



الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي - جامعة البعث
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم والإنتاج

تصميم و دراسة الخزانات النفطية - دراسة اللحام و منطقة التأثير الحراري

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الميكانيك - هندسة التصميم و الإنتاج

إعداد

م. جمال حسن الحسين

الإشراف العلمي

د.م. فؤاد ضحية
د.م. معاوية ظليمات

2007 م



الفصل الأول

الخزانات النفطية

| الصفحة | | |
|--------|----------------------------|-----|
| 1 | أشكال الخزانات | 1-1 |
| 2 | خزانات الضغط الجوي | 2-1 |
| 12 | خزانات الضغط المنخفض | 3-1 |
| 13 | ملحقات الخزان | 4-1 |

الفصل الثاني

تآكل المعادن

| | | |
|----|---|------|
| 14 | مقدمة | |
| 14 | تعريف التآكل | 1-2 |
| 15 | الأهمية الاقتصادية | 2-2 |
| 16 | التآكل الرطب | 3-2 |
| 18 | سبب تآكل المعادن | 4-2 |
| 19 | آلية التآكل | 5-2 |
| 20 | أشكال التآكل | 6-2 |
| 31 | التآكل الجاف | 7-2 |
| 33 | العوامل المؤثرة في التآكل الغازي | 8-2 |
| 36 | المواد الآكلة في النفط و آلية عملها | 9-2 |
| 39 | تقييم التآكل | 10-2 |
| 41 | حماية المعادن من التآكل | 11-2 |

الفصل الثالث

الملحاح

| | | |
|----|--|-----|
| 46 | مقدمة | |
| 46 | عمليات الملحاح المستخدمة في إنشاء الخزانات النفطية | 1-3 |
| 55 | قابلية المعدن للمحاح | 2-3 |
| 57 | ميتالورجيا الملحاح | 3-3 |
| 62 | طرق فحص الوصلات اللحامية | 4-3 |
| 67 | عيوب الملحاح | 5-3 |

الفصل الرابع

المواد المستخدمة في بناء الخزانات

| | | |
|----|--|-----|
| 87 |المواد المستخدمة في الإنشاءات المعدنية. | 1-4 |
| 88 |الألواح المستخدمة في الإنشاء. | 2-4 |
| 89 |توصيف المعادن. | 3-4 |
| 93 |إلكترونيات اللحام. | 4-4 |

الفصل الخامس

تصميم الخزانات النفطية الاسطوانية الشاقولية

| | | |
|-----|-------------------------------|------|
| 95 |الوصلات اللحامية. | 1-5 |
| 100 |اعتبارات التصميم. | 2-5 |
| 101 |ألواح القاعدة. | 3-5 |
| 102 |تصميم الجدار. | 4-5 |
| 107 |تصميم عوارض الريح. | 5-5 |
| 112 |حمولة الريح على الخزان. | 6-5 |
| 113 |الفتحات الجدارية. | 7-5 |
| 123 |ملحقات الخزان. | 8-5 |
| 128 |السقف. | 9-5 |
| 133 |التصميم الزلزالي للخزان. | 10-5 |

الفصل السادس

القسم العملي

| | | |
|-----|------------------------------------|-----|
| 141 |مقدمة. | |
| 141 |الأهمية الاقتصادية و البيئية. | 1-6 |
| 142 |التآكل في الوصلات اللحامية. | 2-6 |
| 144 |التآكل التصدعي الإجهادي. | 3-6 |
| 146 |التجارب العملية. | 4-6 |
| 168 |المناقشة. | 5-6 |
| 170 |التوصيات و المقترحات. | 6-6 |
| 171 |خلاصة باللغة الانكليزية. | |



الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي - جامعة البعث
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم والإنتاج

تصميم و دراسة الخزانات النفطية - دراسة اللحاء و منطقة التأثير الحراري

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الميكانيك - هندسة التصميم و الإنتاج
إعداد م. جمال حسن الحسين

الإشراف العلمي: د.م. فؤاد ضحية
د.م. معاوية طليمات

لجنة الحكم:

د.م. فؤاد ضحية

د.م. خليل عزيمة

د.م. محمود الأسعد

2007 م

الخزانات النفطية Petroleum Storage Tanks

1-1 - أشكال الخزانات النفطية : Types Of Storage Tanks

إن الغاية من الخزانات النفطية هي تجميع النفط أو منتجاته المكررة، بهدف مواجهة حالات التغيرات في عمليات الإنتاج. و مواجهة التغيرات في التصريف التي قد تنتج عن سوء الأحوال الجوية في موانئ التصدير، أو كسر خط الأنابيب أو الأعطال في محطات الضخ، أو تأخير في وصول ناقلات النفط، أو توقفات مصافي التكرير. ويمكن أن تصنف الخزانات النفطية على النحو التالي [3,25,22] :

حسب المادة التي يصنع منها الخزان :

1. خزانات معدنية .
2. خزانات إسمنتية .
3. خزانات بلاستيكية .
4. خزانات مصنوعة داخل الصخور الأرضية .

حسب الضغط داخل الخزانات :

1. خزانات ضغط منخفض ، الضغط أقل من 0.2 Kg/cm^2
2. خزانات ضغط مرتفع ، الضغط أكبر من 0.2 Kg/cm^2

حسب المادة المخزنة :

1. خزانات مصممة لتخزين المواد عالية اللزوجة (فيول ، خام) .
2. خزانات مصممة لتخزين المواد منخفضة اللزوجة (بترين ، كيروسين....) .

حسب الشكل الخارجي للخزان :

1. خزانات شاقولية أسطوانية .
2. خزانات أفقية أسطوانية .
3. خزانات كروية .

حسب وظيفة الخزان :

1. خزانات ترقيد .

2. خزانات خلط و مزج .

3. خزانات تخزين.

حسب طريقة إنشاء الخزانات :

1. خزانات مطمورة Under ground.

2. خزانات نصف مطمورة .

3. خزانات فوق سطح الأرض Above ground.

4. خزانات داخل الصخور .

ويمكن أن تصنف الخزانات حسب معهد النفط الأمريكي American petroleum institute و المعروف بالاختصار API بالشكل التالي [3] :

الخزانات التي تعمل بضغط جوي Atmospheric Storage Tanks :

1. خزانات ذات سقف ثابت Fixed roof .

2. خزانات ذات سقف عائم Floating roof .

3. الخزانات ذات السقف المتحرك " المتنفس " Breathed roof .

4. الخزانات ذات القبعة الغازية (ذات القبعة المرنة) Dome roof .

5. الخزانات ذات السقف الثابت و السقف العائم fixed roof plus floating roof .

storage tanks .

الخزانات التي تعمل بضغط جوي منخفض low-pressure storage tanks :

1. خزانات ذات شكل نصف كروي hemispheroid .

2. خزانات ذات شكل كروي spheroidal .

و فيما يلي عرض لهذه الأشكال و دواعي الاختلاف فيما بينها .

1-2- الخزانات التي تعمل بضغط جوي Atmospheric Storage Tanks :

هي خزانات مصممة لتعمل عند ضغط داخلي للغاز و البخار قريب من الضغط الجوي. تستخدم لتخزين المواد التي تملك ضغط بخار حقيقي عند درجة حرارة التخزين أقل من الضغط الجوي . ضغط البخار الحقيقي هو الضغط فوق سطح السائل و الناتج عن أبخرة ذلك السائل. إن ضغط البخار يتغير بتغير درجة الحرارة ، نظراً لزيادة نسبة التبخر للسائل مع زيادة درجة الحرارة. المواد التي تخزن في هذه الخزانات مثل : النفط الخام و الزيوت الثقيلة و المازوت و

الكبروسين و المواد الكيميائية غير القابلة للتطاير. تزود هذه الخزانات بفتحات ذات ضغط تخليجي ، تعمل على حفظ فروقات الضغط بين داخل و خارج الخزان بأقل قدر ممكن.

1-2-1 - الخزانات ذات السقف الثابت Fixed- Roof Tanks :

يستخدم هذا النوع من الخزانات لتخزين المواد النفطية التي لا تحتوي على مركبات خفيفة تسبب ضياعات كبيرة بسبب تنفس الخزان . تستخدم هذه الخزانات لتخزين الأنواع الثقيلة من النفط الخام و زيوت التزيت .

وهنا يتم تثبيت السقف مع جدار الخزان عن طريق اللحام و بمساعدة الدعامات أو بمساعدة عمود ارتكاز لحمل السقف و تثبيته .

من مساوئ الخزانات ذات السقف الثابت :

ضياعات النفط بالتبخر كبيرة عند تعبئة و تفريغ الخزان و خاصةً عند تخزين المواد الخفيفة. دخول الهواء الجوي الرطب إلى داخل الخزان ، و تلامسه مع المادة المخزنة ، يؤدي إلى زيادة نسبة المياه في هذه المادة . و كذلك إمكانية حدوث تفاعلات أكسدة ما بين الهواء الجوي و المادة المخزنة قد ينتج عنها صموغ . إن وجود الحجم الغازي فوق سطح السائل ضمن الخزان يعرض الخزان إلى التآكل الكيميائي بفعل غاز كبريت الهيدروجين . الضياعات بسبب التبخر تؤدي إلى تغيير المواصفات للمنتجات النفطية المخزنة. كما يوجد بشكل دائم مزيج من الهواء و الأبخرة قابلة للانفجار مما يعرضها لخطر الانفجار و الحريق بفعل الصواعق. أبسط أشكال هذه الخزانات ، هو الخزان ذو السقف المخروطي cone roof ، الذي قد يصل قطره إلى 91m (300 ft) و ارتفاعه 19.5m (64 ft) ، أما من اجل الأقطار الأكبر تدعم السقوف بواسطة الأعمدة. و بعض السقوف يكون على شكل مظلة umbrella roof ، و أسقف على شكل قبة dome ، في كلا النوعين الأخيرين نادراً ما يكون القطر أكبر من 18m (60 ft).

الشكل (1-1) يبين مشهد لهذه الأشكال. [3]



الشكل (1-1) يبين الشكل خزان بسقف الثابت على شكل قبة على اليسار، و على اليمين خزان بسقف مخروطي [27]

1-2-2- الخزانات النفطية ذات السقف العائم Floating Roof Tanks:

يستخدم لتخزين مواد مثل البترين أو النفط الخام. في هذا التصميم يتم إلغاء الفراغ الكائن بين السائل و السقف. حيث يكون السقف عائماً على سطح المادة المخزنة بفعل ظاهرة الطفو المعروفة في السوائل. فيتحرك السقف للأعلى بارتفاع مستوى السائل و يتحرك للأسفل مع هبوط مستوى السائل. و هذا يؤدي إلى :

- 1- إلغاء ضياعات التبخر التي تحدث أثناء تنفس الخزان عند التعبئة والتفريغ.
- 2- عزل السائل المخزن عن الهواء الجوي بواسطة السقف العائم . و هذا يؤدي إلى عدم امتصاص الرطوبة من الهواء الجوي . و بالتالي عدم أكسدة المنتجات النفطية بأكسجين الهواء مما يؤدي إلى زيادة ثبات التخزين أو ثبات المادة المخزنة.
- 3- عدم وجود مزيج من الهواء و أبخرة الفحوم الهيدروجينية القابلة للاشتعال و الانفجار فوق سطح السائل، مما يؤدي إلى تقليل خطر الانفجار إلى حد كبير.
- 4- القضاء على ضياعات التبخر يؤدي إلى عدم تغيير المواصفات للمواد المخزنة و يزيد من إمكانية التخزين لفترة أطول.

1-2-2-1 - أنواع السقف العائم Types Of Floating Roof

أ - السقف العائم بشكل صحن بطبقة واحدة من المعدن و لا يحوي على فواشات

: Pan floating roof

يعتبر هذا النوع من أرخص الأنواع لأن صنعه لا يحتاج إلى مواد كثيرة حيث يتألف من طبقة واحدة من المعدن تعوم على سطح السائل و شكله يشبه شكل الصحن أو كفة الميزان. ولكن من مساوئ هذا السقف هو عدم استقراره حيث أنه يغرق بأقل حمولة من العوامل الجوية كالثلوج أو المطار. كما أنه يمكن أن يغرق في حال حصول أي تسرب للسائل من أطراف السقف. كما يمكن أن يحصل له تغيير في شكله و أبعاده بسهولة بفعل الرياح، أو العوامل الجوية الأخرى. فضلاً عن أنه غير عازل حرارياً. حيث ينقل حرارة أشعة الشمس إلى سطح السائل بسهولة و يؤدي إلى غليان السائل و تبخر جزء منه و هروبه من أطراف السقف حيث لا يمكن منع التهريب بشكل كلي. و يوضح الشكل (1-2) نموذج من هذه الخزانات.

ب - السقف العائم بواسطة فواشات Pontoon Floating Roof:

هنا السقف يحتوي على فواشات لا تغطي السقف بأكمله . إنما جزء منه مما يؤدي إلى استقرار السقف و يزيد من قدرته للتحمل ، و الانتقال .
كذلك الأمر له عدة أشكال :

1 - السقف العائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أقل ما يمكن منه : هذا الشكل تغطي الفواشات فيه جزءاً من مساحة السقف العائم بشكل حلقي annular-pontoon . إن مستوي السقف العائم أدنى من مستوى السائل في الخزان . و يبين الشكل (1-3) منظرًا فراغياً و رسماً تخطيطياً لمثل هذا الشكل.

2 - السقف العائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أكبر منه و صفائح السقف غير ملامسة لسطح السائل :

هنا السقف مرتفع قليلاً عن سطح السائل و بذلك يتم عزل السطح السائل عن حرارة أشعة الشمس و بالتالي منع الغليان لسطح السائل .

أما الغازات و الأبخرة ، المنطلقة من المنتجات النفطية المخزنة . فيتم حصرها بين سطح السائل و السقف .

من المساوي لهذا النوع هي إمكانية التآكل الكيميائي لمعدن السقف إذا كانت المادة المخزنة تحتوي على غازات حمضية H_2S حيث تنطلق الغازات في الفراغ الكائن بين السائل و السقف و بوجود الرطوبة يحدث التآكل لمعدن السقف .

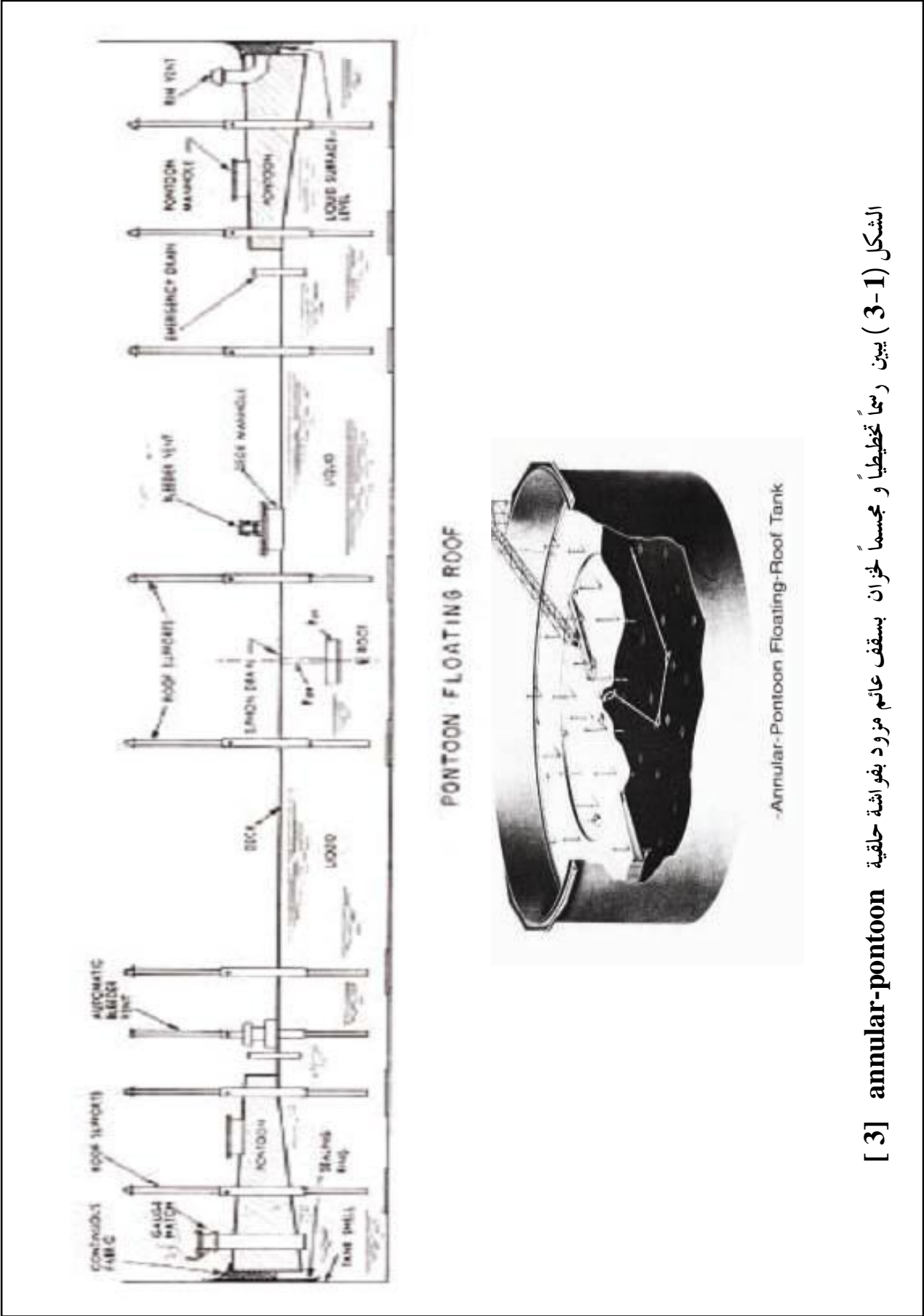
3 - السقف عائم يجوي على فواشة في المنتصف مع فواشة جانبية :

في هذا النوع يكون مستوى السقف العائم أدنى من مستوى السائل و من مميزات هذا النوع - بالإضافة إلى استقراره - منع حدوث التآكل لكون السقف أخفض من مستوى السائل.

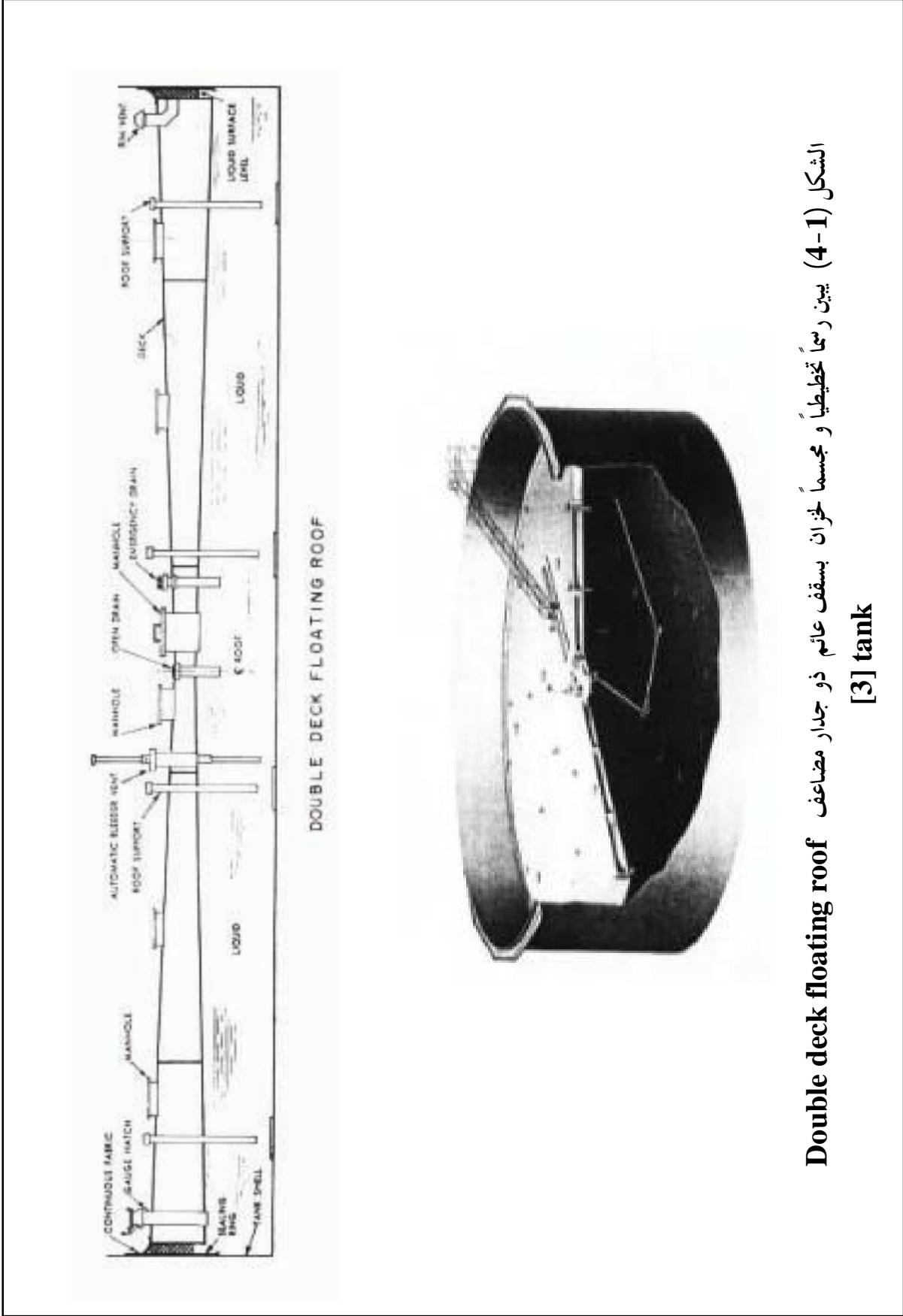
ج- الخزانات بسقف عائم مضاعف **Double-Deck Floating Roof**:

يعتبر هذا الشكل من أفضل الأشكال حيث يتمتع بالاستقرار الجيد . و بعزل جيد للحرارة . ويمكن أن يتحمل أثقلاً زائدة من الثلج .

يتألف السقف هنا من سطحين يصل بينهما عوارض تقوية . و التي تشكل ما يشبه الحجرات . الشكل (1-4) يبين رسماً تخطيطياً و مجسماً لخزان بهذا الشكل من السقوف.



الشكل (3-1) يبين رسماً تخطيطياً و مجسماً لخزان بسقف عائم مزود بفواشة حلقيّة annular-pontoon [3]



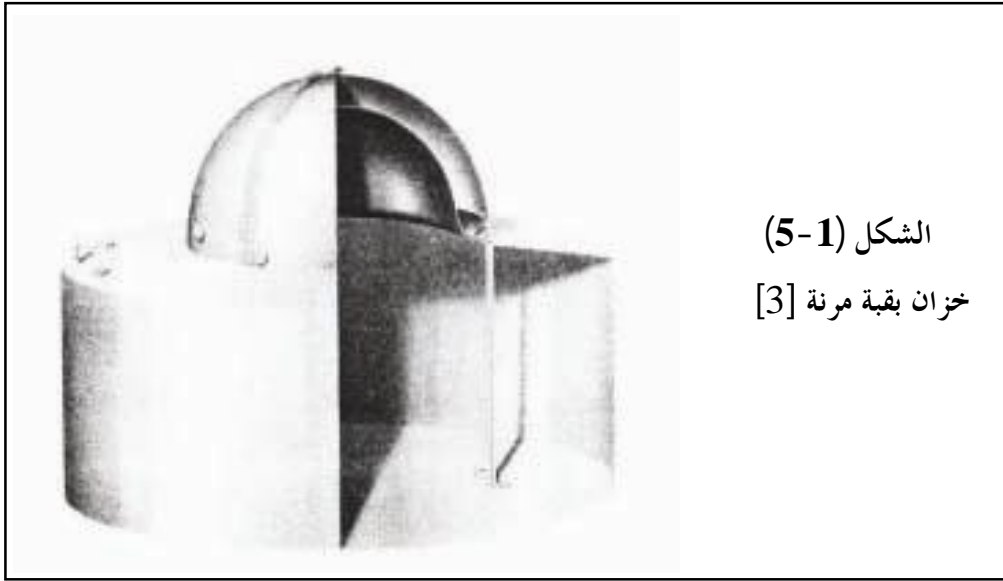
الشكل (4-1) يبين رسماً تخطيطياً و مجسماً خزان بسقف عائم ذو جدار مضاعف Double deck floating roof tank [3]

1-2-3 - الخزانات ذات السقف المتحرك "المتنفس" Breathing Roof Tanks:

من أجل القضاء على تنفس الخزانات . و بالتالي الضياعات المصاحبة لجأت الشركات إلى تصميم سقف بشكل غطاء مثل الناقوس . يتحرك إلى الأعلى إذا ارتفع مستوى السائل في الخزان الذي ينتج عنه ارتفاع قليل في ضغط الوسط الغازي الموجود فوق السطح السائل. من أجل الإحكام لمنع التهريب و سهولة الانزلاق يتحرك جدار السقف ضمن مجرى على محيط الخزان ، فيه سائل هيدروليكي يمنع التسرب.

1-2-4 - الخزانات ذات القبة الغازية (ذات القبة المرنة) Vapor-Dome Roof:

يوجد في السقف الثابت لهذا النوع من الخزانات قبة غازية من غشاء مرن . مغطاة بقبة معدنية ثابتة . مما يؤدي إلى تنفس معلق للخزان ، حيث تنتفخ هذه القبة ، إذا ارتفع مستوى السائل داخل الخزان ، و تنكمش إذا هبط مستوى السائل في الخزان ، كما في الشكل (1-5).

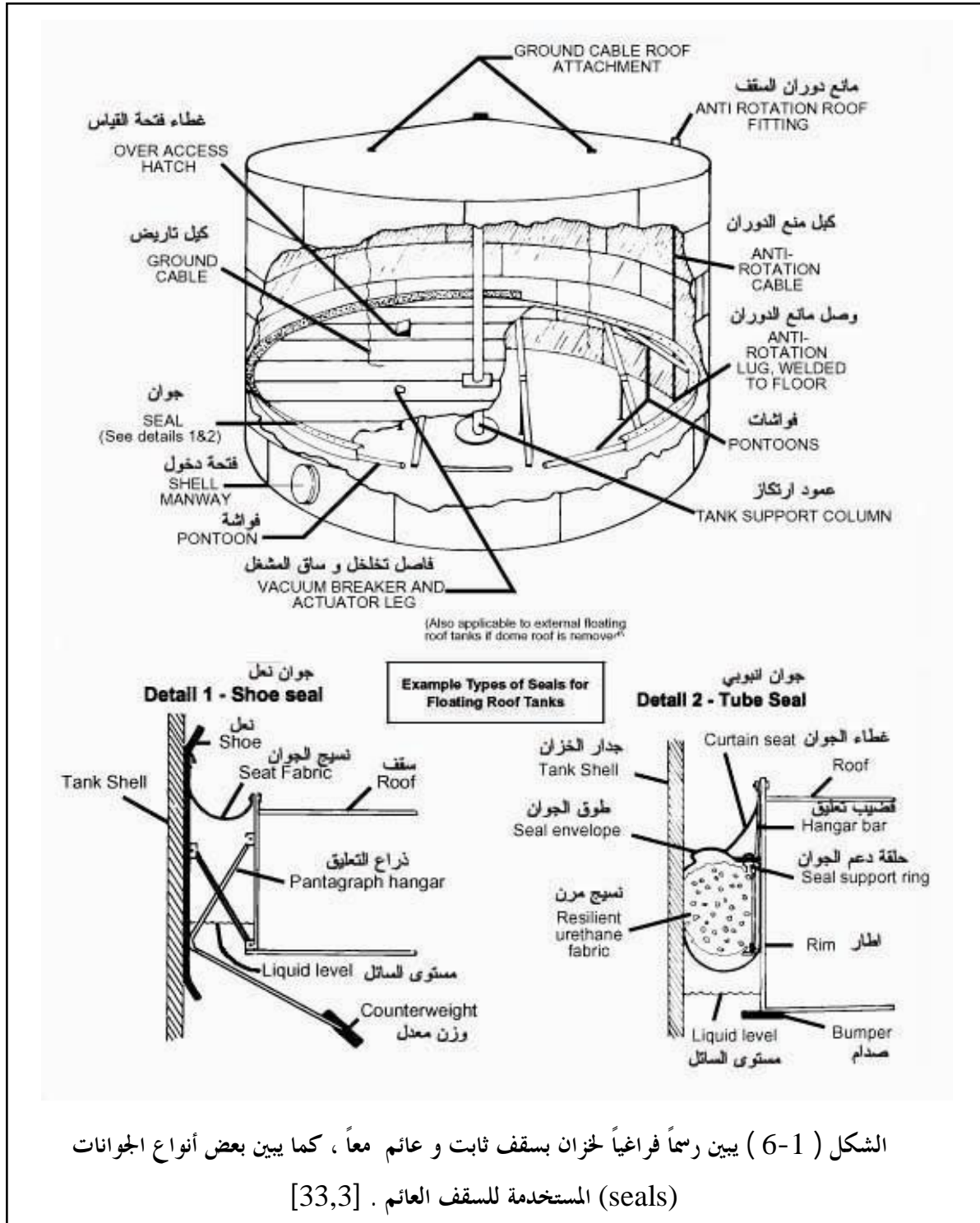


1-2-5 - خزانات ذات سقف ثابت إضافة إلى السقف العائم fixed roof plus

: floating roof tanks

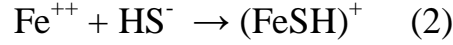
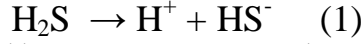
تستخدم هذه الأشكال في المناطق التي يكثر فيها الهطول المطري أو الثلجي، أو في المناطق التي يتواجد فيها الغبار، و التي يمكن أن تكون بفعل البشر أي ناتج عن عمليات التصنيع. أو جراء الحالة الجوية للمنطقة، مثل الصحاري التي تحدث فيها العواصف الرملية بشكل دائم. و هكذا فإن من محاسنها تجنب مشكلة انسداد فتحات التصريف الموجودة على السطح، و ما ينتج عن ذلك من مشاكل أثناء العمل. إلا أن من مساوئها وجود فراغ غازي

محصور بين السقفين، و غالباً ما يجوي مواد أكالة (مثل H_2S) لكامل السطوح المعرضة ضمن الفراغ. فضلاً عن كونه قد يتسبب في حدوث انفجار في حال كان مشبعاً بالغازات. الشكل (1-6) يبين أحد التصاميم لهذه الخزانات .



الشكل (1-6) يبين رسماً فراغياً لخزان بسقف ثابت و عائم معاً ، كما يبين بعض أنواع الجوانات (seals) المستخدمة للسقف العائم . [33,3]

عند وجود غاز H_2S في وسط ذي قيمة لـ pH تقع ضمن المجال 6-12 (من الجدول (6-9) درجة الحموضة للوسط في الاختبار 8.5) فإن الشاردة HS^- هي الأكثر استقراراً [10] ، و بالتالي يمكن التنبؤ بحدوث التفاعلات التالية:



و يمكن لنتائج التفاعل أن يتفاعل مع HS^- ليعطي مركباً قشرياً كبريتياً معقداً لونه أسود (و هو اللون الغالب على العينات بعد الاختبار) يشكل طبقة تقي المعدن من استمرار التفاعل حسب المعادلة:



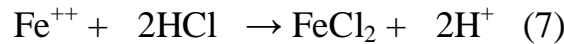
و بوجود شوارد الكلور فأثما ستهاجم الطبقة الواقية المتشكلة على سطح المعدن بسرعة (و هو سبب ظهور اللون الأخضر على العينات بعد الاختبار) وفق التفاعل التالي:



عند قيمة لدرجة الحموضة قريبة من التعادل يتنافس كل من كبريت الهيدروجين و شوارد الكلور على تشكيل معقد حديدي ، و ينشط تفاعل كبريت الهيدروجين مع الحديد بوجود الرطوبة، كما يتفاعل غاز كبريت الهيدروجين مع طبقة أكاسيد الحديد التي تشكل عادة طبقة حماية للفولاذ وفق التفاعلات التالية:



و يؤدي ذلك لفقدان الحديد لطبقة الأكاسيد التي توفر الحماية فتتسارع عملية التآكل. إن تفاعل الحديد مع المياه الحامضية سواء كانت الكبريتية أم الكلورية يترافق بانطلاق غاز الهيدروجين :



حيث أن شوارد الهيدروجين الحرة تنتج عند الكاتود خلال تشكل قشرة من FeS . و يمكن للهيدروجين الذري أن ينفذ بسهولة إلى داخل المعدن عبر حدود الحبيبات و عبر الحدود الناجمة عن التوضع غير المنتظم للذرات في شبكة الحديد المكعبة، و من ثم ينتشر نحو الفراغات و

الفجوات في الشبكة البلورية (و هذا ما يتوافر فعلياً في منطقة HAZ حين أن حجم الحبيبات أكبر و الفراغات التي بينها أكبر) و تصبح الظروف مهياًة لحدوث تفاعل تشكل جزئ الهيدروجين داخل البنية البلورية :



حيث أن قطر جزئ الهيدروجين 1.8534 أنغستروم بينما يكون قطر الفجوة أقل من ذلك ، فهو بحدود 0.7 أنغستروم (المسافة الفاصلة بين ذرتي حديد فريتي 0.346 أنغستروم) . و بالتالي بتراكم كل من ضغط الهيدروجين من الداخل و الحمولة المطبقة من الخارج و عندما يصل إلى قيمة أقوى من قوى الترابط بين الحبيبات قد تحدث ظاهرة SCC .

6-6- التوصيات و المقترحات:

- 1- ضرورة الفصل الجيد للمياه المرافقة في الحقول النفطية . و بالتالي الحد من خطر التآكل فضلاً عن الحد من تآكل خطوط النقل و التجهيزات المستخدمة.
- 2- عزل المنطقة التي يتواجد فيها الوسط الأكال و بالتحديد الدور الأسفل و القاعدة من الخزانات بطلاء مناسب مثل الايبوكسي أو الفيبر كلاس.
- 3- إعطاء اهتمام أكبر عند التفتيش الفني للخزانات أو بعبارة أخرى تطبيق دقيق للتفتيش لتحديد السماكات لأجزاء الخزان الموجودة فعلياً، و بشكل خاص للدور الأسفل من الجدار، لتحديد الحالة التآكلية الموجودة فيها ، و على ضوء النتائج تقرر الحالة التشغيلية المناسبة للخزان ، كأن يخفض الارتفاع العامل على سبيل المثال ، أو إجراء الإصلاح للخزان باستبدال الأجزاء المتآكلة.

المراجع references

المراجع الأجنبية

- American Petroleum Institute –API 650 Welded Steel Tanks For Oil Storage 1
,2000
API 652 - Lining of aboveground petroleum Storage tank bottoms ,Seconded 2
ion ,December 1997,Copy right by API - Nov.2003.
API XIII guide for inspection of refinery equipment 1981. 3
ASME Section IX. Welding and Brazing Qualification 2001. 4
Welding Handbook - American , Welding Society AWS.Fundamentals of 5
Welding - Seventh Edition,Volume1.
Tristar Middle East -" Welding Technology and N.D.T For Welded Joints 6
and Base Metal "Egypt - Tristar @ so/co.uk. 2003..
Beginners Guide to Cor., Bill Nimmo and Gareth Hinds ,NPL s Cor. Group , 7
Fep .2003 NPL NCS Web site .
Stress Cor. Cracking test method , A.John Sedriks , B.C.Syrett , Series Edit - 8
NACE National Association of Cor. Engineering 1996.
AWS A5.1-64T ASTM A233-64T Mild Steel Covered Arc- Welding 9
Electrodes 1964 .
H₂S corrosion in oil and gas production a compilation of classic 10
paper,R.N.Tuttle,national association of corrosion engineers,(1981).
ASTM G15&,G30 ,1997 11

المراجع العربية

- السباكة و اللحام ، د.أحمد علي أحمد ، جامعة تشرين 12
الفحص الهندسي و التآكل – منشورات معهد النفط العربي للتدريب APTI - بغداد 2002 13
تقنيات اللحام – منشورات معهد النفط العربي للتدريب APTI - بغداد 2002 14
دراسة العوامل المؤثرة في تآكل الوصلات اللحامية لأنابيب الغاز و النفط ،رسالة ماجستير،م.نورمان 15
عنقا، بإشراف د.م. محمد علي سلامة،جامعة دمشق 2003 .
حماية المعادن من التآكل في الأوساط النفطية، رسالة ماجستير ،م.آصف محمد، بإشراف د.م. أحمد 16
كاسر إبراهيم & د. م. أحلام عماد، جامعة البعث،2002
هندسة التكرير-1،د.م أحلام خالد عماد ، أ.د.م يوسف جوهر ، جامعة البعث ، 1998 17
محاضرات في هندسة التآكل ، د. حسان حامد ، جامعة البعث ، كلية الهندسة البترولية و الكيمائية 18
، 2000-2001
أبحاث تجريبية للدكتور حسان حامد 2005. 19
تكنولوجيا اللحام ، د. عبد الرزاق إسماعيل خضر ، د. نوفل محمد حسين ،د. أحمد علي أكبر ، 20