اکسیژن محلول فاضلاب بیش از 0.5 میلی‌گرم بر لیتر باشد، فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی محدود گشته و میزان تولید سولفید در فاضلاب تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. بدین منظور هوادهی فاضلاب می‌تواند از پیدایش شرایط بی‌هوازی جلوگیری نموده و موجب بالا بردن غلظت اکسیژن محلول فاضلاب شود. این روش نیازمند تجهیزات لازم برای تزریق هوای فشرده به درون فاضلاب بوده که پر هزینه می‌باشد. از طرفی ایجاد تلاطم در جریان فاضلاب بر اثر هوادهی موجب آزاد شدن گاز سولفید هیدروژن به فضای خالی شبکه‌های فاضلاب گردیده که این عمل باعث تسریع خوردگی شبکه‌های فاضلاب می‌گردد. بنابراین این روش در شبکه‌های فاضلاب ثقیل مقرون به صرفه نبوده ولی برای شبکه‌های فاضلاب پر که به دلیل شرایط بی‌هوازی سولفید زیادی در آنها تولید می‌گردد، روش قابل کاربرد به حساب آمده که موجب کاهش BOD^v فاضلاب نیز می‌گردد (Bertran و همکاران، ۲۰۰۷).

• تزریق اکسیژن

به دلیل آن که حلالیت اکسیژن خالص ۵ برابر حلالیت هوا در آب می‌باشد، می‌توان با تزریق اکسیژن غلظت اکسیژن محلول فاضلاب را افزایش داد. با توجه به آن که حلالیت اکسیژن در فاضلاب با ازدیاد فشار افزایش می‌یابد، این روش برای لوله‌های تحت فشار روش مناسبی می‌باشد. استفاده از اکسیژن خالص به عنوان روش کنترل سولفید در شبکه‌های جمع‌آوری تحت فشار مفید است؛ زیرا انحلال اکسیژن در فشارهای بالاتر بیشتر است. معایب اکسیژن خالص عبارت است از اینکه فقط برای شبکه‌های اصلی تحت فشار کاربردی است و اکسیژن خالص خطر آتش‌سوزی را در بردارد (EPA، ۱۹۷۴). براساس تحقیقات انجام گرفته به منظور اکسیداسیون سولفید محلول در فاضلاب و نیز پایداری شرایط هوازی در فاضلاب، نسبت وزنی اکسیژن ۵ برابر سولفید است (Bertran و همکاران، ۲۰۰۷).

• تهویه شبکه‌های فاضلاب

تهویه شبکه‌های فاضلاب عمدتاً از طریق منهل‌ها صورت

نه تنها باعث حذف سولفید محلول فاضلاب جاری در فاضلاب شبکه می‌گردد، بلکه سبب جلوگیری از تولید سولفید به مدت نیم تا یک ساعت به شرط حضور کلر باقی مانده در پایین دست جریان خواهد شد.

• پراکسید هیدروژن

روش دیگری که برای افزایش غلظت اکسیژن محلول فاضلاب استفاده می‌شود افزودن پراکسید هیدروژن^۶ به فاضلاب بوده که با سولفید محلول در فاضلاب واکنش نشان داده و به آب و اکسیژن تجزیه می‌گردد؛ بنابراین شرایط هوازی حفظ می‌شود. نسبت پراکسید هیدروژن $4 - 1/3 \text{ mgH}_2\text{O}_2\text{L}^{-1}$ به 1 mgSL^{-1} است. حذف متوسط ۱۰۰-۸۵ درصد سولفید است (جدول ۱). نسبت وزنی پراکسید هیدروژن به سولفید برای اکسید نمودن سولفید محلول فاضلاب بین ۱ تا ۵ متغیر بوده که بستگی به عواملی نظیر کیفیت فاضلاب، غلظت سولفید محلول و فاصله زمانی بین هر تزریق به فاضلاب دارد. مدت زمان واکنش پراکسید هیدروژن با سولفید محلول در فاضلاب بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه بوده که در غلظت‌های سولفید کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر این زمان کاهش می‌یابد. تأمین اکسیژن از این طریق روشی پر هزینه بوده که به دلیل تجهیزات ساده و سهولت نصب در مواردی که مقدار اکسیژن مورد نیاز برای فاضلاب زیاد نباشد روش نسبتاً مناسبی می‌باشد. همچنین دارای طول عمر کوتاه (کمتر از ۹۰ دقیقه) است (EPA, ۱۹۷۴)؛ بنابراین لازم است مواد شیمیایی به نقاط مختلف شبکه فاضلاب اضافه شود (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸).

• نمک آهن

با افزودن نمک‌های آهن نظیر کلرید آهن دوزفریتی، کلرید آهن سه‌ظرفیتی و سولفات آهن به فاضلاب، یون‌های آهن با سولفید محلول در فاضلاب ترکیب گشته و به شکل سولفید آهن رسوب می‌نماید. براساس مطالعات انجام شده توسط Pomeroy و Bowlus در سال ۱۹۴۶ ثابت شد که افزودن مخلوطی از نمک‌های آهن سه‌ظرفیتی و دوزفریتی به نسبت وزنی ۲ به ۱ به فاضلاب موثرتر از افزودن جداگانه این نمک‌ها به منظور انعقاد سولفید محلول در فاضلاب می‌باشد. براساس تحقیقات انجام شده نسبت وزنی آهن مورد نیاز ۴ تا ۱۵ برابر سولفید (بین ۱ : ۴ تا ۱ : ۱۵)، برای انعقاد سولفید فاضلاب، برآورد گردیده است که در صورتیکه از سولفات آهن دوزفریتی به عنوان ماده منعقدکننده سولفید در فاضلاب استفاده شود نسبت وزنی سولفات آهن مورد نیاز ۴/۵ برابر سولفید محلول فاضلاب پیشنهاد شده است (EPA, ۱۹۷۴).

می‌گیرد. بنابراین باید درجه منهل‌ها بخصوص در شبکه‌های فاضلاب اصلی به طریقی طراحی شود که ورود و خروج هوا از آن‌ها به سهولت صورت گیرد. عمل تهویه از دو راه موجب کاهش خوردگی ناشی از سولفید هیدروژن در شبکه‌های فاضلاب می‌گردد که عبارتند از اینکه تهویه موجب تازه شدن هوای داخل شبکه‌های فاضلاب و کاهش غلظت سولفید هیدروژن در فضای خالی شبکه‌های فاضلاب می‌گردد و همچنین تهویه موجب کاهش رطوبت سطحی موجود بر روی تاج و دیواره شبکه‌های فاضلاب گردیده که این امر باعث کاهش فعالیت باکتری‌های هوازی برای اکسید نمودن سولفید هیدروژن به اسیدسولفوریک می‌گردد (EPA, ۱۹۷۴).

۴. حذف شیمیایی سولفید هیدروژن

حذف سولفید هیدروژن با استفاده از ترکیبات شیمیایی پرمنگنات پتاسیم، کلر، پراکسید هیدروژن و نمک آهن انجام می‌گیرد.

• پرمنگنات پتاسیم

پرمنگنات پتاسیم^۵ یکی از اکسیدکننده‌های قوی می‌باشد که سولفید را به سولفات تبدیل می‌کند و معمولاً به صورت خشک تهیه می‌شود اما به صورت محلول در آب استفاده می‌شود. واکنش بین پرمنگنات پتاسیم با سولفید بستگی به pH فاضلاب دارد. سرعت این واکنش‌ها بسیار سریع (کمتر از یک دقیقه) می‌باشد. همچنین در شرایطی که کنترل فوری بو در فاضلاب تأسیسات لازم باشد از این روش می‌توان استفاده نمود. نقص این روش هزینه بالای آن است ($22 - 18/9 \text{ kg}^{-1} \text{ S}$ یورو) (جدول ۱). براساس تحقیقات انجام شده نسبت وزنی پرمنگنات پتاسیم ۶/۵ برابر سولفید برای اکسیداسیون سولفید محلول در فاضلاب برآورد گردیده است که به دلیل پر هزینه بودن آن کاربرد این روش در موارد خاص کنترل سولفید در فاضلاب توصیه می‌گردد (EPA, ۱۹۷۴).

• کلر

کلر را معمولاً هم می‌توان به صورت گاز و هم به صورت هیپوکلریت به فاضلاب اضافه نمود. به طور معمول در مواردی که میزان کلر مورد نیاز برای اکسید نمودن سولفید فاضلاب به سولفات کم باشد، از فرم هیپوکلریت استفاده می‌شود. براساس تحقیقات انجام گرفته، نسبت وزنی کلر ۱۰ تا ۱۵ برابر (بین ۱ : ۱۰ تا ۱ : ۱۵) سولفید برای اکسیداسیون سولفید فاضلاب برآورد گردیده است. کلر زنی فاضلاب روش مناسب برای کاهش غلظت سولفید در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به شمار می‌رود. افزودن کلر در نقاط بالادست جریان

جدول ۱- خلاصه مطالب مربوط به تکنولوژی‌های شیمیایی و زیستی برای کنترل سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸)

مراجع	هزینه ($\text{€kg}^{-1}\text{S}$) ^b یورو بر کیلوگرم سولفید	حذف متوسط سولفید (%)	غلظت سولفید در جریان رو به بالا (mgSL^{-1}) میلی‌گرم بر لیتر سولفید	مقیاس و حجم راکتور	نسبت مواد شیمیایی به S(w/w) ^a سولفید (وزنی/وزنی)	مواد شیمیایی
Garcia De Lomas و همکاران (۲۰۰۵)	۰/۹	۶۸-۹۵	۷۰/۰	$۵۰,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ مقیاس واحد	۰/۳۶ : ۱	Nutriox ^{TMc}
Rodriguez-Gomez و همکاران (۲۰۰۵)	۴/۴	۱۰۰	۲/۶	$۲۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ مقیاس واحد	۱/۹۲ : ۱	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
US EPA (۱۹۹۱)	۲۲/۴-۲۶/۱	۹۰	بیشتر از ۴/۰	مقیاس واحد $۵۹,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۶/۰-۷/۰ : ۱	$\text{FeCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۴/۸	۹۵-۹۷	۱۸/۰-۲۵/۰	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۷ : ۱	$\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۴/۵	۸۸-۹۸	۱۸/۰-۲۵/۰	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۲ : ۱	FeClSO_4
Padival و همکاران (۱۹۹۵)	۷/۲	۹۷	۶/۴	مقیاس واحد $۷۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۲/۵ : ۱	FeCl_2 and FeCl_3^{d}
Nielsen و همکاران (۲۰۰۵c)	۳/۷	۱۰۰	۳/۸	مقیاس آزمایشگاهی ۳/۰۰	۱/۵ : ۱	FeCl_3
Snyder و Waltrip (۱۹۸۵)	۱۰/۶	۸۵-۹۰	۱۵/۰	مقیاس واحد $۷۶,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۴/۵ : ۱	H_2O_2
US EPA (۱۹۹۱)	۴/۲-۴/۵	۹۰-۹۵	۸/۵	مقیاس واحد $۲۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۵-۱/۶ : ۱	H_2O_2
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۳/۵	۸۷-۱۰۰	۲۰/۰	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۳ : ۱	H_2O_2
Snyder و Waltrip (۱۹۸۵)	۲/۷	۱۰۰	۱۸/۰	مقیاس واحد $۹۰,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۹/۰ : ۱	Cl_2
US EPA (۱۹۹۱)	۲/۸-۴/۲	-	-	-	۱۰/۰-۱۵/۰ : ۱	Cl_2
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۲/۶	۹۶-۱۰۰	۲۰/۰	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۲/۰ : ۱	NaClO
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۱/۹	۹۳-۱۰۰	۲۰/۰	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۸ : ۱	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$
Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	۱/۹	۱۰۰	۱۸/۲	مقیاس واحد $۲۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۱/۰ : ۱	NaClO and NaOH^{d}
US EPA (۱۹۹۱)	۱۸/۹-۲۲/۰	-	-	-	۶/۰-۷/۰ : ۱	KMnO_4
Jenneman و همکاران (۱۹۸۶)	۱۲/۲	۱۰۰	۵۴/۰	مقیاس آزمایشگاهی ۰/۰۵ L	۶/۷ : ۱	NaNO_3
Okabe و همکاران (۲۰۰۳)	۰/۴	۶۵	۳۵/۰	مقیاس آزمایشگاهی ۱/۳۷ L	۰/۱۸ : ۱	NaNO_3
Okabe و همکاران (۲۰۰۳)	۲/۵	۱۰۰	۱۰/۲	مقیاس آزمایشگاهی ۱/۰۰ L	۱/۳۷ : ۱	NaNO_3
Yang و همکاران (۲۰۰۵)	۲/۵-۸/۳	۹۰-۹۵	۲/۵-۳/۵	مقیاس آزمایشگاهی ۳/۰۰ L	۱/۴-۴/۶ : ۱	NaNO_3
Bentzen و همکاران (۱۹۹۵)	۲/۱	۶۳-۹۵	۵/۱	مقیاس واحد $۳۷۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۰/۸۸ : ۱	Nutriox ^{TMc}
Yang و Hobson (۲۰۰۰)	۱/۵	۹۵	۹/۶	مقیاس پایلوت ۲۰۰ L	۰/۶۰ : ۱	Nutriox ^{TMc}
Einarsen و همکاران (۲۰۰۰)	۶/۰	۹۵-۱۰۰	۷۰/۰	مقیاس واحد $۱۵,۰۰۰ \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	۲/۵۰ : ۱	Nutriox ^{TMc}

$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: € 105 (100 kg)¹; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: € 80 (100kg)¹; FeClSO_4 : € 111 (100kg)¹; FeCl_3 : € 85 (100kg)¹; H_2O_2 (27.5%): € 73 (100kg)¹; Cl_2 (99.6%): € 28 (100kg)¹; NaClO : € 127 (100kg)¹; $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: € 101 (100kg)¹; NaOH : € 205 (100kg)¹; KMnO_4 : € 315 (100kg)¹; NaNO_3 : € 35 (100kg)¹; Nutriox^{TMc}: € 21 (100kg)¹; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: € 34(100kg)¹.

^a برای نمک‌های آهن، نرخ به S(w/w) ؛ برای نمک‌های نیترات، نرخ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ به S(w/w) ؛ برای دیگر مواد شیمیایی، نرخ شیمیایی به S(w/w) .

^b هزینه‌های مواد شیمیایی فراهم شده توسط Ireland, China and Industrial Limited, Wuhan industrial Co. Ltd, Belgium, VWR Inc, Brenntag NV Co.Ltd.

^c کل حجم لوله‌های فاضلاب

^d نرخ FeCl_3 به FeCl_2 ۱/۸ : ۱. نرخ NaClO به NaOH ۳/۵ : ۱.

سودمندی برای کنترل انتشار سولفید هیدروژن در شبکه‌های فاضلاب لازم است. در این پژوهش مزایا و معایب روش‌های موجود برای کنترل خوردگی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و ایستگاه‌های پمپاژ بررسی شده، جمع‌بندی آن در جدول (۲) ارائه شده است. این تحقیق استفاده از فرمالدهید، MgO_2/CaO_2 ، MFCها، نیترات و میکروپ‌خوارها را سودمند می‌داند. فرمالدهید ماده شیمیایی مقرون به صرفه‌ای است که می‌تواند تولید سولفید را در شبکه فاضلاب مهار کند. اکسیژن فاز جامد مهار بلند مدت SBR را سبب می‌شود. برای MFCها سیستم الکتریسته متناوب تولید می‌شود در حالیکه از تولید سولفید می‌توان جلوگیری کرد. میکروپ‌خوارها که SBR را به نحو موثری کاهش می‌دهند مقرون به صرفه‌اند، زیرا در فاضلاب تکثیر می‌شوند. اضافه نمودن نیترات به محیط، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء فاضلاب را افزایش داده و همین امر نیز منجر به عدم تولید سولفید هیدروژن می‌گردد. پس می‌توان استفاده موثر و مقرون به صرفه از ترکیبات شیمیایی و سایر عوامل کنترل کننده به منظور بر طرف نمودن سولفید هیدروژن در شبکه فاضلاب را راه حلی مناسب دانست که می‌تواند دو نتیجه به همراه داشته باشد، نخست حفاظت از شبکه‌های فاضلاب در برابر خوردگی و سپس رسیدن به محیط‌زیستی سالم و عاری از بو است.

در حال حاضر، فن‌آوری‌های متعددی توسط کارشناسان صنایع فاضلاب در سراسر جهان برای کنترل سولفید هیدروژن در شبکه‌های فاضلاب استفاده شده است. اساس اغلب روش‌های پیش‌گیری و کنترل این است که از تولید H_2S جلوگیری گردد و یا پس از تولید آن و قبل از ورود به فضای بالای لوله، اکسیداسیون انجام گیرد که در این صورت تحت کنترل در خواهد آمد. در این پژوهش به بررسی روش‌های موثر برای کنترل سولفید در شبکه‌های فاضلاب پرداخته شد که نتایج زیر حاصل از این پژوهش می‌باشد. روش‌های موثری برای کنترل تولید سولفید وجود دارد که برخی از این روش‌ها ممکن است مناسب‌تر و کارآمدتر از دیگر روش‌ها باشد که بستگی به ویژگی‌های فاضلاب در شبکه موجود دارد. مواد شیمیایی از قبیل نیترات و نمک آهن با موفقیت آزمایش شده و می‌تواند برای لوله‌های موجود به دلیل قابلیت سازگاریشان توصیه شود. هر چند شرایط محلی برای پیش‌ارزیابی پتانسیل سولفید ملاک قرار داده می‌شود، علاوه بر این باید میزان مصرف مواد شیمیایی و هزینه در انتخاب مواد شیمیایی در نظر گرفته شود. مشکل اصلی روش‌های کنترل انتشار سولفید هیدروژن هزینه است. بنابراین روش‌های مقرون به صرفه و

جدول ۲- مزایا و معایب روش‌های موجود برای کنترل خوردگی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و ایستگاه‌های پمپاژ

سرفصل	روش	مراجع	مزایا	معایب
حذف یا غیر فعال کردن	بالا بردن pH به بالای ۸/۵ با افزودن مواد قلیایی از قبیل هیدروکسید سدیم	Jensen (۱۹۹۰)	در مواردی که کاهش بوی محلی مورد نیاز است موثر است.	تنها به صورت محلی موثر است/ افزودن pH تا حدود ۹ پر هزینه است/ افزایش نمک‌های نامحلول
میکروارگانیزم های تولید کننده سولفید هیدروژن	استفاده از میکروپ خوارها به منظور کاهش SBR افزودن فرمالدهید یا پارافرمالدهید به عنوان مهار کننده باکتری‌ها	Zhang و همکاران (۲۰۰۸)	از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است/ در فاضلاب سریع تکثیر می‌یابند.	اثر نامطلوب بر سیستم‌های لجن فعال و محیط زیست
پیش‌گیری از تولید سولفید هیدروژن با افزودن مواد شیمیایی	افزودن نیترات به منظور بالا بردن پتانسیل اکسیداسیون احیا و ایجاد شرایط آنوکسیک	Zhang و همکاران (۲۰۰۸)	ماده شیمیایی ارزان و ایمن	ایجاد ترکیب سمی
پیش‌گیری از تولید سولفید هیدروژن با افزودن مواد شیمیایی	افزودن نیترات به منظور بالا بردن پتانسیل اکسیداسیون احیا و ایجاد شرایط آنوکسیک	Bertran و همکاران (۲۰۰۷)؛ Bentzen و همکاران (۱۹۹۵)؛ Abdullah و Tomar (۱۹۹۴)	یک اقدام پیش‌گراانه محسوب می‌شود/ ایجاد قلیائیت در شبکه در نتیجه افزایش pH/ جلوگیری از شرایط بی‌هوازی/ نسبتاً ارزان/ نفوذ کامل به بیوفیلم شبکه	به طور ناخواسته باعث افزودن کاتیون‌ها به فاضلاب می‌شود/ نیاز به حمل مکرر مواد شیمیایی به نقطه تزریق/ اثرات منفی بر روی واحدهای تصفیه به دلیل بار نیترات/ نیاز به سیستم کنترل فاضلاب به منظور بهینه‌سازی

ادامه جدول ۲- مزایا و معایب روش‌های موجود برای کنترل خوردگی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و ایستگاه‌های پمپاژ

سرفصل	روش	مراجع	مزایا	معایب
پیش‌گیری از تولید سولفید هیدروژن با انتقال هوا و سیستم‌های تامین کننده هوا	افزایش غلظت DO توسط هوا (یا اکسیژن خالص) برای جلوگیری از شرایط بی‌هوازی و تسریع در اکسیداسیون سولفید در حجم کلی فاضلاب	Takatoshi و همکاران (۱۹۹۸): Derek (۱۹۹۵); Holder (۱۹۸۵) USEPA و Tanaka (۱۹۹۴) Leow و Takenaka (۱۹۹۵)	هوا به راحتی در دسترس است/ بدون نیاز به انتقال/ از هیچ مواد شیمیایی استفاده نمی‌شود/ بدون تشکیل محصول جانبی منفی/ ممکن است کیفیت فاضلاب پس از رسیدن به تصفیه‌خانه بهبود یابد	حلالیت کم اکسیژن در آب باعث می‌شود اثر محلی داشته باشد در نتیجه چندین نقطه تزریق مورد نیاز است/ نیازمند انرژی و نگهداری بالاست
تهویه شبکه‌های فاضلاب	هواهدمی شبکه فاضلاب به منظور اکسیداسیون سولفید به سولفات و جلوگیری از شرایط بی‌هوازی	Zhang و همکاران (۲۰۰۸): Bertran و همکاران (۲۰۰۷)	کاهش BOD در شبکه فاضلاب/ بدون مسمومیت/ کاهش رطوبت شبکه	انتقال محدود اکسیژن/ برای لوله‌های با قطر بالا اقتصادی است
افزودن پرمنگنات به منظور اکسیداسیون H ₂ S قبل از ورود به اتمسفر شبکه فاضلاب	کاهش رطوبت سطحی تاج و دیواره تازه شدن هوای داخل شبکه- کاهش فعالیت باکتری‌های هوازی- جلوگیری از تجمع گازهای سمی	Zhang و همکاران (۲۰۰۸): Bertran و همکاران (۲۰۰۷)	کاهش رطوبت سطحی تاج و دیواره تازه شدن هوای داخل شبکه- کاهش فعالیت باکتری‌های هوازی- جلوگیری از تجمع گازهای سمی	در آب و هوای گرم و مرطوب نقش مطلوبی ندارد/ باعث انتشار گاز در فضای شهری
افزودن پرکسید هیدروژن به منظور افزایش غلظت اکسیژن محلول	افزودن پرکسید هیدروژن به منظور افزایش غلظت اکسیژن محلول	Zhang و همکاران (۲۰۰۷): Sercombe (۱۹۹۵) Boon (۱۹۹۵) Charron و همکاران (۲۰۰۴)	راندمان حذف H ₂ S بالاست/ بدون املاح و محصولات جانبی/ واکنش بسیار سریع اتفاق می‌افتد/ در شرایط اسیدی و قلیایی به عنوان اکسید کننده عمل می‌کند.	این روش هزینه بالایی دارد/ باعث ایجاد غلظت قابل توجهی از MnO ₂ در فاضلاب می‌شود که خود آلودگی محسوب می‌شود
سولفید هیدروژن	افزودن کلر به منظور حفظ شرایط هوازی و اکسید نمودن سولفید به سولفات	Boon (۱۹۹۵) Sercombe و Charron (۱۹۹۵) همکاران (۲۰۰۴)	افزایش میزان DO فاضلاب تا ۹ mg/l / حفظ شرایط هوازی/ حذف سولفید ۸۵-۱۰۰ درصد/ به عنوان باکتری‌ساید برای SBR عمل می‌کند	به دلیل خطرات حمل و نقل و هزینه بالا بسیار رایج نیست/ طول عمر کوتاه دارد
افزودن نمک‌های آهن، Ferric یا Ferrous یا ترکیبی از هردو FeCl ₃ , Fe(Cl) ₂ , Fe(NO ₃) ₃ , Fe(SO ₄) ₃ برای رسوب دادن سولفید	افزودن نمک‌های آهن، Ferric یا Ferrous یا ترکیبی از هردو FeCl ₃ , Fe(Cl) ₂ , Fe(NO ₃) ₃ , Fe(SO ₄) ₃ برای رسوب دادن سولفید	Poulton و همکاران (۲۰۰۲): Padival و همکاران (۱۹۹۵)	اکسیدکننده قوی است/ راندمان حذف H ₂ S و دیگر ترکیبات آلی بالاست	هزینه بالایی دارد/ گازی سمی است/ منجر به تشکیل ترکیبات کلر می‌شود
			نسبتاً ارزان/ فاقد محصول جانبی مضر/ کمک به کاهش غلظت فسفر محلول، سمی نیست/ نمک‌های فریک پتانسیل اکسیداسیون احیا را به بالای +۸۰ میلی ولت می‌رسانند	ممکن است آنیون‌های نامطلوب به آب اضافه شود/ ممکن است ناخواسته باعث لخته‌سازی و رسوب در شبکه شود/ ممکن است با ترکیبات فسفر ته‌نشین شود.

پی‌نوشت

- 1- Microbial fuel cells (MFCs)
- 2- Oxidation Reduction Potential
- 3- NaOH
- 4- Ca(OH)₂
- 5- Sulfate reducing bacteria (SBR)
- 6- CH₂(OH)₂
- 7- Biochemical Oxygen Demand (BOD)

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مساعدت شرکت آب و فاضلاب مشهد خصوصاً مدیریت محترم عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد دکتر سید علیرضا طباطبائی تشکر و قدردانی می‌کنند.

- Recent findings on sinks for sulfide in gravity sewer networks. *Water Sci. Technol.* 52: Sewerage Systems. US Environmental Protection Agency Technology Transfer Office, Washington, DC EPA-625/1-74-005.
- Nielsen A.H., Vollertsen J. and Hvitved-Jacobsen T. 2005c. Kinetics and stoichiometry of sulfide oxidation by sewer biofilms. *Environ, Water Res*, 39: 4119–4125.
- Sercombe DCW. 1995. The control of septicity and odors in sewerage systems and at sewage treatment works operated by Anglian Water Services Limited. *Water Sci Technol*, 31(7): 283–292.
- Takatoshi O., Mitsuo K. and Syuji T. 1998. Controlling sulphide generation in force mains by air injection. *Water Sci Technol*, 37(1): 87–95.
- Tanaka N. and Takenaka K. 1995. Control of hydrogen sulfide and degradation of organic matter by air Injection into a wastewater force-main. *Water Sci Technol*, 31(7): 273–282.
- Tomar M. and Abdullah T.A. 1994. Evaluation of chemicals to control the generation of malodorous hydrogen sulfide in waste water. *Water Res*, 28(12): 2542–2552.
- Pomeroy R.D. and Bowlus F. 1946. Progress report on sulfide control research. *Sewage Works J.*, 18: 597–640.
- Pomeroy R.D. and Kienow K.E. 1982. Prediction of Sulfide Buildup in Sanitary Sewers. *Journal of Environmental Engineering Division*, 108(5): 941–956.
- Padival N.A., Kimbell W.A. and Redner J.A. 1995. Use iron salts to control dissolved sulfide in trunk sewers. *J Environ Eng ASCE*, 121(11): 824–829.
- Poulton W.S., Krom M.D., Rijn J.V. and Raiswell R. 2002. The use of hydrous iron (III) oxides for the removal of hydrogen sulphide in aqueous systems. *Water Res*, 3(6): 825–834.
- Rodriguez-Gomez L.E., Delgado S., Alvarez M. and Elmaleh S. 2005. Inhibition of sulfide generation in a reclaimed wastewater pipe by nitrate dosage and denitrification kinetics. *Water Environ, Res*, 77: 193–198.
- US Environmental Protection Agency (EPA). 1974. Process Design Manual for Sulfide Control in Sanitary Sewerage Systems. US Environmental Protection Agency Technology Transfer Office. Washington. DC EPA- 625/1-74-005.
- US Environmental Protection Agency (EPA). 1991. Hydrogen sulphide corrosion in wastewater collection and treatment system. Technical Report, 430/09-91-010.
- USEPA. 1985. Design manual for odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants. Center for Environmental Research Information, USEPA. Office of Research and Development. Cincinnati; EPA/625/1-85/018.
- Waltrip G.D. and Snyder G.E. 1985. Elimination of odor at six major wastewater treatment plants. *J, WPCF*, 57: 1027–1032.
- Yang W., Vollertsen J. and Hvitved-Jacobsen T. 2005. Anoxic sulfide oxidation in wastewater of sewer networks. *Water Sci, Technol*, 52(30): 191–199.
- Zhang L., DeSchryver P., DeGusseme B., DeMuyneck W., Boon N. and Verstraete W. 2008. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review. *Water Research*, 42(1-2): 1-12.
- ASCE. 1989. Sulfide in Wastewater Collection and Treatment Systems. Manuals and Reports on Engineering Practice. American Society of Civil Engineers, New York 69.
- Bertran de Lis F., Saracevic E. and Matsché N. 2007. Control of Sulphide problems in pressure sewers. Institute for Water Quality, Resources and Waste Management Vienna University of Technology. SESSION 4.3. A - 1040 Vienna, Karlsplatz 13/E 226, Austria.
- Bentzen G., Smith AT., Bennett D., Webster NJ., Reinholt F., Sletholt E. and Hobson J. 1995. Controlled dosing of nitrate for prevention of H₂S in a sewer network and the effects on the subsequent treatment processes. *Water Sci Technol*, 31(7): 293–302.
- Boon A.G. 1995. Septicity in sewers: causes, consequences and containment. *Water Sci Technol*, 31(7): 237–253.
- Charron I., Feliers C., Couvert A., Laplanche A., Patria L. and Requieme B. 2004. Use of hydrogen peroxide in scrubbing towers for odor removal in wastewater treatment plants. *Water Sci Technol*, 50(4): 267–74.
- Derek CWS. 1995. The control of septicity and odours in sewerage systems and at sewage treatment works operated by Anglian water service limited. *Water Sci Technol*, 31(7): 283–272.
- Delgado S., Alvarez M., Rodriguez-Gomez L.E. and Aguiar E. 1999. H₂S generation in a reclaimed urban wastewater. *J. Water Res*, 33(2): 539–547.
- Einarsen A.M., Æsøy A., Rasmussen A., Bungum S. and Sveberg M. 2000. Biological prevention and removal of hydrogen sulphide in sludge at Lillehammer wastewater treatment plant. *Water Sci, Technol*, 41 (6): 175–187.
- Elmaleh S., Delgado S., Alvarez M., Rodriguez-Gomez L.E. and Aguilar E. 1998. Forecasting of H₂S build-up in a reclaimed wastewater pipe. *J. Water Sci. & Tech*, 10: 241–248.
- Garcia De Lomas J., Corzo A., Gonzalez J.M., Andrades J.A., Iglesias E. and Montero M.J. 2005. Nitrate promotes biological oxidation of sulfide in wastewater: experiment at plant-scale. *Biotechnol. Bioeng*, 93 (4): 801–811.
- Hobson J. and Yang G. 2000. The ability of selected chemicals for suppressing odor development in rinsing mains. *J. Water Sci. & Tech*, 41(6): 165–173.
- Holder GA. and Leow JM. 1994. In-sewer oxygenation of wastewater using venturi side-stream dissolvers. *Water Sci Technol*, 30(1): 185–194.
- Jensen A. 1990. How Tempe controls manhole odors. *Public works*, 121(4): 57–58.
- Lomas J.G., Corzo A., Gonzalez J. M, Andrades J.A., Iglesias E. and Montero M.J. 2005. Nitrate promotes biological oxidation of sulfide in wastewaters: experiment at plant-scale. *J. Biotech. Bio-eng*, 93(4): 801–811.
- Okabe S., Ito T., Satoh H. and Watanabe Y. 2003. Effect of nitrite and nitrate on biogenic sulfide production in sewer biofilms determined by the use of microelectrodes. *Water Sci, Technol*, 47(11): 281–288.
- Nielsen, A.H., Hvitved-Jacobsen T. and Vollertsen J. 2006.