

## بررسی اثر دما و غلظت سولفوریک اسید بر خوردگی تاج لوله های بتن

محمد آقابابایی بنی<sup>۱\*</sup>، محمود پاکشیر<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

\* Mammad.a.68@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۲)

### چکیده

به منظور تعمیرات اساسی در خطوط جمع آوری فاضلابرو، امکان خارج نمودن خطوط فاضلابرو از سیستم و قطع جریان فاضلاب وجود ندارد. در نتیجه مطالعات لازم باید جهت یافتن راهکارهای مناسب به منظور پیشگیری از مسدود شدن و تخریب آن‌ها صورت پذیرد. یکی از مشکلات متداول در این زمینه، خوردگی تاج لوله‌های بتنی فاضلابرو به دلیل حضور سولفوریک اسید می‌باشد. در این تحقیق فرآیند تولید سولفوریک اسید در تاج لوله‌های بتنی در اثر حضور عوامل میکروبیولوژیکی مورد مطالعه قرار گرفته است و اثر دو پارامتر محیطی (درجه حرارت و غلظت اسید) بر سرعت خوردگی بیولوژیکی تاج لوله‌های بتنی فاضلابرو بررسی شد. برای این منظور، نمونه‌های بتنی با استفاده از سیمان تپ ۵ ضدسولفاته و مطابق با استانداردهای ASTM C150 و ASTM C595 ساخته شد و سپس در غلظت‌های متفاوتی از اسید سولفوریک و در دماهای مختلفی قرار گرفت. نتایج حاصل از تغییرات وزن در دما و غلظت‌های متفاوت اسید بیانگر افزایش نرخ خوردگی می‌باشد و سرانجام سطح نمونه‌های بتنی خورده شده توسط میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفت.

### کلمات کلیدی:

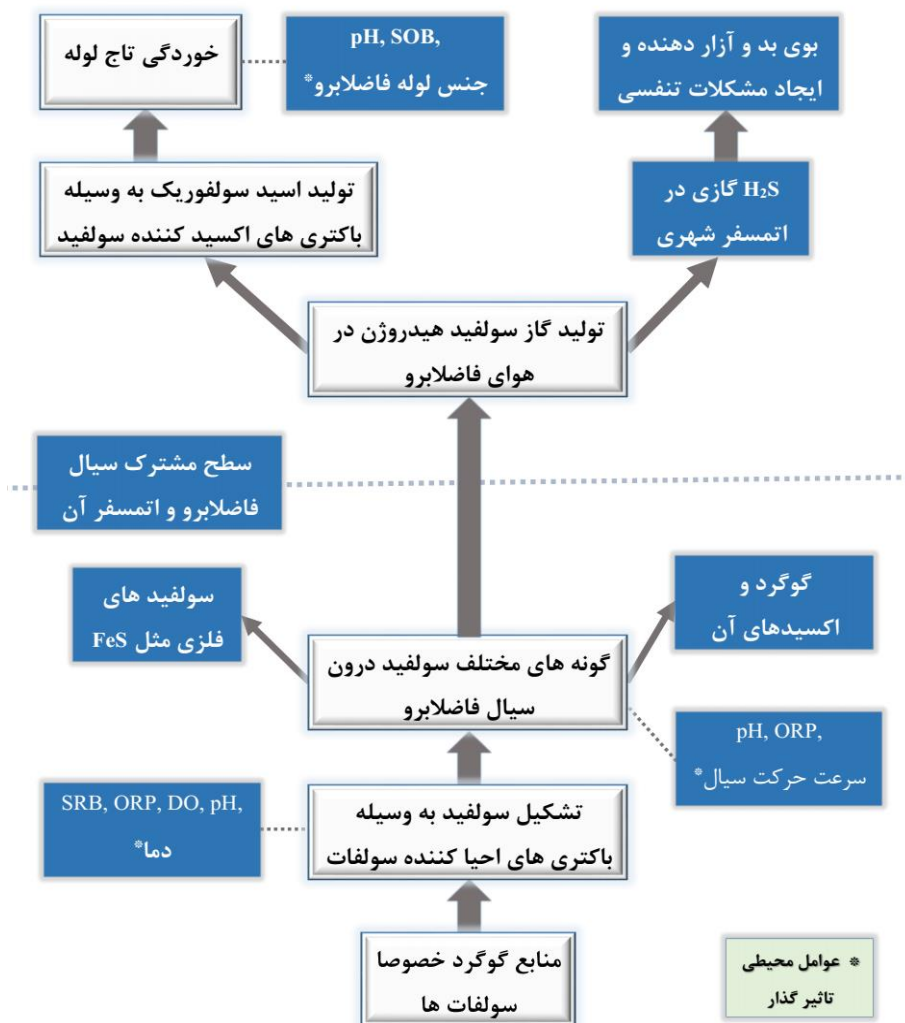
خوردگی بیولوژیکی، خوردگی تاج لوله بتنی، فاضلابرو، پارامترهای محیطی.

### ۱- مقدمه

شود، که حتی در برخی موارد ساخت مجدد سازه نسبت به ترمیم آن اقتصادی‌تر است. مخصوصاً مجاری فاضلاب بحرانی‌تر است، چرا که در نتیجه تماس جداره لوله‌های فاضلابرو با دو فاز مایع و گاز و همچنین مواد خورنده، عمر مفید این سازه‌ها کاهش می‌یابد [۲-۳]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سولفوریک اسید دلیل اصلی خوردگی بتن در فاضلابروها می‌باشد. سولفوریک اسید به واسطه واکنش‌های میکروبیولوژی تولید شده و با محصولات هیدراته بتن در تاج لوله‌های فاضلابرو

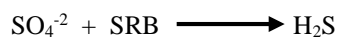
امروزه اکثر سازه‌های عمرانی را سازه‌های بتنی تشکیل می‌دهند که استفاده از آن‌ها روز به روز در حال افزایش است. به طوری که از ۱۹۵۰۰ سیستم فاضلابرو در آمریکا، حدود ۴۰ درصد آن‌ها از سازه‌های بتنی ساخته شده است [۱]. در اثر رعایت نکردن اصول ساخت و طراحی، پس از گذشت مدت زمان اندکی از بهره برداری، خوردگی هزینه‌های بسیار زیادی را موجب می

واکنش داده و باعث تخریب آن می‌شود. که به آن، خوردگی تاج لوله گفته می‌شود [۴].



شکل (۱): شماتیک فرآیندها و عوامل مؤثر در چرخه گوگرد برای سیستم‌های فاضلاب [۵]

نوع اول باکتری‌های احیاء کننده سولفات ( Sulfate Reducing Bacteria ) هستند که بی‌هوازی بوده و از سولفات به عنوان پذیرنده الکترون و از منابع کربن با وزن مولکولی کم نظیر اسیدهای آلی، اسیدهای چرب و الکل‌ها به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌کنند. محصول واکنش احیاء به وسیله این باکتری‌ها بر اساس واکنش (۱) سولفید هیدروژن است [۶].



واکنش (۱)

خوردگی بیولوژیکی اسید سولفوریک یکی از نتایج چرخه گوگرد است که در شبکه‌های فاضلابرو رخ می‌دهد. فرآیندها و عوامل مؤثر در چرخه گوگرد برای سیستم‌های فاضلابرو از قسمت کف به سمت تاج لوله در شکل (۱) به صورت شماتیک آورده شده است [۵]. عمده‌ترین و مهم‌ترین نوع حمله میکروبیولوژیکی به بتن حمله باکتری‌های گوگرد است، این باکتری‌ها شامل دو نوع می‌باشند.

و آسان تر می شود و در نتیجه سرعت خوردگی افزایش می یابد [۵-۶].

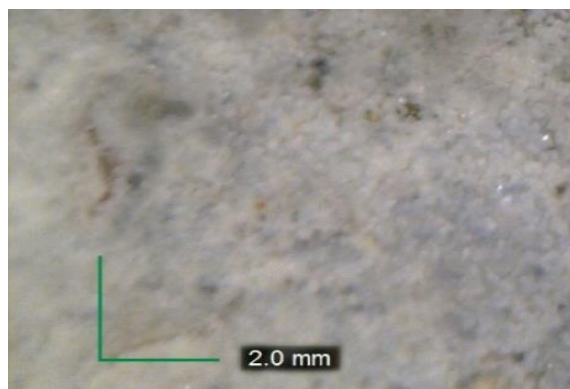
عواملی همچون درجه حرارت، غلظت اسید سولفوریک تولید شده، سرعت حرکت سیال، غلظت گاز سولفید هیدروژن، pH و ... بر سرعت خوردگی تاج لوله تاثیرگذار می باشند. که در این تحقیق دو مورد اول مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش ها

تمامی مراحل تهیه مواد اولیه و نحوه مخلوط کردن آن ها بر اساس استاندارد ASTM C150 و ASTM C595 و آیین نامه بتن ایران انجام شدند [۸-۱۰].

نمونه ها با سیمان تیپ ۵ ضد سولفات، ماسه با اندازه دانه مانده روی الک با مش ۱۶ و رد شده از الک با مش ۸ و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ آماده و سپس در قالب های برنجی مکعبی شکل با ابعاد ۵×۵×۵ سانتیمتری با توجه به استاندارد ASTM C913 قالب گیری شد. نحوه قرارگیری در قالب از نظر مدت زمان نگهداری، دمای نگهداری و درجه لرزش ویراتور مطابق با استاندارد ASTM C192 انجام شد. نمونه ها پس از گذشت ۲۴ ساعت از داخل قالب ها خارج گردیده و جهت کامل شدن واکنش ها به مدت ۲۸ روز درون آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند [۱۱-۱۲].

در شکل (۲) سطح نمونه پیش از شروع تست مشاهده می شود.



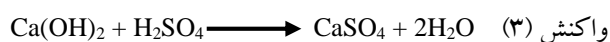
شکل (۲): سطح نمونه بتن با بزرگنمایی ۲۰ برابر

سولفید هیدروژن دلیل اصلی تشکیل سولفوریک اسید و در نتیجه یکی از دلایل خوردگی بتن فاضلابروها معرفی می شود [۷].

نوع دوم باکتری های اکسید کننده سولفید ( Sulfate Oxidizing Bacteria) هستند، که نقش عمده ای در خوردگی بیولوژیکی لوله های فاضلاب دارند، هوازی بوده و در تاریکی رشد می کنند. گاز سمی سولفید هیدروژن در اتمسفر فاضلابروها می شود. شرایط هوازی که درست در بالای خط حرکت سیال برقرار است، به باکتری های اکسیدکننده موجود در سطح بتن امکان حیات می دهد. محصول متابولیسمی این باکتری ها اسید سولفوریک است. واکنش اکسیداسیون توسط باکتری های اکسیدکننده سولفات طبق واکنش (۲) می باشد [۵-۶]:

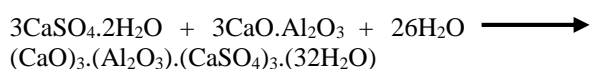


فرآیند خوردگی به وسیله واکنش بیولوژیکی اسید سولفوریک با مواد سیمانی بتن رخ داده و موجب تخریب سازه می گردد. اسید سولفوریک با ماتریس سیمان واکنش می دهد که اولین مرحله آن در واکنش (۳) نشان داده شده است [۵-۶].



این فرآیند به وسیله لایه خورده شده در سطح بتن مشخص می شود و پس از آب گیری، شامل سنگ گچ و رطوبت می باشد. گچ نیز تحت آب گیری با آلومینات مواد نامحلولی تولید می کند که تمایل به افزایش حجم دارد (واکنش (۴)) [۵].

واکنش (۴)



چنین افزایش حجمی سبب ایجاد شکست در بتن، افزایش تخلخل و در نتیجه افزایش نفوذ یون های خورنده می شود. با افزایش تخلخل، نفوذ دیگر یون ها نظیر سولفات و کلرید سریع تر

برای تشخیص محصولات خوردگی روی سطح بتن، نمونه مورد بررسی آنالیز XRD (X-Ray Diffraction) قرار گرفته شد و سپس با نرم افزار X'Pert HighScore تحلیل گردید.

### ۳- نتایج و بحث

در جدول (۱) دما و غلظتی که هر نمونه در آن قرار گرفته شد، آورده شده است.

نمونه‌ها پس از بیرون آوردن از آب به مدت ۱ ساعت درون آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس درون بشر با غلظت‌های به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۲ مولار سولفوریک اسید، روی هیتر با دماهای به ترتیب ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند.

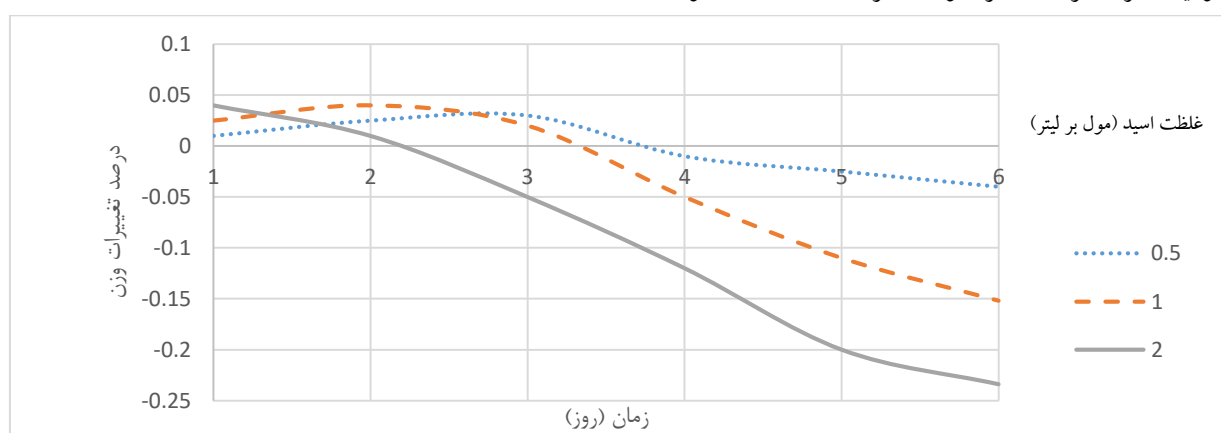
نرخ خوردگی توسط کاهش وزن پس از مدت ۶ روز، پس از شستشو با آب مقطر و قرارگیری در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، انجام گرفت و سپس سطح خورده شده توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳).

جدول (۱): مشخصات هر نمونه

شماره نمونه	وزن اولیه (گرم)	وزن نهایی (گرم)	غلظت سولفوریک اسید (mol/L)	دما (°C)	درصد کاهش وزن بعد از ۶ روز
۱	۲۷۷/۸	۲۷۳/۶	۰/۵	۳۰	۱/۵
۲	۲۷۱/۸	۲۶۱/۱	۰/۵	۴۰	۴
۳	۲۷۲/۳	۲۵۴	۰/۵	۵۰	۶/۷
۴	۲۷۹/۶	۲۴۲/۳	۱	۳۰	۱۳/۳۴
۵	۲۷۶/۸	۲۳۴/۷	۱	۴۰	۱۵/۲
۶	۲۹۳/۵	۲۴۱/۹	۱	۵۰	۱۷/۶
۷	۲۹۴	۲۲۸/۵	۲	۳۰	۲۲/۳
۸	۲۷۵/۳	۲۱۰/۹	۲	۴۰	۲۳/۴
۹	۲۷۷/۱	۲۰۶/۵	۲	۵۰	۲۵/۵

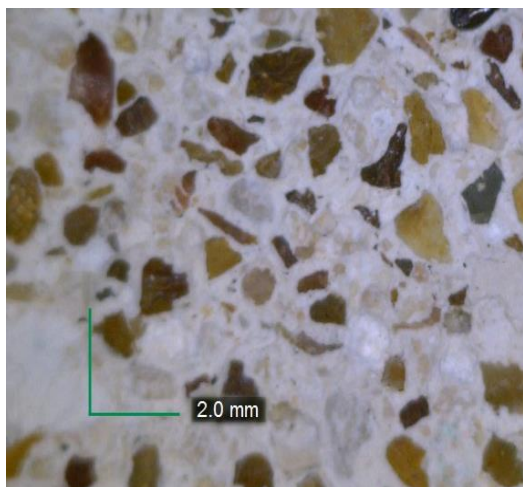
بیرون آورده شد و در آون ۸۰ درجه سانتیگراد خشک و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

به دلیل وجود رفتار مشابه برای نمونه در دماهای مختلف، ۳ نمونه در دمای یکسان ولی در غلظت‌های متفاوت اسید سولفوریک قرار گرفت و هر نمونه را هر ۲۴ ساعت از محلول



شکل (۳): تغییرات وزن نمونه‌ها در غلظت‌های مختلف اسید سولفوریک در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد

(۵). تشکیل این محصول سبب افزایش حجم بتن و سپس تخریب نمونه گردیده است [۵-۶].

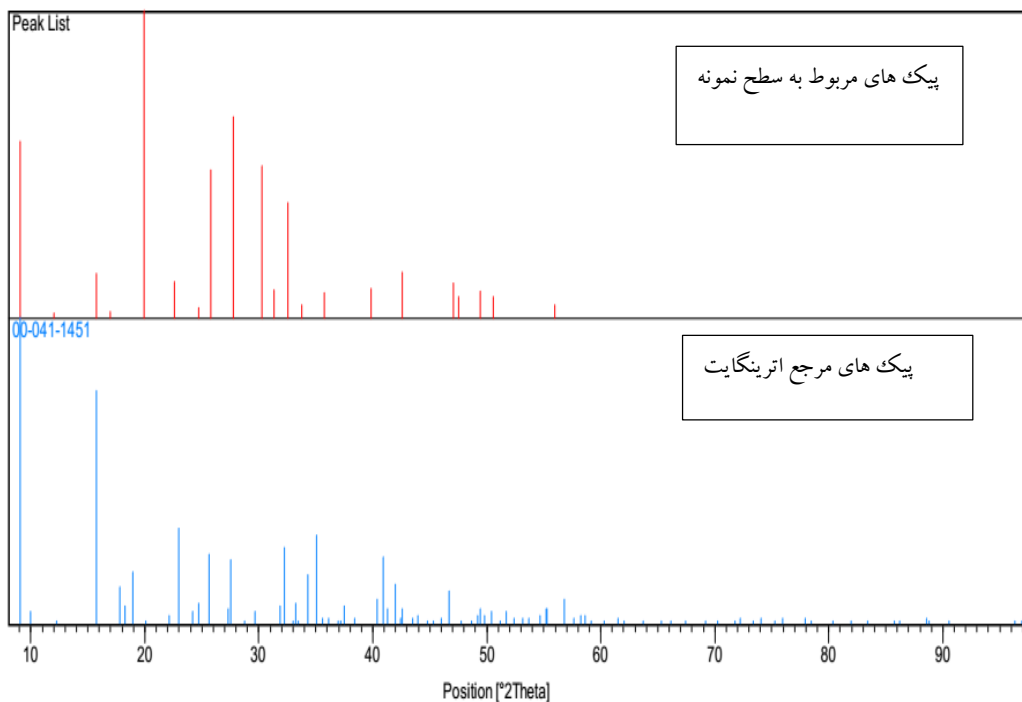


شکل (۴): سطح بتن خورده شده با بزرگنمایی ۲۰ برابر

همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می شود، ابتدا نمونه ها به دلیل پر شدن خلل و فرج های سطح بتن از محصولات خوردگی افزایش وزن داشته سپس با افزایش حجم محصولات خوردگی و تخریب بتن، کاهش وزن صورت گرفت. هرچه غلظت اسید کمتر باشد، مدت زمان بیشتری برای پر شدن این خلل و فرج ها لازم است.

بررسی های میکروسکوپی سطح خورده شده حاکی از وجود ترکیب اترینگایت (Ettringite) می باشد. (مناطق سفید رنگ در شکل (۴))

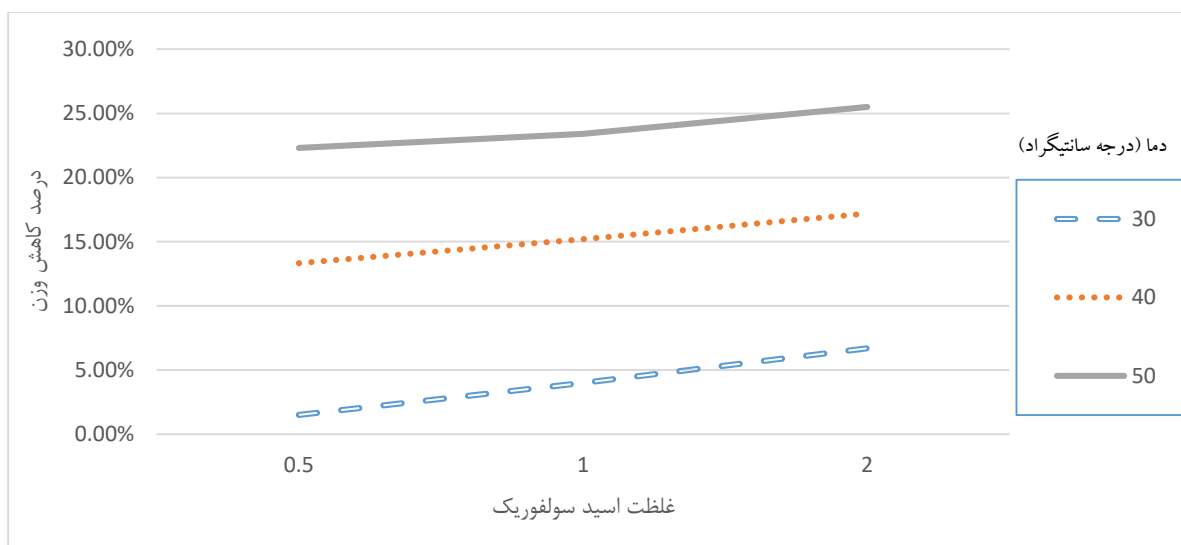
همچنین مقایسه پیک های آنالیز XRD سطح نمونه با پیک های مرجع در نرم افزار وجود اترینگایت را به عنوان محصول خوردگی تایید می کند. دیگر پیک های موجود در آنالیز XRD مربوط به محصولات هیدراته سیمان می باشد (شکل



شکل (۵): مقایسه پیک های مربوط به آنالیز XRD نمونه و پیک های مرجع اترینگایت

گیری صورت گرفته و همچنین با افزایش غلظت اسید سولفوریک میزان خوردگی افزایش یافته است.

همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می شود، با افزایش دما به دلیل افزایش سرعت واکنش های شیمیایی، درصد کاهش وزن چشم -



شکل (۶): درصد کاهش وزن نمونه ها بر حسب غلظت اسید در دماهای مختلف

[1] W. E. Shook & L. W. Bell, "Corrosion control in pipe and manholes", Technical Presentation Water Environmental Federation, pp. 28-33, 1998.

[2] R. Chandler, "Corrosion control in wastewater systems", 33<sup>rd</sup> Annual Old Water Industry Operations Workshop Indoor Sports Center, Carrara-Gold coast, pp. 36-42, 2008.

[۳] ز. خادم مدرسی، ر. بازرگان لاری و ف. بختیاری، "بررسی خوردگی میکروبی شبکه فاضلاب رو بستی شهرستان مرودشت با توجه به غلظت سولفید هیدروژن"، همایش ملی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، صفحه ۹۷-۱۰۴، ۱۳۹۱.

[4] A. H. Nielsen, J. Vollertsen, H. S. Jensen, H. I. Madsen & T. Hvitved-Jacobsen, "Aerobic and anaerobic transformations of sulfide in a sewer system", Water Environment Foundation, Vol. 6, pp. 3654-3670, 2006.

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

[6] M. Moradian, M. Shekarche, F. Pargar, A. Bonakdar, M. Valipour, "Deterioration of concrete caused by complex attack in sewage treatment plant environment", J. Perform. Constr. Facil, Vol. 26, pp. 124-134, 2012.

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر افزایش میزان خوردگی با افزایش غلظت اسید بتن می باشد. بنابراین ضروری است که از تولید و تغلیظ اسید در فاضلابروها همانند توقف فعالیت باکتری های تولید کننده  $H_2S$ ، حذف منابع سولفید در فاضلاب و جلوگیری از راکد ماندن فاضلاب جلوگیری شود.

فعالیت های زیر را به این منظور می توان انجام داد:

۱- شستشو و تمیز کردن مکانیکی سیستم های فاضلابرو، جهت حذف و خارج نمودن رسوبات موجود در کف سیستم فاضلابرو به منظور جلوگیری از فعالیت باکتری ها.

۲- هوا دهی سیستم جمع آوری فاضلاب جهت حذف گاز سولفید هیدروژن و جلوگیری از تشکیل سولفوریک اسید در تاج لوله های فاضلاب.

۳- اضافه کردن یون های فلزی به محلول فاضلاب جهت جذب یون های سولفید محلول و رسوب آن ها و جلوگیری از تشکیل گاز سولفید هیدروژن.

۴- کف رومی مکرر جهت حذف روغن به عنوان مواد مغذی لازم برای رشد باکتری ها.

#### ۵- منابع

[۱۰] آیین نامه بتن ایران (آبا)، انتشارات مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۷۹.

[11] ASTM C913, "Standard Specification for Precast Concrete Water and Wastewater Structures", 2002.

[12] ASTM C192/C192M, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", 2002.

[۷] ی. پریش، ا. مرادی، ع. احمدلو و ف. نجائی آبادی، "ارزیابی راهکارهای مقاوم سازی لوله های بتنی فاضلابروها"، اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز-ایران، صفحه ۷-۱۳۸۸.

[8] ASTM C150, "Standard Specification for Portland Cement", 2004.

[9] ASTM C595, "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements", 2003.