تأثير الغاز الحيوي في الأنابيب والتجهيزات التي تستخدمه في محطة معالجة مياه الصرف الصحي بدمشق

الدكتور المهندس سليمان الأعوج* **الأستاذ الدكتور المهندس محمد علي سلامة****

الملخص

تعدّ مشكلة تآكل أنابيب نقل الغاز الحيوي والتجهيزات التي تستخدم هذا الغاز مثل مجموعات التوليد الكهربائية والحراقات والضواغط في محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق (الكائنة في عدرا) من المشاكل المهمة التي تعاني منها المحطة على صعيد الواقع، لما يلحقه من أضرار اقتصادية ومادية بذلك المرفق الحيوي مما استدعى الدراسة والبحث. والغاز الحيوي هو ناتج عملية الهضم والتخمير اللا هوائي لمخلفات المعالجة (الحمأة)، ويحوي هذا الغاز نسبة جيدة (50-70%) من الميتان ذي الطاقة الحرارية الفعّالة بالغاز، وتعدّ تلك الطاقة شبه مجانية نظراً إلى انطلاق الغاز الحيوي بشكل تلقائي من عمليات المعالجة. إذ دُرِسَ خلال البحث الغاز الحيوي الناتج عن عمليات المعالجة بالمحطة وأُجْرِيَتِ التحاليل المخبرية عليه لفحص مكوناته، فضلاً عن اختبار مادة الأنابيب والترسبات المتراكمة داخلها جراء مرور الغاز بها.

ولدى تحليل النتائج وتقويمها استئناساً بالبحوث المنجزة في هذا الإطار، تبيّن أن هناك بعض المكونات للغاز مثل كبريت الهيدروجين (H_2S) وثاني أكسيد الكربون(CO_2) لها الدور الأكبر في حدوث النخر والتآكل النقطي الذي يؤدي إلى نخر الأنابيب وتآكلها بمعدل يصل إلى 1مم/السنة. أمَّا وجود الرطوبة في الغاز فضلاً عن وجود أنواع عديدة من البكتريا ترافق تشكل الغاز الحيوي منها بكتريا اختزال الكبريت (SRB) الأكثر شيوعاً وتأثيراً التي تسهم في زيادة معدل وسرعة التآكل لقيم أعلى بسبب تكوّن حموض أكالة ضارة بأنابيب نقل الغاز الحيوي وتجهيزات استخدامه. وجرى التوصل بنهاية البحث إلى ضرورة تركيب منظومة خاصة لتصفية الغاز الحيوي وفلترته لتخليصه من تلك المكونات الأكّالة والضارّة بكلٍّ من الأنابيب والتجهيزات ، وذلك فور استحصاله وقبل نقله أو استخدامه، وضرورة استبدال الأنابيب المتآكلة بأخرى من (HDPE)، فضلاً عن وضع صمامات تفريغ بالنقاط السفلية من دارة أنابيب الغاز، مع محاولة تخزين الغاز واستثماره في تعبئة الاسطوانات المنزلية في بعض حالات الصيانة أو تعطل التجهيزات بدلاً من حرق الكميات الزائدة منه مع تأكيد إتباع الصيانات الدورية والوقائية ونظام الأمن الصناعي والسلامة المهنية.

الكلمات المفتاحية:الغاز الحيوي – معالجة المخلفات السائلة – معالجة الحمأة – التخمير والهضم اللاهوائي – التآكل.

* قسم هندسة الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

** قسم هندسة التصميم الميكانيكي – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

1- مقدمة:

يعدّ الغاز الحيوي الناتج من معالجة المخلفات الصلبة والسائلة مصدراً جديداً ومتجدداً وشبه مجاني للطاقة، كما يسهم في الحد من مشكلة تلوث البيئة.

يتكون هذا الغاز الحيوي من مزيج من الغازات من أهمها غاز الميتان، الذي يشكل نسبة نحو (50-70)% من الغاز الحيوي. وتعدُّ محطات المعالجة المصدر الرئيس لإنتاج الغاز الحيوي الذي ينتج من إجراء تخمير وهضم لاهوائي لمخلفات المعالجة التي تُفْصَلُ عن المياه بسلسلة من العمليات والمراحل يجري بموجبها أكسدة المواد العضوية المختلفة الموجودة في مياه الصرف الصحي وتحويلها إلى مركبات مستقرة وكتلة حيوية تتألف في معظمها من البكتريا وبعض الكائنات الدقيقة وتسمى هذه المركبات العضوية بالحمأة.

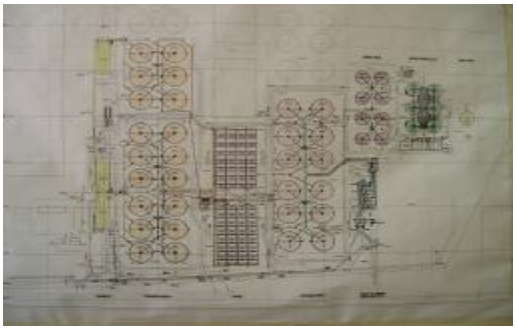
يمكن أن يتحقق تثبيت الحمأة بالعديد من الآليات كالهضم الحيوي الهوائي أو اللاهوائي في درجات حرارة معينة، وأكثر التطبيقات شيوعاً في محطات الصرف الصحي هو الهضم الحيوي اللاهوائي في درجات الحرارة المتوسطة، إذْ تخضع فيه النفايات الصلبة لمحطة معالجة الصرف الصحي المتولدة على هيئة حمأة إلى الاحتجاز في خزانات مغلقة (وحدات الهضم) محكمة السدّ لمنع دخول الهواء إليها مدداً طويلة نسبياً (20-40 يوماً) ، حيث ينتج عنها غاز حيوي يُجَمَّعُ ويُنْقَلُ عن طريق أنابيب إلى خزان خاص لاستخدامه كمصدر للطاقة الحرارية أو الكهربائية. ولكن ازدياد مرات الصيانة والإصلاح عن الحد المسموح به للتجهيزات الخاصة بالغاز وتعطل مجموعات توليد الكهرباء العاملة على الغاز الحيوي وخروجها عن الخدمة يدل على وجود مشكلة تتطلب الحل بحسب ما أشار إليه المعنيون في محطة المعالجة وما جاء في وثائق المحطة [3].

2- هدف البحث:

هَدَفَ هذا البحث إلى إلقاء الضوء على إحدى المشكلات التي تعاني منها محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق ذلك المرفق الحيوي المهم، إذْ تكمن هذه المشكلة في زيادة نسبة الإصلاحات عن الحد المسموح به في التجهيزات التي يستخدمها الغاز ولاسيَّما الحرّاقات والأنابيب ومجموعات التوليد الكهربائية، ومن ثم خروج تلك المجموعات من الخدمة، وهذا ما استدعى دراسة تلك المشكلة الواقعية من منظور أكاديمي والوصول إلى الأسباب التي دعت لظهور المشكلة، ومحاولة وضع الاقتراحات والحلول المناسبة .

3- مراحل معالجة مياه الصرف الصحي بدمشق والحصول على الغاز الحيوي:

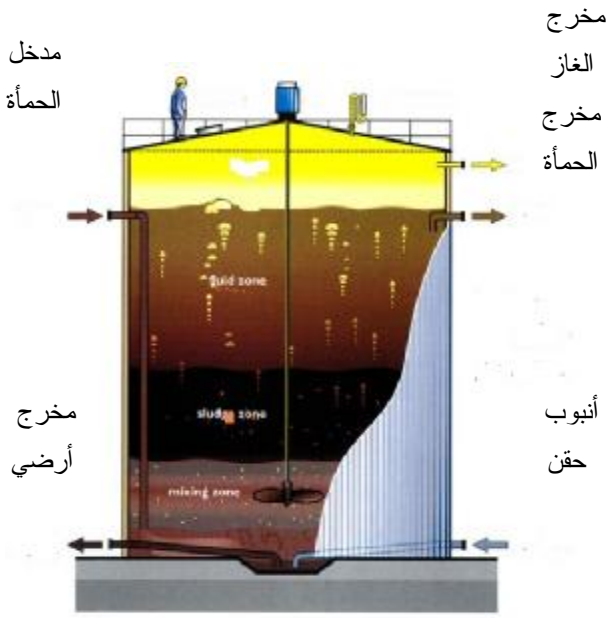
تعالج محطة عدرا الشكل (1) ما يقارب 375000 م3/اليوم من مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق، بحيث تمر تلك المياه بسلسلة من المراحل والعمليات من تصفية للشوائب والعوالق وترسيب الرمال والمواد غير العضوية ضمن أحواض إزالة الرمال، وإزالةالمواد العضوية في أحواض الترسيب الابتدائي مع المعالجة البيولوجية في أحواض التهوية المتبوعة بأحواض الترسيب الثانوي لترسيب المواد العضوية كلّها وفصل المياه عن المخلفات الصلبة (الحمأة)، يجري بعدها تعقيم المياه الناتجة للتمكن من إعادة استخدامها في الزراعة أو الصناعة أو غير ذلك. أمَّا الحمأة المترسبة فَتُجْرَى المعالجة اللازمة والمناسبة لها من تكثيف وتخمير لاهوائي وتجفيف لتصبح مستقرة وصالحة للاستخدام الآمن كسماد للتربة الفقيرة.



الشكل (1) مسقط لمحطة لمعالجة مياه مجاري دمشق

الغاز الحيوي ناتج مهم لعملية الهضم اللاهوائي للحمأة التي تجري في خزانات مغلقة ومحكمة كما في الشكل (2)، إذْ يجري تسخين الحمأة للوصول إلى درجة حرارة ثابتة ملائمة للجراثيم اللاهوائية، وتجري المحافظة على درجة الحرارة هذه بواسطة المبادل الحراري، وتجري عملية التخمير للحمأة في الهاضم وإنتاج الغازات المختلفة وفق المعادلة الآتية[10]:

$$\text{Organic matter} + H_2O + \text{nutrients} \xrightarrow{\text{محرك المازج}} \text{new cells + resistant organic matter} + CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \text{heat}$$



الشكل (2) مقطع في حوض تخمير وهضم لاهوائي الحمأة

يبلغ حجم خزان تجميع الغاز الحيوي (الشكل 3) نحو /11000/ م3 و هو بيتوني ذو سقف معدني فونت قابل للحركة يُمكّن من بيان نسبة امتلاء الخزان، إذْ إنَّ المكون الرئيس المفيد للغاز الحيوي هو الميتان، ليقوم بتغذية ثلاث مجموعات توليد غازية استطاعة كل واحدة منها /2.2/ ميغاواط ، فضلاً عن عدد من الحراقات لمراجل تسخين المياه. وفي حال زيادة كمية الغاز على الحد المطلوب للاستخدام تُحْرَقُ عن طريق شعلة.

الشكل (3) خزان تجميع الغاز

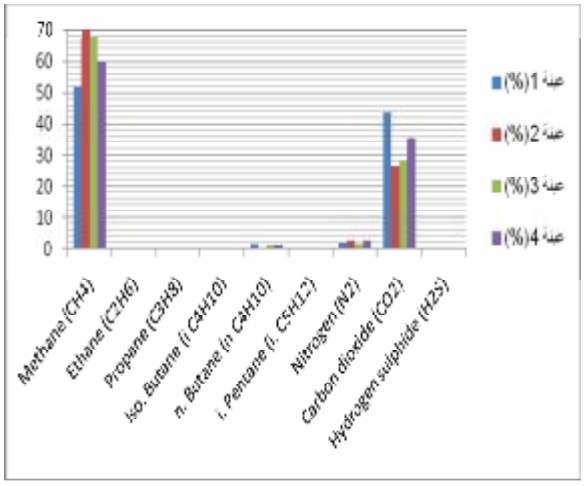
4- **المشكلة**: تعطل مجموعات التوليد الكهربائية وخروجها من الخدمة بعد معاناة الإدارة والفنيين من زيادة عدد مرات الصيانة والإصلاح؛ وذلك من خلال ارتفاع درجة الحرارة وفقدان الزيت لزوجته وخواصه بعد مدة وجيزة، واهتراء شديد بالقطع المعدنية الخاصة بالمحركات التي هي على تماس مع الغاز. فضلاً عمَّا تعرضت له التجهيزات الأخرى التي تستخدم الغاز بدءاً من الأنابيب التي ظهرت عليها علامات النخر والتآكل كما هو مبين في الشكل (4)، فضلاً عن مشكلات كل من الضواغط والحرّاقات التي زاد معدل مصروف قطعها التبديلية وصولاً إلى مرحلة توقف مجموعات توليد الكهرباء عن العمل وخرجها من الخدمة خلال مدة وجيزة من عمرها الفني المقرر.

الشكل (4) تآكل ونخر في أحد أنابيب نقل الغاز الحيوي

5- **بحث المشكلة ودراستها**: كان لا بدَّ في البداية من البحث في طبيعة الغاز الحيوي الناتج في محطة المعالجة وإجراء التحاليل اللازمة على مكوناته وآثاره في التجهيزات المختلفة ولاسيَّما الأنابيب والحرّاقات ومجموعات التوليد وغيرها.

ومن أجل ذلك قُطِفَتْ عدة عينات من الغاز الحيوي الناتج بعد الضاغط، وجرى تحليلها لدى المخبر المركزي والمتخصص في محطة مصفاة حمص، وذلك على جهاز خاص بتحليل الغازات جرت تحليل ومكونات الغاز التي أظهرت نسبة غاز الميتان بين 52% و70%

في حين كانت نسبة غاز الكربون بين 27% و44% أمَّا النيتروجين ما بين 1.7% الى 2.7% في حين كانت نسبة غاز كبريت الهيدروجين ضعيفة بين 0.11% و0.17% ونسب ضعيفة لمركبات أخرى عند رطوبة نسبية بحدود 6%. وبالمقارنة تبيّن أن نتائج التحليل مقاربة لنتائج التحاليل الواردة في البحوث المختصة ولاسيَّما المرجع [13] .



الشكل (5) مكونات الغاز الحيوي لعدة عينات

ونظراً إلى وجود ترسبات على الجدران الداخلية للأنابيب المعدنية الفولاذية الناقلة للغاز (الشكل 6)، كما أُخِذَتْ عينة من تلك المواد المترسبة و أجري اختبار وتحليل لها في مركز الاختبارات الصناعية بدمشق. وقد أظهرت نتائج التحليل المبينة في الجدول (1) ارتفاعاً ملحوظاً في نسبة الكبريت وصلت إلى مايزيد على 9%، في حين أن نسبة الكبريت في مكونات الفولاذ الكربوني في حدود 0.06 %، مما يشير إلى وجود عامل آخر ساعد على التآكل وارتفاع تلك النسبة.

الشكل (6) ترسبات على الجدار الداخلي لأنبوب الغاز

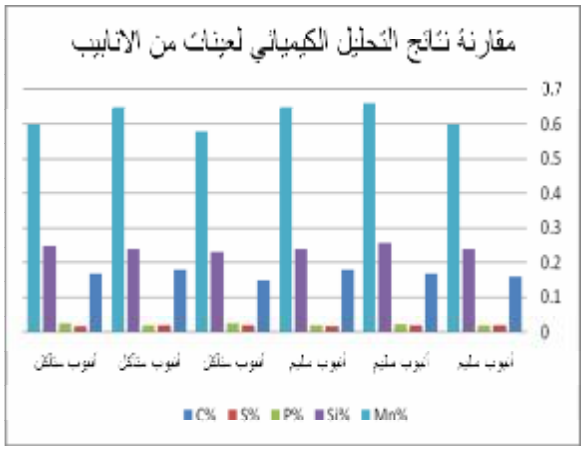
الجدول (1) النسب المئوية لمكونات المواد المترسبة على الجدار الدالخلي لأنبوب ناقل للغاز الحيوي

C	Mn	P	S	Fe	Mo	النسبة المئوية
5.03	0.42	0.013	9.2	54	0.56	%
5.37	0.47	0.016	9.7	55	0.61	%
5.21	0.44	0.015	9.6	54.3	0.6	%

الاختبارات الكيميائية: أُخِذَتْ عينات من أنبوبين معدنيين للغاز أحدهما سليم و الآخر مصاب بتآكل كما بالشكل (7) إلى مركز الاختبارات الصناعية بدمشق لبيان الفارق في مكونات كل منها.

الشكل (7) قسم من أنبوب مصاب بالتآكل

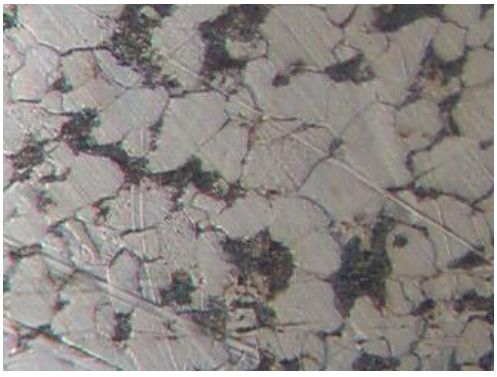
وبعد إجراء التحاليل اللازمة لتلك العينات، بيّنت النتائج أن النسب المئوية للعناصر الداخلة في تركيب الفولاذ متشابهة لكلا الأنبوبين كما هو موضح في الشكل (8)، وهذا يشير إلى أن التآكل الذي حصل لايتعلق بنسب المكونات للمعدن في المنطقة المصابة بل هناك عامل معين أدى إلى حدوث التآكل بها.



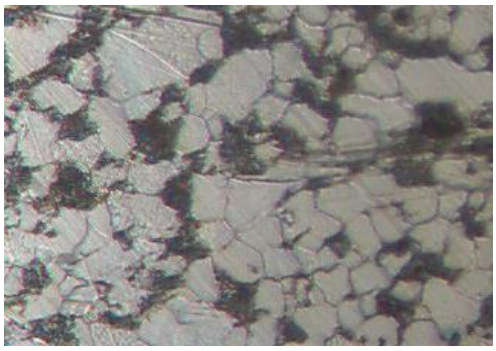
الشكل (8) نسب مئوية لمكونات الفولاذ لعينات من أنابيب سليمة وأخرى متآكلة

الاختبارات الميكانيكية:

1- الفحص المجهري: حُضِّرَتْ عينات من الأنابيب السليمة و المصابة وأُجْرِيَ الفحص المجهري والبنية البلورية لها في مخبر علم المواد بقسم هندسة التصميم الميكانيكي بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق. وأشار الفحص المجهري أن البنية البلورية متشابهة لكلا الأنبوبين كما في الشكلين (9) و(10) وأن الأنابيب الفولاذية مسحوبة على الساخن، ومن ثَمَّ لا يوجد اختلاف بالبنية أو المادة. مما يشير إلى وجود عامل ما ساعد على حدوث الإصابة والتآكل في الأنبوب المصاب.



الشكل (9) البنية البلورية لأنبوب سليم



الشكل (10) البنية البلورية لأنبوب مصاب بتآكل

2- اختبار القساوة: للتأكد من صحة مواصفات الأنابيب وعلاقتها بالمشكلة، اِخْتُبِرَتْ عدة عينات من أنابيب سليمة وأخرى مصابة على القساوة السطحية بطريقة فيكرز / HV / في مخبر علم المواد المذكور أعلاه في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة دمشق، وكانت النتائج متقاربة كما هي موضحة في الجدول رقم (2) وهي مطابقة للمواصفة القياسية السورية رقم /2186/ لعام 1999 لمثل تلك الانابيب.

الجدول (2) قيم القساوة السطحية لعينات من مادة الأنابيب السليمة والمصابة)

رقم العينة	نوع العينة	القراءة الأولى	القراءة الثانية	القراءة الثالثة	المتوسط الحسابي
1	سليم	187.07	183.81	186.26	185.7
2	سليم	186.22	184.23	183.82	184.7
3	سليم	183.57	182.56	178.45	181.5
4	متآكل	185.34	179.39	182.21	182.3
5	متآكل	181.67	183.18	186.91	183.9
6	متآكل	183.81	180.62	173.73	179.4

ولدى العودة لبيان أثر مادة الغاز المار بالأنبوب، قُطِفَتْ عينات من السائل الناتج عن تكثف الغاز الحيوي الذي يُصَرَّفُ من صمامات التفريغ المتوضعة بالنقاط السفلية لأنابيب الغاز وحُلِّلَتْ تلك العينات على جهاز التحليل المخصص في مختبر محطة المعالجة. وقد أظهرت النتائج أن الناقلية بحدود 471µs/cm ودرجة الحموضة pH = 6.6 و الأملاح الكلية TDS = 301 mg/l، مع ملاحظة ارتفاع في نسبة النشادر NH_4 إلى نحو (361 mg/l) و كذلك ارتفاع طفيف في الكبريتات إلى (0.312 mg/l) مما يدلُّ على وجود نشاط لبكتريا معينة بالسائل بحسب ما أشار إليه [4] كما سيرد لاحقاً.

6- تحليل ظاهرة التآكل للأنابيب والتجهيزات:

بعد الدراسة والتقصي والتقويم للنتائج لتلك الظاهرة تبين أنه يجري تحطم طبقة الحماية الموجودة على سطح المعدن للأنبوب ويستمر الأمر حتى يحدث الثقب.وبمقارنة الحالة الموجودة مع المراجع العلمية التي تبحث مشكلة التآكل، تبيّن أن التآكل هو من النوع النقطي.

وهذا النوع من التآكل يبدأ صغيراً في منطقة معينة بحيث لا يظهر ببساطة بالعين المجردة في البداية ثم يتسارع باتجاه العمق أكثر منه باتجاه المحيط، و هو بهذه الحالة يعدُّ من أخطر أنواع التآكل بحسب المرجع [11].

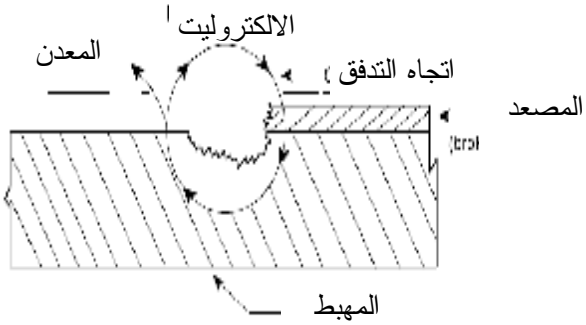
التآكل النقطي بطبيعته عبارة عن تآكل كهروكيميائي كما في الشكل (11) وتتألف منطقة التآكل من مصعد ومهبط، وتحدث عملية التآكل هذه بانتقال الإلكترونات (أكسدة) من منطقة المصعد إلى منطقة المهبط عبر المعدن، ويكون عدد الإلكترونات المفقودة عند المصعد مساوياً لعدد الإلكترونات الواصلة إلى منطقة المهبط وفق [11] كما يأتي:

Anodic reaction $M \rightarrow M^{n+} + n$ electrons

Cathodic reaction $mX + n$ electrons $\rightarrow mX^{n/m-}$

Overall corrosion reaction $M + mX \rightarrow M^{n+} + mX^{n/m-}$

إذْ n,m أعداد صحيحة ، M المعدن ، X المستقبل



الشكل (11) التآكل النقطي والعناصر المشاركة في حدوثه [11]

ونظراً إلى المعدن موصل جيد للكهرباء فإنَّ العمليات المهبطية والمصعدية يمكن أن تحدث في مواضع مختلفة على سطح المعدن المعرض للالكتروليت نفسه، ويؤدي ذلك إلى حدوث التآكل النقطي و يكون نحو العمق وفق ثلاث مراحل هي: انهيار طبقة السلبية ثم الاختراق ثم الامتصاص.

وتشير المراجع المختصة إلى أنَّ مسببات هذا النوع من التآكل كثيرة، ولكن السبب الأكثر شيوعاً هو وجود بعض الغازات الأسيدية في الغاز الحيوي المار عبر الأنابيب والتجهيزات مثل غاز (H_2S) و غاز (CO_2) التي تعرف بأنها مسببات قوية لحدوث عمليات التآكل.

6-1 تأثير غاز (CO_2):

يسبب وجود غاز ثاني أكسيد الكربون العديد من أنواع التآكل للأنابيب الفولاذية و منها التآكل النقطي، فالشوارد (CO_3^{-2}) تتحد مع شوارد الحديد (Fe^{+2}) و تشكل كربونات الحديدوز $FeCO_3$ الذي يؤمن حماية للمعدن، وغير أنه و بسبب ما يمكن أن تنهار في مكان معين وهذا يساعد على حدوث التآكل. ولكن تشكل طبقة الحماية يمكن أن تقلل معدل التآكل مع الزمن بحسب ما ورد في المرجع [2]

وكما هو معروف إنَّ تأثير غاز (CO_2) بوصفه أحد نواتج الاحتراق من محركات الاحتراق الداخلي الذي يعدُّ غازاً خطيراً على صحة الإنسان (التهاب القصبات - احمرار العينين) يؤدي إلى تآكل الأجزاء المعدنية المحيطة بسبب تحويل الجو المحيط إلى جو حامضي أكال، وكذلك عند اختلاطه بالتربة يمكن أن يحولها إلى تربة أكالة.

6-2 تأثير غاز كبريت الهيدروجين H_2S:

يتشكل غاز H_2S في أثناء تشكل الغاز الحيوي خلال مرحلة الهضم اللاهوائي للحمأة؛ وذلك من خلال تحويل البروتين الحاوي على الكبريت [5]، كذلك يمكن أن ينشأ من خلال بكتريا(sulphate-reducing bacteria) أو مايعرف بـ SRB التي تحول الكبريتات غير العضوية إلى غاز H_2S، وهو غاز سام و أكّال و ذو رائحة كريهة.

ومن تجربة الفنيين وخبرتهم بالمحطة في أثناء عمليات الصيانة والإصلاح لمجموعات التوليد الغازية تبيّن أن تبديل للزيت بشكل سريع وقبل الموعد المحدد نظراً إلى فقدان لزوجته بسبب الحرارة العالية التي يصل إليها المحرك، مما يشير إلى أن غاز H_2S له دور بارز في ذلك فضلاً عن الاهتراءات والتآكل في الأجزاء المعدنية للتجهيزات المختلفة الذي أكده المرجع [9] مما يسهم في تخفيض عمر مجموعات توليد الكهرباء وهذا ما ساعد على خروجها من الخدمة قبل نهاية عمرها الفني.

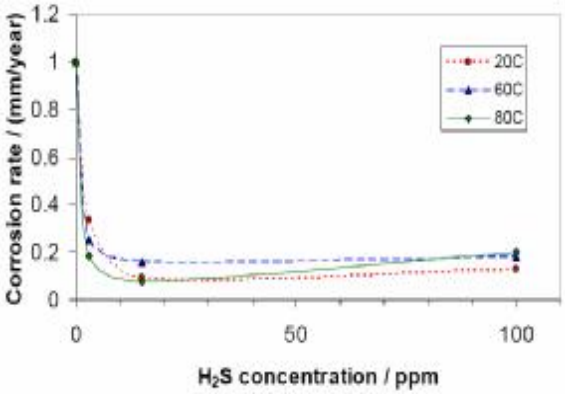
من جهة أخرى، يدل وجود كمية الكبريت الكبيرة في الرواسب على حدوث تفاعل بين غاز H_2S والحديد، وهذا التفاعل يؤدي بوجود الرطوبة إلى تشكيل كبريت الحديد وانطلاق الهيدروجين وفق [9]:

$$Fe + H_2S \rightarrow FeS + H_2$$

لا تتحد ذرات الهيدروجين الناتجة من التفاعل مع بعضها لتشكل الهيدروجين الجزيئي بل تخترق المعدن، حيث تتحد مع بعضها ضمن المعدن فتشكل جزيء الهيدروجين الذي حجمه الكبير يؤدي إلى تشكل فجوات غازية داخل المعدن وحدوث إجهادات داخلية فيه وفق ما ورد في [6].

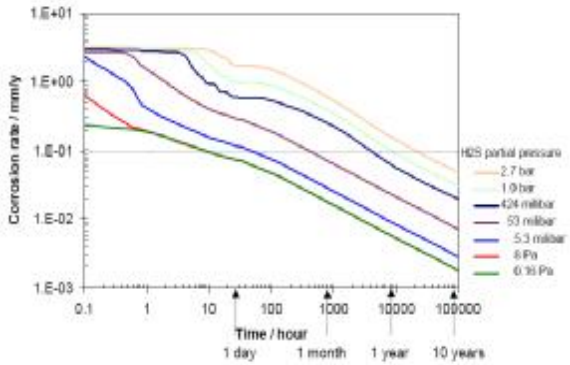
كما أن تشكل مركب FeS على شكل قشرة ملتصقه بسطح المعدن تؤدي دور المهبط في حين يؤدي الفولاذ دور المصعد و النتيجة حدوث التآكل النقطي مما يساعد غاز H_2S على اختراق طبقة الحماية.

وأشارت البحوث إلى أن معدل التآكل يتغير مع تراكيز مختلفة لغاز H_2S عند درجات حرارة مختلفة (20، 60، 80) كما هو موضح بالشكل (12) وفق المرجع [1].



الشكل (12) تأثير غاز H_2S في التآكل عند تراكيز و درجات حرارة مختلفة [1]

كما أن معدل التآكل يتغيّر متناقصاً مع الزمن عند تركيز معين لغاز H_2S عند ضغوط مختلفة، كما هو موضح بالشكل (13) وفق المرجع [1].



الشكل (13) تأثير الضغط في عملية التآكل مع الزمن [1]

3-6 التأثير المشترك لكل من غاز (CO_2) وغاز (H_2S) :

وجود كلا الغازين معاً يجعل منهما تأثيراً مشتركاً أكثر فاعلية لأنها غازات حامضية ومن ثَمَّ تعمل على رفع معدل التآكل الناتج عن تلك الغازات الذي قد يصل إلى قيم أكبر مما لو كان تأثير كل غاز منهما منفرداً في بداية عملية التآكل بحسب [6]. كما يشير المرجع نفسه إلى أن وجود الرطوبة تساعد على تحول كل من غاز(H_2S) و غاز (CO_2) إلى غازات مائية وفق المعادلة الآتية(aq=aqueous):

$$CO_{2(g)} \Leftrightarrow CO_{2(aq)}$$

$$H_2S_{(g)} \Leftrightarrow H_2S_{(aq)}$$

وما أن تنحل هذه الغازات في الماء حتى تتبع التفاعلات الآتية:

$$CO_{2(aq)} + H_2O_{(aq)} \xleftrightarrow{Khyd} H_2CO_{3(aq)}$$

$$H_2CO_{3(aq)} \xleftrightarrow{Kca} H^+_{(aq)} + HCO^-_{3(aq)}$$

$$HCO^-_{3(aq)} \xleftrightarrow{Kbi} H^+_{(aq)} + CO^{2-}_{3(aq)}$$

$$H_2S \xleftrightarrow{K1} H^+_{(aq)} + HS^-_{(aq)}$$

$$HS^-_{(aq)} \xleftrightarrow{K2} H^+_{(aq)} + S^{2-}_{(aq)}$$

وبالنتيجة تتشكل طبقات متداخلة ذات لون أسود قاتم نتيجة التفاعل مع المعدن؛ وذلك في المجال الحراري (20 – 60) درجة مئوية، وهذه الطبقات هي $FeCO_3$ و FeS التي تعمل على تأمين حماية للمعدن نفسه فيما بعد، غير أن طبقة FeS تعدُّ طبقة هشة وقليلة الالتصاق مقارنة بطبقة الـ $FeCO_3$، ومن ثَمَّ تنهار في مناطق معينة مما يؤدي إلى حدوث التآكل السريع ومن النوع النقطي.

4-6 دور بكتريا مياه الصرف الصحي في المشكلة:

تقوم الكائنات الحية المجهرية الموجودة في مياه الصرف الصحي (protozoa. fungi, algae, ...) بدور محفز للتفاعلات المهبطية والمصعدية، ويسبب نشاط هذه الكائنات بشكلٍ مباشر أو غير مباشر تلف المواد عن طريق التآكل، ويمكن أن يقوم هذا النشاط بما يأتي:

1- يشكل بيئة أكالة.
2- يشكل خلية إلكتروليتية على سطح المعدن.
3- يعدل من مقاومة الطبقات السطحية.
4- يعدل في تركيب الجو المحيط.

بسبب وجود البكتريا و المواد العضوية في الهواضم تحدث التفاعلات الآتية بحسب [4]:

$$\text{Organic matter} + SO_4^{-2} \xrightarrow{\text{bacteria}} S^{-2} + H_2O + CO_2$$

$$S^{-2} + 2H^{+} \rightarrow H_2S$$

$$H_2S \leftrightarrow HS^{-} + H^{+}$$

$$HS^{-} \leftrightarrow S^{-} + H^{+}$$

$$Fe^{+} + S^{-} \rightarrow FeS$$

يمكن تصنيف تلك البكتريا المسببة للتآكل في أربعة أنواع:

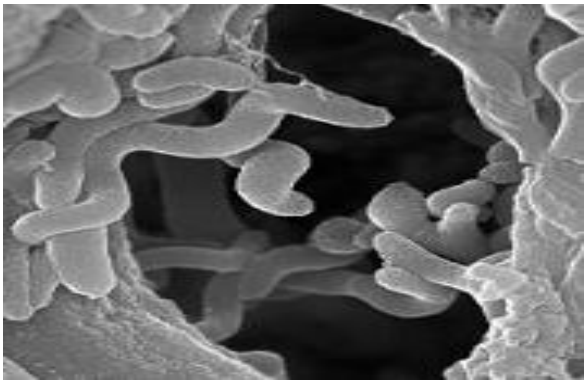
1- بكتريا اختزال الكبريت:
sulphate-reducing bacteria (SRB)

2- بكتريا أكسدة الحديد و المنغنيز:
iron-oxidizing bacteria and manganese-oxidizing bacteria (MIOB

3- البكتريا المشكلة للحموض:
Acid-producing bacteria

4- البكتريا المشكلة للمواد اللزجة:
Slime-forming bacteria.

إن أكثر أنواع البكتريا شيوعاً وتأثيراً هو بكتريا اختزال الكبريت (SRB) المبينة في الشكل (14) وهي بكتريا لا هوائية تعيش على المغذيات العضوية و بمعزل عن الأكسجين، وكما أنها تعمل ضمن مجال درجات الحرارة (25-35°C).



الشكل (14) شكل بكتريا SRB [4]

تتغذى تلك البكتريا على بعض أنواع الكائنات الحية المرافقة فضلاً عن العديد من الأنظمة الوحلية التي تعدُّ مصدر غذاء كربونياً لهذه البكتريا، وهي غير قابلة للعيش في أجواء مغايرة للأجواء التي تتشكل فيها.

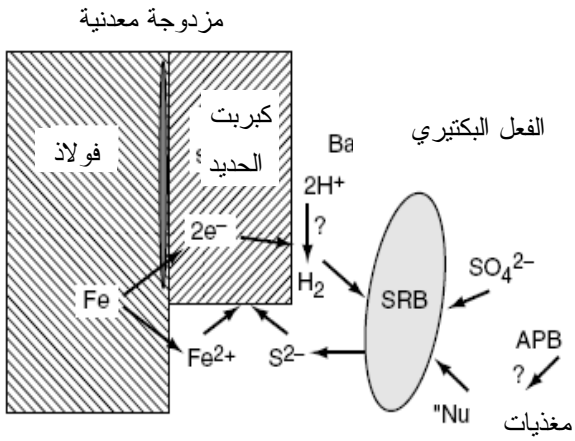
يوضح الشكل (15) نشاط البكتريا SRB وتأثيرها في عملية التآكل وفقاً للخطوات الآتية:

1- تقوم البكتريا باستهلاك الهيدروجين الموجود لدى المهبط لتشكل غاز H_2S الذي يعزز انحلال المعدن عند المصعد ليشكل مركب FeS.

2- تقوم بإنشاء خلية التآكل ويترسب عليها كبريت الحديد.

3- تنمو هذه البكتريا تحت الرواسب حيث لا وجود للأوكسجين.

4- يزداد معدل التآكل الناتج عن كل من غازي (H_2S) و(CO_2) بشكل كبير بوجود تلك البكتريا.



الشكل (15) آلية عمل بكتريا SRB في تآكل المعدن [8]

تقوم بكتريا SRB بجعل الوسط المحيط بها وسطاً أكالاً إذْ تمتاز تلك البكتريا بميولها لتشكيل مستعمرة في مكان معين كما بالشكل (16)، و تبيّن الدراسات أن زيادة تركيز البكتريا في المجال ($10^4 - 10^7 / 0.5cm^2$) يرفع معدل التآكل بنسبة كبيرة بحسب [8]، وأن تيار التآكل يكون أكبر ما يمكن عند درجة حرارة مثلى لنشاط بكتريا SRB بحدود (34-37) درجة مئوية ولاسيَّما المرجع [4].

الشكل (16) تأثير مستعمرات البكتريا في تآكل المعدن

6-4 تأثير الرطوبة:

يؤثر وجود الرطوبة (بخار الماء) بنسبة بسيطة في مكونات الغاز سلباً في فعاليّة الغاز وطاقته الكامنة الحرارية كما يؤثّر أيضاً في الأنابيب والتجهيزات، ومما يزيد الأمر سوءاً مرافقته لوجود كل من (H_2S) و(CO_2) مما يؤدي إلى تكوين مركبات أسيدية (H_2SO4) و (H_2CO3) على التوالي. وهذه المركبات أكّالة جداً للتجهيزات التي تلامسها جميعها [7].

7- الخاتمة والنتائج:

1- تحوي مياه الصرف الصحي أنواعاً من البكتريا تسهم بمعالجتها، كما تتشكل بكتريا أخرى في أثناء عملية التخمير اللاهوائي للحمأة تسهم بتكوين الغاز الحيوي في الهواضم.

2- تبيّن أن احتواء الغاز الحيوي على غاز CO_2 يسبب حدوث التآكل في أنابيب الغاز أو التجهيزات المستخدمة للغاز، ويمكن أن يصل معدل التآكل إلى (1 مم/سنة) خاصة بالأنابيب.

3- تبيّن أن التأثير المشترك لكل من غاز H_2S وغاز CO_2 في الغاز الحيوي يزيد من معدل التآكل بالأنابيب والتجهيزات بحسب نسبة تركيز كل منهما.

4- أظهرت الاختبارات المختلفة التي أجريت على الأنابيب أن التآكل بها أدّى إلى اقتطاع أجزاء من المعدن دون التأثير في الخواص الميكانيكية أو الفيزيائية لمعدن الأنابيب.

5- أظهر تحليل الرواسب المتشكلة على الجدران الداخلية لأنابيب الغاز وجود نسبة عالية من الكبريت تصل إلى (8-11 %)، في حين أن نسبة غاز كبريت الهيدروجين H_2S في الغاز الحيوي لا تتعدى 0,2% ونسبة الكبريت في المعدن لا تتعدى 0,04 %، وهذا يدلُّ على توافر عامل آخر هو بكتريا(SRB) الذي ساعد على زيادة النسبة من الكبريت وتشكيل غاز H_2S ومن ثَمَّ حدوث التآكل وضرر التجهيزات.

6- تزيد الرطوبة من معدل التآكل والأضرار للتجهيزات بمرافقتها للغازات (H_2S و CO_2) والبكتريا

الموجودة في هذا الغاز الحيوي، علماً بأن نسب تلك المكونات تتأثر بعمليات المعالجة والتخمير في الهواضم.

7- أسهم وجود غاز كبريت الهيدروجين في رفع درجة حرارة المحركات الغازية مما تطلب تغيير الزيت قبل موعده، وكذلك زيادة عدد مرات الصيانة للمحركات الغازية والضواغط والحراقات واستهلاك القطع التبديلية، ومن ثَمَّ انخفاض عمر مجموعات التوليد.

9- المقترحات و التوصيات:

1- يجب العمل على تصفية الغاز الحيوي وفلترته فور إنتاجه من الهواضم لتخليصه من المكونات الضارة ولاسيَّما (H_2S و الرطوبة و CO_2)، وذلك من خلال منظومة فلترة خاصة تعتمد الطريقة البيولوجية أو الكيميائية أو الطبيعية بالكربون المنشط أو أية طريقة مدروسة بالوسائل التي تمكّن من إزالة تلك المكونات الضارة وتعمل على رفع من نسبة الميثان ومن ثَـمَّ تحسين عملية الاحتراق وإزالة الأضرار الناجمة بالتجهيزات المختلفة.

2- استبدال الأنابيب المتآكلة بأخرى من (PVC) أو (HDPE) المقاومة لمكونات الغاز المسببة للتآكل، فضلاً عن تحملها الحرارة (حتى 50 درجة مئوية)، والضغط (حتى 2 بار)، كما أنها تقاوم العوامل الجوية المحيطة وطبيعة عمل المحطة.

3- تركيب صمامات تفريغ في النقاط المنخفضة جميعها من الأنابيب لدارة الغاز الحيوي بغية التخلص من السوائل الناتجة عن تكاثف الرطوبة (بخار الماء بالغاز) التي تعدّ مصدراً لغذاء البكتريا SRB المسببة للتآكل.

4- العمل على استبدال مجموعات التوليد الغازية التي خرجت من الخدمة بأخرى ذات مواصفات فنية حديثة تراعي الحجم والعمل عند أفضل مردود وأعلى اقتصادية.

5- العمل على استثمار الغاز الناتج في حالات الصيانة أو تعطل تجهيزات استخدامه من خلال تعبئة اسطوانات الغاز المنزلية بدلاً من حرقه كما هو معمول به حالياً، حتى لا يكون مصدر تلوث للبيئة فضلاً عن توفير الغاز للعاملين بالمحطة.

6- تطبيق الصيانات الدورية والصيانات الوقائية مع الاهتمام بعوامل الأمان والسلامة المهنية.

المراجع

1- Bruce Brown, Kun-Lin Lee, "*Corrosion In Multiphase Flow Containing Small Amounts Of H2s* ", Institute for Corrosion and Multiphase Technology, Ohio University, Athens, Ohio 45701, 2003.

2- Bruce Brown, Shilpha Reddy Parakala, Srdjan Nesic, *"Co2 Corrosion In The Presence Of Trace Amounts Of H2s*", Institute for Corrosion and Multiphase Technology, Ohio University Athens, Ohio 45701, 2004.

3- *Documents & drawings* from Damascus wastewater treatment plant.

4- "*Effect of Environment on Corrosion Caused by Sulphate-Reducing Bacteria*", Final Report, December 2004.

5- Ken Krich etc. *" Biomethane from Dairy Waste "* Book, July 2005.

6- Kun-Lin John Lee and Srdjan Nešić , "*Use And Abuse Of Eis In Studying The Mechanisms Of Co_2/H_2s Corrosion Of Mild Steel*" , Ohio University , Institute for Corrosion and Multiphase Flow Technology , 342 West State Street , Athens, OH 45701 , USA, 2006

7 – Mahendran N., Jim J. & Bruce P., *"Biogas: cleaning & Uses"*, Agriculture and Rural development, Canada, Agdex 768-5 June 2008.

8- *"Microbially Influenced Corrosion Mechanistic Studies Using a Multiple-Array-Sensor to Understand the Effect of Environment on Corrosion Caused by Sulphate-Reducing Bacteria"*, Final Report, December 2004.

9- Muhammad Shahid & Muhammad Faisal, *"Effect Of Hydrogen Sulfide Gas Concentration On The Corrosion Behavior Of ASTM A-106 GRADE-A Carbon Steel In 14% Diethanol A mine Solution"* , The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 2C, January 2010.

10- Nicholas P. Cheremisinoff, Ph.D. N&P Limited, *"Handbook Of Water And Wastewater Treatment Technologies*", Boston Oxford Auckland Johannesburg Melbourne New Delhi, 2002 .

11- Philip A. Schweitzer, "*Fundamental Of Metallic Corrosion",* Atmospheric and Media Corrosion of Metals, Taylor and Francis Group, TA462.S388, 2006.

12- Pim L.F. van den Bosch, Prof. dr. M.J. Kropff, "*Biological Sulfide Oxidation By Natron-Alkaliphilic Bacteria*", Application in gas desulfurization, op vrijdag , 2008.

13- Saija Rasi , "*Biogas Composition and Upgrading to Biomethane*", University of Jyvaskyla , YAA303, 2009.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2012/5/23