الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY
كلية هندسة البترول
Faculty of petroleum engineering

تصحيح قياسات الخزانات النفطية

((مشروع تخرج لنيل درجة الإجازة في الهندسة البترولية))

إعـــــداد

أحمد محمد مشوح ناصر خليف عويد علي محمد البدوي

بإشـــــراف

الأستاذ الدكتور: ماهر سعادة

العام الدراسي : 1437 هـ - 2016 م

كَلِمَةُ شُكرٍ

أحمدُ الله جل ثناؤه وتقدست أسماؤه على عظيم آلائه، وكريم جوده وفضله وتوفيقه لي، وعونهِ على إتمام، وتيسير هذا البحث ابتداءً وانتهاءً، ولهُ الحمدُ في الأولى والآخرة وهو السميع العليم.

أتوجه بجزيل الشكر ومنتهى الإحترام إلى فضيلة الدكتور ماهر سعادة أطال اللهُ في عمرهِ وبارك له في عِلمِهِ وعَمَلِهِ على ما أسدا إلي من توجيهات ونصائح.

ثم أتوجهُ بالشُكرِ الجزيلِ والعرفان إلى إدارة الجامعة السورية الخاصة دكاترة وإداريين وموظفين لما بذلوه ويبذلوا في سبيل رقي العلم والعلماء، وعلى مايسرتهُ للطلاب في هذا الصرح العلمي الكريم، وأسألُ اللهَ أن يُسدد خُطاي، وأن يوفقني لِما يحبهُ ويرضاه.

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	6
الفصل الأول	7
مقدمة	7
التصنيف الكيميائي للهيدروكربونات	7
البارافينات	8
النافثينات	8
الهيدروكربونات الأليفاتية غير المشبعة	9
الهيدروكربونات الأروماتية	9
المكونات غير الهيدروكربونية	10
المحتويات الفلزية	10
أشكال تواجد الغاز الطبيعي	10
خصائص النفط الخام	11
الكثافة	11
الكثافة النسبية للنفط ودرجاتAPI	12
اللزوجـة	13
تأثير درجة الحرارة على لزوجة النفط	14
الانضغاطية ومعامل المرونة الحجمي	15
الكهربة	15
التبخر	16
ضغط ريد البخاري	16
محتوى الأملاح	16
محتوى الكبريت	16
المواصفات النمطية للنفط الخام عند الضخ	17
سلوكية الخامات النفطية	18
تصنيف السوائل	18
سلوكية السوائل	19
مشاكل سلوكية الخامات النفطية الثقيلة عند نقلها بالأنابيب	24
طرق نقل الخامات النفطية الثقيلة	24

الفصل الثاني	27
مقدمة	27
أنواع الخزانات	27
تطور عملية التخزين	27
تصنيف الخزانات	28
الخزانات ذوات السقوف الثابتة	29
الخزانات ذوات السقوف العائمة	32
أنواع السقوف العائمة	34
السقف العائم بشكل الصحن وبطبقة واحدة من المعدن	34
السقف العائم الذي يحتوي على فواشات	35
السقف العائم ذو الجدار المضاعف	37
أنظمة إحكام السقف العائم	37
أنظمة الأحكام الأولي	38
نظام الإحكام الأولي الميكانيكي بنعل	38
نظام الإحكام الأولي بغلاف مرن ومملوء (بسائل ، رغوة ، بخار)	39
نظام الإحكام الأولي مع ماسح مرن	40
أنظمة الأحكام الثانوي	41
إحكام ثانوي مزود بنعل	41
إحكام ثانوي مزود بإطار	41
الخزانات ذوات السقوف المتحركة(المُتنفسة)	43
الخزانات ذوات القبب المرنة (القبعة الغازية)	44
خزانات تعمل عند ضغط أعلى من الضغط الجوي	45
خزانات تعمل عند ضغط منخفض نسبياً	45
خزانات تعمل عند ضغط عالٍ نسبياً	45
الخزانات الكروية	45
الخزانات الأسطوانية الأفقية	46
الخزانات الخاصة	47
الخزانات المبردة والمعزولة	47
خزانات لتخزين النفط في البحر (تحت بحرية)	47
الخزانات تحت الأرضية	48
الخزانات العائمة	49
الفصل الثالث	51
مقدمة	51
قياس الحجم	51
قياس الخزان يدويا	52
القياسات الداخلية	52
القياسات الخارجية	53
الأخطاء والدقة عند القياس اليدوي	54
الأخطاء التراكمية	54
الأخطاء غير التراكمية	55

تصحيح حجم المنتجات النفطية الخفيفة من الحرارة الفعلية إلى درجة الحرارة 60°F	56
العوامل المؤثرة على حجم السائل	56
أخذ العينات	58
أخذ العينات من الخزان يدوياً	58
أخذ العينات باستعمال سارق العينات	58
نقاط أخذ العينات	59
العينات الموضعية	60
عينات كافة المستويات	60
عينة متوالية أو متتالية	61
عينات الصنابير	61
قياس درجة الحرارة في الخزانات النفطية	62
القياس اليدوي	62
القياس الأوتوماتيكي	65
الفصل الرابع	66
مقدمة	66
الشروط المرجعية	66
بطاقة (شهادة)القياس	67
تعيين حجم السوائل	67
عوامل التصحيح	68
عوامل تصحيح كثافة السائل	68
تصحيح تأثير درجة الحرارة على كثافة السائل	69
تصحيح تأثير الضغط على كثافة السائل	69
عوامل جهاز القياس	69
تصحيح تأثير درجة الحرارة على الفولاذ	71
تصحيح تأثير الضغط على الفولاذ	72
حسابات الحجم الاختباري النهائي	72
حسابات الحجم المتري النهائي	73
حسابات عامل جهاز القياس	73
تصحيح تأثير درجة الحرارة على فولاذ قشرة الخزان	74
تصحيح الرواسب والمياه	74
الخلاصة	74
النتائج و المقترحات	76
المراجع العلمية	77

المقدمة

عرف الإنسان النفط منذ زمن بعيد فالمصريون القدامى استخدموا النفط لإغراض مختلفة ومن المحتمل إن القدماء استعملوا البترول كمرهم وكعازل ضد الماء وفي صناعة المشاعل وصناعة السفن .

حتى القرن السابع عشر كان النفط الخام ينضح من الآبار بواسطة الدلاء وكان يخزن في أوعية فخارية وأكياس جلدية وفي القرن السابع عشر ظهرت خزانات النفط الخام الأولى حيث كان يخزن في الحفر الأرضية وكان عمق هذه الحفر من (4 - 5) متر في التربة الغضارية أو في خزانات حجرية مبنية داخل الأرض وقد استمر هذا النوع من التخزين حتى النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

إن أول أنبوب معدني لنقل السوائل كان من صنع المصريين القدماء عام (2700) ق.م وقد صنع من النحاس واستخدم لنقل الماء ثم بعد ذلك بلغ طول أول خط أنابيب ناجح لنقل البترول لمسافات بعيدة حوالي (8 كم) وكان قطره ما يقارب (5 سم) وقد أنشئ هذا الخط في الولايات المتحدة الأمريكية غرب ولاية بنسلفانيا عام (1865) م بسعة يصل قدرها إلى (800) برميل في اليوم .

بعد ذلك تطورت طرق إنتاج ونقل وتخزين النفط حتى وصلت إلى ما هي عليه اليوم حيث تستخدم أحدث التكنولوجيا المبتكرة .

وتعتبر طريقة النقل بالأنابيب من أرخص الطرق لنقل السوائل فهي تؤمن نقل كميات كبيرة من النفط وبصورة مستمرة ، وتأتي أهمية التخزين من الدور الهام الذي تلعبه هذه العملية في مجال الصناعة النفطية في حقول الإنتاج أو في معامل التكرير أو موانئ التصدير وأن تخزين المنتجات النفطية لا يقل أهمية عن تخزين النفط الخام ويسعى العالم اليوم للوصول إلى الظروف المثالية لعملية التخزين وبما يتوافق مع الشروط الاقتصادية ومع الأمن البيئي والصناعي.

في هذه الدراسة تم تناول أربعة فصول أساسية و هي :

الفصل الأول "التعريف بالنفط و أهم خصائصه" :و يتناول لمحة عن النفط وتركيبه الكيميائي وخصائصه الفيزيائية وسلوكية الخامات النفطية وخواصها الانسيابية وتأثيرها على عملية نقل النفط.

الفصل الثاني "تخزين النفط و مشتقاته البيضاء" :و يتناول عملية تخزين النفط وأنواع الخزانات وتصنيفها وتفاصيل كل نوع ومحاسنه ومساوئه .

الفصل الثالث"التشغيل الروتيني للخزانات" :و يتضمن هذا الفصل عمليات قياس حجم الخزانات النفطية وطرق اخذ العينات للتحليل من الخزان النفطي بالإضافة إلى قياس درجة الحرارة النفط في الخزان .

الفصل الرابع"عوامل التصحيح" : ويتناول هذا الفصل كيفية حساب حجم السوائل الهيدروكربونية وذلك بعد إجراء التصحيحات المناسبة وذلك باستخدام بيانات القياس الأولية وعوامل التصحيح .

الفصل الأول

لمحة عن النفط و تركيبه الكيميائي

مقدمة :

يتداخل عنصرا الكربون والهيدروجين في تكوين جميع المكونات العضوية البترولية، وباتحاد هذين العنصرين تتكون مجموعة ضخمة من المركبات العضوية تسمى بالهيدروكربونات التي تمثل أكثر من ثلاثة أرباع المكونات البترولية، لذلك فإن الخواص الطبيعية والكيميائية للهيدروكربونات تسود على صفات المكونات الأخرى وخصائصها، والتي تعد أيضاً مشتقات هيدروكربونية لعناصر الأكسيجين والكبريت والنيتروجين . ولا يزال البترول المنبع الأساسي للهيدروكربونات.

1-1- التصنيف الكيميائي للهيدروكربونات:

هناك نوعان أساسيان هما **الهيدروكربونات المشبعة (Saturated Hydrocarbons)**، التي تتميز بترابط الكربون فيها عن طريق الروابط الأحادية من نوع سيجما (Sigma Bond)، و**الهيدروكربونات غير المشبعة (Unsaturated Hydrocarbons)**، التي توجد بها الروابط المضاعفة من نوع باي (π (Pi) Bond)كالروابط الثنائية والثلاثية. وطبقا للشكل الجزيئي تصنف الهيدروكربونات إلى **أليفاتية (Aliphatic)**، وهذه بدورها إما أن تكون مشبعة أو غير مشبعة، **وأروماتية (Aromatic)**، وهي التي تحتوي على الأقل على حلقة سداسية ذات ثلاث روابط ثنائية متبادلة، أو حلقات خماسية أو سداسية تحتوي كل منها على ستة إلكترونات ثنائية الرابطة من نوع باي (π(Pi)-Electrons)، ووفق الشكل الجزيئي أيضاً تنقسم الهيدروكربونات المشبعة إلى البارافينات أو الألكانات ، والنافثينات أوالألكانات الحلقية المشبعة وبوجه عام يعنى العاملون في مجال البترول بتقسيم المكونات الهيدروكربونية إلى ثلاث مجموعات رئيسية وهي البارافينات ، والنافثينات ، والأروماتيات . هذا وتختلف نسبة المجموعات الهيدروكربونية في الخامات البترولية طبقاً لمصدر الإنتاج ، وتصنف خامات البترول حسب نسب مكوناته الهيدروكربونية إلى خامات بارافينية ونافثنية وأروماتية. ويصنف البترول اقتصاديا من ناحية إنتاجه للغازولين إلى خفيف ومتوسط وثقيل وفق نسب المقطرات الهيدروكربونية الخفيفة . كذلك تحدد نسب المجموعات الهيدروكربونية المختلفة أغلب مواصفات جودة المنتجات البترولية وقياساتها ، ويتناقص عامة المحتوى البارافيني مع ازدياد الوزن الجزيئي للمنتجات البترولية ، إذ ترتفع نسبة البارافينات في الغازولين إلى (80%) وتنخفض إلى أقل من (30%) في زيوت التزييت، وأحيانا تنتج بعض الخامات الإسفلتية زيوت تزييت خالية تماما من الشموع البارافينية.

1-1-1 البارافينات (Paraffin) :

تشمل هذه المجموعة الهيدروكربونات ذات السلسلة المستقيمة، والتي تسمى بالألكانات أو البارافينات العادية. وعندما تحتوي السلسلة على أكثر من(18) ذرة كربون، يطلق عليها اسم الشموع البارافينية أو الشموع المعدنية. وقد تحتوي السلسلة المستقيمة على مجموعة ميثيلية (CH3) مرتبطة بذرة الكربون الثانية ، و تسمى بالأيزوبارافينات (Iso-Paraffins) . وقد تشمل السلسلة الهيدروكربونية مجموعة أو أكثر من المجموعات الألكيلية، المتماثلة أو المختلفة، موزعة على أماكن متفرقة من السلسلة وتسمى البارافينات المتفرعة. وهذه المجموعة من الهيدروكربونات تتخذ الصيغة الجزيئية (C_nH_{2n+2}) .

تتواجد البارافينات العادية في معظم الخامات البترولية، حتى الإسفلتية منها ولو بنسب صغيرة، وحتى في المخلفات (Residues) . وتتناقص نسبة البارافينات العادية كلما ازداد مدى غليان المنتجات البترولية.

كذلك تقل نسبة البارافينات المتفرعة مع ازدياد الوزن الجزيئي للمنتجات البترولية، وتزداد نسبة الأيزوبارافينات على نسبة المتفرعات الأخرى من السلسلة الخطية.

بالنسبة للخصائص الكيميائية للبارافينات فإن روابط سيجما تتميز بثباتها الحراري وقلة نشاطها الكيميائي. والبارافينات لا تتفاعل مع الأحماض غير العضوية مثل حامض الكبريتيك، أو الهيدروكلوريك، والنيتريك، ولكنها تتفاعل مع الأحماض فوق العالية مثل حمض الفلوروسلفونيك. وتتعرض البارافينات لبعض التفاعلات البيولوجية، حيث تتغذى عليها بعض الخمائر (Yeasts) وتنتج بعض الأحماض الدهنية والبروتينات. ولا تتأكسد البارافينات بعوامل الأكسدة الشائعة مثل برمنغنات البوتاسيوم، أو ثنائي كرومات الصوديوم، بل تتأكسد بالهالوجينات تحت ظروف معينة من الضوء والحرارة .

2-1-1 النافثينات (Naphthenes):

هي الهيدروكربونات المشبعة المكونة بفعل ارتباط مجموعات المثيلين في حلقة أو أكثر، وتحوي الحلقة الواحدة (3 – 9) ذرات كربون، وتندرج هذه الهيدروكربونات ضمن الهيدروكربونات الأليفاتية الحلقية ، والصيغة الجزيئية العامة للنافثينات البسيطة هي (C_nH_{2n}) أي أن نسبة الهيدروجين إلى الكربون تعادل (2 : 1) أما في النافثينات متعددة الحلقات فإن الهيدروجين يقل بما يعادل ذرتين منه لكل حلقة مضافة إلى الحلقة الأصلية، والصيغة الجزيئية العامة للنافثينات متعددة الحلقات هي(C_nH_{2n-2x}) حيث (n) تمثل عدد ذرات الكربون، (X) تمثل عدد الحلقات المضافة إلى الحلقة النافثينية الأصلية. وتسمى النافثينات بإضافة المقطع (Cyclo) إلى الألكان مستقيم السلسلة المماثل في عدد ذرات الكربون مثل السيكلوبوتان والبترول لا يحتوي إلا على النافثينات التي تشمل خمس أو ست ذرات من الكربون، وتوجد النافثينات في الخامات البترولية بنسب متفاوتة حسب نوع الخام ومصدر إنتاجه، كما توجد في جميع المقطرات والمخلفات البترولية بكميات معقولة. وتوجد النافثينات البسيطة ومشتقاتها الميثيلية في مدى غليان الغازولين، بينما توجد مشتقات النافثينات الألكيلية والأروماتية في المقطرات الوسطى والثقيلة . وتوجد النافثينات متعددة الحلقات في مقطرات النفثا الثقيلة. وتتقارب الصفات الكيميائية

والطبيعية للنافثينات مع البارافينات، وتتأثر مثلها بزيادة المحتوى الكربوني، وإن تميزت النافثينات بانخفاض معدل لزوجتها، وبارتفاع أرقامها الأوكتينية، كما تتميز النافثينات بارتفاع حرارة الاحتراق.

1-1-3 الهيدروكربونات الأليفاتية غير المشبعة:

تتخذ الصيغة الجزئية العامة ($C_n H_{2n}$)، وتسمى كذلك بالأوليفينات (Olefins)، وتسمى مركباتها بإضافة المقطع "ene" إلى المقطع الدال على عدد ذرات البرافين المماثل أو إلى المجموعة الألكيلية . وتوجد الهيدروكربونات غير المشبعة في بعض الخامات البترولية بنسب قد تصل إلى (3%) من وزن الخام ، كما توجد بنسب بسيطة في بعض المنتجات البترولية نتيجة للتكسير الحراري في أثناء عملية التقطير. وتتماثل الأوليفينات في خواصها الطبيعية مع البارافينات والنافثينات المماثلة في الوزن الجزئي والشكل التركيبي ، وتزداد درجة الغليان بحوالي (20 - 30) درجة مئوية لكل إضافة من مجموعات المثيلين، وكذلك تقل درجة الحرارة بالزيادة في درجة التفرع ، كما تتميز الأوليفينات بأرقام أوكتينية عالية نسبيا عن البارافينات. والنشاط الكيميائي للأوليفينات يشمل تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية والبلمرة، وتفاعلات الألكلة الأليفاتية والأروماتية وتفاعلات الأكسدة.

وبسبب الأكسجين الجوي تتعرض الأوليفينات إلى البلمرة الأوكسجينية ، وتنتج بلمرات راتيجية تعطى للمنتجات البترولية المحتوية على الأوليفينات لونا أصفر عند تعرضها للهواء في أثناء التخزين، لذلك تجري هدرجة الغازولين وزيوت التزييت لرفع معدل ثباتها ضد الأكسدة في أثناء التداول والتخزين.

1-1-4 الهيدروكربونات الأروماتية (AROMATIC HYDROCARBONS):

لها دور أساسي في تقويم جودة المنتجات البترولية، وتعرف بأنها الهيدروكربونات المحتوية على حلقة أو أكثر من حلقات البنزين . والبنزين هو أبسط الهيدروكربونات الأروماتية ، وتتميز حلقته بتماثلها وثباتها الحراري والكيميائي. وتنقسم الهيدروكربونات الأروماتية إلى البنزين ومشتقاته الألكيلية، وإلى الأروماتيات المتكافئة مثل النافثالين، والأنثراسين والبيرين (Pyrene)، ثم إلى الأروماتيات عالية التكثيف. وتندرج الحلقات الأروماتية تحت الصيغة الجزيئية العامة (C_nH_{n-2x}) حيث تمثل (n) عدد ذرات الكربون، وتمثل (x) عدد الحلقات المضافة إلى الحلقة الأصلية.

وتسمى المشتقات الأروماتية بمشتقات البنزين، وكما يمثل البنزين أبسط الحلقات الأروماتية فإن التولوين (Toluene) هو أبسط المشتقات الألكيلية. وقد تلتحم الحلقات الأروماتية عبر ذرتين من الكربون مكونة الأروماتيات المتكاثفة التي تبدأ بالنافثالين ذي الصيغة الجزيئية ($C_{10}H_8$) ثم الأنثراسين ($C_{14}H_{10}$) فالبيرين ($C_{16}H_{10}$).

وتوجد الأروماتيات بنسب متفاوتة في الخامات البترولية، وتتراوح بين (10%) فأقل في الخامات البارافينية، وحتى (50%) فأكثر في الخامات الإسفلتية، وفي الغالب يتزايد المحتوى الأروماتي في المنتجات البترولية بزيادة مدى غليان هذه المنتجات، وعادة توجد الأروماتيات البسيطة التي لا تحتوي على سلاسل بارافينية أو حلقات نافثينية بصورة متزايدة في المقطرات الخفيفة، بينما تتركز الأروماتيات المتكاثفة في المخلفات البترولية الإسفلتية، وتزداد نسبة الأروماتيات المحتوية على حلقات نافثينية في زيوت التزييت، ويتميز البنزين بارتفاع درجة تجمده ، وانخفاض درجة غليانه عن التولوين والزايليين .

1-1-5 المكونات غير الهيدروكربونية :

تحتوي الخامات البترولية على العديد من المشتقات الهيدروكربونية المحتوية على الكبريت والنيتروجين والأوكسجين بكميات تختلف حسب تنوع مصادر إنتاجها، كما تحتوي هذه الخامات على كميات صغيرة من المركبات العضوية الفلزية الذائبة في الخليط الهيدروكربوني والأملاح غير العضوية المعلقة في الغرويات المائية . وتوجد المكونات غير الهيدروكربونية حسب مدى غليانها في كل المقطرات البترولية، وتتركز في المنتجات البترولية الثقيلة .

ومن الضروري التخلص من هذه المكونات التي تؤثر على جودة المنتجات البترولية، نتيجة تأثير حامض الهيدروكلوريك الناتج عن التحلل الحراري للكلوريدات غير العضوية في تآكل المنشآت المعدنية، وكذا المركبات الكبريتية الحامضية. وتسبب المركبات الكبريتية والنيتروجينية والمشتقات المعدنية وخاصة مشتقات النيكل والفاناديوم تسمم الوسائط (Catalyst Poisoning) في أثناء عمليات التكرير والتصنيع، كما تتعرض معظم المركبات الكبريتية والنيتروجينية للأكسدة في أثناء النقل والتخزين، مثلما تساعد على أكسدة وبلمرة بعض الهيدروكربونات، فتؤدي إلى إنتاج الراتنجات في المقطرات الخفيفة ، ما يخفض كفاءة تشغيل هذه المنتجات وأداءها.

1-1-6 المحتويات الفلزية :

توجد آثار من الفلزات في الخامات البترولية وتتركز في المخلفات الثقيلة، وتأخذ صورة مشتقات عضوية فلزية ذائبة أو أملاح صابونية أو معلقات ، ولها تأثير ضار على الوسائط في صناعة البترول. ومن أهم هذه الفلزات النحاس والكالسيوم والمغنيزيوم والزنك والألومينوم والسيليكون والنيكل والحديد والفاناديوم .

1-2 أشكال تواجد الغاز الطبيعي :

1- الغاز الحر : ويدعى أحياناً بالغاز الطبيعي ويكون هذا الغاز على نوعين :

جافاً : حيث يحوي على الميتان مع كميات قليلة من الإيتان .

رطباً : حيث يحتوي على كميات كبيرة من الفحوم الهيدروجينية الأعلى من الميتان

ويقسم الغاز الحر بدوره إلى :

أ- الغاز الحر الطبيعي : وهو عبارة عن فحوم هيدروجينية خفيفة (C1 - C3).

ب- غازات القبعة الغازية : يتواجد فوق النفط على شكل قبعة.

2- غاز الكوندنسات :(المتكثفات): عبارة عن مزيج من الغازات حيث يتواجد البروبان بنسبة عالية (85-94 %).

3- الغاز المرافق :

يكون هذا الغاز منحلاً في النفط في الشروط الطبقية ، وعند خروج المزيج **نفط -غاز** إلى سطح الأرض ونتيجة لانخفاض الضغط تحت ضغط الإشباع ينفصل هذا الغاز عن النفط. ويتكون هذا الغاز عادة من هيدروكربونات ضمن المجال (C1 - C7) وتتراوح وجود نسب كل منها حسب صفات النفط المنتج .

يستخدم الغاز الطبيعي وقوداً في معامل التكرير، وفي صناعات أخرى، ووقوداً منزلياً، ثم مصدراً لتحضير بتروكيماويات عديدة، مثلما يمكن استخدامه في الإنتاج الثانوي للزيت. وقد استُخدِم الغاز الطبيعي حديثاً بنجاح وقوداً لمحركات آلات الاحتراق الداخلي. ويمكن عن طريق الأكسدة إنتاج الكحول الميثيلي والفلورم الدهايد من الغاز الطبيعي، وعن طريق الكلورة إنتاج الميثيل كلوريد ، والكلوروفورم، ورابع كلوريد الميثان، وعن طريق المعالجة الحرارية يمكن إنتاج الهيدروجين ثم تثبيته لتكوين الأمونيا اللازمة لصناعة الأسمدة.

1- 3: خصائص النفط الخام :

يختلف النفط الخام من مكان لآخر في المظهر واللزوجة ويمكن تحديد نوعية النفط من خلال إجراء الاختبارات التالية:

1. **الكثافة ، الكثافة النسبية ، والوزن النوعي . (API)**
2. **اللزوجة (viscosity)**
3. **الضغط البخاري (Vapor Pressure)**
4. **نقطة الوميض (Flash Point) ونقطة الحريق (Fire Point)**
5. **نقطة الضباب (Cloud Point) ونقطة الانصباب (Pour Point)**
6. **محتوى الكبريت (Sulfur Content)**
7. **الرواسب والماء (Basic Sediments & water)**
8. **متبقي الكربون (Carbon Residue)**

ترتبط الخواص الفيزيائية للخامات النفطية بتركيبها الكيميائي ومحتواها من البارافينات والمركبات العطرية والصموغ والاسفلتين والمركبات الكبريتية ، فيما يلي أهم هذه الخواص :

1-3-1 الكثافة :

تُعرف الكثافة بأنها كتلة واحدة الحجم ويرمز لها بالرمز "ρ" :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1\text{-}1)$$

حيث أن : M – الكتلة (g , Kg) ...

V – الحجم (cm^3 , m^3) ...

وتُعتبر الكثافة من أهم الخواص تعبيراً عن النفط الخام وإحدى أهم الدلائل الأساسية لجودته ، وهي ترتبط بالتركيب الكيميائي للنفط الخام فتزداد بازدياد نسبة الفحوم الهيدروجينية الثقيلة (الهيدروكربونات المعقدة) وخاصةً الصموغ أو الراتنجات والإسفلتين وبالعكس ، كما أنها تختلف باختلاف درجة الحرارة ، حيث تتناقص بارتفاع درجة الحرارة وتزداد بانخفاضها، وتُعطى كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة (t) معبراً عنها بواحدات القياس المطلقة بالعلاقة :

$$\rho_t = \rho_{20} - \zeta(t-20) \qquad (2\text{-}1)$$

حيث أن :

ρ_t - الكثافة عند درجة الحرارة (t) .

ζ - عامل التصحيح الحراري ، وقيمة هذا العامل تُحسب من العلاقة التالية :

$$\zeta = 1.825 - \rho_{20}.\ (0.001351)$$

حيث أن : ρ_{20} - كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة($20C^{\circ}$) , (kg/m^3) .

تتراوح قيم كثافة النفط الخام عند درجة الحرارة ($20C^0$) ، وعند الضغط الجوي الاعتيادي ، عادةً ضمن المجال ($0.7 - 1.07\ g/cm^3$) ، و بشكل عام فإن النفط ذو الكثافة الأكبر من ($1g/cm^3$) هو نادر الوجود .

2-3-1 الكثافة النسبية للنفط ودرجات (API) :

للتعبير عن كثافة النفط غالباً ما يُستخدم في الممارسة التطبيقية مفهوم الكثافة النسبية ρ_r () وهي نسبة كتلة حجم معين من السائل (النفط الخام) عند درجة حرارة معينة (t)إلى كتلة نفس الحجم من الماء عند درجة الحرارة ($4C^{\circ}$) ويرمز لها بالرمز($\rho_{r\,4C}^{t}$) وتعني الكثافة النسبية للنفط عند درجة الحرارة(t) C°, بالنسبة للماء عند درجة الحرارة ($4C^{\circ}$) .

وقد ابتكر الأخصائيون في مجال الصناعة النفطية في معهد البترول الأمريكي طريقة أكثر شمولاً للتعبير عن كثافة النفط الخام وذلك باستعمال ما يُسمى بدرجات الكثافة وفق المعهد المذكور وتُدعى اختصاراً (API)، وفق العلاقة التالية التي تربط بين الكثافة النسبية المعينة بواسطة أجهزة القياس المخبرية ، ودرجات الـ (API) بالمعادلة التالية على أن تحدد الكثافة النسبية للسائل وللماء عند الدرجة (60F) والتي تعادل (15.6 C):

$$API = \frac{141.5}{\rho_{r\,60F}^{60F}} - 131.5 \qquad (3\text{-}1)$$

حيث: $\rho_{r\,60F}^{60F}$ - الكثافة النسبية للنفط بالنسبة للماء عند الحرارة($60F^{\circ} = 15.6C^0$)

في الكثير من المراجع يعبَر عن الكثافة النسبية في المعادلة السابقة بتعبير الجاذبية النوعية Specific Gravity : SG وتؤول المعادلة السابقة إلى الشكل : $API = \frac{141.5}{S.G} - 131.5$

واعتماداً على درجات الـ (API) فإن النفط يقسم إلى :

API > 40 : نفط خفيف جداً

30<API<40 : نفط خفيف

23<API<30 : نفط متوسط

10<API<23 : نفط ثقيل

API <10 : نفط ثقيل جداً

3-3-1 اللزوجـة :

اللزوجة هي الصفة أو الخاصية الفيزيائية المميزة للسوائل الحقيقة بأنها تقاوم تغير شكلها، وتُعرف بأنها عكس السيولة أو الميوعة ، ويقال عن سائل بأنه لزج عندما يكون غليظ القوام وقليل الحركة (لا ينسكب بسهولة) ، وتعتبر أهم خاصية فيزيائية للنفط وهي تُعبر عن سلوكيته وحركيته – أثناء ارتشاحه في الطبقات المنتجة، وانتقاله ضمن مواسير الإنتاج أثناء رفعه إلى السطح ، وأثناء تدفقه عبر الأنابيب عند نقله على السطح بواسطة خطوط الأنابيب.

تقاس اللزوجة التحريكية (الديناميكية) (Dynamic Viscosity) في الجملة الدولية (SI) بواحدة (باسكال.ثانية Pa.s) وتسمى اصطلاحاً (ديكابواز Deca poisse) ، وعملياً تقاس اللزوجة بواحدة البواز (P) حيث :($1\ Poisse = 10^{-1}\ pa.s$) .

ويُقسم البواز إلى مائة جزء يُدعى كل جزءٍ منها سنتي بواز (CP) وبذلك فإن :

$$(1CP = 10^{-2}\ P = 10^{-3}\ pa.s)$$

وفي أغلب الحالات تُميز لزوجة السائل أثناء الحسابات الهيدروليكية بمعامل اللزوجة الحركية (الكينماتيكية) (Kinematic Viscosity)، والتي يرمز لها بالرمز (ν) وهي عبارة عن النسبة بين اللزوجة الديناميكية للسائل (η) وكثافته أي :

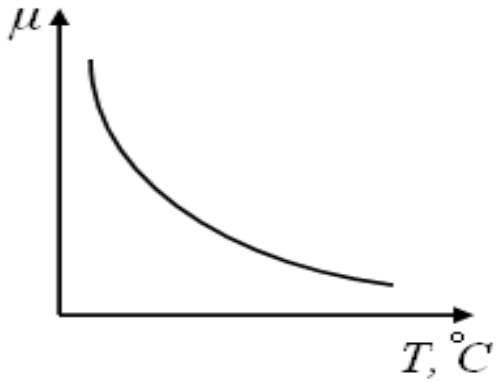
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (4\text{-}1)$$

واحدة قياس اللزوجة (ν) في الجملة الدولية هي **(m^2 / s)** ، وفي الحياة العملية تقاس اللزوجة الحركية بواحدة تُدعى **الـ (ستوكس)** نسبةً إلى مكتشفها ، ويُرمز لها **بـ (st)** ، حيث أن ($1\frac{m^2}{s}=10^4 st$)، ويقسم الستوكس إلى مائة سنتي ستوكس (cst)وبالتالي فإن :

(1cts = 10^{-2} st = 10^{-6} m^2 /s)

4-3-1 تأثير درجة الحرارة على لزوجة النفط :

تتعلق اللزوجة إلى حد كبير بدرجة الحرارة (t) ، وكغيره من السوائل فإن العلاقة بين لزوجة النفط الخام ودرجة الحرارة هي علاقة عكسية فكلما ارتفعت درجة حرارته كلما نقصت لزوجته والعكس بالعكس كما هو موضح في الشكل رقم (1-1) .



الشكل رقم (1-1) العلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة

لذلك عادةً ما يُسخن النفط اللزج أثناء الضخ بهدف تخفيض لزوجته وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الفعالة جداً لنقل السوائل غير النيوتونية بشكل عام لكنها مكلفة جداً..، وكثيراً ما يتطلب العمل في الصناعة النفطية حساب لزوجة النفط الخام أو مشتقاته عند درجات حرارة مختلفة على غرار ما يحدث عند إجراء الحسابات التكنولوجية لتصميم خطوط أنابيب النقل .

لقد اقترحت لهذا الغرض أكثر من معادلة "علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة " وأهمها معادلة رينولدز – فيلونوفا التالية :

$$\nu_t = \nu_* . e^{-u(t-t_*)} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث أن :

ν_t : اللزوجة الكينماتيكية المراد معرفتها عند درجة الحرارة (t) .

ν_* : اللزوجة الكينماتيكية عند درجة الحرارة (t_*) وتكون معلومة .

u : معامل الميل لمنحني اللزوجة وواحدته ($1/C^\circ$) ، ويحسب من العلاقة الآتية :

$$u = \frac{1}{t_1 - t_*}.\ln\frac{\nu_*}{\nu_1}$$

حيث أن :

ν_t - اللزوجة الكينماتيكية عند الدرجة t_1 ، وتكون معلومة .

5-3-1 الانضغاطية ومعامل المرونة الحجمي :

تعبّر الانضغاطية عن قابلية السائل للانضغاط أي خاصية تغير حجمه عند تغير الضغط المطبق عليه ، ويسمى العدد الذي يعبر عن التغير النسبي في حجم السائل والناتج عن تغير الضغط بمقدار ضغط جوي واحد عند ثبات درجة الحرارة ، معامل الانضغاط الايزوترمي الحجمي (B_v) (*Coefficient of Thermal Compression*) وواحدة قياسيه هي (pa^{-1}) :

$$B_v = -\frac{1}{V_1}\left(\frac{\Delta V}{\Delta p}\right)_{t=const} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث أن :

$\Delta V = V_1 - V_2$ تغير حجم السائل عند تغير الضغط بمقدار $\Delta p = p_2 - p_1$. وتدل إشارة السالب في المعادلة السابقة إلى تناقص الحجم عند ازدياد الضغط .

يسمى مقلوب معامل الانضغاطية الحجمي ، معامل المرونة الحجمية للسائل (*ModulusofElasticity*) (E_f) وواحدته هي واحدة الضغط (pa) .

$$E_F = \frac{1}{B_V} \qquad (7\text{-}1)$$

ويُعتبر هذا الأخير أحد الصفات المرنة للسائل ، ويظهر تأثيره بشكل واضح أثناء جريان السوائل وخاصةً في حالة السوائل غير النيوتونية (كالنفط الثقيل) .

6-3-1 الكهربة :

ينتج عن احتكاك مادتين مختلفتين بصفاتهما الفيزيائية والكيميائية شحنات كهربائية تُدعى بالكهرباء الساكنة، وهذا يُفسر تشكل الكهرباء الساكنة في كثير من حالات نقل وتخزين النفط الخام ومنتجاته المكررة ، وذلك نتيجة لحركة السائل في الأنابيب أو عند تعبئة الصهاريج أو خزانات الناقلات النفطية المختلفة ، أو خزانات التخزين . فإذا كان كمون الأنابيب المعدنية المعزولة أو الخزانات المليئة بالنفط كبيراً بالنسبة للأرض فإن أي عملية تماس خارجية ما بين هذه الشحنات والأرض تؤدي إلى تشكل شرارة كهربائية قد تؤدي إلى حريق أو انفجار في المواد البترولية .

لمكافحة هذه الظاهرة يجب تأريض كل المنشآت الصناعية النفطية ، وكذلك شبكات خطوط الأنابيب ووسائط النقل الأخرى المستخدمة لنقل النفط الخام ومنتجاته المكررة ومن هنا جاءت فكرة وضع سلسلة معدنية تتدلى من الناحية الخلفية لجسم صهريج نقل المواد النفطية وتتلامس مع الأرض.

1-3-7 التبخر :

إنّ وجود النفط الخام أو المنتجات البترولية في أوعية مفتوحة إلى الوسط الخارجي يتصف بانتقال جزيئات السائل البترولية في الشروط العادية من الطور السائل إلى الطور البخاري وهذا ما يُسمى بالتبخر، وتتعلق عملية تبخر النفط الخام أو منتجاته إلى حد كبير بضغط البخار المشبع فكلما كبر هذا الأخير كلما زاد تعرض السائل (النفط) للتبخر، ومن ناحية أخرى يتعلق ضغط البخار المشبع بدرجة حرارة السطح الخارجي للسائل ، فبزيادة درجة الحرارة هذه يزداد ضغط البخار المشبع (الضغط البخاري) ، وبالتالي فإنه إذا خُزّن النفط في خزان مفتوح فسيحدث له تبخر وسيفقد جزءاً من مركباته الخفيفة (المركبات الطيارة) وستكون الكمية المفقودة أكبر كلما ارتفعت درجة حرارة الوسط المحيط ، ولتجنب فقدان الأجزاء الخفيفة من البترول خلال عمليات الإنتاج والنقل والتخزين فإنه من الضروري أن يكون الطريق من البئر وحتى معمل التكرير (المصفاة) محكماً ومعزولاً عن الوسط الخارجي .

1-3-8 ضغط ريد البخاري (Pressure Ried Vapor):

وهو مقياس للضغط البخاري المسلط بواسطة النفط أو المنتجات الخفيفة في(100°F)وفائدته معرفة ضغط بخار النفط لمنع تأثيراته السلبية عند النقل والتخزين.

1-3-9 محتوى الأملاح (content Salt) :

النفط الحاوي على أملاح يكون غير مرغوباً فيه لحاجته إلى وحدات إزالة الأملاح ويُعبّر عن محتوى الأملاح بوحدات (باوند من الأملاح) مثل (NaCl) لكل (1000) برميل من النفط ويسمى (PTB) أو يعبر عنها بواحدات (ppm) (جزء من مليون (Part per million)) .إن الأملاح الموجودة في النفط الخام والمنتجات الثقيلة قد تسبب مشاكل تآكل خطيرة في الخزانات وأنابيب النقل وخاصةً في الأجزاء العليا من أبراج التقطير .

1-3-10 محتوى الكبريت (content Sulfur) :

يعبر عنه كنسبة وزنيه (جزء بالمليون) لمحتوى الكبريت في نموذج للنفط الخام أو أحد منتجاته، ويجب أخذه بعين الاعتبار بالإضافة إلى(API) لتحديد قيمته التجارية. حيث أن النفوط الثقيلة تكون ذات محتوى كبريتي عال كما أن وجود الكبريت في النفط الخام يؤدي إلى مشاكل التآكل .

المواصفات النمطية للنفط الخام عند الضخ (Typical Crude Oil Pipeline Specifications)

Test	Results
الماء والرواسب BS&W ، Basic Sediments & water نفط خفيف (ماء ورواسب) نفط ثقيل (ماء بطريقة التقطير)	0.025 WT % Max. 0.5 % water by distillation
نقطة الانصباب(Power Point)	< 50 ^{o}F
الكبريت(Sulfur) نفط خفيف نفط ثقيل	4.2 % WT 0.63 – 0.75 % WT
RVP ضغط الأبخرة بطريقة ريد للنفط الكبريتي	< 9.5 PSIA (AT 100^{o}F)
النفط الحلو(Sweet Crude)	< 0.5 WT % Sulfur
RVP ضغط الأبخرة بطريقة ريد للنفط الحلو	10.0 PSIA AT(100^{o}F)

1-4- سلوكية الخامات النفطية :

1-4-1 تصنيف السوائل (Classification of fluids) :

تقسم السوائل إلى مجموعتين طبقاً لسلوك تدفقها (Flow behavior) :

سوائل نيوتونية: (Newtonian fluids) تكون لزوجتها تابعة فقط لدرجة الحرارة ولكنها غير تابعة لمعدل القص (shear rate) أو للزمن وهي تحقق قانون نيوتن للزوجة Newton's Viscosity (Law) :

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dn}$$

حيث:

$\dot{\gamma} = \frac{du}{dn}$: معدل القص (shear rate) $(1/s)$.

τ : إجهاد القص shear stress، (N/m^2).

μ : معامل اللزوجة التحريكية (Dynamic Viscosity), (Pa.s)

كأمثلة عن هذه السوائل يذكر الماء ، المنتجات النفطية البيضاء ، زيوت التزليق الخفيفة والنفط الخفيف .

سوائل غير نيوتونية (Non-Newtonian fluids) : تكون لزوجتها ليست تابعة لدرجة الحرارة فقط وإنما لمعدل القص و للزمن أيضاً بالنسبة لبعض السوائل . وطبقاً لكيفية تغير اللزوجة بالعلاقة مع الزمن فإن سلوكية تدفق هذه السوائل تصنف إلى :

1- سوائل غير نيوتونية متعلقة بالزمن:

( )Non-Newtonian fluids, time dependent

2-سوائل غير نيوتونية مستقلة عن الزمن :

(Non-Newtonian fluids, time independent)

وهي تحقق قانون بنغهام (Bingham's Law) :

$$\tau = \tau_o + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (9\text{-}1)$$

حيث أن :

τ : إجهاد القص ، (pa or $\frac{Dyne}{cm^2}$).

τ_o : إجهاد القص الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (Pa), (τ_o) yield stress value

$\dot{\gamma}$: معدل القص (shear rate) ($1/s$)

أولاً : سوائل غيرنيوتونية متعلقة بالزمن :

تكون لزوجة السائل تابعة لدرجة الحرارة ولمعدل القص والزمن .اعتمادا على تغير اللزوجة مع الزمن تصنف هذه السوائل إلى :

تكسوتروبية (Thixotropic time thinning) :

تترقق مثل هذه السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة بسبب تحطم بنيتها الداخلية وبمعنى آخر تتناقص لزوجتها مع الزمن مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا التصنيف السوائل التالية : سوائل الحفر ، الدم ، الطلاء وبعض النفوط .

ريوبكتيكية (Rheopectic time thickening):

تثخن مثل هذه السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة وبمعنى آخر تتزايد لزوجتها مع الزمن مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا التصنيف محلول الجبس المركز .

ثانياً : سوائل غير نيوتونية مستقلة عن الزمن :

تكون لزوجة السائل مستقلة عن الزمن و تابعة لدرجة الحرارة ولمعدل القص و اعتمادا على تغير اللزوجة مع تغير معدل القص (shear rate) تصنف هذه السوائل إلى :

- سوائل تترقق بالعلاقة مع معدل القص (shear thinning) or pseudoplastic :
حيث تتناقص لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالشامبو و الصلصة وبعض النفوط و مركز عصير الفاكهة وغيرها و تدعى سوائل بيزوبلاستسكية.

- سوائل تثخن بالعلاقة مع معدل القص (shear thickening fluids or dilatant):

حيث تزداد لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالرمل الرطب و المحاليل النشوية المركزة ومحلول الجبس .

- سوائل بلاستيكية (plastic fluids) :

حيث تتصف بما يسمى الإجهاد الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (τ_o) (yield value) وبمعنى آخر فإنه يجب تطبيق إجهاد أولي معين قبل أن يبدأ السائل بالحركة أمثال هذه السوائل معجون الطماطم ، معجون الأسنان ، كريمات الأيدي ، الشحوم وبعض النفوط الخام الثقيلة.

2-4-1سلوكية السوائل (Fluids Rheology) :

هو علم يهتم بتدفق وتشوه المادة ويصف العلاقة المتبادلة بين القوة والتشوه مع الزمن وقد جاء هذا المصطلح من التعبير اليوناني (Rheos) ويعني تدفق ويقدر عمر هذا العلم فقط بحوالي (70) سنة وقد

أسس من قبل عالمين كانا بحاجة لتوصيف خصائص تدفق السائل وهما العالمان رينر و بنغهام (Prof.Marcus Reiner) و (Prof. Eugene Bingham) وقد وصف الفيلسوف اليوناني هيركليتوس (Heraclitus) علم الريولوجيا بـ - (Panta rei) - أي كل شيء يتدفق ترجمت بعدها إلى مصطلح الريولوجيا من قبل ماركوس رينر ويعني أن كل شيء سيتدفق إذا أنت فقط انتظرت لمدة كافية .

يصف سلوك السائل عادة إضافة إلى اللزوجة الخواص المرنة (properties Elastic)التي تعنى بانسكاب المادة وتركيبها البنيوي .

تبدي الكثير من الخامات البترولية الثقيلة التي تحتوي على كميات كبيرة من البرافين والإسفلت خصائص انسيابية تختلف عن تلك التي تبديها الخامات النيوتونية ، وبشكل عام فإن هذه الخصائص تحدد عند جريان النفط داخل الأنابيب من الدلائل التالية :

1- اللزوجة (نيوتونية ، لدنة أوبلاستيكية)

2- الإجهادات الأولية التي تنشأ في بداية حركة السائل (τ_0)

3- درجة تجمد الخامات البترولية

يعبّر عادة عن سلوكية جريان السائل بالعلاقة ($\tau \sim \frac{dV}{dr}$) القائمة ما بين إجهاد القص shear (stress)(τ) ومعدل القص أو(تدرج السرعة $\frac{dv}{dr}$) (shear rate) ($1/s$)، وتُدعى المنحنيات الناتجة عن هذه العلاقة بالمنحنيات الانسيابية الشكل (3-1)، التي تعبّر بشكل عام عن سلوكية جريان السوائل وتدرس بالاستعانة بجهاز اللزوجة الدوار (Rotational viscometer) أو (Rheometer)، الشكل (3-2)، وعلى هذا الأساس تصنّف السوائل إلى سوائل نيوتونية Newtonian fluids وسوائل غير نيوتونية (Non-Newtonian fluids). حيث يُظهر السائل النيوتوني النمط البسيط لسلوك التدفق المحدد بتناسب خطي بين إجهاد القص ومعدل القص.

إن الخامات البترولية الخفيفة ذوات اللزوجة القليلة أو الخامات الثقيلة عالية اللزوجة المسخنة إلى درجات حرارة عالية وكذلك المنتجات البترولية الخفيفة تخضع في سلوكيتها لقانون نيوتن التالي :

$$\tau = \mu.\left(\frac{dv}{dr}\right) \qquad (1\text{-}10)$$

حيث : μ - معامل اللزوجة التحريكية (Dynamic Viscosity)

$\frac{dv}{dr}$ - تدرج السرعة (Shear rate)

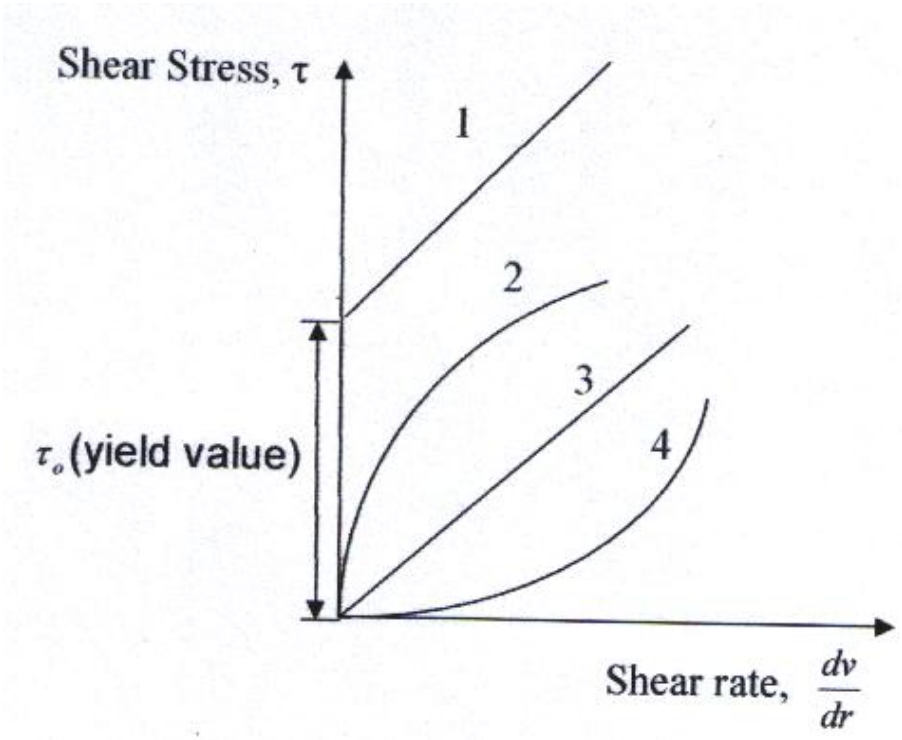
ولذلك تدعى بالسوائل النيوتونية وتتميز بأنها تنطلق من المبدأ في منحني انسيابها وبعلاقة خطية ، المنحني (3) في الشكل(2-1) .

أما السوائل التي لا تخضع لقانون نيوتن فتدعى بالسوائل غير النيوتونية وتتصف بسلوكية مختلفة فيما بينها (المنحنيات 4 ، 2 ، 1) ، ويمكن التميز بين عدة أنواع من هذه السوائل :

A- السوائل البنغامية (Pengham) أو البلاستيكية ويمثلها المنحني (1) حيث تتصف بما يسمى الإجهاد الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (τ_o) value (yield stress) .

B - السوائل البيزوبلاستيكية (Pesdoplastic) ويمثلها المنحني (2) حيث تتناقص لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالشامبو و الصلصة وبعض النفوط و مركز عصيرالفاكهة وغيرها.

C- سوائل الـ (Dilatant) ويمثلها المنحني (4) حيث تزداد لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالرمل الرطب و المحاليل النشوية المركزة .



الشكل(2-1) : سلوكية السائل بحسب جهاز اللزوجة الدوار

1. السوائل البنغامية البلاستيكية (Plastic fluids)
2. السوائل البيزوبلاستيكية (pezdoplastic)
3. السائل النيوتونية (Newtonian)
4. سوائل الـ (Dilatant or shear thickening)



شكل (3-1) : جهاز اللزوجة الدوار نوع بروكفيلد لدراسة سلوكية السوائل

Brookfield Viscometer DV- II

يلاحظمن الشكل أن منحنيات السوائل النيوتونية والبيزوبلاستيكية والـ(Dilatant) تمر جميعها من المبدأ الأمر الذي يعني أن السوائل تبدأ الحركة عند تطبيق أدنى فرق ضغط بينما السوائل البلاستيكية سوف لا تبدأ الحركة إلا بعد أن يطبق عليها فرق ضئيل أولي (ΔP_o) ضروري للقضاء على فرق الجهد الأولي (τ_0) لهذه السوائل والعلاقة التي تصف سلوكية السوائل البلاستيكية (البنغامية) تصفها علاقة بنغهام التالية :

$$\tau = \tau_o + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (1\text{-}11)$$

حيث أن :

τ_o : إجهاد القص الأولي للجريان .

μ : معامل اللزوجة التحريكية.

$\dot{\gamma}$: معدل القص (shear rate) $(1/s)$

تحتوي بعض السوائل النفطية على كمية كبيرة من البرافين وهي تسلك عند جريانها في الحالة العادية سلوك السوائل البلاستيكية أو البيزوبلاستيكية، أما عند تسخينها إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة انصهار البرافين فإن هذه السوائل سوف تسلك بحسب قانون نيوتن أي كسائل نيوتوني . يلعب انخفاض درجة الحرارة دوراً أساسياً في ظهور بلورات البرافين في النفط ، فعندما تنخفض درجة الحرارة تبدأ عملية ظهور البلورات ، وكلما ازداد انخفاض درجة الحرارة ازدادت نسبة انفصال البرافين وبقائه في النفط الخام وعندما تقترب درجة حرارة النفط الخام من حرارة تجمد البرافين فإن عدد وحجم بلورات البرافين يزداد بصورة واضحة إلى أن تتشكل معها بنية شبكية فراغية تغطي كامل حجم النفط مما يعطي للنفط السلوك البيزوبلاستيكي .

هناك بعض أنواع السوائل التي تتميز مع مرور الزمن بقابليتها لإعادة بناء الشبكية بعد أن تكون قد خربت نتيجة الحركة أو التحريك وتدعى هذه السوائل بالسوائل التكسوتروبية . وتتميز بأنها تتحول من سوائل غير نيوتونية في حالة السكون أو السرعة المنخفضة حيث تجري هذه السوائل جرياناً كتلياً، إلى سوائل نيوتونية عند السرعات العالية للجريان بسبب تحطم بنيتها الشبكية نتيجة الحركة .

تعتبر طريقة النقل بالأنابيب من أرخص الطرق لنقل السوائل ، فهي تؤمن نقل كميات كبيرة وبصورة مستمرة ، إلا أنه في حالة نقل النفط غير النيوتوني فإن الخصائص الانسيابية للنفط الذي يحتوي على كميات كبيرة من البارافينات والإسفلتينات ، تؤثر سلباً على ظروف ضخ هذا النفط عبر الأنابيب ، حيث أن مشكلة ترسب البرافين قد تكون صغيرة أو كبيرة تبعاً للمحتوى البارافيني للنفط الخام ولدرجات الانصباب والغيم للخام ولدرجة حرارة التشغيل، ففي حالة كون المحتوى البارافيني عالي فإن تكلفة التحكم به تكون كبيرة ، وفي المواقع التي يكون فيها المحتوى البارافيني أقل فإن التكلفة سوف تكون أقل ، وتؤدي ظاهرة انفصال البرافين من الخامات البارافينية ذات نقطة الانصباب العالية عند نقلها بالأنابيب إلى إعاقة تدفق هذه الخامات وإنقاص معدل التدفق، وإلى ارتفاع قيمة اللزوجة ، وارتفاع قيمة جهد الخضوع ، وإلى زيادة ضياع الضغط ، وقد يصبح الضخ مستحيلاً مع انخفاض درجة الحرارة ، حيث أنه عند انخفاض درجة الحرارة شتاءً تزداد لزوجة النفط إلى درجة يصعب عندها ضخ النفط عبر الأنابيب وقد يتوقف الضخ تماماً ، وهذا يتبعه عدد غير قليل من المشاكل قد يتطلب إجراء عملية تسخين وقشط وتنظيف للأنابيب ، هذا بالإضافة إلى الهدر الكبير في الوقت ، أضف إلى ذلك أنه نظراً إلى تزايد الضغط (الحمل) على المضخة قد يؤدي إلى تعطلها جزئياً أو كلياً أو خروجها من العمل ، هذا وقد يتم اللجوء إلى نقل النفط الخام شتاءً بالصهاريج مما يرتب زيادة كبيرة في كلفة نقل النفط . ولذلك تلافياً للمشاكل المذكورة سابقاً فإنه من الضروري تحسين الصفات الانسيابية للخامات النفطية غير النيوتونية بهدف تحسين ظروف نقل هذه الخامات ، وتخفيض كلفة نقلها .

للربط بين كلاً من الإجهاد الأولي للجريان(yield value) (τ_o) وفرق الضغط (الطاقة) (Δp_o) اللازمة للتغلب على الإجهاد الأولي ومع الأخذ بعين الاعتبار أن الإجهادات تؤثر على السطح الداخلي للأنبوبة وعلى كامل الطول وتتجه بعكس جهة الجريان وأن (Δp_o) يؤثر على مقطع الأنبوبة، فإنه يمكن كتابة الصيغة التالية التي تصف شرط توازن قوة الضغط مع قوة الاحتكاك لحظة بدء الجريان (بدء الحركة) للسوائل غير النيوتونية:

$$\Delta p_o \cdot \pi \cdot r^2 = \tau_o \cdot 2\pi \cdot r \cdot L \qquad (1\text{-}12)$$

r : نصف قطر الأنبوبة. L : طول الأنبوبة.

وينتج بالتالي:

$$\Delta p_o = \tau_o \cdot \frac{2L}{r} \qquad (1\text{-}13)$$

اعتماداً على ماذكر أعلاه، يشار هنا أنه لكي يبدأ السائل غير النيوتوني بالجريان يجب أن يصرف ضغط مقداره(Δp_0) للقضاء على الإجهاد الأولي للجريان (τ_0).

الجدير بالذكر هنا أن السوائل غير النيوتونية لاتحقق قوانين الأواني المستطرقة بشكل فوري بسبب وجود الإجهاد الأولي للجريان (τ_o).

1-4-3 مشاكل سلوكية الخامات النفطية الثقيلة عند نقلها بالأنابيب:

إن سلوكية الخامات النفطية عالية اللزوجة غير النيوتونية تؤدي إلى صعوبات تقنية في نقل النفط بالأنابيب من جهة وارتفاع الكلفة الاقتصادية لعملية النقل من جهة أخرى أهم هذه المشاكل :

أولاً : ارتفاع قيم اللزوجة (Viscosity) :

يؤدي ارتفاع قيمة لزوجة النفط إلى ضياع كبير في الضغط بالاحتكاك خلال الأنابيب مما يستلزم توفر ضغوطاً عالية الأمر الذي يتطلب استخدام عدداً كبيراً من المضخات وأنابيباً بسماكات كبيرة مما يؤدي إلى وجوب توفر إمكانيات تقنية كبيرة وكلفة اقتصادية مرتفعة .

ثانياً : درجة الانصباب العالية (Pour point) :

إن ارتفاع درجة الانصباب (في حالة النفط الخام الثقيل) بسبب ازدياد محتوى النفط الخام من البارافينات، يؤثر سلباً على ظروف ضخ هذه السوائل عبر الأنابيب وبالأخص شتاءً ، وقد تصل إلى درجة يصعب عندها ضخ النفط عبر الأنابيب وقد يتوقف الضخ تماماً نظراً لتجمد النفط داخل الأنابيب .

ثالثاً : انفصال الشمع وترسبه (Paraffin deposit) :

إن ظاهرة انفصال الشمع من الخامات النفطية الشمعية ذات نقطة الانصباب العالية عند نقلها بالأنابيب ، تؤدي إلى إنقاص معدل التدفق وارتفاع قيمة اللزوجة الظاهرية وزيادة قيمة ضياع الضغط . عندما تكون درجة الحرارة أدنى من درجة الغيم(Cloud Point)فإن الشمع يتبلور تدريجياً وينفصل من النفط الخام مشكلاً صفائح رقيقة أو بلورات أبرية حيث تتكتل هذه البلورات وتشكل بنية هلامية (لزجة) غير ثابتة مما يعطي النفط الصفات الانسيابية للسوائل غير النيوتونية.

1-5 طرق نقل الخامات النفطية الثقيلة :

تنطلق جميع طرق نقل النفط الثقيل من تحسين الخصائص الريولوجية له ومحاولة تحويله من نفط غير نيوتوني إلى نفط نيوتوني بغية تسهيل نقله . إن اللجوء إلى الطرق السابقة يؤثر بشكل فعال على الخصائص الانسيابية للخامات ، حيث تخفض اللزوجة وإجهاد القص الأولي ودرجة الانصباب مما يؤدي إلى تحسين سلوكيتها أثناء جريانها عبر الأنابيب وتحويلها من خامات غير نيوتونية إلى خامات لها سلوك السوائل النيوتونية ، تبقى قابلةً للضخ والانسياب عبر الأنابيب بدون أية مشاكل .

1-5-1 ضخ النفط الثقيل بمزجه مع المذيبات الهدروجينية :

تعتبر طريقة مزج النفط الحاوي على كميات كبيرة من الإسفلتو البرافين مع بعض المواد الهيدروكربونية الخفيفة والتي غالباً ما تكون إحدى المنتجات النفطية الخفيفة(كيروسين ، مازوت ، بنزين ، كوندنسات) من الطرق القديمة في النقل وقد انطلقت من ضرورة تحسين الصفات السلوكية للنفط المتمثلة في لزوجة النفط وإجهاد القص الأولي للجريان ، فمن المعروف أن إضافة مواد نفطية

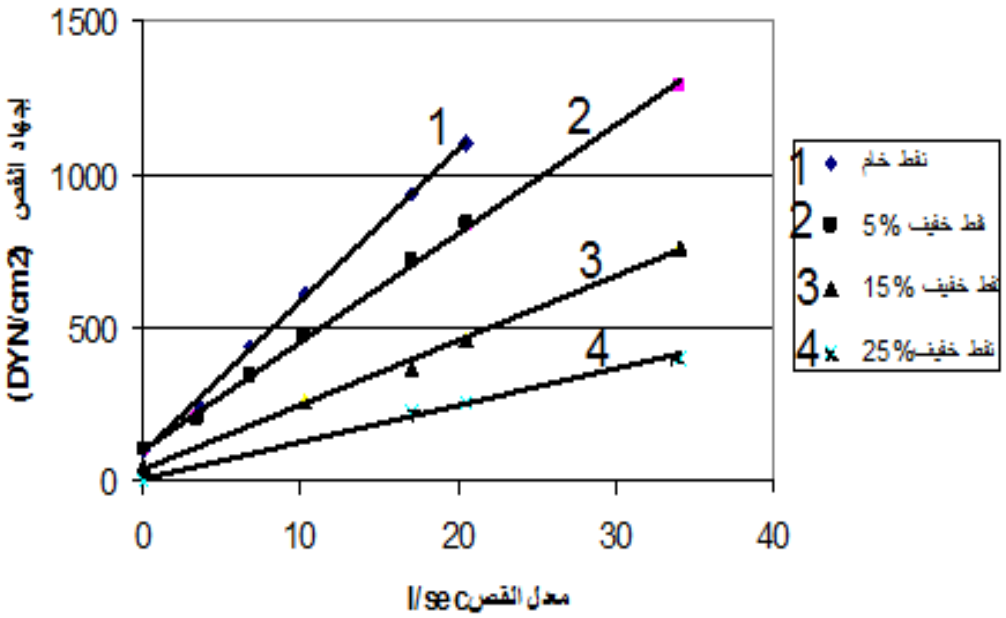
خفيفة ذات لزوجة خفيفة إلى النفط الثقيل يؤدي إلى تخفيض اللزوجة وتحسين بقية الصفات السلوكية وقد اعتمدت هذه الطريقة في الحقول النفطية . في الوقت الحاضر أصبحت مكلفة بالقياس مع الطرق الأخرى وذلك لسببين :

1- بسبب وجوب مد خط خاص لجر المنتجات النفطية من أماكن تصنيعها إلى الحقول.

2- بسبب كلفة فصل هذه المواد الخفيفة من جديد .

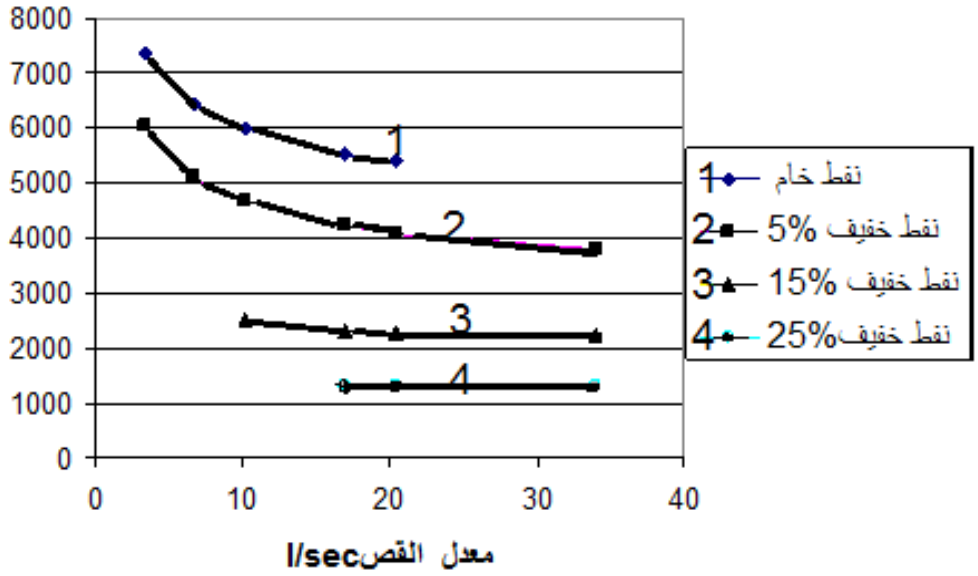
لهذا السبب فقد أصبحت هذه الطريقة تلاقي صعوبة في التطبيق الحقلي رغم أنها استعملت في كل من أمريكا وكندا وروسيا يمكن أن يبرر استعمال هذه الطريقة عند مزج نفط ثقيل مع آخر خفيف من نفس الحقل وبالتالي تختصر التكاليف وتغدو العملية اقتصادية وهذا ما يطبق الآن في الحقول السورية حيث يمزج نفط كراتشوك لزوجته (3 st) مع خام السويدية والرميلان ذو اللزوجة (0.56 st) . بشكل عام كلما كانت كثافة ولزوجة المذيب صغيرة كلما كان تأثيره أكثر إيجابية على صفات المزيج المتشكل .

تحدد النسبة المثالية للمزج تجريبياً بحيث تنخفض اللزوجة و تنعدم قيمة الإجهاد الأولي . كمثال نبين سلوكية خام ثقيل عند مزجه بنسب مختلفة من نفط آخر خفيف الشكلين(3-3) و(3-4) يوضحان تغير إجهاد القص و اللزوجة لنفط ثقيل عند مزجه مع نفط خفيف .



الشكل رقم (4 -1) :علاقة إجهاد القص مع معدل القص عند مزج

نفط خام ثقيل مع نسب مختلفة من نفط خام خفيف



الشكل رقم (5-1) علاقة اللزوجة مع معدل القص عند مزج

نفط خام ثقيل مع نسب مختلفة من نفط خام خفيف الخفيف وعند سرعات مختلفة

الفصل الثاني

تخزين النفط و مشتقاته البيضاء

مقدمة :

تأتي أهمية التخزين من الدور الهام الذي تلعبه هذه العملية في مجال الصناعة النفطية سواء في حقول الإنتاج أو في معامل التكرير أو موانئ التصدير . ففي الحقل يتم تجميع النفط الخام لمجموعة من الآبار ضمن المحطة الفرعية أولاً حيث يجري فصل أولي للغاز والماء وأحياناً يجري تحديد إنتاجية كل بئر ، ثم ينقل النفط إلى المحطة الرئيسة حيث يتم إجراء فصل نهائي للغاز والماء والأملاح الموجودة في النفط الذي يتم تجميعه في خزانات المحطة الرئيسة بعد إعطائه وقت كاف للترقيد من أجل استمرارية ضخه إلى مركز التكرير أو موانئ التصدير .

في مراكز التكرير يخزن النفط الخام بهدف إعطاء المرونة الكافية لاستمرار عملية الإنتاج وإعطاء مصافي التكرير وقتاً كافياً واحتياطياً لضمان استمرارية التموين والتكرير . أما في مرافئ التصدير فلا يمكن تصور استمرارية الضخ والتصدير دون وجود طاقة تخزينية كافية . الجدير بالذكر أن تخزين المنتجات النفطية إن كان في المصافي أو في أماكن التصدير فإنه لا يقل أهمية عن تخزين النفط الخام . ويراعى أن تكون الطاقة التخزينية في الحقول أو في الموانئ كافية لاستمرار العمل بالطاقة العظمى لمدة ثلاثة أيام كحد أدنى .

كما أننا نشير إلى أن بعض محطات الضخ الموزعة على طول خط الضخ من المحطة الرئيسة يمكن أن تحتوي على سعات تخزينية وذلك لاستقبال النفط المضخوخ وتخفيف الضغط الناتج عن حدوث اضطرابات في عملية تشغيل الخط وبالتالي تأمين استقرار عملية الضخ وتجنب هدر المواد المنقولة . ويسعى العالم اليوم للوصول إلى الظروف المثالية لعملية التخزين وبهدف التقليل من الضياعات في الخزانات النفطية وبما يتوافق مع الشروط الاقتصادية ومع الأمن البيئي والصناعي .

2-1- أنواع الخزانات :

قبل البدء بالتعرف على أنواع الخزانات المستخدمة في تخزين النفط ومشتقاته من المفيد استعراض تطور عملية التخزين في الصناعة النفطية :

2-1-1- تطور عملية التخزين :

عرف النفط الخام منذ الأزمان الغابرة ، حيث كان يظهر على سطح الأرض وكان الإنسان يجمعه بطرق بدائية ، فاستخدم الأواني الفخارية والأكياس الجلدية لهذه العملية ثم ظهرت خزانات النفط الأولي باستخدام الحفر الأرضية ضمن التربة الغضارية بأعماق تتراوح من (4-5) م ، أو الخزانات الحجرية المبنية داخل الأرض ، واستمر هذا النوع من التخزين حتى النصف الثاني من القرن التاسع عشر ومع بداية الإنتاج الصناعي للنفط الخام والذي رافق عمليات الحفر المتطورة ظهرت صناعة البراميل من

أجل عمليات النقل والتخزين ومن ثم أقيمت خزانات على سطح الأرض بالقرب من الآبار . إلا أن الثورة الحقيقية في مجال التخزين كانت بإيجاد طرق ومعدات لتخزين كميات كبيرة من النفط الخام ومشتقاته والتي جاءت لتواكب التطور الكبير في مجالات الاستكشاف والحفر والإنتاج ، فظهرت الخزانات المعدنية بمختلف أنواعها والخزانات الأسمنتية ، والخزانات في الصخور الأرضية ... وما زال البحث جارياً في هذا المجال بهدف الوصول إلى الظروف المثلى لعملية التخزين وبما يتلاءم مع متطلبات الصناعة النفطية .

2-1-2- تصنيف الخزانات :

تصنف الخزانات وفق معايير عديدة ، ويمكن بشكل عام اعتماد التصنيف التالي الذي يأخذ بعين الاعتبار (وبآن واحد) :

1- الهدف (function) من استعمال الخزان (استقبال، ترسيب ، تخزين، معالجة ....) .

2- الشكل الخارجي للخزان (Shape): أسطواني شاقولي أو أفقي ، كروي أو نصف كروي .

3 -الضغط الذي يعمل عنده الخزان (ضغط تشغيل الخزان Operation pressure) .

4- تصميم سقف الخزان وتتضمن :

خزانات السقف الثابت: (Fixed-roof-tanks) وخزانات السقف العائم (Floating-roof tanks)

<u>حيث نميز ما يلي :</u>

1-خزانات تعمل عند الضغط الجوي أو عند ضغط قريب من الضغط الجوي وتشمل :

- خزانات ذوات سقوف ثابتة تعمل عند ضغط يتراوح بين (0 - 50 m bar).

- خزانات ذوات سقوف عائمة.

- خزانات ذوات سقوف متحركة (متنفسة) .

- خزانات ذوات قبب مرنة (قبعة غازية) .

2- خزانات تعمل عند ضغط أعلى من الضغط الجوي وتشمل :

- خزانات تعمل عند ضغط منخفض نسبياً يتراوح بين (2.5 - 30 Psi) أي ما يعادل (0.16 - 2 Kgf / cm^2) وهي ذوات أشكال نصف كروية .

- خزانات تعمل عند ضغط عال نسبياً يتراوح بين (30 - 200 Psi) أي ما يعادل (2 - 15 Kgf /cm^2) وهي ذوات أشكال كروية أو أسطوانية أفقية .

3- الخزانات الخاصة، وتشمل :

- الخزانات المبردة والمعزولة .

- خزانات لتخزين النفط في البحر (تحت بحرية) .

- الخزانات العائمة

4- الخزانات تحت الأرضية : (راجع الفقرة 2-5-1-3)

وسوف يتم إستعراض كل نوع من هذه الأنواع بشيء من التفصيل :

2-1-3- خزانات تعمل عند الضغط الجوي أو عند ضغط قريب من الضغط الجوي:

2-1-3-1: الخزانات ذوات السقوف الثابتة (Fixed roof Tanks):

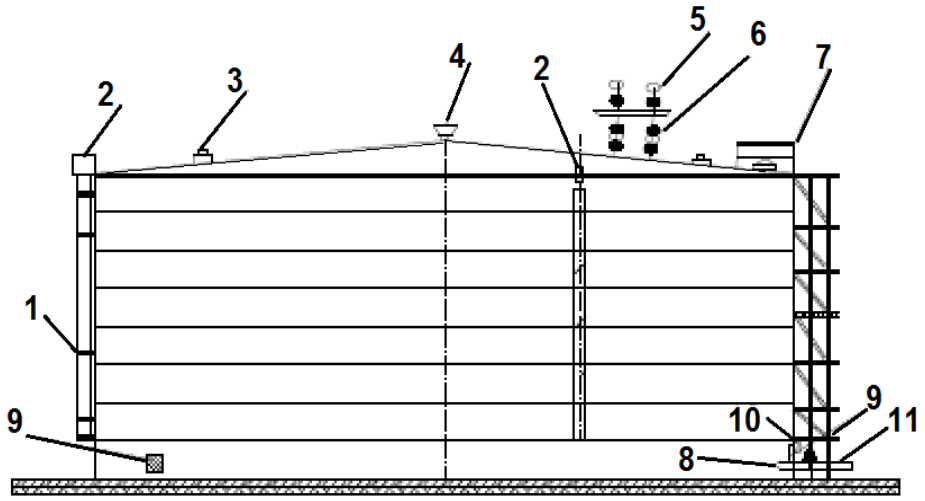
ونميز هنا ثلاثة أنواع :

a. **خزانات غير ضغطية (Non-pressure tanks):** التي تكون على اتصال مباشر و مفتوح مع الجو الخارجي عبر صمام Vent يركب على سطح الخزان .

b. **خزانات الضغط المنخفض (Low-pressure tanks):** تركب على سطحها صمامات ضغط pressure valves تفتح عند ضغط 20 mbar أعلى من الضغط الجوي أو 6 mbar تحت الضغط الجوي .

c. **خزانات الضغط العالي (High- pressure tanks) :** تركب على سطحها صمامات ضغط (pressure valves) تفتح عند ضغط (50 mbar) أعلى من الضغط الجوي أو 6 (mbar) تحت الضغط الجوي .

يستخدم هذا النوع من الخزانات لتخزين المواد النفطية التي تزيد درجة وميضها (Flash point) عن (21 C°) أي تلك المواد النفطية التي لا تحتوي على مركبات خفيفة والتي لا تسبب ضياعات كبيرة في أثناء التخزين وأيضاً تجنباً لخطر الحريق والانفجار ، لذلك تصلح هذه الخزانات لتخزين الأنواع الثقيلة من النفط الخام وزيت الحرق الثقيل (Fuel oil)وزيوت التزييت والكيروسين (Kerosene) ذو درجة الاشتعال العالية . ويبين الشكل رقم (1-2) تفاصيل خزان ذي سقف ثابت .



شكل رقم (2-1) تفاصيل خزان ذي سقف ثابتFixed roof tank

1-أنابيب رغوة الإطفاء . 2-غرفة صرف رغوة الإطفاء .

3- فتحة الإضاءة لتهوية وإضاءة الخزان في أثناء الصيانة والإصلاح وبقطر أصغري (20 إنش) حسب معهد النفط الأمريكي (API). ويزداد عدد فتحات الإضاءة بزيادة قطر الخزان .

4- فتحة التنفس (صمام تنفس) (valve breathing) : والتي تمنع ازدياد الضغط أوانخفاضه عن حد معين في أثناء التعبئة والتفريغ أو في أثناء تنفس الخزان .

5- في حالة المنتجات ذات درجة الوميض أقل من (°C 55) وللحد من الضياع بالبخرفي أثناء تنفس الخزان يركب أيضاً على السقف الثابت صمام تنفس لا يفتح إلا عندما يرتفع الضغط داخل الخزان قليلاً عن الضغط الجوي تحدد قيمته بحسب المنتج المخزن(وذلك في أثناء ارتفاع مستوى السائل داخل الخزان أو عند ارتفاع درجة حرارته)،أوعندما ينخفض الضغط قليلاً عن الضغط الجوي (في أثناء تفريغ السائل من الخزان ، أو عند انخفاض درجة حرارته) ، وتسمى هذه الفوهة بصمام الأمان . أما إذا خزنت مواد ذوات درجة وميض أعلى من (°C 55) فيكتفى عندئذ بفتحة التنفس الحر (صمام تنفس مباشر مع الجو الخارجي) .

6- مانع اللهب : ويركب أسفل صمام الأمان وذلك من أجل منع مرور اللهب ذي المصدر الخارجي (كالبرق مثلاً) وبالتالي تفادي حدوث حريق أو انفجار داخل الخزان . ويتألف مانع اللهب من خلية مصنوعة من صفائح مثقبة أو مموجة والتي تحوي ممرات ضيقة جداً لا تسمح بمرور اللهب إلى داخل الخزان لكنها كافية لدخول الهواء الجوي أو خروج الأبخرة الناتجة عن تنفس الخزان .

7- فتحة قياس مستوى السائل داخل الخزان ويجب أن يكون قطر هذه الفتحة بين(8 - 6) أنش (0.15 - 0.2 m)حسب (API) ، وبشكل عام يكفي وجود فتحة قياس واحدة لخزان يبلغ قطره (30) قدماً (9.15 m) وبازدياد قطر الخزان يزداد عدد فتحات القياس .

8- صنبور سيفوني : حيث تجهز قاعدة الخزان بتقعر خاص لفصل المياه من أسفل الخزان، ويركب على هذا التقعر خط سحب خاص (سيفون) ، ويكون الصمام

على خط السحب هذا مركباً داخل الخزان لتفادي التجمد في المناطق الباردة حيث تتم إدارته بواسطة ذراع ممتد إلى خارج الخزان .

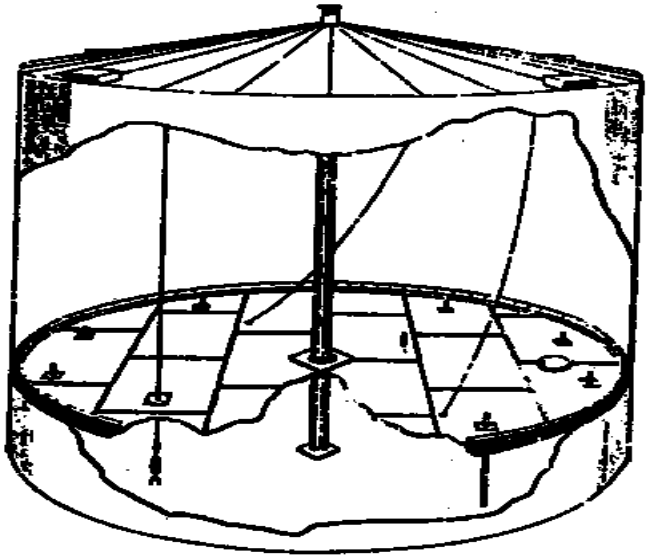
9- فوهة الصيانة : حيث يجهز جدار الخزان بفوهة لدخول الإنسان من أجل أعمال الصيانة والإصلاح والتنظيف وبقطر أصغري (20) إنش (0.5 m) حسب معهد النفط الأمريكي (API) ، ويزداد عدد فوهات الصيانة بزيادة قطر الخزان .

10- رافعة .

11- أنبوب الاستقبال والتوزيع .

- ويجهز الخزان عادةً بنظام تبريد مائي (على السقف أو الجدار) بهدف التقليل من تأثير حرارة الجو الخارجي . وفي حالات أخرى يمكن أن يُجهَز الخزان بنظام تسخين خاص (وذلك عندما تكون المادة المخزنة ذات لزوجة عالية جداً) ، الأمر الذي يُسّهل عملية تفريغ الخزان.

ونُشير أخيراً أن السقف الثابت يكون إما مخروطي الشكل (Cone roof) أو على شكل قبة (Dome) ويصنع من صفائح فولاذية تكون مدعمة بعمود مركزي مع دعائم تنطلق من مركز السقف بشكل شعاعي إلى محيط الخزان كما في الشكلين(3-2) و(4-2) ، أو بدعائم فقط تصل بين مركز و جدار الخزان (بدون عمود مركزي) .



شكل رقم (3-2) خزان ذو سقف قبة ثابت مزود بعمود مركزي .

ويمتاز السقف ذي الدعائم عن السقف ذي العمود المركزي بعدم تعرضه للانخفاض وذلك فيما إذا كان العمود مقاماً على أرض طرية لا تتحمل حمولات كبيرة ولكن من جهة أخرى فإن السقف ذي الدعائم تكون كلفته أكبر حيث تبلغ الزيادة (20%) إذا كان قطر الخزان (150) قدم (45.7 m)



شكل رقم (4-2) سقف ثابت مزود بدعائم وعمود مركزي

ويكون السقف الثابت عادةً ملحوماً بلحام ضعيف على الجدران لكي يطير السقف بكامله في حالة حدوث انفجار مما يؤدي إلى عدم تضرر جدران الخزان .

مساوئ الخزانات ذوات السقوف الثابتة (Disadvantages of fixed roof tanks)

لهذا النوع من الخزانات مساوئ عديدة يمكن إجمالها بمايلي :

1- يكون الضياع بعملية البخر كبيراً ، خصوصاً عند تخزين المشتقات النفطية .

2- إن دخول الهواء الجوي الرطب إلى الخزان وتلامسه مع المادة المخزنة يؤدي إلى زيادة نسبة المياه فيها ، بالإضافة إلى إمكانية حدوث تفاعلات أكسدة للمادة المخزنة بفعل أوكسجين الهواء الجوي والتي ينتج عنها صموغ تؤدي إلى التقليل من ثباتية عملية التخزين .

3- إن وجود المجال الغازي فوق سطح السائل يعرض الخزان إلى التآكل الكيميائي بفعل غاز كبريت الهيدروجين (H_2S) الذي يمكن أن ينطلق من النفط الخام أو مشتقاته .

4- إن الضياعات بسبب البخر تؤدي إلى تغير في مواصفات المواد المخزنة .

5- إن الخزانات ذوات السقوف الثابتة تحتوي دائماً فوق مستوى السائل على مزيج من الهواء والأبخرة القابلة للانفجار مما يعرضها لخطر الانفجار والحريق بفعل الصواعق أو الكهرباء الساكنة أو أي مصدر كهربائي آخر .

2-3-1-2 :الخزانات ذوات السقوف العائمة (Floating Roof Tanks) :

نظراً للمساوئ الكثيرة التي تتصف بها الخزانات ذوات السقوف الثابتة وخاصة عند تخزين المشتقات النفطية الخفيفة فقد تم تطوير خزانات ذوات سقوف تعوم على سطح السائل المخزون مما يؤدي إلى التقليل من الفراغ الغازي الممتلئ بأبخرة الفحوم الهيدروجينية وهذا بدوره يؤدي إلى المحاسن التالية :

1- التقليل من الضياع بعملية البخر

2- إن عزل السائل المخزن عن الهواء الجوي بواسطة السقف العائم يؤدي إلى عدم امتصاص رطوبة الهواء وبالتالي عدم أكسدة المنتجات النفطية بأوكسجين الهواءمما يزيد من ثباتية التخزين .

3- إن عدم وجود مزيج من الهواء وأبخرة الفحوم الهيدروجينية والقابل للانفجار فوق سطح السائل يؤدي إلى تقليل خطر الانفجار إلى حد كبير.

4- إن التقليل من الضياع بعملية البخر يؤدي بدوره إلى عدم تغيير مواصفات المواد المخزنة بشكل كبير ويبن الشكل (2-5) تفاصيل خزان ذي سقف عائم .

2-1-3-1-2السعة (Capacity) :

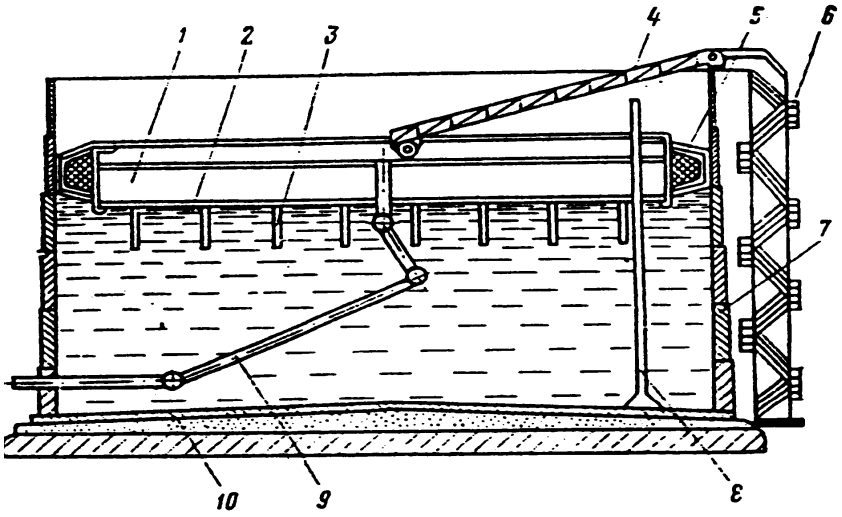
إن العامل الأساسي في تقدير أبعاد الخزان هو بالطبع حجم السائل المطلوب تخزينه . بشكل عام تتراوح السعات القياسية للخزانات الأسطوانية العمودية (vertical cylindrical tanks) من حجم

($7m^3$) خزان بقطر(3m) وارتفاع (1m) وهو أصغر حجم وحتى حجم ($105,000\ m^3$) بقطر (78m) وارتفاع (22m).

إن اختيار نوع الخزان لتخزين نوع معين من المنتجات أو عدة أنواع يرتبط بشكل أساسي بقابلية البخر للمنتج . الجدول (2-1) يبين العلاقة بين نوع الخزان المطلوب وتصنيف المنتج المخزن :

الجدول (2-1)Petroleum Product Classes And Tank Types

Product Class	Standard Tank Diameter in Meters			
	3- 12.5	15-20	22.5-39	42-78
Class I (Flash Point: F.P <21º C)	Fixed Roof		Preferably Floating Roof	Floating Roof
Class II (Flash Point: 21º C ≤ F.P < 55º C)		Fixed Roof	Preferably Floating Roof	Floating Roof
Class III (Flash Point: F.P ≥ 55º C)	Fixed Roof all Diameters			



شكل رقم (2-5) تفاصيل خزان ذو سقف عائم(tank Floating Roof)

1-صندوق السقف العائم **6- درج سيار**

2-القاعدة السفلية للسقف **7- جدران الخزان**

3-أعمدة استناد **8-عمود توجيه متحرك لقياس المستوى**

4- درج **9-أنبوبة تصريف متمفصلة**

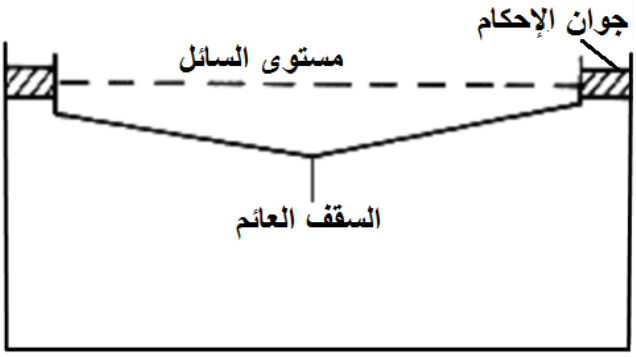
5 – جوان للعزل **10-قاعدة الخزان**

2-2-3-1-2 أنواع السقوف العائمة (Floating Roof) :

1- السقف العائم بشكل الصحن وبطبقة واحدة من المعدن (Pan Roof) :

هذا النوع لا يحتوي على فواشات ويعتبر من أرخص الأنواع لأن صُنعه لا يحتاج إلى مواد كثيرة ، حيث يتألف من طبقة واحدة من المعدن تعوم على سطح السائل ، ويأخذ هذا النوع شكلاً مشابهاً لشكل الصحن حيث يغطس قسم كبير منه في السائل مزيحاً حجماً كبيراً منه ، مما يؤدي إلى نشوء قوة دفع تؤدي إلى عوم السقف فوق سطح السائل ، كما في الشكل رقم (2-6) . لكن هذا النوع له بعض المساوئ ، فهو عديم الاستقرار ، إذ يمكن أن يغرق تحت تأثير أقل حمولة تسببها العوامل الجوية

(الثلوج مثلاً) كما يمكن أن يغرق إذا حصل تهريب للسائل من الحواف (أطراف السقف) .



شكل رقم (2-6) يبين خزاناً بسقف عائم وبطبقة واحدة من المعدن ولا يحتوي على فواشات

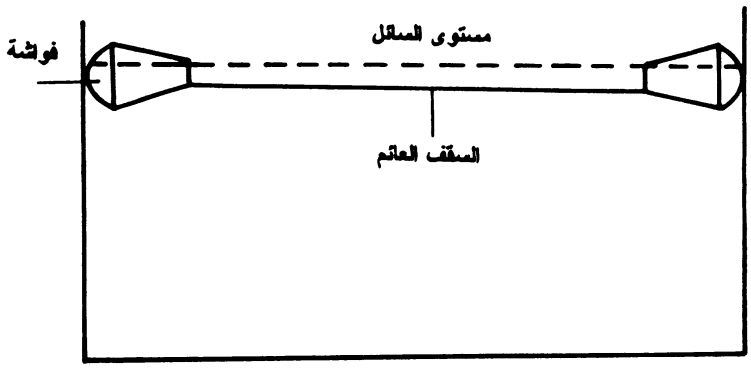
وقد تتغير أبعاده وشكله بسهولة بفعل الرياح والعوامل الجوية الأخرى ، بالإضافة إلى ذلك فإن هذا السقف غير عازل حرارياً ، حيث ينقل حرارة أشعة الشمس إلى سطح السائل ، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع حرارة السائل وتبخر جزء منه وبالتالي تسرب البخار الناتج من أطراف السقف العائم التي لا يمكن أن تمنع التهريب كلياً .

2- السقف العائم الذي يحتوي على فواشات (Pontoon Roof) :

يحوي هذا السقف على فواشات تغطي جزءاً منه وتعطيه استقراراً أكثر وتحملاً أكبر للأثقال ، وينقسم هذا النوع إلى عدة أنواع :

أ- السقف العائم الذي يحوي على أقل مساحة من الفواشات **(Minimum Pontoon Roof) :**

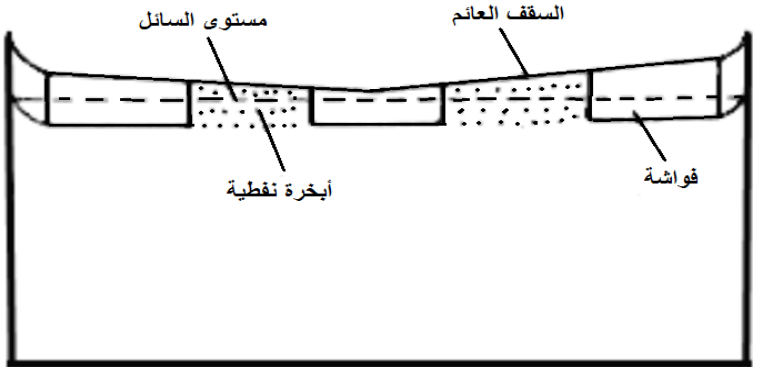
تغطي الفواشات في هذا النوع (30%) من مساحة السقف العائم الذي يكون مستواه أدنى من مستوى السائل في الخزان كما في الشكل رقم (2-7) .



شكل رقم (2-7) يبين خزاناً بسقف عائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أقل ما يمكن منه .

ب- السقف العائم بفواشات تغطي مساحة أكبر وتكون صفائح السقف غير ملامسة لسطح السائل (High-Deck Pontoon Roof) :

في هذا النوع يكون السقف مرتفعاً عن سطح السائل وبذلك يتوفر عزل لسطح السائل عن حرارة أشعة الشمس . أما الغازات والأبخرة المنطلقة من السائل المخزن فيتم عزلها بين سطح السائل والسقف العائم ، كما في الشكل رقم (8-2) .



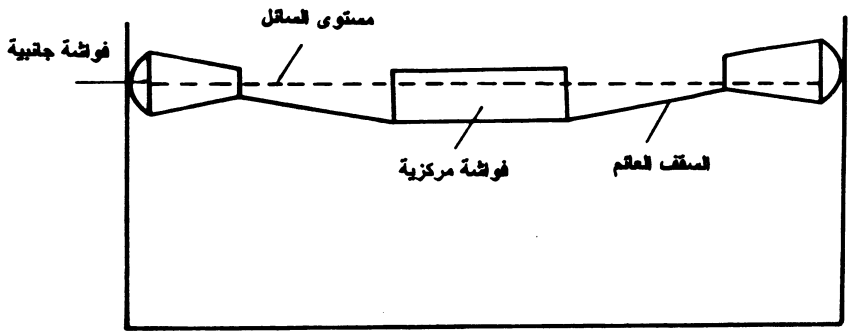
شكل رقم (8-2) يبين خزاناً بسقف عائم بواسطة فواشات تغطي مساحة أكبر وصفائح السقف غير ملامسة لسطح السائل .

ويمتاز هذا النوع باستقرار أكبر ، ولكن معدن السقف العائم معرض للتآكل الكيميائي إذا كانت المادة المخزنة تحتوي على غازات حمضية (H_2S) حيث تنطلق هذه الغازات في الفراغ الكائن بين السقف وسطح السائل وتؤدي بوجود الرطوبة إلى تآكل معدن السقف العائم .

ج- السقف العائم بفواشة في المنتصف مع فواشات جانبية ويكون أخفض من مستوى السائل

(Low-Deck Pontoon Reef)

ويتميز هذا النوع بالإضافة إلى استقراره بأنه يمنع حدوث التآكل كون السقف أخفض من مستوى السائل ويستخدم هذا النوع في أثناء تخزين النفط الحاوي غازات حمضية (H_2S) وهو موضح بالشكل رقم (2-9) .



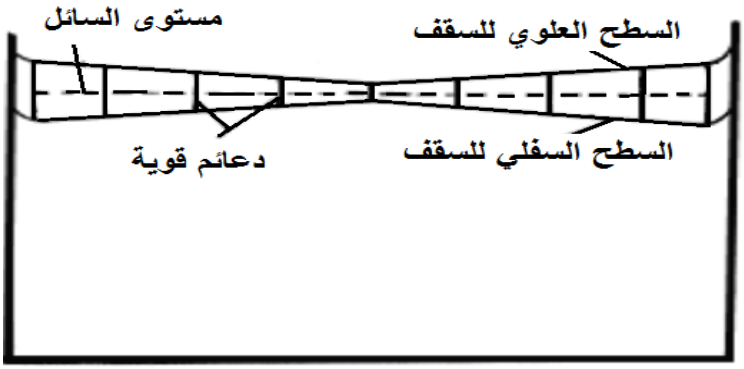
شكل رقم (2-9) يبين خزاناً بسقف عائم بواسطة فواشة مركزية وفواشات جانبية

3- السقف العائم ذو الجدار المضاعف (Double Deck Roof) :

يعتبر هذا النوع من أفضل الأنواع ، حيث يتمتع باستقرار جيد وعزل حراري ممتاز ، ويمكن أن يتحمل أثقالاً تتعدى وزن ارتفاع (10) إنش (25 cm) من الثلج. ويتألف هذا السقف من جدار مضاعف حيث يصل بين الصفائح العلوية والسفلية دعائم قوية كما في الشكل رقم (10-2) .



منظر سفلي لسقف عائم يظهر الفواشات و الدعائم



شكل رقم (10-2) يبين خزاناً بسقف عائم ذي جدار مضاعفtank Double Deck Roof

3-2-3-1-2 أنظمة إحكام السقف العائم :

إن جميع أنواع السقوف العائمة تترافق مع فراغ حلقي بين جدار الخزان والإطار الخارجي للسقف العائم ، الأمر الذي يسمح بحركة السقف العائم ضمن الخزان .

ومن أجل الحصول على مردود أعظمي للسقف العائم كأداة للتحكم بعملية الضياع بالبخر فإنه يجب أن يحتوي الفراغ الحلقي هذا على نظام إحكام فعال تماماً، حيث يغلق الفراغ الحلقي ويساعد على مركزة السقف العائم وبالتالي يسمح بالحركة الطبيعية للسقف العائم ضمن الخزان وبشكل عام تقسم أنظمة إحكام السقف العائم إلى :

أ- إحكام أولي (Primary Seal) :

ويستخدم في الوقت الحاضر بشكل واسع ويكون في ثلاثة نماذج :

1- إحكام أولي ميكانيكي بنعل (معدني) .

2- إحكام أولي مرن ومملوء (بسائل ، بخار ، رغوة) (لا معدني) .

3- إحكام أولي مزود بماسح مرن .

ب- إحكام ثانوي : Secondary Seal

يركب فوق الإحكام الأولي ويكون في نموذجين :

1- إحكام ثانوي مزود بنعل

2- إحكام ثانوي مزود بإطار

من الجدير بالذكر أن هناك أنواع أخرى للإحكام لكنها غير مستخدمة بشكل واسع .

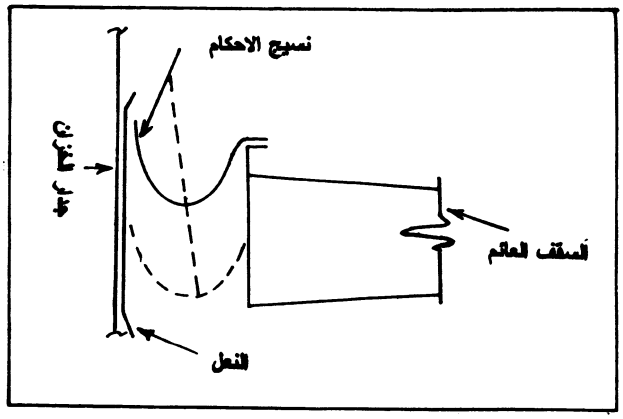
من ناحية أخرى فإن بعض أنظمة الإحكام تجهز بغطاء واقي من الطقس (العوامل الجوية) مما يزيد من عمر نظام الإحكام . ومن المفيد في هذا المجال أن نستعرض وبشيء من الاختصار كلاً من الأنواع الواردة سابقاً لأنظمة الإحكام .

أ- أنظمة الإحكام الأولي :

1- نظام الإحكام الأولي الميكانيكي بنعل (Mechanical Shoe Primary Seal) :

يتألف هذا النوع من إطار معدني خفيف نسبياً يتصل بشكل ميكانيكي منزلق مع جدار مع جدار الخزان ، وبتالف هذا الإطار من مجموعة صفائح معدنية ترتبط مع بعضها البعض بشكل حلقي وتدعى (نعل) وهي تكون بارتفاع (3-5 قدم) (0.9 - 1.5 m) مما يزيد من منطقة الاتصال الممكن مع جدار الخزان .

ويكون السقف العائم وسطح السائل في مأمن من تأثير الجو الخارجي باستخدام نسيج أو بناء مغلف خارجياً يربط بين الإطار المعدني (مجموعة الصفائح) والسقف العائم وهذا ما يدعى (بنسيج الإحكام الأولي) وتتم عملية الربط إما من الأعلى أو من الأسفل (أي بالقرب من سطح السائل مما يؤدي إلى فراغ بخاري أقل) كما هو مبين في الشكل رقم (11-2) .



شكل رقم (11-2) نظام إحكام ميكانيكي أولي (بنعل) .

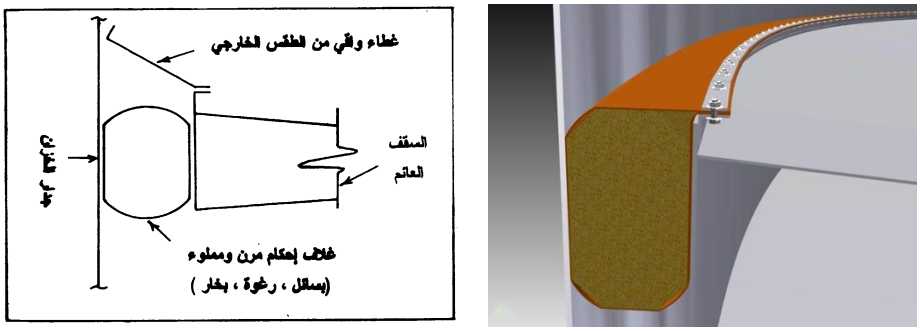
ويزود الإطار المعدني (مجموعة الصفائح) عادة بمرونة كافية للتأقلم مع عدم انتظام جدار الخزان إن نظام الإحكام الأولي الميكانيكي يمتلك يشكل عام عمراً زمنياً جيداً ويستخدم في أثناء تخزين المنتجات الأكالة أو في ظروف التشغيل غبر العادية (مثل تعريض القسم السفلي للسطح العائم للهواء وباستمرار مما قد يؤدي إلى تآكل شديد) .

2- نظام الإحكام الأولي بغلاف مرن ومملوء (بسائل ، رغوة ، بخار) :
(Resilient Filled Primary Seal)

في هذا النوع يتم استخدام غلاف مرن على اتصال انزلاقي مع جدار الخزان ويمكن أن يملأ هذا الغلاف إما بـ (سائل ، رغوة ، بخار) الأمر الذي يسمح بتمدد الغلاف المرن وبالتالي يحقق الاتصال المناسب مع الجدار الداخلي للخزان . وغالباً ما يترافق هذا النظام مع وجود غطاء واق من الظروف الجوية أو مع نظام إحكام ثانوي كما هو في الشكل رقم (12-2) .

والميزة الأساسية لهذا النظام هي مرونته الكبيرة ، كما أنه أقل خدشاً لجدار الخزان بالمقارنة مع نظام الإحكام الميكانيكي . لذلك فإن نظام الإحكام المرن والمملوء يستخدم بشكل نموذجي عندما يتم استخدام غطاء داخلي لجدار الخزان .

وهذا النوع من الإحكام يركب على السطح العائم بطريقتين :



شكل رقم (12-2) إحكام أولي بغلاف مرن ومملوء

أ- نظام الإحكام المرن والمملوء على اتصال مع البخار :

حيث تسمح هذه الطريقة بوجود فراغ بخاري محيطي (وسادة غازية محيطية) بين السائل المخزن ونظام الإحكام ، وهذا الفراغ المحيطي يميل إلى المساهمة بعملية الضياع بالبخر . كما أن نظام الإحكام هذا يمتلك مساحة اتصال عمودية صغيرة نسبياً مع الجدار الداخلي للخزان (وذلك بالمقارنة مع نظام الإحكام الميكانيكي) وبالتالي فإن الفجوات أو الفراغات بين نظام الإحكام وجدار الخزان والتي تكون على اتصال مع المجال البخاري تؤدي إلى ضياع إضافي بعملية البخر.

ب- نظام الإحكام المرن والمملوء على اتصال مع السائل المخزن :

وهذه الطريقة لا تترافق مع فراغ بخاري محيطي مما يقلل بشكل كبير من الضياع بالبخر ، ولكن يكون نسيج الغلاف المرن في هذه الحالة على اتصال مع المنتجات الهيدروكربونية التي تؤدي (وبشكل خاص

تلك التي تحتوي على محتوى عالٍ من العطريات في بعض الحالات إلى زيادة أعمال الصيانة والتقليل من عمر نظام الإحكام (كما أثبت تجريبياً) .

والاتجاهات الحديثة في المركبات الصناعية (التركيبية) أدت إلى تراكيب أو نسج أكثر توافقاً أو انسجاماً مع المنتجات الهيدروكربونية قيد التخزين . وبالرغم من أن أنظمة الإحكام ذوات الغلاف المرن والمملوء لا تعمر طويلاً بالمقارنة مع أنظمة الإحكام الميكانيكي إلا أنها بشكل عام تمتلك عمر خدمة جيداً نسبياً .

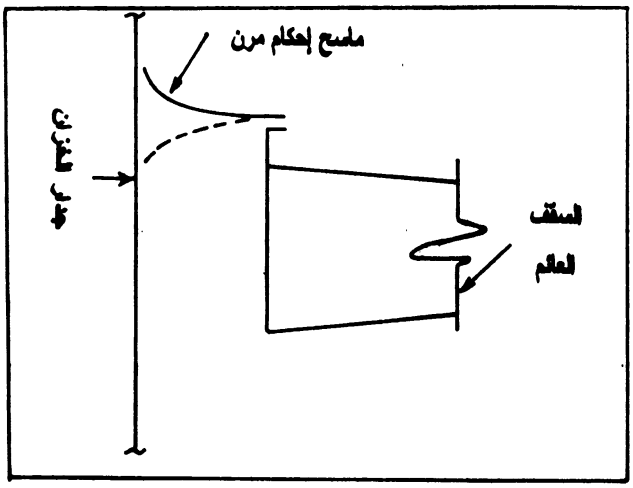
3- نظام الإحكام الأولي مع ماسح مرن : (Flexible Wiper Primer Seal)

في هذا النوع يتم استخدام طرف حاد مرن يكون على تماس انزلاقي مع جدار الخزان ، وهذا الطرف المرن (الماسح المرن) يغطي الفراغ الحلقي بين السقف العائم والجدار الداخلي للخزان.والجدير بالذكر أن بعض أنظمة الإحكام ذوات الماسح المرن تصمم بحيث تأخذ وضعاً معاكساً عندما ينعكس مسار

(اتجاه حركة) السقف العائم ضمن الخزان كما هو مبين في الخط المنقط في الشكل رقم (13-2)

ويمتاز هذا النظام بمرونة كبيرة مما يجعله أكثر انسجاماً وتوافقاً مع جدار الخزان (بالمقارنة مع نظام الإحكام الميكانيكي) .

كما أنه يترافق مع فراغ بخاري محيطي (وسادة غازية) والذي يميل إلى المساهمة بعملية الضياع بالبخر .



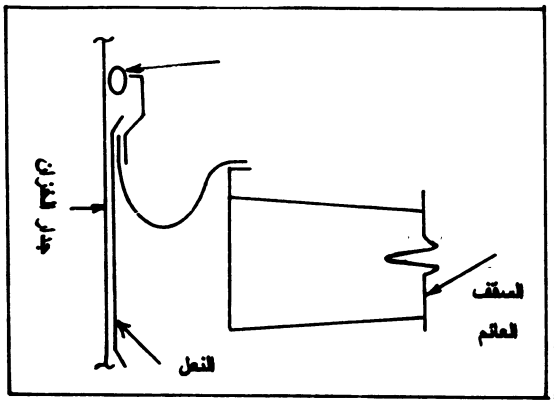
شكل رقم (13-2) إحكام أولي بماسح مرن

كذلك ، وبالاعتماد على مقدار كبر مساحة الاتصال العمودي بين الماسح المرن والجدار الداخلي للخزان فإن الفوهات بين نظام الإحكام وجدار الخزان والتي تفضي بشكل مباشر إلى الفراغ البخاري المحيطي ويمكن أن تؤدي إلى ضياع إضافي بالبخر

ت- أنظمة الإحكام الثانوي :

وتكون في نموذجين كما ذكرنا سابقاً :

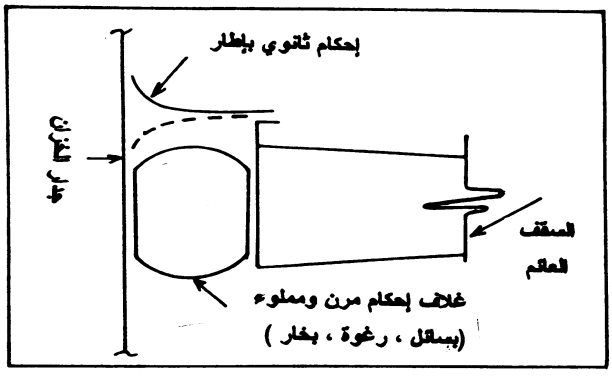
- **إحكام ثانوي مزود بنعل (Shoe-Mounted Secondary Seal) :**



شكل رقم (2-14) إحكام أولي ميكانيكي مزود بإحكام ثانوي (بنعل)

- إحكام ثانوي مزود بإطار : (Rim-Mounted Secondary Seal) :

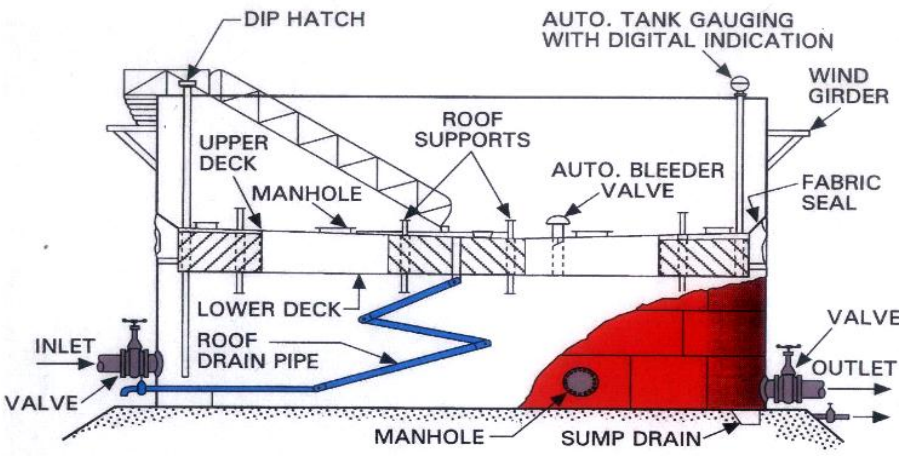
والنظام الأخير **(المزود بإطار)** أكثر فعالية في تخفيض الضياع بالبخر ذلك أنه يغطي الفراغ الحلقي بين السقف العائم وجدار الخزان تماماً ، أما النظام الآخر **(المزود بنعل)** فإنه يعمل على تخفيض الضياع بالبخر من الفوهات بين نظام الإحكام وجدار الخزان ، لكنه لا يضبط تماماً الضياعات الحاصلة من خلال البنية التركيبية لنظام الإحكام الأولي . والجدير بالذكر أن بعض أنظمة الإحكام الثانوي تصمم بحيث تأخذ وضعاً معاكساً عندما يتغير اتجاه حركة السقف العائم ضمن الخزان كما هو مبين في الخط المنقط في الشكل رقم (2-15) .



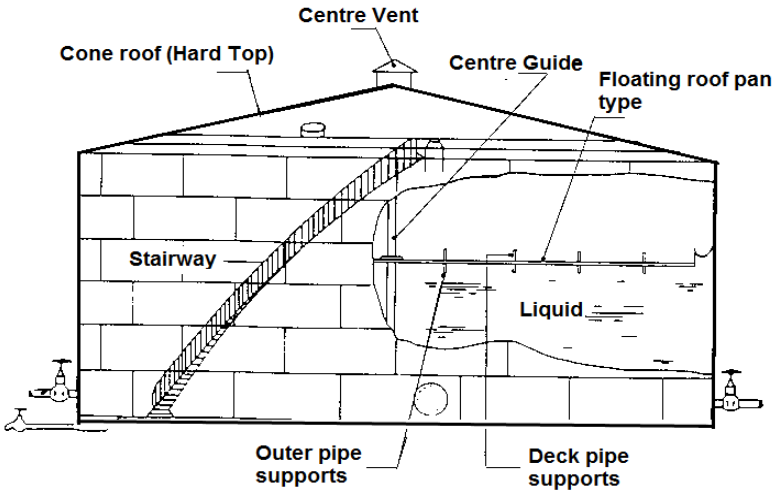
شكل رقم (2-15) إحكام أولي مرن مملوء مزود بإحكام ثانوي (بإطار) .

ونشير أخيراً إلى إن نظام الإحكام الثانوي (بنعل) يتميز بعمر خدمة جيد نسبياً. أما عمر النظام الثانوي بإطار فلم يحدد حتى الآن بسبب استعماله الحديث .

بعد استعراض الخزانات ذوات السقوف الثابتة والخزانات ذوات السقوف العائمة، يمكن أن نشير إلى وجود نوع آخر من الخزانات والتي تمتلك بالإضافة إلى السقف العائم سقفاً آخر لكنه ثابت يعلو الأول ويحميه من الثلوج والأمطار والعوامل الجوية الأخرى ، وبالتالي يمكن تلافي غرق السقف العائم ضمن السائل المخزن ، انظر الشكل (2-16) .



شكل رقم (a-2-16) يبين خزاناً بسقف عائم يعلوه سقف مخروطي ثابت

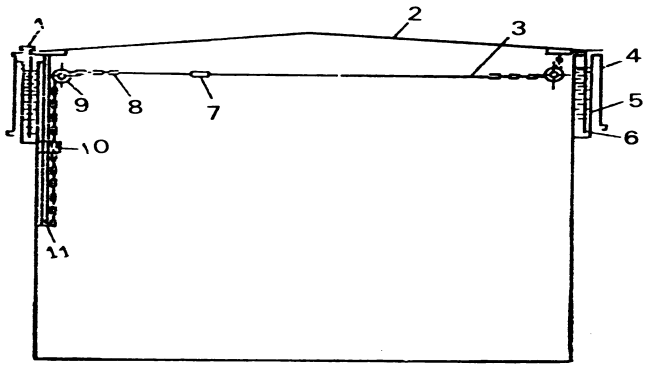


شكل رقم (b-2-16) يبين خزاناً بسقف عائم يعلوه سقف مخروطي ثابت

2-1-3-3الخزانات ذوات السقوف المتحركة (المُتنفسة) :

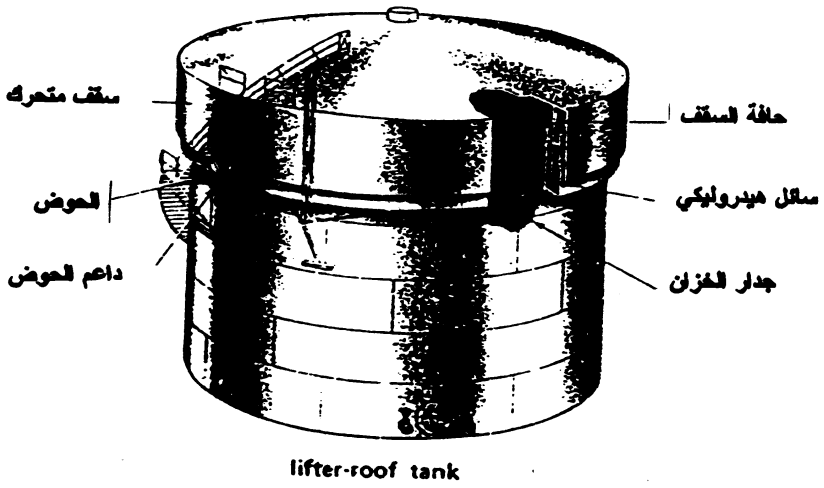
بهدف التخفيض من تنفس الخزانات وما يصاحبه من ضياعات في عملية البخر ، لجأت بعض الشركات إلى تصميم سقف خاص على شكل ناقوس منزلق يتحرك عمودياً إلى الأعلى إذا ارتفع مستوى السائل في الخزان والذي ينتج عنه ارتفاع قليل في ضغط الوسط الغازي فوق سطح السائل . ومن أجل الإحكام وسهولة الانزلاق يتحرك جدار السقف ضمن مجرى على محيط الخزان يحتوي على سائل هيدروليكي خاص . ويوضح الشكل (2-17) تفاصيل خزان ذي سقف متحرك (متنفس) في حين يوضح الشكل رقم (2-18) مظهراً خارجياً لخزان ذو سقف متحرك (متنفس). وتعمل الخزانات ذوات السقوف المتحركة بضغط خفيف أعلى من الضغط الجوي وتصل المسافة التي يرتفعها سقف الخزان إلى (15) قدم 4,5m

ومن الجدير بالذكر أنه إذا كان حجم الخزان كاف و كفاءة السقف المتحرك جيدة توصل فوهات التنفس لعدة خزانات ذوات سقوف ثابتة إلى خزان ذي سقف متحرك (متنفس) ، وهذا يقلل من الضياعات بشكل كبير. فعلى سبيل المثال : يوضع لكل مجموعة مكونة من خمسة خزانات للبنزين ذات سعة (5000 m^3) خزان واحد ذو سقف (متنفس) سعته (6000 m^3) يتصل بالخزانات الأخرى بواسطة توصيلات خاصة بالغاز .



شكل رقم (2-17) مقطع في خزان ذو (سقف متنفس) (Lifter Roof Tanks)

1- أنبوب ملء مانع للتسرب الهيدروليكي
2- السقف
3- سلسلة
4- جهاز واق
5- هيكل مانع التسرب
6-ناقوس منع التسرب
7- قارنة شد
8 – ساحب
9- الدحاريج العليا الموجهة
10- الدحاريج السفلى
11 - الأنابيب الموجهة

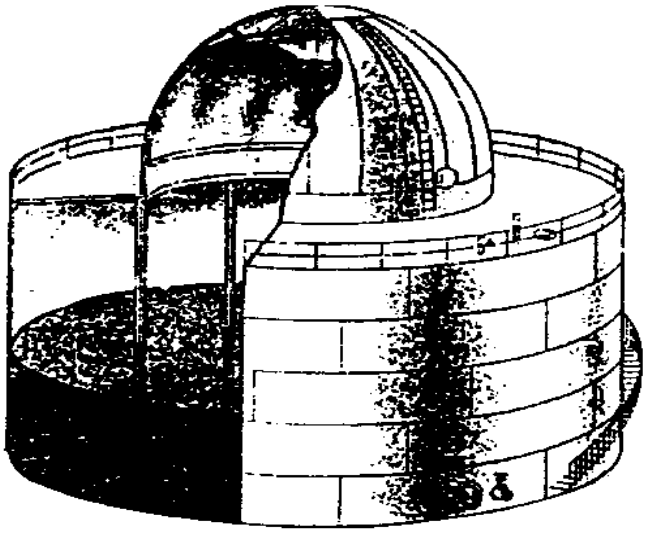


شكل رقم (2-18) خزان ذو سقف متحرك (متنفس)(Lifter Roof Tanks)

4-3-1-2 الخزانات ذوات القبب المرنة (القبعة الغازية) (Vapor Dome Tanks) :

يوجد في السقف الثابت لهذا النوع من الخزانات قبة مرنة تعمل كرئة للخزان مؤلفة من غشاء مرن مغطى بقبة معدنية ثابتة مما يؤدي إلى تنفس مغلق للخزان حيث تنتفخ هذه القبة المرنة إذا ارتفع مستوى السائل في الخزان (ارتفاع الضغط داخل الخزان) وتنكمش إذا هبط مستوى السائل في الخزان

(انخفاض الضغط داخل الخزان) . وبمعنى آخر يسمح الغشاء المرن في هذا النوع من الخزانات بتمدد وانضغاط الغازات في الخزان دون خروجها إلى الوسط الخارجي .



شكل رقم (2-19) خزان ذو قبة مرنة (قبعة غازية)

4-1 خزانات تعمل عند ضغط أعلى من الضغط الجوي:

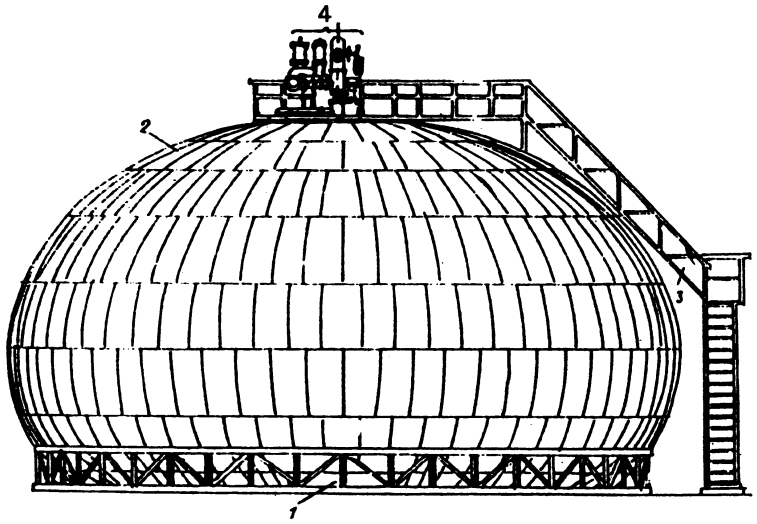
1- خزانات تعمل عند ضغط منخفض نسبياً :

يتراوح الضغط نسبياً بين (2.5-30 Psi) أي ما يعادل ($1.1 - 2\ Kgf / cm^2$):

وهي ذات شكل نصف كروي ، وتستخدم لتخزين المنتجات النفطية (التي ضغط أبخرتها المشبعة عال) تحت الضغط وفي درجات الحرارة العادية ، مما يؤدي إلى تقليص مقدار الضياع بالبخر في الخزانات التي تعمل عند الضغط الجوي .

غير أن كلفة الخزان الذي يعمل تحت الضغط الجوي أقل بكثير من كلفة خزان نصف كروي له نفس الحجم ، بسبب صعوبة تصنيع جدران الخزان النصف كروي، لذلك فإن استخدام هذا النوع بهدف تخفيف الضياع بالبخر يجب أن يكون مبرراً بالحسابات الفنية و الاقتصادية

ويبين الشكل رقم (2-20) مخططاً لخزان نصف كروي (hemispheroid tanks) .



شكل رقم (2-20) خزان نصف كروي

1- القعر 2- الهيكل 3- السلم 4- منطقة أجهزة الخزان

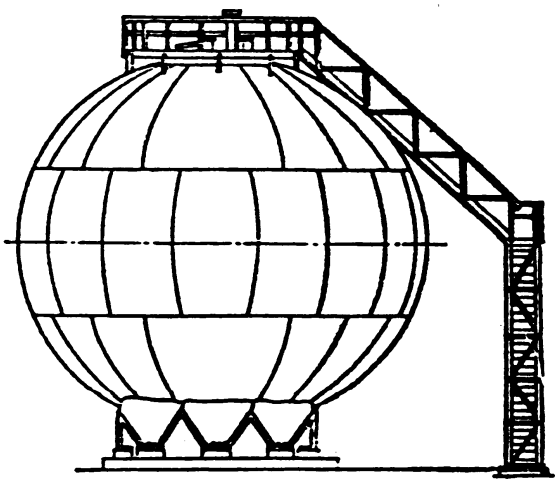
2- خزانات تعمل عند ضغط عالٍ نسبياً:

يتراوح الضغط بين (30 – 200 Psi) أي ما يعادل ($2 – 15\ Kg\ F/\ Cm^3$) ، وتشمل :

a- الخزانات الكروية (Spheres Storage tanks) :

وتستخدم هذه الخزاناتلتخزين المنتجات النفطية ذوات الضغط البخاري العالي مثل الغازات السائلة (بروبان ، بوتان) (L.P.G) بدرجات الحرارة العالية .

ويعطي الشكل الكروي للخزان إجهادات متساوية في كل الجدار ، كما يعطي أقل سطح ممكن والجدير بالذكر أن الضغط الأعظمي المسموح به ينقص كلما زاد قطر الخزان . ويجب أن تجهز الخزانات الكروية بصمامات أمان وبأنظمة تبريد مائي بهدف التقليل من تأثير حرارة الجو الخارجي وتلافي ارتفاع الضغط داخل الخزان عن الحد المسموح به . يبين الشكل رقم (2-21) مخططاً لخزان كروي .



شكل رقم (2-21) الخزان الكروي

b- الخزانات الأسطوانية الأفقية (Horizontal cylindrical tanks) :

وهي ذوات استخدام محدود نظراً لزيادة الاستهلاك النوعي للمعدن لكل ($1\ m^3$) من السعة بالمقارنة مع الخزانات القائمة . وتستخدم الخزانات الأفقية لتخزين قطفات البنزين والغازات السائلة تحت ضغط مرتفع ، وتستخدم في المصانع خزانات أفقية تصل سعتها إلى ($50\ m^3$) وتعمل تحت ضغط (18 atm) وخزانات تصل سعتها إلى ($100\ m^3$) وتعمل تحت ضغط (7 ضغط جوي). وتزود الخزانات الأفقية عادة بصمامات أمان وأحياناً تطمر في الرمال والأتربة كعامل أمان من جهة ولتأمين العزل الحراري من جهة أخرى . ويبين الشكل رقم (2-22) مجموعة من الخزانات الأسطوانية الأفقية .



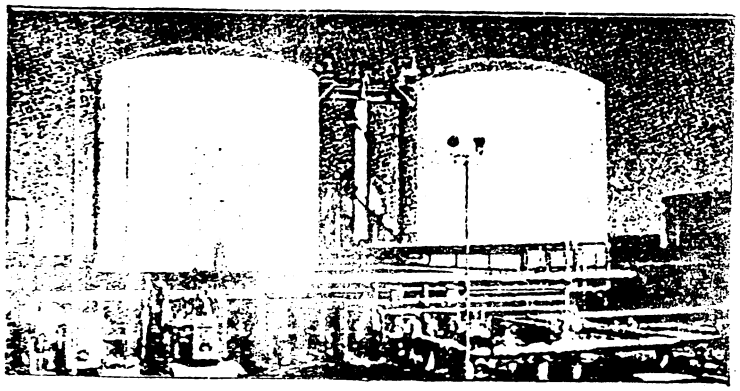
شكل رقم (2-22) الخزانات الأسطوانية الأفقية .

2-1-5- الخزانات الخاصة : وتشمل ما يلي :

2-1-5-1- الخزانات المبردة والمعزولة (Refrigerated tanks) :

من أجل تخفيض الضغط داخل الخزانات المخصصة لتخزين الغازات السائلة تبرد هذه الغازات (البروبان ، البوتان، الغازالطبيعي السائل) وذلك بالاستفادة من الأبخرة المتبخرة من سطح السائل وإعادة ضغطها وتمييعها وتبريدها وإعادتها إلى الخزان ، ويؤدي التبريد إلى خفض الضغط التخزيني إلى ضغوط خفيفة أو إلى الضغط الجوي العادي . ومن أجل العزل الحراري يكون جدار الخزان مضاعفاً في حين تتوضع مادة عازلة في الفراغ الكائن بين الجدار الداخلي والخارجي للخزان .

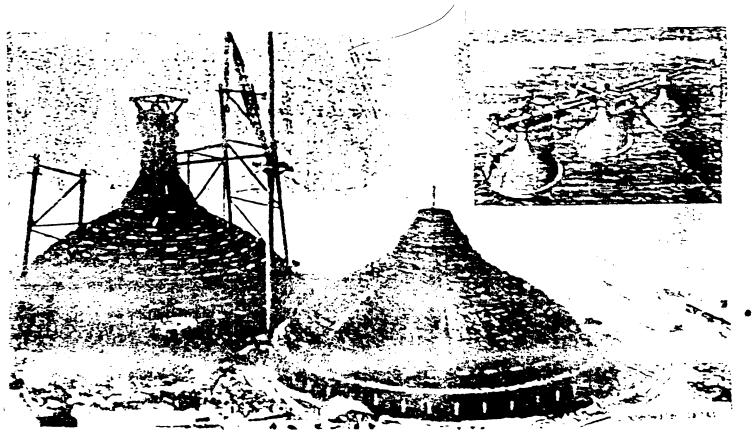
ويبين الشكل(2-23) نموذجاً للخزانات المبردة ، مع العلم أن هذا النوع من الخزانات يمكن أن يكون كروياً أيضاً .



شكل رقم (2-23) الخزانات المبردة

2-1-5-2خزانات لتخزين النفط في البحر (تحت بحرية) :

صممت وبنت شركة (Chicag Bridge International) خزانات لتخزين النفط الخام بعرض البحر وأسفل المياه من أجل تخزين النفط الخام المستخرج من الحقول البحرية (في دبي) مما يوفر ضخ النفط إلى مسافات بعيدة حتى الشاطئ ثم إعادة شحنه من المرافئ النفطية ذلك كماأن الناقلات البحرية يمكنها أيضاً وبسهولة أن تشحن النفط الخام من هذه الخزانات تحت البحرية ، حيث تبلغ سعة الخزان الواحد(500,000 برميل) تقريباً ، ويكون الخزان كالجرس المقلوب وبداخله ما يشبه القارورة التي يخزن فيها النفط الخام وتتصل مع ماء البحر بأنابيب مفتوحة بحيث إذا فرغت كمية من النفط من أعلى الخزان تدخل مياه البحر من هذه الفتحات لتحل محلها . ويوجد في أعلى الخزان منصة عليها منشآت فصل الغاز عن النفط الخام بالإضافة إلى منشآت الضخ والتحميل . ويوضح الشكل رقم (2-24) المظهر الخارجي للخزانات تحت البحرية .



شكل رقم (2-24) خزانات تحت بحرية.

2-1-5-3 الخزانات تحت الأرضية :

انتشر في العالم بنجاح إنشاء سعات تخزينية داخل الأرض ، ويتم ذلك بإحداث فجوات داخل صخور الأرض ذاتها ، ويمتاز هذا النوع من السعات التخزينية بحجومها الكبيرة مما يسمح بتخزين كميات كبيرة من المواد النفطية . ولهذا النوع من التخزين محاسن عديدة ، نذكر منها :

1- مزايا إستراتيجية . 2- تجنب التلوث البيئي 3- استبعاد مخاطر الحريق والانفجار

4- لا يتطلب إنشاؤها مساحة واسعة من الأرض . 5- الضياع بالبخر شبه معدوم .

6- الرأسمال الموظف ونفقات التشغيل وكمية المعدن اللازمة لإنشاء هذه السعات أقل بكثير من كلفة الخزانات المعدنية المبنية على سطح الأرض .

ونذكر من أنواع هذه الخزانات :

- المناجم الناضبة .

- إحداث فجوات في الصخور الغضارية والصخور الأرضية الأخرى عن طريق التفجير .

- إذابة الصخور الملحية .

ونشير في هذا المجال إلى الخزانات الموجودة في باطن الأرض والمصنوعة من الأسمنت المسلح والمستخدمة لحفظ الأنواع المتطايرة من النفط والمشتقات النفطية ، حيث يكون استهلاك المعدن في هذا النوع من الخزانات أقل ما يمكن ، كما أنها فعالة من وجهة نظر تقليل فقد المنتجات النفطية . الشكل رقم (a-2-25) .

6-1-2الخزانات العائمة:

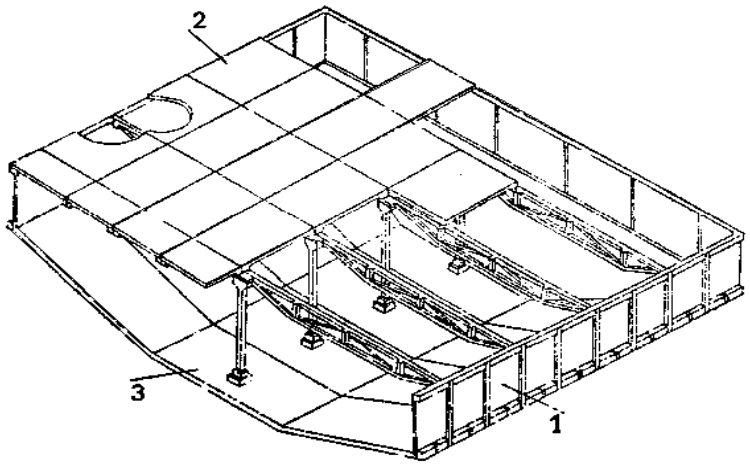
Tankers Floating production storage and Offloading (FPSO)

بسبب الحاجة الماسة إلى تخزين النفط المنتج فقد دأبت بعض الشركات التي تستثمر في عرض البحر أن تبني خزانات عائمة (مبدأ النواقل النفطية) وتثبت بنظام معين إلى سرير البحر لمواجهة الأحوال البحرية الطارئة .وقد طبقت بنجاح في بعض الشركات الأجنبية (Shell Spain). الشكل (b-2-25) يبين نموذج الخزانات العائمة .

ونشير أخيراً إلى نوع آخر من التخزين وهو تخزين النفط بتطويفه على الماء (Storing oil by floating it on water) ، حيث يقوم السويديون ببناء واحد من أكبر المشاريع المعروفة لتخزين النفط في باطن الجبال ، والمشروع الذي يبنى لحساب شركة النفط النرويجية (ستات أويل) يتكون من ست حجرات في باطن الجبال النرويجية بالقرب من ميناء (بيرجن) على الساحل الغربي .

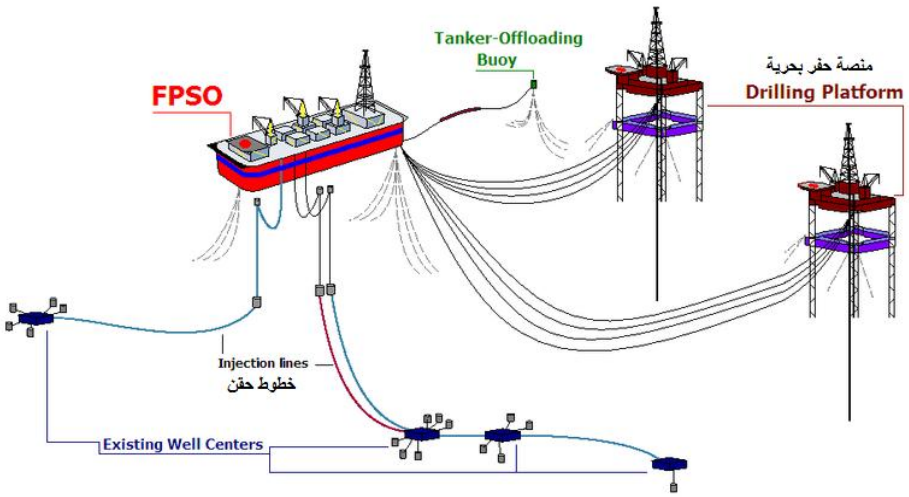
ويتم بناء هذه الخزانات حسب طريقة سويدية مبتكرة تتلخص في تخزين النفط داخل المغارات الجبلية وذلك على حوض من الماء بارتفاع نصف متر تقريباً .

وانطلاقاً من كون النفط أقل كثافة من الماء فإنه يطفو عليه ويصبح الماء بمثابة عازل يمنع تسرب النفط عبر المسامات والتشققات الأرضية . علماً بأن السويديين قاموا بتجربة مثل هذه المستودعات لأول مرة عام (1982) م . وبعد أن ثبت نجاح الفكرة يتم تطبيقها الآن في المشروع النرويجي الذي يعتبر من أضخم المشاريع في اسكندنافيا على الإطلاق .



شكل رقم (a-2-25) مخطط الخزان المغطى المصنوع من الأسمنت المسلح .

1- **هيكل الجدران من الأسمنت المغطى من الداخل بألواح من الصلب**
2- **لوح من الأسمنت المسلح**
3- **قاع الخزان من الأسمنت المسلح المغطى بألواح من الصلب**



شكل رقم (a-2-25) نموذج الخزان العائم

Tankers Floating, production, storage and Offloading (FPSO)

الفصل الثالث

التشغيل الروتيني للخزان

(ROUTINE OPERATION)

مقدمة :

يمر النفط بعد قدومه من الحقول بثلاث مراحل :

مرحلة الاستلام (Receiving stage) :

في هذه المرحلة يقاس حجم النفط الداخل وتراقب نوعيته بأخذ العينات (sampling) بصورة منتظمة الأمر الذي يسمح بتقدير كمية النفط المستلمة و طبيعة عمل الحقول إضافة إلى معرفة زمن إغلاق الخزان.

مرحلة المعالجة (Treating stage) :

في هذه المرحلة يعالج النفط بغية تخليصه من المياه والرواسب و إعداده للتصدير ويرسل الماء الناتج والرواسب للمعالجة.

مرحلة التصدير(Exporting stage) :

في هذه المرحلة يضخ النفط إلى خزانات الزبون(ناقلات نفط ، خزانات ،...) ويراعى في أثناء ذلك مراقبة عملية التحميل مراقبة دقيقة من حيث الكمية (بقياس دقيق لحجم النفط المرسل) ومن حيث النوعية وذلك بأخذ عينات ومراقبة النوعية . بعبارة أخرى يجب مراقبة النفط الخام والتحكم به من حيث النوعية والكمية من مانيفولد الدخول إلى الخزانات وحتى مخرج الخزانات باتجاه التصدير .

1-3 قياس الحجم (Volume Measurement) :

تعتبر عمليتي قياس الحجم و أخذ العينات للتحليل من أهم العمليات خلال المراحل الثلاثة السابقة لأن ذلك يمكن من التحكم بنوعية وكمية النفط الوارد إلى الخزان فالنتائج الناجمة عن القياسات الدورية للحجم وتحليل العينات يشير إلى التغيرات النوعية والكمية وإلى زيادة المياه و الرواسب (BS & W) وبالتالي معرفة برنامج معالجة المستحلبات .

إن مبدأ قياس الحجوم بهدف التحكم أو بهدف عمليات التصدير يستند إلى قياس الخزان (tank gauging) إضافة إلى القياس المباشر لحجم النفط على الخط (in-line metering) بما يتوافق مع الطرق القياسية التالية :

(ASTM D 1085, API Standard 2545) . تجرى قياسات الخزانات إما يدوياً أو أوتوماتيكياً أما القياسات المباشرة على الخط فتجرى عادة باستخدام أجهزة تدفق ذات إزاحة موجبة (positive-displacement meters) أو بتركيب مقاييس توربينية (turbine meters) .

لسنوات طويلة بقيت الطريقة اليدوية هي الطريقة الوحيدة المعتمدة أما حديثاً فقد أصبحت طريقة القياس المباشر للحجم من الطرق العملية المعتمدة أيضاً .

3-1-1 قياس الخزان يدوياً (Manual Tank Gauging) :

تستند هذه الطريقة بشكل عام إلى قياس الخزان (tank dipping) وهناك طريقتين للقياسات اليدوية للخزانات داخلية (innage) وخارجية (outage) وفي كلتا الطريقتين يستعمل شريط قياس (measuring tape) مادته من الفولاذ المرن أو من الفيبر كلاس بعرض حوالي (12 mm) و سماكة ضمن المجال (0.3 -0.2mm)

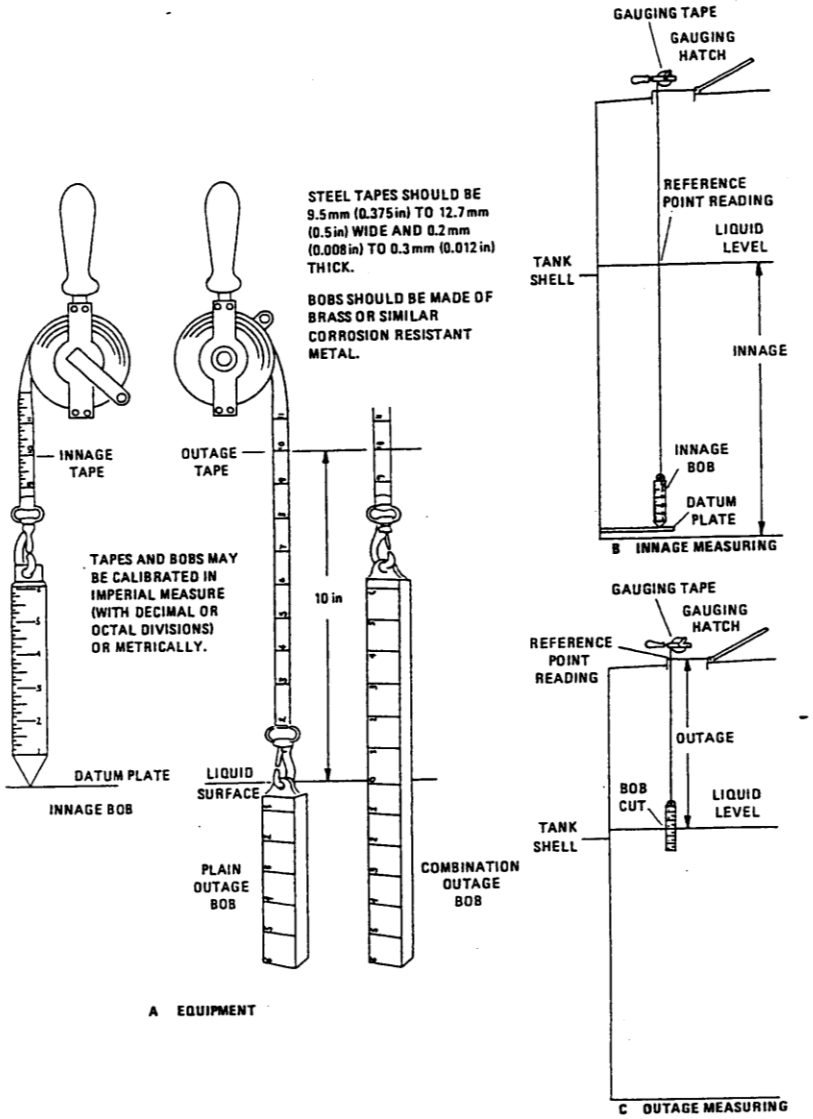
A - القياسات الداخلية (Innage Measurement) :

عند القياس بهذه الطريقة فإن شريط القياس (measuring tape) الذي ينتهي بثقل في نهايته يدعى ثقل التوازن (bob) ينزل في الخزان حتى صفيحة الدلالة (datum plate) وتدعى أحياناً صفيحة الأساس في قعر الخزان ، والتي تعتبر نقطة الصفر في الخزان، ثم يلف الشريط بعد ذلك والقراءة الأعلى من الشريط عند تبلله بالنفط يسجل على أنه مستوى النفط في الخزان
الشكل (1-3).

عند تطبيق هذه الطريقة يجب الحرص والتأكد من أن الثقل قد لامس صفيحة الدلالة أو قعر الخزان وأن لا تكون منحرفة عن الوضع الشاقولي. هناك بعض الاحتياطات الإضافية لتفادي الخطأ في القياس أهمها:

1- أخذ قياسين أو أكثر في أثناء كل عملية قياس للمستوى إلى أن يتطابق قياسين
2- تسجيل القياسات مباشرة بعد كل سلسلة قياس.
3- قبل أخذ القياس يجب التأكد من خلو سطح السائل من الرغوة وأن السطح هادئ ولا توجد أمواج.
4- ترك زمن كاف قبل القياس من أجل تطاير الغازات والهواء من السائل.
5- وضع معجون كاشف (indicating paste) على الثقل أو على الشريط إذا كانت القراءة غير واضحة
6- أخذ القياس أقرب ما يمكن إلى نقطة مرجعية واحدة من فتحة القياس(hatch) في كل قياس .

يجب التنويه أيضاً أن هذه الطريقة لن تكون دقيقة إذا غمرت صفيحة الدلالة بالترسبات



HAND GAUGING TAPE AND ACCESSORIES

الشكل (1-3) : القياس اليدوي للخزانات مع الإكسسوارات

B - القياسات الخارجية (Outage Measurement) :

يتم القياس بهذه الطريقة من سطح السائل داخل الخزان إلى نقطة مرجعية (مقارنة) ثابتة **(fixed reference point)** ومحددة مسبقاً من الخزان . المسافة الحقيقية من النقطة المرجعية وحتى قعر الخزان معروفة ومثبتة على سطح الخزان قرب فتحة القياس . ينزل شريط القياس في النفط كما هو مبين في الشكل (6-35) حتى ينغمس الثقل وهو على شكل مسطرة أسفل الشريط جزئياً في النفط . تؤخذ القراءة على شريط القياس عند شفة فتحة القياس عند النقطة المرجعية والتي يكون ارتفاعها

عن قعر الخزان مقاس ومعروف ومثبت مسبقاً، ويكون ارتفاع النقطة المرجعية ناقص قراءة الشريط عند تلك النقطة زائد مقدار انغماس الثقل داخل النفط يساوي ارتفاع النفط في الخزان.

بعض النصائح عند القياس بهذه الطريقة :

1. استعمال نقطة مرجعية محددة ومثبتة قرب فتحة القياس .
2. عدم الوقوف على أي مكان فوق سطح الخزان عند إجراء القياس .
3. أخذ القياس بطريقة تمنع تغير المسافة بين نقطة الدلالة وقعر الخزان .

3-1-3 الأخطاء والدقة عند القياس اليدوي (Accuracy and Errors):

تدل تحليل القياسات اليدوية على وجود بعض العوامل المؤثرة على دقة القياس . يمكن مواجهة نوعين من الأخطاء عند إجراء القياس اليدوي للخزان :

- أخطاء ثابتة (consistent) أو تراكمية (cumulative) وأحياناً تدعى منهجية (systematic)
- أخطاء متغيرة (variable) أو غير تراكمية (non-cumulative).

لا يمكن تلافي الأخطاء الثابتة بتكرار القياس في حين يمكن ذلك بالنسبة للأخطاء المتغيرة .

a- الأخطاء التراكمية (cumulative errors):

النوع الأول من الخطأ في أثناء القياس اليدوي للخزانات هو خطأ ثابت ويمكن أن يكون سببه:

1 – خطأ قياس الحرارة : إن الخطأ في قياس درجة الحرارة أو الاختلاف بين مقياسي حرارة مختلفين لشحنة واحدة يقود إلى خطأ في قياس الحجم . مثال ذلك أن خطأ في قياس الحرارة مقداره (1.0°F) في شحنة مقدارها (50 000 barrel) من خزان سعته (180 000 bbl)يؤدي إلى خطأ مقداره (0.18% or 90 barrels)

2- معايرة الخزانات (Calibration of tank): تشكل جداول المعايرة في أحسن حالتها حلاً وسطاً بين القيمة المثالية لحجم الخزان والقيمة التجريبية . تجري معايرة الخزانات بطرق معتمدة تتراوح دقتها (0.05%) من الحجم الحقيقي.

3- تمدد الخزان بسبب السائل (Expansion of tank due to liquid) بسبب الضغط الهيدروستاتيكي للسائل المخزن فإن كل نطاق من صفائح الخزان ستقع تحت تأثير قوى الضغط وبالتالي ستكون في حالة شد نحو الخارج مما يغيرقليلاً في قطر الخزان . هذا الخطأ يكون صغير عادة ويتراوح بحدود (0.002 % +) .

4- تسامح التآكل (Corrosion allowance) : يتراوح تآكل صفائح الخزان ضمن الحدود المسموح بها ضمن المجال [(1/16 in) 1.6 mm to (3/16 in) 4.8 mm)] وعليه فإن التآكل غير المتجانس في صفائح خزان سعة (180 000) barrel يقود إلى خطأ لايقل عن (0.025%) بالنسبة للسعة المعايرة سابقاً.

5– تمدد وتقلص معدن الخزان بفعل الحرارة (Expansion and contraction of tank steel with temperature) :

يحسب حجم النفط ومشتقاته عادة عند الدرجة60°F(= 15.6°C) وحجم السائل فقط يحول إلى تلك الدرجة وبالتالي فإن ارتفاع درجة الحرارة إلى أعلى من (15°C) **(** سيؤدي إلى تغير في قطر الخزان وارتفاعه وكذلك في طول شريط القياس المعدني مما يقود إلى خطأ وبالتالي فالحجم سيكون أكبر من الحجم المعاير سابقاً وإذا افترضنا متوسط درجة الحرارة (20 °C) فإن ذلك سيؤدي إلى خطأ يتمثل بزيادة في قياس الحجم مقداره (0.048% +) .

6 – استخدام جداول (ASTM/IP) **(**للتصحيح للدرجة (**60**°F) (ASTM/IP Tables for correcting to 60°F**).**

هناك خطأ بسيط يحصل بسبب استخدام معامل تصحيح الحجم من درجة حرارة النفط الفعلية إلى الدرجة (60°F) من جداول خاصة بذلك بسبب أن تلك الجداول هي عبارة عن متوسطات حسابية (arithmetical averages) لعدة خامات نفطية متماثلة في الكثافة ولكنها ليست متماثلة بالضرورة بعامل التمدد الحجمي(volumetric coefficient of expansion)

):American Society for Testing and Materials / institute of Petroleum (ASTM/IP**)**

b- الأخطاء غير التراكمية (Non-cumulative errors) :

النوع الثاني من الخطأ الذي يدخل في مجال القياس اليدوي للخزانات هو خطأ غيرثابت ويمكن أن يكون سببه:

1- القراءة غير الصحيحة لشريط القياس (Incorrect reading of the tape):إن أشرطة القياس غير المترية (non-metric tapes) تقيس إلى أقرب (1/8 in) الأمر الذي يتيح خطأ قياس مقداره (1/4 in) ، هذا الخطأ في قياس خزان سعته (180 000 barrel)يقود إلى خطأ مقداره (0.16% or 80 barrels) لشحنة قدرها (50,000 barrel) وفي شحنة قدرها (130,000 barrel) سيكون مقدار الخطأ (0.06% or 78 barrels) .

2- القراءة غير الصحيحة لدرجة الحرارة (Incorrect reading of temperature) **:**

تقيس مقاييس الحرارة إلى أقرب درجة ، والخطأ يحصل من تدوير القراءة إلى أقرب قيمة أو من خطأ في القراءة نفسها ، كما يمكن أن يحدث الخطأ بسبب تغير في درجة الحرارة وتطبق السائل نفسه (اختلاف الحرارة بحسب الطبقة). إن خطأ مقداره (1.0°F) يؤدي إلى خطأ مقداره (0.18% or 90 barrel) في شحنة قدرها (50,000 barrel)

3- عدم دقة المعدات (Equipment inaccuracy) **:**

تبلغ دقة أشرطة القياس (1 to 1.5 mm or 1/32 to 1/16 in) بينما تبلغ دقة مقاييس الحرارة (0.5 degree) ففي شحنة قدرها (50,000 bbl) من خزان سعته (180 000 bbl) يقودعدم دقة المعدات إلى خطأ مقداره (0.19% or 95 bbl) وفي شحنة قدرها (130,000 barrel) سيكون مقدار الخطأ (0.09% or 117 barrels) .

2-3 تصحيح حجم المنتجات النفطية الخفيفة من الحرارة الفعلية إلى درجة الحرارة (60°F) :

Correct the volume of light fuels from actual temperature to a base of 60°F:

إن الأساس المتفق عليه عالمياً في تجارة النفط الخام هو بيع أو شراء النفط بالحجم وليس بالوزن (الكتلة) وقد اتفق أن يكون الحجم مقاساً عند درجة الحرارة (60°) فهرنهايت بالمقاييس الإنكليزية أو بدرجة الحرارة(15.6 ْ) مئوية بالمقياس المتري وذلك تحت الضغط الجوي الاعتيادي المطلق (absolute) عند مستوى سطح البحر(1at = 14.7 psi)

يبلغ التعامل اليومي في تجارة النفط ومشتقاته عشرات الملايين من البراميل أو ما يعادلها من الأمتار المكعبة الأمر الذي يتطلب دقة متناهية في قياس الحجم وأن أي نسبة خطأ ولو كانت قليلة في المقاييس ينتج عنها فروقات كبيرة في الحجم و هذا ما يرتب أيضاً مبالغ كبيرة .

1-2-3 العوامل المؤثرة على حجم السائل :

1- **معامل تأثير درجة الحرارة على حجم النفط**(C_{TL})

temperature on liquid Correction factor for (C_{TL})

يزداد حجم السائل بارتفاع درجة الحرارة وينكمش بنقصانها ويدعى العدد الذي يدل على تغير الحجم عند تغير درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة مع ثبات الضغط بمعامل التمدد الحراري ويتعلق بطبيعة السائل وبالتالي بكثافته كما يتعلق ببنية السائل وسلوكية هذه البنية بالعلاقة مع الحرارة ويؤخذ من جداول خاصة.

2- معامل تأثير درجة الحرارة على حديد الخزان(C_{TS})

Correction factor for temperature on steel(C_{TS}) حيث تتغير أبعاد الخزان قليلاً وبالتالي تتغير معايرته الحجمية المعدة مسبقاً.

3- تأثير الضغط على حجم السائل (CPL)

Correction factor for pressure on liquid(C_{PL})

من المعروف أن حجوم السوائل تتأثر بالضغط لهذا السبب تحسب الحجوم في الضغط الجوي الطبيعي المطلق.

يعود الأثر الأكبر في تغير الحجم إلى البند الأول "تأثير درجة الحرارة على حجم السائل" في حين يكون تأثير البندين الآخرين قليلاً جداً لذلك اتفق أن يصحح الحجم إلى الدرجة القياسية (60ْ F) بضرب الحجم المقاس بمعامل التصحيح الحراري المناسب الذي يؤخذ من جداول (C_{TL})بالاستعانة بالوزن النوعي القياسي للنفط و بدرجة الحرارة المقاسة . مثال: لحساب حجم النفط في خزان عند الدرجة (60ْ F)تتبع الخطوات التالية:

a – يتم احتساب عمق النفط (Dip) في الخزان ومن جداول الحجوم الخاصة بالخزان (جداول معايرة الخزان) يتم احتساب حجم النفط الطبيعي (G_{NV})(Gross Natural Volume)**.**

b- يستخرج معامل تصحيح الحجم إلى الدرجة (60) فهرنهايت (VCF)

(volume factor correction) ويؤخذ من جداول خاصة (ASTM and IP) ويتعلق بدرجة الحرارة وكثافة السائل حيث تزداد قيمته بارتفاع كثافة السائل وبما أن المنتجات المتساوية الكثافة ليس لها بالضرورة معامل تصحيح واحد فإنه توجد جداول خاصة لمعالجة هذه الحالات إذا أثبت المنتج المقاس شذوذاً عن الحالة الطبيعية

c- يحسب الحجم القياسي **(**Gross standard Volume)(GSV) بدرجة (60) فهرنهايت من المعادلة : $G_{SV} = V_{CF} \times G_{NV}$

الجدير بالذكر وجود طريقة تقريبية وسريعة لتحويل حجوم النفط ومشتقاته إلى الدرجة (60F) وذلك بالاعتماد على المعادلة التالية :

$$V_a - V_{60} = 0.0006\ (T_a - 60)\ V_{60}$$

(V_a = volume at actual temperature) الحجم عند درجة الحرارة الفعلية

(V_{60}= volume corrected to 60º F) الحجم المصحح إلى الدرجة (60 ف)

(T_a = actual temperature of oil) درجة حرارة النفط الفعلية

مثال :

خزان يحتوي على ($14543.081\ m^3$) نفط خام فإذا علمت أن كثافته القياسية (0.850) ودرجة حرارة الخزان لحظة القياس (70º F). و المطلوب : حساب حجم النفط في الدرجة (60º F).

الحل :

أولاً: الحل بالطريقة العادية :

من جداول التحويل (CTL) وبالاستعانة بالوزن النوعي القياسي للنفط (0.850) و بدرجة الحرارة المقاسة (70º F) نجد أن معامل التحويل الموافق**:**

$$=0.9953VCF$$

ويكون الحجم في الدرجة (60º F):

$$V= 0.9953 \times 14543.081 = \mathbf{14474.728}\ m^3$$

ثانياً : الحل بالطريقة السريعة :

$$V_a - V_{60} = 0.0006\ (T_a - 60)\ V_{60}$$

$$14543.081 - V_{60} = 0.0006(70-60)V_{60}$$

$$V60 = \mathbf{14456.343}\ m^3$$

بمقارنة النتائج يتضح التقارب الكبير في النتائج فقد بلغ الفرق ($18.385\ m^3$) بما يعادل (0.12%) ومع ذلك فالطريقة الأولى هي المعتمدة .

3-3 أخذ العينات (Sampling) :

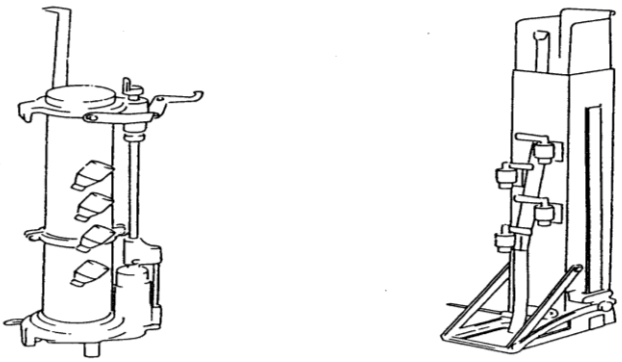
خلال كافة مراحل الاستلام والمعالجة والتصدير تؤخذ العينات (samples) من النفط الخام بشكل منتظم من أجل تقدير درجة الحرارة (temperature) والكثافة النوعية أودرجة الكثافة الأمريكية (specific/API gravity) ومحتوى النفط من الماء والرواسب (water/sediment content) . ويمكن أن يتم ذلك يدوياً (manually) أو أوتوماتيكياً (automatically) .

3-3-1 أخذ العينات من الخزان يدوياً (Manual Tank Sampling) :

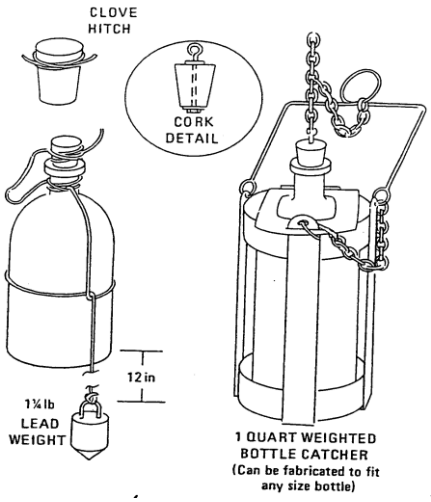
تؤخذ العينات بحسب الستاندرات (IPAPI 2546, ASTM D270 or) غير أن (ASTM) هو الستاندر المفضل كونه يأخذ بعين الاعتبار نسبة المياه العالية في الطبقات السفلى للخزان.

3-3-2 أخذ العينات باستعمال سارق العينات (tank thief) :

من أجل الحصول على عينة تمثل نموذج عن محتوى الخزان من النفط الخام تستخدم أداة تسمى سارق النماذج (tank thief) والنموذج الأكثر شيوعاً في الاستخدام يتألف من أنبوبة أسطوانية (TUBULAR TANK THEIF) بطول (18") (450 mm) و قطر على الأقل (2") (50 mm in) أنظر الشكل (2-3-1) . كما أن هناك نموذج آخر مؤلف من أنبوبة مربعة (STALLARD SPECIAL TANK THEIF)الشكل (2-3-2).



2- STALLARD SPECIAL TANK THEIF**1**-TUBULAR TANK THEIF



3 -BOTTLE SAMPLERS

الشكل (2-3) سارق النماذج TANK THEIF(1,2) **و زجاجة العينات** BOTTLE SAMPLERS**(3)**

ينزل سارق العينات داخل السائل بواسطة خيط أو سلسلة، وفي أسفل خزان سارق العينات يوجد صمام يكون مغلقاً بالحالة العامة بواسطة نابض . عندما ينزل سارق العينات داخل السائل يكون الصمام مفتوحاً ويمر السائل في أثناء الحركة من خلال أنبوبة السارق الأسطوانية وعندما يصل الجهاز إلى العمق المطلوب يحرر نابض الصمام ويغلق من الأسفل على العينة المطلوبة التي ترفع إلى الأعلى للتحليل . يمكن أن يجهز السارق بما يلي :

a. صنبور لأخذ عينة لتحليل المياه والرواسب (BS&W tests)
b. مقياس المياه والرواسب لتحديد ارتفاع الماء والرواسب داخل سارق العينات.
c. سلسلة الجهاز مدرجة وبالتالي يمكن تحديد عمق العينة بدقة .

2- أخذ العينات باستعمال القارورة (bottle sample) **:** يمكن أن تستعمل قارورة العينات سعة ليتر أو ليتر وربع بدلاً من سارق العينات وهي مصنوعة إما من الزجاج أو من معدن مقاوم للشرر (spark-resistant metal) ومزودة بثقل من الرصاص لإغراقها داخل النفط أو الزيت الشكل(6-3-36) تربط كلاً من القارورة وسدادتها بطريقة تسمح بالتحكم بالسدادة من على السطح وتنزل القارورة داخل السائل وهي مقلقة وعند وصولها إلى العمق المطلوب ترفع السدادة بواسطة السلسلة ويحافظ علة القارورة بحالة استقرار حتى تمتلئ ثم ترفع بهدوء ويؤخذ محتواها للتحليل.

3-3-3 نقاط أخذ العينات (Sampling Points) :

تكون الخزانات مجهزة بفتحة أو أكثر على سقف الخزان تدعى فتحات القياس (gauging hatches) ومن هذه الفتحات تؤخذ العينات المركبة (composite sample) بأخذ عينات منفصلة من فتحات مختلفة. بشكل عام تؤخذ العينات من الخزانات على النحو التالي :

- ✓ العينات الموضعية **(spot sample)**
- ✓ العينات المركبة **(composite sample)**
- ✓ كافة المستويات **(all- levels)**

- ✓ عينة متوالية أو متتالية (**running**)
- ✓ عينات الصنابير(**cock sample**)

❖ **العينات الموضعية (** spot sample**)**

تؤخذ عينات موضعية بواسطة السارق أو القارورة من أعماق مختلفة وكلما كان حجم النفط كبيراً كلما ازداد عدد العينات الموضعية وكل عينة يجب أن تؤخذ من عمود شاقولي واحد بعد ذلك إما أن تمزج العينات بكميات متساوية لتشكيل عينة واحدة نموذجية ترسل للتحليل أو تحلل كل عينة على حدا ويؤخذ متوسط نتائج التحليل أما عدد العينات المطلوبة بالعلاقة مع حجم النفط فتكون كما يلي:

A– عينات موضعية متوسطة (middle spot**)** عندما يكون ارتفاع النفط في الخزان (3m) (10 ft) أو أقل تؤخذ عينة من نقطة المركز **(**الشكل3-3-**a**)

B – عينات ثنائية (two-way Sample) :عندما يكون مستوى النفط في الخزان (4.5m) (15 ft) تؤخذ عينتان من موقعين من الأعلى ومن الأسفل (قسم التصريف) (lower outlet or connections (top and bottom) (الشكل3-3-**b**)

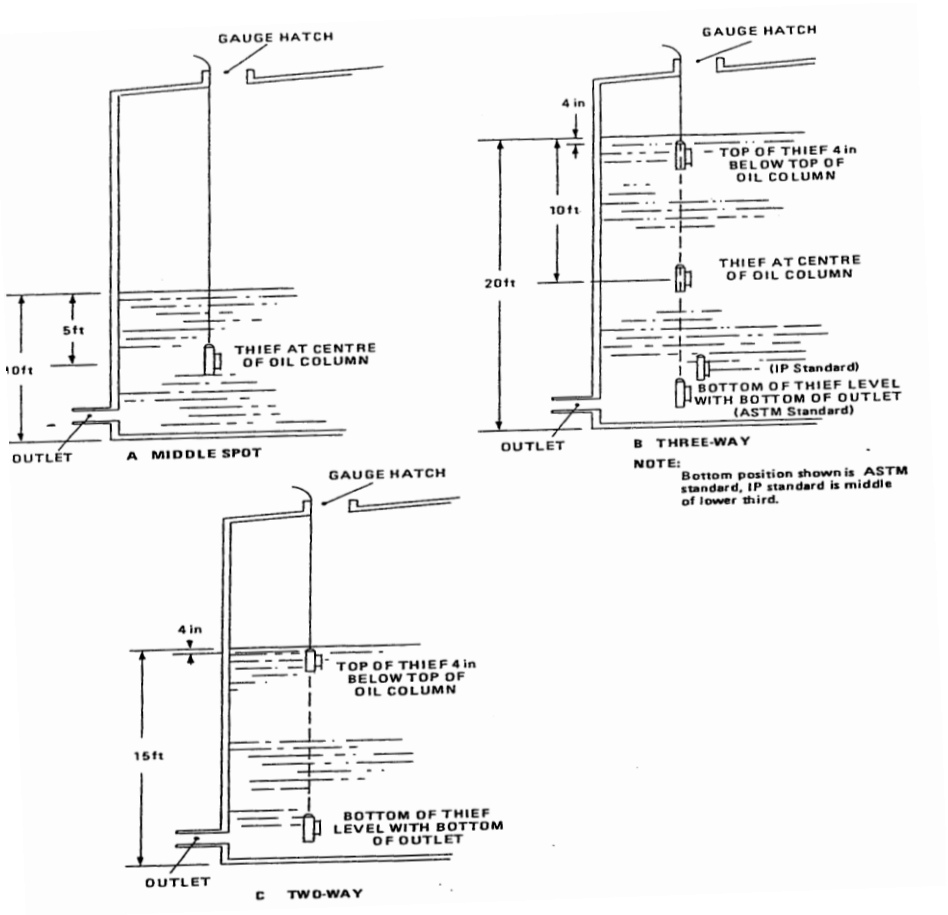
C – عينات ثلاثية (three-way Sample) : عندما يكون مستوى النفط في الخزان أكبرمن (15ft) (4.5m) تؤخذ ثلاث عينات من ثلاثة مواقع (الأعلى والمتوسط والأسفل) (middle and bottom top) (الشكل3-3-**c**).

❖ **عينات كافة المستويات** (all- levels) **:**

قارورة بسدادة تنزل من أعلى النفط إلى مستوى التصريف أسفل الخزان ثم تنزع السدادة وتترك القارورة ترتفع بمعدل سرعة ثابت وعندما تصل إلى سطح السائل تكون ممتلئة بمعدل **(**% 85) بشكل أعظمي (maximum 85%) العينة الناتجة تمثل عينة وسطية لمحتوى الخزان من نفس عمود السائل.

❖ **عينة متوالية أو متتالية (running sample) :**

قارورة بدون سدادة تنزل من أعلى النفط إلى مستوى التصريف أسفل الخزان ثم تعود إلى سطح السائل بمعدل سرعة ثابت وعندها تكون ممتلئة بمعدل (85 %) بشكل أعظمي (maximum 85%).



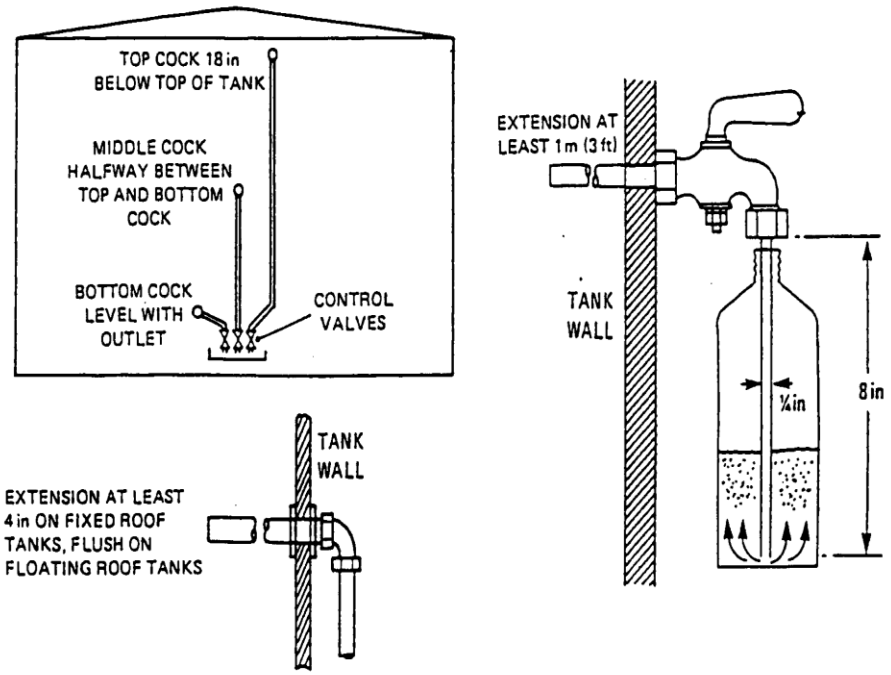
الشكل (3-3) : العينات الموضعيةSPOT SAMPLING

❖ **عينات الصنابير(cock sample) :**

تطبق هذه الطريقة عندما تكون الخزانات مجهزة بصنابير مثبتة على جدران الخزان ، يجب أن تؤخذ ثلاثة عينات على النحو التالي:

a. (18 in) (45 cm) تحت سطح الخزان .(العينة العلوية)
b. من النقطة الوسطية (بين العينة العلوية والعينة السفلية)
c. من مستوى منطقة السحب (العينة السفلية)

الجدير بالذكر أن بعض الخزانات مجهزة بهذه الصنابير إلى نقطة محددة عند قعر الخزان ولذلك يجب غسل الأنابيب عن طريق تمرير السائل من الخزان لفترة وجيزة قبل أخذ العينة. الشكل (4-3)



الشكل (4-3) : صنابير أخذ العيناتSAMPLING TAPS

4-3 قياس درجة الحرارة في الخزانات النفطية

(Temperature Measurement In tanks)

نظراً لتمدد النفط بالحرارة وانكماشه بالبرودة فإنه أتفق(كما ذكر سابقاً) أن تتم التعاملات التجارية بالنفط ومشتقاته عند الدرجة (60˚ F= 15.6 Ċ) الأمر الذي يتطلب تحويل الحجم دائماً إلى تلك الدرجة ،ومن أجل ذلك لا بد من قياس ما يلي :

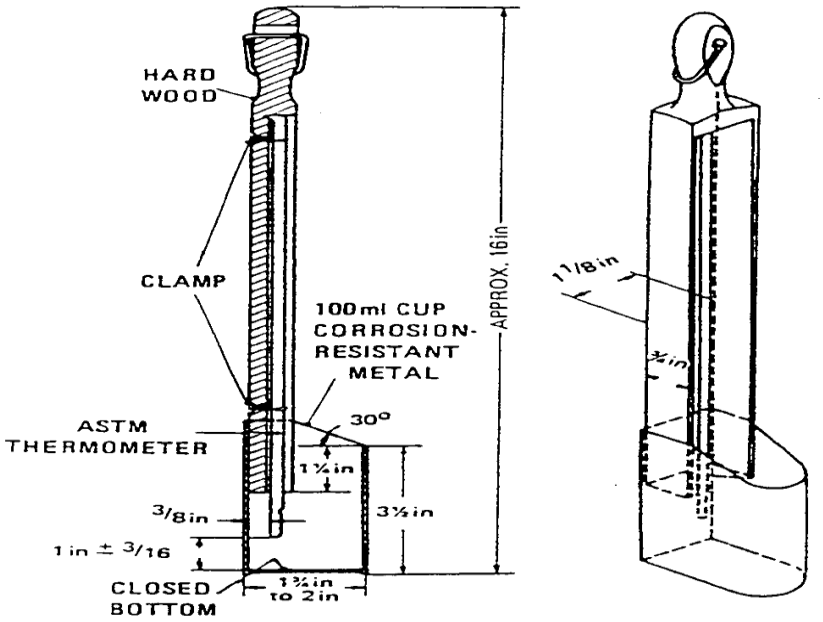
1) درجة حرارة النفط في الخزان (temperature of crude oil in the tank)
2) الكثافة النسبية للنفط الخام (specific gravity of crude oil)
3) محتوى الماء والأملاح في النفط (water and salt content incrude oil)

يمكن قياس درجة الحرارة يدوياً أو أوتوماتيكياً

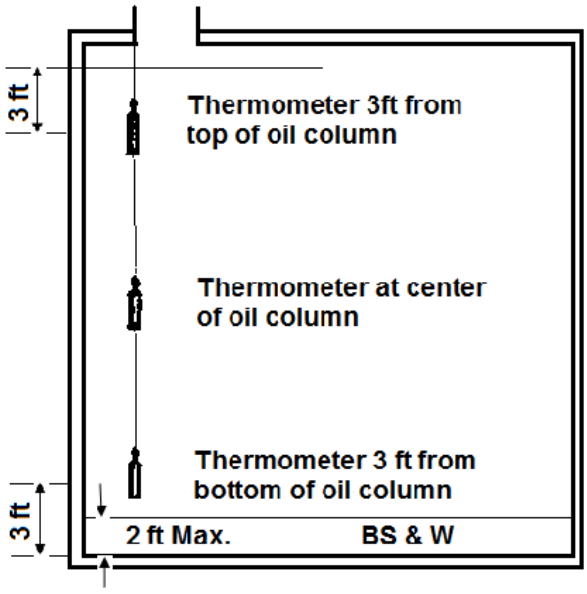
أولاً: القياس اليدوي (Manually measuring):

يجري قياس درجة الحرارة يدوياً في الخزانات النفطية إما باستخدام مقياس الحرارة الفنجاني (case thermometer- **cup**) الشكل(5-3) أومقياس الحرارة القياسي الزجاجي (standard glass thermometer) باستخدام وعاء عينات .ويجب أن تكون دقة المقاييس من النوعين (0.5C°) وفي

حالة استعمال المقياس الزجاجي يجب أن لا يتجاوز الفرق في درجة الحرارة بين محتوى الخزان والهواء الخارجي المحيط (17C°) الأمر الذي يؤكد أن الحرارة المقاسة للعينة الخارجية (withdrawn sample) لن يؤثر . ينزل المقياس الفنجاني إلى العمق المطلوب ويترك لمدة لا تقل عن (5) دقائق ثم يرفع بسرعة وتقرأ درجة الحرارة إلى أقرب درجة مئوية واحدة . إذا كان الفرق في درجة الحرارة بين محتوى الخزان والهواء الخارجي المحيط اكبر من (17C°) عندئذ يجب أن يستخدم وعاء عينات بجدار مضاعف .



الشكل (3-5)مقياس الحرارة الفنجاني



الشكل(6-3) قياس درجة الحرارة

يعتمد عدد قراءات درجة الحرارة على كمية النفط كما يلي الشكل(6-3):

A - قراءة واحدة عندما يكون ارتفاع النفط (3m) (10 ft) أو أقل تؤخذ القراءة فيوسط العمود نقطة المركز .

B - قراءتين عندما يكون ارتفاع مستوى النفط (3-4.5m) (15 ft) كما يلي :

الأولى : على عمق (1m=3 ft) من سقف الخزان The first 1m (3 ft) from the top

الثانية: على ارتفاع (1m=3 ft) من أسفل الخزان The second 1m (3 ft) from the bottom وبشرط أن لا تكون أقرب من (30 cm) فوق مستوى الماء والرواسب (BS&W) وتكون درجة حرارة النفط هي القيمة الوسطية للقياسين .

C - ثلاثة قراءات عندما يكون ارتفاع النفط في الخزان يساوي أو أكبرمن 4.5m (15 ft)وفي هذه الحالة تؤخذ ثلاثة قياسات على النحو التالي :

القراءة الأولى على عمق متر واحد من سقف الخزان :

(The first 1m (3 ft) from the top)

القراءة الثانية في منتصف العمود النفطي:

(The second in the middle of the vertical column of the) oil

القراءة الثالثة على ارتفاع متر واحد من قعر الخزان:

(The third 1m (3 ft) from the bottom)

وبشرط أن لا تكون أقرب من (30 cm) فوق مستوى الماء والرواسب (BS&W) وتكون درجةحرارة النفط هي القيمة الوسطية للقياسات الثلاث .

في بعض الحالات وبهدف الدقة تؤخذ قياسات حرارية عرضانية (في مستوى أفقي) لنفس الخزان حيث تؤخذ قراءتين أو أكثر وتكون الحرارة الناتجة هي القيمة المتوسطة للقراءات السابقة ، وفي هذه الحالة تكون الحرارة الفعلية للخزان هي المتوسط الحسابي للقراءتين العمودية والأفقية .

ثانياً: القياس الأوتوماتيكي (measuring Automatic) : تركب أنظمة خاصة على الخزانات النفطية تقيس درجة الحرارة وتبينها مباشرة في غرفة الكنترول ومن أشهر هذه الأنظمة

{ENRAF TRITEMP system supplied by ENRAF-NONIUS}

الفصل الرابع

حساب كميات السوائل البترولية

مقدمة :

في الصناعة البترولية يتم شراء الهيدروكربونات، بيعها أو نقلها بمراعاة عنصرين أساسيين يجب تعيينهما هما الكمية والنوعية.

يمكن أن يقسم تعيين كمية الهيدروكربونات إلى :

1- **تعيين الكمية السكونية .**
2- **تعيين الكمية الديناميكية .**

يتم تعيين الكمية السكونية عندما يقاس الهيدروكربون تحت شروط غير جريانية.

مثلاً :عندما يكون الهيدروكربون محتوى في خزان أو سيارة أو شاحنة أو مركب بحري .

وعلى العكس يتم تعيين الكمية الديناميكية عندما يقاس الهيدروكربون تحت شروط جريانية.

و نحن في هذا الفصل سوف نعالج إجراءات حساب الكميات البترولية تحت شروط جريانية وغير جريانية مع الانتباه إلى التفاصيل والدقة في تعيين معايير القياس الأولية (مثل الضغط ودرجة الحرارة).

طورت الصناعة البترولية طرق حسابية متحدة والتي يعبر عنها في المعهد الأمريكي للنفط (API) كتيب معايير القياس البترولية.

وقد خضعت هذه المعايير لتغييرات واسعة ستلزمها الانتقال من الكمبيوترات السريعة جدا إلى الكمبيوترات الشخصية، الشبكات....

الكمبيوترات السريعة جداً (Mainframes) ولغاتها البرمجية الصارمة مثل (Fortran) تعالج القواعد بشكل متعاقب أو تقريبي ومقتطع بينما استخدام لغات برمجية مختلفة على أجهزة كمبيوتر مختلفة لا يعطي دائما نفس النتائج التي نحصل عليها باستخدام نفس معايير القياس الأولية ولذلك فأن المعايير المعدلة تعين المعادلات من أجل حساب عوامل التصحيح وقواعد التقريب وسلسلة الحساب ومستويات التمييز بدون أي انحراف وهذا يسمح بتحقيق الهدف المتمثل بالسماح لمختلف العاملين باستخدام أجهزة كمبيوتر مختلفة ولغات برمجية مختلفة بالحصول على نتائج متشابهة انطلاقا من نفس بيانات القياس الأولية ليتم انجازها.

1-4 الشروط المرجعية:

الهدف هو حساب حجم السوائل الهيدروكربونية في عملية النقل وذلك عند الشروط المرجعية وقد توصلنا إلى أنه لإكمال العمليات الحسابية فإننا نحتاج إلى بيانات القياس الأولية وعوامل التصحيح.

إن المعايير الصناعية توجه إلى فهم العلاقة بين الشك والدقة وهناك تسلسل هرمي طبيعي للدقة في القياسات البترولية هذا التسلسل الهرمي يتضمن كل من مركبات الدقة العشوائية والمنحرفة.

إن عدم الدقة لا يعتمد على الأجهزة والمعدات فحسب بل على أداء الأجهزة وأداء البرامج وطريقة إجراء الحسابات وطريقة المعايرة وأجهزة المعايرة و إجراءات المعايرة والعامل البشري.

يجب ملاحظة أن عتبة التمييز عند إجراء الحسابات تعتمد على عتبة التمييز في جهاز القياس الأساسي.

2-4 بطاقة (شهادة)القياس:

هي الوثيقة القانونية التي تسلم أو تعترف بعملية النقل ويجب أن تحتوي على كل البيانات الأولية التي تتطلبها عملية قياس الكميات المترية وتشير أيضا إلى الحجم المعياري الصافي (النهائي) (N_{SV})، بالإضافة إلى ذلك فهي توثق الاتفاق بين وكلاء الأطراف ذات العلاقة بالكميات التي يتم قياسها ونوعية الكميات المنقولة

3-4 تعيين حجم السوائل:

الهدف الأساسي في الحسابات الحجمية هو تعيين حجم النفط الصافي (N_{SV}) وهو الحجم المكافئ من سائل عند الشروط القياسية والذي لا يحتوي على مواد غير تجارية مثل الرواسب والماء ويغبر عنه بالعلاقة:

$$N_{SV} = G_{SVm} \times C_{SW}$$

حجم النفط الطبيعي (G_{SVm}) مقدراً بالمتر هو الحجم المتري المحدد أو المسجل (IVm) مضروبا بعامل تصحيح لأداء جهاز القياس (M_F) مضروبا بتأثير درجة الحرارة (C_{TL}) وتأثير الضغط (C_{PL}) على كثافة السائل ونعبر عن ذلك بالعلاقة:

$$G_{SVm} = I_{Vm} (C_{TL} \times C_{PL} \times M_F)$$

الحجم المحدد (I_{Vm}) يحدد اعتماداً على الفرق بين القراءات المترية البدائية والنهائية وفق العلاقة :

$$I_{Vm} = M_{Rc} - M_{Ro}$$

وبالتالي فان الحجم المعياري الصافي المكافئ يعبر عنه بالعلاقة:

$$N_{SVm} = [I_{Vm} (C_{TL} \times C_{PL} \times M_F)] \times C_{SW}$$

حجم النفط الطبيعي من اجل الخزانات أو المراكب البحرية الساكنة (G_{SVt}) هو حجم الخزان المحدد (I_{Vt}) مضروباً بعامل تصحيح تأثير درجة الحرارة على كثافة السائل بالإضافةإلى ذلك فان عوامل التصحيح قد تتضمن كمية المياه الحرة (C_{FW}) وتأثير درجة الحرارة على غلاف الخزان (C_{TSH}) وتأثير درجة الحرارة على طول شريط القياس (C_{TT}) و يعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$G_{SVt} = I_{Vt} (C_{TL})$$

Or

$$G_{SVt} = G_{OV} (C_{TL})$$

يمكن أن يحدد حجم الخزان المحدد (IVt) اعتماداً على الحجم الكلي الذي تتم ملاحظته أو قراءته في الخزان مع تصحيح حجم الماء الحر وانزياح سطح الطفو وتأثير درجة الحرارة على غلاف الخزان كما يلي:

$$IV = T_{OV} (x\ C_{tsh}) \ (\pm C_{fr}) \ (-C_{fw})$$

Or

$$G_{OV} = T_{OV} (x\ C_{tsh}) \ (\pm C_{fr}) \ (-C_{fw})$$

ومن اجل الانسجام الدقيق مع الحسابات القياسية (المعيارية) فان هذه القيمة تشير بشكل دقيق إلى الحجم الطبيعي الذي تتم ملاحظته (G_{OV}) الحجم الكلي الذي تتم ملاحظته (T_{OV}) يتم تحديده بتعديل سعة الخزان أو مستوى تعيين السائل اعتمادا على تأثير درجة الحرارة على طول شريط القياس (Ctt) واعتمادا على هذا المستوى المعدل وسعة الخزان يتم تحديد (T_{OV}) وبالتالي فان الحجم المعياري الصافي نعبر عنه بالمعادلة:

$$N_{SVt} = G_{SVt} \times C_{SW}$$

4-4 عوامل التصحيح:

كما تم مناقشته فان عوامل التصحيح ضرورية لتصحيح الحجم المقاس من السوائل البترولية إلى حجمها عند الشروط المرجعية إن معادلة (N_{SV}) تستخدم نماذج عديدة من عوامل التصحيح اعتمادا على ما إذا كان احدها يستخدم للقياس في الوضع السكوني أو الديناميكي وهذه العوامل هي:

1- تعديل الحجم المتري إلى الشروط القياسية.
2- تعديل حجم الخزان إلى الشروط القياسية.
3- تعديل أداء جهاز القياس المتري.
4- تعديل بارامترات الخزان مثل (C_{tsh}) أو (C_{fr})
5- تعديل الكميات غير التجارية.

4-4-1: عوامل تصحيح كثافة السائل:

عوامل تصحيح كثافة السائل تعدل الحجم المتري إلى الشروط القياسية وذلك لعكس التغيرات في الكثافة بتأثير درجة الحرارة والضغط على السائل وهذه العوامل هي:

(C_{TL}) : تصحيح تأثير درجة الحرارة على كثافة السائل.

(C_{PL}) : تصحيح تأثير الانضغاطية على كثافة السائل.

4-4-1-1:تصحيح تأثير درجة الحرارة على كثافة السائل (C_{TL}) :

عندما يكون السائل تابع للتغيرات في درجة حرارته فان كثافته سوف تزداد أو تنقص مع زيادة أو انخفاض درجة الحرارة ، هذا التغير يتناسب مع المعامل الحراري لتمدد السائل والذي يتغير مع الكثافة الأساسية و درجة حرارة السائلمعامل التصحيح المستخدم لتعديل تأثير درجة الحرارة على الحجوم المترية يدعى (C_{TL}).

4-4-1-2: تصحيح تأثير الضغط على كثافة السائل (C_{PL}) :

عندما يكون السائل تابع للتغيرات في الضغط فان كثافته سوف تزداد أو تنقص مع زيادة أو انخفاض الضغط ، هذا التأثير يتطلب تعديل يعكس الشروط المرجعية هذا التعديل يدعى (C_{PL}) .

إن هذا العامل هو عبارة عن دور انضغاطية السائل (F) ، الضغط القياسي (P_b) والضغط البخاري المتوازن (Pe) والمعدل المتوسط للضغط (P_{WA}) والانضغاطية (F) هي عبارة عن دور كثافة السائل الأساسية(R_{HOb}) والمعدل المتوسط لدرجة الحرارة (T_{WA})

عامل التصحيح الأساسي لتأثير الضغط على السائل يتم حسابه من المعادلة التالية:

$$C_{PL} = 1/(1 – [P_{WA} – (Pe – P_b)] \times [F])$$

حيث:

P_b : الضغط القياسي (PSI).

Pe : الضغط البخاري المتوازن عند درجة الحرارة التشغيلية (PSIA).

P_{WA} : المعدل المتوسط للضغط (PSIG).

F : عامل انضغاطية السائل.

4-4-2 عوامل جهاز القياس:

يتغير أداء جهاز القياس مع الزمن وهذا التغير يعزى إلى التآكل الميكانيكي أو إلى تغير في الخصائص الفيزيائية للسائل المقاس ، ولذلك يتم اختبار جهاز القياس والتأكد من صحته لتعيين عامل القياس الخاص به والذي يستخدم لتعديل الحجم المتري المحدد خلال عملية النقل.

خلال عملية الاختبار فان الحجم المتري المحدد يقارن مع الحجم المعروف بدقة في جهاز الاختبار (prover) وكلاهما مصحح إلى الشروط القياسية وهذه النسبة تدعى عامل جهاز القياس (MF) .

نموذجيا فان كل ثلاث جولات متتالية أو أكثر للمزيح تتفق ضمن مجال (0.05%) تعتبر عملية اختبار،حيث يصحح عامل جهاز القياس في كل جولة وحتى ضمن التفاوت المحدد المسموح ميكانيكيا ،

ويكون المعدل المتوسط هو عامل جهاز القياس الناتج والذي يستخدم في عملية النقل ولذلك فان عامل جهاز القياس يعبر عنه بالمعادلة الأساسية التالية:

$$MF = N_{PV} \div N_{MV}$$

حيث:

MF : عامل جهاز القياس

N_{PV}: الحجم الاختباري النهائي

N_{MV}: الحجم المتري النهائي

بالنظر إلى تطور الحجم الاختباري النهائي و الحجم المتري النهائي والأجزاء التي تتكون منها عادة السوائل التي يتم اختبارها والسوائل التي يتم قياسها لا تكون عند نفس الشروط التشغيلية من حرارة و ضغط ولذلك يجب تصحيحها إلى الحجم الذي يمثلها عند الشروط المرجعية حتى نستطيع نسبتها أو مقارنتها مع بعضها.

تبدأ حسابات الحجم الاختباري النهائي اعتبارا من الحجم الاختباري الأساسي(B_{PV}) وهو الحجم المعين بدقة عند الشروط المرجعية وذلك من اجل القسم المعاير من جهاز الاختبار.

الطريقة الأساسية المستخدمة لتعيين (B_{PV}) هي طريقة المعايرة عن طريق جريان الماء وفي هذه الطريقة يتم تعيين الحجم باستخدام معايير اختبار قياسية حقلية حجميه مصدقة من قبل المؤسسة العالمية للمعايير والتكنولوجيا (NIST) .

إن معايرة جهاز الاختبار هي عملية دقيقة ومضبوطة جدا في كل من الحسابات الإجراءات المتبعة.

في هذا البحث سيكتفى باستخدام النتيجة النهائية وهي الحجم الاختباري الأساسي (B_{PV}) (كل من الحسابات والعملية يتم تحديدها في المعايير الصناعية).

ان الحجم الاختباري عند الشروط التشغيلية قد يكون أكبر أو أقل من حجمه الأساسي وذلك بسبب تأثير كل من الضغط ودرجة الحرارة على الفولاذ في جهاز الاختبار وعلى السائل وعوامل التصحيح تستخدم لتعديل الحجم الاختباري الأساسي من اجل هذه التأثيرات.

تقسم عوامل التصحيح إلى :

-عوامل تصحيح الفولاذ.

-عوامل تصحيح السائل.

كما يلي:

1-عوامل تصحيح الفولاذ:

A :العامل (C_{TSP}) :يصحح التمدد الحراري و/أو انقباض(تقلص)الفولاذ في غطاء جهاز الاختبار والذي يعزى إلى المعدل الوسطي لدرجة حرارة السائل الذي يتم اختباره

B : العامل (C_{PSP}) : يصحح التمدد بفعل الضغط و/أو انقباض(تقلص)الفولاذ في غطاء جهاز الاختبار والذي يعزى إلى المعدل الوسطي لضغط السائل الذي يتم اختباره.

2-عوامل تصحيح السائل:

A: العامل (C_{TLP}) : يصحح تأثير المعدل الوسطي لدرجة حرارة جهاز الاختبار على كثافة السائل.

B: العامل (C_{PLP}): يصحح تأثير الانضغاطية أو المعدل الوسطي للضغط في جهاز الاختبار.

1- تصحيح تأثير درجة الحرارة على الفولاذ (C_{TSP}) :

أي وعاء معدني سوف يتغير حجمه عندما يكون هذا الحجم تابعا للتغيرات في درجة الحرارة هذا التغير في الحجم يتناسب مع المعامل التكعيبي للتمدد الحراري للمادة ولذلك فان المعامل (C_{TSP}) لجهاز الاختبار يمكن حسابه من المعادلة:

$$C_{TSp} = 1 + [(T - Tb) \times Gc]$$

حيث أن :

Gc: المعامل الأساسي لمكعب التمدد الحراري للمادة عند كل درجة حرارة من (Tb) وحتى (T).

T: درجة الحرارة الأساسية.

Tb: درجة حرارة السائل الأساسية في جهاز الاختبار.

المعامل التكعيبي للتمدد الحراري (GC) يعين إما من المادة الفعلية التي تدخل في البناء أو من الجداول الاسمية الموجودة في المعايير الصناعية.

معادلة (C_{TSP}) السابقة تحتاج إلى تعديل طفيف لاستخدامها مع الأحجام الصغيرة لأجهزة الاختبار والتي تستخدم الكواشف المثبتة خارجيا وذلك لان هذه الكواشف تثبت عادة على نوع معدن مختلف عن معدن غطاء جهاز الاختبار وبالتالي فان هذا المعدن سوف يتمدد أو يتقلص بشكل مختلف.

والمعادلة المعدلة هي التالية:

$$C_{TSp} = (1 + [(Tp - Tb) \times (Ga)]) \times (1 + [(Td - Tb) \times (Gl)])$$

حيث أن :

Ga: معامل منطقة التمدد الحراري لغطاء جهاز الاختبار.

Gl: المعامل الخطي للتمدد الحراري على عمود المزيح.

Tb: درجة الحرارة الأساسية.

Td: درجة حرارة عمود تثبيت الكاشف أو عمود المزيح.

Tp: المعدل الوسطي لدرجة حرارة غطاء جهاز الاختبار.

2- تصحيح تأثير الضغط على الفولاذ (C_{PSP}) :

إن أي وعاء معدني سوف يتغير حجمه عندما يكون هذا الحجم تابعا للضغوط الداخلية وذلك لان الجدران تتمدد بشكل مرن ومقدار التغير يعتمد على معامل مرونة المادة وسماكة الجدران والضغط و يمكن حساب هذا المعامل من المعادلة:

$$C_{PSp} = 1 + ([(P - Pb) \times (ID)] \div (E \times WT))$$

حيث أن :

P: الضغط التشغيلي الداخلي لجهاز الاختبار.

Pb: الضغط القياسي الأساسي.

ID: القطر الداخلي لجهاز الاختبار.

E: معامل المرونة لمادة جهاز الاختبار.

WT: سماكة جدار غطاء جهاز الاختبار.

يعين معامل المرونة من اجل جهاز اختبار محدد أو من القيم الموجودة في المعايير الصناعية.

- تصحيح تأثير درجة الحرارة على سائل الاختبار(C_{TLP}) .

- تصحيح تأثير الضغط على سائل الاختبار (C_{PLP}).

يتم تحديد عوامل التصحيح هذه بنفس الطريقة السابقة وبالنسبة للضغوط ودرجات الحرارة المستعملة فيجب أن تكون المعدلات المتوسطة المرجحة المأخوذة من متغيرات جهاز الاختبار أثناء عملية الاختبار.

5-4حسابات الحجم الاختباري النهائي (NPV) :

قد تحدث أخطاء وانخفاض في الدقة عند ضرب عدد كبير بعدد صغير مراراً و تكراراً وفي تسلسل و تقريب اختلافات الحسابات الرياضية بين الأجهزة و البرامج المختلفة ولذلك فان المعايير الصناعية حددت طريقة تقوم بدمج عوامل التصحيح في سلسلة محددة ومستويات تمييز عظمى.

هذه الطريقة تقوم على مضاعفة عوامل التصحيح بشكل متسلسل ومن ثم تقريبها إلى العدد المطلوب المكون من منازل عشرية قبل ضربها بمكون الحجم.

مثال:

$$NPV = B_{PV} \times (C_{TSp} \times C_{PSp} \times C_{TLp} \times C_{PLp})$$

يتم تعيين الحجم المتري النهائي بنفس الطريقة تقريبا و المستعملة في تعيين الحجم الاختباري .

حيث يتم تعيين الحجم المتري المحدد أولاً ومن ثم يعدل أو يصحح من اجل تأثيرات درجة الحرارة و الضغط على السائل.

الحجم المتري المحدد يتم حسابه بتقسيم النبضات المتولدة أثناء عملية اختبار على النبضة المترية الاسمية الواحدة لكل واحدة حجم أو العامل (K) ونعبر عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$IVm = N \div KF$$

حيث أن :

IVm: حجم السائل المحدد على طول المتر.

N: النبضات المتولدة أثناء عملية اختبار.

KF: النبضة الاسمية لكل واحدة حجم (العامل K).

- تصحيح تأثير درجة الحرارة على السائل في المتر (C_{TLm}).

- تصحيح تأثير الضغط على السائل في المتر (C_{PLm}).

يتم تحديد عوامل التصحيح هذه بنفس الطرية السابقة وبالنسبة لدرجات الحرارة والضغوط المستعملة فيجب أن تكون المعدلات المتوسطة المرجحة المأخوذة من المتغيرات المترية أثناء عملية اختبار.

6-4حسابات الحجم المتري النهائي (NMV) :

إن القوانين والطرق المستخدمة لحساب الحجم المتري النهائي هي نفسها من اجل حساب الحجم الاختباري النهائي ولذلك يتم ضرب عوامل التصحيح بشكل متسلسل وتقريبها قبل ضربها بمكون الحجم.

$$NMV = IVm \times [C_{TLm} \times C_{PLm}]$$

7-4حسابات عامل جهاز القياس:

بعد حساب الحجوم المترية والاختيارية وتصحيحها إلى نفس القاعدة يمكن الآن حساب أداء جهاز القياس **كما يلي:**

$$MF = NPV \div NMV$$

$$MF = [BPV \times (C_{TSp} \times C_{PSp} \times C_{TLp} \times C_{PLp})] \div [IVm \times (C_{TLm} \times C_{PLm})]$$

8-4 تصحيح تأثير درجة الحرارة على فولاذ قشرة الخزان (C_{tsh}) :

اي وعاء معدني سوف يتغير حجمه عندما يكون هذا الحجم تابعا للتغيرات في درجة الحرارة هذا التغير في الحجم يتناسب مع معامل تمدد المادة ولذلك فان المعامل (C_{tsh}) للخزان يحسب من المعادلة:

$$C_{tsh} = 1 + [(T - Tb) \times Ga]$$

حيث:

Ga: معامل التمدد الحراري للمادة من اجل كل درجة حرارة من المجال (Tb) وحتى (T)

من اجل الفولاذ المكربن : (Ga=0.0000124).

من اجل الفولاذ (ستانلس ستيل) : (Ga=0.0000177).

Tb: درجة الحرارة الأساسية.

T: متوسط درجة حرارة جدران الخزان.

وتحدد كما يلي:

$$T = [(Tl \times 9) + Ta] / 10$$

حيث أن :

Tl: المعدل المتوسط لدرجة حرارة السائل ضمن الخزان عند القياس.

Ta: المعدل المتوسط لدرجة الحرارة المحيطة بالخزان عند القياس.

9-4 تصحيح الرواسب والمياه (CSW):

عامل التصحيح الأخير الذي يجب تعيينه هو تعديل المركب الغير تجاري من السائل الهيدروكربوني كالنفط الخام أو زيت الوقود.

عامل التصحيح هذا يستخدم لتعديل الحجوم التي يتم نقلها عند الشروط المرجعية من اجل الكميات الغير تجارية ويعبر عن هذا العامل كما يلي:

$$CSW = 1 - (\%S\&W/100)$$

الخُلاصة:

بعد تعيين الحجم المتري المحدد (IVm) وتصحيح أداء جهاز القياس وتأثير درجة الحرارة والضغط على كثافة السائل يمكن حساب الحجم عند الشروط القياسية والذي يمكن أن يشار إليه بالحجم القياسي الطبيعي (G_{SVm}) والذي يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$G_{SVm} = IVm\ (C_{TL} \times C_{PL} \times MF)$$

وبعد تعيين حجم الخزان المحدد (IVt) وتصحيح تأثير درجة الحرارة على كثافة السائل يمكننا الآن حساب الحجم عند الشروط القياسية بالإضافة إلى أن عوامل التصحيح قد تتضمن كمية الماء الحر (cfw) وعامل إزاحة سطح الطفو (cfr) وتأثير درجة الحرارة على قشرة الخزان (ctsh) وتأثير درجة الحرارة على طول شريط القياس (Ctt).

وهذا الحجم أيضا يمكن أن يشار إليه بالحجم القياسي الطبيعي(GSVt) والذي يعطى بالمعادلة التالية:

$$G_{SVt} = IVt\ (C_{TL})$$

Or

$$G_{SVt} = [TOV\ (x\ C_{tsh} \pm C_{fr} - C_{fw})]\ (C_{TL})$$

أن هذا الحجم يمثل الحجم الكلي للهيدروكربونات المنقولة عند الشروط المرجعية بما يتضمن المكونات التجارية وغير التجارية.

ولكن الاهتمام الوحيد ينصب على الجزء التجاري فقط من العملية وذلك لأنه في النهاية يراد أن دفع القيمة فقط مقابل الهيدروكربونات ولذلك يجب ان يضاف حساب آخر والذي يعين الحجم القياسي النهائي (NSV) وهو الحجم المكافئ للسائل والذي لا يحتوي على مكونات غير تجارية كالرواسب و المياه ونعبر عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$N_{SV} = G_{SV} \times C_{SW}$$

Or

من اجل الأمتار: $N_{SV} = [IV \times (C_{TL} \times C_{PL} \times MF)] \times C_{SW}$

من اجل الخزانات : $N_{SV} = [[TOV\ (x\ C_{tsh} \pm C_{fr} - C_{fw})]\ (C_{TL})] \times C_{SW}$

إن حساب الكميات البترولية يتطلب انتباها دقيقا للتفاصيل و الدقة الحسابية ليس فقط في العملية الحسابية بل وفي العمليات المساعدة الأساسية مثل تعيين القيم الأولية للقياس ومعايرة مجموعة الأدوات مثل نواقل الضغط ودرجة الحرارة ومعايرة الخزان ومعايرة أو التحقق من شريط القياس و مقاييس الكثافة و/أو مقاييس الكثافة الحرارية و أجهزة قياس الأمتار.

إن الناتج النهائي لعملية حساب الحجوم دائما يتضمن عملية حسابية أضافية وهي الانتقال من التعبير الحجمي للعملية الى تعبير مالي نقدي وهذا يوضح الأهمية الحرجة بان الأطراف المعنية على إدراك تام باتفاقاتهم المتبادلة والحاجة إلى فحص ومراقبة الحسابات التجارية وضمانة تامة لكافة البيانات والعمليات الحسابية.

النتائج والمقترحات :

تم التوصل في هذه الدراسة إلى النتائج التالية :

1- يجب مراقبة النفط الخام والتحكم به من حيث الكمية والنوعية من مانيفولد الدخول إلى الخزانات وحتى مخرج الخزانات باتجاه التصدير.
2- تعتبر عمليتي قياس الحجم و أخذ العينات للتحليل من أهم العمليات في أثناء قياسات الخزانات النفطية.
3- إن اختيار نوع الخزان لتخزين نوع معين من المنتجات أو عدة أنواع يرتبط بشكل أساسي بقابلية البخر للمنتج وبالتالي يجب اختيار نوع الخزان المناسب بهدف التقليل من ضياع المنتجات النفطية بعملية البخر قدر الإمكان.
4- ما يهم في الحسابات الحجمية هو تعيين الحجم القياسي النهائي للنفط عند الشروط المرجعية (و ويتم ذلك باستخدام بيانات القياس الأولية وعوامل التصحيح) وهو الحجم المكافئ للسائل والذي لا يحتوي على مكونات غير تجارية كالرواسب والمياه.

المراجع العلمية :

1- Calculation of liquid petroleum quantities class 2050 Peter W Kosewicz Assistant Director The University of Texas -- PETEX 2700 W. W. Thorne Drive Houston, Texas 77073.

2- Storage and handling of petroleum liquids , T Hughes London.2012

3- Modern petroleum technology , G.Hobson ,W.Pohi, second edition , London 2007.

4- Engineering and design : Liquid process piping , A.Genetti , Washington 1999.

5- Petroleum Transportation Handbook , Mc . GRAW-hill Book, Newyork 2002.

6- Liquid transportation systems for Hydrocarbons , Liquid Petroleum Gas , Anhydrous Ammonia and Alcohol , Asme B31.4 ,Newyork ,1992 Edition .

7- نقل وتخزين النفط ، د.ماهر سعادة ، منشورات جامعة البعث ، (2012)