بررسی خوردگی میکروبی شبکه فاضلاب‌رو بتنی شهرستان مرودشت با توجه به غلظت سولفید هیدروژن

زهرا خادم مدرسی*[1]، رضا بازرگان لاری[2] و فرشته بختیاری[3]

چکیده

با توجه به جوان بودن شبکه فاضلاب شهرستان مرودشت و نیز وارد نشدن فاضلاب‌های صنعتی به آن، انتظار می‌رود گاز سولفید هیدروژن در این شبکه به ندرت تشکیل شود، اما شیب نامناسب، عرض سطح جریان، شرایط پمپاژ، سرعت جریان و درجه حرارت باعث افزایش تولید گاز سولفید هیدروژن می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته به‌دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه این شهرستان، شرایط ایجاد خوردگی میکروبی در این شبکه فراهم است. طولانی بودن مسیر انتقال فاضلاب (14 کیلومتر لوله بتنی) و نبود شیب مناسب، انتقال فاضلاب از راه ثقلی را در این شبکه با مشکلاتی روبه‌رو ساخته، لذا، می‌بایست از پمپ‌های بالا آورنده برای انتقال فاضلاب در خط لوله استفاده شود، در غیر این صورت، زمان ماند فاضلاب در شبکه بالا رفته و امکان توقف طولانی آن و در نتیجه، رشد لایه بیوفیلم و انتشار گاز سولفید هیدروژن افزایش می‌یابد. در این مقاله، خوردگی میکروبی لوله‌های بتنی فاضلاب شهرستان مرودشت از راه اندازه‌گیری غلظت گاز سولفید هیدروژن تولید شده در طول خط انتقال مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌گیری‌ها جهت تعیین غلظت سولفید هیدروژن انجام شد و نتایج نشان دادند که میانگین غلظت هیدروژن سولفید در حالت کلی 0/96 قسمت در میلیون بود که بیش‌تر از حد گزارش شده برای احتمال وجود خوردگی میکروبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه فاضلاب، سولفید هیدروژن، خوردگی میکروبی، لوله‌های بتنی، مکانیسم خوردگی.

1- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی بیوتکنولوژی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
2- دکتری مهندسی مواد، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
3- دکتری مهندسی شیمی، استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
*- نویسنده مسئول مقاله: z.modaresi@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

پیشگفتار

بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته، پیدایش خوردگی در تأسیسات فاضلابی سالانه هزینه‌ای بیش از 1/1 بیلیون دلار به بار می‌آورد که این هزینه به‌ازای هر نفر در سال 50 دلار تغییر می‌کند [1]. خوردگی میکروبی لوله‌های بتنی یکی از مشکلات عمده در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بشمار می‌آید که سالانه مبالغ هنگفتی را به خود اختصاص می‌دهد [2]. نخستین بار، در لس‌آنجلس در سال 1895 مطالعاتی در رابطه با خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب‌روها انجام گرفت و بررسی‌ها نشان داد که اسید سولفوریک دلیل اصلی خوردگی است [3]. امروزه تخریب لوله‌های بتنی فاضلاب به وسیله حمله بیولوژیکی اسید سولفوریک در زمره رایج‌ترین ساز و کارهای تخریب این‌گونه سازه‌ها و یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در شهرهای دنیاست [4 و 5]. برای مثال، در لس آنجلس ده درصد خطوط لوله انتقال فاضلاب دچار خوردگی میکروبی شده که هزینه نوسازی این خطوط 400 میلیون دلار برآورد شده است [6]. نظر به این‌که خارج کردن خطوط جمع‌آوری فاضلاب از مدار بمنظور تعمیرات اساسی و قطع جریان تقریبا ناممکن است، لذا، باید مطالعات لازم در جهت یافتن راهکارهایی بمنظور پیشگیری از ایجاد وضعیت ناخواسته و حفظ سیستم موردنظر انجام پذیرد [7].

خوردگی بیولوژیکی اسید سولفوریک نتیجه‌ای از چرخه گوگرد است که در شبکه‌های فاضلاب‌رو رخ می‌دهد [8]. فرایندها و عامل‌های مؤثر در چرخه گوگرد برای سیستم‌های فاضلاب‌رو در شکل (1- الف) و (1- ب) به صورت شماتیک از قسمت کف به سمت تاج فاضلاب‌رو بررسی شده است [6 و 9]. گوگرد عنصری ضروری برای میکروارگانیسم‌هاست و در ترکیب آمینواسیدها، کوفکتورها و فروکسین‌ها و آنزیم‌ها وارد می‌شود [2]. در دهه نخست قرن بیستم، سولفید هیدروژن دلیل اصلی تشکیل اسید سولفوریک و در نتیجه، یکی از دلایل اصلی خوردگی بتن فاضلاب‌روها معرفی شد [3و 7]. امروزه تولید سولفید هیدروژن در فاضلاب‌روها مشکلی کاملا شناخته شده است [10]. اساس پدیده خوردگی میکروبی به‌وسیله گاز سولفید هیدروژن در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، بر پایه وجود مقادیری از گوگرد آلی که از مواد پروتئینی ایجاد می‌شود، گوگرد معدنی که ناشی از سولفات آب‌های جاری شده است و هم‌چنین، شکل دیگری از گوگرد به شکل سولفات که از مواد پاک‌کننده بدست می‌آید، استوار است [11]. لذا، شکل‌های عمده گوگرد در فاضلاب، سولفید هیدروژن H_2S، گوگرد عنصری S و یون سولفات SO_4^{2-} می‌باشد [12]. گوگرد موجود در فاضلاب به‌وسیله باکتری‌های احیاءکننده سولفات که بیش‌تر تمایل دارند در نواحی دیواره مرطوب لوله‌های فاضلاب رشد کنند، به سولفید هیدروژن تبدیل می‌شود [13].

عمده‌ترین و مهم‌ترین نوع حمله بیولوژیکی به بتن حمله باکتری‌های گوگرد است، این باکتری‌ها شامل دو دسته هستند. دسته نخست باکتری‌های احیاءکننده سولفات هستند که گرم منفی و بی‌هوازی مطلق بوده و از سولفات به‌عنوان پذیرنده الکترون استفاده می‌کنند و از منابع کربن با وزن ملکولی کم نظیر اسیدهای آلی، اسیدهای چرب و الکل‌ها به‌عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند. محصول عمل احیاء به وسیله این باکتری‌ها بر اساس واکنش (1) سولفید هیدروژن است.

$$S^{2-} + 2H^{+} \xrightarrow{\text{Bacteria}} H_2S \quad (1)$$

گستره pH برای رشد باکتری‌های احیاءکننده سولفات 4/2-10/4 است و pH بهینه برای رشد آن‌ها 7/2-7/5 می‌باشد. دی سولفوویبریو[1] مهم‌ترین جنس این باکتری‌ها و دی سولفوریکانس[2] مهم‌ترین گونه آن می‌باشد.

دسته دوم باکتری‌های اکسیدکننده سولفات هستند، این دسته که نقش عمده‌ای در خوردگی بیولوژیکی لوله‌های فاضلاب دارند، هوازی، گرم منفی و بدون اسپور هستند که در تاریکی رشد می‌کنند. تیوباسیلوس[3] به‌عنوان یکی از این نوع باکتری‌ها، نقشی مهم در خوردگی بیولوژیکی لوله‌های بتنی فاضلاب دارد و گونه تیواکسیدانس[4] دارای اهمیتی ویژه است [12و 14]. پارکر نخستین کسی بود که ارتباط بین حضور باکتری‌های

[1] - Desulfovibirio
[2] - Desulforicans
[3] - Thiobacillus
[4] - Thioxidans

Archive of SID

www.SID.ir

تیوباسیلوس و سرعت خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب‌روها را توصیف کرد [13].

با کاهش pH و افزایش تلاطم در جریان فاضلاب گاز سمی سولفید هیدروژن در اتمسفر فاضلاب‌رو رها می‌شود. شرایط هوازی که درست در بالای خط جریان برقرار است، به باکتری‌های اکسیدکننده موجود در سطح بتن مثل گونه تیوباسیلوس‌ها امکان حیات می‌دهد. محصول متابولیسمی این باکتری‌ها اسید سولفوریک است [4و 14]. واکنش‌های اکسیداسیون به وسیله باکتری‌های اکسیدکننده سولفات به شرح زیر است:

$$H_2S, SO_3^{2-}, S^- \xrightarrow{\text{Bacteria}} SO_4^{2-} + S^- \quad (2)$$

$$2H_2S + O_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} 2H_2O + 2S \quad (3)$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{Bacteria}} 2H_2SO_4 \quad (4)$$

فرایند خوردگی به‌وسیله واکنش بیولوژیکی اسید سولفوریک با مواد سیمانی بتن رخ می‌دهد و نتیجه آن تخریب سازه است [6]. اسید سولفوریک با ماتریس سیمانی واکنش می‌دهد و نخستین گام این واکنش بین اسید و هیدروکسید کلسیم است.

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O \quad (5)$$

که این موضوع به‌وسیله لایه خورده شده در سطح بتن مشخص می‌شود. این لایه پس از آبگیری، شامل سنگ گچ و رطوبت است. گچ نیز تحت آبگیری با آلومینات C_3A مواد نامحلولی[1] تولید می‌کند که تمایل به افزایش حجم دارند.

(6)

$$3CaSO_4.2H_2O + 3CaO.Al_2O_3 + 26H_2O \longrightarrow (CaO)_3.(Al_2O_3).(CaSO_4)_3.(32H_2O)$$

لذا، این افزایش حجم سبب ایجاد شکست در بتن، افزایش تخلخل و در نتیجه، افزایش قدرت جذب آن می‌شود. با افزایش تخلخل، مهاجرت دیگر یون‌ها نظیر سولفات و کلرید سریع‌تر و آسان‌تر می‌شود و در نتیجه، سرعت خوردگی افزایش می‌یابد [4و 6].

در این مقاله به بررسی خوردگی لوله‌های بتنی فاضلاب شهرستان مرودشت پرداخته شده است. این شبکه در سال 1371 به بهره‌برداری رسید و تا سال 1382 کل شبکه با لوله‌های سیمانی و آزبست اجرا شد و حدود 14 کیلومتر از خط انتقال این شبکه را لوله‌های بتنی در اقطار 200 تا 1000 میلی‌متر تشکیل می‌دهند. بر اساس مطالعات صورت گرفته به‌دلیل مؤقعیت ویژه جغرافیایی شهرستان و این که سطح آب‌های زیر زمینی بالا بوده است، شیب مناسبی برای خطوط شبکه طراحی و اجرا نشده است و این موضوع لزوم استفاده از ایستگاههای پمپاژ در طول خط جریان را ضروری کرده است. هم‌چنین، درجه حرارت بالا بویژه در فصل‌های گرم سال دمای فاضلاب را تا 40 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد، لذا، تقریبا تمامی شرایط خوردگی در شبکه فراهم است. از آن‌جایی که شیب مناسب خط انتقال، پارامتری بسیار مهم در کنترل خوردگی میکروبی است و در شبکه فاضلاب مرودشت به دلیل عدم شیب مناسب، امکان خوردگی میکروبی به‌خوبی فراهم است، لذا، در جهت بررسی این مشکل برای مرتفع نمودن آن در آینده، این مطالعه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این بررسی در پاییز سال 1389 در شهرستان مرودشت در مورد بخشی از شبکه جمع‌آوری فاضلاب بتنی این منطقه انجام گرفت. با توجه به شرایط ویژه طراحی این شبکه و نبود شیب مناسب، جمع‌آوری و انتقال فاضلاب از روش ثقلی مناسب نبوده، بنابراین، چهار ایستگاه بالا آورنده فاضلاب در امتداد خط جریان پیش‌بینی شده است که سه‌تای آن در حال حاضر به بهره‌برداری رسیده است. این ایستگاههای پمپاژ بخش اصلی عملکرد شبکه می‌باشند. ویژگی‌های کلی این فاضلاب شامل BOD[2] حدود 192، pH 8-6 و در زمان انجام آزمایش‌ها درجه حرارت فاضلاب در نوبت‌های نمونه‌گیری ماهانه متغیر بوده است. در این بررسی، پتانسیل خوردگی این شبکه براساس مقدار غلظت گاز سولفید هیدروژن تولید شده در شبکه سنجیده شد. نمونه‌گیری‌های مقدار غلظت سولفید هیدروژن تولید شده در این شبکه در دو نوبت 8:30 صبح و 2:30 بعد از ظهر در قالب 40 آزمایش در یک دوره چهار ماهه به گونه مستقیم از شبکه انجام گرفت. این کار با استفاده از

[1] - Ettringite

[2] - Biological Oxygen Demand

Archive of SID

www.SID.ir

دستگاه پرتابل غلظت هیدروژن‌سنج شرکت MICRO III مدل G203S ساخت کشور فرانسه با دامنه تغییرات 1- 500 قسمت در میلیون، با دقت یک قسمت در میلیون و با درجه حرارت کاری 50+ تا 20- درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. با توجه به این موضوع که نمونه‌برداری‌ها به صورت پیوسته انجام نمی‌شد، ارایه نقشه شبکه جمع‌آوری این شهرستان امکان‌پذیر نبوده است. پس از آن، نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار آماری Minitab و نرم افزار Excel مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به مطالعات صورت گرفته، در غلظت‌های بیش از 0/05 قسمت در میلیون سولفید هیدروژن، پتانسیل خوردگی شبکه بسیار بالاست [6 و 9]. مطالب اشاره شده در مورد فرایندهای باکتریایی و چرخه گوگرد بیان‌گر این موضوع است که غلظت‌های بالای سولفید هیدروژن در اتمسفر و مایع فاضلاب، سبب برقراری شرایط اسیدی در فاضلاب‌رو خواهد شد. هرچه این شرایط اسیدی حادتر شود، امکان آسیب‌دیدگی شبکه فاضلاب‌رو بیش‌تر بوده و همان‌گونه که در شکل 2 مشاهده می‌شود، این عامل سبب ریزش تاج و قسمت‌هایی از لوله که در تماس با مایع فاضلاب است، خواهد شد. در مورد شبکه فاضلاب‌رو شهرستان مرودشت مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین برای غلظت‌های سولفید هیدروژن در دو بازه زمانی 8:30 صبح و 2:30 بعد از ظهر در جدول 1 آورده شده است. براساس این جدول، میانگین غلظت سولفید هیدروژن در ساعت 8:30 صبح 0/93 قسمت در میلیون و در ساعت 2:30 بعد از ظهر 0/99 قسمت در میلیون می‌باشد. هم‌چنین، میانگین کل غلظت سولفید هیدروژن 0/96 قسمت در میلیون بود. داده‌های بدست آمده که بیش از مقدار گزارش شده در مراجع است (0/05 قسمت در میلیون) [6 و 9] نشان‌دهنده امکان حاکم بودن شرایط بی‌هوازی در این خط لوله‌هاست و در نتیجه، بیانگر پتانسیل بالای خوردگی میکروبی فاضلاب در این شبکه‌ها می‌باشد. علت این موضوع به‌دلیل مدت زمان ماند بالای فاضلاب در شبکه بوده که امکان توقف طولانی آن را فراهم کرده و باعث رشد لایه بیوفیلم و انتشار گاز سولفید می‌شود.

هم‌چنین، براساس نتایج آزمایش‌ها و آنچه در جدول 2 و شکل 3 مشاهده می‌شود، غلظت سولفید هیدروژن در ساعت 2:30 بعد از ظهر بیش از مقدار آن در ساعات اولیه صبح می‌باشد که این به‌دلیل کاهش جریان در خطوط شبکه، رسوب مواد معلق و رشد لایه بیوفیلم و در نتیجه، انتشار بیش‌تر گاز سولفید هیدروژن در این ساعات می‌باشد.

براساس نتایج بدست آمده در جدول 2 به خوبی می‌توان اثر توأم افزایش درجه حرارت و در نتیجه، افزایش تولید سولفید هیدروژن را مشاهده کرد. همان‌گونه که نتایج تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون رگرسیون خطی نشان می‌دهد، رابطه معنی‌داری بین غلظت سولفید هیدروژن تولیدی و اثر شرایط و نوبت نمونه‌گیری با P-value کمتر از 0/005 وجود دارد (جدول 3).

مقادیری که برای BOD، pH و درجه حرارت در زمان انجام آزمایش‌ها تعیین شده‌اند، نشان می‌دهند که شیب نامناسب شبکه مهم‌ترین عامل توقف طولانی فاضلاب در شبکه و در نتیجه، پیدایش خوردگی میکروبی است، چنانچه ایستگاههای پمپاژ از سرویس خارج شوند، یا این‌که حتی اگر یکی از آن‌ها به‌درستی کار نکند، به‌دلیل سرعت کم جریان در شبکه، این نوع خوردگی تشدید خواهد شد.

نتیجه‌گیری

1- با توجه به مقدار تولید گاز سولفید هیدروژن در شبکه فاضلاب‌رو و مقایسه آن با مقادیر گزارش شده در مراجع ذکر شده در مقاله، پتانسیل خوردگی میکروبی لوله‌های بتنی فاضلاب در این شبکه نسبتا بالا ارزیابی می‌شود.

2- در لوله‌های انتقال فاضلاب ساخته شده از بتن، اسید سولفوریک تولید شده می‌تواند لوله‌های فاضلاب را در نقاط گوناگون بویژه در تاج لوله مورد حمله قرار دهد و آن را تخریب کند. این پدیده در اثر گرما و نیز در مواردی که شیب خط انتقال کم باشد، باعث تشدید خوردگی می‌شود و اثر تخریبی آن افزایش می‌یابد. در مورد شبکه فاضلاب شهرستان مرودشت نیز بر اساس بررسی‌های انجام شده شیب نامناسب مهم‌ترین عامل تسریع‌کننده خوردگی است.

Archive of SID

www.SID.ir

3- بررسی‌ها و نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که غلظت سولفید هیدروژن در ساعت 2:30 بعد از ظهر بیش از مقدار آن در ساعت 8:30 اولیه صبح می‌باشد که این به دلیل کاهش جریان در خطوط شبکه، رسوب مواد معلق و رشد لایه بیوفیلم و در نتیجه انتشار بیش‌تر گاز سولفید هیدروژن در این ساعات می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری شرکت آب و فاضلاب شهرستان مرودشت تشکر نمایند.

Refrences

1- R. Chandler, "Corrosion Control in Wasterwater Systems, Operations Workshop Indoor Sports Center, Carrara-Gold Coast, June 2008.

2 - ز. خادم‌مدرسی، ر. بازرگان‌لاری، "بررسی خصوصیات مکانیکی کامپوزیت سیمان- فولاد مورد استفاده در لوله‌های فاضلاب شهری پس از خوردگی"، همایش ملی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، خرداد 1390.

3- J. Vollertsen, A.H. Nielsen, H.S. Jensen, T. Wium-Andersen and T. Hvitved-Jacobsen, "Corrosion of concrete sewage -The kinetics of hydrogen sulfide oxidation", Science of the Total Environment, Vol. 394, p. 162-170,2008.

4- M. Moradian, M. Shekarche, A. Dousti, M. Nemati chari and M. Hallaji, "Investigation of different reinforcement corrosion causes in sewage environment-Acase study", First Middle East Conference on Smart Monitoring, Dubai-UAE, February 2011.

5 - ک. اسماعیل‌پورلنگرودی، ح. ایمانی‌مقدم و ن.ا. بخشی، " استفاده از نانو ذرات برای حفاظت لوله‌های بتنی در مقابل خوردگی میکروبی"، سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن، تهران- ایران، مهر 1390.

6- L. Zhang, P. Schryver, B. Gusseme, W. Muynck, N. Boon and W. Verstraete, "Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review", WATER Research, Vol. 42, p. 1-12, 2008.

7- ی. پریش، ا. مرادی، ن. حسین‌اهلی و ف. نجائی آبادی، "ارزیابی راهکارهای مقاوم‌سازی لوله‌های بتنی فاضلابروها"، فستیوال سراسری بتن، تهران-ایران، مرداد 1388.

8- W. Muynck, N. Belie and W. Verstraete, "Effectiveness of admixture, corrosion of concrete", Cement & Concrete Composites, Vol. 31, p. 163-170, 2009.

9- D. Firer, E. Friedler and O. Lahav, "Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: comparison between theoretical and experimental results, and practical implications", Science of the Total Environment, Vol. 392, p. 145-156, 2008.

10- G. Jiang, O. Gutierrez, K.R. Sharma, J. Keller and Z. Yuan, "Optimization of intermittent, simultaneous sulfide and methane production in sewers", WATER Research, Vol. 45, p. 6163-6172, 2011.

11 - م. فضل‌زاده دویل، ک. ندافی، ا.ح. محوی، م. یونسیان، ر. نبی‌زاده و س. مظلومی، "اندازه‌گیری غلظت سولفید هیدروژن و ظرفیت اکسیداسیون و احیاء در خط اصلی انتقال فاضلاب شهر ری"، چهارمین همایش ملی بهداشت محیط، یزد-ایران، آبان 1390.

12 - ک. ندافی، "روش‌های پیش‌گیری از خوردگی لوله‌های بتنی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب"، نشریه عمران، شماره 4، ص 24-19، 1379.

13- S. Vaidya and E.N. Allouche, "Electro kinetically deposited coating for increasing the service life of partially deteriorated concrete sewers", Construction and Building Materials, Vol. 24, p. 2164-2170, 2010.

14 - ک. دیندارلو و ک. ندافی، "پیش‌گیری از خوردگی بیولوژیکی لوله‌های بتنی فاضلاب با مواد اکسید کننده"، مجله پزشکی هرمزگان، شماره 4، ص 215-211، 1382.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست‌ها

جدول 1- میزان بیشینه، کمینه و میانگین گاز سولفید هیدروژن برحسب قسمت در میلیون در ساعت های 8:30 صبح، 2:30 بعد از ظهر و کل.

پارامترها	تعداد نمونه	کمینه	بیشینه	میانگین
غلظت سولفید هیدروژن در 8:30 صبح	20	0/68	2/56	0/93
غلظت سولفید هیدروژن در 2:30 بعد از ظهر	20	0/73	3/3	0/99
غلظت سولفید هیدروژن در کل نمونه‌ها	40	0/68	3/3	0/96

جدول2- مقادیر سولفید هیدروژن برحسب قسمت در میلیون در طول چهارماه نمونه‌گیری

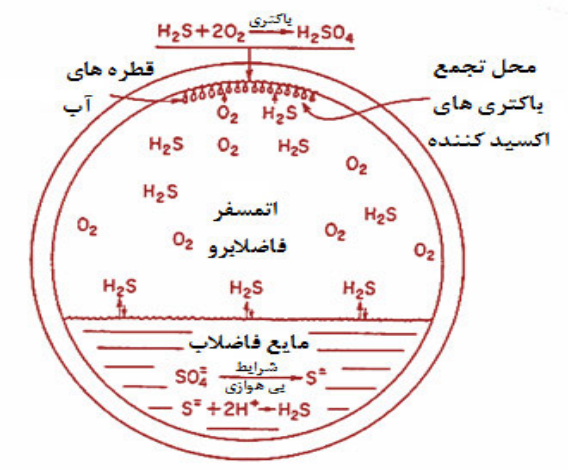
	شهریور ماه 89					**مهر ماه 89**				
8:30 صبح	2/56	1/85	1/01	0/97	1/05	1	1/02	0/88	0/81	0/92
2:30 بعد از ظهر	3/3	2	1/04	1/02	1/1	1/02	1/11	0/93	0/87	0/94
	آبان ماه 89					**آذر ماه 89**				
8:30 صبح	0/87	0/82	0/9	0/71	0/91	0/78	0/89	0/68	0/8	0/82
2:30 بعد از ظهر	0/93	0/85	0/91	0/8	0/95	0/93	0/91	0/73	0/85	0/83

جدول 3- نتایج رابطه‌ی بین غلظت گاز سولفید هیدروژن تولیدی در شبکه فاضلاب و نوبت نمونه‌گیری ماهانه و روزانه با استفاده از آزمون رگرسیون

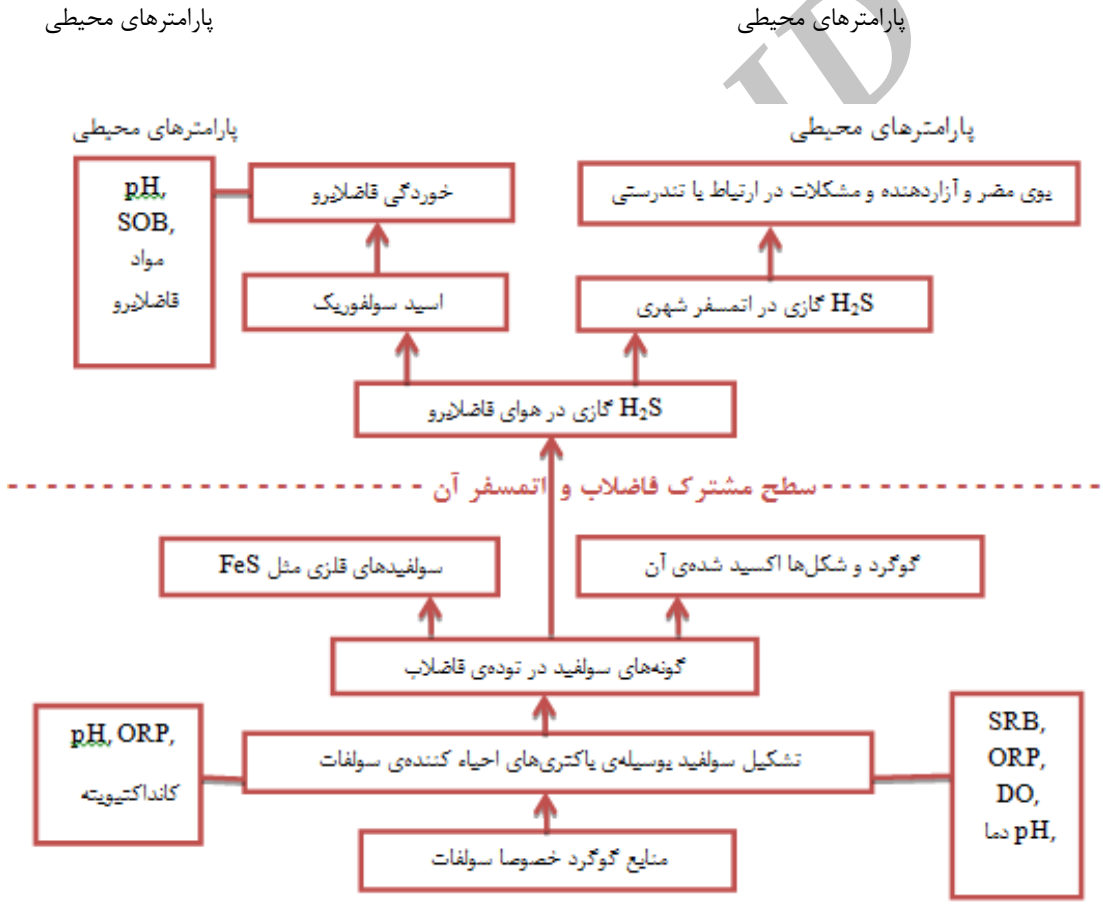
مدل	**درجه آزادی**	**مجموع مربعات**	**میانگین مربعات**	**F**	**P-value**
رگرسیون	2	2/9305	1/46524	7/6393	0/001670
نوبت نمونه‌گیری روزانه	1	0/0792	0/07921	0/4130	0/524427
نوبت نمونه گیری ماهانه	1	2/8513	2/85127	14/8655	0/000445
خطا	37	7/0968	0/19180		
مجموع	39	10/0272			

Archive of SID

www.SID.ir



(الف)

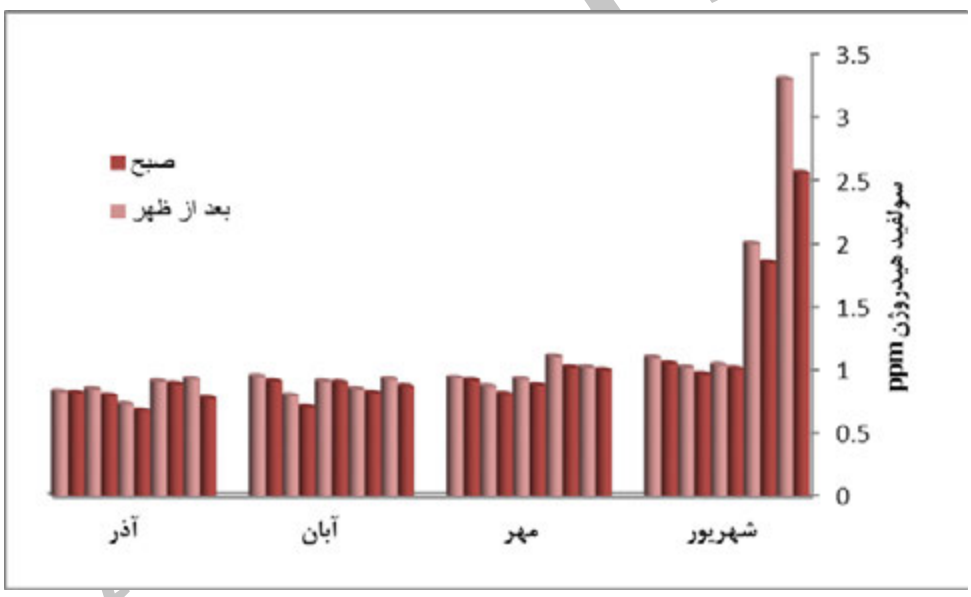


شکل1- (الف) چرخه گوگرد و اساس پدیده خوردگی در سیستم‌های فاضلاب‌رو (ب)- فرایندهای عمده تولید سولفید و عامل‌های مؤثر در رابطه با چرخه گوگرد در یک لوله بتنی فاضلاب‌رو از قسمت کف به سمت تاج لوله. SOB[1]: باکتری‌های اکسیدکننده سولفید، SRB[2]: باکتری‌های احیاءکننده سولفات، ORP[3]: پتانسیل اکسیداسیون –احیاء و DO[1]: اکسیژن محلول [6]

[1] - Sulfide- Oxidizing Bacteria
[2] - Sulfate- Reducing Bacteria
[3] - Oxidation Reduction Potential

www.SID.ir

شکل 2- فعالیت باکتریایی و خوردگی تاج و قسمت‌های در تماس با مایع فاضلاب لوله فاضلاب‌رو



شکل 3- مقایسه ده نوبت نمونه‌گیری سولفید هیدروژن در هر ماه

www.SID.ir