

سولفید، سولفور باکترها

و نقش آنها در خوردگی بیولوژیکی

وروشهای کنترل خوردگی در لوله‌های آب و فاضلاب

ذبیح‌ا.. یوسفی^۱



چکیده

با توجه به اهمیت سولفیدها از لحاظ ایجاد بو و خوردگی در تأسیسات فلزی و بتنی تصفیه‌خانه‌ها و لوله‌های آب و فاضلاب و همچنین نقش سولفور باکترها در خوردگی میکربی، مروری بر میکروبیولوژی سولفیدها و سولفور باکترها، خوردگی بیولوژیکی فاضلاب‌روها توسط باکتریهای احیاکننده سولفات، پدیده تورسل و خوردگی در لوله‌های آبرسانی، عفونت و مشکلات سولفید در آب و فاضلاب، عوامل مؤثر در تشکیل هیدروژن سولفید در فاضلاب‌روها، روشهای کاهش مشکلات خوردگی و بو در فاضلاب‌روها و روشهای حذف سولفید در فاضلابهای صنعتی سولفوردار قبل از ورود آنها به فاضلاب‌روهای شهری ضروری به نظر می‌رسد.

۱- مقدمه:

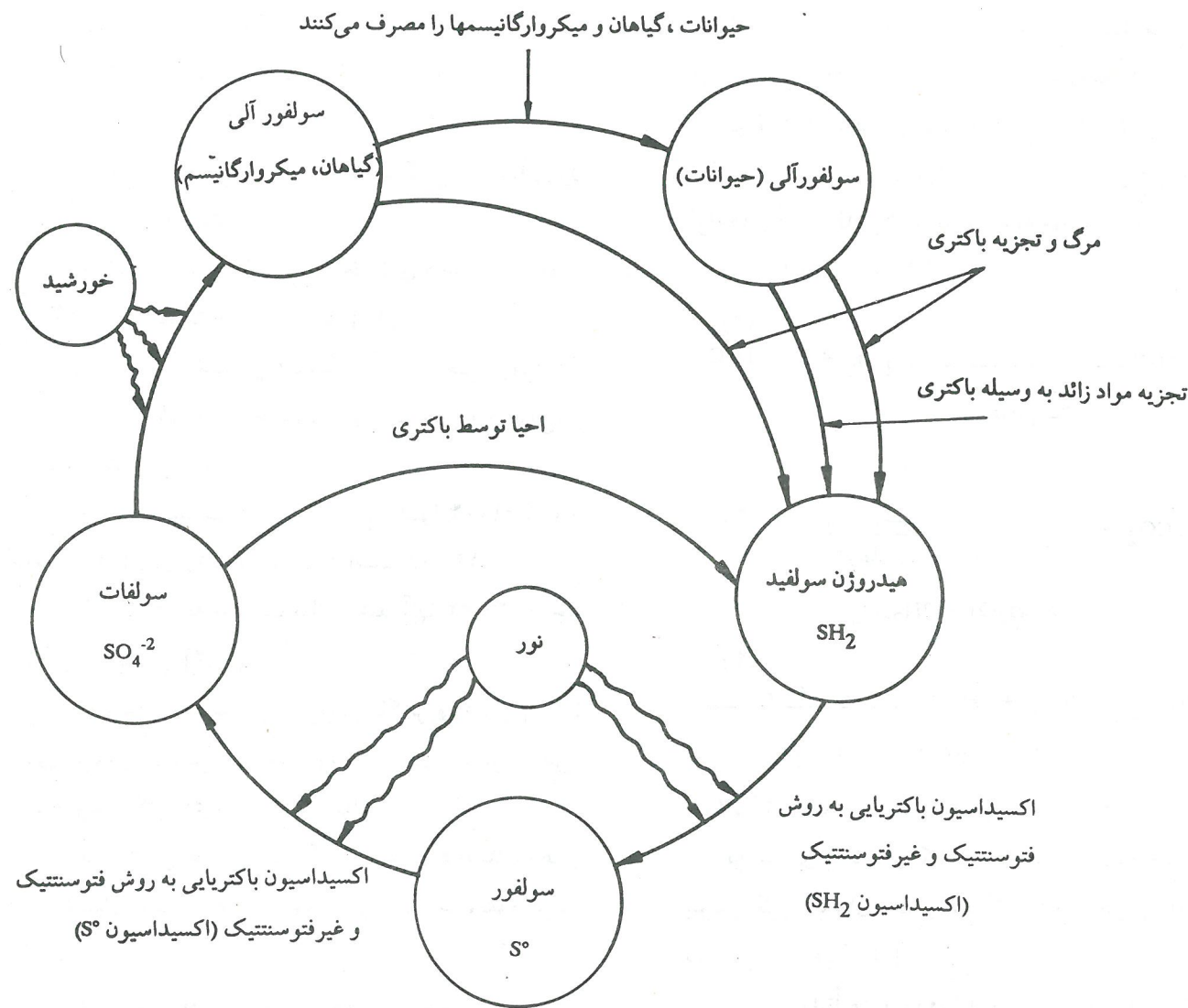
سولفیدها جزء آلاینده‌هایی هستند که محدودیتهای شدیدی جهت حضور آنها در لوله‌های آب و فاضلاب در سراسر دنیا اعمال می‌شود. سولفیدها علاوه بر مشکلات بو و خوردگی تأسیسات فلزی و بتنی در تصفیه‌خانه‌ها و لوله‌های آب و فاضلاب سبب مسمومیت عوامل بیولوژیک فاضلاب یعنی باکتریها نیز می‌شوند و کار تصفیه را مختل می‌سازند. علاوه بر آن، سبب کاهش و حذف اکسیژن محلول فاضلاب و آب پذیرنده و مرگ آبزیان

می‌شوند. خطرات سمی و مرگبار آنها برای پرسنل شبکه‌های فاضلاب‌رو و تصفیه‌خانه‌ها بسیار بالاست و غالب تلفات پرسنل تأسیسات فاضلاب در سراسر جهان به سولفیدها مرتبط است. لذا، روشهای متنوعی برای حذف سولفید و یا پیشگیری از تشکیل آن در لوله‌های آب و فاضلاب مطرح است. از آنجا که خوردگی عمده در سیستمهای فاضلاب از نوع بیولوژیکی است و سولفور

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت ساری

باکترها نقش اصلی را در خوردگی میکربی به عهده دارند، بررسی و مطالعه این گروه باکتریها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله، چگونگی شناسایی سولفور باکترها، شرایط مناسب رشد آنها، راههای پیشگیری از تشکیل سولفیدها، گزینه‌های مختلف حذف آنها و پیشنهاد راه‌های مناسب برای جلوگیری از خوردگی بیولوژیکی

لوله‌های آب و فاضلاب مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شکلهای عمده سولفور که در آلودگی آب اهمیت ویژه‌ای دارند عبارتند از: هیدروژن سولفید (SH₂)، سولفور عنصری (S⁰) و سولفات (SO₄⁻²). ارتباط این فرمهای گوگردی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱: سیکل سولفور در طبیعت و فرمهای مختلف و مهم سولفور در آب و فاضلاب [۱۰]

۲- میکروبیولوژی سولفید و سولفور باکترها:
سولفور باکترها از نظر اکسیداسیون و احیاء دو دسته‌اند:

- ۱) باکتریهای احیا کننده سولفات یا ترکیبات سولفور
- ۲) باکتریهای اکسید کننده سولفور

۱-۲- مشخصات باکتریهای احیا کننده سولفات
- گرم منفی و بی‌هوازی مطلق‌اند.

- الکترون گیرنده آنها عبارتند از: سولفات، سولفور عنصری (S°) و دیگر ترکیبات اکسید شده سولفور.

- الکترون دهنده آنها عبارتند از: اسیدهای آلی، اسیدهای چرب و الکلهای.

- محصول عمل احیا توسط باکتریها، هیدروژن سولفید (SH₂) است.

- برخی گونه‌ها متابولیسم تخمیری داشته و برخی دیگر توانایی تثبیت ازت را دارند [۱۴].

- محل‌های رشد و اقامتگاه آنها: لجن بیهوازی، رسوبات آب شیرین، محیط‌های آبی لب شور و دریایی، و دستگاه گوارش انسان و حیوان.

- دامنه تغییرات pH برای رشد آنها ۴/۲-۱۰/۴ و بهترین pH برای رشد ۷/۵-۷/۲ است [۱۴، ۳].

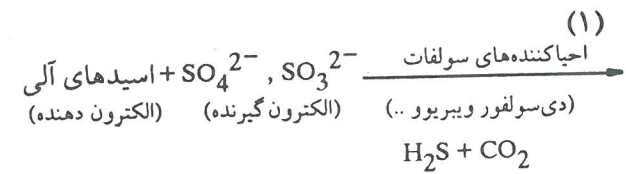
- بهترین درجه حرارت برای رشد آنها ۲۴-۴۲ درجه سانتیگراد است [۷، ۳].

- جنس‌های مختلف این گروه از باکتریها عبارتند از: دی‌سولفوروموناس، دی‌سولفوویبریو، دی‌سولفوموناس، دی‌سولفوفاکتر، دی‌سولفوسارسینا و ...

- مهمترین جنس این گروه که در فاضلاب‌ها و لوله‌های آب نقش عمده دارد، دی‌سولفوویبریو است.

- دی‌سولفوریکانس مهمترین گونه از جنس دی‌سولفوویبریو است که در خوردگی بیولوژیکی سیستم‌های آب و فاضلاب نقش دارد [۱۱، ۱].

- واکنش بیوشیمیایی باکتریهای احیا کننده سولفات به صورت رابطه زیر است:

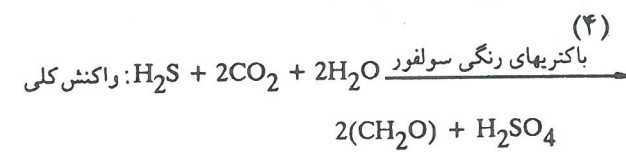
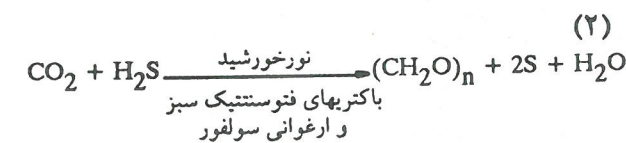


۲-۲- باکتریهای اکسید کننده سولفور

اکسید کننده‌های سولفور دو سری هستند:

الف) باکتریهای سبز و ارغوانی سولفور (فتوسنتتیک)

این سری باکتریها، جز یکی از آنها، همگی فتوتروف و بیهوازی اجباری‌اند، انرژی را از نور خورشید می‌گیرند و در فتوسنتز، SH₂ الکترون دهنده است که به S° و در نهایت به سولفات اکسید می‌شود (واکنشهای زیر). این سری باکتریها بیشتر در بومهای دریایی حضور دارند و در لوله‌های آب و فاضلاب (با توجه به محیط تاریک لوله‌ها) حضور ندارند [۱۴، ۷، ۱].



ب) باکتریهای بی‌رنگ سولفور

این سری باکتریها که نقش عمده‌ای در خوردگی بیولوژیکی لوله‌های آب و فاضلاب دارند هوازی‌اند و در تاریکی رشد می‌کنند [۷، ۱].

برخی عمدتاً هتروتروف‌اند و برخی رشد اتوتروف دارند. متابولیسم کربن این باکتریها از اتوتروف کامل تا هتروتروف کامل متغیر است. چهار جنس تیوباسیلوس^۱ تیودندران^۲، بژیاتوآ^۳ و سولفولوبوس^۴ رشد لیتوتروف

1- Thiobacillus

2- Thiodendran

دارند، یا سولفور احیا شده (SH₂ و ...) منبع انرژی آنهاست [۱۴، ۷].

- بژیاتوآ یک باکتری رشته‌ای است که از نظر متابولیسم میکسوتروف^۵ است [۱۲].

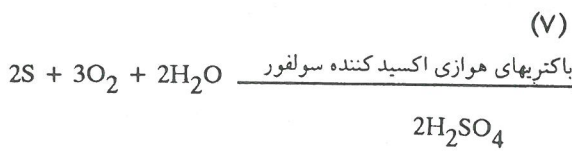
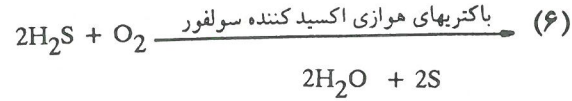
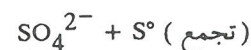
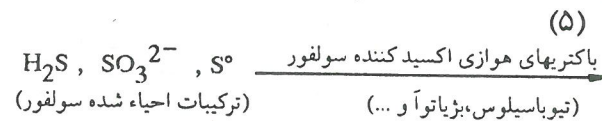
- سولفولوبوس یک ارگانسیم غیرعادی است که در چشمه‌های آبگرم اسیدی کشف شده و دمای ۸۵-۵۵ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کند. دمای مناسب رشد آن ۷۵-۷۰ درجه سانتیگراد، دامنه pH آن ۵/۸-۰/۹ و pH مناسب آن ۳-۲ است، رشد شیمو لیتوتروف^۶ دارد و S° منبع انرژی آن است، اما می‌تواند شیمو ارگانوتروف^۷ باشد [۷].

- تیودندران یک باکتری ساقه‌دار است که برای رشد به SH₂ نیاز دارد [۷].

- کلیه گونه‌های تیوباسیلوس هوازی‌اند و اکسیژن الکترون گیرنده نهایی است، جز تیوباسیلوس دنیتریفیکانس^۸ که نترات الکترون پذیرنده نهایی است. چهارگونه از تیوباسیلوسها رشد شیمو لیتوتروف دارند و به CO₂ و سولفور یا ترکیبات احیا شده آن به عنوان منبع انرژی و الکترون دهنده نیاز دارند [۷].

- گونه پنجم، تیوباسیلوس فرواکسیدانس است که قادر است آهن فرو یا ترکیبات سولفور هر دو را اکسید کند. از بین گونه‌های تیوباسیلوس، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و تیوباسیلوس فرواکسیدانس قابلیت رشد مناسب در pH خیلی اسیدی را دارند اما سه تای دیگر در pH حدود ۷ بهتر رشد می‌کنند [۱۴، ۷، ۲].

- کلیه گونه‌های تیوباسیلوس قادرند ترکیبات متعدد سولفور را اکسید کنند. در مرحله اول، سولفور عنصری (S°) (تشکیل می‌شود و به صورت دانه‌های سولفور در بیرون سولفور تجمع می‌یابد و در نهایت به سولفات اکسید می‌شود که pH را بسیار کم می‌کند (واکنشهای زیر):



- تیوباسیلوس تیواکسیدانس باعث خوردگی شدید فاضلاب‌روهای بتنی و تأسیسات می‌شود [۷، ۱].

- تیوباسیلوس پرومتابولیس جالب و غیرعادی است و یک میکسوتروف اجباری است و برای رشد خوب، بطور همزمان ترکیبات آلی و ترکیبات سولفور احیا شده لازم‌اند.

- هفت جنس دیگر از باکتریهای بی‌رنگ سولفور قادر به اکسید کردن سولفید به سولفور عنصری هستند و در آب‌های شیرین یا شور حاوی SH₂ حضور دارند و گرانولهای داخل سلولی سولفور را ایجاد می‌کنند. اسامی آنها عبارتست از: تیوتریکس، تیوباکتریوم، تیپلوکا، اگروماتیوم، ماکروموناس، تیولوم و تیوسفیرا.

- در بین اکسید کننده‌های بی‌رنگ سولفور، جنس‌های بژیاتوآ و تیوباسیلوس برای لوله‌های آب آشامیدنی و فاضلاب‌ها اهمیت زیادی دارند. معروفترین جنس بژیاتوآ، همان بژیاتوآ آلبا^۹ است که یک باکتری گرم منفی است، رشته‌هایی به قطر ۵-۲/۵ میکرون دارد، حضور آن در آب به عنوان یک شاخص بیولوژیکی محسوب می‌شود، و نشان دهنده حضور SH₂ در آب‌های زیرزمینی و سطحی است [۱۱، ۷].

جنس تیوباسیلوس در خوردگی بیولوژیکی بسیار اهمیت دارد. تیوباسیلوس تیواکسیدانس محیط اسیدی قوی را ترجیح می‌دهد. لذا در سیستم‌های آبرسانی رشد آن نادر است اما در فاضلاب‌ها حضور دارد [۱۱، ۲، ۱].

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 3- Beggiatoa | 4- Sulfolobus |
| 5- Mixotroph | 6- Chemolitotroph |
| 7- Chemoorganotroph | 8- T.denitrificans |
| 9- Beggiatoa alba | |

۳- خوردگی بیولوژیکی فاضلابروها توسط سولفور باکترها

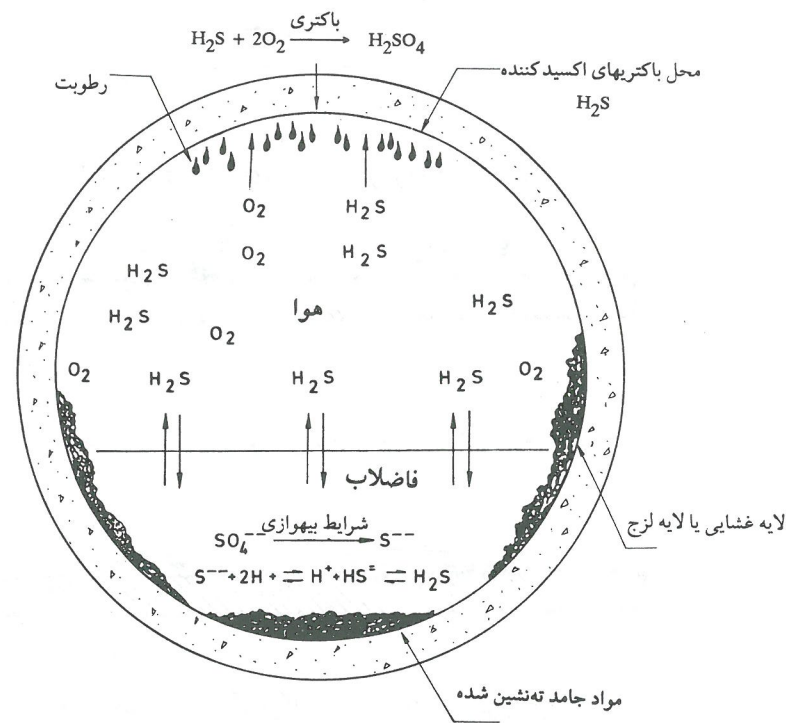
عامل اصلی خوردگی بیولوژیکی، شرایط مناسب برای حضور و رشد باکتریهای احیاکننده سولفات در لوله‌های فاضلاب است. بدیهی است طراحی نامناسب شبکه فاضلاب و شیب ناکافی سبب تجمع رسوبات در لوله می‌شود که عاملی است برای احیای سولفات توسط باکتریهای احیاکننده سولفات مثل "دی سولفوویبریودی سولفوریکانس" که حاصل آن گاز SH_2 است و در اثر تلاطم وارد اتمسفر فوقانی لوله‌های فاضلاب می‌شود. با ورود گاز SH_2 به قسمت فوقانی داخل فاضلابرو و حضور رطوبت و اکسیژن، شرایط برای واکنش اکسیداسیون سولفید توسط باکتریهای اکسیدکننده هوازی سولفور مثل تیوباسیلوسها مهیا می‌شود و حاصل آن اسید سولفوریک است که علاوه بر خوردگی لوله‌های فلزی، با انحلال

کلسیم موجود در بتن سبب تضعیف و خوردگی لوله‌های بتنی می‌شود [۲، ۷، ۱۱].

جنس تیوباسیلوس در خوردگی بیولوژیکی بسیار پراهمیت است. تیوباسیلوس تیواکسیدانس قابلیت اکسید کردن سولفور و ترکیبات سولفور را به فرم اسید سولفوریک دارد [۱، ۷، ۱۱].

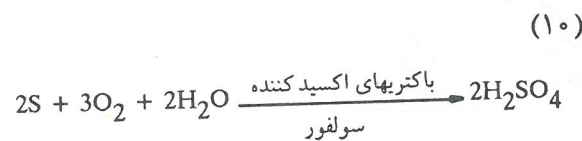
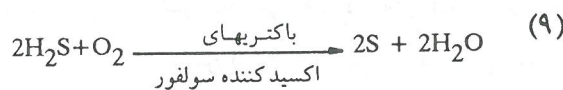
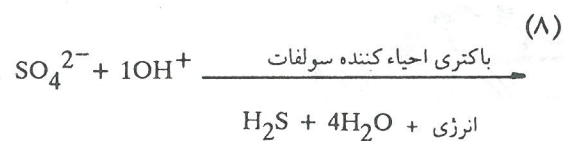
شرایط مطلوب برای خوردگی بیولوژیکی توسط سولفور باکترها عبارتست از: محیط بیهوازی، pH مناسب در محدوده ۵/۵ - ۸/۵، حضور سولفات در آب یا فاضلاب، حضور مواد غیرآلی (فسفات و آهن دو ظرفیتی) و مواد آلی برای رشد باکتریها و دمای مناسب رشد بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد.

شکلهای ۲ و ۳ مراحل خوردگی بیولوژیکی در لوله‌های فاضلاب را نشان می‌دهند.



شکل شماره ۳: مراحل تولید SH_2 در فاضلابروها

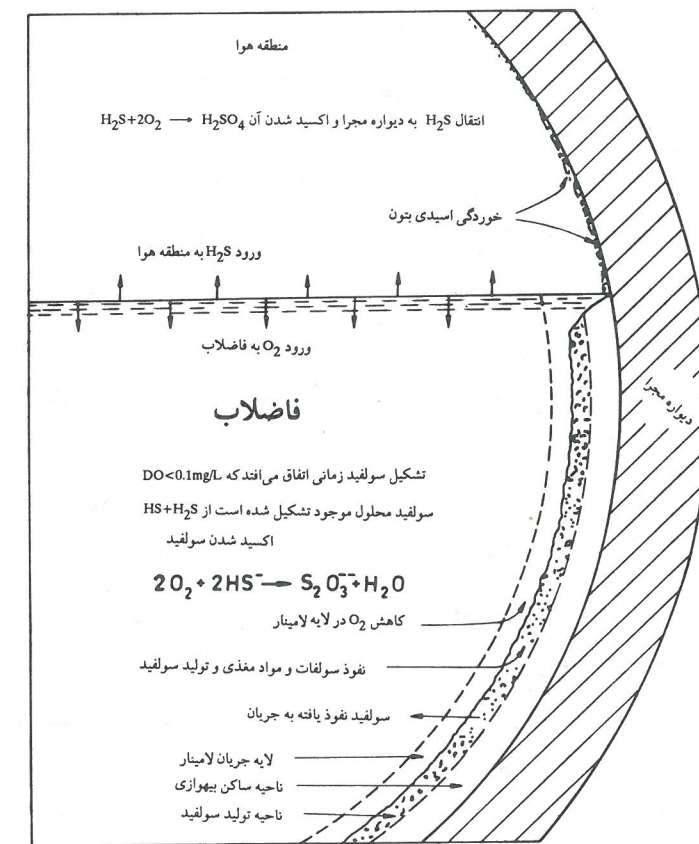
باکتریهای احیاکننده سولفات یون SO_4^{2-} را به SH_2 تبدیل می‌کنند و SH_2 با آهن به فرم سولفید فریک واکنش می‌دهد و سولفورهایی که از لابلای هیدروکسید فریک متخلخل فرار می‌کنند توسط باکتری سولفور "بژیاتوآ" به اسید سولفوریک اکسید می‌شوند.



۴- توبرسل، پدیده خوردگی بیولوژیکی در لوله‌های آبرسانی

توبرسل^۱، معمولترین پدیده خوردگی بیولوژیکی یک سیستم لوله‌کشی است و بیشتر در مناطقی تشکیل می‌شود که سرعت جریان در لوله کمتر از ۹۰ سانتیمتر در ثانیه است. پدیده توبرسل به این ترتیب است که ارگانیسهای رشته‌ای در رسوبات بیولوژیکی در جدار داخلی لوله‌های آب شروع به رشد و چسبیدن به دیواره لوله کرده و غلافی را تشکیل می‌دهند که با ته نشینی اکسید آهن ضخیم‌تر می‌شود. با چسبیدن سر دیگر ارگانیسهای رشته‌ای به دیواره لوله، حفره‌ای سلول مانند درست می‌شود که باکتریها با ایجاد SH_2 ، CO_2 محیط حفره سلولی را اسیدی کرده و لوله را خورده و سوراخ می‌کنند. علاوه بر آن، مزه و بوی آب را نیز تغییر می‌دهند. شکل ۴ مراحل پیشرفت خوردگی بیولوژیکی لوله‌های آب و پدیده توبرسل را نشان می‌دهد.

بنابراین، مسیرهای خطوط لوله آب در یک تأسیسات فولاد ممکن است حیات چند ماهه داشته باشند زیرا



شکل شماره ۲: مراحل جاری در فاضلابروهای با جریان آزاد تحت شرایط تولید سولفید

1- Tubercell

جریان آب



ارگانیسمهای رشته‌ای به یکدیگر نزدیک می‌شوند



مرحله ضخیم شدن لایه، افزایش دانسیته و افزایش جرم باکتری



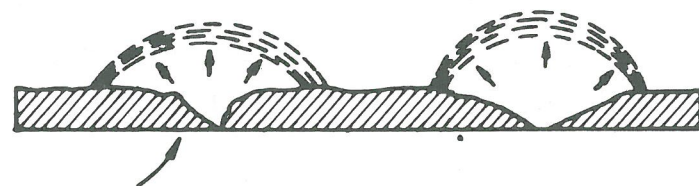
مرحله اتصال سر دیگر ارگانیسم رشته‌ای به دیواره لوله

با انتشار گازهای H_2S و CO_2 به علت فعالیت بیولوژیکی، جرم ارگانیسم منبسط شده و توبرسل تشکیل می‌شود.

در این مرحله، pH آب قسمت داخلی توبرسل کاهش می‌یابد که این مسئله موجب خوردگی قسمت زیرین توبرسل می‌شود.



توبرسل به رشد بیشتر ادامه می‌دهد. لایه‌های ارگانیسم با رسوبات آهن و دیگر محصولات خوردگی ضخامت بیشتری می‌یابد. محیط پایین از نظر pH در زیر توبرسل سبب خوردگی شدید و حتی سوراخ شدن دیواره لوله می‌شود.



شکل شماره ۴: ارزیابی توبرسل [۱۱]

۵- عفونت و مشکلات سولفید در آب و فاضلاب:

مسائل و مشکلات عمده ایجاد شده توسط هیدروژن سولفید را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد [۲، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵]:

- ۱- هیدروژن سولفید گازی است سمی و کشنده و با بوی بسیار بد تخم مرغ گندیده.
- ۲- عامل خوردگی و تخریب دیوارها و تأسیسات بتنی و فلزی است.
- ۳- در غلظتهای کم عامل از دست رفتن عصب بویایی کارگران و اپراتورها می‌شود.
- ۴- حضور آن در آب سبب سیاه شدن ظروف نقره‌ای و بی‌رنگ شدن ظروف سربی می‌شود.
- ۵- با آهن تشکیل سولفید آهن می‌دهد و در لباسشویی‌ها، صنایع کاغذسازی، و نساجی ایجاد مشکل می‌نماید.
- ۶- سمیت بیولوژیکی بر روی عوامل تصفیه بیولوژیک (باکتریها) یا اثر بازدارندگی در غلظتهای کم در حد ۲۰ میلیگرم در لیتر (EPA) دارد و نیز ماهیهای آب شیرین حتی در غلظتهای کم آن می‌میرند.
- ۷- در غلظت ۴/۳ درصد حجمی در هوا منفجر می‌شود و دمای اشتعال آن ۲۷۰ درجه سانتیگراد است.
- ۸- غلظتهای بسیار کم آن تا حد ۰/۲ میلیگرم در لیتر، رشد بژیاتوآ را افزایش می‌دهد.

۶- عوامل مؤثر در تشکیل هیدروژن سولفید در فاضلابرها

- ۱- ورود ترکیبات سولفوردار از طریق فاضلاب خانگی، صنعتی، و تجاری به فاضلابرها
- ۲- حضور باکتریهای احیاکننده سولفات مثل "دی‌سولفوروبیریودی سولفوریکاتس" در شرایط بیهوازی فاضلاب
- ۳- بالا بودن غلظت سولفات، BOD و دما در فاضلاب [۲، ۹، ۱۱]
- ۴- سرعت کم جریان و عدم وجود هوای کافی در کانال

فاضلاب

۵- رسوب لجن

۶- SH_2 در فاضلابروهای اصلی و با زمان ماند بالای ۳۰-۲۰ دقیقه تشکیل می‌شود.

۷- SH_2 در فاضلابروهای نیمه پر (جریان آزاد) با لجنهای شناور و ته نشین شده تشکیل می‌شود.

۸- عملاً تشکیل SH_2 در فاضلابروها با BOD کمتر از ۵۰ میلیگرم در لیتر مشکوک است [۱۱].

۹- تولید سولفید در لجن به نسبت سولفات بستگی دارد که در حد ۲/۳ است و در غلظتهای بالای مواد آلی و غلظت کم سولفات، سرعت تولید سولفید متناسب با غلظت سولفات است [۱۱].

برای پیش بینی تشکیل SH_2 در فاضلابروهای با قطر کمتر از ۶۰۰ میلیمتر از رابطه Pomery استفاده می‌شود:

$$Z = \frac{3 [E \text{ BOD}] P}{S^{1/2} \cdot Q^{1/3} \cdot b} \quad (11)$$

که در این رابطه:

$$E \text{ BOD} = \text{BOD}_5 (1.07)^{T-20}$$

T = درجه حرارت، سانتیگراد

S = شیب فاضلابرو، متر در ۱۰۰ متر

Q = دبی فاضلاب، لیتر در ثانیه

P = محیط خیس شده

b = سطح عرضی خیس شده

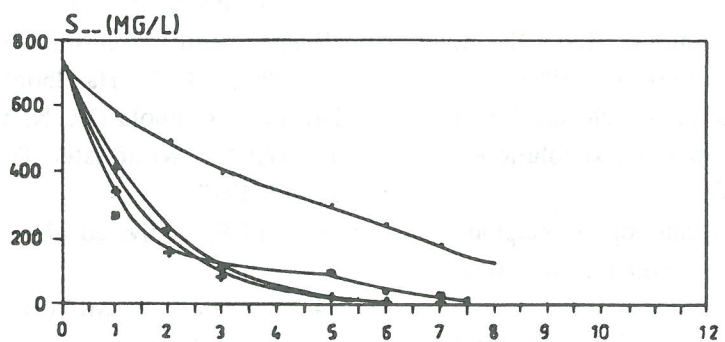
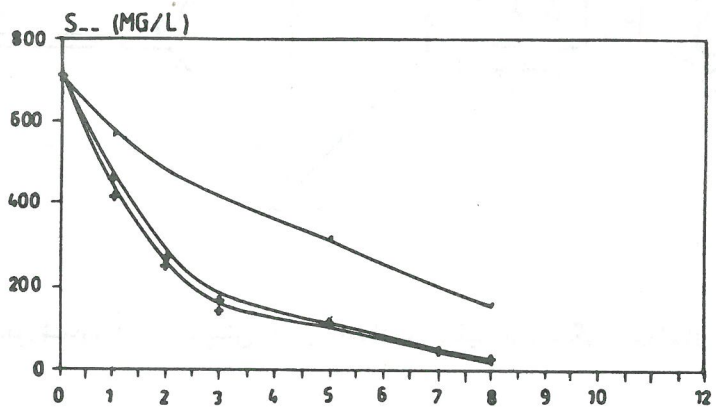
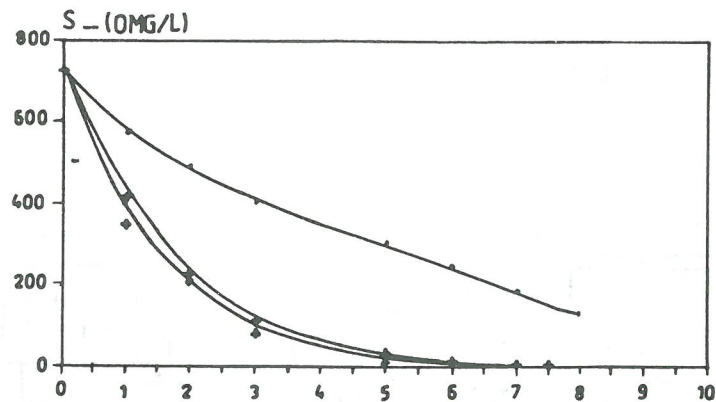
Z = پتانسیل تولید سولفید، بی بعد

جدول ۱ حد مقادیر Z را برای تشکیل SH_2 و پیامدهای آن نشان می‌دهد [۲، ۱۱، ۱۵].

جدول ۱: تشکیل SH_2 و مشکلات ناشی از آن

بر حسب پارامتر Z

$Z < 5000$	سولفید به ندرت حضور دارد
$Z \approx 7500$	غلظتهای کم سولفید تشکیل می‌شود
$Z \approx 10000$	به حد کافی مشکلات بو و خوردگی گسترش می‌یابد
$Z > 10000$	ایجاد SH_2 بالاست
$Z \approx 15000$	مشکلات عمده بو و خوردگی ناشی از SH_2



شکل شماره ۵: مقایسه اکسیداسیون کاتالیستی و ترسیب سولفید

۷- روشهای کاهش مشکلات خوردگی و بو در فاضلابروها

- ۱- اکسیداسیون سولفید قبل از ورود به اتمسفر لوله‌های فاضلاب (با استفاده از O_2 یا مواد شیمیایی مثل کلر، ازن، پراکسید هیدروژن، پرمنگنات، و گاز SO_2)
- ۲- تبدیل SH_2 به SH^- و S^{2-} با افزودن مواد قلیایی
- ۳- اجتناب از جریان متلاطم فاضلاب سپتیک شده برای جلوگیری از انتشار SH_2 در اتمسفر لوله‌ها
- ۴- پاکسازی گازهای منتشر شده فاضلابروها برای حذف بو
- ۵- استفاده از مواد مقاوم به خوردگی در ساخت لوله‌ها
- ۶- تمیز کردن فاضلابروها برای پیشگیری از تجمع رسوبات و لجنها یا تأمین سرعت خودشستشویی لوله‌ها
- ۷- استفاده از کاتیونهای فلزی (مثل املاح آهن) برای رسوب سولفید
- ۸- پیش تصفیه فاضلابهای صنعتی سولفوردار قبل از ورود آنها به فاضلابروهای مشترک

۸- روشهای حذف سولفید در فاضلابهای صنعتی سولفوردار

برای حذف سولفید در فاضلابهای صنعتی سولفوردار، قبل از ورود آنها به فاضلابروهای شهری، می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- ۱- اکسیداسیون به وسیله هوا که در این روش حداقل ۷/۵ ساعت هوادهی در حد اشباع لازم است. علاوه بر آن، نیاز به حدود ۲۰۰ الی ۲۷۰ میلی‌گرم در لیتر کاتالیست سولفات منگنز می‌باشد. این روش گر چه نسبت به بقیه گزینه‌ها اقتصادی‌تر، عملی‌تر و متداولتر است اما در مقایسه با روش بیوتکنولوژیکی دارای هزینه انرژی بالایی است، و هزینه مصرف کاتالیست و ضد کف نیز به آن اضافه می‌شود [۴، ۱۵].
- ۲- اکسیداسیون سولفید به وسیله گاز SO_2 دودکش که در یک برج هوادهی با لوازم ضد خوردگی صورت می‌گیرد (البته به غلظت بالای سولفید جوابگو نیست).

۳- رسوبدهی با سولفات فرو که لجن آن خطرناک و موجب آلودگی خاک و آب می‌شود و هزینه اقتصادی آن نیز بالاست.

۴- اکسیداسیون به وسیله عوامل اکسیدان مثل H_2O_2 ، کلر، و پرمنگنات که هزینه بالایی را نیز دارند [۴، ۱۵].

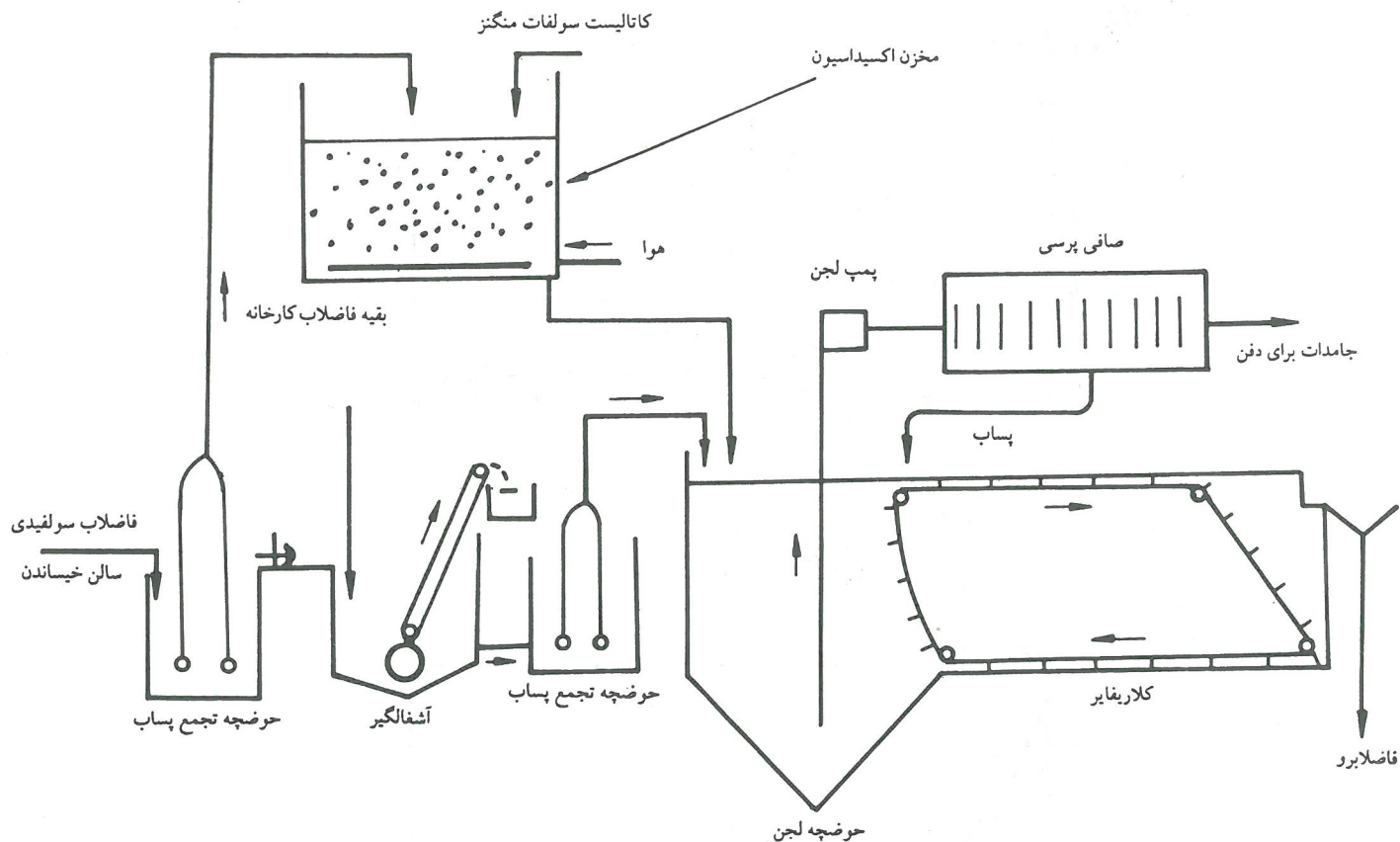
۵- بازیافت سولفید در یک محیط اسیدی به وسیله محلول جاذب $NaOH$ که باز هزینه اقتصادی دارد.

شکل ۵ اکسیداسیون کاتالیستی سولفید با مقادیر مختلف سولفات منگنز و همچنین مقایسه اکسیداسیون و ترسیب سولفید را نشان می‌دهد. در شکل ۶، طرح واحد پیش تصفیه فاضلاب سولفیددار و باقی فاضلابهای یک کارخانه چرمسازی به منظور ارسال آنها به شبکه فاضلابرو نشان داده شده است [۱۵].

۶- روش بیوتکنولوژیکی حذف سولفید از فاضلابهای صنعتی سولفوردار، که باکتریهای بی‌رنگ سولفوراز کمولیتوتروفهای اجباری متعلق به جنس تیوباسیلوس و تیو میکروسپیرا، سولفورلوبوس، ترموتریکس و پاراکوکوس با استفاده از اکسیداسیون ترکیبات غیرآلی سولفور انرژی لازم را کسب می‌کنند. در این روش، باکتریهای مذکور در داخل یک راکتور بیولوژیکی با سرعت حذف حدود ۱۰۰ میلیگرم در لیتر سولفید در ساعت و راندمان دفع ۹۹/۵ درصد، سولفید را حذف می‌کنند. اکسیژن لازم به باکتریها رسانده می‌شود و فرآیند اکسیداسیون باید عمده‌تاً جهت تولید سولفور عنصری (S^0) به جای سولفات کنترل شود.

مزایای روش جدید بیوتکنولوژی که توسط محققین مختلف تحت بررسی است عبارتست از:

- ۱- هیچ کاتالیست و اکسیدکننده‌ای غیر از هوا لازم نیست.
- ۲- هیچ لجن شیمیایی جهت دفع ایجاد نمی‌شود.
- ۳- انرژی کمی مصرف می‌شود.
- ۴- لجن بیولوژیکی کمی تولید می‌شود.
- ۵- استفاده مجدد از سولفور امکان پذیر است.
- ۶- در تخلیه پساب، مقدار سولفات یا تیوسولفات کمی وجود دارد.
- ۷- فرآیندی سریع با راندمان بالاست.



شکل شماره ۶: واحد پیش تصفیه فاضلاب سولفیددار و دیگر فاضلابهای چرمسازی

منابع مورد استفاده

- 1- APHA - AWWA - WPCF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 1989.
- 2- Boon, A. G., "Septicity in Sewers; causes, consequences and contaminants", J. IWEM, No. 6, Feb. 1992.
- 3- Brock, T.D., W. Smiths, and M. T. Madigan, "Biology of Microorganisms", Fourth ed., 1984.
- 4- Buisman C., et al. "Kinetics of chemical and biological sulphide oxidation in aqueous solutions", Wat. Res., Vol. 24, No. 2, 1990.
- 5- Buisman C., et al. "Biotechnological sulphide removal in three polyurethane carrer reactor", Wat. Res., Vol. 24, No. 2., 1990.
- 6- Forster, C. F., and D.A.J. Wase., "Environmental Biotechnology", Ellis Horwood Ltd., N.Y., 1987.
- 7- Gaudy Jr., A.F., and E. T. Gaudy, "Microbiology for Environmental Scientists and Engineers", 1981.
- 8- Mozell, E., "Oxygen injection cuts odors", Wat.

- Eng. & Management, Jan. 1985: pp. 42-43.
- 9- Sebastian, T. A., et al. "Natural detoxification of hydrogen sulphide laden aquatic effluent in the environment", Indian Envir. Protec., Vol. 5, No. 2, April 1985.
- 10- Tchobanoglous, G., and E. D. Schroeder, "Water Quality", Addison-Wesley Publ. Co., 1987.
- 11- White, G. C., "Handbook of Chlorination", Van Nostrand Reinhold Co., N. Y., 1986.
- 12- WPCF, "Wastewater Treatment Plant Design", ASCE, 1977.
- 13- WPCF, "Activated Sludge, Manual of Practice", VA, 1987.
- 14- Williams & Milkins, "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology", Vols. 1 & 3, 1989.

۱۵- ذبیح.. یوسفی، "فرآیندهای فیزیکیوشیمیایی حذف سولفید از فاضلاب صنعتی چرمسازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.