جمهورية العراق

وزارة التربية

المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي / تكرير النفط ومعالجة الغاز

الثاني

د. كاظم نوري عبد

د. محمد فاضل عبد علي

د. يوسف جواد كاظم

د. نيران خليل ابراهيم

م.م احمد جاسم محمد

الطبعة الثالثة

1446 هـ - 2024 م

المقدمة

يعد اكتشاف النفط مِن الاكتشافات العظيمة التي أدت إلى حدوث تغيرات كبيرة في العالم كله، حيث كانت السبب في تطوير العالم بشكلٍ كبير، وأدى اكتشاف النفط إلى نهوض العديد مِن الدول وتطورها، فقد أصبحت مشتقات النفط تدخل في معظم الأشياء التي نستخدمها بشكل يومي، مثل السيارات وغاز الطهي ومحطات الكهرباء والآلات، فأصبح مِن المستحيل الآن الاستغناء عن النفط بسبب الاعتماد الكبير الذي يعتمده الإنسان عليه فهو المصدر الرئيسي للطاقة اليوم .

إن مشتقات النفط مواد تمّ تكريرها واستخراجها من المادة النفطية الخام، وتنتج المشتقات النفطيّة بعد مرور مادة النفط الخام بعمليات التكرير ابتداءً من التسخين ثم التقطير ثم فصل الغازات، ثم مراحل متتالية للخروج بمنتج أو مشتق من أحد مشتقات النفط، ومن أشهر مشتقات النفط: البنزين. الديزل. وقود التدفئة. وقود الطائرات. الكيروسين. وقود السفن والمصانع. غازات سائلة وجافة. فحم الكوك. مادة إسفلتية تُستخدم لتعبيد الطرق. زيوت التشحيم. تتجسد أهمية النفط في انه يساعد على رفع المستوى الاقتصادي العالمي وينمي الاقتصاد الوطني. يعتبر النفط مصدراً نظيفاً للطاقة، كما انه يدخل في عدة استخدامات كالنقل والمواصلات وغيرها..

تدل الدراسات على إن النفط يحتل مركزاً بارزاً بين مصادر الطاقة المعروفة في العالم، وان الأسباب المؤدية إلى أن يؤدي النفط مثل هذا الدور بين مصادر الطاقة المختلفة تعزى إلى عوامل متعددة من بينها تعدد الوظائف التي يؤديها النفط بعد تكريره، فهو مصدر للحرارة والضوء والطاقة التي تحرك المحركات. إن للنفط أهمية عظمى باعتباره المصدر الأهم للطاقة في العالم، ليس كوقود ومصدر للحرارة والدفء فحسب وإنما كمادة أولية في الصناعات الكيمياوية، وقد تطورت هذه الصناعة على أساس صناعة تصفية النفط فثمة المئات من المشتقات من صناعة البلاستيك والمطاط والصابون والاصباغ والأدوية والاصماغ وعدد هائل من المواد الكيمياوية الصناعية ولاسيما صناعة الأدوية وغيرها كلها معتمدة على النفط. كما هناك صناعة حديثة متطورة هي البتروكيمياوية الناشئة عن كيمياء النفط وتكمن أهمية المواد البتروكيمياوية في حقيقة إن صناعتها تؤلف اليوم نسبة عالية من قيمة إنتاج جميع المواد الكيمياوية الأساسية، وسيظل النفط لسنين طويلة ضرورة لا غنى عنها للصناعات الحديثة في كل بلد من بلدان العالم ومصدر أساسي للدخل القومي.

قامت المديرية العامة للتعليم المهني باستحداث تخصص (تكرير النفط ومعالجة الغاز) بهدف اعداد كوادر وسطية تتمكن من العمل في مجالات تكرير النفط الخام وتجزئته الى مشتقات ذات استخدامات متنوعة، ومعالجة الغاز وتنقيته ليكون ملائما للاستخدامات . الكتاب الحالي (العلوم الصناعية للصف الثاني) يتضمن سبعة فصول تناولت محاور مهمة واساسية في مجالات فحوصات النفط الخام والمشتقات النفطية إضافة الى مبادئ تكري النفط .

نرجو من الاخوة القائمين بتدريس الكتاب، تزويدنا بملاحظاتهم ومقترحاتهم حول ما ورد في الكتاب من اجل تطويره في الطبعات اللاحقة. والله الموفق.

المؤلفون

المحتويات

التسلسل	اسم الموضوع	الصفحة
1	المقدمة	3
2	المحتويات	4
3	الفصل الأول :الفحوصات المختبرية للنفط الخام	7
	- معامل التشخيص	9
	- إيجاد درجة الغليان	10
	- الكثافة والوزن النوعي	13
	- الكثافة النوعية API	14
	- التقطير القياسي	17
	- اللزوجة	19
	- نقطة الوميض	25
	- نقطة الاتقاد	26
	- معامل الانكسار	26
	- محتوى الرماد	27
	- متبقي الكاربون	28
	- نقطة الانسكاب	29
	- القيمة الحرارية	29
	- الضغط البخاري	32
	- أسئلة	33
4	الفصل الثاني	34
	- اعداد النفط الخام للتكرير	35
	- طرد الغاز وتثبيت النفط الخام في الحقول النفطية	35
	- وحدة النزع الباردة	35
	- وحدة التثبيت الحارة	36
	- وحدة التثبيت الحراري ذات المرحلتين	37
	- نزع الماء والاملاح من النفط الخام	38
	- اهم مصادر الماء في النفط الخام	38
	- أنواع الماء في النفط الخام	38
	- تأثير الماء والاملاح في النفط الخام	38
	- الاستحلاب	39
	- إزالة الاملاح	42
	- عمليات تكرير النفط	45
	- أسئلة	59

5	الفصل الثالث : جريان الموائع	60
	- تعريف المائع	61
	- الضغط في الموائع	63
	- أجهزة قياس الضغط الجوي	66
	- مبدأ ارخميدس	71
	- معادلة الاستمرارية في الموائع	73
	- أجهزة قياس الجريان	80
	- خط الانابيب	84
	- اسئلة	88
6	الفصل الرابع : خزن ونقل النفط الخام	89
	- المضخات، أنواعها – خصائصها – التوصيلات	90
	- شبكات الانابيب	100
	- أنواع الصمامات	102
	- التحوطات الأساسية لنقل النفط بالأنابيب	112
	- الصيانة والفحص الدوري للمضخات والصمامات	114
	- الخزانات النفطية	115
	- اسئلة	118
7	الفصل الخامس : التآكل في مصافي النفط	119
	- تعريف التآكل	120
	- طبيعة التآكل	121
	- الاضرار التي يسببها التآكل	124
	- تكاليف التآكل	126
	- التآكل في المنشآت النفطية	128
	- حساب معدل التآكل	140
	- إجراءات الوقاية من التآكل	142
	- أسئلة	147
8	الفصل السادس : الزيوت الثقيلة	148
	- صناعة زيوت التزييت	149
	- وحدات المزج والتعبئة	167
	- تصنيع الاسفلت والشحوم والشموع	170
	- إعادة تكرير زيوت التزييت المستعملة	175
	- أسئلة	181

9	الفصل السابع : المعدات الصناعية	182
	- المضخات متعددة المراحل	183
	- الضاغطات	185
	- المحركات	190
	- المولدات	192
	- أجهزة التخلخل بالضغط	195
	- العازلات	199
	- عمليات العزل	201
	- العوامل المؤثرة على عملية العزل	202
	- أنواع العازلات	203
	- عازلات الغاز من الناحية التصميمية	204
	- أسئلة	207

الفصل الأول
الفحوصات المختبرية للنفط الخام (Laboratory Test of Crude Oil)

الأهداف

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على :

1 - أجراء الفحوصات التقييمية للنفط الخام
2 - تحديد طبيعة او صنف النفط الخام
3 - تعيين خصائص النفط الخام الفيزيائية وخصائص الاحتراق
4 - التعامل مع النفط الخام والمشتقات النفطية بكفاءة أثناء عمليات التكرير
5 - تحديد العمليات الكيميائية الواجب استعمالها بغية الحصول على جودة عالية للمشتقات النفطية.

1-1 تمهيد (Preface)

"حياتنا المعاصرة مستمرة مادامت آبار النفط مستمرة في النضوح بما فيها" ، هكذا أوجز أحد الخبراء أهمية النفط الخام حين تم سؤاله عنها.

ان زمننا المعاصر هو – بلا شك - زمن الصناعة وان العلاقة الرابطة بين النفط والمجال الصناعي متعددة الأشكال، اذ انها لا تقتصر على كونه أهم مصادر الطاقة فحسب، بل ان النفط في بعض الأحيان يمثل المادة الخام لعدد من الصناعات، فخلال القرن المنصرم لم يتوقف العلماء عن تحليل البترول واستكشاف خواصه، وأوصلتهم دراساتهم الى اقامة المصافي ومحطات التكرير، ومن ثم بدأت عملية استخراج المشتقات منه، مما يعني ان بئر النفط لا ينضح بمادة للطاقة فحسب، بل انه يمدنا بالعديد من المواد التي تستغل فيما بعد في العديد من الصناعات، منها صناعة البلاستك ومنتجات التجميل والعطور وغيرها، فالمشتقات النفطية ينتج عن تدويرها عدد هائل من المنتجات الاستهلاكية، بعضها بالغ الأهمية ويعد من المنتجات الأساسية، والبعض الأخر تكميلي مثل تصنيع مواد التعبئة والتغليف.

ان معظم انواع النفط الخام المستخرجة من الحقول النفطية وحتى ضمن الحقل الواحد تختلف في خواصها الفيزيائية والكيميائية وكذلك من حيث نسبة احتوائها على المركبات الهيدروكاربونية المختلفة (البرافينية، النفثينية والأروماتية (العطرية)) ومن حيث المركبات الكبريتية والنيتروجينية والاوكسجينية. ولمعرفة نوع النفط من اجل تحديد اتجاه عملية التكرير يصنف النفط الخام حسب مكوناته الاساسية الى بترول ذو اساس بارافيني حيث يكون القسم الاعظم من المركبات الموجودة فيه مركبات بارافينية والمتبقي بعد التطاير مادة غنية بالشمع البرافيني، وبترول ذو اساس اسفلتي ويحتوي بصورة رئيسية على المركبات الحلقية واغلبها من النفثينات والمتبقي بعد التقطير مادة الاسفلت وبترول ذو اساس مختلط يحتوي على كميات متفاوتة من المركبات البارافينية والنفثينية في آن واحد.

وبسبب اختلاف مكونات النفط في التركيب الكيميائي ولكونه مزيجا من مركبات مختلفة فتتغير تبعآ لذلك خواصه الفيزيائية كاللون والوزن النوعي واللزوجة وخواص الاحتراق مثل درجة الاشتعال ودرجة الوميض وغيرها، لذلك يخضع النفط الخام بعد الاستكشاف لفحوصات تقييمية مهمة جدا للتعامل مع النفط ومشتقاته أثناء عمليات التكرير أو النقل أو الخزن وفي تحديد العمليات الكيميائية الواجب استعمالها بغية الحصول على المشتقات النفطية الخفيفة والثقيلة بمواصفات وجودة عاليتين.

1 – 2 معامل التشخيص أو معامل التصنيف (Characterization Factor)

يصنف النفط الخام حسب مكوناته الاساسية الى ثلاثة انواع هي:

أ- بترول ذو اساس بارافيني (Paraffin Base): حيث يكون القسم الاعظم من المركبات الموجودة فيه مركبات بارافينية والمتبقي بعد التطاير مادة غنية بالشمع البرافيني.

ب- بترول ذو اساس اسفلتي (Asphalt Base): ويحتوي بصورة رئيسية على المركبات الحلقية واغلبها من النفثينات والمتبقي بعد التقطير مادة الاسفلت.

ج-بترول ذو اساس مختلط (Mixed Base): ويحتوي على كميات متفاوتة من المركبات البارافينية والنفثينية في آن واحد أي ان الاجزاء الخفيفة تكون بارافينية والثقيلة تكون نفثينية ونسبة هذه المواد تختلف حسب مصدر البترول.

توصل الباحثون في شركة يونيفرسل أويل (Universal Oil Products) الى علاقة بين نوع الهيدروكاربونات الموجودة في النفط الخام ونسبتها من ناحية الكثافة النوعية ودرجة غليانه المتوسطة من ناحية أخرى، وهذه العلاقة عرفت بأسم معامل التشخيص أو معامل التصنيف (K_{UOP}) ويتراوح هذا المعامل بين (10.5) للخامات النفثينية الثقيلة و (12.9) للخامات البرافينية الخفيفة. لتحديد صنف النفط الخام يستعمل معامل التشخيص ويحسب من المعادلة التالية:

$$K_{UOP} = \frac{T_B{}^{1/3}}{SG} \qquad ----(1-1)$$

حيث: T_B: درجة الغليان بوحدة رانكن ($^{\circ}R$)

$$T(°R) = T(°F) + 460 \qquad ----(1-2)$$

SG: الوزن النوعي بدرجة ^{o}F

ويصنف النفط الخام حسب معامل التصنيف الى خمسة أنواع، كما موضح في الجدول (1-1).

جدول (1-1) أنواع النفوط الخام حسب معامل التشخيص K_{UOP}

المجموعة	معامل التشخيص (K_{UOP})	أسم المجموعة
I	12.2-12.6	Paraffinic
II	12.0-12.1	Oleffinic
III	11.8-11.9	Naphthenic
IV	11.6-11.7	Aromatic
V	11.3-11.5	Asphaltic

مثال (1-1)

صنف النفط الخام الذي درجة غليانه 560 ^{o}F ووزنه النوعي 0.82 ؟

الحل

باستخدام المعادلة (1-1) والمعادلة (1-2) يمكن حساب معامل التشخيص لتحديد نوع النفط :

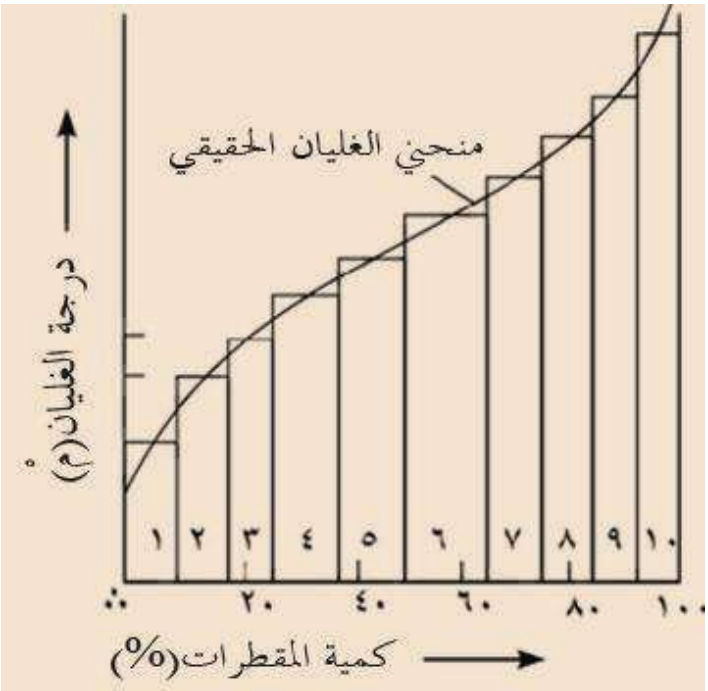
$$T(°R) = 560 + 460 = 1020\ °R$$

$$K_{UOP} = \frac{T(R)^{1/3}}{SG} = \frac{(1020)^{1/3}}{0.82} = 12.27$$

بالرجوع الى الجدول (1-1) النفط الذي معامل تشخيصه (K_{UOP} = 12.27) ينتمي الى المجموعة (I) أي يغلب عليه الطابع البرافيني ويكون غنياً بالمشتقات النفطية الخفيفة كما ان المتبقي بعد التقطير يكون غنياً بالشمع البرافيني .

1 – 3 ايجاد درجة الغليان الحقيقية (True Boiling Point)

لتعيين درجة الغليان الحقيقية للنفط الخام مختبريا يتم تقطير النفط الخام بنسب معينة ومتساوية (2.5 حجما) وفائدة هذا الفحص معرفة مكونات النفط الخام واعطاء فكرة عن نسب المشتقات النفطية حيث يجري الفحص بموجب مواصفات قياسية عالمية. وتستعمل في عملية التقطير في المختبر أجهزة تقطير تستخدم فيها أعمدة أو أبراج تجزئة خاصة وتكون على عدة أنواع منها أبراج ذات الحشوة أو أبراج ذات الصواني بمختلف أنواعها وأشكالها ويعتمد طول وقطر العمود وعدد الصواني والتراكيب الأخرى على خواص النفط الخام مثل كثافته ونسبة المشتقات فيه وبعض الخواص الفيزيائية الأخرى ويتم رسم درجات الحرارة على محور الصادات ونسبة المتقطر وزناً أو حجماً على محور السينات ومن خلال الرسم البياني نستطيع ايجاد درجة الغليان الحقيقية لأي مقطع أو مشتق نفطي متقطر في حدود درجات الغليان الحقيقية ونسبة المتقطر حجماً أو وزناً، شكل (1-1).



شكل (1-1) منحني الغليان الحقيقي

الجدول (1-2) يوضح نموذج لمديات الغليان التقريبية للمشتقات النفطية الخفيفة التي يمكن الحصول عليها من تقطير النفط الخام .

جدول (1-2) درجات غليان المقاطع النفطية الخفيفة	
المشتق النفطي (Fraction)	مدى الغليان (Boiling Range) ^{o}C
النفثا الخفيفة	IBP-100
النفثا الثقيلة	100-150
النفط الأبيض	150-250
زيت الغاز الخفيف	250-315
زيت الغاز الثقيل	315-370
النفط المختزل	370^{+}

ويتم تعيين درجة الغليان الحقيقية من منحني الغليان الحقيقي (True Boiling Point Distillation Curve) ، باستخدام المعادلة (1-3) أو (1-4) :

$$T_B = \frac{T_{10\%} + T_{20\%} + T_{30\%} + T_{40\%} + - - + T_{90\%}}{9} \qquad ----(1-3)$$

أو

$$T_B = \frac{T_{20\%} + T_{50\%} + T_{80\%}}{3} \qquad ----(1-4)$$

حيث :

T_B : متوسط درجة الغليان المستندة الى نسبة المتقطر حجما أو وزنا

$T_{10\%}$، $T_{20\%}$ -----الخ: درجة الغليان للمتقطر عند حجم أو وزن 10% ،20 % -----الخ

مثال (1-2)

تم تقطير نفط خام وزنه النوعي (SG=0.82) ونتائج التقطير كانت كما موضح في الجدول التالي، احسب معامل التشخيص للنفط الخام ؟

نسبة المقطر حجما	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
درجة الغليان ^oF	160	270	335	400	480	560	610	680	820	1110

من المعادلة (1-4) نحسب درجة الغليان T_B:

$$T_B = \frac{T_{20\%} + T_{50\%} + T_{80\%}}{3}$$

$$T_B = \frac{335 + 560 + 820}{3} = 571.6°F = 1031.6\ °R$$

$$K_{UOP} = \frac{T(°R)^{1/3}}{SG} = \frac{1031.6^{1/3}}{0.82} = 12.3$$

4-1 الكثافة والوزن النوعي (Density and Specific Gravity)

يعدّ الوزن النوعي والكثافة من أهم الخصائص المستخدمة عند دراسة النفط الخام والمنتجات النفطية. ولهاتين الخاصيتين أهمية خاصة عند حساب وزن المنتجات النفطية وكتلتها في الحالات التي يعين فيها حجم هذه المنتجات بالقياس المباشر.

أولا / الكثافة (Density) : صفة فيزيائية تعبّرعن علاقة وحدة الحجم بوحدة الكتلة لمادةٍ ما، فكلما ازدادت الكثافة ازدادت الكتلة لوحدة الأحجام، وعلى هذا فهي كتلة وحدة الحجوم من المادة. ويعبر عنها رياضيا بالقانون الرياضي (1-5):

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad ----(1-5)$$

حيث m : الكتلة ، V: الحجم

اما وحدات قياس الكثافة فهي g/cm^3 أو kg/m^3

يعد فحص الكثافة من الفحوصات المهمة لكونه يدخل في كثير من الحسابات الصناعية بصورة مباشرة أو غير مباشرة من خلال كونها أحد العوامل الأساسية لتحديد خواص أخرى ذات أهمية في الصناعة النفطية.

وتعتمد قيمة الكثافة المقاسة على طبيعة المركبات المكونة للنفط الخام حيث أن النفط البرافيني يكون اقل كثافة من النفط الأسفلتي.

أن المركبات البرافينية أقل كثافة من المركبات النفثينية التي لها نفس العدد من ذرات الكاربون وهي بدورها أقل كثافة من المركبات العطرية، ومن خلال ذلك يتبين أنه من خلال الكثافة يمكن الاشارة الى نوع او طبيعة المركبات المكونة للنفط الخام.

تتراوح كثافة النفط الخام من $0.73\ g/cm^3$ الى $1.1\ g/cm^3$ ولكن اغلب أنواع النفط في العالم تقع بين كثافة ($0.82-0.9\ g/cm^3$)، وتجدر الاشارة الى ان كثافة السائل تتأثر بالحرارة فقط أما الغازات فتتأثر بالحرارة والضغط.

ثانيا / الوزن النوعي والكثافة النسبية: تتعدد التعبيرات المستخدمة للتعبير عن الكثافة والوزن النوعي، وهي في مجملها تشير إلى النسبة بين كتلة الجسم (وزنه) إلى حجمه، فالكثافة النسبية تدل على نسبة كثافة المادة المختبرة (النفط الخام) في درجة حرارة 25^oC إلى كثافة الماء في درجة 4^oC (عند هذه الدرجة من الحرارة يكون للماء أعلى كثافة)، ففي مثل هذه الظروف الفيزيائية تتساوى الكثافة النسبية مع الوزن النوعي.

يعرف الوزن النوعي على أنه النسبة بين كثافة المادة السائلة أو البترولية الى كثافة الماء النقي عند نفس الدرجة الحرارية . وأن الدرجة الحرارية القياسية المستعملة في ايجاد الكثافة والوزن النوعي في مجال الصناعة النفطية هي $15.6\ ^{\circ}C$. ويعين الوزن النوعي رياضيا باستخدام المعادلة (1-6) :

$$SG = \frac{\rho_{substance}}{\rho_{water}} \qquad ----(1-6)$$

والوزن النوعي عدد نسبي خال من الوحدات. ان الكثافة النسبية (الوزن النوعي) للمنتجات النفطية تتراوح ما بين الحدود التقريبية المشار اليها في الجدول (1-3):

جدول (1-3) الأوزان النوعية للنفط الخام والمشتقات النفطية

المشتق النفطي	الوزن النوعي
نفط خام	0.80-0.97
بنزين الطائرات بأنواعه	0.70-0.78
بنزين السيارات بأنواعه	0.78-0.79
النفط الأبيض	0.78-0.84
زيت الغاز	0.82-0.92
زيت الديزل	0.82-0.92
زيوت التشحيم	0.85-0.95
زيوت الوقود	0.92-0.99
الأسفلت بأنواعه	1.0-1.10

5-1 الكثافة النوعية بدرجة معهد البترول الأمريكي (API)

هناك طريقة أخرى للتعبير عن كثافة السوائل وهي درجة API . يستخدم معهد البترول الامريكي (American Petroleum Institute) مقياساً خاصاً به للتعبير عن الوزن النوعي وقد شاع استعمال هذا المقياس في العالم لسهولة التعامل به حيث يقابل الوزن النوعي للماء النقي البالغ 1.0 حسب هذا المقياس ب 10 حسب مقياس API (كلما قل الوزن النوعي زادت قيمة API).

الصيغة الرياضية لحساب الكثافة النوعية وفق API معطاة بالمعادلة (1-7):

$$\text{API} = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \quad ----(1-7)$$

$$\text{SG} = \frac{141.5}{(\text{API} + 131.5)} \quad ----(1-8)$$

API = Degrees API Gravity

SG = Specific Gravity at 60°F

بالتالي فإنه لنفط ثقيل وزنه النوعي 1.0، تحسب كثافته النوعية وفق مقياس API من المعادلة (1-7) بالشكل التالي:

$$API = \frac{141.5}{1.0} - 131.5 = 10$$

حسب المعادلة (1-7) تم تصنيف النفط حسب الجدول (1-4) .

جدول (1-4) تصنيف النفوط الخام حسب API	
نفط خفيف (Light Crude)	API > 35
نفط متوسط (Intermediate Crude)	28 < API < 35
نفط ثقيل (Heavy Crude)	API < 28

1-5-1 الطرق المختبرية لقياس الكثافة والوزن النوعي

أ- باستعمال المكثاف الزجاجي (الهيدروميتر): وتعتمد الطريقة على قانون ارخميدس والمكثاف هو ابسط الاجهزة المستعملة لتعيين الكثافة، شكل (1-2).

تتبع هذه الطريقة لتعيين الكثافة في المختبر باستعمال المكثاف الزجاجي (Hydrometer) للنفط الخام والمنتجات النفطية او مزيج من المنتجات النفطية والمنتجات غير النفطية المتداولة بشكل سائل في الحالات الاعتيادية والتي لها ضغط بخاري يبلغ حوالي 26 psi وتقاس القيم على المكثاف بدرجة حرارة التجربة وتعدل قراءة المكثاف الى 15.6 ^{o}C وذلك باستعمال الجداول القياسية الدولية. وبواسطة هذه الجداول نفسها يمكن تحويل القيم المعينة الى القيم المكافئة لها من الكثافة النسبية (الوزن النوعي) او درجات معهد البترول الامريكي (API).

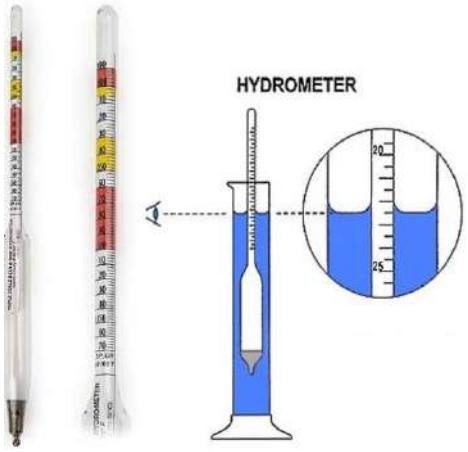
ان طريقة المكثاف ملائمة جدا لتحديد كثافة السوائل الشفافة القابلة للحركة. ويمكن استعمال طريقة المكثاف للزيوت اللزجة وذلك بفسح الوقت للوصول الى حالة الاستقرار. ويمكن استعمالها ايضا للزيوت المعتمة باستخدام تصحيح مناسب للسطح الهلالي.

ويتم قياس الكثافة او الوزن النوعي في المنتوج البترولي مباشرة في 15 ^{o}C ويقرأ الوزن النوعي عند تطابق سطح السائل مع تدرج المقياس. و يستعمل لهذا الغرض مجموعة من المكاثيف ذات التدريج المختلف .

مبادئ الطريقة :

يهيأ النموذج بدرجة حرارة معينة ثم يحول الى اسطوانة بدرجة حرارة مساوية لدرجة حرارة النموذج ثم يدلى المكثاف الملائم للنموذج و يترك ليستقر و بعد تعادل درجة الحرارة يقرأ تدرج المكثاف و تدون درجة حرارة النموذج . و إذا استدعت الضرورة توضع الاسطوانة و محتوياتها في حمام درجة حرارته ثابتة لتلافي التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة اثناء الفحص.

ب- طريقة البيكنوميتر (pycnometer) : وتستعمل هذه الطريقة لتعيين الكثافة و الكثافة النسبية للنفط الخام وللمنتجات النفطية الصلبة والسائلة، شكل (1-3). وقد تستعمل لتعيين الكثافة والكثافة النسبية لمنتجات الفحم والقير وبضمنه قير الطرق و القطران و القير الطبيعي أو الخليط من هذه الانواع من المنتجات النفطية الاخرى ولا تصلح هذه الطريقة لتعيين الكثافة و الكثافة النسبية للسوائل سريعة التبخر حيث تستخدم طريقة اخرى وهي باستخدام قنينة كثافة (Lipkin) و تعطي هذه الطريقة دقة كبيرة جدا في تعيين الكثافة و تعتمد على مقارنة وزن حجم معين من المنتوج البترولي في الانبوب الشعري مع وزن لنفس الحجم من الماء النقي وفي درجة الحرارة نفسها.



شكل (1-2) طريقة القياس بالهيدروميتر

شكل (1-3) البيكنوميتر

مبادئ الطريقة: يقارن وزن لحجمين متساويين من النموذج والماء. ويستعمل الحجمان المتساويان بأن يوضع البكنوميتر المملوء بالمادة في حمام بدرجة حرارة الفحص حتى يتم الحصول على حالة التوازن.

الغاية الاساسية من معرفة الوزن النوعي أو درجة API هي:

أ- معرفة ثقل أو خفة السائل البترولي.

ب- معرفة تجانس المادة البترولية عند التصفية.

ج- تقدير السعر في حال بيع أو شراء النفط الخام .

مثال (1-3)

أحسب الوزن النوعي لمنتوج نفطي إذا علمت ان درجة معهد البترول الأمريكي (API) له تساوي 34.1 .

$$SG = \frac{141.5}{(API + 131.5)}$$

$$SG = \frac{141.5}{(34.1 + 131.5)} = 0.854$$

1-5-2 خامات النفط القياسية (Crude Oil Standard Stocks)

يختلف النفط في طبيعته من مكان إلى آخر، نظراً لاختلاف نسبة الهيدروكربونات الداخلة في تركيبه، وكذلك تفاوت نسبة بعض المواد الكيميائية الأخرى الموجودة فيه كالكبريت والنيتروجين والأملاح وغيرها من العناصر والمركبات، وقد استخدمت لتصنيف أنواع النفط المختلفة ولتسهيل تسعيرها بعض خامات النفط القياسية، كخام برنت وخام وسيط غرب تكساس، حيث يتم تسعير النفط الخام، بناءً على مدى اختلافها عن تلك الخامات القياسية سواء من ناحية الكثافة أو الحموضة أو غيرها من المؤشرات الفيزيائية المختلفة.

ويعد خام برنت (Brent) من أشهر خامات النفط القياسية، ويستخدم لتسعير ثلثي انتاج النفط العالمي ،ويتميز خام برنت بأنه من أنواع النفط الخفيفة ووزنه النوعي يبلغ 0.853 ودرجة API له بحدود 38.06 . أما خام وسيط غرب تكساس (West Texas Intermediate ,WTI) فيبلغ وزنه النوعي 0.827 ودرجة API له بحدود 39.6 .

1 – 6 التقطير القياسي (ASTM Distillation)

التقطيرهوعملية تجزئة النفط الخام أو مشتقاته الى قطفات معينة استناداً الى درجة غليان كل منها . تستعمل هذه الطريقة لوقود السيارات ووقود الطائرات التوربينية والصفوة البيضاء والصفوة الخاصة والنفط الابيض وزيت الغاز وزيت الوقود المقطر والمنتجات النفطية الثقيلة. يقطر 100 cm^3من النموذج تحت ظروف محددة مسبقا وتلاحظ قراءة المحرار وحجم السائل المكثف وتحسب نتائج الفحص من تلك القراءات. الشكل (1-4) يبين مخطط للجهاز.

1-6-1 منحنى الغليان (Distillation Curve)

هو الخط البياني الذي يظهر العلاقة بين حجم مقطرات النفط الخام بدلالة درجات الحرارة. يعطي هذا المنحنى فكرة أولية عن التركيب الكيميائي للنفط الخام، ونسب مختلف نواتج التقطير المتوقعة. ويعتبر منحنى الغليان من أهم القياسات المستخدمة في وصف نوعية النفط .

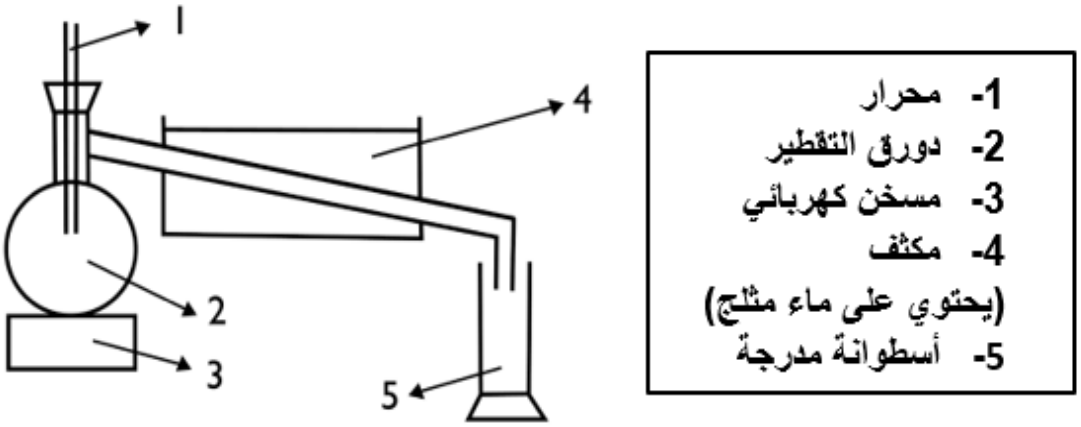
2-6-1 درجة الغليان الابتدائية (Initial Boiling Point)

تعرف درجة الغليان الابتدائية (IBP) بأنها قراءة المحرار في لحظة نزول اول قطرة من السائل المتكثف من الجزء السفلي من انبوب التكثيف.

3-6-1 درجة الغليان النهائية (Final Boiling Point)

درجة الغليان النهائية (FBP) هي اعلى درجة حرارة يسجلها المحرار خلال الفحص وهذا يحدث عادة بعد تبخر جميع السائل من أسفل الدورق، تبخر 95% من ال 100 mL الذي يجرى عليه الفحص.

هاتان الدرجتان مهمتان جدا في عمليات التشغيل والسيطرة النوعية للنفط الخام حيث يتم من خلالهما السيطرة على وحدات التكرير وضبط المواصفات للمنتجات ضمن المعايير القياسية العالمية .



شكل (1-4) مخطط لجهاز التقطير

4-6-1 درجة الجفاف (Dry Point)

هي قراءة المحرار في لحظة تبخر آخر قطرة من السائل في وعاء التقطير وتهمل أي قطرات أو طبقة خفيفة من السائل في جوانب وعاء التقطير والمحرار.

5-6-1 درجة التحلل (Decomposition Point)

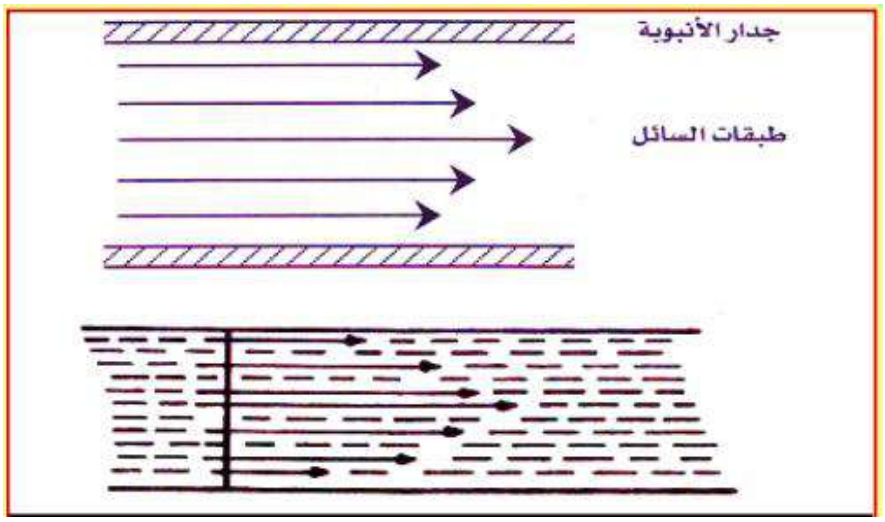
هي قراءة المحرار عند ظهور أول علامات التحلل الحراري للسائل في وعاء التقطير ومن مميزات التحلل الحراري ظهور الأبخرة وقراءات المحرار التي تبين انخفاض في درجة الحرارة حين أعاقة ضبط المسخن.

6-6-1 النسبة المئوية لنواتج التقطير (% Recovery) هي النسبة المؤية لحجم السائل المتكثف في الأسطوانة المدرجة ويرتبط عادة بقياس المحرار في الوقت نفسه .

1 – 7 اللزوجة (Viscosity)

يمكن تعريف اللزوجة على انها مقاومة المائع للجريان . وتعرف كذلك على انها مقاومة السائل للإنسياب (مقياس لسرعة سريان السائل بتأثير قوى معينة) حيث تبدي جميع السوائل مقاومة معينة للسريان، تختلف من سائل لآخر. تعتبر قوى التلامس والتلاصق بين جزيئات السائل السبب الرئيسي للزوجة السوائل. ويكون هذا التأثير ضعيفا في المحاليل ذات اللزوجة المنخفضة كالكحول والماء ذات الأنسياب السهل (السريع). أما السوائل الأخرى مثل زيوت المحركات ذات اللزوجة العالية فيكون انسيابها بطيئاً الى حد كبير. وبتعبير آخر يمكن القول إن احتكاك الطبقات المتجاورة في زيوت المحركات أكبر من احتكاك الطبقات المتجاورة في الماء ولهذا تقل سرعة انسياب زيوت المحركات عن سرعة انسياب الماء وتكون زيوت التزييت أكثر لزوجة.

وإذا فرضنا أننا وضعنا سائلا في أنبوبة ضيقة وأثرنا عليه بقوة ما مثّل فرقاً في الضغط بين طرفي الأنبوبة، ولكن السرعة التي تتحرك بها طبقات هذا السائل تختلف من طبقة الى أخرى، فالطبقة الرقيقة الملامسة لجدار الأنبوب تكون ساكنة تقريباً، وتتزايد سرعة حركة الطبقات كلما ابتعدنا عن جدار الأنبوبة، وتصل هذه السرعة الى أقصاها في الطبقات الوسطى من السائل، ثم تقل بعد ذلك تدريجيا حتى تصل الى جدار الأنبوب المقابل، شكل (1-5). ويعمل هذا الاحتكاك بين طبقات السائل على مقاومة الحركة ويؤدي الى ظاهرة اللزوجة.



شكل (1-5) تحرك طبقات سائل داخل أنبوبة ضيقة

1-7-1 العوامل المؤثرة في اللزوجة (Factors Affecting Viscosity)

1. درجة الحرارة

تقل لزوجة السوائل بارتفاع درجة حرارتها، وذلك لأنه عند ارتفاع حرارة السائل تزيد المسافات بين الجزيئات فيقل الاحتكاك بينها ومن ثم تقل اللزوجة. وقد وجد أن لزوجة السائل تقل بمقدار (1-2%) لكل

ارتفاع في درجة الحرارة مقداره (1^oC). هذا السلوك خلاف سلوك الغازات التي تزداد لزوجتها مع ارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة عدد التصادمات بين جزيئات الغاز مما يسبب زيادة في الاحتكاك و من ثم زيادة اللزوجة.

ان الغرض من التزييت والتشحيم هو تقليل الحرارة المتولدة عن الاحتكاك لحماية أجزاء الآلة من التآكل. وان من مميزات الزيت اللازم للتزييت هو لزوجته العالية ليلتصق بشدة بأجزاء الآلة ولا ينساب بدورانها و يختلف زيت الآلة صيفاً عنه شتاءً فتقل اللزوجة بارتفاع درجة الحرارة.
تعليل : علل سبب تصنيع زيوت السيارات بدرجات مختلفة.

وذلك للاستخدام وفق الفصل (صيف أم شتاء)، فالزيت ذو الدرجة العالية يدل على ارتفاع لزوجته وبالتالي يصلح للاستخدام في فصل الصيف الذي يمتاز بارتفاع درجة حرارته . بينما في الشتاء تستخدم الزيوت ذات الحرارة المنخفضة.

2. الوزن الجزيئي

تزداد اللزوجة بازدياد حجم الجزيء (الوزن الجزيئي) في المركبات المتجانسة (من نوع واحد) فمثلا في الهيدروكاربونات لزوجة الأوكتان C_8H_{18} أكبر من الهبتان C_7H_{16} .

3. قوى التجاذب

قوى الجذب بين الجزيئات تعتبر مقياس مبدئي للزوجة السوائل، فكلما زاد التجاذب بين الجزيئات تزداد صعوبة حركة الجزيئات وبالتالي تزداد لزوجة السائل. فمثلا السوائل ذات الجزيئات القطبية تكون أعلى لزوجة. وبالتالي فأن السوائل التي تمتاز جزيئاتها بقوى تجاذب عالية ذات لزوجة عالية.

4. الضغط

بزيادة الضغط على السائل تزداد قوى التجاذب بين جزيئات السائل، وبالتالي تزداد اللزوجة بعض الشيء .

5. شكل الجزيء وتركيبه

يلعب شكل جزيئات السائل وتركيبها دورا كبيرا في مقدار لزوجتها ، فالسوائل ذات الجزيئات الكبيرة وغير المنتظمة الشكل (التي يكون شكل جزيئاتها معيقا لحركتها) تكون أكثر لزوجة من الجزيئات الصغيرة المتماثلة في الشكل .

2-7-1 وحدات اللزوجة (Units of Viscosity)

الوحدات الأساسية للزوجة (المطلقة الديناميكية) (Absolute Dynamic Viscosity) هي بويز (Poise) او السنتي بويز (Centipoise) .

$$\text{Viscosity } (\mu) = \frac{\text{Force} \times \text{Distance}}{\text{Velocity} \times \text{Area}} \quad ----(1-9)$$

$$= \frac{\text{Newton} \times \text{m}}{\text{ms}^{-1} \times \text{m}^2}$$

$$= \frac{\text{kg m s}^{-2} \times \text{m}}{\text{ms}^{-1} \times \text{m}^2}$$

$$= \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1} = \text{P}a.\text{s}$$

Force = القوة المسلطة (Newton)
Distance = المسافة (m)
Velocity = السرعة (m / s)
Area= المساحة (m^2)

وتعبر اللزوجة الكينماتية (Kinematic Viscosity) عن النسبة بين اللزوجة المطلقة (الديناميكية) وكثافة السائل عند نفس درجة الحرارة ووحداتها الأساسية هي ستوك (Stoke) وسنتي ستوك (Centistoke) ، الجدول (1-5) يوضح العلاقة بين هذه الوحدات.

جدول (1-5) وحدات قياس اللزوجة

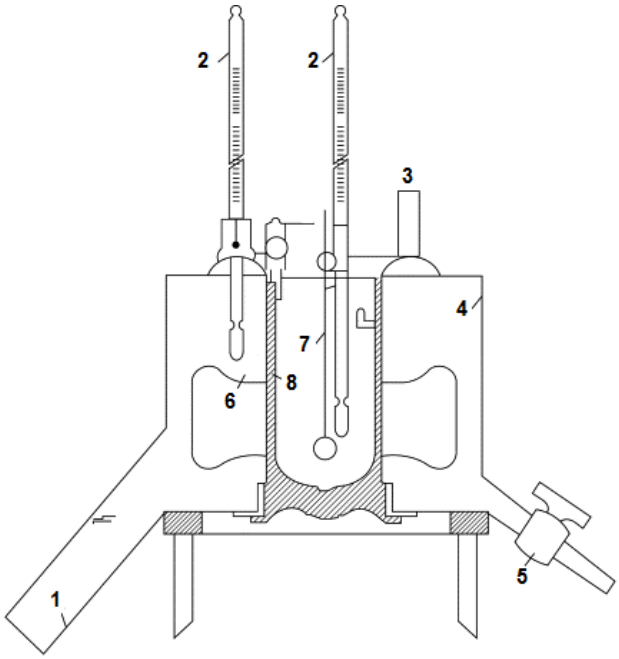
وحدة قياس اللزوجة في نظام الوحدات العالمي SI	باسكال.ثانية (Pa.s) وهي معادلة الى الوحدة (kg/m.s) .
وحدة اللزوجة الديناميكية أو المطلقة	داين.ثانية/سم^2 ($dyne.s/cm^2$) وتسمى بويس (Poise) وتساوي عدديا غم/سم.ثانية .
القياس الشائع للزوجة الديناميكية أو المطلقة	$cP = 10^{-2}$ Poise $= 10^{-3}$ Pa.s سنتي بويس (Centipoise)
يعبر عن لزوجة السائل باللزوجة الكينماتية (الحركية) ، $\boldsymbol{\nu = \mu/\rho}$	داين.ثانية.سم/غم Stoke = cm^2 / s

وهناك أجهزة قياسية لتحديد اللزوجة في الصناعة النفطية . تعمل جميعها على قياس الزمن (ثانية) اللازم لجريان كمية معينة من السائل بتأثير وزنه خلال جهاز القياس وهي :

- ثانية ريدوود (Seconds Redwood)
- ثانية سايبولت (Saybolt Universal Seconds, SUS)
- درجات انكلر (Engler Degrees)

3-7-1 قياس اللزوجة بطريقة ريدوود (Redwood Viscometer)

جهاز ريدوود، شكل (1-6)، يتكون من من وعاء أسطواني مزود بفتحة قياسية في أسفله تغلق وتفتح بواسطة صمام كروي. يحيط الوعاء الأسطواني حمام مائي أو زيتي مزود بآلة تحريك. يتم تسخين الحمام كهربائياً للحصول على درجة حرارة ثابتة . عند القياس يملأ الوعاء بالنموذج الى مستوى العلامة ويسخن. عند الوصول الى درجة حرارة الأختبار يزاح الصمام الكروي من الفتحة للسماح لجريان كمية 50 mL من النموذج ببطء في وعاء خارجي ويحدد الزمن اللازم لذلك والذي يشير الى مقياس اللزوجة (ثانية - ريدوود). وتقاس اللزوجة بطريقة ريدوود عادة عند درجات حرارة 21، 60، أو 90°C . وتعمل أجهزة سايبولت وآنكلر على نفس المبدأ وهناك اختلاف في حجم وشكل الفتحة القياسية للتفريغ.



شكل (1-6) مخطط جهاز ريدوود لقياس اللزوجة
تسمية الأجزاء : (1) مصدر تسخين (2) محارير(3) عمود الخلاط (4) حمام نحاسي (5) حنفية (6) الخلاط (7) صمام ذو الكرة (8) حاوية العينة

4-7-1 قياس اللزوجة الكينماتية (Measurement of Kinematic Viscosity)

يستخدم لقياس اللزوجة الكينماتية أنبوب شعري معقوف (U-tube viscometer) وتعتمد طريقة القياس نفس مبدأ قياس اللزوجة بأجهزة ريدوود، سايبولت أو انكلر، ولكن بدقة أكثر. يتم القياس عند السماح لحجم معين من السائل بالجريان في الأنبوب الشعري عند درجة حرارة ثابتة. يتناسب الزمن اللازم للجريان مع اللزوجة الكينماتية (النسبة بين اللزوجة الديناميكية وكثافة السائل) ويعين معامل التناسب الثابت (C) للجهاز عند قياس اللزوجة لسائل ذي لزوجة معلومة.

تحسب اللزوجة للسوائل ذات اللزوجة اكثر من 10 cS من المعادلة (1-10)

$$v = Ct \qquad -----(1-10)$$

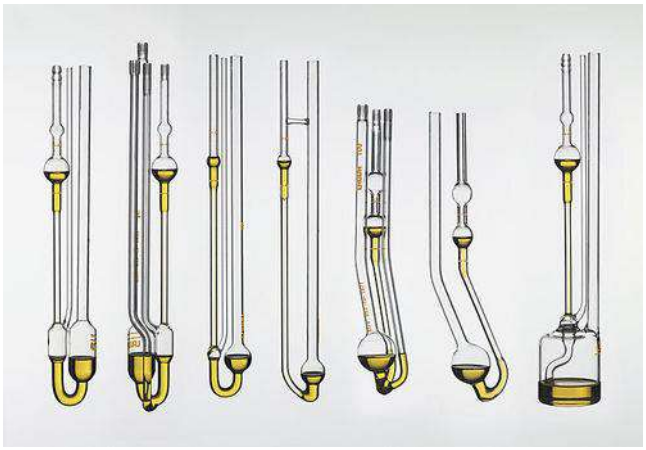
حيث ان :
t : الزمن مقاس (ثانية)
ν : اللزوجة الحركية (الكينماتية) (ستوك)

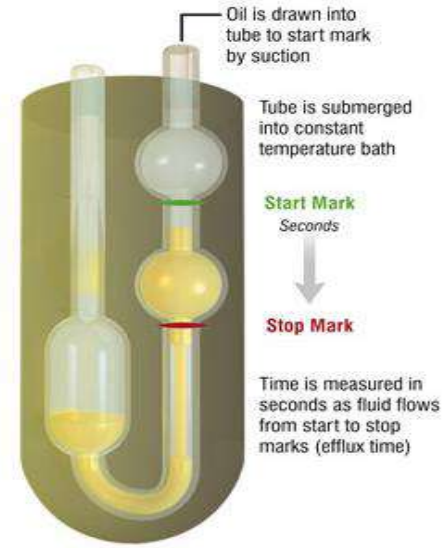
عند حساب اللزوجة للسوائل ذات الكثافة أقل من 10 cS يطرح من المعادلة (1-10) معامل التصحيح للتغير الحاصل في الطاقة الكامنة عند مخرج الأنبوب الشعري .

$$v = Ct - \frac{B}{t} \qquad -----(1-11)$$

حيث B : معامل الطاقة الكامنة، ويحدد حسب قطر الأنبوب الشعري .

ولغرض اجراء القياس تملأ بصلة الأنبوب الشعري الى العلامة بكمية مناسبة من الزيت عن طريق الأنبوب العريض كما موضح في الشكل (1-7). ويتم القياس بعد غمر المقياس داخل حمام مائي أو زيتي مزود بمسخن ومنظم درجة الحرارة. وعند ثبوت درجة الحرارة تسحب كمية من الزيت داخل الأنبوب الشعري الى العلامة العليا، ثم يترك الزيت للجريان بتأثير وزنه الى أسفل الأنبوب الشعري ويدون الزمن اللازم للجريان بين العلامتين العليا والسفلى.





شكل (1-7) أنواع مختلفة من مقياس اللزوجة شكل حرف U

1-7-5 معامل اللزوجة (Viscosity Index)

اشرنا انفا ان لزوجة السوائل تنخفض بارتفاع درجة الحرارة، ويعتبر تغيير اللزوجة مع درجة الحرارة، دليلا هاما لنوعية المنتجات النفطية خاصة زيت الوقود الثقيل وزيوت التزييت. ويطلق مصطلح معامل اللزوجة (Viscosity Index) للسائل على الرقم الذي يحدد علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة. والمركبات التي تتأثر لزوجتها قليلا مع تغيير درجة الحرارة تمتاز بمعامل لزوجة عالي. وعلى العكس فالمركبات التي تتأثر لزوجتها كثيرا مع تغيير درجة الحرارة فأن معامل لزوجتها يكون واطئاً. وتتمتع المركبات البرافينية في زيوت التزييت بمعامل لزوجة عال نسبيا (100 كحد أعلى)، بينما يكون معامل اللزوجة للمركبات النفثينية واطئاً (صفر كحد أدنى) ولا توجد علاقة ثابتة لتحديد تأثير درجة الحرارة على اللزوجة.

بالإمكان حساب معامل اللزوجة للسائل عند قياس لزوجته في درجتين حراريتين مختلفتين ومقارنة النتائج مع لزوجة زيت قياسي ذي معامل لزوجة يساوي 100 ، وزيت قياسي آخر ذو معامل لزوجة يساوي صفر من المعادلة (1-12) .

$$\text{Viscosity Index} = \frac{L - U}{L - H} \quad ----(1-12)$$

حيث :

U: لزوجة "سايبولت" للنموذج عند 37.8 $^{\circ}$C

L: لزوجة "سايبولت" عند 37.8 $^{\circ}$C لزيت قياسي ذي معامل لزوجة = 0، وبنفس لزوجة النموذج عند 99 ^{o}C.

H: لزوجة "سايبولت" عند 37.8 $^{\circ}C$ لزيت قياسي ذي معامل لزوجة = 100، وبنفس لزوجة النموذج عند 99 ^{o}C.

ويحصل على قيم L و H من الجداول المخصصة لذلك . وتحدد قيم (U) عند 37.8 ^{o}C بواسطة مقياس اللزوجة. كما وتقاس لزوجة النموذج عند 99 ^{o}C .

8-1 نقطة الوميض (Flash Point)

نقطة الوميض أو درجة الوميض تمثل أوطئ درجة يحترق عندها بخار المشتق النفطي عند تعرضه الى لهب، وتعتبر هذه الخاصية من الخصائص المهمة من ناحية اختيار أنسب الظروف من حيث السلامة لخزن ونقل المشتقات النفطية المختلفة. هي أقل درجة حرارية تومض عندها أبخرة المنتوج النفطِّي المسخن عند تقريب اللهب وتنطفئ بالحال عند إبعاد اللهب عنه.

ولكي يتم الوميض للأبخرة القابلة للاشتعال يجب ان تقع نسبة تركيزها في الهواء في حدود معينة. ويفرق بين الحد الأعلى والحد الأدنى لتركيز الأبخرة. فالحد الأدنى هو أقل قيمة لتركيز الأبخرة في الهواء يلاحظ عندها الوميض عند تقريب اللهب أما الحد الأعلى فهو تلك القيمة لتركيز الأبخرة التي لا يحدث الوميض بعدها لعدم كفاية الأوكسجين والحد الأدنى لتركيز الأبخرة البترولية هو الذي يؤخذ بنظر الاعتبار عند تعيين درجة الوميض.

كلما خف المشتق النفطي كلما انخفضت درجة الوميض فدرجة الوميض لبنزين السيارات أقل من صفر مئوي بينما للكيروسين بين 30-50 ^{o}C ووقود الديزل المختلف الأنواع من 30 ^{o}C الى 90 ^{o}C وزيوت التزييت من 130 ^{o}C الى 320 ^{o}C .

ولا يعتمد مقياس نقطة الوميض للمنتجات الخفيفة المتطايرة مثل بنزين السيارات أو الطائرات لوقوعها عند درجات الحرارة الواطئة وبدلا من ذلك يؤخذ مقياس الضغط البخاري بطريقة (ريد) .

تستخدم ثلاثة أنواع من أجهزة القياس وتصنف حسب تطايرية المشتق النفطي المراد فحصه:

1. مقياس أيبل (Abel Test): ويستعمل لتعيين نقطة الوميض بالوعاء المغلق لأنواع المنتجات الخفيفة نسبيا التي تتراوح نقطة وميضها بين 18- ^{o}C و 17+ ^{o}C .
   ويتكون جهاز آيبل من كأس ذي سبيكة نحاسية وحمام مائي صغير يحيط بالوعاء وهناك حمام مائي ثاني يوضع بداخله الحمام المائي الصغير ويوجد على غطاء الوعاء سداد منزلق يفتح عند تقريب اللهب أثناء التجربة كما موضح في الشكل(a 1-8).
2. مقياس بنسكي-مارتنز الكأس المغلق (Pensky Martens Closed Tester): يستخدم هذا المقياس لتعيين درجة الوميض للمنتجات الثقيلة نسبيا التي درجة وميضها أكثر من 71 ^{o}C ويتكون الجهاز من كأس ذي سبيكة من النحاس موضوع في حمام هوائي ويسخن باستعمال محرق غازي والغطاء مزود بفتحات للمحرار والمحرك والتهوية بالإضافة الى سداد منزلق لتزويد لهب الاختبار أثناء التجربة ، كما موضح في الشكل (b 1-8).

3. مقياس كليفلاند الكأس المفتوح (Cleveland Open Cup): تستعمل هذه الطريقة لقياس درجة الوميض ودرجة الاشتعال للمنتجات النفطية التي تمتاز بكثافتها العالية، الشكل (1-8 c).

(a) مقياس أبيل

(b) مقياس بنسكي مارتنز

(c) مقياس كليفلاند

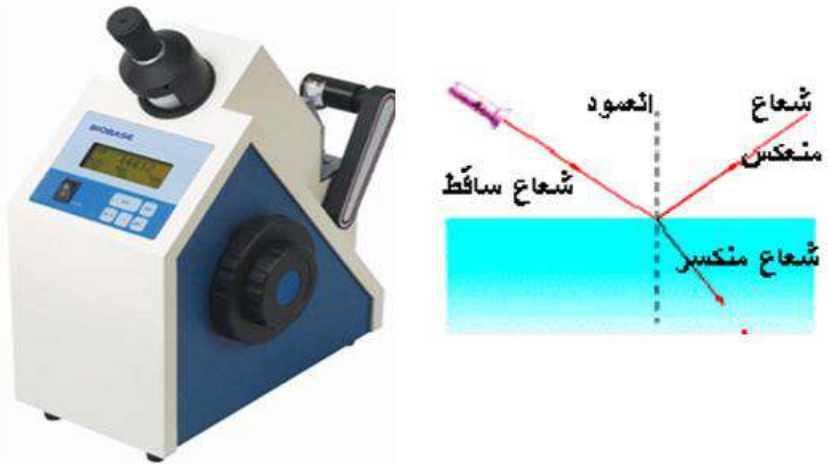
شكل (1-8) مقاييس نقطة الوميض

1-9 نقطة الاتقاد (Fire Point)

تعرف نقطة الاتقاد أو الاشتعال بأنها أقل درجة حرارية يسخن اليها الوقود لاعطاء خليط من بخاره مع الهواء يكفي للاشتعال واستمراريته وتكون نقطة الاشتعال عادة أعلى بقليل من نقطة الوميض.
من معرفة هذه الدرجة يمكن تحديد درجات الحرارة التي يمكن التعامل بها مع المنتوج النفطي دون التعرض لمخاطر الحريق. ويستعمل لهذا الفحص جهاز أبيل أو كليفلاند، الشكل (1-8).

1-10 معامل الانكسار (Refractive Index)

من ضمن القياسات الضوئية للنفط، اختبار معامل الانكسار، حيث إن مرور شعاع ضوئي بين وسطين مختلفين يؤدي إلى تغير في اتجاه ذلك الشعاع، ويعرف معامل الانكسار بأنه النسبة بين زاوية سقوط الشعاع وزاوية الانكسار.



شكل (1-9) جهاز قياس معامل الانكسار (الرفراكتوميتر)

الرفراكتوميتر(Refractometer)، جهاز يستخدم لقياس محتوى الماء في السوائل، حيث انه يقيس معامل الانكسار للسائل الذي يتغير بتغير محتوى الماء في السائل. ويعتبر معامل الانكسار جزء من الوصف التعريفي للسوائل، فهو يساعد في تحديد هوية العينات أو التأكد منها بمقارنة معامل الانكسار بقيم معلومة، كما أنه يستخدم لتقييم نقاء أي عينة بمقارنة معامل انكسارها بالقيم المعلومة للمادة النقية، أضافة الى تحديد تركيز المذاب في المذيب بمقارنة معامل الانكسار للمحلول بمحلول قياسي. يوضح الشكل (1-9) جهاز الرفراكتوميتر المختبري ومبدأ عمله.

ونظراً لاحتواء النفط الخام على مجموعة كبيرة من المركبات الهيدروكربونية فإن معامل الانكسار يختلف من نوع نفط إلى آخر، فالهيدروكربونات البارافينية يكون معامل انكسارها أقل من الهيدروكربونات النفثينية ثم الأروماتية، وبشكل عام يزداد معامل الانكسار بازدياد الوزن الجزيئي للهيدروكربونات.

11-1 محتوى الرماد (Ash Content)

محتوى الرماد يمثل النسبة المئوية الوزنية للمخلفات اللاعضوية بعد الاحتراق الكلي للوقود. وهومؤشر على كمية المعادن والأملاح الموجودة في النموذج، ويكون عادةً على شكل أكاسيد الحديد، أملاح ثابتة، وأكاسيد السليكون، يتم حرق النموذج في جفنة عريضة ذي سعة 90 ml – 100 من الخزف الصيني أو السليكا أو البلاتين تحت الضغط الجوي ويكون المتبقي (غير المحترق) هو محتوى الرماد. يحسب محتوى الرماد من المعادلة (1-13).

$$\% \text{ رماد} = \frac{\text{وزن الرماد بالغرام}}{\text{وزن النموذج بالغرام}} \times 100 \qquad (13-1)$$

12-1 متبقي الكاربون (Carbon Residue)

تعد نسبة متبقي الكاربون في النفط الخام أحد المعايير التي يتم بموجبها الحكم على مدى جودة النفط الخام. يتم تحديد الكربون المتبقي عن طريق تسخين المنتج البترولي عند درجات حرارية عالية بمعزل عن الهواء (التقطير الاتلافي). حيث يحصل تبخر المواد المتطايرة وتفكك وتكسر المركبات الهيدروكاربونية بتأثير الحرارة العالية وعزل الابخرة المتكونة بينما يتخلف الكربون. ان الكربون المتبقي يدل على محتوى النفط الخام من الأسفلت ومدى امكانية استخلاص زيوت التزييت منه، وكلما كان متبقي الكاربون قليلا تكون قيمة النفط الخام أفضل. والطرق القياسية المستخدمة لتعيين النسبة المئوية لمتبقي الكربون هي:

1- الكربون المتبقي بطريقة (كونرادسون)
2- الكربون المتبقي بطريقة (رامس بوتم)

شكل (1-10) تعيين متبقي الكربون بطريقة كونرادسون

يتكون جهازكونرادسون، كما في الشكل (1-10) من جفنه خزفية توضع داخل جفنتين معدنيتين مغلقتين بسداد محكم ذو منفذ جانبي وغطاء لخروج الابخرة وحرقها ويتم التسخين باستعمال مصباح بنزن.

لتعيين متبقي الكربون تنظف الجفنة الخزفية جيدا وتوزن فارغة. يؤخذ وزن معلوم من النموذج ويوضع في الجفنة الخزفية وتوضع داخل الجهاز. يتم التسخين بواسطة مصباح بنزن تدريجا الى ان تبدأ الابخرة المتصاعدة بالاشتعال يستمر في التسخين حتى انطفاء اللهب بصورة نهائية. توضع الجفنة الخزفية داخل وعاء التجفيف لمدة 20 دقيقة ثم توزن وتحسب النسبة المئوية لمتبقي الكربون من المعادلة (1-14).

$$\%\ \text{الكاربون المتبقي} = \frac{\text{وزن المتبقي بالغرام}}{\text{وزن النموذج بالغرام}} \times 100 \qquad (14-1)$$

13-1 نقطة الانسكاب (Pour Point)

تمثل نقطة الانسكاب أو الانسياب أوطأ درجة حرارية ينسكب عندها الوقود في ظروف الاستخدام. ولتحديد نقطة الانسكاب أهمية في معرفة أوطأ درجة حرارية يخزن عندها الوقود للحصول على قابلية ضخ وجريان مناسبتين. ويمثل مقياس نقطة الضباب (Cloud Point) أدنى درجة حرارة يعامل عندها الوقود دون تكوين بلورات شمعية، ومنع انسداد المرشحات بها.

14-1 القيمة الحرارية (Calorific Value)

تعرف القيمة الحرارية لوقود ما بأنها كمية الحرارة الناتجة من الاحتراق الكامل لوحدة الكتلة أو الحجم من الوقود. وتعطى القيمة الحرارية للوقود الصلب والسائل لكل وحدة كتلة، أما الوقود الغازي فتعطى القيمة الحرارية لكل وحدة حجم عند الظروف القياسية ($0\ ^oC$ ، 760 mmHg).

عند احتراق (أكسدة) أي مادة نفطية في الهواء يحصل تفاعل مع الأوكسجين ينتج عنه انبعاث حرارة وتولد ثاني أوكسيد الكاربون وبخار الماء. وتبعا للطور النهائي للماء الناتج من الاحتراق فأن لكل أنواع الوقود التي يتكون نتيجة لاحتراقها بخار الماء قيمتين حراريتين.

- القيمة الحرارية العليا Gross Calorific Value: كمية الحرارة الناتجة من حرق وحدة وزنية أو حجمية من الوقود في الظروف القياسية بوجود الأوكسجين في داخل فرن خاص (مسعر) عندما يكون الماء الناتج من الاحتراق في الطور السائل.
- القيمة الحرارية الدنيا (الصافية) Calorific Value: كمية الحرارة التي يتم الحصول عليها عندما يكون الماء الناتج من الاحتراق في الطور الغازي (بخار ماء) .

القيمة الحرارة الصافية = القيمة الحرارة العليا – الحرارة الكامنة لتبخر الماء ---------(15-1)

ومن ذلك ظهر مفهوم الكفاءة الحرارية والذي يشير الى كمية الحرارة التي يمكن الاستفادة منها فعليا كنسبة الى مجموع الحرارة المتولدة من الاحتراق وترتفع هذه النسبة كلما كان الوقود أثقل.

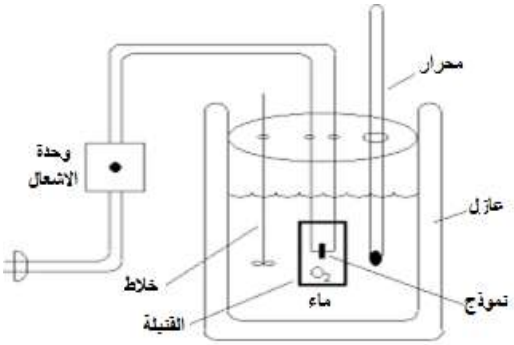
ملاحظة : تستخدم القيمة الحرارية الدنيا في الحسابات الحرارية العملية (مثلا تصميم الأفران) لأن الماء الناتج من الاحتراق يخرج كبخار ماء غالبا .

1-14-1 المسعر الحراري Calorimeter

المسعر الحراري جهاز يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنبعثة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية.

ويتحدد نوع المسعر الحراري المطلوب استخدامه تبعاً لنوع التفاعل الكيميائي المدروس بمعنى إذا كان التفاعل يتم عند ضغط ثابت أم يتم عند حجم ثابت. ومسعر القنبلة (Bomb Calorimeter)، شكل (1-11 أ) يستخدم لقياس الحرارة المنطلقة في أثناء عمليات الإحتراق عند حجم ثابت.

شكل (1-11- أ) مسعر القنبلة



شكل (1-11- ب) مخطط لمسعر القنبلة

يتكون المسعر الحراري عادة – كما هو موضح في الشكل (1-11- ب) من :

- إناء خارجي معزول عزلاً حرارياً جيداً حتى يمنع تسرب الحرارة من داخل أو خارج هذا الإناء. وتوضع في هذا الإناء الخارجي كمية معينة من الماء معلومة الوزن بدقة، حيث يغمر به الوعاء الذي سيتم به التفاعل
- مقياس لدرجة الحرارة
- مصدر للإشعال
- محرك

1-14-2 قياس الحرارة المنطلقة نتيجة لاحتراق مادة في المسعر

1. يوزن معدل غرام واحد من نموذج الوقود في الجفنة داخل القنبلة .
2. يملأ وعاء التفاعل بغاز الأوكسجين تحت ضغط حوالي 30 bar .
3. يوضع وعاء التفاعل في الوعاء المعزول.
4. يغمر وعاء التفاعل (المسعر) بكمية معينة من الماء موزونة بدقة والذي يوضع في وعاء معزول عزلاً تاماً.
5. يحرك الماء بخلاط (Stirrer) من أجل أن تكون درجة حرارة الماء متجانسة مع بقية أجزاء المسعر.
6. تسجل درجة حرارة المجموعة الابتدائية (درجة حرارة العينة) ولتكن (T_1).
7. يبدأ التفاعل (عملية الإحتراق) بواسطة مصدر الإشعال أو بالتسخين الكهربائي للمادة (سلك كهربائي مغموس في المادة).
8. تمتص الحرارة المنطلقة نتيجة للتفاعل من قبل المسعر ومكوناته وترتفع درجة حرارة المجموعة ثم تسجل درجة الحرارة النهائية (T_2).

وباستخدام مبدأ الاتزان الحراري :

الحرارة المكتسبة = الحرارة المفقودة – – – – (1 – 16)

حيث أن كمية الحرارة الناتجة عن الاحتراق هي الحرارة المفقودة، وكمية الحرارة التي يكتسبها الماء والمسعرهي الحرارة المكتسبة . حيث أن كلاً من الماء والمسعر يمتصان الحرارة فإن السعة الحرارية الكلية (C_t) تساوي مجموع السعة الحرارية للمسعر والماء أي أن:

$$C_t = C_{H_2O} + C_{cal} \quad ----(1-17)$$

C_{H_2O}: السعة الحرارية للماء وتحسب من كتلة الماء المستخدم وحرارة الماء النوعية.

C_{cal}: السعة الحرارية للمسعر، وتقدر عملياً وذلك بقياس الزيادة في درجة حرارة المسعر نتيجة تسخينه بكمية معروفة من الحرارة.

كمية الحرارة المنطلقة في التجربة (q) تحسب من السعة الحرارية الكلية (C_t) ومن الزيادة في درجة الحرارة (ΔT) باستخدام المعادلة:

$$q = C_t \Delta T \quad ----(1-18)$$

C_t : السعة الحرارية الكلية.

ΔT : الفرق في درجة الحرارة (T_1-T_2)

مثال (1-4)

أجري تفاعل كيميائي في مسعر حراري، يحتوي على 1.2 Kg من الماء، فارتفعت درجة الحرارة من 20 ^oC إلى 25 ^oC . احسب كمية الحرارة الناتجة عن التفاعل علماً بأن السعة الحرارية للمسعر هي 2.21 kJ/^oC والحرارة النوعية للماء هي 4.184 J/g^oC .

الحل:

يمكن حل هذه المسألة باستخدام المعادلة (1-18) :

$$q = C_t \Delta T$$

وبما أن التفاعل باعث للحرارة فإننا نضع الإشارة سالب للدلالة أن التفاعل باعث للحرارة.

$$q = -C_t \Delta T$$

وبالتعويض في هذه العلاقة :

$$q = -[(C_{H_2O} + C_{Cal})(T_2 - T_1)]$$

$$q = -[((4.184 J/g°C \times (1.2 \times 10^3 g) + 2.21 \times 10^3 J/°C))(25 - 20)]$$

$$q = -[(7230.8) \times (5)]$$

$$q = -36154 J$$

$$q = -36.154 kJ$$

ويمكن حل هذه المسألة بطريقة أخرى، وهي أن حرارة التفاعل (q) تساوي كمية الحرارة التي امتصها المسعر زائداً كمية الحرارة التي امتصها الماء أي أن:

$$q = -(q_{H_2O} + q_{Cal})$$

وبالتالي نعوض فيها كما يلي:

$$q = -[(4.184J/g°C)(1.2 \times 10^3 g)(25 - 20)] + [(2.21 \times 10^3 J/°C)(25 - 20)]$$

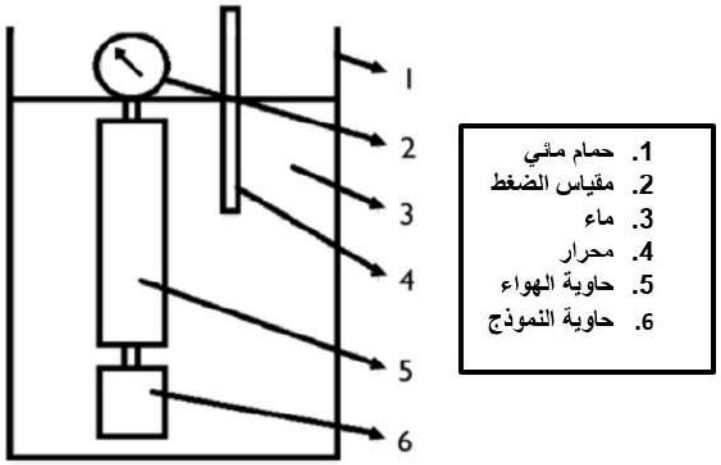
$$q = -[25104 + 11050]$$

$$q = -36154J$$

$$q = -36.154kJ$$

15 – 1 الضغط البخاري (Vapor Pressure)

هو الضغط الذي تولده أبخرة المادة المتطايرة في وعاء مغلق وفي درجة حرارة 100 °F (37.8 °C) . ويتم تعينه مختبريا بطريقة ريد للضغط البخاري (Reid Vapor Pressure). الشكل (1-12) يمثل مخطط لجهاز قياس الضغط البخاري بطريقة ريد. وللضغط البخاري عند درجة حرارة الجو قيمة يتم استخدامها في تصميم الصهاريج حيث لابد من تصميم الصهريج عند ضغط يزيد على الضغط البخاري للسائل المخزون عند درجة حرارة الجو. كما ويعتبر عامل مهم في ضبط العملية التشغيلية في وحدات التكرير وفي أبراج التثبيت لضمان الحصول على منتجات بمواصفات قياسية .



شكل (1-12) مخطط طريقة ريد لقياس الضغط البخاري للسوائل النفطية

أن ضبط قيمة الضغط البخاري لبنزين السيارات عملية مهمة لتجنب ظاهرة الاختناق البخاري في محرك السيارة التي تعتبر مؤشراً على وجود مواد خفيفة متطايرة بنسبة أعلى من المسموح به. يضاف

البيوتان لبنزين السيارات بنسب معينة لغرض تحسين الضغط البخاري وبما يتلاءم مع درجة حرارة الجو.
الجدول (1-6) يوضح الحدود العليا لضغط بخار بنزين السيارات عند درجات حرارية مختلف

جدول (1-6) الحد الأعلى لضغط بخار الكازولين اللازم عند درجات حرارية مختلفة

درجة حرارة الجو (^{o}C)	الحد الأعلى للضغط البخاري (ريد) ملم زئبق	
15.5	657	متطلبات فصل الشتاء
26.5	486	
38	362	متطلبات فصل الصيف
49	274	

أسئلة الفصل الاول

س 1 : عرف الكثافة النوعية بدرجة (API)، ثم احسب الوزن النوعي لمنتوج نفطي اذا كانت درجة معهد البترول الأمريكي (API) له تساوي (35) ؟

س 2 : عرف كلا مما يأتي :

1– **التقطير القياسي 2 – منحني الغليان 3 – درجة الغليان النهائية 4 – درجة الجفاف 5 – درجة التحلل**

س 3 :اذكر مع الشرح العوامل المؤثرة على اللزوجة ؟

س 4 : اشرح طريقة قياس اللزوجة الكينماتية مع ذكر القوانين ؟

س 5 : عرف محتوى الرماد ، ثم احسب النسبة المئوية للرماد في العينة اذا كان وزن الرماد المتخلف من حرقها (2 gm) ووزنها (50 gm) ؟

س 6 : احسب السعة الحرارية لمسعر مصنوع من النحاس فيه ماء كتلته (100 gm) بدرجة حرارة (10 $^{\circ}C$)، اضيف اليه كمية ماء أخرى كتلتها (100 gm) بدرجة حرارة (80 $^{\circ}C$) فاصبحت درجة حرارة الخليط النهائية (38 $^{\circ}C$) ؟

س 7 : اذكر أهمية قياس متبقي الكاربون في النفط الخام ؟

س 8 : عرّف نقطة الوميض للمشتقات النفطية ، ثم بين أهمية قياسها ؟

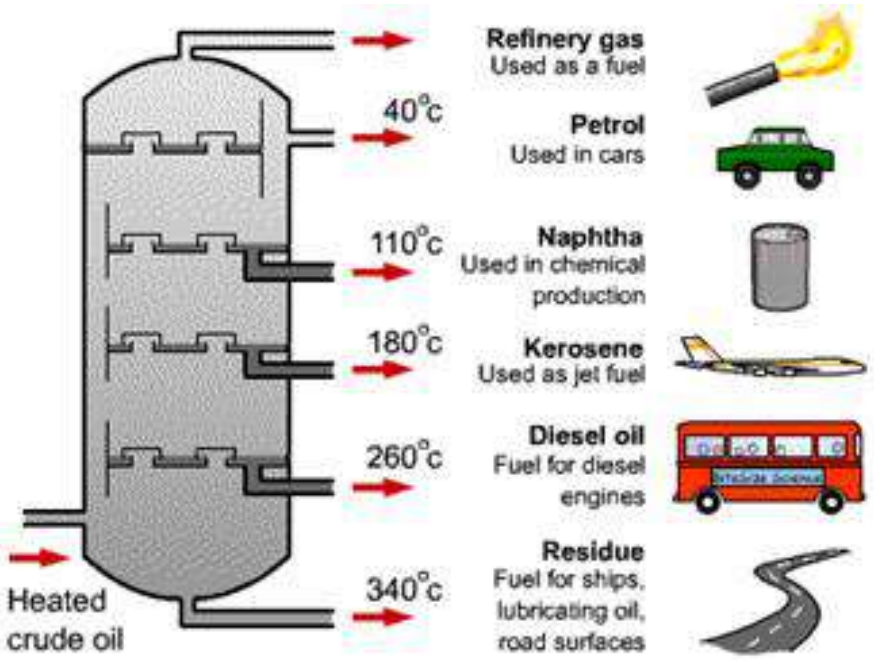
س 9 : اذكر وحدات اللزوجة ؟

س 10 : اذكر أصناف النفط مع الشرح ؟

س11: ماسبب تصنيع زيوت السيارات بدرجات مختلفة؟

س12: ماهو المسعر الحراري؟ وما هي مكوناتة؟

الفصل الثاني
تكرير النفط الخام Refining of Crude Oil



الأهداف

بعد إنهاء دراسة الفصل سيكون الطالب قادرا على أن:-

1 – يفهم خطوات إعداد النفط الخام للتكرير .

2 – يدرك أهمية وحدات تثبيت النفط الخام .

3 – يفهم معنى الاستحلاب والطرق الصناعية لإزالته من النفط الخام .

4 – يدرك أهمية إزالة الماء والأملاح من النفط الخام .

5 - يتعرف على العمليات الفيزياوية والكيميائية التي تجري خلال عملية تكرير النفط الخام .

6 – يقارن بين أنواع عمليات التقطير .

7 – يفهم عمليات التكسير وأنواعها .

8 – يدرك أهمية استخدام العوامل المساعدة في مصافي النفط .

9 – يفهم المعالجة الهيدروجينية في مصافي النفط .

10 – يفهم الفحوصات المختبرية الأساسية للزيوت الخفيفة .

2 - 1 تمهيد Preface

لغرض الاستفادة من النفط الخام لابد من تجزئته الى المنتجات المفيدة مثل أنواع الوقود المختلفة الاستخدامات (التدفئة، محركات السيارات، المحركات الثقيلة) وزيوت التزييت مختلفة الأنواع وغيرها. وتجري هذه العملية في المصافي النفطية ضمن عدد من الخطوات المتسلسلة التي تبدأ بمعالجة النفط الخام الواصل من حقول الإنتاج إلى وحدات التكرير ثم وحدات تثبيت المنتجات النهائية وتتضمن هذه الوحدات عدداً من المعدات الصناعية كذلك ترافقها عدد من العمليات الساندة كالفحوصات المختبرية التي يعتمد عليها في تحديد جودة المنتوجات وضبط ظروف عمل الوحدات التشغيلية.

2 - 2 إعداد النفط الخام للتكرير: Preparation of Crude Oil for Refining

يستخرج النفط الخام من البئر بضغط عالٍ بسبب الغازات الذائبة فيه كما انه يحتوي على كثير من المركبات الضارة مثل الماء والأملاح والمركبات الكبريتية ويمر النفط الخام بعدة عمليات لغرض تهيئته وهذه العمليات هي عزل الغاز بخفض الضغط التدريجي عن النفط الخام في وحدات خاصة تسمى بالعازلات في محطات عزل الغاز ثم تليها مرحلة التثبيت للتخلص من غاز كبريتيد الهدروجين H_2S بوحدات التثبيت ثم عملية عزل الماء والأملاح من النفط الخام.

2– 3 طرد الغاز وتثبيت النفط الخام في الحقول النفطية:

Degasing and Crude Stabilization

تختلف العملية من موقع إلى آخر اعتمادا على تركيز الغاز في النفط الخام ويثبت جزئيا عند ضغط رأس البئر ويتم نقله من محطات عزل الغاز إلى خزانات كروية Horton sphere مصممة لخزن النفط الخام تحت ضغط عالٍ يصل إلى ($50\ lb/in^2$) ثم يرسل إلى وحدات التثبيت ليصبح بعدها جاهزا للتصدير أو يرسل إلى المصافي للتكرير ويثبت النفط الخام للأسباب الآتية :

1. التخلص من غاز كبريتيد الهدروجين الحامضي الذي يتسبب بتآكل المعدات والأنابيب النفطية مسببا أضرارا كبيرة في الصناعة النفطية.
2. التخلص من الغازات الهيدروكربونية الذائبة في النفط الخام وخاصة غاز الميثان والايثان والبروبان للاستفادة منها كوقود في صناعة الغاز.
3. المحافظة على المركبات الهيدروكربونية الثمينة عالية التطاير مثل البيوتان والبنتان في النفط الخام.
4. زيادة الطاقة الحجمية للضخ في الأنابيب للنفط الخام من خلال فصل الغازات عنه.
5. التخلص من الشوائب الصلبة باستخدام المرشحات.

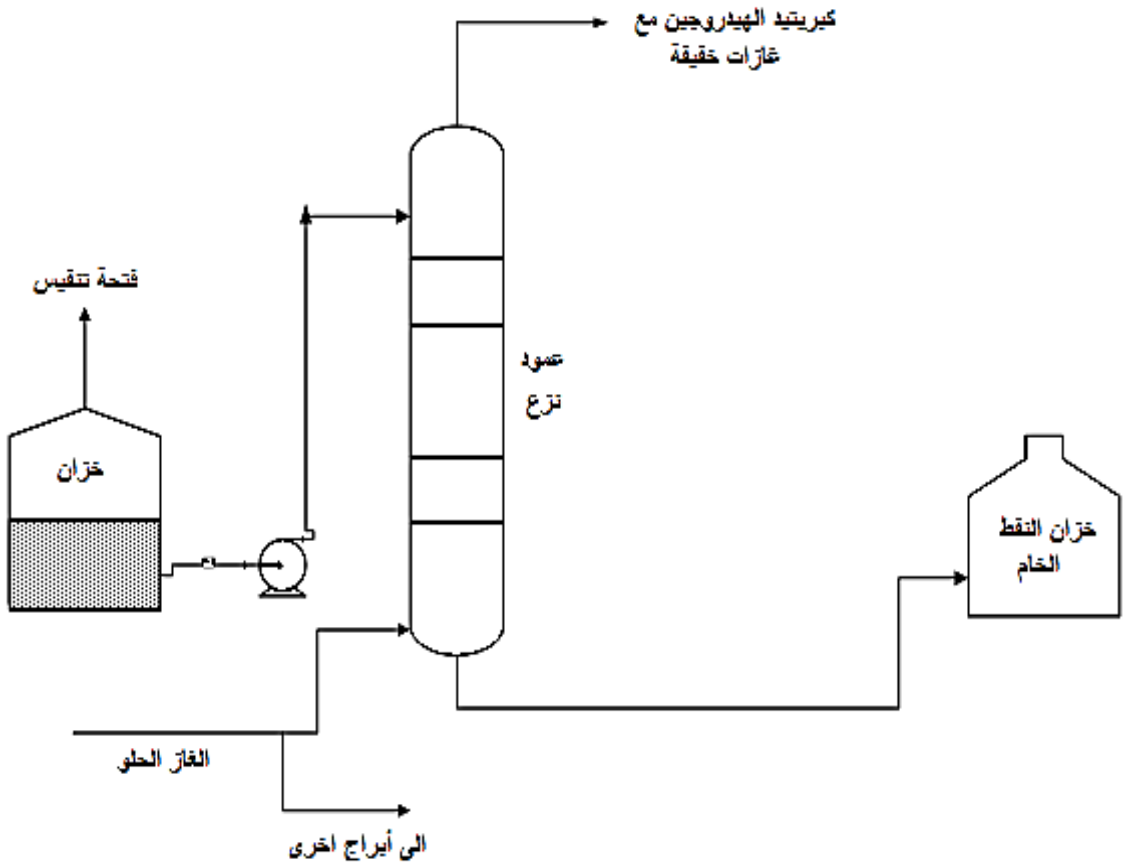
هنالك ثلاثة انواع لوحدات التثبيت قبل التكرير وهي:

2 – 4 وحدة النزع الباردة Cold Stripping Unit

في هذه الوحدة يتم فصل الغازات بعملية خفض الضغط التدريجي قبل دخوله إلى برج التثبيت لغرض ضمان عدم تطاير المركبات الخفيفة الثمينة مثل البنتان والهكسان.

يدخل النفط الخام إلى برج النزع من اعلى البرج الذي يحتوي على صواني ويعاكسه بالاتجاه غاز حلو خالي من غاز كبريتيد الهدروجين يضخ من اسفل البرج وعند تلامس الغاز مع النفط النازل على

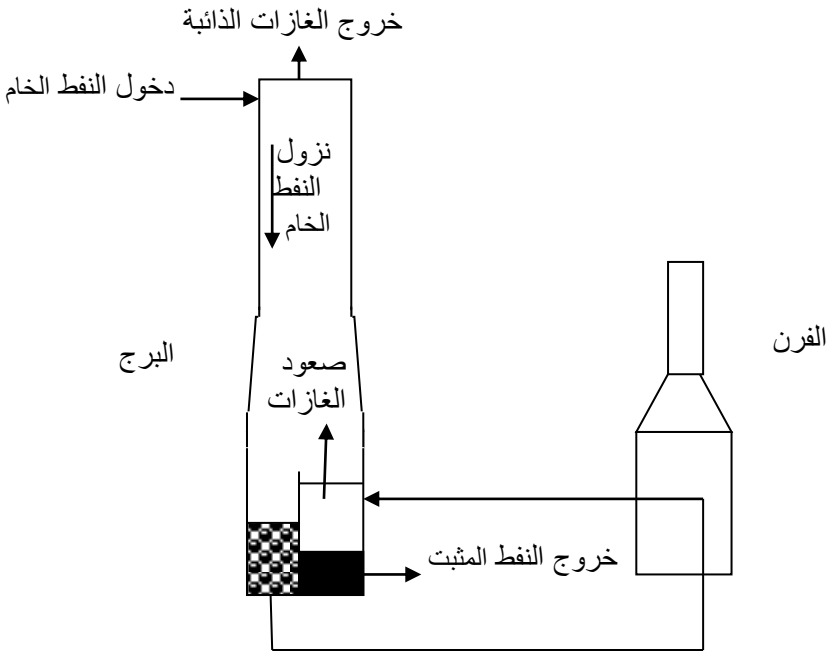
سطح الصينية يتم نزع غاز كبريتيد الهدروجين والغازات الخفيفة الأخرى، وبذلك يخرج النفط الخام من اسفل البرج ليرسل إلى الخزان أو يرسل إلى برج تثبيت ثاني في حالة وجود تركيز عالٍ لغاز كبريتيد الهدروجين والحصول على نقاوة اكبر، أما الغازات الخارجة من اعلى البرج فترسل إلى وحدات معالجة الغاز والفائض منه إلى منافذ الحرق. كما في الشكل (2-1) الذي يمثل مخطط جريان وحدة التثبيت الباردة.



شكل (2 – 1) وحدة النزع الباردة

2 – 5 وحدة التثبيت الحارة Hot Stabilization Unit

وتدعى أيضا بوحدة التطييب Desorbed Unit وهي من افضل الطرق المستخدمة للتثبيت وذات كفاءة عالية. تتكون الوحدة من برج حيث تتحرر الغازات الذائبة في النفط الخام النازل لأسفل البرج بفعل خفض الضغط والتلامس مع الغازات الصاعدة لأعلى البرج وتتم مداورة النفط الخام في فرن لتحرير الغازات المتبقية. كما في الشكل (2-2).

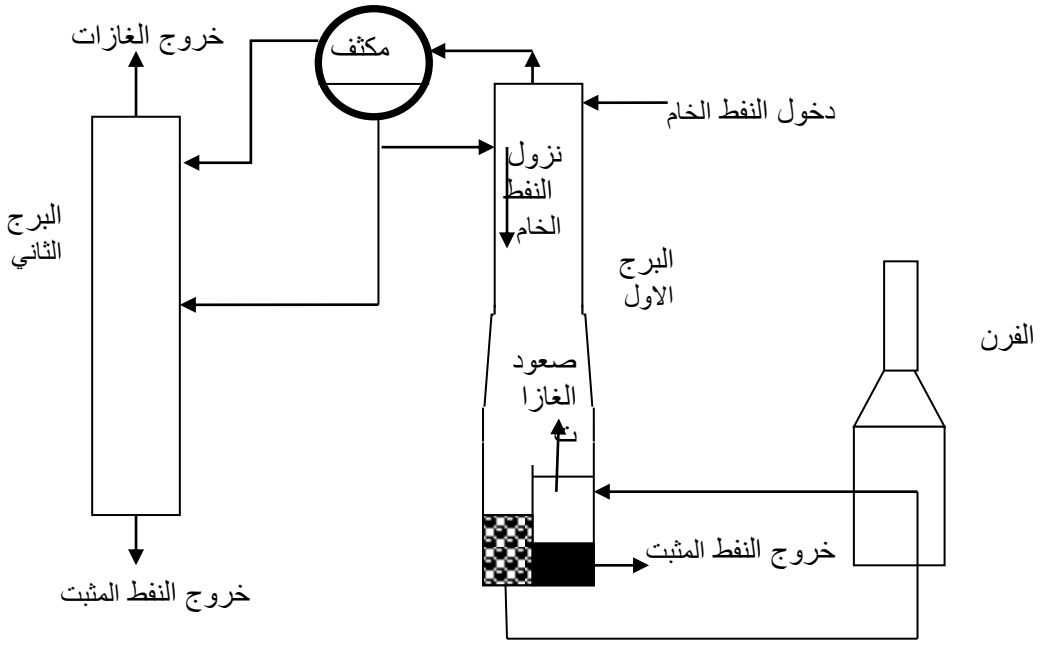


شكل (2-2) وحدة التثبيت الحارة

2–6 وحدة التثبيت الحراري ذات المرحلتين:

Two Stages Thermal Stabilizer Unit :

يضاف إلى وحدة التثبيت الحارة برج إضافي كمرحلة ثانية للتثبيت تكثف الغازات الصاعدة من البرج الأول وتكثف وتدخل إلى البرج الثاني لزيادة فصل الغازات الذائبة. وكما في المخطط (2-3).



شكل (2-3) وحدة التثبيت الحراري ذات المرحلتين

2 –7 نزع الماء والأملاح من النفط الخام

يعد الماء من الشوائب في النفط الخام لأنه يساعد على تآكل المعدات والوحدات النفطية وذلك لتوفيره الوسط المناسب لتكوين المحاليل الملحية والحامضية والقاعدية. ولهذا يجب التخلص من الأملاح والماء. وتختلف نسبة الأملاح حسب نوع النفط، وقد تبين إن ألف برميل من الخام قد تحتوي على حوالي (118 kg) من الأملاح. وإن نسبة الأملاح في نفط الشرق الأوسط عموما تكون في حدود (4.5 Kg) لكل ألف برميل ومن الضروري تخفيض نسبة الأملاح الموجودة في النفط الخام عموما قبل ضخه إلى وحدات التكرير حيث إن هذه الأملاح تؤدي إلى تكوّن حامض الهيدروكلوريك (HCl) الذي يسبب التآكل.

2 – 8 اهم مصادر الماء في النفط الخام

يتواجد الماء في النفط الخام من عدة مصادر منها :

اولا / طبيعي وهو الماء الموجود في المكمن النفطي الذي يندفع مع النفط الخام نتيجة الضغط الهائل.

ثانيا / ماء الإنتاج في طريقة استخراج النفط بالحقن المائي لغرض رفع ضغط المكمن

2 – 9 أنواع الماء في النفط الخام

أ- الماء الحر Free Water : وهو الماء المنتشر في النفط الخام بشكل جزيئات أو قطرات كبيرة تترسب بسهولة بفعل وزنها الكبير نسبيا في قعر العازلة .

ب- الماء المستحلب Emulsified Water : هو الماء الذي ينتشر بشكل قطرات صغيرة جداً لا يمكن فصلها بالترسيب عند ترك الماء لفترة طويلة. ويعتبر المستحلب مستقراً اذا لم ينفصل بالترسيب لمدة يوم واحد.

ج- الماء الذائب Soluble Water : وهو الماء الذائب في النفط الخام ويشكل نسبة قليلة جداً لا تتجاوز 0.001 % وزناً ولا يمكن فصله .

ان اكثر أنواع الماء ضرراً هو الماء المستحلب لكونه يمثل محلولاً ملحياً يصعب فصله بالترسيب كما انه قد تكون قطرات الماء محاطة بغشاء رقيق من مواد غرينية تمنع اندماج القطرات مع بعضها البعض وتصبح ذات كتلة كبيرة يمكن ان تنفصل بفعل الجاذبية.

2 – 10 تأثير الماء والأملاح في النفط الخام

ان وجود الماء والأملاح في النفط الخام له تأثيرات سلبية على العمليات والمعدات والمنتجات ويسبب الكثير من المشاكل التي يمكن ذكرها بما يأتي :

1 – ترسب الأملاح في بطانة أنابيب وقشرة المبادلات الحرارية والأفران والمعدات النفطية الأخرى مما يؤدي إلى تقليل كفاءة الإنتاج وارتفاع كلفته ولهذا يجب إيقاف عمل الوحدة لغرض الصيانة وبشكل دوري.

2 – تحرر حامض الهيدروكلوريك (HCl) الذي يسبب التآكل، حيث يؤدي تحلل الكلوريدات إثناء عملية التقطير إلى تكوّن الحامض المذكور.

3 – وجود الأملاح يؤثر على الخواص الفيزياوية للمنتجات مثل اللون والرائحة واللزوجة ودرجات الغليان الابتدائية والنهائية.

4 – تلوث النواتج المتبقية التي تعمل على تقليل جودة هذه المنتجات مثل تغير خواص الأسفلت في النفاذية واللزوجة وانسداد الموقدات التي تعمل بزيت الوقود.
5 – زيادة استهلاك الطاقة حيث ان الماء يحتاج إلى طاقة تبخير عالية تميزه عن الكثير من السوائل ولهذا فان نسبة قليلة من الماء سوف تستهلك جزءً كبيراً نسبياً من طاقة احتراق المكونات الهيدروكربونية الأخرى علما ان طاقة تبخر الماء تعادل 8 مرات طاقة تبخر النفط الخام.
6 – تقلل من الطاقة الحجمية للضخ في الأنابيب.
7 – الأملاح من العوامل المسممة للعامل المساعد في المفاعلات.

2 – 11 الاستحلاب Emulsification

الاستحلاب هو وجود سائلين لا يذوبان في بعضهما، بل يتشتت أحدهما في الآخر وتعتمد درجة استقرارية المستحلب على طبيعة الخلط وعلى طبيعة السائلين من حيث التركيب الكيمياوي واللزوجة، كما أن لدرجة الحرارة تأثيراً على استقرارية المستحلبات ولكي يتكون مستحلب يجب توافر سائلين لا يمتزج أحدهما مع الآخر مع وجود عوامل الاستحلاب ومدة الخلط الكافية لانتشار الطور غير المستمر في الطور المستمر.

2 – 11 – 1 المستحلبات النفطية Oil Emulsions

ان النفط والماء سائلان لا يمتزج أحدهما مع الآخر ويكون عامل الاستحلاب هو الجزيئات الصلبة، المواد البارافينية Parrafins ، المواد الأسفلتينية Asphaltens، الحوامض العضوية الذائبة في النفط، المركبات الراتنجية Resinous substances ، بالإضافة إلى المواد الصلبة المنتشرة في النفط مثل الرمل، الكاربون، الكالسيوم، السليكا، الحديد، الزنك، كبريتات الألمنيوم في حين يحصل المزج في الآبار والأنابيب وفي الصمامات الخانقة.
وفيما أدناه أنواع المستحلبات في الصناعات النفطية :
1 – مستحلب الماء في النفط الخام Water in Oil Emulsion : عبارة عن قطرات صغيرة جداً من الماء المنتشر في النفط الخام وعادةً ما تكون هذه القطرات محاطة بغشاء رقيق مكون من مواد غرينية تمنع اندماج هذه القطرات ولهذا تستخدم مواد كيمياوية لكسر الغشاء .
2 – مستحلب النفط في الماء Oil in Water Emulsion: عبارة عن قطرات صغيرة جداً من النفط الخام منتشرة في الماء ومثل هذا المستحلب تزداد نسبته مع تقادم عمر البئر حيث تقل نسبة النفط إلى الماء في المكم ، وبالأخص عند اللجوء إلى الإنتاج بالحقن المائي في البئ .
3 – المستحلب المخلوط Mixed Emulsion : وهو مزيج من مستحلب الماء في النفط الخام ومستحلب النفط في الماء ، وتكون عملية فصله اكثر تعقيداً من الأنواع الأخرى لكونه يحتاج إلى وحدات اكثر بالإضافة إلى تعدد كاسرات الاستحلاب المستخدمة .
وفي العادة فان المحلول الملحي لمستحلب الماء في النفط ينتشر في النفط على هيئة :
مستحلب غير مستقر (Unstable emulsion) .
أو مستحلب دائم (Permanent emulsion) .

والنوع الأول يمكن فصله بسهولة في أجهزة فصل السوائل Decanters وهي عادة ما تكون أسطوانات أفقية تشبه العازلات الأفقية المستخدمة في فصل الغاز عن النفط وتزود عادة بحواجز لتسهيل تجميع واندماج قطرات المحلول الملحي.

2 – 11 – 2 الطرق الصناعية لإزالة الاستحلاب من النفط الخام

يتم إزالة الماء المستحلب في النفط الخام بعدة طرق وهي :

1- الطرق الميكانيكية Mechanical Methods
2- الطرق الحرارية Thermal Methods
3- الطرق الكيمياوية Chemical Methods
4- الطرق الكيمياوية الحرارية Thermochemical Methods
5- الطرق الكهربائية Electrical Methods

وفيما أدناه شرح لكل طريقة :

(1) الطرق الميكانيكية

وتتم بالترويق أو الطرد المركزي أو الترشيح، ولكن لا تستخدم هذه الطرق على نطاق واسع.

(2) الطرق الحرارية

تتم بتسخين المستحلب، مما يؤدي الى تقليل لزوجة النفط وبالتالي تسهيل عملية الفصل وخلال ذلك تتمدد الطبقة المثبتة للمستحلب، وتتكسر، وبالتالي تتجمع قطرات الماء وتندمج. وتتلخص الطريقة الحرارية لنزع الماء في تسخين البترول وترويقه في الخزانات. وتستخدم هذه الطريقة لمعالجة المستحلبات غير الثابتة فقط، وهي تؤدي إلى فقد كمية كبيرة من قطفات البترول الخفيفة في حالة ارتفاع درجة حرارة التسخين.

(3) الطرق الكيميائية

باستخدام مواد كيميائية مانعة للاستحلاب تكون رخيصة وذات فعالية كافية، وهذه المواد تضعف الغشاء المغلف لقطرات الماء.

(4) الطرق الكيميائية الحرارية

وفيها تستخدم مواد كيمائية مانعة للاستحلاب، وذلك خلال عملية تسخين المستحلب البترولي. ويمكن استخدام الطريقة الكيميائية الحرارية لإزالة الاستحلاب بنجاح، إذا وجدت مادة مانعة للاستحلاب تكون رخيصة وذات فعالية كافية، ويسهل الحصول عليها ونقلها، ولا تسبب التآكل الكيميائي للأجهزة. كما يجب، علاوة على ذلك، أن تختلط المادة المانعة للاستحلاب بالسائل الذي توضع فيه، لكي تستطيع أن تتفاعل بسهولة مع الغشاء الواقي لقطرات الماء.

وتتم الطريقة الكيميائية الحرارية لإزالة الاستحلاب كالاتي :

يخلط المستحلب البترولي مع المادة المانعة للاستحلاب مباشرة، في مضخة طاردة مركزية، تضخ الخام إلى وحدة إزالة الاستحلاب. وتدفع المادة المانعة للاستحلاب بواسطة مضخات مجزأة إلى خط سحب مضخات الخام. ويسخن المخلوط في مبادلات حرارية أو في فرن أنبوبي بواسطة البخار، أو تيار من المنتج البترولي الساخن، أو بواسطة النار إلى درجة $^{\circ}C$ 70 - 75. ويؤدي التلامس بين المادة المانعة للاستحلاب وبين المستحلب، أثناء تحركهما في الأنابيب، إلى تحطيم الأغشية الواقية. ويدخل المستحلب المحطم بعد ذلك في وعاء نزع الماء أو في خزان حيث يفصل الماء عن البترول.

وعيوب الطريقة المذكورة لإزالة الاستحلاب هي:

1. استهلاك كمية كبيرة من المواد المانعة للاستحلاب.
2. فقد قطفات البنزين الخفيفة.
3. ضرورة استخدام عدد كبير من الخزانات.
4. تلويث المياه الصناعية المستهلكة بالاملاح.

وللإقلال من زمن الترويق واستهلاك المادة المانعة للاستحلاب، يدفع المستحلب في مستودع به ماء مفصول من المستحلب، الذي يحتوي على كمية من المادة المانعة للاستحلاب.

وقد انتشر استخدام طريقة كيميائية حرارية أكثر تطوراً لنزع الماء من البترول، وهي تسمح بالإقلال من الفاقد. ويتم الترويق في هذه الطريقة في أجهزة محكمة (أوعية خاصة لنزع الماء تعمل تحت الضغط).

ويسخن البترول الاستحلابي في حالة الترويق في أجهزة محكمة إلى درجة $^{\circ}C$ 150 – 155 في مبادلات حرارية أو في أفران، ثم يدخل بعد ذلك في أوعية نزع الماء حيث يحفظ الضغط مساوياً لـ 8 ضغط جوي.

ويتم في أوعية نزع الماء انفصال البترول عن الماء وإبعاد الأخير. ويمر البترول المنزوع منه الماء خلال مبادلات حرارية حيث يبرد إلى درجة $^{\circ}C$ 80- 90 بواسطة تيار مضاد من البترول الاستحلابي البارد. وتستخدم هذه الطريقة الكيميائية الحرارية المطورة لإزالة استحلاب البترول، عند تحطيم المستحلبات الثابتة للخامات البترولية الثقيلة.

(5) الطرق الكهربائية

تطبق حاليًا على نطاق واسع لنزع الماء والأملاح من البترول. وفي هذه الطريقة يؤثر في المستحلب مجال كهربائي ذو جهد عال وتردد صناعي، فتتحرك قطرات الماء المشحونة تحت تأثير هذا المجال وتتجه إلى الإلكترودات. ويتغير اتجاه حركة القطرات مع تردد المجال، الأمر الذي يؤدي إلى تصادم القطرات بالإلكترودات مما يساعد على اندماجها. وتستخدم هذه الطريقة بشكل واسع بالاقتران مع استخدام كاسر الاستحلاب والحرارة.

2 – 12 إزالة الأملاح

تؤدي عملية إزالة استحلاب البترول في الحقول إلى تخلصه من الكتلة الأساسية من الماء والشوائب الميكانيكية، إلا أن البترول الذي أزيل استحلابه يحتوي على الأملاح في حالة معلقة. وهذه الأملاح هي أساسًا كلوريدات الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم وغيرها.

وقد أثبتت التجربة العملية أنه لكي يمكن تكرير البترول يجب ألا تزيد نسبة الأملاح فيه عن 50 mg/Liter ، بل وأقل من ذلك، في حالة تكرير البترول مع الحصول على منتجات متبقية (الكوك البترولي مثلا). وتجري عملية نزع الأملاح للحصول على النسبة المذكورة. وتشبه عملية نزع الأملاح عملية إزالة الاستحلاب، إلا أنه في عملية نزع الأملاح يحطم المستحلب الاصطناعي الذي يتكون من البترول وماء غسيله.

ويتم نزع الأملاح من البترول في مصانع التكرير، بصورة أساسية، عن طريق غسل الأملاح بالماء العذب، ثم نزع الماء بعد ذلك من البترول. ويعالج البترول المحتوي على نسبة كبيرة من الأملاح بواسطة الماء مرتين أو ثلاث مرات.

وتجري عملية نزع الأملاح من البترول في وحدات نزع الأملاح بالكهرباء، أو في وحدات مركبة من وحدة كيميائية حرارية ووحدة نازعة للأملاح بالكهرباء

يتجه تياران من البترول الخام المحتوى على 2500 mg /liter - 3000 (مليجرام/ لتر) من الأملاح وحتى 5% من الماء إلى المبادلات الحرارية، حيث يسخن الخام على حساب حرارة البترول المنزوعة منه الأملاح، ثم يدخل بعد ذلك مسخنات حيث يتم التسخين بواسطة البخار المنصرف. ويتجه البترول الخارج من المسخن إلى مروق نزع الأملاح بالطريقة الكيميائية الحرارية. وتضاف مادة مانعة للاستحلاب إلى البترول الساخن قبل دخوله إلى المروق، ويمر كل تيار بصمام خلط لتوفير التلامس التام بين المادة المانعة للاستحلاب وبين البترول. ويدخل تيارا البترول الخارجان من مروقي نزع الأملاح بالطريقة الكيميائية الحرارية في المجمع الأول لنزع الأملاح بالكهرباء، ويدفع إلى كل من التيارين ماء قلوي مسخن إلى درجة 70 - 80 $^{\circ}C$ لغسل الأملاح. يتحد البترول الخارج من المجمع في تيار واحد، ليتجه إلى المرحلة الأولى لأجهزة نزع الماء بالكهرباء، ثم إلى المرحلة الثانية. ويدفع ماء قلوي في البترول المنزوعة منه الأملاح جزئياً قبل الدخول في المرحلة الثانية لأجهزة نزع الماء بالكهرباء. ويتجه البترول ـ بعد المرحلة الثانية لنزع الأملاح بالكهرباء ـ إلى وعاء تجميع.

وقد انتشر في العالم في السنوات الأخيرة استخدام الأوعية الأفقية لنزع الماء بالكهرباء التي تعمل عند درجة 135 - 150 $^{\circ}C$ وتحت ضغط يبلغ 20 - 24 $dyne/cm^2$. وتتميز هذه الأجهزة بإمكانية المحافظة على ضغوط ودرجات حرارة عالية، وكذلك بصغر ارتفاع الفصل؛ مما يوفر فصلاً أحسن للماء عن البترول.

توجد هناك عدة عمليات تعتمد عليها عملية ازالة الماء والاملاح من النفط الخام تعمل كلها على زيادة سرعة الترسيب للماء حيث تعد تطبيقاً لقانون ستوك للترسيب Sedimentation Law وكما يأتي :

$$v = k\frac{D^2(\rho_\mu - \rho_o)}{\mu} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-2)$$

حيث ان :

v = سرعة الترسيب

k = ثابت الترسيب

D = قطر قطرة الماء المستحلب

$\rho_\mu - \rho_o$ = كثافة النفط والماء

μ = لزوجة النفط

ونلاحظ ان القانون ينص على ان سرعة الترسيب تتناسب طرديا مع مربع قطر قطرة الماء المستحلب وعكسيا مع لزوجة النفط الخام، ومنه نلاحظ ان اهم طرق الترسيب تركز على هذين العاملين للحصول على كفاءة فصل عالية حيث ان زيادة حجم القطرة اي زيادة وزنها وبالتالي زيادة تأثير الجاذبية والمتمثلة بالقوة نحو الأسفل أما اللزوجة فهي بمثابة المقاومة التي تعمل على إعاقة نزول القطرة وبالتالي زيادة القوة (حجم القطرة) ونقصان المقاومة (اللزوجة) تجعل المحصلة اكبر بأتجاه عملية ترسيب سريعة وكفؤة .

اما اهم طرق الترسيب المتبعة فهي :-

1. الترسيب بفعل الجاذبية Settling By Gravity
2. التسخين Heating
3. طرق الاندماج Coalescence
4. الغسل بالماء Washing By Water

1 - الترسيب بفعل الجاذبية Settling By Gravity

عملية الترسيب تعمل على زيادة وزن القطرة من خلال زيادة حجمها لكي يكون تأثير الجاذبية اكبر عليها وبالتالي الحصول على سرعة عالية في الفصل وكفاءة عالية في فصل القطرات الصغيرة جداً

2 - التسخين Heating

تسخين النفط هو احد اهم الطرق المساعدة في زيادة سرعة الترسيب من خلال تقليل اللزوجة حيث عند زيادة درجة الحرارة تنخفض اللزوجة وبالتالي تزداد سرعة الترسيب (أي انه برفع درجة الحرارة تزداد سرعة الترسيب) وخصوصاً عندما يكون النفط الخام عالي اللزوجة .

3 - الاندماج Coalescence

ان حجم أو كتلة قطرات الماء المستحلب لها دور كبير في عملية فصل الماء عن النفط الخام بالترسيب، توجد عدة طرق للاندماج وكالاتي :

أولا - الميكانيكية Mechanical Coalescence

ثانيا - الكيمياوية Chemical Coalescence

ثالثا - الكهربائية Electrical Coalescence

وهذه الطرق تكون ذات فعالية اكبر مع درجات الحرارة المرتفعة حيث اللزوجة تصبح اقل مما يسهل عملية الخلط والدمج .

اولا - الطريقة الميكانيكية Mechanical Coalescence

وهي اقدم الطرق المتبعة للاندماج التي تتمثل باستخدام حشوة من القش توضع في وعاء الفصل وعند جريان النفط الخام ومروره من خلال الحشوة سوف تلتصق قطرات الماء بها مما يؤدي إلى تجمع القطرات وبالتالي اندماجها لتنزلق على أشرطة الحشوة بشكل قطرات كبيرة وسرعان ما تنفصل وتترسب بفعل وزنها الكبير .

ثانيا - الطريقة الكيمياوية Chemical Coalescence

وهي من الطرق التي تساعد بشكل كبير على اندماج القطرات بواسطة استخدام مواد كيمياوية تعمل على تمزيق الغشاء المحيط بالقطرات والذي يمنع اندماجها ، وتستخدم هذه الطريقة مع المستحلب المائي الدائم .

هذه المواد تدعى بكاسرات الاستحلاب ولها تأثير كبير حيث تدخل بين طبقة الماء والنفط الخام لتتفاعل مع مادة الغشاء الفاصل وتكسرها مما يسمح باندماج القطرات. الوقت وكفاءة الخلط ترفع فاعلية هذه المواد.

كاسرات الاستحلاب

وهي مواد كيمياوية ذات طبيعة أيونية أو متعادلة تضاف إلى النفط الخام بنسب معينة بحيث تؤدي إلى كسر الغشاء الفاصل بين النفط والماء وبالتالي سهولة دمج القطرات .

وهي على ثلاثة أنواع :

1. كاسرات استحلاب ذو طبيعة أيونية موجبة Anionic
2. كاسرات استحلاب ذو طبيعة أيونية سالبة Cationic
3. كاسرات استحلاب ذو طبيعة متعادلة Nonionic

ان هذا التنوع في كاسرات الاستحلاب يعود إلى التنوع في التركيب الكيمياوي للغشاء المحيط بقطرات الماء ولهذا يجب إجراء فحوصات مختبرية لتحديد الطبيعة الأيونية للغشاء حتى تضاف اليه مواد ذات طبيعة أيونية مضادة. وتضاف هذه المواد بتراكيز قليلة جداً وعلى الأغلب عند رأس البئر في الحقول النفطية أو عند منطقة قريبة من الخزان الرئيسي في المصفى لضمان الخلط المتجانس للمادة وإطالة زمن الخلط لزيادة كفاءة الفصل.

ثالثا - الطريقة الكهربائية Electrical Coalescence

ان لهذه الطريقة تأثيراً كبيرا على القطرات الصغيرة جدا مقارنة بالطرق الأخرى للاندماج ، وتتضمن الطريقة تسليط مجال كهربائي عالي الفولتية يصل أحيانا إلى (30000 V) وبتردد متغير على النفط الخام بواسطة أقطاب تغمر فيه، حيث يعمل الجهد العالي على حث القطرات كهربائياً لتكتسب

شحنة كهربائية تجعل القطرات تصطف في صفوف منتظمة مع خطوط المجال الكهربائي ونتيجة لذلك فان القطرات المستقطبة الموجبة والسالبة تندمج مع بعضها البعض مكونة قطرات اكبر تترسب بسهولة بفعل وزنها الكبير ويعمل التغير في التردد الكهربائي على جعل القطرات الصغيرة جداً تتحرك لمسافة اكبر من القطرات الكبيرة مما يسهل اندماجها مع القطرات الكبيرة.

4 - الغسل بالماء Washing by Water

الغرض من العملية هو تقليل التركيز الملحي في النفط الخام إلى المستوى المطلوب حيث يعمل الماء النقي على استخلاص اكبر كمية ممكنة من الأملاح في الماء المستحلب المتبقي في النفط الخام. وللحصول على نتائج جيدة يجب تجنب الخلط الشديد أو الهبوط الشديد في الضغط الذي يسبب اضطراباً شديداً في الجريان الذي يؤدي إلى استحلاب ماء.

يضاف الماء بكميات كبيرة إلى النفط الخام في حالة وجود بلورات ملحية صلبة عالقة في النفط لغرض إذابتها والتخلص منها، كما يجب إضافة الماء النقي بعد إضافة كاسرات الاستحلاب وذلك لكي يتم دمج قطرات الماء المستحلب المعالجة بكاسرات الاستحلاب بالماء النقي المضاف إلى النفط الخام. في المصافي يتم إزالة الماء والأملاح من النفط الخام باستخدام الطرق السابقة مجتمعة في وحدة واحدة تدعى بوحدة إزالة الماء والأملاح، ويمكن معالجة النفط الخام بأكثر من وحدة على التوالي لمرحلتين أو ثلاثة اعتماداً على نسبة الماء والأملاح في النفط الخام، وفي النهاية يمكن الحصول على نفط خام يجب ان لا تزيد نسبة الأملاح فيه على باوند واحد لكل الف برميل 1lb/1000 br .

2 – 13 عمليات تكرير النفط الخام Crude Oil Refining Processes

2– 13 – 1 العمليات الفيزياوية/ عمليات الفصل:

Physical Processes/ Separation Processes

1 - التقطير Distillation

عملية فصل خليط من السوائل الذائبة في بعضها (Miscible Liquids) وذلك برفع درجة الحرارة للخليط حيث يتطاير بعضها قبل الأخر اعتمادا على الفرق في درجات الغليان أو الفرق في الضغوط البخارية. وهنالك أنواع من التقطير حسب نوع الخليط وبما ان النفط الخام هو خليط معقد من عدة مركبات ، فانه يستخدم التقطير التجزيئي (Fractional) للحصول على منتجات مختلفة حسب الفرق في درجة الغليان.

2 - الامتصاص Absorption

هي عملية فصل خليط من الغازات بواسطة سائل مذيب يستطيع إذابة احدها ويمكن استرجاع المذيب بعد ذلك بعملية عكسية تسمى النزع Stripping or Desorption باستخدام البخار أو الهواء الساخن. ويستخدم الامتصاص في مصافي النفط في فصل الغازات ذات الخطورة والضرر والتركيز العالي نسبياً

مثل غاز كبريتيد الهيدروجين وثاني أوكسيد الكربون من الغازات البترولية بمذيبات مثل المحاليل الأمينية Amine Solutions أو كربونات البوتاسيوم (K_2CO_3) ويتم الامتصاص عادة في أبراج.

3 - الامتزاز Adsorption

عمليات فصل بقايا المواد ذات التركيز الواطئ التي لا تزال موجودة في خليط معين وتسبب تغيرا في لونه أو رائحته أو تسبب عدم استقرار مكوناته بواسطة مواد صلبة مسامية يتم امتزاز هذه البقايا على سطوح وفي مسامات هذه المواد الصلبة .

واهم المواد الصلبة المستخدمة في عمليات الامتزاز هي الكربون المنشط Activated Carbon والسلكا جل Silica Gel والمناخل الجزيئية Molecular Sieves وهي مواد مصنوعة من الزيولايت Zeolites على هيئة مناخل Sieves بها فتحات صغيرة جدا تستطيع احتجاز بعض الجزيئات فوقها وتمرر الأخرى أي أن هذه الفتحات قطرها يتناسب مع جزيئات المواد المراد امتزازها.

وتستخدم عمليات الامتزاز في المعالجة النهائية للكازولين والكيروسين وزيوت التزييت وغيرها، وذلك لفصل المواد الملونة والرطوبة والشوائب الأخرى الموجودة بنسب صغيرة جدا. ويتم الامتزاز عادة في أبراج.

2– 13 – 2 العمليات الكيمياوية/ عمليات التحويل

Chemical Processes/ Conversion Processes

تخضع المشتقات النفطية الناتجة من تكرير النفط الخام إلى عدد من العمليات التي تهدف إلى تحسين نوعيتها عند الاستخدام في رفع كفاءة عمل المحركات في السيارات مثلا. ومن هذه العمليات:

1- عملية التكسير Cracking Processes

عند تسخين مركب برا فيني (ذي سلسلة كاربونية طويلة) بدرجة حرارة عالية فانه يتكسر إلى عدد من المركبات البرافينية (ذات السلاسل الصغيرة) وهي مواد خفيفة بخصائص احتراق افضل، مثل هذا التكسير يسمى بالتكسير الحراري Thermal Cracking ويمكن الإسراع بمعدل التكسير إذا تمت العملية في وجود عامل مساعد وتسمى عندئذ التكسير بالعامل المساعد Catalytic Cracking وإذا تم التكسير في وجود الهيدروجين أيضا تسمى العملية بالتكسير الهيدروجيني Hydro cracking .

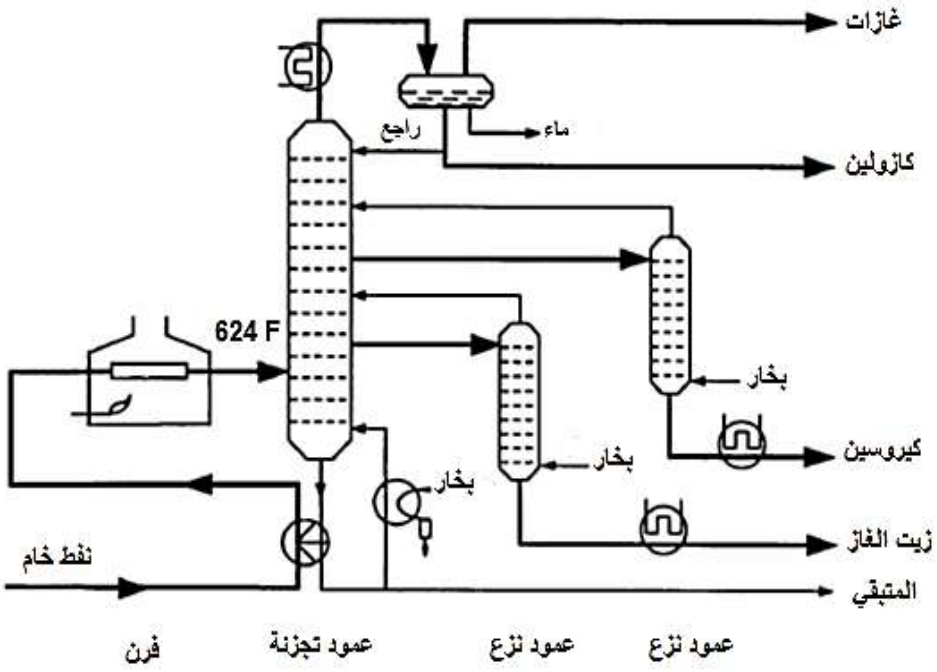
2- عمليات التهذيب بالعامل المساعد Catalytic Reforming Processes:

عملية إعادة تشكيل جزيئات بعض المركبات إلى ترتيب جزيئي آخر تنتج مواد ذات خواص أفضل . فمثلا يمكن تحويل البرافينات المستقيمة إلى برافينات متفرعة ذات عدد أوكتاني أعلى ، ويمكن تحويل النفثينات إلى مواد اروماتية أفضل .وهذه عمليات كيمياوية تتم في وجود عوامل مساعدة وحرارة مرتفعة وضغط عالي وتستخدم في المصافي في تحويل النفثا الثقيلة الناتجة من وحدة التقطير الجوي إلى نفثا عالية الجودة أي ذات عدد أوكتاني مرتفع .

2 – 13 – 3 عمليات المعالجة والتنقية Treating and purification Processes

النفط الخام المثبت يدخل إلى وحدات المعالجة لغرض تجزئته إلى المشتقات النفطية في عدد من عمليات التقطير الآتية :

أولا - التقطير الابتدائي أو الجوي Atmospheric Distillation



شكل (2 – 4) مخطط التقطير الجوي للنفط الخام

يتم تسخين النفط الخام في فرن Fired heater لتصل درجة حرارته إلى حوالي (624 ^{o}F) وهي درجة كافية لتبخير مكونات البترول الخفيفة والمتوسطة وجزء آخر من المواد الثقيلة قد يصل إلى (20 %) منها. ثم يدخل الخام الساخن إلى برج التقطير، وهو عبارة عن أسطوانة تحتوي على عدد من الصواني يتراوح بين (30-50 Plates) متدرج حراريا. وينفصل الخام في هذا البرج حسب الكثافة، كما في الشكل (2 – 4) إلى حوالي المنتجات الآتية :

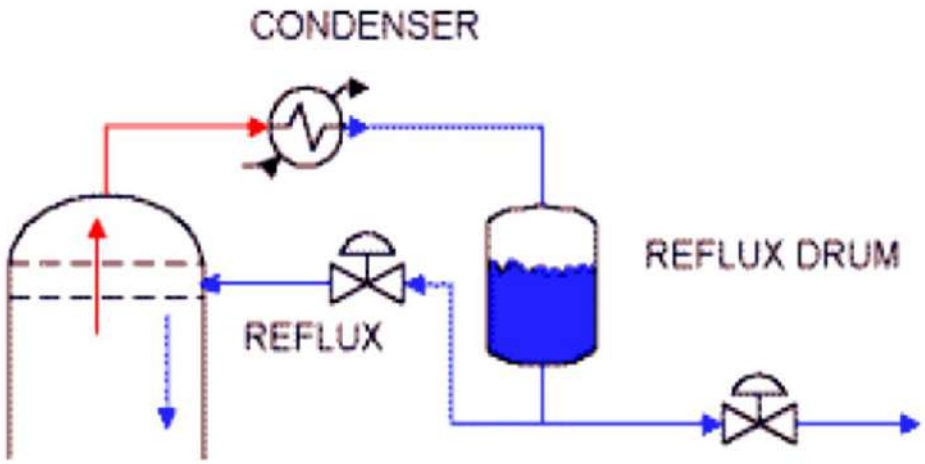
1 - الغاز من اعلى البرج (Gas)
2 – النفثا (المادة الأولية للبنزين) (Naphtha)
3 - الكيروسين (وقود التدفئة) (Kerosene)
4 - الديزل الخفيف (Light Diesel)
5 - الديزل الثقيل (Heavy Diesel)
6 - النفط المختزل (المتبقي) (Reduced Crude (Residue)) من اسفل البرج

ثانيا - التقطير الفراغي Vacuum Distillation

تتم تجزئة النفط المختزل Reduced Crude تحت ضغط التفريغ (اقل من الضغط الجوي) لأن عملية تقطير المواد الثقيلة في برج ا لتقطير الجوي تتطلب التسخين إلى درجات حرارة عالية جدا أعلى من 350 $^{\circ}C$ مما يسبب تكسير المركبات المكونة له وتكوّن طبقات من الفحم في أنابيب الفرن وتجرى العملية في أبراج خاصة يكون ذات قطر كبير في نصفه السفلي والجزء العلوي يكون ذي قطر اقل. ويكون الضغط فيه بحدود 0.3-0.4 $dyne/cm^2$ علما أن الضغط الجوي الاعتيادي هو 1 $dyne/cm^2$ ودرجة حرارة قمة البرج بحدود (150 ^{o}F) واسفل البرج (620 ^{o}F). الضغط الفراغي داخل البرج يتم توليده بواسطة مولدات الفراغ Steam Ejectors وبوجود المكثفات البارومترية Barometric Condenser.

ثالثا - التقطير ببخار الماء Steam Distillation

يضخ بخار الماء من أسفل البرج ليعمل على انتزاع أي بقايا خفيفة مع المشتقات الثقيلة، وكذلك يعمل البخار على تخفيض درجة الغليان. ويتم إحداث التدرج الحراري في البرج بإزالة معظم الحرارة من المنتج عند قمة البرج وذلك بسحبه من البرج ودفعه إلى المكثف Condenser حيث يبرد وتتكاثف الأبخرة في هذا المنتج وتتحول إلى سائل يعاد جزء منه إلى البرج فوق صينية القمة ويسمى هذا الجزء بالراجع (Reflux) ويسحب الجزء الباقي كمنتج، كما في الشكل (2- 5).



شكل (2-5) التقطير ببخار الماء

2 – 13 – 3 – 1 أبراج الانتزاع Stripping Towers

تلحق ببرج التقطير الجوي أبراج تثبيت المنتجات الجانبية (النفثا والكيروسين وزيوت الغاز (الديزل) تسمى أبراج النزع الجانبية Side stream strippers وهي أبراج ذات صواني يحتوي كل منها على حوالي (4-10 plates) يتم فيها نزع المواد الخفيفة من المنتجات بواسطة بخار مباشر.

الجدول أدناه يبين القطفات النفطية التي تنتج من عملية التقطير ومدى درجات الحرارة لكل منها:

جدول (2 – 1) القطفات النفطية ومدى درجات الحرارة لكل منتج

درجة الحرارة C°	القطفة
اقل من 32	بيوتان والاخف
105-32	النفثا الخفيفة (وقود السيارات البنزين)
150-105	النفثا الثقيلة
235-150	الكيروسين
425-235	زيت الغاز بنوعيه (الخفيف والثقيل)
425- واعلى	مخلفات برج التقطير الجوي

2 – 13 – 4 معدات وحدات التقطير Distillation Units Equipment

يتبين من العرض السابق إن هناك معدات كثيرة تستخدم في جميع العمليات التي تشتمل عليها وحدات تقطير النفط الخام وأهم هذه المعدات هي :

2 – 13 – 4 – 1 الخزانات Storage Tanks

تقسم الخزانات المستخدمة في مصافي النفط على أساس الضغط المتوقع لمحتويات الخزان وكما يأتي :

(1) خزانات جوية (Atmospheric pressure tanks) لتخزين المواد عند الضغط الجوي وتستخدم للنفط الخام والزيوت وبنزين السيارات.

(2) خزانات ضغوط منخفضة (Low pressure tanks): الضغوط المنخفضة أقل من الضغط الجوي بمقدار (2.5 psig) ومعظم هذه الخزانات أسطوانية الشكل، وتصلح لجميع المواد البترولية ما عدا الغاز الطبيعي .

(3) خزانات ضغوط متوسطة (Medium pressure tanks): تتراوح الضغوط المتوسطة بين (2.5-15 psig) أعلى من الضغط الجوي، وتستخدم خزانات أسطوانية أو كروية الشكل لتخزين البيوتان والغازات المسالة.

(4) خزانات ضغوط مرتفعة (High pressure tanks) : كروية الشكل لتخزين المواد الخفيفة مثل البروبان والإيثان والغاز الطبيعي وسوائل الغاز الطبيعي (LNG) حيث تكون ضغوط هذه المواد أعلى من الضغوط المتوسطة.

2 – 13 – 4 – 2 المضخات Pumps

تستخدم مصافي النفط أنواعاً متعددة من المضخات حسب طبيعة المواد التي يتم ضخها في مناطق مختلفة من وحدات التكرير ومن هذه الأنواع :

1- المضخة الطاردة المركزية Centrifugal pumps.

2- المضخات الدوارة Rotary pumps.

3- مضخات ترددية بخارية Reciprocating steam pumps .

2 – 13 – 4 – 3 المبادلات الحرارية Heat Exchangers

معدات وظيفتها الأساسية هي تبادل الحرارة بين مائع ساخن يراد تبريده وآخر بارد يراد تسخينه، وذلك للاستفادة من الطاقة بأفضل صورة ممكنة. ويسمى المبادل الحراري مكثفا Condenser إذا كان المائع المراد تبريده بخارا وتحوله إلى سائل. واهم أنواع المبادلات الحرارية المستخدمة في المصافي هي كالاتي :

1- المبادلات ذات الغلاف والأنابيب (Shell and tubes H .E) : عبارة عن حزمة من الأنابيب محاطة بغلاف خارجي تجري المادتان الساخنة والباردة كل على حدة ويتم التبادل الحراري عبر جدران الأنابيب.
2- المبادلات مزدوجة الأنابيب (Double pipe H.E) : عبارة عن أنبوبين متداخلين تمر المادتان الساخنة والباردة كلاً على حدة ويجري التبادل الحراري عبر جدار الأنبوب الداخلي .
3- مبادلات اللوح والزعنفة (Plate-Fin H.E) : عبارة عن حزمة أنابيب تحتوي على زوائد بشكل لوح تسمى الزعانف لتساعد على توفير مساحة اكبر لنقل الحرارة.

وهناك مبادلات حرارية تستخدم في إعادة غلي السوائل الثقيلة التي تسحب من اسفل أبراج التقطير وتسمى هذه المبادلات معيد الغليان Reboiler .

2 – 13 – 5 المعالجة الهيدروجينية Hydro Treating Process

في هذه العمليات يتم التخلص من الكبريت والنتروجين والأوكسجين والكلوريدات بمعالجة المنتجات النفطية بالهيدروجين، ويمكن التخلص أيضا من الفلزات الثقيلة، وهي التي تسبب تسمماً للعوامل المساعدة. وإذا كانت المعالجة للتخلص من الكبريت فقط سميت العملية Hydrodesulferization (HDS). كذلك يستخدم الهيدروجين في عمليات المعالجة لتحويل الهيدروكربونات غير المشبعة (لديها أواصر مزدوجة وثلاثية) مثل الاولفينات وهي المواد المكونة للصمغ إلى برافينات مستقرة.

ميكانيكية التفاعل Mechanism of Reaction

يستبدل الهيدروجين خلال سلسلة تفاعلات بدلا عن الكبريت والنتروجين والأوكسجين في المركبات الهيدروكربونية التي تخرج على هيئة غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والأمونيا (NH_3) وبخار الماء. ويتم أيضا التخلص من الكلوريدات على هيئة غاز كلوريد الهيدروجين (HCl) . والهيدروجين أيضا يعمل على تشبع الهيدروكربونات غير المشبعة وعلى تكسير البرافينات الكبيرة فيما يسمى بالتكسير الهيدروجيني أي التكسير في وجود الهيدروجين Hydro cracking.

1- إزالة الكبريت Desulphurization :

يتفاعل الهيدروجين مع الميركابتانس (RSH) والكبريتيدات (R-S-R) والداي كبريتيدات (RSSR) والثايوفين (C_4H_4S) كما يلي :

$$RSH + H_2 \rightarrow RH + H_2S$$
$$RSR + 2H_2 \rightarrow 2RH + H_2S$$
$$RSSR + 3H_2 \rightarrow 2RH + 2H_2S$$

2- إزالة النتروجين Denitrogenation :

حيث يتفاعل الهيدروجين مع نيتروجين البايرول (C_4H_4NH) والبريدين (C_5H_5N) وينطلق على هيئة امونيا .

$$C_4H_4NH+4H_2 \rightarrow C_4H_{10}+NH_3$$
$$C_5H_5N+5H_2 \rightarrow C_5H_{12}+NH_3$$

3- إزالة الأوكسجين Deoxidation :

يتحد الهيدروجين مع الأوكسجين في مركبات مثل الفينول (C_6H_5OH) والبيروكسيدات ($C_7H_{13}OOH$) وينطلق على هيئة بخار وماء .

$$C_6H_5OH+H_2 \rightarrow C_6H_6+H_2O$$
$$C_7H_{13}+3H_2 \rightarrow C_7H_{16}+2H_2O$$

4- إزالة الهالوجينات Dehalogenation :

حيث يتحد الهيدروجين مع الهالوجين في مركباته الموجودة في الزيت ويخرج على هيئة غاز كلوريد الهيدروجين .

$$RCl+H_2 \rightarrow RH+HCl$$

5- الهدرجة Hydrogenation :

في هذا التفاعل يتم تشبيع المركبات غير المشبعة مثل البنتين (C_5H_{10}) .

$$C_5H_{10}+H_2 \rightarrow C_5H_{12}$$

2–13–5–1 وحدة تحسين بنزين السيارات (التهذيب بالعامل المساعد) Catalytic Reforming

التهذيب (إعادة التشكيل) هو احد أهم عمليات التحويل التي تتم في مصافي النفط لإنتاج كازولين عالي الجودة يتراوح العدد الاوكتاني له من (90-100) من النفثا الناتج من وحدة التقطير الجوي . ويعتبر هذا النوع من بنزين السيارات المسمى ببنزين السيارات المحسن Reformat متطلبا أساسيا لأنواع السيارات المستخدمة حاليا. يتم إعادة ترتيب جزيئات النفثا التي تكون معظمها من برافينات مستقيمة (40%) ونفثينات (50%) إلى برافينات متفرعة ومواد اروماتية تصل نسبتها إلى حوالي (55%) وهي بالطبع ذات أوكتان أعلى بكثير من البرافينات المستقيمة والنفثينات.

ميكانيكية التفاعل Mechanism of Reaction

هناك أربعة تفاعلات رئيسية هي :

أولا - تفاعلات إزالة الهيدروجين Dehydrogenation

وفيها يتم تحويل النفثينات (المركبات الحلقية المشبعة) إلى مواد اروماتية وينتج عن ذلك هيدروجين، مثل :

Methyl Cyclohexane → Toluene + Hydrogen

ثانيا - إزالة الهيدروجين مع تكون حلقة المواد الاروماتية DehydroCyclization
وفيها يتم تحول البرافينات المستقيمة إلى مواد اروماتية وينتج الهيدروجين .

$$n\text{-Heptane} \rightarrow \text{Toluene} + 4H_2$$

ثالثا - تفاعلات الأزمرة Isomerization :
وفيها يتم تحويل البرافينات المستقيمة إلى برافينات متفرعة ذات عدد أوكتان أعلى .

$$C_6H_{14} \rightarrow (CH_3)_2\text{-}CH\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_3$$
n-hexane iso-hexane

3– 13 – 5 – 2 العوامل المساعدة في عمليات التهذيب

Processes Catalysts in Reforming

يعتبر البلاتين المحمول على السليكا أو السليكا- ألومينا أشهر العوامل المساعدة المستخدمة في عمليات التهذيب حاليا . وأحيانا يضاف الرينيوم إلى البلاتين. ويعتبر البلاتين مسؤولا عن تحفيز تفاعلات الهدرجة وكذلك تفاعلات إزالة الهيدروجين بينما تتم تفاعلات الأزمرة والتكسير الهيدروجيني بمساعدة الالومينا المكلورة Chlorinated Alumina ويزداد نشاط العامل المساعد كلما زادت كمية البلاتين والكلور وحجم المسامات ويقل النشاط بترسب الكوك في المسامات وعلى سطح البلاتين وبفقد الكلور، ويمكن للعوامل المساعدة أن تستمر لمدة تتراوح بين ستة شهور وعامين قبل التنشيط. ويتم التنشيط بأكسدة الكربون.

2 – 13 – 5 – 3 وصف عملية التهذيب بالعامل المساعد

تعالج النفثا الثقيلة الداخلة إلى عملية التهذيب لإزالة المركبات الكبريتية والاوكسجينية والنيتروجينية والفلزات الثقيلة في وحدة المعالجة بالهيدروجين Hydrotreating حيث تعمل وحدة التهذيب بين (180 – 375 ^oF). تنقسم عمليات التهذيب إلى ثلاثة أنواع وكما يأتي :

1 - عملية التهذيب المستمرة : تجرى في مفاعل يسمح باستبدال العامل المساعد أثناء التشغيل وتنشيطه باستمرار بحيث لا يفقد نشاطه خلال العملية، وتعتبر هذه العملية ذات كفاءة عالية إلا إنها مكلفة جدا.
2 - العملية نصف التنشيطية: تتم التفاعلات باستمرار بدون استبدال العامل المساعد حتى يفقد نشاطه في مدة تتراوح بين ثلاثة أشهر وسنتين، وتعتبر هذه الطريقة اقل تكلفة من الأولى بكثير.
3 - العملية الدوارة: يكون هناك مفاعل احتياطي مملوء بالعامل المساعد النشيط، فإذا حدث انخفاض في نشاط العوامل المساعدة في احد المفاعلات الرئيسية استبدل بالمفاعل الاحتياطي هذا بدون إيقاف أو عزل الوحدة كلها لحين إعادة تنشيط العامل المساعد في المفاعل الرئيسي.

وعادة تحتاج هذه التفاعلات إلى ثلاثة مفاعلات وثلاثة أفران غير انه يمكن استبدال الأفران الثلاثة بفرن واحد كبير يحتوي على ثلاثة أجزاء كل منها به ملفات تسخين خاصة بمفاعل واحد.

ثم تبرد نواتج التفاعل ويفصل الهيدروجين ويعاد جزء منه ليخلط بالمادة المغذية الجديدة وأما الهيدروجين الفائض فيمكن استخدامه في عمليات المعالجة الهيدروجينية وأما النواتج الهيدروكربونية فتفصل في برج تجزئة إلى النواتج المطلوبة.

2 – 13 – 5 – 4 التكسير الحراري Thermal Cracking

تكون المواد المتخلفة عن عملية التقطير الفراغي ثقيلة وذات لزوجة عالية مثل الإسفلت والقار والفحم والصمغ Gum والراتنجات Resins وهذه تتجمع في ملفات التسخين في أفران التكسير وتترسب على جدرانها وتنخفض معدلات انتقال الحرارة مما يؤدي إلى تكسرها.

وبسبب مشاكل تفحم الزيوت في الأفران وانسداد أنابيبها والحاجة المستمرة لاستبدالها ، لم تعد عمليات التكسير الحراري تستخدم بهدف تحويل المنتجات الثقيلة إلى كازولين حيث استبدلت بالتكسير بالعامل المساعد Catalytic Cracking التي يجب أن تكون المادة المعالجة فيها نظيفة ، أي لا تحتوي قدر الإمكان على مواد ثقيلة تسبب تسمم Poisoning العوامل المساعدة.

وللوصول إلى هذا الهدف فان المخلفات الثقيلة يمكن معالجتها أولا في عمليات تكسير حراري خاصة للتخلص مما تحتويه من مواد صلبة ، قبل معالجتها بالعامل المساعد ومن هذه العمليات :

1- التفحيم البطيء Delayed Coking

تصلح هذه العملية لمعالجة المخلفات الثقيلة الناتجة من التقطير الفراغي والقار الحراري Thermal Tars، وتتم العملية ببطء حتى يتوفر الوقت الكافي لتحويل القار والمواد الصمغية والإسفلتية إلى كوك (فحم) ، وينتج عن التكسير أيضا كميات من الكازولين وزيت الغاز. ويعتبر زيت الغاز هو المنتج الرئيسي المطلوب كمادة مغذية لعمليات التكسير بالعامل المساعد.

ولا يتم التكسير الحراري في ملفات التسخين في الفرن حتى لا يؤدي إلى انسدادها ولكنه يتم بعد خروج الشحنة من الفرن في أسطوانات خاصة واسعة تسمى أسطوانات الكوك Coke Drums.

2- تخفيض اللزوجة Viscosity Breaking

ان أهم استخدام لزيوت الوقود هو كمصدر للطاقة في الأفران غير أن اللزوجة العالية لهذه الزيوت تجعل ضخها إلى الأفران واحتراقها في المواقد صعبا للغاية .

ويتم تخفيض لزوجة هذه الزيوت بعملية تسمى (Visbreaking) وهي عملية تكسير حراري بدرجة ضعيفة ينتج عنها كميات بسيطة من الغازات والكازولين وزيت الغاز، غير أن هذه المنتجات ليست مقصودة لذاتها، ويمكن فصلها عن زيت الوقود الناتج من التكسير ذو اللزوجة المنخفضة.

2 – 13 – 5 – 5 التكسير بالعامل المساعد Catalytic Cracking

أن خلط المادة المغذية لوحدة التكسير بكميات من مواد ترابية من نوع Fullers earth يرفع معدل التفاعلات بدرجة كبيرة ويؤدي إلى إنتاج كميات من الكازولين عالي الأوكتان. مثل هذه المواد تسمى العوامل المساعدة Catalysts غير إن هذه المواد سرعان ما تغطيها البقايا الثقيلة والقطران والفحم فتفقد نشاطها وفعاليتها. ويمكن إعادة تنشيطها Regeneration وذلك بمعالجتها بالهواء الساخن الذي يؤكسد المواد العضوية المترسبة عليها ويحولها إلى بخار ماء وثاني أوكسيد الكربون وتتطاير .

2– 13 –6 العوامل المساعدة المستخدمة في التكسير

Catalysts used in Catalytic Cracking

تنقسم العوامل المساعدة المستخدمة في عملية التكسير بالعامل المساعد إلى ثلاثة أقسام :

أولا - سيليكات الألمنيوم الطبيعية Natural Aluminum Silicates :

وهي مواد طبيعية، ولكن يجب معالجتها بالأحماض قبل استعمالها حتى يتم تنظيف مساماتها وتستهلك هذه المواد بسرعة وتحتاج إلى تجديد نشاطها لمرة واحدة أو اثنين ثم تستبدل بعد ذلك.

ثانيا - السليكا- ألومينا المصنعة غير المتبلمرة Amorphous Synthetic Silica-alumina

ثالثا - السليكا- ألومينا المصنعة المتبلمرة Crystalline Synthetic Silica- alumina :

وتسمى أيضا الزيولايت Zeolites أو المناخل الجزيئية Molecular Sieves وهي مواد اصطناعية مساماتها تعادل حجم جزيئات المواد المراد إزالتها أو اصغر ولها القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية، ونشاطها كبير بالإضافة إلى عدم احتياجها للتنشيط إلا بعد فترات طويلة، ويمكن استخدامها بعد تنشيطها عدد من المرات قبل استبدالها.

ميكانيكية التفاعلات Mechanism of Reactions

تكون التفاعلات بالصيغ التالية:

Paraffin → Paraffin + Olefin	البرافينات الكبيرة
Alkyl naphtenes → Naphthenes + Olefins	النفثينات
Alkyl aromatics→ Aromatics + Olefins	المواد الاروماتية

ثم أن هذه النواتج تتعرض لتفاعلات أخرى كما يلي :

$Naphthenes \rightarrow Aromatics + H_2$

$Olefins + H_2 \rightarrow Paraffin's$

$Olefins + Olefins + H_2 \rightarrow Iso\text{-}Paraffins$

$Olefins + Paraffin's \rightarrow Iso\text{-}Paraffins$

$Iso\text{-}paraffins \rightarrow Aromatics + H_2$

ومعظم نواتج هذه التفاعلات تكون في مدى بنزين السيارات (C5-C8) ومعظمها مواد اروماتية أو برافينات متفرعة وكلها ذات رقم اوكتان مرتفع .

3– 13 – 6 – 1 متغيرات التكسير بالعامل المساعد

Variables of Catalytic Cracking Process

أهم المتغيرات في عملية التكسير بالعامل المساعد هي درجة الحرارة ونسبة العامل المساعد إلى الزيت ونشاط العامل المساعد. وأما الضغط فهو في العادة يتراوح بين (15-20 psig) وتتراوح درجة حرارة التفاعل بين (850-950 ^{o}F) وتقدر نسبة العامل المساعد إلى الزيت (Catalyst/Oil ratio) بكمية العامل المساعد بالباوند لكل باوند من شحنة المادة المغذية ويمكن أن تقدر بكمية العامل المساعد بالباوند لكل برميل من المادة المغذية.

2 – 13 – 6 – 2 التكسير الهيدروجيني Hydro cracking

ان عملية التكسير الهيدروجيني لا تقل تعقيدا عن تفاعلات التكسير بالعامل المساعد ويعتبر كل منهما مكملا للآخر، فوجود العوامل المساعدة في هذه العملية يؤدي إلى تكسير البرافينات والنفثينات والمواد العطرية وينتج عنها مركبات من نفس النوع ولكنها اصغر من حيث عدد ذرات الكربون علاوة على كمية كبيرة من الاولفينات. ويعمل الهيدروجين الموجود على تشبع هذه الاولفينات وتكوين برافينات. وكذلك يعمل الهيدروجين أيضا على تشبع المركبات الاروماتية ثلاثية الحلقات وعندما تتكسر هذه الحلقات تعطي نفثينات ومواد اروماتية أحادية الحلقة وأكثر قيمة من ثلاثية الحلقات .

3– 13 – 6 – 3 العوامل المساعدة في التكسير الهيدروجيني

Catalysts in Hydrocracking Process

يعتمد نوع العوامل المساعدة المستخدمة في عمليات التكسير الهيدروجيني على نوع المادة المغذية ومواصفات المنتجات المطلوبة. ومعظم هذه العوامل تتكون من خليط من السليكا – ألومينا المتبلمرة وتحتوي على كميات صغيرة من العناصر الأرضية النادرة (Rare earth metals) موزعة بانتظام في البلورات، وتقوم السليكا ألومينا بتحفيز تفاعلات التكسير بينما العناصر الأرضية تكون مسؤولة عن تحفيز تفاعلات الهدرجة. واهم العناصر الأرضية المستخدمة هي البلاتين (Pt) والبلاديوم (Pd) والتنكستن (W) والنيكل (Ni) .

2 – 13 – 6 – 4 العوامل التي تؤثر على التكسير الهيدروجيني

تتأثر عملية التكسير الهيدروجيني بالعوامل الأتية :

1 - درجة الحرارة: تتراوح درجات الحرارة في المفاعل بين (650-850 ^{o}F) وتستخدم درجة الحرارة كوسيلة للتحكم في نسبة النواتج وعمر العامل المساعد.

2 - الضغط: تتراوح الضغوط المستخدمة في المفاعل بين (1500-3000 psi) وقد تكون اقل من ذلك بكثير في العمليات غير القياسية حيث يصل الضغط إلى حوالي (600 psi) .

3 - تركيز النتروجين في الشحنة: تتأثر العوامل المساعدة كثيرا بوجود النتروجين في الشحنة المعالجة لذلك تعالج المادة المغذية عادة في وحدة تنقية هيدروجينية قبل ضخها إلى وحدة التكسير الهيدروجيني .

4- وجود كبريتيد الهيدروجين (H_2S): إن وجود كبريتيد الهيدروجين بنسب صغيرة في المادة المغذية يمنع تشبع المواد الاروماتية وتحولها إلى نفثينات وبذلك يحافظ على كمية الهيدروجين وعلى جودة الكازولين الناتج . وأما في حالة إنتاج الكيروسين ، فان وجود كبريتيد الهيدروجين يؤدي إلى وجود نسبة عالية من المواد الاروماتية فيه. وعموما فكلما ارتفعت نسبة كبريتيد الهيدروجين في الشحنة يؤدي إلى تآكل المعدات بمعدلات كبيرة.

2 – 13 – 7 الفحوصات المختبرية للزيوت الخفيفة

هناك فحوص وتحاليل مختبريه للمنتجات الخفيفة الغرض منها هو السيطرة على نوعية الإنتاج في جميع مراحله إلى أن تصبح جاهزة للتسويق واهم هذه الفحوصات :

1- العدد الاوكتاني : Octane Number

وهو أهم فحص يجري على الكازولين، وهو عبارة عن مؤشر لما قد يحصل في محرك السيارة من انفجار لمزيج الكازولين والهواء (فرقعة) Knocking أثناء الاحتراق .وهذه الظاهرة مضرة بالمحرك وتقلل من كفاءة الاحتراق ويجب تجنبها وحدوث هذه الظاهرة لها علاقة مباشرة بالطبيعة التركيبية للمواد الهيدروكربونية في الكازولين. وذلك يحدد بالعدد الاوكتاني الذي تم وضعه من قبل العالم كراهام أوكار. والخواص الاحتراقية لأي مركب من المركبات التي توجد في خليط البنزين تقدر عن طريق المقارنة مع نسب معينة من خليط الايزواوكتان ذو العدد الاوكتاني (100) والبنتان الاعتيادي ذو العدد الاوكتاني (صفر). لذلك يكون العدد الاوكتاني للوقود تحت الاختبار مساويا للنسبة المئوية للايزواوكتان في خليط الايزواوكتان والهبتان الاعتيادي الذي يعطي خواص احتراقية مشابهة بالضبط للخواص الاحتراقية للوقود تحت الاختبار.

الطريقة المختبرية لتحديد العدد الاوكتاني

ويتم بواسطة محرك قياس ذات الأسطوانة الواحدة Single-Cylinder test engine وهناك طريقتان لقياس العدد الاوكتاني .

أولا - طريقة البحث Research method

في هذه الطريقة يقارن الكازولين المراد اختباره بخليط معروف من الايزواوكتان والهبتان ويستخدم لذلك محرك سيارة ذات سرعة 600 rpm أي أنها تمثل سيارة تتحرك في شوارع المدن الداخلية حيث السرعة منخفضة ويسمى رقم الاوكتان المعين بهذه الطريقة RON ومن المعلوم ان رقم الاوكتان للكازولين العادي يتراوح بين RON 94-90 وللممتاز بين RON 99-96 .

ثانيا - طريقة المحرك Motor method

وتتم المقارنة هنا باستخدام ماكنة ذات سرعة 900 rpm أي إنها تمثل أداء السيارة في الشوارع الرئيسية – خارج المدن – حيث تكون السرعة عالية، ويسمى رقم الاوكتان المعين بهذه الطريقة MON.

والفرق بين الطريقتين إن الأولى تعكس حالة الكازولين في السرع الاعتيادية والثانية تعكس حالة احتراق الكازولين في ظروف السرع المتزايدة.

2- العدد السيتاني Cetan Number

عبارة عن النسبة المئوية لكمية السيتان $C_{16}H_{34}$ في خليط السيتان (100) والالفا مثيل نفثالين (صفر) التي تعطي نفس خاصية الاحتراق الذاتي لزيت غاز (ديزل) معين ويعتمد جزئيا على نسبة المواد البرافينية والنفثينية والعطرية والاولفينية (P.O.N.A) الموجودة في الوقود المستعمل في محركات الديزل.

الطريقة المختبرية لقياس العدد السيتاني

وتتم باستعمال محرك قياس خاص وعند عدم توفر المكائن الخاصة (محرك القياس) تستعمل معادلة خاصة لاحتساب معامل الديزل بدلا من العدد السيتاني :

معامل الديزل = (درجة معهد البترول الأمريكي / 100) * درجة الانلين (°F)

وارتفاع معامل الديزل في الوقود يشير إلى ارتفاع العدد السيتاني . وكمثال للعدد السيتاني :

a- زيت الديزل لمحركـــات الديزل البطيئة السرعة يكون العـدد السيتاني أكثر من 25.

b- زيت الديزل لمحـركات الديزل المتوسطة السـرعة يكـون العـدد السـيتاني (35 –25) .

c - زيت الديزل لمحركات الديزل السريعة يكون العدد السيتاني بمقدار (50 - 40).

3- درجة الانلين Aniline Point

هي اقل درجة حرارية يمتزج عندها الزيت تماما مع حجم مساو له من الانلين .
وتشير بصورة تقريبية إلى محتوى المركبات العطرية في المنتج النفطي وذلك لسهولة إذابتها في الانيلين أكثر من المركبات البرافينية وعندما تكون درجة الانيلين واطئة تعني إن المنتج النفطي ذو محتوى عالٍ من المركبات العطرية والعكس هو الصحيح. وتعتبر درجة الانيلين مقياسا لخصائص احتراق وقود الديزل حيث يمتاز وقود الديزل ذو المحتوى الواطئ من المركبات العطرية بعدد سيتاني عالٍ.

4- درجة الدخان Smoke point

وهي أعلى ارتفاع لهب بالمليمتر التي يحترق فيها النفط الأبيض أو وقود الطائرات بدون دخان في جهاز معين وتحت ظروف معينة ومحددة . ويستخدم في هذه التجربة مصباح قياسي وتستعمل عادة للنفط الأبيض (الكيروسين) أو وقود الطائرات ولتحديد مقدرة هذا النوع من الوقود على الاشتعال بدون دخان. وتعتبر عملية احتراق المركبات العطرية أصعب من غيرها ومصحوبة بلهب مضيء وتكوين الدخان .

5 - آكل شريط النحاس Copper Strip Corrosion

لبيان تأثير المنتجات النفطية ألتآكلي على النحاس أو سبائكه وتستعمل هذه الطريقة لمعرفة كمية الكبريت الموجود أو غير المتفاعل في المنتج النفطي. والطريقة المختبرية تتم بغمر شريط من النحاس المصقول في كمية معينة من النموذج والمقارنة بشريط التآكل النحاسي القياسي.

6- الكثافة والوزن النوعي Density and Specific Gravity :-

الكثافة هي كمية المادة الموجودة في وحدة الحجم، ويمثل الوزن النوعي Specific Gravity نسبة كثافة المادة المراد فحصها إلى كثافة الماء النقي عند نفس درجة الحرارة .ودرجة الحرارة القياسية المستعملة تساوي $15.6\ ^{o}C$.
ويستعمل في الصناعات النفطية مقياس درجة الكثافة القياسية API. Gravity Degree .
API=American Petroleum Institute
ويتم تعيين الكثافة القياسية API بواسطة المعادلة الآتية :

$$API = \frac{141.5}{S.G} = 131.5$$

وتبعا لذلك تتمتع القطفات ذات الأوزان النوعية الواطئة بكثافة قياسية عالية والعكس صحيح .وهناك عدة طرق لقياس الكثافة (الوزن النوعي) مختبريا ومنها طريقة المكثاف وطريقة قنينة الكثافة .

7- اللزوجة الكينماتية Kinematic Viscosity

اللزوجة هي المقاومة التي تبديها طبقات السائل أثناء جريانها خلال أنبوب شعري عند درجة حرارة وضغط معين.

وهي من مواصفات السوائل والغازات ولها أهمية كبيرة عند دراسة خواص المنتجات النفطية وعند تصنيع النفط .فتقطير القطفات الزيتية يعتمد على لزوجتها فهي تحدد الطاقة اللازمة لنقلها عبر الأنابيب كما إن استعمال الزيوت يعتمد أساسا على تأثير درجة الحرارة على لزوجتها. ويهدف هذا الفحص إلى تعيين اللزوجة الكنماتية للمنتجات البترولية السائلة ما عدا الشفافة، وذلك بواسطة قياس الزمن اللازم لمرور حجم معين من السائل خلال أنبوبة شعرية تحت ظروف قياسية معينة من ضغط ودرجة حرارة. ويستخدم جهاز الفسكوميتر Viscometer للغرض المذكور.

8- درجة الوميض Flash Point

هي أوطأ درجة حرارية تشتعل عندها الأبخرة المتصاعدة من نموذج مسخن وتنطفئ في الحال عند إبعاد اللهب عنها .

ويستفاد من قياس درجة الوميض لمعرفة كفاءة عملية التقطير فيدل على وجود القطفات الخفيفة في المنتجات البترولية فمثلا درجة الوميض المنخفضة للنفط الخام المختزل (R.C) تدل على أن المنتجات الخفيفة لم تنفصل بعد منه. وكذلك يستفاد من درجة الوميض في تحديد الظروف السليمة للخزن والنقل ومعرفة وجود المواد الخفيفة التي لم تنفصل بعد .ويتم تعيين درجة الوميض باستخدام الأجهزة المختبرية الآتية:

a- جهاز أبيل (القدح المغلق).
b- جهاز بنسكي مارتن P.M.
c- جهاز كاس كليفاند المفتوح.

9- التقطير القياسي بنظام (ASTM)

التقطير هو عملية فصل مكونات النفط الخام ومعرفة نقطة الغليان الابتدائية والنهائية بالإضافة إلى معرفة نقاوة المنتج النفطي من الشوائب .والغرض من هذا الفحص هو السيطرة على العملية الإنتاجية من خلال معرفة درجات الغليان الابتدائية والنهائية ومعرفة هوية المادة عن طريق معرفة درجة غليانها . وتجري العملية مختبريا في دورق قياسي يتصل به مكثف مائي وتوضع بصلة المحرار عند فوهة المكثف المرتبطة بالدورق .

أسئلة الفصل الثاني

س 1 : أذكر أسباب تثبيت النفط الخام ؟

س 2 : أذكر المشاكل التي يسببها وجود الماء والاملاح في النفط الخام ؟

س 3 : عدد أنواع المستحلبات في الصناعات النفطية ؟

س 4 : ما هي أنواع وحدات تثبيت النفط الخام قبل التكرير ؟ اشرح كل واحدة منها ؟

س 5 : عرف كاسرات الاستحلاب ؟ ثم اذكر أنواعها ؟

س 6 : أذكر العمليات الكيمياوية للمشتقات النفطية الناتجة عن تكرير النفط الخام ؟ ثم اشرح عملية التهذيب بالعامل المساعد ؟

س 7 : عرف التكسير الهيدروجيني ؟ واذكر العوامل التي تؤثر عليه ؟

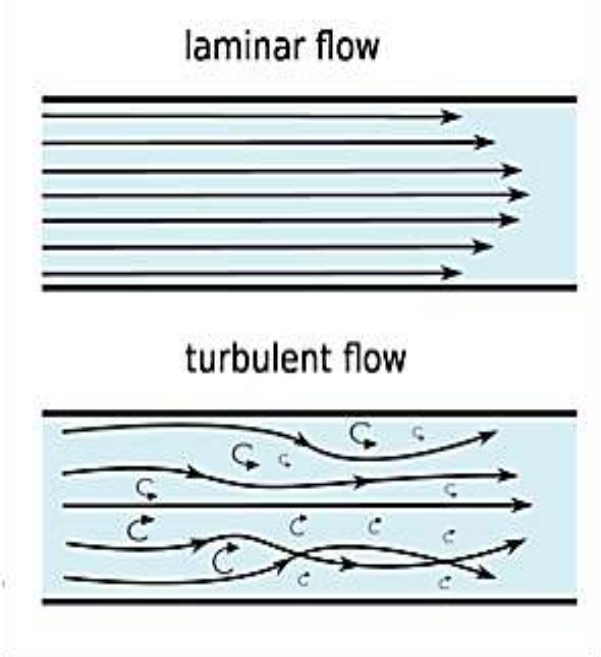
س 8 : عرف مع الشرح كلا مما يأتي :

1– العدد السيتاني 2 – درجة الانيلين 3 – درجة الدخان 4 – تآكل شريط النحاس 5 – التقطير القياسي.

س 9 : ما هي اهداف المعالجة الهيدروجينية للمنتجات النفطية ؟ ثم اشرح ميكانيكية التفاعل ؟

س 10 : اشرح عملية التقطير الفراغي ؟

الفصل الثالث
جريان الموائع



الاهداف

بعد الانتهاء من دراسة الفصل يكون الطالب قادرا على ان :

1- يعرف الموائع .
2- يفهم أساسيات جريان الموائع .
3- يفهم الخواص العامة للموائع .
4- يفهم معادلة برنولي وتطبيقاتها .
5- يعرف أنواع أجهزة قياس الضغط ، معدل الجريان ودرجة الحرارة .

3 – 1 تمهيد

ان علم الموائع هو علم يهتم بدراسة سكون الموائع القليلة الانضغاطية وحركتها، وذلك في حالتي المجاري المفتوحة والمغلقة، وجريان الموائع داخل الأرض، كما يهتم بتطبيقات ذلك على الخزّانات ومحطات توليد الكهرباء وشبكات المياه وشبكات أنابيب نقل النفط، كما يتناول هذا العلم الموائع المثالية أي غير القابلة للانضغاط وليست لها لزوجة، ويهتم أيضا بالموائع الحقيقية أي تلك التي لها لزوجة وانضغاطية.

تتميز الموائع بقدرتها على الجريان عندما تؤثر فيها القوى مهما كانت صغيرة، وان التحكم الدقيق في حركة الموائع في العمليات الصناعية يؤثر بشكل مباشر على كفاءة الوحدات الصناعية والتشغيلية كالمفاعلات ووحدات الفصل مثل أبراج التقطير والامتصاص وغيرها.

3 – 2 تعريف المائع

يقصد بالموائع السوائل والغازات وتتميز السوائل عن الأجسام الصلبة، بانها تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه , بينما الغازات تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه وحجمه. وعند ظروف معينة تبرز الحاجة للتمييز الدقيق بين الأجسام الصلبة والسوائل والغازات، اذ ان هناك سوائل لزجة جدا، مثل القار، لا تسيل بسهولة ويظن الشخص إنها أجسام صلبة، فالخاصية الأساسية التي يتميز بها السائل على الجسم الصلب، ان السائل مهما بلغت لزوجته يسيل ولو بمعدل صغير جدا، في حين اذا أثرت قوى خارجية على جسم صلب فان الإجهادات المماسية الناشئة في الجزيئات المتجاورة تسعى لإعادة الجسم الصلب إلى وضعه الابتدائي، أما في السوائل فان هذه الإجهادات تتناسب مع سرعة التغير في شكل السائل وتضعف هذه الإجهادات وتتلاشى عند اقتراب سرعة التغير من الصفر لهذا لا يعود السائل إلى وضعه الابتدائي، ويمكن التمييز بين الغازات والسوائل، اذ ان الغازات لا يمكن ان توجد في حالة اتزان إلا اذا وضعت في إناء.

المائع هو عبارة عن مادة تتكون من مجموعة من الجزيئات المرتبة ترتيباً عشوائياً بحيث تكون قوى الترابط بين هذه الجزيئات ضعيفة،

3 – 2 – 1 أنواع الجريان

ان نوع الجريان له أهمية كبرى في كثير من التطبيقات المتعلقة بحركة الموائع . هناك نوعان من الجريان، الاول يتميز بسرعة جريان واطئة وكأن المائع متكون من طبقات ينزلق بعضها فوق بعض دون إثارة اضطراب في المائع ويسمى الجريان الطبقي (Laminar flow) أما النوع الثاني فانه يظهر عندما تكون سرعة الجريان كبيرة مع وجود دوامات واضطرابات ويسمى هذا الجريان المضطرب (Turbulent flow) .

لوصف جريان مائع يجب معرفة كثافته وضغطه وسرعة جريانه ولتسهيل دراسة الموائع سنفترض ان المائع مثالي Ideal fluid والذي يتميز بما يأتي:

1- غير قابل للانضغاط: أي تبقى كثافته ثابتة أثناء جريانه.

2- جريانه منتظم: أي تبقى سرعة جريانه عند نقطة معينة ثابتة مع البعد عن مصدر الإعاقة للجريان (جدار الانبوب او سطح مستوي).

3 – جريانه مستقر: أي تبقى سرعة جريانه عند نقطة معينة ثابتة مع الزمن.

4- عديم اللزوجة: حيث تعتبر اللزوجة مقياساً للاحتكاك الداخلي في المائع عند جريانه لذلك نفترض ان لزوجة المائع صفر.

5- جريانه طبقي: أي غير اضطرابي.

بشكل عام فان المائع يعبّر عن كل مادّة تنساب في حالة التأثير عليها بقوّة خارجيّة، وتأخذ شكل الإناء الذي توضع بداخله، وفي علم الفيزياء والديناميكا يوجد ما يُسمّى بالمائع المثالي؛ وهو مائع غير موجود حقيقة ولكن هو مائع مفترض وضعه العلماء لتسهيل دراسة علم الموائع وعمليّاته الرياضيّة، تم وصف ضغط الموائع المتحركة من خلال معادلة أو مبدأ العالم برنولي، التي تشير الى أنّه كلّما قلت قيمة ضغط المائع زادت سرعته، وكلّما زادت قيمة ضغط المائع قلّت سرعته.

3 – 2 – 2 ضغط الموائع الساكنة

تم وصف ضغط الموائع الساكنة من خلال مبدأ باسكال، حيث ركّز العالم باسكال على دراسة علم الموائع، مما قاده إلى اكتشاف قانون الضغط للسوائل الساكنة، الذي ينص على أنّ السوائل التي توجد في إناء مغلق تنقل الضغط الواقع عليها من جهةٍ معينة إلى باقي الجهات بشكل متساوٍ، كما ساعد قانون باسكال الفيزيائي على صناعة العديد من الأجهزة، ومنها ضاغطات الهواء، والمضخّات الفراغية، والرافعة الهيدروليكية، ورافعات السيارات الثقيلة، والمضاغط. ينتج الضغط في السوائل بسبب وزن السائل الذي يكون في جميع الاتجاهات وعمودي على الجسم المغمور فيه، وعلى جدران الوعاء الموضوع فيه أيضاً.

تتناسب كثافة السائل تناسباً طردياً مع قيمة الضغط، فكلما زادت كثافة السائل تزداد قيمة الضغط المؤثّرة. وتتناسب عمق النقطة تناسباً طردياً مع قيمة الضغط، فكلّما زاد عمق النقطة تزيد قيمة الضغط المؤثّرة عليها؛ لذلك في إناء ما تزيد قيمة الضغط كلّما اتجهنا باتّجاه الأسفل، وتقل كلّما صعدنا إلى الأعلى، وعلى سطح الإناء فإنّ قيمة الضغط تساوي قيمة الضغط الجوي. يجب الانتباه أنّ ضغط السائل لا يتعلّق بشكل الإناء الموضوع فيه، بل فقط بالعوامل التي سيتم توصيفها لاحقا.

يُمكن حساب قيمة الضغط المتكون في السوائل الساكنة من خلال المعادلة الرياضيّة الآتية:

الضغط = التعجيل الأرضي × عمق النقطة × كثافة السائل **(1-3)**

3 – 2 – 3 اللزوجة

تعتبر اللزوجة مقياساً لمدى مقاومة الموائع للجريان والتدفق نتيجة للاحتكاك الداخلي له، فكلما زادت اللزوجة تزداد الممانعة لحركة المائع تبعاً لمدى تماسك جزيئاته والعكس صحيح، مع العلم أنها أيضاً مؤشر لمدى مقاومة الموائع للتغير في الشكل، وما يقابل اللزوجة في المفهوم يقال له الميوعة أو الانسيابية التي تعبر من مدى سهولة جريان الموائع وحركتها، فعلى سبيل المثال نقول أن لزوجة الماء أقل من لزوجة العسل للاختلاف بينهما في قوة الترابط بين الجزيئات، ويعد مفهوم اللزوجة ذا أهمية

كبيرة حينما يأتي الأمر على التعامل مع الزيوت التي تستخدم في تسهيل حركة الأجزاء الميكانيكية وعند انتقالها عبر الأنابيب.

3 – 2 – 4 الشد السطحي

يُعرف الشد السطحي على أنه ظاهرة متعلقة بأسطح السوائل الملامسة للغازات (الهواء) وتكون في وضعية الشد وكأنه يوجد طبقة رقيقة لينة فوق سطح السائل، وفي حال كان السطح محصوراً بين سائلين مختلفين في الكثافة مثل الماء والزيت فحينها نقول عن هذه الحالة أنها "توتر السطح البيني"، ومن الأمثلة الواقعية على التوتر السطحي ما نراه في نقاط الماء الساقطة من أعلى التي تأخذ كل منها شكلاً معينا يحافظ على قوامها محاطاً بسطح خارجي يتأثر بالقوى الخارجية كالجاذبية الأرضية التي تسحبه للأسفل مُكسبته شكلاً معيناً.

3 – 2 – 5 الانضغاطية

هي قدرة المائع على إحداث التغيير في مقدار حجمه (زيادة أو نقصان) نتيجة تعرضه لقوة ضغط معينة، فنقول أن الهواء يزداد حجمه مع ازدياد الارتفاع نتيجة لخاصية الانضغاطية له.

3 – 2 – 6 كثافة الموائع

تعتبر كثافة السوائل بأنها أحد المعايير الفيزيائية المهمة في دراسة الحالة الفيزيائية لجميع المواد والعناصر سوآءا كانت صلبة، سائلة او غازية، ويمكن تعريفها على أنها العلاقة ما بين الكتلة والحجم حيث تعتبر الكتلة عاملاً مستقلاً غير متأثر بالعوامل الخارجية كالتأثر بالجاذبية الأرضية، ويرمز للكثافة بالحرف الإغريقي (ρ) ويُلفظ بـ "رو" حيث يُعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-3)$$

ويتم قياسها بوحدة كيلوغرام لكل متر مكعب.

3 – 3 الضغط في الموائع

3 – 3 – 1 ضغط الموائع المتحركة

تم وصف ضغط الموائع المتحركة من خلال معادلة أو مبدأ العالم برنولي، والتي تشير الى أنّه كلّما قلت قيمة ضغط المائع زادت سرعته، وكلّما زادت قيمة ضغط المائع قلّت سرعته، وتعبّر المعادلة أيضاً عن قانون حفظ الطّاقة في علم حركة الموائع، وينص القانون رياضياً على أنّ مجموع كل من طاقة الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجوم، والطاقة الكامنة يساوي مقداراً ثابتاً عند أي نقطة من نقاط سريان المائع كالآتي:

(الضغط + الطاقة الحركية لوحدة الحجوم + الطاقة الكامنة لوحدة الحجوم=مقدار ثابت).

3– 3 – 2 العوامل المؤثرة في ضغط المائع

أولا - كثافة السائل:

تتناسب كثافة السائل تناسباً طردياً مع قيمة الضغط، فكلما زادت كثافة السائل تزداد قيمة الضغط المؤثّرة.

ثانيا - عمق النقطة أو ارتفاع النقطة:

تتناسب عمق النقطة تناسباً طردياً مع قيمة الضغط، فكلّما زاد عمق النقطة ازدادت قيمة الضغط المؤثّرة عليها؛ لذلك في إناء يحتوي على مائع فان قيمة الضغط تزداد كلّما اتجهنا باتّجاه الأسفل، وتقل كلّما صعدنا إلى الأعلى، وعلى سطح الإناء فإنّ قيمة الضغط تساوي قيمة الضغط الجوي.

ثالثا – ضغط السوائل

عندما يغمر جسم صلب في الماء ، فانه سيندفع الى الأسفل بفعل قوة الجاذبية الأرضية وستشكل ضغطا عليه، وكلما غمر الجسم بالماء لعمق اكثر يزداد ضغط ووزن الماء عليه .

3 – 3 – 3 قانون ضغط الموائع

إنّ المعادلة الفيزيائيّة المستخدمة في قياس قيمة ضغط الموائع هي :

$$P = \rho gh \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}3)$$

حيث ان :

P : الضغط.

ρ : كثافة المائع.

g : ثابت الجاذبيّة الأرضيّة

h : العمق.

يجب الانتباه إلى أنّ القيمة ρ يجب أن تساوي قيمة كثافة المائع المشكّل للضغط وليس كثافة الجسم الواقع في المائع، كما إنّ العمق يجب أن يساوي عمق الجسم في المائع، ويجب استخدام الإشارة الموجبة لوصف العمق على الرغم من أنّه واقعاً تحت السطح، أمّا ثابت الجاذبيّة الأرضيّة فهو يساوي $(9.8\ m/s^2)$.

عند الرغبة بقياس قيمة الضغط المطلق المتشكّل على جسمٍ ما مغمور في المائع، فيجب تطبيق المعادلة الآتية :

$$P_{total} = \rho gh + P_{atm} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}3)$$

كما مذكور في الصفحة 105 .

حيث ان

P_{total} : الضغط المطلق.

P_{atm} : الضغط الجويّ.

3 – 3 – 4 خصائص ضغط الموائع

يُطلق على كل من السوائل والغازات اسم الموائع ، فكلا المادتين تتخذان شكل الإناء الذي توضع فيه، وبالتالي يمكن وصف كل من ضغط الهواء وضغط الماء بضغط الموائع، ويتميّز ضغط المائع المحصور في وعاء بثلاث خصائص هي:

1 - عند تعرّض المائع المحصور في الوعاء لحركة خارجيّة فينتج قوة عموديّة على الجدران داخل الوعاء.

2 - إنّ جدران الوعاء تسبب قوة على المائع، وبكلا الحالتين فإنّ القوة تكون عمودية على الجدران دائماً.

3 - تتساوى قيمة قوة الضغط المتشكّلة على أي مساحة صغيرة من سطح المائع.

تطبيقات عمليّة على ضغط الموائع

3 – 3 – 5 المكبس الهيدروليكي ومبدأ باسكال

ينص مبدأ باسكال على أنّه عند حدوث زيادة في الضغط عند نقطة معينة في المائع فستحدث زيادة مساوية عند أي نقطة أخرى في الوعاء. ويعتبر النظام الهيدروليكيّ تطبيقاً لهذا المبدأ، حيث أنّه يستخدم الموائع غير المضغوطة كالزيت والماء، والهواء لتحويل القوّة من مكانٍ إلى آخر ضمن المائع المستخدم، ويستخدم هذا النظام في معظم الطائرات في نظام الفرامل والهبوط. من الأمثلة العمليّة على النظام الهيدروليكي هو المكبس المستخدم لرفع السيارات، حيث أنّه مكوّن من أسطوانتين اثنتين موضوعتين في اتجاهين مختلفين، ويحتوي كلاهما على مكبس، وتُربط قناة تحتوي على المائع في أسفلهما، كما تتحكّم الصمامات في التدفّق الحاصل بينهما، حيث إنّه عند تطبيق قوة بأحد الأسطوانات عن طريق ضغط المكبس إلى الأسفل يتشكّل ضغط يسبب تأثيراً على الأسطوانة الأخرى، مما يؤدّي إلى رفع المكبس وبالتالي ارتفاع السيارة. مكبس المضخّة الهيدروليكيّة إنّ مكبس السيارة هو أحد الأمثلة البسيطة على استخدام النظام الهيدروليكي، حيث إنّ مبدأ باسكال يستخدم في العديد من التطبيقات الأخرى، ومنها مكبس المضخّة الهيدروليكيّة، الذي يستخدم في الآلات الثقيلة كالجرافات والمصاعد الهيدروليكيّة المستخدمة في مصاعد رجال الإطفاء.

يعبّر الضغط عن القوة العمودية المؤثرة على وحدة المساحة، ويُمكن التعبير عنه رياضياً :

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة المسلطة عمودياً على السطح}}{\text{مساحة السطح}}$$

$$\text{Pressure} = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$

$$P = \frac{F}{A} \quad \frac{\text{Newton}}{m^2} \qquad \textbf{(5-3)}$$

حيث إنّ وحدة القوة (F) هي نيوتن (N) ووحدة المساحة (A) هي متر مربع (m^2) وذلك حسب النظام العالمي للوحدات وبالتالي تكون وحدة الضغط هي N / m^2 وتُسمى الباسكال، ويعبّر الباسكال عن الضغط المتولّد عن قوّة مؤثّرة مقدارها 1 نيوتن تؤثر عمودياً في وحدة مساحة مقدارها متر مربّع.

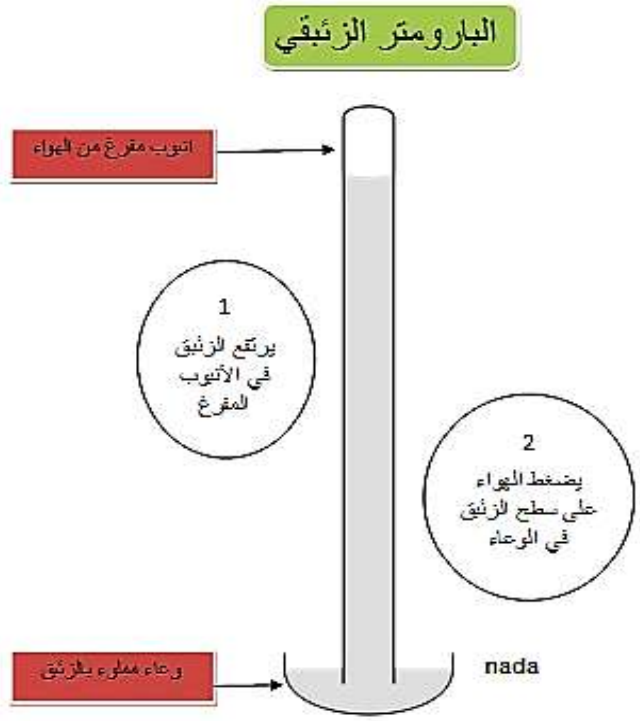
يُمكن استنتاج العوامل التي تؤثّر على قيمة الضغط من خلال قانونه السابق، اذ إنّ العوامل المؤثرة على الضغط هي القوة والمساحة؛ حيث تتناسب قيمة الضغط تناسباً طردياً مع القوة المؤثرة؛ فكلما زادت القوة يزداد الضغط المتولد على الجسم، بينما يتناسب تناسباً عكسياً مع وحدة المساحة؛ فكلّما قلّت المساحة الواقعة عليها القوة يزيد الضغط المتولّد. إنّ للسائل وزناً ينشأ عنه ضغط باتجاه الأسفل وفي جميع الاتجاهات المحيطة به .

3 – 4 أجهزة قياس الضغط الجوي

الضغط الجوي هو القوة التي يحدثها الهواء فوق سطح ما بينما تجذبه الجاذبية الأرضية نحو الأرض، إذ يحتوي الهواء على وزن لجزيئاته تضغط على كل سطح تلامسه، وهذا الضغط هو ما يعرف بالضغط الجوي أو ضغط الهواء.

تتنوع أجهزة قياس الضغط الجوي كالتالي:

3– 4 – 1 البارومیتر الزئبقي



شكل (3 – 1) مخطط للبارومیتر الزئبقي

البارومیتر الزئبقي من أقدم أنواع أجهزة قياس الضغط الجوي، اذ ان وزن الزئبق يعادل أربعة عشر ضعفاً من وزن الماء. يتكون جهاز البارومیتر الزئبقي من أنبوب زجاجي مغلق الفوّهة ومفتوح القاعدة، وفي القاعدة طبق دائري ضحل مليء بالزئبق الذي يتغير مع تغير الضغط الجوي، فعندما يرتفع الضغط الجوي يرتفع الزئبق إلى أعلى الأنبوب، ويمكن معرفة القياس عن طريق قراءة الرقم أو العداد الذي يرتفع إليه الزئبق.

عند وضع الجهاز عند مستوى سطح البحر فإن مستوى الزئبق في الأنبوب ينخفض حتى يصل ارتفاعه إلى 76 cm، بسبب الكثافة العالية للزئبق، فيما سيترك القليل من الفراغ في الأعلى نتيجة وجود بخار الزئبق، ويتميز هذا الجهاز بدقته، لأن قوى التماسك بين ذرات الزئبق أعلى من قوى التلاصق بينه وبين الزجاج، كما أنّ لونه مميز، ويسهل بذلك تمييزه ورؤيته، وتعتمد قيمة الضغط فيه على مدى الارتفاع، أو الانخفاض عن سطح البحر. يستخدم جهاز البارومیتر المعدني للغرض نفسه وهو عبارة عن صندوق معدني جوانبه مرنة، ومحكم الإغلاق، ويحتوي على هواء ذي ضغط منخفض، ويتميز بأنه كلما كان الضغط أعلى تُضغط جوانبه للداخل وبذلك يتحرك المؤشر مشيراً إلى قيمة الضغط ، ويعتبر أكثر استخداماً من الجهاز الزئبقي، وذلك بسبب صعوبة التعامل مع البارومیتر الزئبقي، ولذلك تم تصميم البارومیتر المعدني الذي يتميز بسهولة استخدامه، ونقله من مكان إلى آخر، ولكنه يعتبر أقل دقة من البارومیتر الزئبقي، بالإضافة إلى أنّ معايرة البارومیتر المعدني تتمّ باستخدام البارومیتر الزئبقي.

3 – 4 – 2 البارومیتر الرقمي :

تُظهر أجهزة البارومیتر الرقمية الحديثة البيانات الجوية الأكثر تعقيداً بدقة وسرعة أكبر من قبل، كما وتظهر العديد منها القراءات الحالية والقراءات لما قبل ساعة أو ثلاث أو ست أو اثنتا عشرة ساعة، كما وتظهر بيانات مثل الرياح والرطوبة للحصول على تنبؤات جوية أدق.

3 – 4 – 3 وحدة قياس الضغط الجوي

يمكن التعبير عن الضغط الجوي بالعديد من وحدات القياس التي تختلف بشكل بسيط بقيمها، منها الميلليمتر الزئبقي الذي يعادل 760 ملليمتر من الزئبق (mm Hg)، أو الباوند لكل انج مربع، اختصارها بالإنجليزي (psi) الذي يعادل 14.70، أو الداين لكل سنتمتر مربع الذي يعادل 1013.25×10^3، أو الميللي بار الذي يعادل 1013.25، أو الكيلو باسكال الذي يعادل 101.325.

3 – 4 – 4 استخدامات الموائع

هي التكنولوجيا التي تتعامل مع الإنتاج والتحكم والنقل للطاقة باستخدام الموائع المضغوطة. تعتمد أنظمة التشغيل والتحكم النيوماتية والهيدروليكية في تشغيلها على ضغط المائع والقوة الناشئة عن ذلك الضغط التي يمكنها أن تقوم بتحريك الأجزاء الميكانيكية في المنظومات الهندسية التطبيقية. ومن أمثلة ذلك المكابس الهيدروليكية والروافع والمعدات الثقيلة وأنظمة المكابح والتوجيه بالمركبات. في مجال التصنيع، الذي يهمنا بالدرجة الأولى في دراستنا لهذا المقرر، للأنظمة النيوماتية والهيدروليكية تطبيقات عديدة في تشغيل مكائن التصنيع والتحكم في عمليات التصنيع ومناولة وفرز وتعبئة المواد والتحكم في تسلسل عمليات خطوط الإنتاج. تستعمل قدرة الموائع ذلك في صناعة تجميع السيارات ومختلف الأجهزة والماكنات الثقيلة.

رغم وجود العديد من الموائع المستعملة، لكنه من الناحية العملية، نجد أن المائعين الشائعين الاستعمال هما: الزيت والهواء المضغوط. فالنظام (Fluid System) الذي يعمل بالزيت يسمى 'نظام هيدروليكي والنظام الذي يعمل بالهواء المضغوط يسمى نظام نيوماتي. كما أن التحكم الذي يستخدم نظام هيدروليكي يسمى التحكم الهيدروليكي والتحكم الذي يستخدم نظام نيوماتي يسمى التحكم النيوماتي ..

مثال (1)

احسب الضغط المتولد من قبل الماء على غواص على عمق 20 m تحت سطح الماء، علما ان كثافة الماء $1000\ Kg / m^3$ بوحدة N / m^2 ؟

الحل :

الضغط = كثافة السائل × التعجيل الأرضي × العمق

$$P_h = \rho\ g\ h$$

$$P = (1000\ kg / m^2) \times (9.8\ m / s^2) \times (20\ m)$$

$$P = 196000\ N / m^2$$

واذا كان هناك ضغط على سطح السائل كالضغط الجوي P_0 مثلا الذي يتعرض له أي سائل موجود في إناء مفتوح، فيجب إضافة الضغط الجوي إلى ضغط السائل للحصول على الضغط الكلي P عند نقطة داخل سائل، أي ان :

الضغط الكلي = الضغط الجوي + ضغط السائل

$$\mathbf{P = P_0 + P_h} \quad \text{..... (6-3)}$$

$$\mathbf{P = P_{atm} + \rho\, g\, h}$$

ومن المشاهدات اليومية لتطبيق قانون باسكال هي علبة معجون الأسنان فعند ضغط علبة المعجون في أي نقطة يقوم المعجون بالانطلاق من الأنبوب نتيجة لتأثير هذا الضغط، كما يحدث أيضاً في الحقن التي يستعملها الطبيب.

ويتم تمثيل هذا القانون رياضياً كما يأتي :

$$\mathbf{\Delta P = \rho\, g\, \Delta h} \quad \text{..... (7-3)}$$

حيث ان:

ΔP : مقدار التغير بين نقطتين في ضغط المائع.

ρ : كثافة المائع

g : التعجيل الأرضي ويساوي $9.98\ m/s^2$

Δh : فرق الارتفاع العمودي بين نقطتين في المائع.

ومن هذه المعادلة نلاحظ أنّه في عمود من المائع يعتمد فرق الضغط بين نقطتين على فرق الارتفاع بين هاتين النقطتين، فكلما زاد فرق الارتفاع بين نقطتين يزداد فرق الضغط بينهما نتيجة للقوة التي تؤثر بها الجاذبية الأرضية على المائع وبمقدار تسارعها، ويختلف هذا المقدار من مائع لآخر باختلاف كثافة المائع فنحتاج إلى فرق بسيط بالارتفاع لإنتاج نفس كمية الضغط الناتجة من ارتفاع أكبر بكثير من الماء. ولملاحظة هذا القانون بشكل أكبر يمكن استعمال أنبوب على شكل حرف U وتعبئته بسائل معين، فنلاحظ أنّه عند القيام بوضع ضغط إضافي على السائل من جهة معينة من الأنبوب فإنّ السائل في الجهة الأخرى سيرتفع بمقدار يتناسب طرديّاً مع مقدار الضغط الواقع على السائل. ولقد أسهم مبدأ باسكال بالكثير من التطبيقات التي تم تصنيعها اعتمادا عليه ومنها المكبس الهيدروليكي، إذ يتكون هذا المكبس من أسطوانتين متصلتين مع بعضهما البعض من الأسفل وتكونان مملوءتين بسائل يكون بالعادة هو الزيت. وتكون إحدى هاتين الأسطوانتين صغيرة مقارنة بالأخرى وهي التي تكون من جهة المتحكم فعند التأثير على هذه الأسطوانة بقوة عن طريق مكبس متحرك فإنّ هذه القوة تؤثر على السائل بضغط ينتقل في السائل بحسب مبدأ باسكال حتى يصل إلى المكبس الآخر الذي يقوم برفع الجسم المراد حمله بسبب تضاعف القوة عدة مرات والناتج عن الفرق في مساحة كلٍ من المكبسين. ومن التطبيقات الأخرى :

1. يستخدم المكبس الهيدروليكي للكبس وتطبيقات اخرى.

2. الحفار الهيدروليكي.
3. كرسي طبيب الأسنان.
4. الفرامل الهيدروليكية للسيارة.

مثال (2)

احسب القوة اللازمة لرفع سيارة كتلتها 3000 kg باستعمال الرافعة الزيتية المستعملة في محطات الغسل والتشحيم، علما ان مساحة مقطع الاسطوانة الصغيرة ($15\ cm^2$) ومساحة مقطع الاسطوانة الكبيرة ($2000cm^2$) ؟

على فرض ان $g = 10\ m/s^2$

الحل :

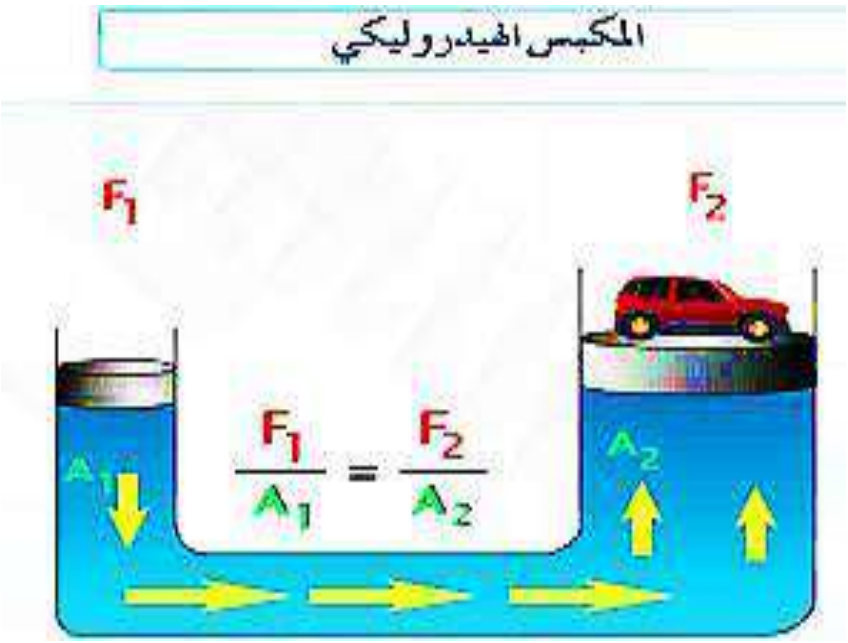
$F_2 = mg = 3000 \times 10 = 30000\ N$

$F_1 / A_1 = F_2 / A_2$

$F_2 = F_1 \times A_2 / A_1$

$30000 = F_1 \times 2000\ cm^2 / 15\ cm^2$

$F_1 = 225\ N$ القوة المسلطة على المكبس الصغير



شكل (3 – 2) المكبس الهيدروليكي

3 – 5 مبدأ أرخميدس أو قاعدة الانغمار

هو قانون فيزيائي ينص على أنّ "الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في سائل لا يذوب فيه ولا يتفاعل معه، فإن السائل يدفع الجسم بقوة (قوة الطفو)، وهذه القوة تساوي وزن السائل الذي يزيحه الجسم عند غمره ".

ان وزن السائل المزاح (الذي يمثل قوة الطفو) يساوي حجم الجسم المغمور (hA) مضروبا في كثافة السائل الوزنية (ρg) .

$$F_B = \rho\ g\ h\ A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8\text{-}3)$$

حيث ان

h : ارتفاع الجسم

A : مساحة القاعدة

g : التعجيل الارضي

F_B : قوة الطفو

أي ان :

قوة الطفو على جسم مغمور في سائل = وزن السائل المزاح

ويعبر رياضيا عن هذا المبدأ كما يأتي :

1 – بالنسبة للأجسام المغمورة كليا في سائل :

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في السائل=حجم السائل المزاح×كثافة السائل الوزنية (3-9)

2– بالنسبة للأجسام المغمورة جزئيا في سائل :

وزن الجسم الطافي (W_{body}) = حجم الجزء المغمور (V) × كثافة السائل الوزنية (ρ_L)

$$W_{body} = V \times \rho_L \times g \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10\text{-}3)$$

الكثافة الوزنية × حجم الجسم = الكثافة الوزنية للماء × حجم الجزء الغاطس

مثال (3)

جسم يزن في الهواء (5 N) ويزن 4 .55 N عند غمره تماما في الماء . احسب حجم الجسم ؟ علما ان كثافة الماء تساوي $1000\ kg / m^3$ وان التعجيل الأرضي يساوي $10\ m/s^2$.

الحل :

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في الماء = حجم الجسم × الكثافة الوزنية للماء

W in air – W in water = Volume (V) × density (ρ) × g

$5 - 4.55 = V \times 1000 \times 10$

$0.45 = 10000\ V$

$V = 0.45 \times 10^{-4}\ m^3$

مثال (4)

مكعب من الخشب طول حرفه 10 cm وكثافته الوزنية $7840\ N / m^3$ يطفو في الماء . ما طول الجزء الغاطس داخل الماء ؟

الحل :

نفرض ان طول الجزء الغاطس من المكعب في الماء = h

وزن الجسم الطافي = وزن السائل المزاح

وزن الجسم الطافي = حجم الجزء المغمور × كثافة السائل الوزنية

$W_{body} = V \times (\rho_L \times g)$

$(\rho\ V)_{body} = (\rho\ V)_{water}$

الكثافة الوزنية للماء = الكثافة الكتلية × التعجيل الأرضي

$(9.8\ N / kg) \times (1000\ kg / m^3) = 9800\ N/ m^3$

$7840 \times (0.1)^2 = h \times (0.1)^2 \times 9800$

$h = 784 / 9800$

$h = 0.08\ m$ طول الجزء الغاطس

3 – 6 معادلة الاستمرارية في الموائع

عند جريان مائع مثالي جريانا انسيابيا كثافته (ρ) خلال أنبوب أفقي مساحة مقطعه غير منتظمة اذ تبلغ مساحة مقطعه الكبير A_1 ومساحة مقطعه A_2 فان معادلة الاستمرارية تنص على ان :

معدل تدفق كمية المائع من أي مقطع داخل الأنبوب يبقى ثابتا

ويمكن التعبير عن ذلك بما يأتي :

مساحة المقطع الصغير (A_2) × سرعة الجريان (V_2) = مساحة المقطع الكبير (A_1) × سرعة الجريان (V_1)

$$A_1V_1 = A_2V_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11\text{-}3)$$

مثال (5)

يجري الماء في انبوبة ذات مقطعين ، نصف قطر المقطع الكبير 2.5 cm بسرعة 2 m / s الى مقطعه الصغير الذي نصف قطره 1.5 cm . ما مقدار سرعة جريان الماء في الانبوبة الضيقة ؟

الحل :

$A_1V_1 = A_2V_2$

$A_1 = \pi r_1^{\,2}$ $A_2 = \pi r_2^{\,2}$

$A_1 = 22 / 7 \times (r_1)^2 = 22 / 7 \times (2{,}5)^2$

$A_2 = 22 / 7 \times (r_2)^2 = 22 / 7 \times (1.5)^2$

$V_2 = V_1 \times (A_2 / A_1)$

$V_2 = 2 \times 100 \times (22 / 7) \times (2.5)^2 / 22 / 7 \times (1.5)^2$

$V_2 = 555$ cm / s

$V_2 = 5.55$ m / s سرعة جريان الماء في الانبوبة الضيقة

3 – 6 – 1 معادلة برنولي

تشمل أشكال الطاقة لمائع جاري كثافته (ρ) :

1- الطاقة الكامنة بسبب وجود المائع في مجال الجاذبية وعلى ارتفاع (Z) بالنسبة لمستوى معين وتساوي (ρ g Z) .

2- الطاقة الحركية بسبب سرعة المائع (V) وتساوي (½ρ v²) .

3- طاقة الضغط (P) .

وعلى أساس مبدأ حفظ الطاقة اشتق العالم برنولي معادلته المعروفة باسمه التي تنص على ان :

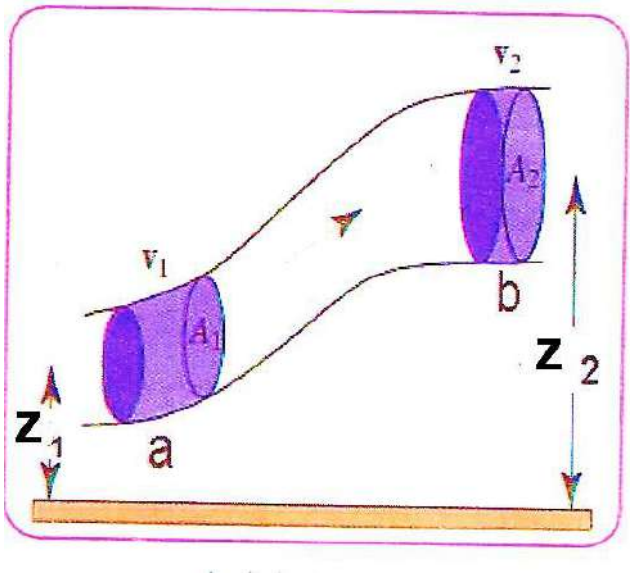
مجموع طاقة الضغط وطاقة الوضع والطاقة الحركية تساوي مقدارا ثابتا على طول مجرى المائع المثالي .

ويمكن كتابة معادلة برنولي رياضيا :

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g Z = \text{ثابت} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12\text{-}3)$$

حيث ان : (P) الضغط و(ρ) كثافة المائع و(V) سرعته و(g) تعجيل الجاذبية .

ولتطبيق المعادلة على نقطتين في مائع جاري نلاحظ الشكل (3-3) .



الشكل (3-3) تطبيق معادلة برنولي على نقطتين

حيث تصبح معادلة برنولي :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V^2_1 + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v^2_2 + \rho g Z_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13\text{-}3)$$

حيث ان :

P_1 , P_2 = الضغط عند النقطتين a , b .

V_1 , V_2 = سرعة المائع في a , b .

Z_1 , Z_2 = ارتفاع مقطعي المائع عن مستوى معين .

ρ = كثافة المائع .

g = تعجيل الجاذبية .

وتستخدم معادلة برنولي في تطبيقات عديدة كايجاد الضغط وسرعة المائع الجاري وهذا ما سنتعرف عليه عند دراسة مقاييس الضغط و سرعة الجريان .

مثال (6)

جد سرعة الماء خلال فوهة في اسفل خزان مفتوح للضغط الجوي وارتفاعه (4m)؟

الحل : بتطبيق معادلة برنولي

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V^2_1 + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v^2_2 + \rho g Z_2$$

حيث ان :

الضغط الجوي = $P_2 = P_1$

السرعة في اعلى الخزان = $V_1 = 0$

$$Z_2 = 0 \quad , \quad Z_1 = 4m$$

تصبح المعادلة:

$$\frac{1}{2}V^2_2\rho = \rho g Z_1$$

$$\frac{1}{2}v^2 = gZ_1$$

$$V^2 = 2\times 9.8\times 4$$

$$V = \sqrt{2\times 9.8\times 4}$$

$$V = 8.85 \text{ m} \setminus \text{s}$$

3 – 6 – 2 أجهزة قياس الضغط

الضغط هو القوة العمودية على المساحة و يرمز له P .

ويعرف الضغط الجوي بانه ضغط عمود هواء الغلاف الجوي . وهو يتغير من مكان لأخر حسب ارتفاع المكان وانخفاضه عن مستوى سطح البحر . والضغط الجوي القياسي P_{atm} يعادل 1.013 bar , 760mm Hg , 101.3 kPa .

أما ضغط المقياس (P_g) فهو الضغط المبين بواسطة أجهزة قياس الضغط التي تكون قراءة الصفر فيها تعادل الضغط الجوي القياسي .

ويسمى الضغط الذي يقل عن الضغط الجوي بضغط الفراغ (vacuum) وتكون قيمته سالبة في اجهزة قياس الضغط .

وبهذا يكون الضغط المطلق (P_a) مساويا لضغط المقياس زائدا الضغط الجوي . وفي حالة ضغط الفراغ فان الضغط المطلق يعادل الضغط الجوي ناقصا ضغط الفراغ .

ويمكن ان نستنتج مما ورد سابقا ان :

الضغط المطلق = ضغط المقياس + الضغط الجوي

$$P_a = P_g + P_{atm} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14\text{-}3)$$

حيث ان : الضغط المطلق (P_a) وضغط المقياس (P_g) والضغط الجوي (P_{atm})

ان وحدات الضغط هي وحدات قوة على وحدات مساحة والوحدات الشائعة هي N / m^2

وتسمى باسكال (pa) او البار bar الذي يعادل 10^5 pa .

والطريقة الأخرى للتعبير عن الضغط هي بوحدة ارتفاع عمود من مائع باستخدام العلاقة الرياضية الآتية:
معادلة (3-3):

$$P = \rho g h$$

حيث الضغط P وكثافة المائع ρ وتعجيل الجاذبية الأرضية g وارتفاع المائع h فمثلا يمكن القول ان الضغط 3 m H_2O (يقرأ ثلاثة امتار ماء) أو 76 cm Hg (ستة وسبعون سنتمتر زئبق) وهكذا .

مثال (7)

اذا كان ضغط المقياس (127 kPa) والباروميتر يقيس (740 mmHg) احسب الضغط المطلق؟ علما ان كثافة الزئبق = 13600 kg \ m^3

الحل :

740 mmHg = 0.74 mHg

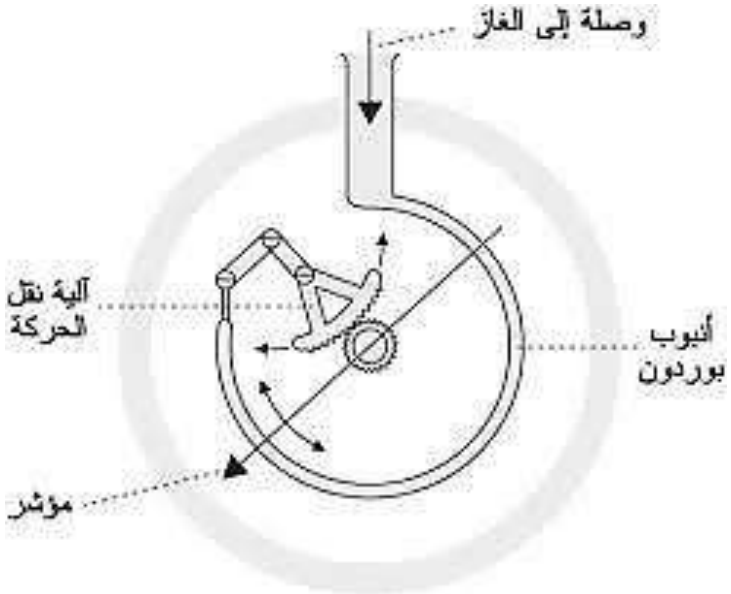
$P_{atm} = \rho g h = 13600 \times 9.8 \times 0.74 = 98627$ Pa = 98.6 kPa

$Pa = P_g + P_{atm} = 98.6 + 127 = 225.6$ kpa

الضغط المطلق = 225.6 kPa كيلو باسكال

3 – 6 – 2 – 1 مقياس بوردن :

عبارة عن أنبوب مرن مغلق من جهة ومثني على شكل حرف C ، والنهاية المفتوحة متصلة بالأنبوب او الخزان المراد قياس ضغط المائع فيه. وعندما يزداد الضغط يبدأ الأنبوب بالاستطالة مسببا دوران المؤشر ليبين مقدار الضغط . الشكل (3-4).



الشكل (3 – 4) مقياس بوردن

3 – 6 – 2 – 2 المانومتر

عبارة عن أنبوبة شفافة على شكل حرف U يحتوي على سائل يسمى سائل المانومتر يكون اثقل من المائع المراد قياسه ولا يمتزج معه ولا يتفاعل معه كيميائيا (وعلى الأغلب هو الزئبق). عندما تتعرض نهايتي المانومتر الى ضغوط مختلفة فأن مستوى سائل المانومتر ينخفض في الساق ذات الضغط العالي بينما يرتفع في الساق ذات الضغط المنخفض ويمكن حساب الضغط بقياس فرق ارتفاع سائل المانومتر.

وهناك عدة أنواع من المانوميترات سنتعرف على أهمها :

a - المانومتر البسيط (المفتوح النهاية)

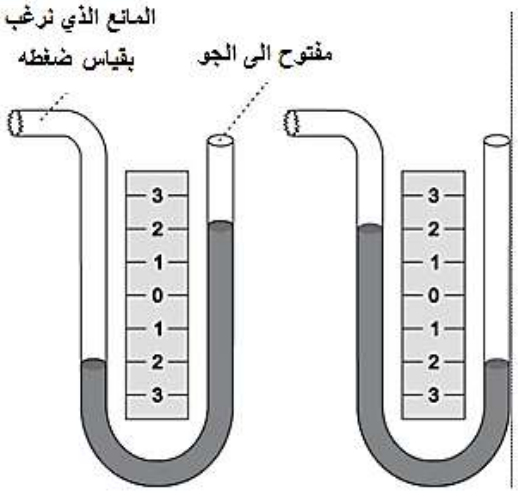
تعرض احدى ساقي المانومتر للمائع المراد قياس ضغطه بينما تعرض الساق الأخرى للضغط الجوي، الشكل (3-5).

يقيس هذا النوع ضغط المقياس (P_g) ولإيجاد الضغط المطلق نستخدم :

$$P_1 - P_{atm} = \rho_m g h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15\text{-}3)$$

حيث (P_{atm}) الضغط الجوي و(h) الفرق بين ارتفاعي سائل المانومتر والضغط المطلق P_1 .

ρ_m = كثافة الزئبق = 13600 kg \ m³ .



الشكل (3 - 5) المانومتر البسيط

مثال (8)

احسب ضغط مائع يجري في أنبوب متصل بمانومتر بسيط يقرأ (2 cm) علما ان الضغط الجوي يعادل (101.3 kPa) و ($g = 10\ m\backslash s^2$)؟

الحل :

$$P1 - P_{atm} = \rho_m g h$$

$$\rho_m g h = 13600 \times 10 \times 0.02 = 2720\ pa = 2.7kPa$$

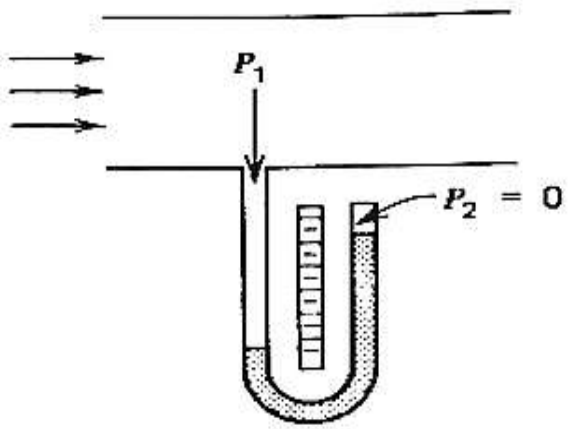
$$P1 = 101.3+2.7 = 104\ kPa$$

أي ان الضغط المطلق (ضغط المائع) = 104 كيلو باسكال

b - المانومتر مغلق النهاية

في هذا النوع من المانومترات يكون احد الأطراف مغلقا ومفرغا من الهواء والطرف الآخر معرضا لتأثير ضغط المائع المراد قياس ضغطه. لاحظ الشكل التالي، وهذا المقياس يقرأ الضغط المطلق مباشرة لان ($P_2 = 0$) حسب العلاقة :

$$\mathbf{P - 0 = \rho_m g h}$$

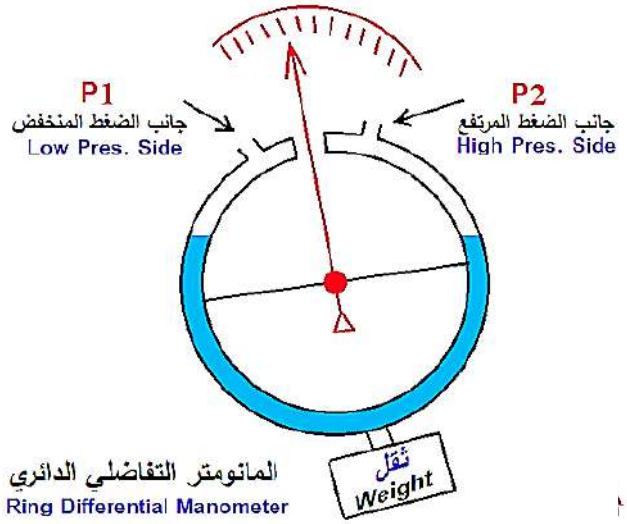


الشكل (3 - 6) المانومتر مغلق النهاية

c - المانومتر التباييني

يستخدم لقياس فرق الضغط بين نقطتين في أي عملية .

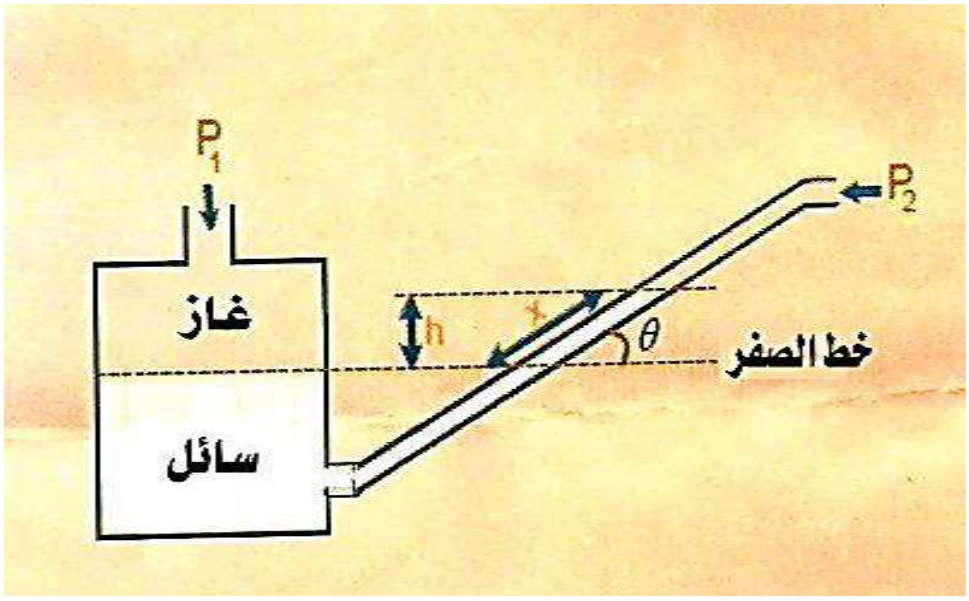
$$P_1 - P_2 = \rho_m g h \quad \text{.....} \quad (16\text{-}3)$$



الشكل (3 - 7) المانومتر التباييني

d- المانومتر المائل

يستعمل هذا المانومتر لقياس فرق الضغط صغير المقدار لأنه يؤشر قراءة اكبر مما لوكان الأنبوب قائما. الشكل التالي يبين ذلك .



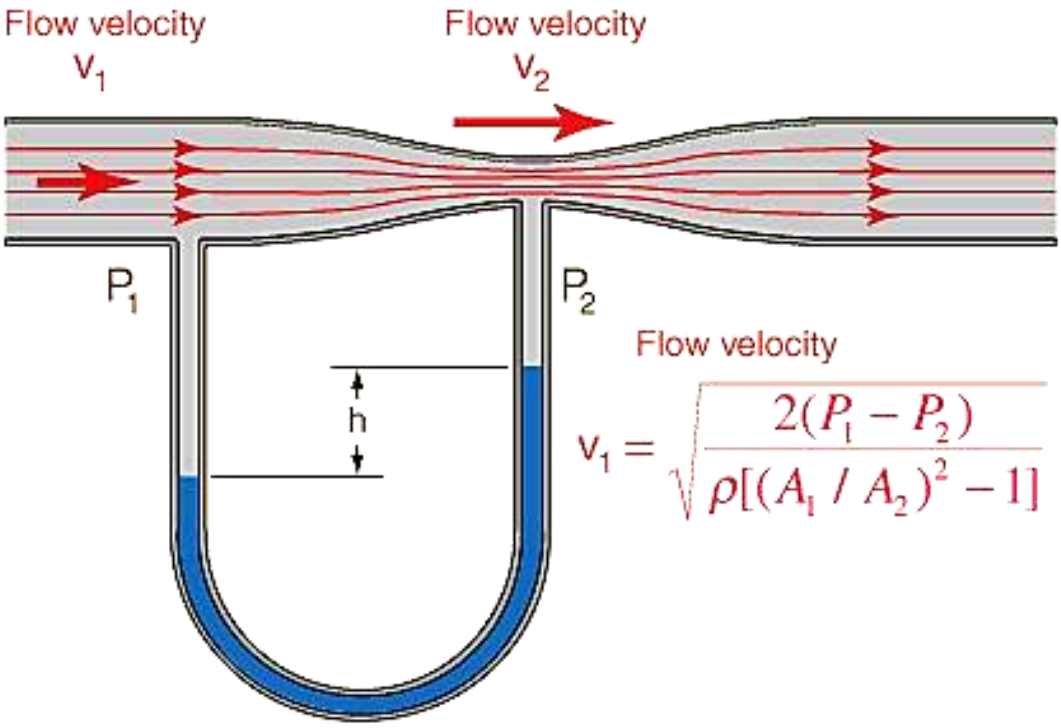
الشكل (3 - 8) المانومتر المائل

3 – 7 أجهزة قياس الجريان

توجد وسائل عديدة لقياس معدل الجريان منها المقاييس التي تؤشر قراءة مباشرة لمعدل الجريان او مقاييس للسرعة يحسب على أساسها معدل الجريان ويستند تشغيل معظم مقاييس الجريان إلى معادلة برنولي اذ يستخدم تضييق في مجرى المائع لتوليد هبوط في الضغط مصحوب بزيادة في السرعة.

1 - مقياس فنتوري

هو احد ابرز التطبيقات العملية لمعادلة برنولي التي يمكن بواسطته قياس سرعة مائع وله أشكال عديدة وابسطها الموضح بالشكل ادناه عبارة عن أنبوب واسع من كلا الطرفين وضيق من الوسط ومزود بمانومتر لقياس فرق الضغط بين النقطتين 2 , 1.



شكل (3 - 9) مقياس فنتوري

بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين 2 , 1 مع مراعاة ان ($Z_1 = Z_2$) لان الأنبوبة أفقية نحصل على المعادلة التالية لحساب سرعة المائع :

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v^2_2 - v^2_1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17\text{-}3)$$

مثال (9)

احسب سرعة جريان ماء يجري في انبوب يحتوي مقياس فنتوري اذا علمت ان فرق الارتفاع في مستوى زئبق المانومتر (2 cm) وسرعة جريان الماء الأولية (5 cm/sec) ؟

الحل:

كثافة الماء = 1 g\cm³ كثافة الزئبق = 13.6 g\cm³

h = 2 cm

1- قياس فرق الضغط $P_1 - P_2 = \rho_m g h$

$P_1 - P_2 = 13.6 \times 980 \times 2 = 26656$ dyne / cm²

2- حساب سرعة الماء الثانية

بتطبيق معادلة برنولي:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho (v^2_2 - v^2_1)$$

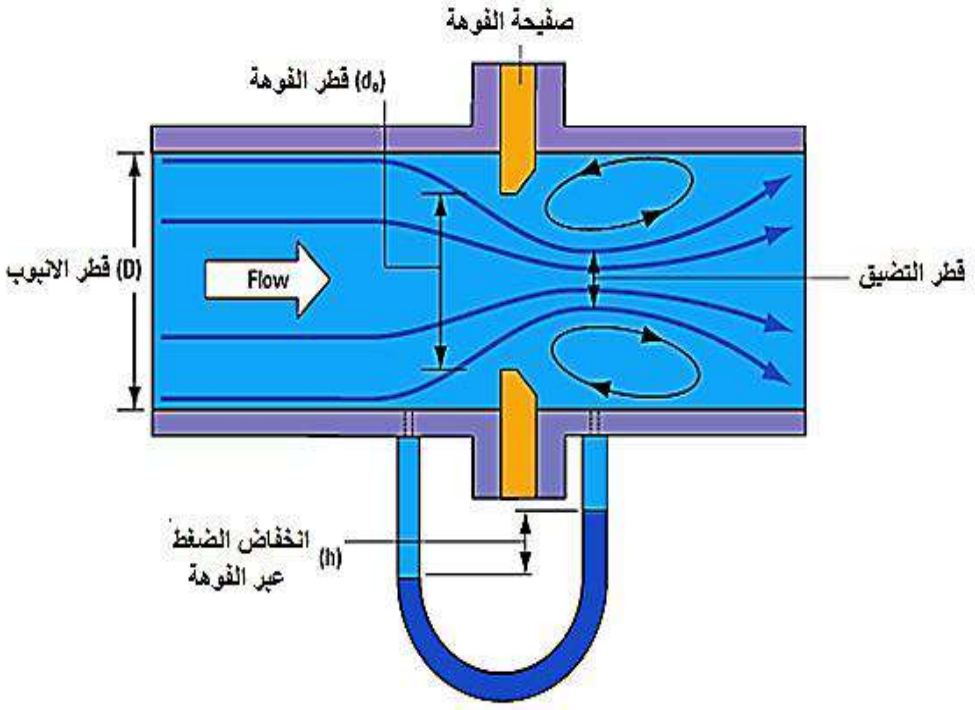
$$26656 = \frac{1}{2} \times 1 \times (v^2_2 - v^2_1)$$

$$53312 = v^2_2 - 25$$

$$v_2 = 231 \text{ cm/sec}$$

2 - المقياس الفوهي (الاورفيسميتر)

العنصر الأساس في هذا المقياس هو عبارة عن صفيحة تحوي فتحة حافتها حادة تعترض مجرى المائع ويحدد قطر الفتحة (الفوهة) بموجب القياسات العالمية المتفق عليها. مبدأ عمل هذا المقياس يشابه مقياس فنتوري حيث يقاس فرق الضغط بواسطة المانومتر وبتطبيق معادلة برنولي يتم حساب سرعة الجريان.

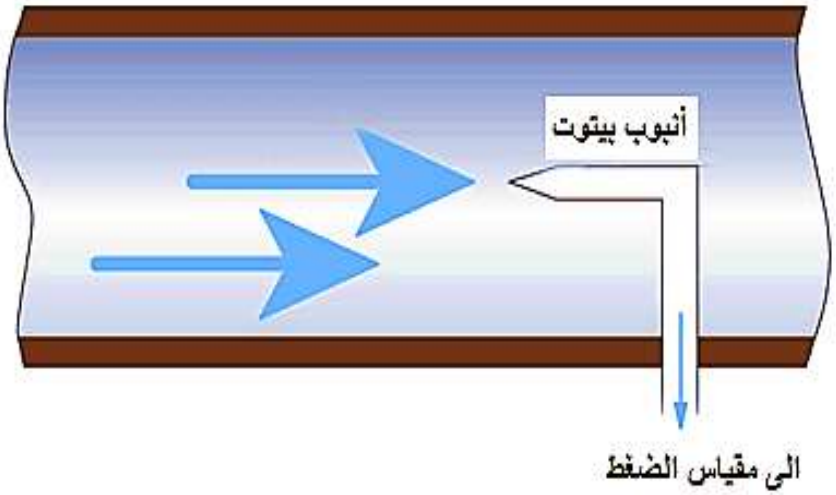


الشكل (3 - 10) المقياس الفوهي او الاورفسميتر

3 - أنبوب بيتوت

عبارة عن أنبوبة زجاجية تشكل نهايتها زاوية قائمة.

يوضع أنبوب بيتوت في مجرى المائع بحيث تكون فتحته عكس اتجاه الجريان ويعتمد ارتفاع المائع فيه على مقدار سرعة الجريان .

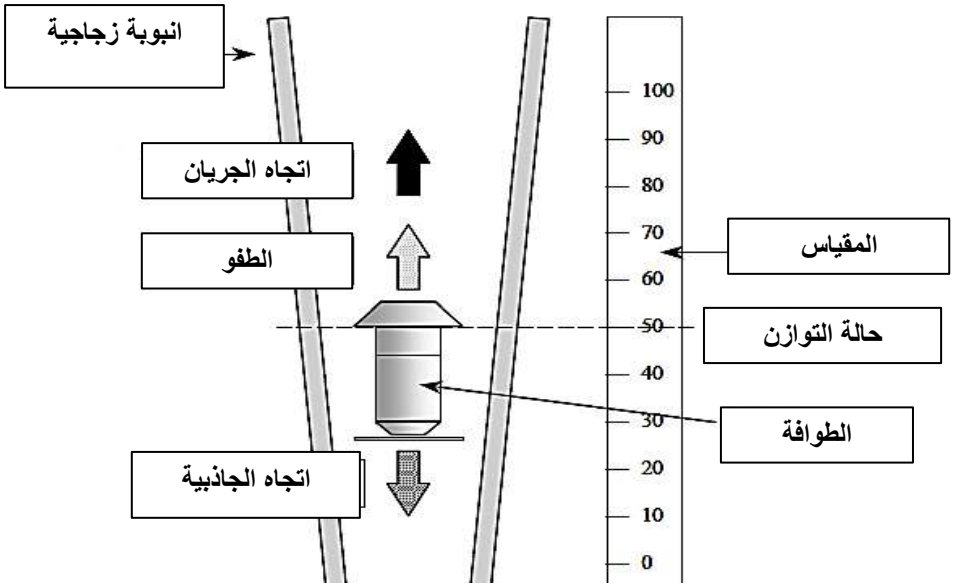


الشكل (3 - 11) أنبوب بيتوت

4- المقياس الدوار Rotameter

يتألف هذا المقياس من أنبوب متناقص المقطع من الأعلى إلى الأسفل في داخله طوافة , فعند مرور المائع في المقياس ترتفع الطوافة وتستقر في موقع معين بسبب توازن الجاذبية مع قوة دفع المائع ويشير موقع الطوافة إلى مقدار معدل الجريان .

تجدر الملاحظة ان مقاييس الجريان التي تطرقنا لها سابقا تعتمد على تغيير الضغط مع معدل الجريان اما في المقياس الدوار تعتمد على تغيير المساحة المتاحة للجريان .



الشكل (3 – 12) المقياس الدوار

3 – 8 خط الأنابيب

خط الأنابيب هو ممر مغلق بإحكام من خلاله تنقل مواد مثل السوائل (الماء، مياه الصرف، الزيت الخام، المنتجات البترولية) أو الغازات (الغاز الطبيعي، ثاني أكسيد الكربون) أو مخاليط الماء مع (الفحم، خامات المعادن، المواد الصلبة) من مصادرها إلى الأماكن المخصصة. هذا الممر يمكن عمله من الإسمنت، الحديد الزهر، الصلب الكربوني، الحديد غير القابل للصدأ، والمواد البلاستيكية.

وتعتبر خطوط الأنابيب هي الوسيلة الأكثر أمانا وكفاءة لنقل أي مادة ذات كميات كبيرة ولمسافات طويلة.

3 – 8 – 1 مكونات خط الأنابيب

مكونات خط الأنابيب هي الأنابيب، الصمامات، وتجهيزات متصلة بالخط مثل الصهاريج، المصافي والفلاتر، أنظمة القياس، ضواغط، مضخات، منظمات ضغط، محطات تسخين، محطات تبريد، ومحطات التسليم .

3 – 8 – 2 أنواع خطوط أنابيب البترول

توجد أنواع كثيرة من خطوط نقل المواد البترولية تسمى باسم المادة المنقولة مثل خطوط أنابيب الزيت الخام، خطوط أنابيب الغاز الطبيعي، وخطوط نقل المنتجات البترولية.

3 – 8 – 3 خطوط أنابيب الغاز الطبيعي

تركب على آبار الغاز خطوط تجميع صغيرة القطر تأخذ الغاز إلى وحدة معالجة الغاز تسمى عادة محطات الغاز تتغير في إمكانياتها من وحدات ضغط صغيره مثبته على قواعد متحركة إلى وحدات تزيل الملوثات والماء من الغاز إلى محطات غاز كبيرة تخلص الغاز من الكبريت وثاني أكسيد الكربون.

بعض المحطات تستخلص أيضا الإيثان والبروبان والبيوتان والمسماة بسوائل الغاز الطبيعي. وعموما يتم ضغط الغاز قبل ضخه في الخط الرئيسي ذو القطر الكبير لنقل الغاز.

3 – 8 – 4 خطوط أنابيب المنتجات البترولية

خطوط المنتجات تنقل المنتجات المكررة مثل الجازولين وزيت الديزل ووقود النفاثات وزيت التدفئة وزيوت التزييت من معامل التكرير إلى محطات التسليم أو مراكز التوزيع، ومثل خطوط الزيت الخام تستخدم المضخات الطاردة المركزية لضخ المنتجات خلال الخط وعادة ما تتراوح أقطار هذه الخطوط من (20 -106 cm).

يحدث خلط بين المنتجات فقط داخل الخط عندما تتلامس شحنتان متتابعتان من المنتجات، وهذه الكميات الصغيرة الملوثة يعاد معالجتها.

3 – 8 – 5 السرعات المرغوبة للتدفق

يمكن أن تصل سرعات التدفق في خطوط الأنابيب 3 m/s تقريبا ولكن لأسباب الأمان ولأسباب اقتصادية يجب ألا تتعدى 2 m/s وذلك بالنسبة للسوائل. السرعات العالية قد تتسبب في ذبذبات وضوضاء غير مرغوب فيها خاصة عند الأجزاء المكشوفة من الخط مثل الصمامات ومجمعات القياس.

1- الصمامات:

الصمامات جزء أساسي من أي شبكة أنابيب لنقل السوائل والغازات والأبخرة ومخاليط الماء والحبيبات الصلبة. وتستخدم أنواع مختلفة من الصمامات في خطوط الأنابيب مثل صمام البوابة، والصمام الكروي، وصمام عدم الرجوع، وصمام الكرة. وكل من هذه الصمامات له أصناف وتصميمات متعددة، وكل له صفاته ووظائفه. فبعض الصمامات يعمل ذاتيا والبعض يعمل يدويا أو يعمل بمشغل آلي يستخدم محرك كهربائي أو هوائي أو هيدروليكي أو جميعهم لتشغيل الصمام.

ولاختيار الصمام المناسب لاستخدام محدد فلابد للمستخدم من تقييم سلوك الصمام مع متطلبات الاستخدام مثل المادة المنقولة، متطلبات التصميم، الأسس والمعايير الحاكمة لشبكات الأنابيب، والجوانب الاقتصادية. وبالنسبة للتطبيقات البترولية بموجب تصنيف معهد البترول الأمريكي فإنها تعتمد على مواد تصنيع الصمام، الضغط الذى يتحمله الصمام عند مدى درجات حرارة الجو.

2- الوصلات

يحتاج المصمم أحيانا إلى وصلات جاهزة تلحم بالخط مثل الأكواع والتيهات والمسلوبات لمطابقة الخط للمسار ووصل الخط بخط فرعي ووصل أجزاء مختلفة الأقطار بالخط.

3 – 8 – 6 اختيار مسار الخط

تصمم خطوط أنابيب البترول لنقل المائع من نقطه لأخرى، كما هو الحال من مركز تجميع الإنتاج للمائع الخام إلى محطة المعالجة أو من محطة المعالجة إلى موانئ التصدير أو من محطة المعالجة أو موانئ الاستيراد إلى شبكات التوزيع كما هو الحال في الغاز الطبيعي أو من محطة المعالجة أو موانئ الاستيراد إلى معامل التكرير البعيدة كما هو الحال في الزيت الخام، أو نقل المنتجات من معامل التكرير إلى مراكز توزيعها البعيدة.

الاختيار الأمثل لمسار خط الأنابيب منطقيا هو الخط المستقيم بين نقطتى البداية والنهاية وحيث أن الاختيار الأمثل هو الخط المستقيم لتحقيق أقصر مسار وأقصر طول للأنابيب لكن هناك أسباب منطقيه عديدة تؤيد الانحراف عن الخط المستقيم تشمل ما يلى:-

1 - العوائق الطبيعية الشديدة مثل سلاسل الجبال والأنهار والمستنقعات .. الخ.

2 - فى خطوط الأنابيب الطويلة التى تحتاج لمحطات بينية لرفع الضغط قد يحتاج الأمر إلى الانحراف بالمسار إلى منطقه آمنة يسهل الوصول إليها لإقامة محطة الرفع بها.

3 - قد يكون هناك تخطيط مستقبلي لتغذية الخط من ميناء للاستيراد أو بئر بترولي لم يكتمل إنشاءه، أو تغذيه من الخط لمعمل تكرير للبترول أو مركز توزيع جارى إنشاءه فى منطقه قريبة من مسار الخط مما يستوجب الانحراف بالمسار ليمر بهذه المنطقة.

4 - سهولة وصول معدات ومستلزمات الإنشاء إلى مسار الخط.

5 - صعوبة الحصول على موافقات لمسار الخط فى بعض المناطق مثل المواقع الحربية والمواقع التاريخية.

6 - تفادى المسار للمناطق السكنية لتجنب تعريض المواطنين للأخطار. وهذا من شأنه أيضا أن يقلل من خطر تعرض الخط للإصابات من خطأ الغير.

3- 8 -7 نظم الخطوط المتوازية والمتوالية:

3 – 8 – 7 - 1 نظام توازى الخطوط

هو عباره عن تركيبه من خطين (فرعين) أو أكثر موصله بحيث يتفرع التدفق فيما بينها عند بدايتها ثم يتجمع التدفق ثانية عند نهايتها. فى هذا النظام يكون الضغط المفقود بالاحتكاك من بداية النظام حتى آخره متساويا فى جميع الأفرع بينما يكون تدفق النظام مساويا لمجموع تدفقات الأفرع.

3 – 8 – 7 – 2 توصيل خطوط الأنابيب على التوالي

عند توصيل خطي أنابيب مختلفين في القطر بحيث يمر التدفق في واحد ثم يمر في الآخر فإنه يقال أنهما موصلان على التوالي وعليه يكون معدل التدفق واحداً في جميع الأنابيب بينما يكون فقدان الضغط نتيجة الاحتكاك هو ناتج جمع الفواقد في الأنابيب.

3 – 8 – 8 تفريش خط الأنابيب

الفرشة عبارة عن أداه تحشر داخل خط الأنابيب لتتحرك داخله بحرية مدفوعة بواسطة سائل الضخ لتؤدي مهام محدده داخل الخط مثل:

1 - فرش الكسح التي يمكن استخدامها فى تنظيف الخط، الحجز بين المنتجات، كسح المياه الموجودة بالخط.

2 - فرش الفحص الداخلي للخط التي تستخدم للإمداد بمعلومات عن حالة الخط مثل التآكل أو الشروخ كمثال ومدى خطورتها وتحديد مكانها بدقة.

3- فرش ذات مهمة خاصة مثل فرش سد الخط التي يمكن استخدامها لسد الخط أثناء إنشاء الخط يمكن استخدام الفرش المدفوعة بالهواء لإزالة المخلفات المتراكمة بالخط، وعند الاختبار الهيدروليكي بالماء تستخدم الفرش عند ملئه بالماء لكسح الهواء أمامها وعند تفريغه من الماء بعد الاختبار

تستخدم الفرش المدفوعة بالهواء المخلوط بالميثانول لتجفيف جدران الخط مما بقى من آثار الماء. وإثناء تشغيل خطوط البترول يمكن استخدامها في تنظيف جدران خط الزيت الخام من الشموع، ودفع كمية من مانع الصدأ أو الكيمياويات لتنظيف الخط من البكتيريا أو الرواسب المختلفة.

3– 8 – 9 تصميم خط الانابيب

عند البدء في تصميم خط أنابيب لنقل السوائل فمن الضروري تحديد العناصر الآتية المطلوبة لتصميم النظام :

1- الكميات المطلوب نقلها ودرجة حرارة السائل .

2 - الظروف الجوية مثل متوسط درجة حرارة الأرض والهواء وأعلى وأقل درجه حرارة على مدار السنة.

3- خواص السائل المنقول مثل اللزوجة والكثافة النسبية والضغط البخاري ودرجة الانسكاب.

العوامل الجوية:

العامل الجوي الحرج بالنسبة للتصميم هو درجة حراره الأرض المحيطة بالخط بالنسبة للخطوط المدفونة أو درجة حرارة الجو للخطوط المكشوفة فوق الأرض. المناطق المختلفة من الأرض وبالذات الشمالية والجنوبية لها طقس مختلف ولهذا فإن خطوط الأنابيب الطويلة قد تتعرض خلال مسارها إلى درجات حرارة متفاوتة. ولهذا كان لابد من تحديد درجة الحرارة المتوسطة المحيطة بالخط وأقصى وأقل درجة حرارة على طول العام.

3– 8 – 10 خواص السائل

توصيف السائل المنقول يشمل تحديد لزوجته وكثافته وضغطه البخاري ودرجة انسكابه. هذه الخواص تتحدد من خلال فحوصات مختبرية لعينات محددة للسائل. وتعتبر اللزوجة هي الخاصية الطبيعية للسائل التي تقاوم السريان وهى بالنسبة للسوائل تتغير عكسيا مع درجة الحرارة، وهى ذات تأثير واضح في تحديد قطر الخط والبعد بين المحطات والطاقة اللازمة للضخ . الكثافة لها تأثير مباشر في تحديد قيمة الضغط الذي يسببه عمود السائل (ضغط السائل). الضغط البخاري هو الحد الأدنى لضغط السائل داخل الخط ويجب تجنبه لمنع ظاهرة التكهف (وهو ظاهرة تشكل فقاعات من البخار لسائل جاري في منطقة ينخفض فيها ضغط السائل إلى ما دون ضغط البخار داخل الخط). درجة الانسكاب هي أقل درجة حرارة للسائل ويجب تجنبها داخل الخط لمنع تجمد السائل.

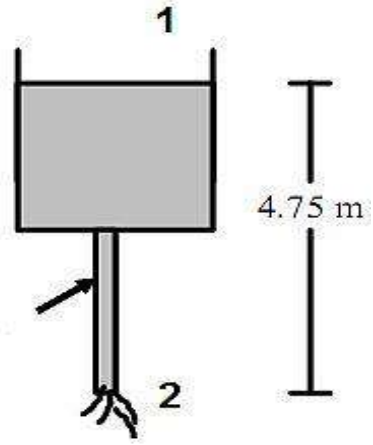
اسئلة الفصل الثالث

س 1 : عدد ميزات المائع المثالي؟

س 2 : عدد ميزات المزدوج الحراري؟

س 3 : ماهي انواع المانوميترات وما الفرق بينها؟

س 4 : خزان واسع يحتوي على ماء يصرف خلال انبوبة متصلة بقاع الخزان وتنخفض (4.5 m) عن سطح الماء كما موضح بالشكل ادناه احسب سرعة خروج الماء من الانبوبة ؟



س 5 : احسب ضغط مائع في خزان متصل بمانوميتر مغلق النهاية قراءته (5 cm)؟

س 6 : احسب ضغط الماء الموجود في خزان متصل بمانوميتر مفتوح النهاية قراءته (3 cm) علما ان الضغط الجوي يعادل (760 mm Hg) ؟

س7 : ما هو اساس عمل الاجهزة التالية:

المقياس الدوار – مقياس فنتوري

س 8 : اكمل الفراغات التالية:

أ- لوصف جريان مائع يجب معرفة سرعة المائع و---------- و----------.
ب- انواع جريان الموائع هي----------و----------.
ج- الضغط المطلق = ----------+----------

د- البارومیتر جهاز لقياس ---------- اما المانوميتر جهاز لقياس ----------.

س 9 : اذكر اشكال الطاقة لمائع جاري ؟ ثم اكتب معادلة برنولي ؟

س 10 : عرف الموائع ؟ ثم اذكر مميزات المائع المثالي ؟

الفصل الرابع

خزن ونقل النفط الخام ومشتقاته

Transportation and storage of crude oil and its fractions

الاهداف

بعد إنهاء دراسة الفصل سيكون الطالب قادرا على أن:

1. يميز أنواع وخصائص المضخات والصمامات المستخدمة في تكرير النفط و معالجة الغاز.
2. يتفهم أعمال الصيانة الدورية للمضخات والصمامات المستخدمة في تكرير النفط و معالجة الغاز.
3. يتعرف على أنواع الخزانات النفطية وتصنيفاتها المختلفة.
4. يفهم التحوطات الأساسية لنقل النفط بالأنابيب.

4 -1 تمهيد

يعتبر قطاع خزن ومناقلة النفط أحد المرتكزات الأساسية للصناعة النفطية. ولذلك تكتسب المكونات المادية لهذا القطاع (مثل المضخات، الأنابيب، الصمامات، والخزانات) أهمية كبيرة تتطلب معرفة أنواعها و خصائصها وأسلوب صيانتها الدورية. كما ان التعرف على تعليمات السلامة الصناعية الخاصة بعمليات ضخ النفط الخام ومشتقاته لها دور أساسي في ديمومة العمل وسلامة المعدات والعاملين.

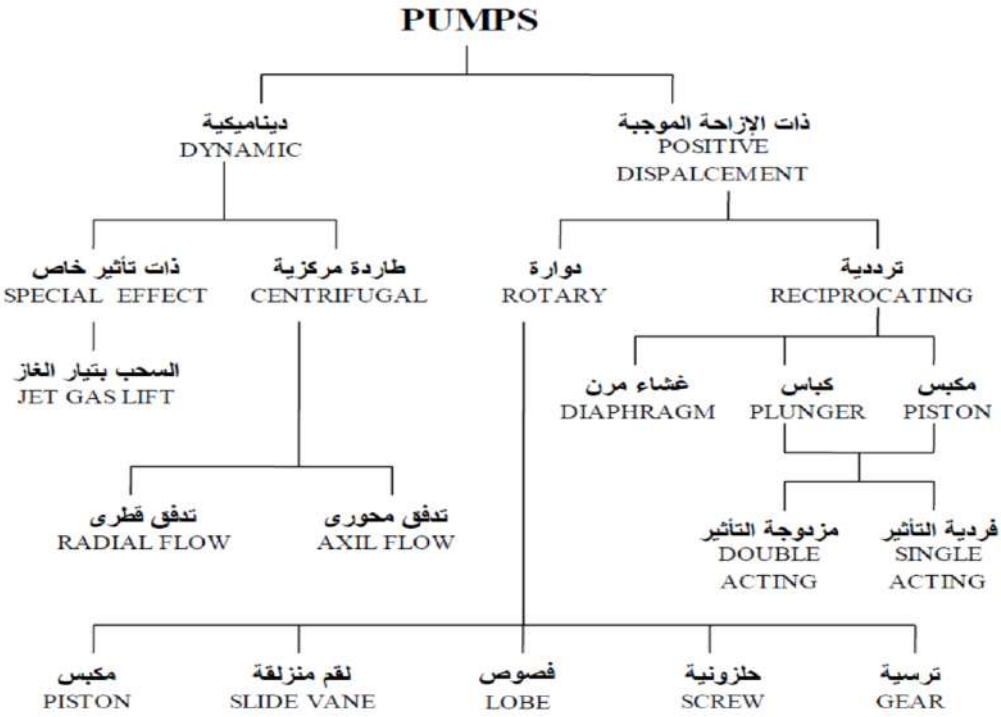
4 – 2 المضخات، أنواعها- خصائصها- التوصيلات (Pumps)

لقد حاول الإنسان منذ القدم الاستفادة من المياه واستخدامها في مجالات مختلفة، ونظرًا لحاجة الإنسان إلى الماء ونقله من مكان إلى آخر أو رفعه من مستوى منخفض إلى مستوى مرتفع، فقد حاول اختراع وسائل لرفع الماء، منها ما يعمل يدويًا أو باستخدام الحيوانات، واستمرت محاولاته إلى أن تمكن من اختراع المضخات التي تعمل على الكهرباء، فالمضخة تعتبر من أكثر الآلات انتشارا بعد المحرك الكهربائي وهي الة ميكانيكية تستخدم لزيادة الطاقة الهيدروليكية وعادة تستخدم لرفع السوائل من مستوى منخفض إلى مستوى اخر اعلى من مستوى السحب. و للمضخات أنواع كثيرة جدا لتنوع التطبيقات والاستخدامات، حيث تدخل في العديد من الصناعات والمجالات لتخدم الأنظمة الآتية :

1- شبكات المياه و الري و الصرف الصحي.
2- نقل النفط الخام من مواقع الإنتاج لمصافي التكرير.
3- نقل المشتقات النفطية داخل مصافي التكرير بين الوحدات الإنتاجية.
4- نقل المياه لأنظمة التبريد وأنظمة إنتاج البخار (المراجل البخارية) .
5- عمليات حقن الآبار النفطية وكذلك حقن الكيمياويات اللازمة للمعالجة بكميات دقيقة محسوبة.
6- توليد الضغوط العالية جدا للمياه لتستخدم في تنظيف أنابيب المبادلات الحرارية.

4 -2-1 أنواع المضخات

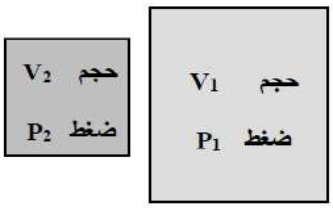
يمكن تصنيف المضخات إلى نوعين أساسين هما المضخات الديناميكية (مثل الطاردة المركزية) ومضخات الإزاحة الإيجابية (مثل الترددية والدوارة) وهناك فرق جوهري بين مضخات الإزاحة الإيجابية والمضخات الديناميكية يكمن في أن الأولى تعطي حجما محددا من السائل في فترة معينة ثم يتوقف خروج السائل لفترة أخرى أثناء دورة تشغيل واحدة بينما تعطي المضخات الديناميكية تصريفا مستمرا للسائل الشكل، (4-1) يوضح كافة تصنيفات وأنواع المضخات المستخدمة صناعيا.



شكل (4-1) تصنيفات وأنواع المضخات المستخدمة صناعيا

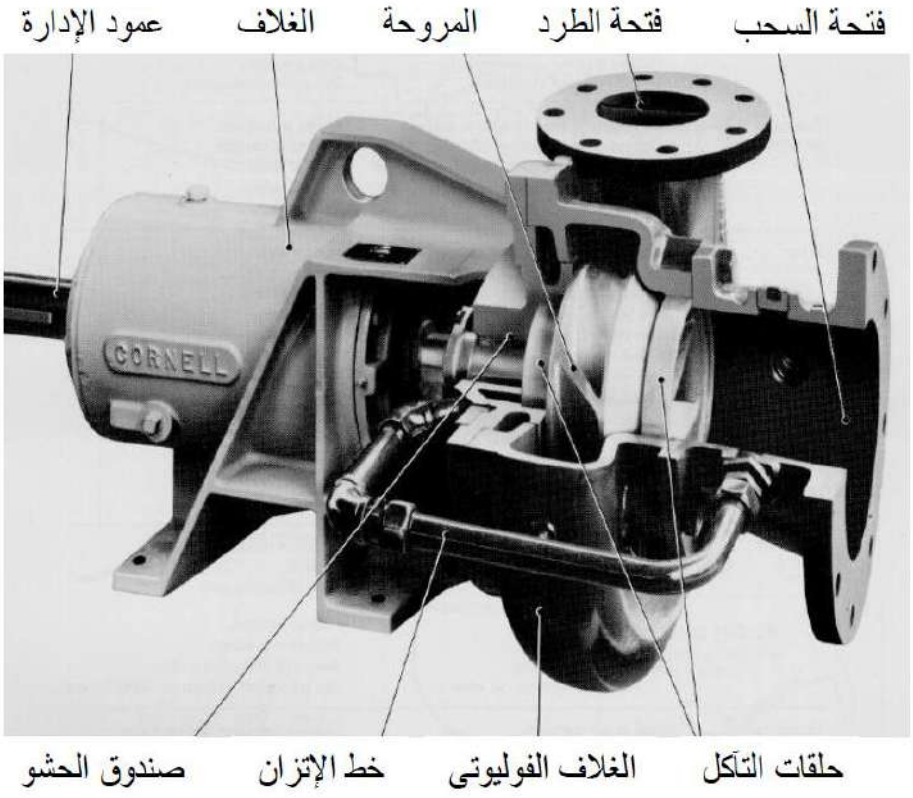
4-2-2 مقارنة بين مضخات الضغط الديناميكي والمضخات الإيجابية

الجدول (4-1) يبين اهم الفروقات بين مضخات الضغط الديناميكي والمضخات الإيجابية

ت	وجه المقارنة	مضخات الضغط الديناميكي	مضخات الضغط الترددي
1	نظرية العمل	تعتمد نظرية عمل المضخات الديناميكية على أن المحرك يكسب بشارة المضخة طاقة سرعة فتقوم البشارة بإكساب السائل طاقة السرعة التي تتحول إلى ضغط عندما يمر السائل في أنبوب الخروج.	تعتمد نظرية عمل المضخات الإيجابية على انه لو قل حجم سائل ما لزاد ضغطه  $V_2 < V_1$ $P_2 > P_1$
2	اهم الأنواع	1- المضخة الطاردة المركزية 2- المضخة المروحية	1- المضخة الترددية 2- المضخة الترسية 3- المضخة الحلزونية 4- المضخة ذات الفصوص
3	السرعة	عالية	منخفضة
4	التدفق	متوسطة- عالية	منخفضة
5	الضغط	متوسط - منخفض	عالي
6	الصيانة	غير مكلفة	مكلفة جدا

3-2-4 المضخة الطاردة المركزية (Centrifugal Pump)

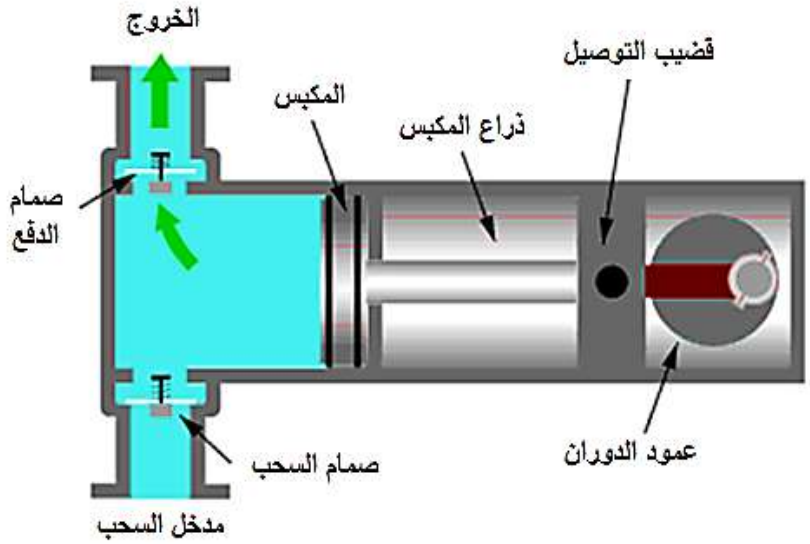
هي أكثر الأنواع شيوعًا ويمكن استخدامها مع معظم السوائل، هنا يتم ضخ المواد السائلة باستخدام قوة طرد مركزيّة ناتجة عن دوران ما يعرف بالبشارة أو المروحة (Impeller) التي تمر من خلالها المادة السائلة. وتعتمد نظرية عملها على أن المحرك يكسب بشارة المضخة طاقة سرعة، فتقوم البشارة بإكساب السائل طاقة السرعة التي تتحول إلى ضغط عندما يمرّ السائل فيها، والشكل (4-2) يمثل مجسماً (ثلاثي الأبعاد) لمضخة طاردة مركزية.



الشكل (4-2) مجسم (ثلاثي الأبعاد) لمضخة طاردة مركزية

4-2-4 المضخة الترددية (Reciprocating Pump)

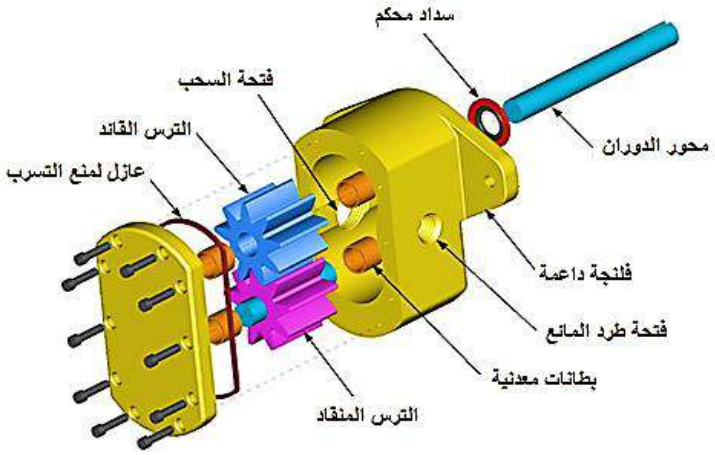
تعود تسميتها بهذا الاسم لكون حركتها الرئيسية إلى الأمام والخلف اذا كانت المضخة موضوعة بشكل أفقي والى الأعلى والأسفل اذا كانت المضخة موضوعة بشكل عمودي ويكون التدفق الداخلي والخارجي بنفس الاستقامة وعملية الضخ في هذا النوع من المضخات تكون معتمدة على مكبس وحشوات منع التسرب التي توجد على ذراع المكبس. وتستخدم المضخات الترددية للحصول على ضغوط عالية للسائل تصل أحيانا إلى 1000 bar، ولكن تصريفها أقل بكثير من مضخات الضغط الديناميكي. تعطي قيم تصرف ثابتة بالنسبة للزمن لذلك تستخدم في حقن الكيمياويات وفي حقول النفط ويمكن أن تنقل السوائل شديدة اللزوجة مثل النفط الخام. الشكل (4-3) يمثل مضخة ترددية ذات مرحلة ضغط واحدة.



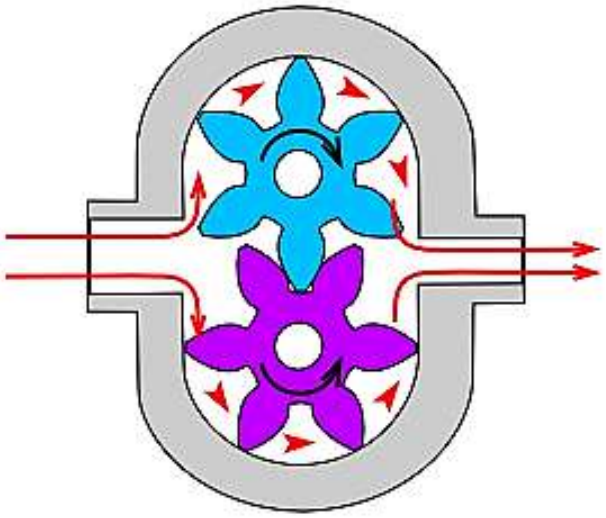
الشكل (4-3) مضخة ترددية ذات مرحلة ضغط واحدة

4-2-5 مضخة التروس (Gear Pump)

تستخدم المضخة ذات التروس في ضخ المائع عن طريق تحريكه بواسطة ترسين يتشابكان مع بعض، وتعتبر من أكثر المضخات شيوعا في تطبيقات الطاقة الهيدروليكية بالإضافة إلى استخدامها في الأعمال الكيميائية لضخ الموائع عالية اللزوجة مثل زيوت التشحيم وشبكات تزييت الضواغط والمحركات. يبلغ أقصى ضغط يمكن أن تعمل عليه 210 bar بينما تبلغ أقصى سرعة دوران لها 3000 rpm (دورة/دقيقة). الشكل (4-4) مجسم (ثلاثي الأبعاد) لأجزاء مضخة تروس. أما الشكل (4-5) فيوضح مسارات المائع في مضخة تروس.



الشكل (4-4) مجسم (ثلاثي الأبعاد) لمضخة تروس



الشكل (4-5) مسارات المائع في مضخة تروس

4-2-6 العوامل المؤثّرة على اختيار المضخّة

هناك مجموعة من العوامل التي يتم اعتمادها في اختيار المضخّة المناسبة، وتشمل ما يأتي :

1 - مدى سعة الضخ للمضخّة والارتفاع المطلوب فيها، وهذا بدوره يتحكم في سرعة المضخة وأبعاد البشارة، إضافةً إلى نوعية السحب المستخدم فإمّا أن يكون مفرداً أو مزدوجا.

2 - درجة الحرارة المطلوبة خلال ضخ المادة السائلة، وهذا يختلف من مضخّة لأخرى تبعاً لنوعها ولاستخدامها.

3 - اللزوجة التي تمتلكها المادّة التي سيتمّ ضخّها. حيث كلما زادت لزوجة السائل ازدادت الطاقة المطلوبة للضخ.

4 - نوع المائع المستخدم من ناحية قدرته على تكوين الصدأ، وهذا يتم تحديده من خلال اختيار المعدن المستخدم في صنع المضخّة .

4-2-7 الأجزاء التصميمية للمضخة

تتكون جميع أنواع المضخات من أجزاء ثابتة وأجزاء متحركة وفيما يأتي استعراض لمخططات الأجزاء التصميمية للمضخات المذكورة انفا .

4-2-7-1 الأجزاء التصميمية للمضخة الطاردة مركزية

الشكل (4-6) يوضح مخططاً للأجزاء الداخلية الرئيسية لمضخة طاردة مركزية وتتكون مما يأتي :

أولا - الأجزاء الثابتة وهي :

أ- الغلاف (Casing) .

ب- فتحات السحب و الطرد (Suction nozzle & Discharge nozzle) .

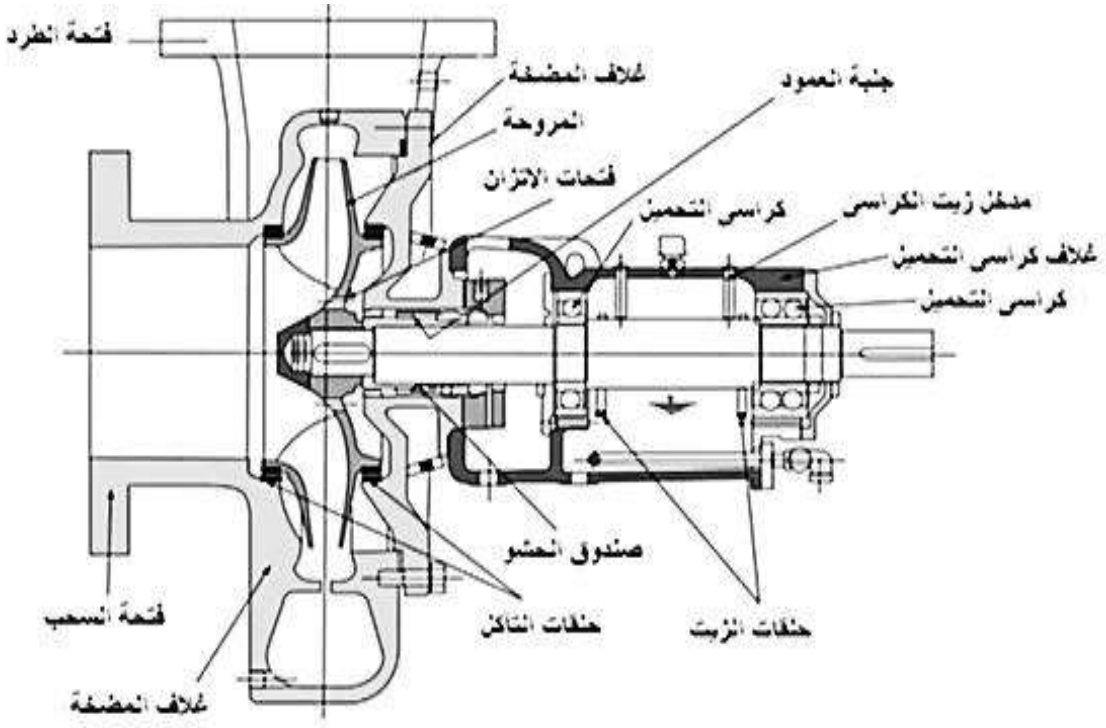
ت- مانع التسرب او صندوق الحشو (Stuffing box) .

ثانيا - الأجزاء المتحركة وهي :

أ- المروحة او البشارة (Impeller)

ب- العمود (Shaft)

ت- كراسي التحميل (Bearings)



الشكل (4-6) مخطط ميكانيكي لأجزاء مضخة طاردة مركزية

4– 2 – 7 – 2 الأجزاء التصميمية للمضخة الترددية

الشكل (4-7) يوضح مخططاً للأجزاء الداخلية الرئيسية للمضخة الترددية وتتكون من الاجزاء الآتية :

أ- المكبس أو الكباس (Piston or Plunger)

ب- عمود المرفق (Crank shaft)

ت- الأسطوانة (Cylinder)

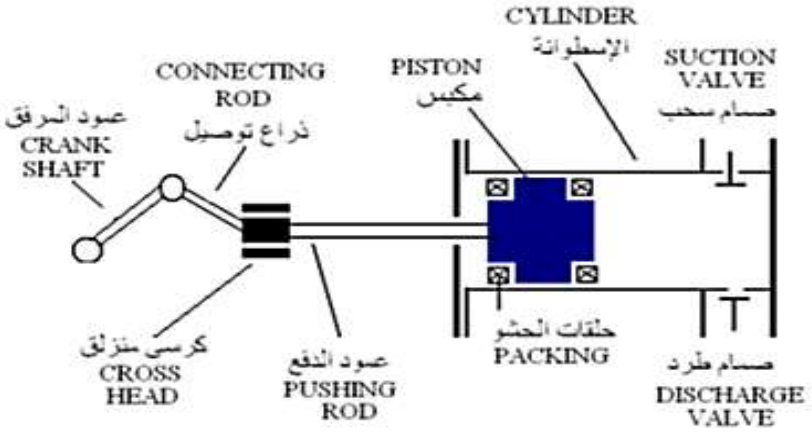
ث- الرأس المنزلقة (Cross head)

ج- ذراع التوصيل (Connecting head)

ح- صمام الطرد (- Discharge port -valve)

خ- صمام السحب (- Suction port-valve)

د- حلقات الحشو (Packing)



الشكل (4-7) مخطط للأجزاء الداخلية الرئيسية للمضخة الترددية

4-2-8 التوصيلات المتوالية والمتوازية (series and parallel connections)

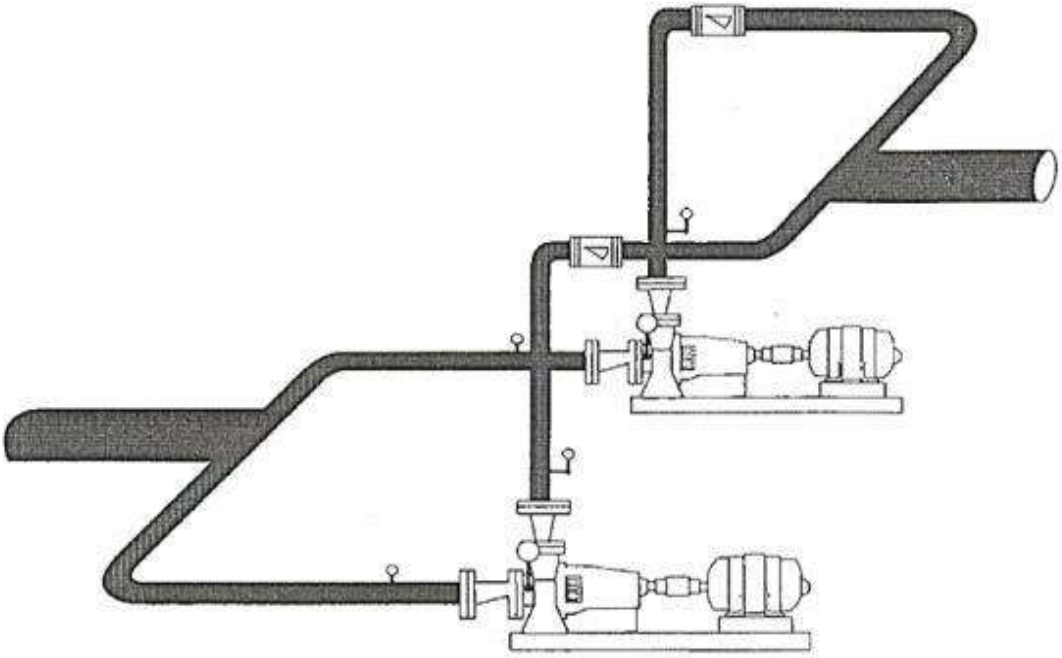
إن الغرض من ربط المضخات مع بعضها البعض يعتمد على حاجتنا لنوع التوصيل و يشترط ان تكون المضخات من نفس النوع وبنفس القدرة حتى لا تؤثر إحداهما على الأخرى فلو كنا بحاجة إلى كمية تدفق اكثر(Q) فإنه يتم الربط علي التوازي أما اذا كانا بحاجة إلى ارتفاع اكثر (H) فإنه يتم الربط على التوالي .

4-2-8-1 الربط على التوازي

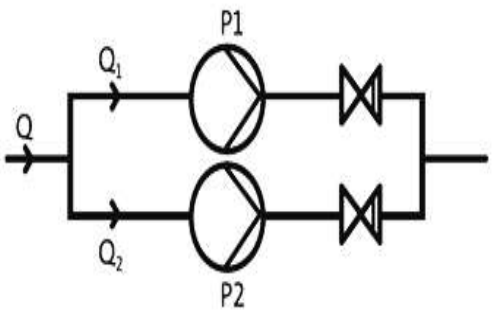
الشكل (4-8) يوضح كيفية توصيل المضخات على التوازي والشكل (4- 9 - أ) يبين كيفية العمل حيث انه كل مضخة تسحب كمية من السائل مقدارها Q_1. أما Q_2 فهي الزيادة في التدفق أي أن المجموع الكلي للتدفقات هو التدفق الخارج من المضخة الأولى مضاف لها التدفق الخارج من الثانية كما في المعادلة (4-1)، و نلاحظ ثبات الارتفاع (H)، كما بالشكل (4- 9 - ب) كما في المعادلة (4-2).

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1\text{-}4)$$

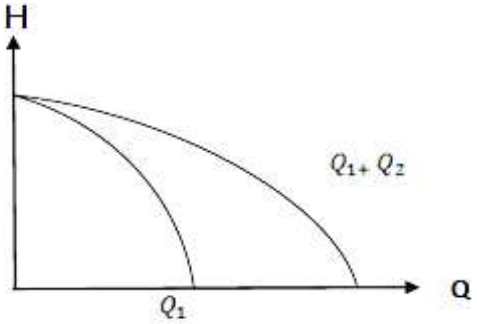
$$H = H_1 = H_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}4)$$



شكل (4-8) يوضح توصيل المضخات على التوازي



شكل (4- 9- أ)



شكل (4- 9- ب)

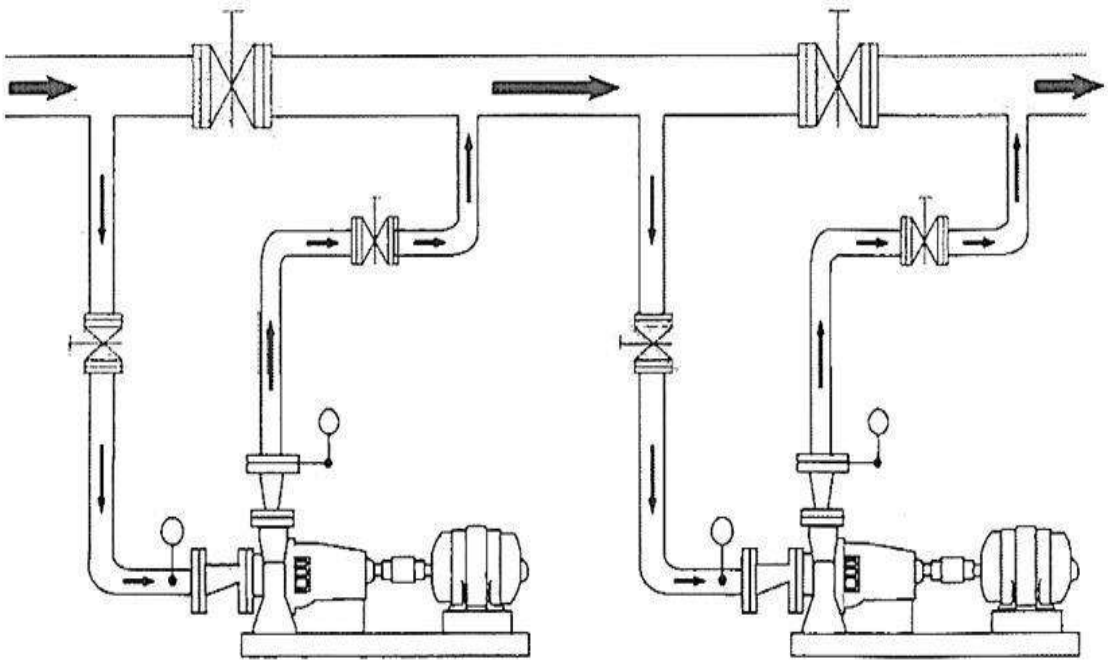
4-2-8-2 الربط على التوالي

الشكل (4-10) يوضح لنا كيفية توصيل المضخات على التوالي و الشكل (4-11- أ) يبين لنا كيفية العمل حيث ان المضختين موصلتان على التوالي فان كمية التدفق التي تسحبها المضخة الأولى هي نفس الكمية التي تدخل للمضخة الثانية وهو نفسه المجموع الكلي للتدفقات الخارجة من المنظومة وهذا ما تؤكده معادلة الاستمرارية (4-3) .

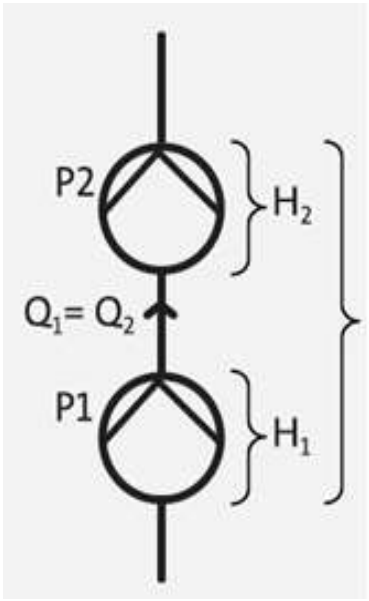
إلا انه عند التوصيل على التوازي فان المضخة الثانية تزيد من الارتفاع (H) للمضخة كما موضح بالشكل (4-11- ب)، كما مبين بالمعادلة (4-4).

$$\mathbf{Q} = Qin = Qout \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (3\text{-}4)$$

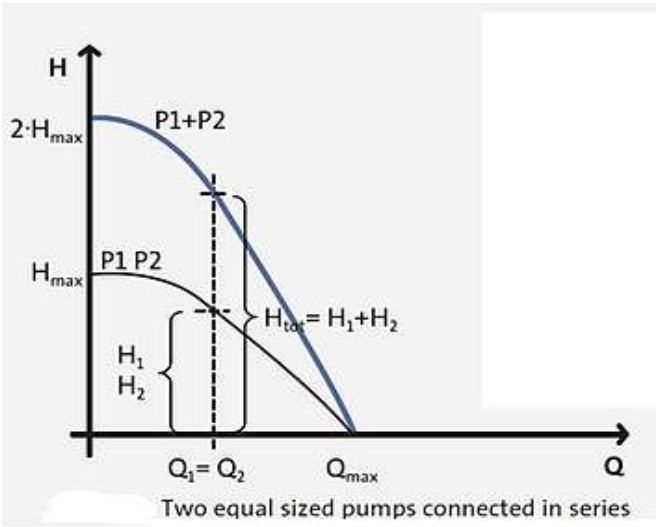
$$\mathbf{H} = = H_1 + H_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (4\text{-}4)$$



شكل (4-10) توصيل المضخات علي التوالي



الشكل (4-11 - أ)



الشكل (4- 11- ب)

يتضح مما سبق ان توصيل المضخات على التوالي يزيد من قيمة الارتفاع للسائل المدفوع, بينما التوصيل على التوازي يزيد من قيمة التدفق للسائل المدفوع, مع ملاحظة ان المضخات يجب ان تكون متساوية بالحجم كما سبق ذكره.

مثال (1)

خزان حجمه $8\ m^3$ على ارتفاع 20 m يراد إملائه بالماء.

أ- في حالة توفر مضختين طاردة مركزية كل منهما لها تدفق (Q) $2\ m^3/hr$ وارتفاع سائل (H) = 10 m . كيف يتم ربط المضختين لإيصال الماء إلى الخزان؟

ب- في حالة توفر مضختين طاردة مركزية كل منهما لها تدفق (Q) $4\ m^3/hr$ وارتفاع سائل (H) = 20 m. كيف يتم ربط المضختين لكي يتم ملأ الخزان في ساعة واحدة؟

الحل

أ- لكي تتم زيادة ارتفاع سائل المضخة مع الحفاظ على نفس كمية التدفق, يتم ربط المضختين على التوالي وحسب المعادلتين (4-3) و (4-4). أذن بعد ربط المضختين على التوالي نحصل على:

$Q = Qin = Qout = 2\ m^3/h$

$H = H_1 + H_2 = 10 + 10 = 20\ m$

ب- لكي تتم زيادة كمية التدفق مع الحفاظ على نفس ارتفاع سائل المضخة، يتم ربط المضختين على التوازي و حسب المعادلتين (4-1) و (4-2). أذن بعد ربط المضختين على التوازي نحصل على:

$H = H_1 = H_2 = 20\ m$

$Q = Q_1 + Q_2 = 4 + 4 = 8\ m^3/h$

زمن ملأ الخزان = حجم الخزان \ التدفق = 8\ 8 = 1 ساعة

جدول (4-2) تعريف لبعض الكلمات الواردة في الفصل

ت	الكلمة\الرمز	التعريف
1	Rotating direction indicator	مؤشر اتجاه الدوران
2	Downstream pipe flange	فلنجة انبوب الخروج
3	Upstream pipe flange	فلنجة انبوب الدخول
4	Volute chamber	غرفة حلزونية
5	Equal sized	متساوي الحجم
6	Pressure side	جهة الضغط
7	Suction side	جهة السحب
8	Drive-shaft flange	فلنجة عمود التدوير
9	Coupling	رباط
10	Bearing housing	غرفة كراسي التحميل
11	Ear rings	حلقات الاذن
12	Motor	محرك

4 – 3 شبكات الأنابيب

في الصناعة النفطية، أي نشاط إنتاجي لا يمكن ان يتم دون وجود شبكة من خطوط الأنابيب التي تربط الوحدات الإنتاجية في المصافي النفطية بعضها بالبعض الآخر ثم بالمستودعات النفطية المخصصة للتصدير. وتعتبر خطوط الأنابيب من أفضل الطرق لنقل النفط والغاز لأنها أكثر أمناً، وأقل تكلفةً، وأقل عرضةً للسرقة، وأقل ضرراً للبيئة، ووسيلة ملائمة وموثوقة أكثر من الوسائل الأخرى، ويتم نقل كل من النفط والغاز الطبيعي عن طريق الأنابيب من أماكن الإنتاج المنتشرة إلى المصافي ومحطات المعالجة، ومن الجدير بالذكر أن قياس قطر الأنبوب المستخدم في خطوط التجميع لنقل الغاز والنفط من الآبار إلى المحطة المركزية يبلغ أقل من 5 cm، بينما يبلغ قطر الخطوط التي تحمل النفط لمسافات طويلة حوالي 120 cm. تكون خطوط الأنابيب مجهزة بالصمامات، والمضخات، وأجهزة التحكم الأخرى من أجل نقل الغازات والسوائل، وتُصنع هذه الأنابيب من المعادن مثل الحديد والألمنيوم والصلب، وتُصنع في بعض الأحيان من البلاستيك، وهي تُوضع تحت الأرض غالباً، وهي نوعان هما: أنابيب النفط الخام التي تنقل النفط الخام إلى المصافي، وخطوط أنابيب المنتج التي تنقل المنتجات المكررة مثل الكيروسين والبنزين وزيت التدفئة ووقود الطائرات من المصافي إلى السوق. تضاف غالباً كمية قليلة جدا من الإضافات كالبوليمرات مثل أكاسيد البولي إيثلين مع النفط الخام، وبعض المنتجات النفطية التي تنتقل عبر الأنابيب من أجل تقليل فقدان الطاقة، عن طريق تقليل اللزوجة، وهناك أيضاً حاجة إلى خطوط أنابيب بحرية لنقل الغاز الطبيعي والنفط من آبار الغاز وآبار النفط البحرية إلى خطوط أنابيب برية، لتنقل الغاز إلى محطة المعالجة، والنفط إلى المصافي. الشكل (4-12) يمثل شبكة أنابيب داخل مصفى بيجي، أما الشكل (4-13) فيمثل خطوط الأنابيب الاستراتيجية لنقل النفط الخام بين العراق والدول العربية المجاورة وأيضا مع تركيا التي قام العراق بإنشائها منذ مباشرة العراق بالتخطيط لتصدير النفط الخام.

الشكل (4-12) شبكة انابيب داخل مصفى بيجي

الشكل (4-13) يمثل خطوط الأنابيب لنقل النفط الخام داخل و خارج العراق

وهناك وسائل مكملة لمناقلة النفط وهي :

1-3-4 ناقلات النفط

تتنقل ناقلات النفط في المياه الإقليمية، وهناك أنواع مختلفة من الناقلات وهي: الناقلات الكيميائية، وناقلات النفط، والناقلات المركّبة المصممة من أجل نقل البضائع الصلبة والنفط بكميات كبيرة، والبوارج، وهناك قواعد دولية خاصة بالمواد الكيميائية الضخمة، التي تنظّم النقل الآمن للبضائع الكيميائية من خلال توفير مستويات مختلفة من الحماية لمنع تسرب المواد الكيميائية إلى البيئة. تصنّف ناقلات النفط إلى ناقلات النفط الخام الكبيرة، والكبيرة جداً، والمصممة من أجل نقل كميات كبيرة من النفط الخام عبر قطع مسافات طويلة في البحر، وتصنف الناقلات أيضاً إلى ناقلات المنتجات التي تحمل المنتجات النظيفة المكررة مثل وقود الطائرات والبنزين، وتحمل أيضاً المخلفات النفطية مثل النفط الأسود، بالإضافة إلى ناقلات المواد الكيميائية، وناقلات النفط الخام.

2-3-4 السكك الحديدية

استُخدم القطار لنقل النفط الخام لأكثر من 150 سنة، وكان وجود صناعة الغاز والنفط مرتبطاً بوجود السكك الحديدية، ويتميز النقل بواسطة السكك الحديدية إلى عدم وجود ضرورة لإنشاءات جديدة، وهو ما يميزه عن النقل بالأنابيب التي تتطلب الملايين لإنشائها، ومن ناحية أخرى يعتبر نقل النفط في القطار السريع نقلا سريعاً إلى حد ما، وقد ازدادت كمية النفط المحمول من قبل القطارات في السنوات الأخيرة بفضل تطور التكنولوجيا.

3-3-4 شاحنات النقل

تعتبر شاحنات النقل وسيلة شائعة لنقل النفط والمنتجات النفطية، وهي تعد أفضل من القطارات بسبب قدرتها على السير في مختلف الأماكن، وبسبب توفر البنية التحتية لها، وتحمل هذه الشاحنات كمية قليلة من النفط، مما يقلل من الصعوبة الناتجة عن التسرب، كما أنها بعيدة عن المسطّحات المائية عند وقوع الحوادث .

3– 4 أنواع الصمامات وطرق اختيارها

Types of valves and selection methods:

3– 4 – 1 تعريف الصمام

هو عبارة عن آلة أو أداة تحتوي جزء أو أكثر متحرك قابل للفتح أو الإعاقة أو الغلق لمجرى المائع (نفط، غاز، ماء)، ويُشغل ميكانيكيا أو كهربائيا او هيدروليكيا بواسطة السائل أو الهواء .

4 – 4 – 2 اهمية الصمامات

1 - على الرغم من أن الصمامات هي معدات غير مكلفة نسبيًا ولكن لها تأثيراً كبيراً مثل التحكم في تدفق السوائل وضغط النظام وعناصر التحكم في درجة حرارة العملية.
2 - لها دور هام في حماية العمليات.
3 - غالبًا ما تكون الصمامات خط التحكم الأول للسوائل والغازات القابلة للاشتعال، ومن المهم للغاية اختيار وتركيب الصمام المناسب في المكان المناسب.

4– 4 – 3 الغرض من استخدام الصمامات

1 - التحكم بحركة المائع
2 - السيطرة على الضغط في المنظومة
3 - التحكم بمعدل التدفق للمائع
4 - عزل طاقة السوائل (تشغيل/إيقاف)
5 - سلامة التدفق
6 - سلامة الضغط
7 - خلط تدفق الموائع
8 - تباعد التدفق

4 - 4 – 4 أصناف الصمامات النفطية

تصنف الصمامات النفطية الى ثلاث مجاميع رئيسية

أولا - صمامات السيطرة على الضغط .

ثانيا - صمامات السيطرة على التدفق .

ثالثا – صمامات السيطرة على الاتجاه .

وتصنف حسب الطريقة التي تعمل بها إلى ثلاث طرق :

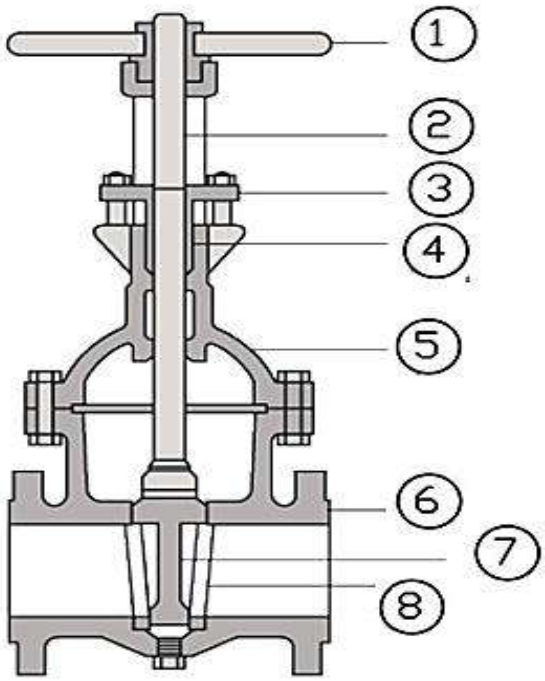
أولا – كهربائي .

ثانيا – يدوي .

ثالثا – هوائي .

4 – 4 – 5 الاجزاء الرئيسية للصمامات النفطية

تشترك كافة الصمامات المستعملة في مختلف الصناعات بضمنها الصناعات النفطية على اختلاف أحجامها وضغوطها التشغيلية بآلية عمل ميكانيكية واحدة وان اختلفت في الشكل والحجم وحسب الشركات المصنعة الا انها ذات هدف واحد لكل جزء. فيما ادناه أسماء الأجزاء الرئيسية للصمام والمؤشرة على الشكل (4 - 14) .



شكل (4 – 14) مخطط لصمام يبين الأجزاء الرئيسية

(1) محور الدوران (2) ساق الصمام (3) قناة (4) حشوة (5) غطاء الجسم

(6) جسم الصمام (7) بوابة (8) موجه البوابة

1 - محور الدوران

يشغّل الصمام يدويا بواسطة المقبض او العجلة اليدوية أو الرافعة، أو تعمل من تلقاء نفسها بالطاقة الهوائية، الهيدروليكية، أو المحرك الكهربائي .

2 - ساق الصمام

ينقل الساق الحركة من المقبض أو جهاز التحكم إلى القرص، ويمر عادةً عبر غطاء الصمام عند وجوده. في بعض الحالات، يمكن دمج الساق والقرص في قطعة واحدة، أو يتم دمج الساق والمقبض في قطعة واحدة .

قد تكون الحركة المنقولة بواسطة الساق قوة خطية، أو عزم دوران، أو مزيجًا منهما. تستعمل الحشوات غالباً بين الساق وغطاء الصمام لتوفير عزل محكم لمنع التسرب. بعض الصمامات التي ليس لها تحكم خارجي ولا تحتاج إلى ساق كما هو الحال في معظم صمامات عدم الرجوع .

3 - القناة

عبارة عن ممر يسمح بمرور الموائع عبر الصمام. يتم غلق القناة بواسطة البوابة. تحتوي الصمامات في الغالب على قناتين, ويتم توصيل الصمام دائمًا من خلال القنوات بالأنابيب أو المكونات الأخرى .

4- الحشوات

تستخدم الحشوات كعوامل لمنع تسرب المائع من جسم الصمام .

يوجد نوعان أساسيان من الحشوات هما :

a- حشوات التفلون (PTFE) وهي مصنوعة من البلاستك لها قابلية على منع الاحتكاك وتمتاز بعدم الحاجة الى تزييتها كما ان لها قابلية على مقاومة تأثير العديد من المواد الكيميائية فضلا على انها تعمل بدرجات حرارة ($^{\circ}C$ 450 - 40 -).

b- حشوات الكرافيت (Graphite) وهي مصنوعة من الكرافيت وتتحمل درجات الحرارة العالية التي تصل الى $^{\circ}C$ 680 ، وتمتاز في عدم حاجتها الى التزييت، وايضا تمنع التسريب بشكل جيد جدا.

5 - غطاء الصمام

هو غطاء لجسم الصمام، وعادة ما يتم تثبيته بشكل شبه دائم في جسم الصمام أو تثبيته بمسامير، وأثناء تصنيع الصمام، يتم وضع الأجزاء الداخلية في الجسم ثم يتم توصيل الغطاء فيه، ويعمل على نقل الحركة الدورانية من خلال الساق الى الأجزاء الداخلية للصمام، يتم خلع الغطاء في حال تطلب الامر اجراء صيانة للصمام .

6 - جسم الصمام

جسم الصمام هو الغلاف الخارجي لمعظم أو كل الصمام حيث يحتوي على القطع والأجزاء الداخلية للصمام. عادةً ما تكون أجسام الصمامات النفطية معدنية كما أن النحاس والبرونز والزنك والحديد والفولاذ وسبائك الفولاذ والفولاذ المقاوم للصدأ شائعة جدًا في تصنيع الصمامات .

7 - البوابة

هي عبارة عن قرص متحرك داخل الجسم يعمل على التحكم في التدفق عبر الصمام. على الرغم من أن البوابة تتخذ شكل قرص تقليدي، إلا أنها تأتي بأشكال مختلفة، اعتمادًا على نوع الصمام. يمكن للقرص أن يتحرك خطيًا داخل الصمام، أو يدور على الساق (كما هو الحال في صمام الفراشة)، أو يدور على مفصلة أو مرتكز الدوران (كما في صمام الاتجاه الواحد) .

شكل (4 - 15) جسم وغطاء الصمام

8 – موجه البوابة

هو الجزء الذي يلامس البوابة ويتحكم بحركتها عند فتح وغلق الصمام . يكون الموجه دائمًا على اتصال بالبوابة، لكن منطقة الاتصال تتغير مع تدوير البوابة.

تُصنف الموجهات الى ما يأتي:

a- الموجهات الصلبة: وهي مصنوعة من مادة معدنية قد تتأثر بالسوائل بالشكل الذي يؤدي الى تآكلها وبالتالي حدوث التسرب .

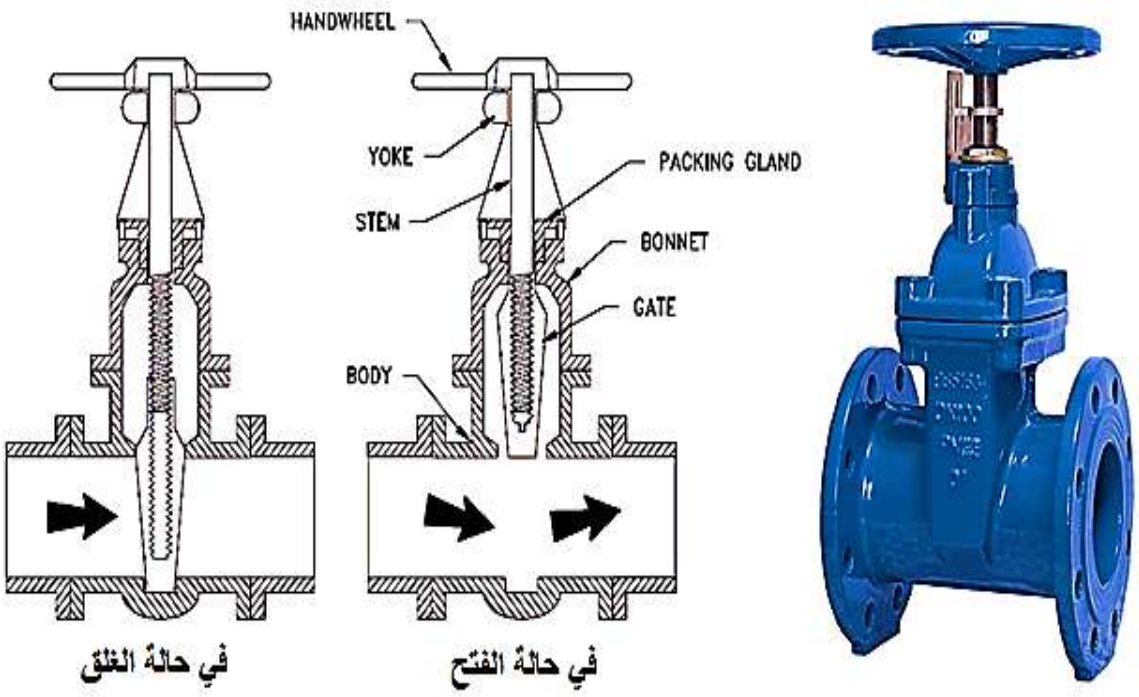
b- المقاعد الناعمة: وهي مصنوعة من مواد أكثر ليونة مثل التفلون أو من مواد بلاستيكية صلبة ومقاومة للتآكل ودرجات الحرارة العالية .

4 – 4 – 6 انواع الصمامات

يوجد الكثير من أنواع الصمامات المستخدمة في المصانع ومحطات معالجة وتوزيع المياه وفي شبكات توزيع الماء والغاز وغيرها. سيتم التطرق الى الأنواع الشائعة من الصمامات المستخدمة في الصناعات النفطية، والتي تشمل ما يأتي :

1. الصمام البوابي Gate Valve
2. الصمام ذو الكرة Ball Valve
3. صمام عدم الرجوع Check Valve (Non Return Valve)
4. صمام الفراشة Butterfly Valve
5. الصمام الكروي (صمام الخنق) Globe Valve
6. صمام الامان Relief and Safety Val

4– 4 – 6 – 1 الصمام البوابي Gate Valve



a- صورة مجسمة للصمام البوابي b- مقطع في الصمام البوابي يبين حالتي الفتح والغلق

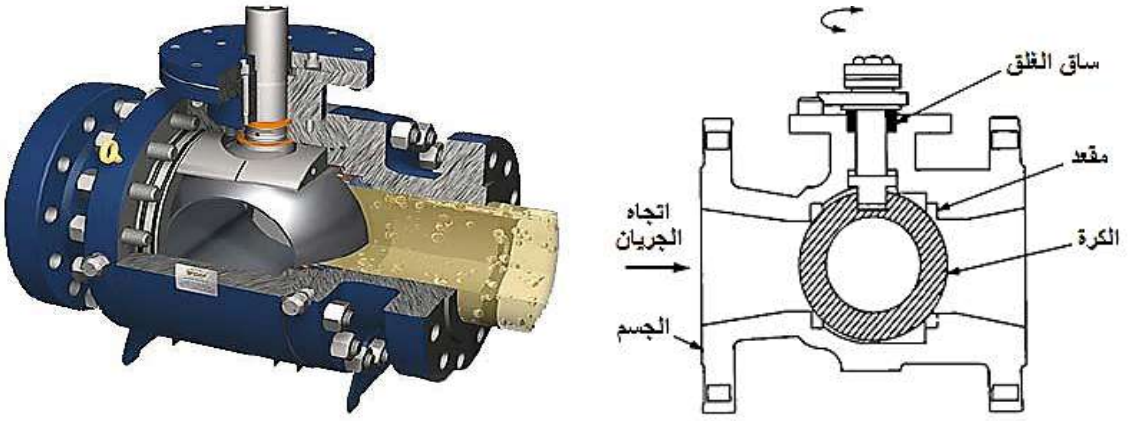
شكل (4 – 16) الصمام البوابي

ان هذا النوع من الصمامات مصمم بحيث يكون مفتوحا او مغلقا كليا ليوفر فتحة جريان منتظمة للمادة حيث ان المادة عندما تمر في الصمام ولا تلاقي تغيراً في اتجاه جريانها فان جريان المائع يكون سلساً وعموديا على البوابة التي تعمل على إيقاف تدفقه . والصمام يعمل ميكانيكيا. يستخدم في انابيب الجريان ومجمعات الصمامات، ومن مواصفاته انه قليل الكلفة ويستخدم من الطرفين .

هناك نوعان من الصمامات البوابية حسب طريقة العمل هما:

1 - الصمام البوابي الاعتيادي .
2 - الصمام البوابي الكهربائي .

4 – 4 – 6 – 2 الصمام ذو الكرة Ball Valve



a - مخطط للصمام ذو الكرة b – مقطع في جسم الصمام ذو الكرة

شكل (4 – 17) مخطط ومقطع للصمام ذو الكرة

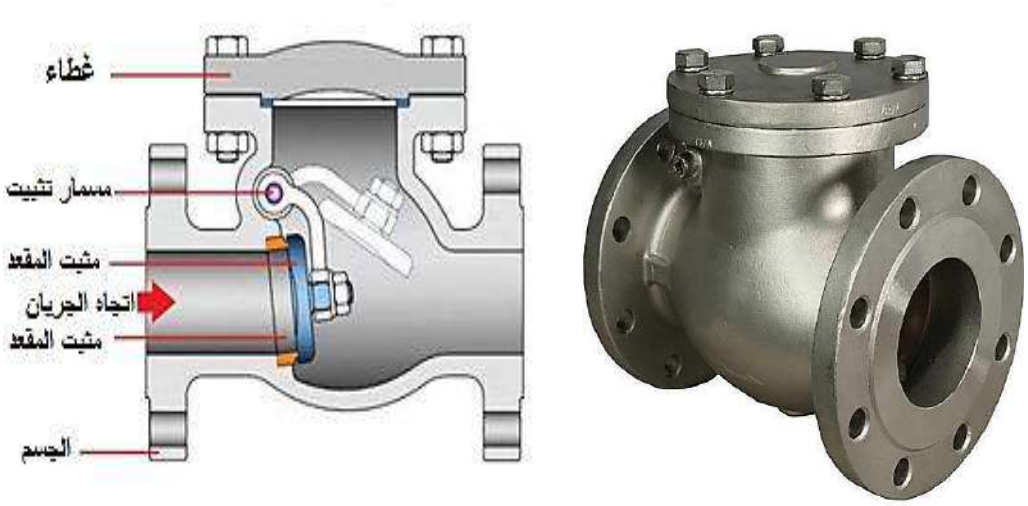
يمتاز بحركته الدائرية ويكون بداخله سدادة مجوفة تقع بين حلقتي عزل مرنتين وتكون السدادة باتجاه الجريان عند الفتح، وباتجاه عمودي على اتجاه الجريان عند الغلق. وتكون هذه الصمامات سريعة العمل ومحكمة الغلق، لا تحتاج إلى الكثير من التزييت.

يتحمل ضغوطاً أقل من 5000 psi ، أما المساوئ فهو أنه لا يستعمل للخنق حيث أن تقليل فتحته سيؤدي إلى تآكل الأجزاء الداخلية بسبب السرعة العالية للجريان. الشكل (4-17) يوضح الصمام ذو الكرة.

ومن ميزاته ما يلي :

1. أنه الأرخص والأقل كلفةً بين جميع الصمامات.
2. محكم الغلق لأنه مركب تركيبا جيدا ولا يوجد اي فراغ بين أجزائه.
3. يستخدم في كلا الاتجاهين.
4. سهل التفكيك والمقاعد سهلة الفتح.
5. أعطاله قليلة.
6. احتياجه الى التزييت يكون قليل.
7. جسم الصمام يوفر تدفقاً معتدلاً للموائع.
8. استجابة سريعة للفتح والغلق .

4 - 4 – 6 – 3 صمام عدم الرجوع (صمام الاتجاه الواحد) Check Valve



a- صورة مجسمة لصمام عدم الرجوع b- مقطع في صمام عدم الرجوع

شكل (4 - 18) صورة مجسمة ومقطع في صمام عدم الرجوع

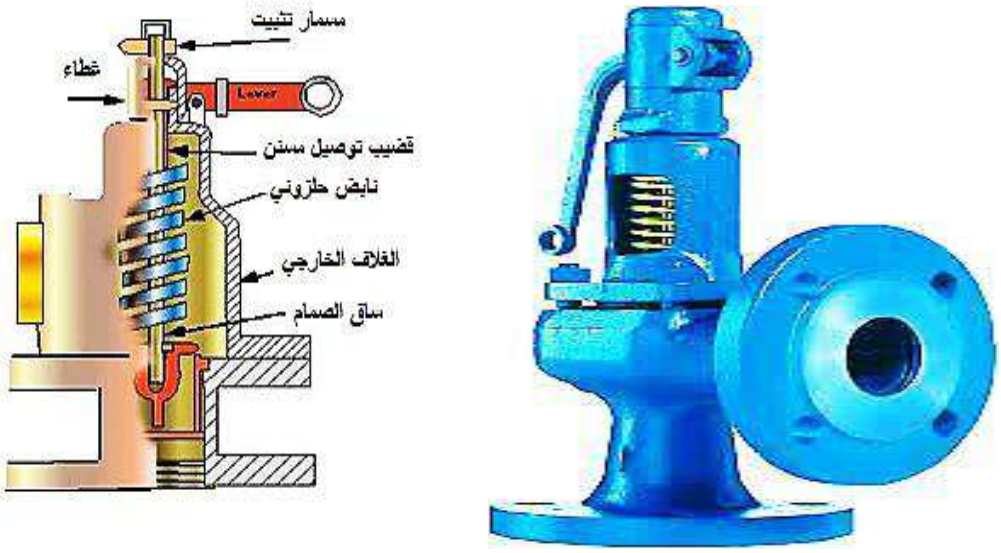
صمام عدم الرجوع، أو ما يسمى في بعض الأحيان (صمام الاتجاه الواحد)، صمام يعمل بشكل ميكانيكي تلقائي، ويتميز بعدم احتوائه على مقبض يدوي للفتح والغلق، ويسمح بتوجيه خط التدفق باتجاه واحد ولا يسمح بعودته بالاتجاه المعاكس أي أنه صمام يعمل ذاتيا "بدون مشغل خارجي". على الرغم من توفره في مجموعة كبيرة من الأحجام والتكاليف، إلا أن صمامات الفحص بشكل عام بسيطة وغير مكلفة.

يكون على عدة أنواع أحدها هو النوع المتأرجح (Swing Type)، حيث يُفتح عند صعود الضغط ويُغلق عند انخفاض الضغط والجريان مما يؤدي إلى منع الجريان العكسي، ويستعمل مع الصمامات البوابة بسبب فرق الضغط القليل أما النوع الآخر فيستعمل في الأنابيب التي يستعمل فيها الصمام الكروي كصمام سيطرة ويمكن استخدامه مع البخار والهواء والغاز والماء، وفي سرعات الجريان العالية.

ومن ميزاته ما يلي :

1. يعمل على توفير الحماية الضرورية للمعدات التي قد تتأثر بسبب التدفق العكسي، مثل صمامات السيطرة (Control Valves)، وعدادات التدفق (flow meters) والمرشحات.
2. يعمل على منع التدفق العكسي عند إيقاف تشغيل النظام (Shut down) لذلك يتم وضعه بعد المضخات في الجزء الطارد المركزي منها وكذلك بعد ضاغطات الهواء.
3. يتم وضع صمام عدم الرجوع في مجمع الانابيب (Manifold) لمنع تدفق النفط من آبار النفط ذات الضغط العالي الى آبار النفط ذات الضغط الواطئ.
4. منع ارتفاع الضغط المرتبط بالقوى الهيدروليكية، التي يمكن أن تتسبب في تشغيل موجة من الضغط للأعلى وللأسفل في الأنابيب حتى يتم تبديد الطاقة.
5. منع التدفق تحت الجاذبية.

4 – 4 – 6 – 4 صمام الأمان Safety Valve



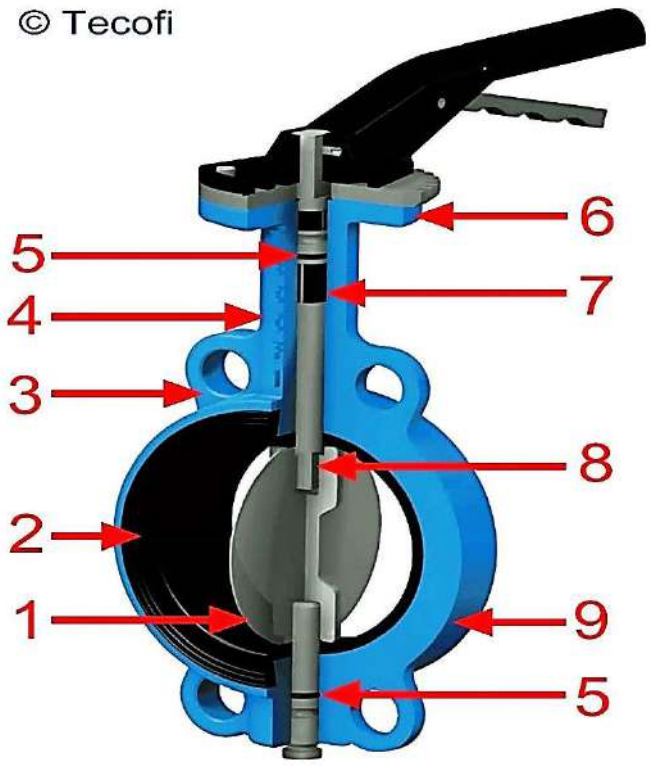
a- صورة مجسمة لصمام الأمان b – مقطع في صمام الامان

شكل (4 - 19) صور مجسمة ومقطع لصمام الامان

ان الغرض من استخدام هذا الصمام هو حماية الأجهزة والمعدات من ارتفاع الضغط المتزايد وذلك بالتخلص من المائع الزائد والمسبب لارتفاع الضغط اما الى الجو او الى مجمع خاص. حيث ان الصمام يفتح اوتوماتيكيا عندما يزداد الضغط المسلط على الصمام عن القيمة المحددة ثم ينغلق عند اعتدال الضغط مرة ثانية. يحتوي هذا النوع من الصمامات على اثنين من المكونات الرئيسية هما عنصر التأمين الذي يتكون من عتلة الغلق وجهاز الإعداد الذي يتكون من نابض للسيطرة على عملية الغلق والفتح.

في الصمامات من هذا النوع، على سبيل المثال يتم مقاومة ضغط الماء المسلط لغرض اغلاقه من خلال قوة النوابض المضغوطة، وهو واسع الاستعمال في المنشآت النفطية والصناعية .

4– 4 – 6 – 5 صمام الفراشة Butterfly Valve



شكل (4 – 20) صورة مجسمة لصمام الفراشة مؤشر عليها الأجزاء

تسمية الأجزاء :

(1) قرص الغلق والفتح (2) غلاف مطاطي (3) جسم الصمام (4) رقبة الصمام (5) حلقة غلق دائرية (6) قاعدة تثبيت (7) عمود الدوران (8) حلقة تحريك البوابة (9) جسم الصمام

هو من صمامات الحركة الدائرية. يمكن استخدامه لإيقاف وتنظيم جريان المائع. سهل الاستخدام لأن الدوران بزاوية 90° يؤدي إلى تحول الصمام من وضع الغلق الكامل إلى الفتح الكامل. أما الصمامات ذات الأحجام الأكبر فيتم تشغيلها بواسطة مقابض دائرية. ويكون قطر القرص بقدر قطر الأنبوب. وهو غير مكلف نسبياً، ويمكن استخدامه لأغراض تقليل الجريان. يوضح شكل و اجزاء صمام الفراشة.

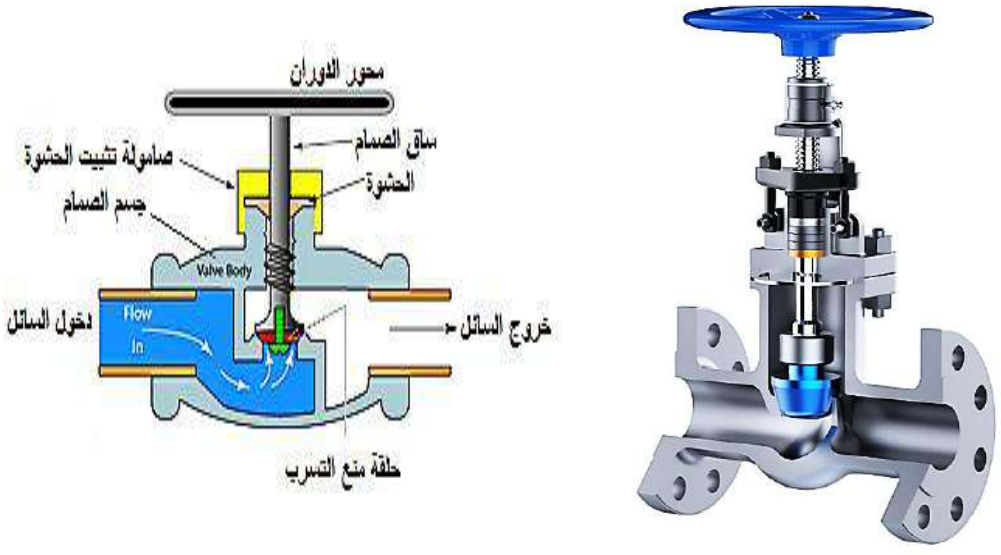
وهو احد انواع صمامات الحركة الدائرية، حيث يستخدم لتنظيم تدفق السوائل فقط، يمتاز بسهولة استخدامه، لأن دورانه عندما يكون بزاوية 90° يؤدي الى تغيير وضع الصمام من حالة الغلق الكامل إلى حالة الفتح الكامل. أما صمامات الفراشة التي تكون أحجامها كبيرة فيتم تشغيلها عن طريق مقابض دائرية. ويكون قطر قرص الفتح والغلق بقدر قطر الأنبوب.

فيما ادناه مميزاته :

1 - يتكون صمام الفراشة من قرص يدور او يرتكز على محور للدوران.
2 - عنصر الإغلاق عبارة عن قرص دوار.
3 - شائع الاستعمال مع عمليات التشغيل والايقاف.
4 - غير مكلف نسبياً.
5 - يمكن استخدامه لأغراض الخنق.
6 - انخفاض في هبوط الضغط عبر الصمام بسبب التدفق المباشر.
7- معظم صمامات الفراشة مجهزة بموجهات بوابة ناعمة بحيث يكون لها مانع تسرب ممتاز.
8 - يستخدم عادة لتطبيقات الضغط المنخفض لتجنب الضغط العالي على القرص.
9- يستخدم لتأمين العمليات المختلفة ضد الحرائق.

4 – 4 – 6 – 7 الصمام الكروي Globe Valve

يستخدم هذا النوع على الأكثر للخنق (Throttling) أو لتقليل الجريان، كما يمكن استخدامه كصمامات سيطرة (Control valves) حيث تكون المسافة بين وضع الفتح الكلي والغلق الكلي قريبة. يتميز هذا الصمام بإمكانية استبدال الأجزاء الداخلية بسهولة. كما أن هناك العديد من التصاميم لهذا النوع من الصمامات، ويحتاج إلى الكثير من الطاقة لتحريكه بالنسبة للأحجام الكبيرة. ويكون أثقل وزناً من الصمامات الأخرى لنفس معدل الجريان. يتميز بكلفته المنخفضة، وصيانته البسيطة.



a- مقطع مجسم لصمام الخنق الكروي b – مخطط لصمام الخنق الكروي

شكل (4 – 21) مقطع مجسم مع مخطط لصمام الخنق الكروي مؤشر عليها الاجزاء

4 – 5 التحوطات الأساسية لنقل النفط بالأنابيب

(Basic Precautions for Pipeline Transportation)

على الرغم من أن خطوط الأنابيب أقل مرونة من نظم النقل الأخرى لكنها تفضل في معظم الأحيان للأسباب الآتية :

أولا - يمكنها نقل كميات كبيرة من النفط الخام و مشتقاته دون زحام .

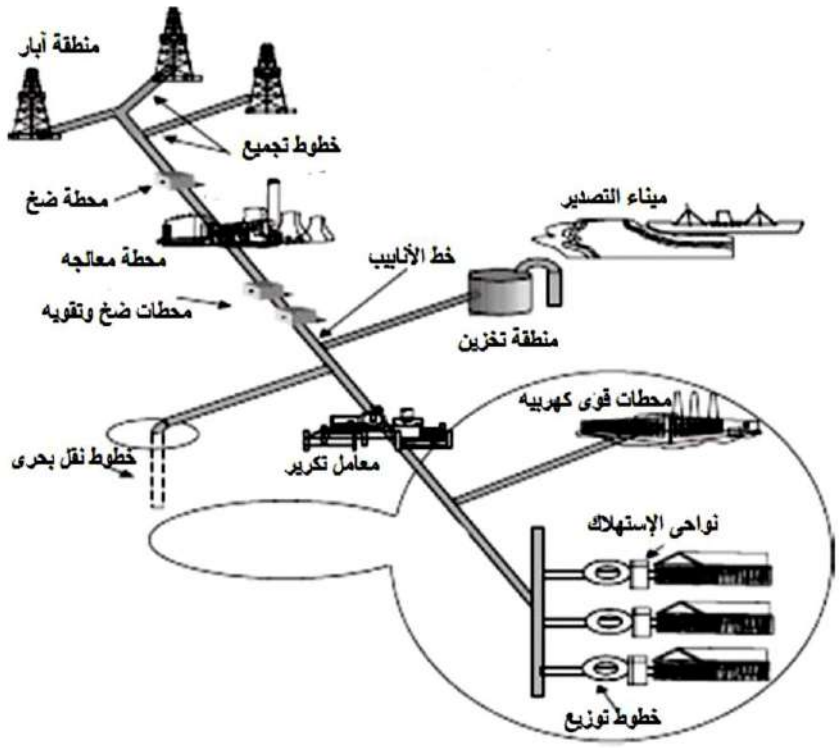
ثانيا - يمكنها النقل لمسافات طويلة حيث عادة ما تكون الآبار ومناطق تخزين البترول وموانئ الاستيراد بعيده عن العمران بمسافات طويلة.

ثالثا - عادة ما تكون خطوط الأنابيب مدفونه فلا تتعارض في مساراتها مع الطرق والمنشآت.

رابعا - يحقق النقل بالأنابيب تعريفة نقل رخيصة .

1-5-4 تحقيق الأمان وسلامة البيئة من أخطار خطوط الأنابيب

تتسبب حوادث خطوط الأنابيب بخسائر في الأرواح وإصابات بالغة للناس وإتلاف محاصيل ومزروعات وإتلاف للتربة ومن خلال الحصر لحوادث خطوط الأنابيب وجد أنها تحدث فجأة وبدون مقدمات والشكل (4-22) يبين الأنواع المختلفة لخطوط الأنابيب.



شكل (4-22) الأنواع المختلفة لخطوط الأنابيب

أسباب حوادث خطوط الأنابيب

الأسباب التي تهدد سلامة خطوط الأنابيب تكمن بما يأتي :

اولا - تأكل أنابيب الخط

سواء كان تآكلاً داخلياً بسبب وجود مواد آكلة مثل مركبات الكبريت أو قطرات من الماء تحوى أنواعاً آكله من البكتيريا . أو تآكلاً خارجياً جلفانياً من التربة.

ثانيا - أخطاء الغير.

من الحفارات أو من الآلات الزراعية أو المعدات الحربية الثقيلة

ثالثا - كوارث طبيعية .

زلازل ، سيول ، تشققات آرضيه أو جليديه أو انزلاقات أرضية .

رابعا - أخطاء فنية.

خامسا - أخطاء فى التصميم أو التنفيذ أو التشغيل أو مواد وطريقة التصنيع

سادسا - متنوعات .

مثل عمر الخط أو التخريب أو سرقة المنتجات البترولية.

وقد ثبت أن التصميم الجيد والخبرة في التنفيذ والمهارة في التشغيل والمرور الدوري على مسار الخط تقلل كثيرا من هذه الحوادث وبصورة عامة فان حوادث خطوط الأنابيب تترك أثرا سيئا لدى الجمهور وتثير الرأي العام وتعرض شركات الخطوط لغرامات كبيرة. إضافة إلى الخسائر الناجمة عن توقف الخط وتطهير الأرض أو الشواطئ وعمليات الإصلاح والتجديد.

2-5-4 فحص الخطوط

معظم خطوط الأنابيب إما مدفونة تحت الأرض أو ممتدة على قاع البحر ولهذا يكون الخط مختفيا عن الأنظار ويتعذر فحصه بدقة وقد كانت حوادث كثيرة تقع بسبب تلفيات بالخط مع غياب نظام جيد لسلامة الخطوط. وعندما تكون المادة المنقولة قابلة للاشتعال مثل المواد النفطية فإن الخسائر تكون فادحه في الأرواح والممتلكات وسلامة البيئة. وحتى عهد قريب كانت أفضل طرق الفحص تتمثل في تمرير فرشة داخل الخط تلتقط فقط أصوات التنفيس البسيطة وتعلن عن موقعها بدقة قبل أن يستفحل التسرب ويلوث الأرض والبيئة وتصبح إصلاحاته مكلفة ومن عيوب هذه الطريقة أنها لا تكتشف عيوب الخط. وفى الوقت الحاضر بدأ تصنيع الفرش الذكية التي تمر داخل الخط وتلتقط أي عيوب دقيقة داخل الخط أو خارجه وخاصة التآكل الموجود بجدار الأنابيب وقياس ما تبقى من سمك الجدار بدقة متناهية كما تكتشف عيوب العزل وتأثيرات التربة وتحديد أماكن هذه العيوب بدقة بالاعتماد على تقنيات وتكنولوجيا الأقمار الصناعية . وبهذا التطور الرهيب في وسائل الفحص أمكن لشركات الخطوط أن تكتشف مبكرا المناطق التالفة الموجودة بالخط قبل أن يتطور إلى أضرار كبيرة ووضع أولويات لعلاجها بما لا يعطل مسيرة الإنتاج والوصول إلى مستويات عالية من سلامة الخطوط.

3-5-4 إدارة سلامة الخطوط

منذ أن بدأ استخدام الفحص بالفرش الذكية والتأثر بنتائجها وإمكانياتها ودقتها بدأ الاهتمام أيضا بسلامة الخطوط وأجبرت حكومات الدول المتقدمة شركات الخطوط بضرورة إنشاء إدارة خاصة بسلامة الخطوط تعتمد في عملها بالدرجة الأولى على نتائج الفحوص بالفرش الذكية والأهداف من هذه الإدارة كما يأتي :

1 - تصميم برنامج حاسوب يعزز قدرات القائمين على تشغيل الخطوط من حيث تقدير مدى الخطورة التي يتعرض لها الخط وفقا لنتائج الفحص ومدى سلامة الخط.
2 - تجميع واستكمال البيانات الخاصة بسلامة الخطوط.
3 - أن يتمكن المسؤولون عن سلامة الخطوط من تحديد مدى خطورة ما يتعرض له الخط والمخاطر الرئيسية الموجودة التي تؤثر بالسلب على سلامة الخطوط.
4 - تطوير الخطط التي تتعلق بدقة تحديد مكان العيوب.
5 - إجراء الفحوص المناسبة لتحديد حالة الخطوط.
6 - دراسة نتائج الفحوص وتقييمها ووضع الأولويات لعلاجها.

3– 6 الصيانة و الفحص الدوري للمضخات و الصمامات

Maintenance & Periodic Inspection of Pumps & Valves

نظرا للتنوع الكبير للمضخات فلا يوجد برنامج صيانة ثابت للمضخات ولهذا يلزم دراسة واتباع تعليمات الجهة المصنعة عند متا بعة و صيانة المضخات.

1-6-4 الملاحظة اليومية لتشغيل المضخة Daily Observation

يجب على العامل المراقب لتشغيل المضخات أن يركز اهتمامه يوميا على ما يأتي :

أولا - عند حدوث أي تغيير في صوت المضخة .
ثانيا - ظهور أي تسريب حول المضخة .
ثالثا - ارتفاع د رجة حرارة محامل المضخة و المحرك .
رابعا - مراجعة عدادات الضغط والتصريف كل ساعة وان اختلف أي شيء مما سبق ذكره فيجب أن تفحص المضخة جيدا لمعرفة السبب .

2-6-4 الفحص النصف سنوي Semiannual Inspection

لغرض تحقيق الفحص نصف السنوي للمضخة , يجب مراعاة الأمور الآتية كل ستة اشهر :

1 - مراجعة ضبط محور الدوران للمضخة وإعادة ضبطه اذا لزم ذلك
2 - تغيير زيت كراسي التحميل
3 - فحص حلقات الحشو وتغييرها ان لزم ذلك .
4 - تنظيف مانع التسرب الميكانيكي .
5- قياس ذبذبا ت واهتزازات المضخة .

3-6-4 الفحص السنوي Annual Inspection

بالإضافة إلى الفحص النصف سنوي، يتم إجراء فحص سنوي يتضمن ما يأتي :

1) - تغيير حلقات الحشو بالكامل.
2) - اختبار استقامة العمود.
3) اختبار وصلات التبريد و التزييت.
4) قياس القدرة الميكانيكية وكفاءة المضخة.

4-6-4 الصيانة الدورية للصمامات

ان إضافة كميات من الشحم إلى الصمام و تحريكه بصورة دورية تؤدي إلى إطالة عمره. تخرج الصمامات من مصانعها وهي ممتلئة بشحم خفيف مضاف اليه مادة مانعة للتآكل، و الصيانة الدورية هي ضخ كمية من الشحم الجديد إلى الصمام تعادل تقريبا ربع الكمية الكاملة التي يأخذها الصمام. أذا لم يقبل الصمام شحماً جديداً أو ظل التهريب مستمر فانه يجب استخدام مادة منظفة Cleaner وأحسن طريقة لإضافة المنظف عندما يكون الصمام مغلقا حيث يضخ المنظف على جانبي الصمام، يترك المنظف مدة لا تقل عن نصف ساعة ومن الممكن ان تمتد إلى أيام اذا كان هناك مشاكل في الصمام ويفضل فتح وغلق الصمام عدة مرات. ثم بعد ذلك يتم ضخ الشحم و بنفس كمية المنظف مع فتح وغلق الصمام عدة مرات.

5-6-4 صيانة عمود التشغيل STEM

يوجد حول العمود حلقات من الجرافيت أو التفلون أو المطاط وهى تحتاج إلى كميات بسيطة من التشحيم الدوري بضغط لا يزيد عن $3000\ Ib/in^2$.

6-6-4 صيانة صندوق التروس

صندوق التروس يجب الحفاظ عليه ممتلئا بشحم من نوع جيد أو زيت مناسب. يتضمن الفحص الدوري للصمامات إجراءات فحص أجزائها ومكوناتها.

3– 7 الخزانات النفطية: تعريف و تصنيف

Oil storage: Definition & Classification

تعرف الخزانات النفطية بأنها الوعاء المعدني الاسطواني الشكل الذي يتواجد في محطات العزل او في مستودعات النفط للخزن والتصريف النفطية وللتعريف العام لكلتا الحالتين لابد من التطرق بشكل سريع لمعنى المحطة النفطية ومعنى المستودع.

4 – 7 – 1 المحطة النفطية

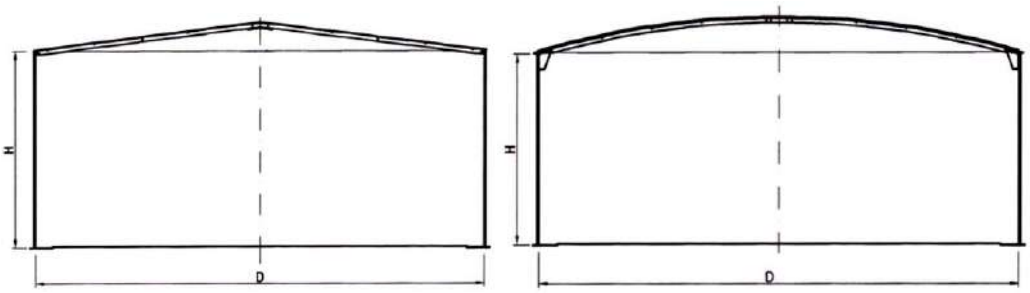
هي محطة عزل الغاز التي ترتبط بها آبار النفط حيث يتم استخراجه وعزل الغاز منه في هذه المحطة وذلك بتجميع النفط وارساله الى عازلات الغاز (separators) القادم من الآبار بواسطة مجمع الانتاج (production manifold) ويتم فيها التخلص من الغاز المصاحب للنفط الخام ففي بعض المحطات يكون الخزان فقط لخزن وتصريف النفط الخام وفي البعض الآخر تكون للخزان وظيفة عزل نهائية للغاز المصاحب وفي جميع الاحوال تتبقى نسبة من الغاز في النفط مما يستدعي وضع تراكيب ومنظومات خاصة في الخزانات للتخلص من الغازات المنعزلة داخل الخزان. فبعد ان يصل النفط الى هذه الخزانات وارتفاع المنسوب الى مستوى يمكّن منظومة الضخ في المحطات الى المستودعات النفطية عبر انابيب الضخ من العمل بالكفاءة المطلوبة يتم ضخ النفط الميت (dead crude oil) الى منصات التحميل عبر المنافذ البحرية او البرية.

4 – 7 – 2 المستودعات النفطية

هي المكان الذي يتم خزن النفط به بخزانات كبيرة عمودية اسطوانية الشكل قد يصل حجم احدها الى ($100000\ m^3$) ، لغرض ضخه بواسطة منظومة الضخ الخاصة بالمستودع الى أنابيب التصدير والمنصات العائمة في البحر. ونستدل مما تقدم أعلاه وجود خزانات في المحطات النفطية وفي المستودعات. على أن أحجام الخزانات في المستودعات النفطية أكبر بكثير من أحجامها في المحطات النفطية مع وجود اختلاف في تفاصيل المنظومات لكل نوع من الخزانات. على الرغم من وجود عدة تصنيفات واشكال للخزانات الا ان الخزانات المعروفة في حفظ النفط الخام هي احد الانواع التالية:

4-7-3 خزانات ذات سقف ثابت (Fixed Roof Tanks)

يستخدم هذا النوع من الخزانات لتخزين المواد النفطية التي لا تحتوي على مركبات خفيفة تسبب ضياعات كبيرة بسبب تنفيس الخزان. تستخدم هذه الخزانات لتخزين الأنواع الثقيلة من النفط الخام وزيوت التزييت. وهنا يتم تثبيت السقف مع جدار الخزان عن طريق اللحام وبمساعدة الدعامات أو بمساعدة عمود ارتكاز لحمل السقف و تثبيته. من مساوئ الخزانات ذات السقف الثابت: ضياعات النفط بالتبخر كبيرة عند تعبئة وتفريغ الخزان وخاصةً عند تخزين المواد الخفيفة. دخول الهواء الجوي الرطب إلى داخل الخزان، و تلامسه مع المادة المخزنة، يؤدي إلى زيادة نسبة المياه في هذه المادة. وكذلك إمكانية حدوث تفاعلات أكسدة ما بين الهواء الجوي و المادة المخزنة قد ينتج عنها مواد ضارة. إن وجود الحجم الغازي فوق سطح السائل ضمن الخزان يعرض الخزان إلى التآكل الكيميائي بفعل غاز كبريت الهيدروجين. الضياعات بسبب التبخر تؤدي إلى تغيير المواصفات للمنتجات النفطية المخزنة. كما يوجد بشكل دائم مزيج من الهواء والأبخرة قابلة للانفجار مما يعرضها لخطر الانفجار والحريق بفعل الصواعق. أبسط أشكال هذه الخزانات، هو الخزان ذو السقف المخروطي cone roof ، الذي قد يصل قطره إلى 90 m و ارتفاعه 19 m، أما من اجل الأقطار الأكبر تدعم السقوف بواسطة الأعمدة. و بعض السقوف يكون على شكل مظلة umbrella roof، و أسقف على شكل قبة dome، والشكل (23-4) يوضح نوعين من الخزانات ثابتة السقف.

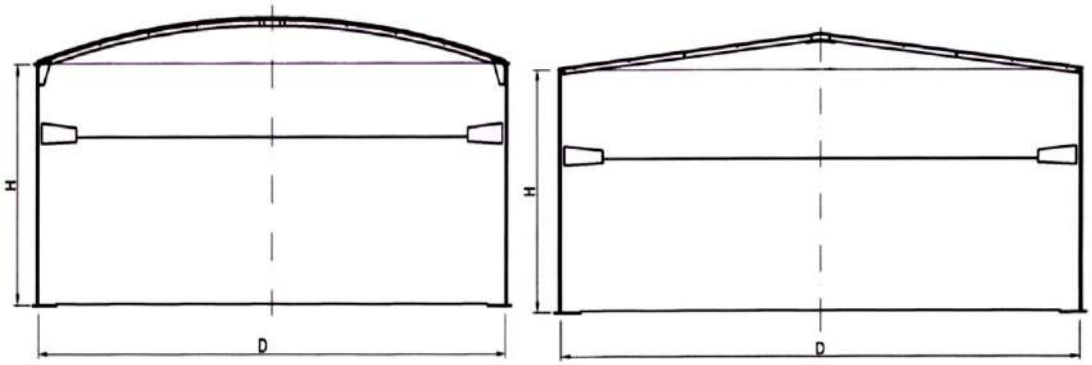


(a) خزان بيضوي السقف (b) خزان مخروطي الشكل

الشكل (4-23) خزانات ذات سقف ثابت

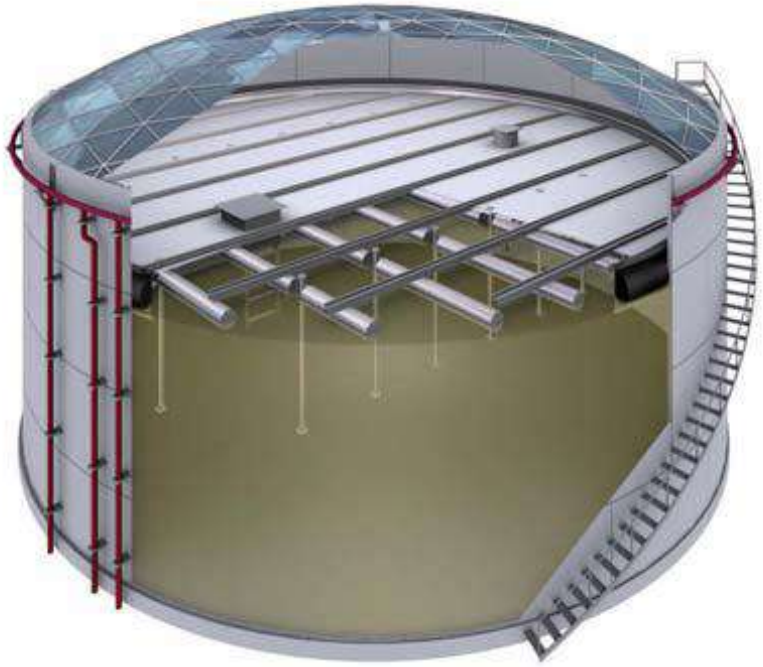
4-7-4 خزانات ذات سقف عائم (Floating Roof Tanks)

وهي الخزانات التي لا يكون سقفها ثابتاً بل يكون عائمًا فوق المنتج الذي في الخزان وذلك لتقليل التبخير في المساحات السطحية الكبيرة فيما إذا كبر قطر الخزان والتقليل من المخاطر التي قد تنجم من حالة التبخير التي تكون في ذلك الموقع مكلفة أكثر من غير مواقع والتي قد تسبب توقف العملية التصديرية ويكثر استخدام هذا النوع من الخزانات في المستودعات الخاصة بتصدير النفط كون الخزانات ذات أقطار كبيرة، وتتراوح اقطارها من 60 m – 120. والشكل (4-24) نوعين من الخزانات عائمة السقف. اما الشكل (4- 25) فيمثل مجسم لخزان بيضاوي القبة ذو سقف عائم.



(a) خزان ذو سقف مخروطي داخلي عائم (b) خزان ذو سقف بيضوي سقف

الشكل (4-24) خزانات ذات سقف عائم



شكل (4 - 25) مجسم لخزان بيضاوي القبة ذو سقف عائم

أسئلة الفصل الرابع

س 1 : عدد الانواع الرئيسية للمضخات وبين اهم استخداماتها الصناعية ؟

س 2 : عدد و اشرح الفروقات بين مضخات الضغط الديناميكى و المضخات الإيجابية ؟

س 3 : اذكر مميزات ربط التوالي ثم ربط التوازي لمضختين طاردة مركزية، ثم ارسم مخططا لكليهما.

س 4 : ارسم بمقياس رسم مناسب الاجزاء الداخلية الرئيسية للمضخة الترددية ؟

س 5 : اشرح ما تعرفه عن شبكة انابيب نقل النفط الخام العراقي ثم ارسم مخطط شبكة الانابيب؟

س 6 : عدد انواع الصمامات المستخدمة في الصناعة النفطية، و قارن بين صمام الفراشة و الصمام البوابي؟

س 7 : اشرح خطوات الفحص الدوري للمضخة ثم للصمام؟

س 8 : كيف يمكن تحقيق الأمان وسلامة البيئة من أخطار خطوط أنابيب النفط الخام؟ اشرح تفصيلا؟

س 9 : بين اهمية المستودعات النفطية، واشرح بالتفصيل مع الرسم عن الخزانات ذات السقف الثابت؟

س 10 : عدد مع الشرح الوسائل المكملة لمناقلة النفط ؟

الفصل الخامس

التآكل في مصافي النفط Corrosion in Petroleum Refineries

الاهداف

بعد الانتهاء من الفصل ان يكون الطالب قادرا على أن:

1- يفهم ما هو التآكل .
2- يفهم طبيعة وميكانيكية التآكل.
3- يدرك اضرار التآكل.
4- يعرف تكاليف التآكل.
5- يعرف مسببات التآكل في الصناعة النفطية.
6- يعرف انواع التآكل في المنشآت النفطية .
7- يفهم حسابات معدل التآكل.
8- يعرف طرق معالجة التآكل.

5 – 1 تمهيد

يعد تآكل المعادن من الظواهر الطبيعية التي تشوب كافة المعادن، و تتسبب في تلف تلك المعادن وتغير في خواصها الكيميائية والفيزيائية، ويعرف التآكل Corrosion بأنه انحلال المعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له أو فشل المعدن بأي سبب غير السبب الميكانيكي البحت.

يحدث التآكل عمومًا نتيجة التفاعلات الكيميائية (تفاعلات الأكسدة والاختزال)، ويحدث ذلك عندما يهاجم غازٌ أو سائلٌ كيميائيٌّ سطحًا مكشوفًا لمعدنٍ ما، وتُسرع هذه العملية درجات الحرارة الدافئة والأحماض والأملاح، وتتشكل عادةً نواتج للتآكل (كالصدأ) على سطح المعدن، وإنّ إزالة هذه الرواسب تكشف السطح الحقيقي للمعدن مجددًا، وقد يعود التآكل مجددًا. بعض المواد تقاوم ذلك بشكلٍ طبيعيٍّ، ويمكننا وقاية المواد الأخرى بالطلاء أو استعمال موانع التآكل الاخرى.

ويسبب التآكل خسائر جسيمة في الاقتصاد العالمي، تقدر بالمليارات سنويا، اذ يدمر كمية ضخمة من المنشآت النفطية و الصناعية ويتسبب في ايقاف تلك المنشآت عن العمل ويتلف الكثير من المنتجات الصناعية كما ويؤدي الى حدوث حوادث تسبب اضرارا جسيمة في المعدات والارواح نتيجة لفقدان السلامة وعوامل الامان. و لمقاومة التآكل يجب معرفة أسبابه و الوسائل المجدية لمقاومته.

5 – 2 تعريف التآكل

التآكل عبارة عن عملية أكسدة لمعدن معرض للمحيط، وبشكل أدق التآكل عبارة عن تفاعلات كيميائية تفاعلات أكسدة مصحوبة باختزال تحدث على سطوح المعادن عندما يكون المعدن على صلة بالوسط المسبب للتآكل مثل الهواء الجوي أو المحاليل المائية وغيرها ما يؤدي الى تلفه جزئيا او كليا. ومثاله تحول الحديد الى صدأ.

وحيث أن استخدام المعادن أصبح كبيرا جدا في العصر الراهن فالتآكل أصبح حولنا ويؤثر في حياتنا بشتى الطرق،حيث إنه يسبب الإهتراء للمعادن في الاثاث المنزلي وهياكل السيارات مسببا مظهرا غير مرغوب فيه مما يستدعي الاستبدال إذا لم يعالج، ويشكل بقعاً خاصة لبعض المعادن والصدأ للأدوات والمعدات المعدنية.

و يعتبر التآكل إحدى المشاكل التي تتعرض لها وتعانى منها الكثير من المنشآت النفطية كخطوط نقل النفط والغاز والخزانات وتآكل الأنابيب المدفونة في التربة وأبراج التقطير والصفائح والمقاطع الفولاذية . كما يحدث التآكل في الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة والنقل البحري والمعدات والمنشات العسكرية مما ينتج عن تلف شديد في المنشآت وتكاليف ضخمة تتمثل في فقد الإنتاج وتكاليف الاستبدال وتطبيق أساليب مقاومة التآكل .

3-5 طبيعة التآكل

لمعرفة طبيعة التآكل يجب معرفة المفاهيم الاساسية التالية:

1-3-5 الكهروكيميائيّة والسلسلة الكهروكيميائية للمعادن

يُشير مفهوم الكيمياء الكهربائيّة أو الكهروكيميائيّة إلى مجال الدّراسة المعنيّ بالعمليّات الكيميائيّة المختلفة التي تُسبب حركة الإلكترونات، ويُطلق على حركة الإلكترونات النّاتجة من هذه العمليّات اسم الكهرباء، ويُمكن أن تتولّد هذه الطّاقة عن طريق حركة الإلكترونات من أحد العناصر إلى الآخر خلال التفاعل الكيميائي الذي يُسمّى تفاعل الأكسدة والاختزال، ويسهم تعريف السلسلة الكهروكيميائية في توضيح نشاط العناصر الكيميائيّة خلال هذه التّفاعلات.

تعرف السلسلة الكهروكيميائية التي يطلق عليها أيضًا سلسلة النّشاط الكيميائيّ على انها قائمة المعادن المُرتبّة حسب انخفاض التّفاعليّة أو حسب انخفاض سهولة التأكسد، وتتميّز المعادن التي تُوجد في اسفل قائمة السلسلة كالفلزّات القلويّة أو الفلزّات القلويّة الترابيّة بأنّها أكثر تفاعليّة وتتأكسّد بشكلٍ أسهلٍ من المعادن التي تُوجد في اعلى القائمة؛ الذي يُشير إلى سهولة تفاعل المعادن التي تُوجد اسفل القائمة وقدرتها على تشكيل المركّبات بشكلٍ أسرعٍ مقارنةً بالمعادن التي تُوجد في الاعلى، ويُطلق عليها اسم المعادن النّشطة، أمّا العناصر التي تُوجد في اعلى سلسلة النّشاط الكيميائيّ أو السلسلة الكهروكيميائيّة كالمعادن الانتقاليّة فتتميّز بأنّها مستقرة جدًا وبالتالي فإنّها أقل استعدادًا لتشكيل المركّبات الكيميائيّة ويُطلق عليها اسم المعادن النبيلة نظرًا لانخفاض قدرتها على التّفاعل، ولذلك تُستخدم هذه المعادن كالذّهب والنّحاس في صناعة العملات المعدنيّة والمجوهرات. يبين الجدول (5-1) السلسلة الكهروكيميائية للمعادن.

جدول (5-1) السلسلة الكهروكيميائية للمعادن

المعدن وأيوناته عند الاتزان	جهد قطب المعدن بالنسبة لقطب الهيدروجين عند 25 م° (بالفولت)
$Au \rightarrow Au^{+3}$	+1.498
$Pt \rightarrow Pt^{+2}$	+1.2
$Pd \rightarrow Pd^{+2}$	+0.987
$Ag \rightarrow Ag^{+}$	+0.799
$Hg \rightarrow Hg^{+2}$	+0.788
$Cu \rightarrow Cu^{+2}$	+0.337
$Pb \rightarrow Pb^{+2}$	−0.126
$Sn \rightarrow Sn^{+2}$	−0.136
$Ni \rightarrow Ni^{+2}$	−0.250
$Co \rightarrow Co^{+2}$	−0.277
$Cd \rightarrow Cd^{+2}$	−0.403
$Fe \rightarrow Fe^{+2}$	−0.440
$Cr \rightarrow Cr^{+3}$	−0.744
$Zn \rightarrow Zn^{+2}$	−0.763
$Al \rightarrow Al^{+3}$	−1.662
$Mg \rightarrow Mg^{+2}$	−2.363
$Na \rightarrow Na^{+}$	-2.714
$K \rightarrow K^{+}$	−2.925

اكثر خمولا (كاثود)

اكثر فاعلية (انود)

2-3-5 التآكل الكهروكيميائي

ينشأ هذا النوع من التآكل نتيجة لظهور التيار الكهربائي نتيجة للتفاعل بين المعدن والالكترونات المحيطة به: مثل تآكل خزانات النفط بأنواعها و أنابيب نقل النفط وغيرها من السبائك في الجو الرطب وفي الماء العذب وماء البحر والأحماض والقلويات والمحاليل الملحية وفي الارض، حيث تتكون الشبكة البلورية للمعدن من ايونات موجبة الشحنة (كاتيونات) موجودة في اركان الشبكة البلورية والالكترونات الحرة المتحركة في المعدن كله. و يمكن ان تنفصل الكاتيونات عن سطح المعدن وتنتقل الى الوسط المجاور (الالكتروليت) . ويسمى فرق الجهد المتكون عند سطح تلامس المعدن مع الالكتروليت بالجهد القطبي وهو الدال على ميل المعدن للذوبان. و تتوقف قيمته اساسا على تركيب الالكتروليت.
ويحدد الجهد القطبي للمعادن تجريبيا بمقارنته بجهد الهيدروجين و هو المعتبر مساويا للصفر. وتختلف المعادن بالجهد القطبي فهناك معادن سالبة الجهد و اخرى موجبة مقارنة بقطب الهيدروجين. فالمعادن ذات الجهد الموجب (فوق صفر الهيدروجين) قابليته للتآكل قليلة والمعادن ذات الجهد السالب (تحت صفر الهيدروجين) تكون أكثر قابلية للتآكل كلما كان جهدها سالبا.

والمعادن النقية و السبائك الوحيدة الطور تقاوم التآكل جيدا. اما السبائك التي تتكون بنيتها من عدة مواد معدنية مختلفة الجهود فتكون عبارة عن عمود كهربائي متناهي في الصغر فيصبح المعدن المنخفض الجهد مصعدا (انود)، و يتآكل، في حين لا يتآكل المعدن ذو الجهد الاعلى لقيامه بدور المهبط (كاثود) فعلا سبيل المثال عند تلامس الحديد مع الزنك (طلاء الحديد بالزنك)، يتآكل الزنك (اي هو الذي يحدث له تآكل) اي انه يكون المصعد (انود) في حين لا يتآكل الحديد لأنه يكون مهبط (كاثود).

هذا النوع من التآكل يتسبب عن تفاعل كيميائي حقيقي بين الوسط والمعدن مصحوبا بانتقال الالكترونات بين موقعين على السطح أحدهما ذو كثافة الكترونية عالية وموقع آخر ذو كثافة واطئة أو بين نقطتين أحدهما ذات جهد كهربائي واطئ والاخرى ذات جهد كهربائي عالٍ ووجود محيط الكتروليتي هو المحيط الآكال. وفي هذا النوع من التآكل يتحول المعدن الى أيوناته ويذوب في المحيط (عند الانود) طبقا للتفاعل الاتي:

$$M \rightarrow M^{+n} + n\,e^{-} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1-5)$$

وتنتقل الالكترونات الناتجة الى منطقة الكاثود أذا تكتسب أيونات المعدن الالكترونات المتجمعة عند الكاثود وتختزل عند سطحه فتترسب المعادن كما في المعادلة التالية:

$$M^{+n} + n\,e^{-} \rightarrow M \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2-5)$$

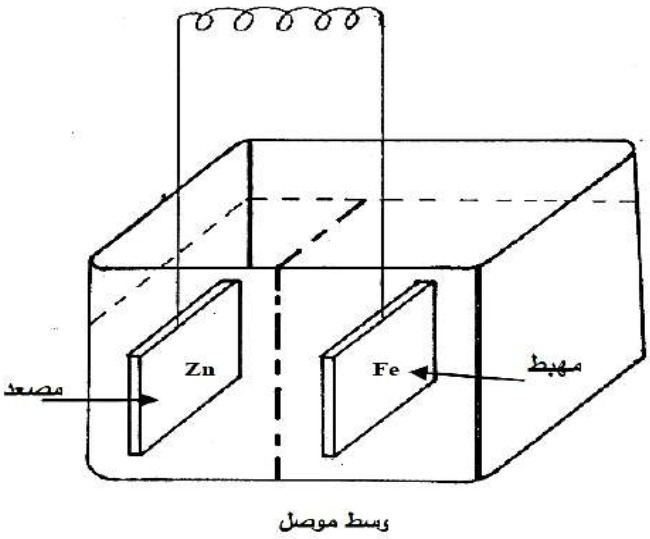
حيث M هو المعدن و n هو عدد الالكترونات المفقودة والمكتسبة

ان معدل التفاعل الآنودي والكاثودي يجب أن يتساوى طبقا الى قانون فراداي وممكن تخمينها بواسطة السريان الكلي للالكترونات والذي يدعى بتيار التآكل (corrosion current) أذ أن أغلب تفاعلات التآكل هي كهروكيميائية في طبيعتها .

أن عملية التآكل الكهروكيميائي تتكون من مقومات مهمة هي الانود والكاثود والوسط الناقل للشحنات الأيونية والجزء الموصل الذي ينقل الالكترونات ويجب أن تتكامل هذه المقومات لكي يحصل التآكل الكهروكيميائي.

3-3-5 الخلية الكهروكيميائية (الكلفانية)

عند توصيل قطبين معدنيين مثل الحديد والخارصين في خلية كهروكيميائية كما بالشكل (5-1) يمر التيار الكهربائي في الدائرة الخارجية وتمر الأيونات داخل المحلول، ومن السلسلة الكهروكيميائية للمعادن يكون الحديد في حماية كاملة من التآكل أي يمثل المهبط (الكاثود) في حين أن الخارصين يتآكل ويمثل المصعد(الانود).



شكل (5-1) الخلية الكهروكيميائية (الكلفانية)

الخلية الكهروكيميائية المبينة في الشكل (5-1) يطلق عليها ايضاً الخلية الجلفانية نسبة إلى الفيزيائي الإيطالي لويجي جلفاني، تحول هذه الخلية الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وفي هذه الخلية تنساب الالكترونات من قطب الخارصين (الذي يمثل انود) الى قطب الحديد (الذي يمثل كاثود) لان الخارصين له ميل لفقد الالكترونات اكثر من الحديد لتتحقق حالة التوازن، ينساب ايون الخارصين الموجب (Zn^{+2}) من قطب الخارصين الى المحلول فيحدث تآكل للخارصين وترسيب على قطب الحديد.

يعرف المصعد (الانود) بأنه القطب الذي يحدث عنده التأكسد للمعدن (Oxidation) اي فقدان الالكترونات، لذلك يعاني الخارصين Zn من الذوبان وبالمقابل يعرف المهبط (الكاثود) بأنه القطب الذي يحدث عنده الاختزال اي اكتساب الالكترونات ويحدث عنده الترسيب على شكل معدن الحديد Fe .

وبذلك تكون المعادلات الكيميائية في الخلية كالاتي:

1- معادلة الاكسدة لمعدن الزنك (الانود)

$$Zn \rightarrow Zn^{+2} + 2e^{-} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-3)$$

2- معادلة الاختزال لمعدن الحديد (الكاثود)

$$Fe^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Fe \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5-4)$$

4-3-5 ميكانيكية (آلية) التآكل

ان المسبب الاساس للتآكل هو تكون خلايا التآكل Corrosion Cells التي تنتج عن وجود فرق جهد كهربائي بين المناطق المختلفة للسطح المعدني. ان تكون هذا الفرق بالجهد يمكن ان يحدث لعدة اسباب منها: اختلاف خواص المعدن في مناطق مختلفة من الهيكل المعدني او خطوط الانابيب مثلا واختلاف خواص وتجانس التربة التي هي في تماس مع الهيكل المعدني وهذا يظهر بوضوح في حالة خطوط الانابيب ذات المسارات الطويلة واختلاف نسبة وجود الاوكسجين في أماكن مختلفة من التربة وهذا يظهر في معابر الطرق والشوارع لخطوط الانابيب مقارنة بمسار الانبوب خارجها.ان معنى الميكانيكية الكهروكيميائية للتآكل أن التآكل تفاعل كهروكيميائي يتفاعل المعدن فيه ويتأكسد بينما تختزل مادة أخرى في المحلول.

لفهم ظاهرة التآكل يجب الأخذ في الاعتبار المعدن وتركيبه الذري الدقيق والوسط المحيط بالمعدن مثل تركيز المكونات المتفاعلة والشوائب الضارة، الضغط، درجة الحرارة. ولكي يحدث التآكل لابد من وجود قطبي التآكل (الانود والكاثود) ويجب ان يكون بينهما فرق في الجهد بالإضافة الى وجود اتصال ما بين قطبي التآكل يسمح بمرور الالكترونات كما ويجب ان ينغمس قطبا التآكل في وسط قابل للتوصيل الكهربائي (الالكتروليت).

4-5 الاضرار التي يسببها التآكل

يسبب التآكل خسائر كبيرة قد تكون مباشرة أو غير مباشرة، تقسم إلى خسائر مادية وبشرية وبيئية وغيرها حتى بات ينظر البعض إلى التآكل بأنه مسألة فنية واقتصادية تستنزف الاقتصاد الوطني في كثير من الدول وخاصة الدول الصناعية المتقدمة.

إن الأضرار التي يسببها التآكل عديدة، وجميعها ذات مردود اقتصادي سيئ وهي:

1- تشويه المظهر

ما أن يتعرض المعدن إلى التآكل حتى يبدأ سطحه يفقد نعومته وبريقه ولمعانه وبالتالي مظهره لتنتشر عليه آثار التآكل من خشونة السطح والنقر وربما الشقوق ليصبح مظهره غير مرضي عنه وغير سار للناظر إليه.

2- تغير الأبعاد وفقدان الوزن

إن نواتج التآكل تقسم إما إلى مواد قابلة للذوبان أو مواد غير قابلة للذوبان في المحيط الخارجي، فإذا كان ناتج التآكل مادة قابلة للذوبان في الوسط أو رديئة الالتصاق بالسطح كما هو الحال في كلوريد الحديدوز فإنه سيذوب في الوسط معرضاً طبقة جديدة من المعدن للتحول و الاستمرار في التفاعل مع الوسط وهكذا مما يسبب تغيراً حقيقياً في الأبعاد يفقدها المؤهلات الهندسية للاستمرار في الخدمة كما في التآكل العام في حلقة وذراع المكابس الميكانيكية. أما إذا كان ناتج التآكل مواد غير قابلة للذوبان في الوسط وجيدة الالتصاق بالسطح فإن الأبعاد ستزداد قليلاً بحيث تمنع حركة الأجزاء كما هو الحال في المحركات والمضخات المائية.

3- تغير الخواص الهندسية

يعمل التآكل على تغيير الخواص الهندسية فتزداد هشاشة المعادن، وتقل قابلية التشكيل والطرق وتنخفض مقاومة المادة للأحمال المسلطة من شد أو ضغط. كل هذه التغيرات تزيد من احتمالية الفشل السريع حيث ستزداد الإجهادات والعيوب والشقوق في مناطق التآكل، كما تقل الخواص الحرارية والكهربائية وخاصة إذا كانت نواتج التآكل مواد ملتصقة بالسطح غير موصلة للحرارة أو للكهربائية. وإن تغير هذه الخواص يؤثر في كفاءة العملية الإنتاجية .

4- تغير التركيب الكيميائي

يؤدي التآكل في أغلب الأحيان إلى زوال أو ذوبان أحد مكونات السبيكة وخاصة العنصر الفعال والأكثر نشاطاً من غيره. إن نضوب عنصر أو تآكله يسبب تغيير في التركيب الكيميائي، فالانتزاع الانتقائي Selective Leaching لسبيكة البراص يسبب فقدان الخارصين النشط لتترك النحاس فقط في تركيب السبيكة مما يخلق حالة من اختلاف التركيب الكيميائي وبالتالي الجهد الكهروكيميائي الذي يؤدي إلى ظهور التأثير الجلفاني مما يسبب التآكل الموضعي.

5- الخسائر البشرية

يؤدي التآكل أحياناً إلى حدوث فشل غير متوقع في الأجزاء المعدنية بسبب التآكل المفاجيء الذي لم يحسب له أي حساب مما ينتج عنه حوادث تؤدي الى حدوث كوارث بشرية كحصول تسريب في خزانات المواد السامة او المواد شديدة الانفجار والمواد المشعة الخطرة.

6- خسائر في المنتوج الصناعي

إن نضوح الخزانات المتآكلة والأنابيب الناقلة للوقود أو المحاليل والسوائل والموائع الأخرى يسبب هدراً اقتصادياً كبيراً في هذه المنتوجات الصناعية.

7- تلوث المنتجات وتلوث الوسط

إن حصول التآكل يغير الطبيعة الكيميائية للمنتجات المتآكلة والوسط، لأن التآكل يؤدي إلى انحلال المعدن إلى أيوناته أو تتحول الأيونات إلى مواد جديدة أو مركبات كيميائية تترسب في الوسط أو على سطح المعدن. وان افضل مثال على ذلك هو تلوث المواد الغذائية بسب حدوث التآكل في خطوط الانتاج او علب حفظ المواد الغذائية مسببا خسائر مادية كبيرة.

8- تغير ظروف العملية الإنتاجية

يعمل التآكل أحياناً على تغيير العملية الإنتاجية لاستنزاف المواد الداخلة في التآكل لينتج عنها مواد جديدة في الخواص قد تسبب الترسبات والتكلسات وتؤثر على ظروف العملية الإنتاجية، فمثلاً يزداد ضغط ودرجة حرارة أنابيب المراجل والمكثفات الحرارية العاملة في وحدات توليد الطاقة الكهربائية وتضيق الأقطار الداخلية بسبب تجمع نواتج التآكل على السطوح الداخلية للأنابيب.

9- توقف العمل

تتوقف أحياناً العملية الإنتاجية بسبب التآكل إما نتيجة تغير خواص المواد الداخلة في العمل مثل زيادة الهشاشة وحصول التقصفات أو فشل بعض الأجزاء وعدم قدرتها على الاستمرار بالخدمة كفشل الأجزاء الملحومة تحت تأثير تشققات التآكل الجهادى.

10- فقدان السلامة

يسبب التآكل حالة من الضعف الميكانيكي والفيزيائي والكيميائي للمعادن والسبائك مما يقلل من كفاءتها في أدائها كما يلاحظ في ضعف قوة الربط التي تنجزها المسامير أو البراغي والصمامات عند تعرضها للتآكل مما يجعل الأجزاء العاملة تحت تأثيرها عرضة للفشل في أي لحظة وبالتالي فقدان السلامة ووقوع الكوارث. كما يؤدي التآكل في كثير من الأحيان إلى حصول كوارث إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية الكفيلة بإيقافه أو الحد منه فمثلاً التعامل مع المواد الخطرة مثل الغازات السامة كغاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) والأحماض المركزة مثل حامض الكبريتيك والنيتريك والمواد القابلة للاشتعال والمواد المشعة والمواد الكيميائية في درجات حرارة عالية وعند ضغط عالٍ يتطلب استعمال مواد معدنية معينة لا تتأكل بدرجة كبيرة في مثل هذه الظروف. فمثلاً قد يؤدي حصول التآكل بين الغازات والاحماض المتكونة نتيجة التفاعلات مع سطوح الخزانات الى انهيار تلك الخزانات وبالتالي تحرر الغازات كغاز كبريتيد الهيدروجين مما يؤدي الى خسائر اقتصادية وبشرية ،وفي كثير من الأحيان يؤدي حصول تآكل في جزء معدني صغير إلى انهيار أو سقوط منشأ كامل.

5- 5 تكاليف التآكل

تنقسم تكاليف التآكل إلى نوعين رئيسيين:

أ- التكاليف المباشرة:

وتشمل استبدال قطع الغيار والقطع المتآكلة مثل أنابيب الغلايات والمكثفات وأسقف المباني وغيرها من القطع مع العمالة ومواد التشغيل. وكذلك الطلاء الدوري لمنع الصدأ والمحافظة على المظهر اللائق كما في السيارات والعربات والآلات. ومن التكاليف المباشرة الأجهزة الخاصة لحماية المعادن مثل الحماية الكاثودية (المهبطية) او استعمال السبائك المكلفة، وزيادة سمك المعادن واستعمال مانعات التآكل والمبيدات الميكروبية، واضافة الوحدات الخاصة لفصل المواد الآكلة مثل وحدات إزالة الكبريت ومركباته والأكسجين وغيره.

ب- التكاليف غير المباشرة:

تعتبر التكاليف غير المباشرة أكبر وأعظم من التكاليف المباشرة، كما أنه من الصعوبة تقديرها أو التنبؤ بها، ومن هذه التكاليف ما يأتي:

1- تعطيل الإنتاج:

إن تغيير أنبوب متآكل في مصفاة للنفط لا يكلف إلا مبلغاً زهيداً مقارنة بإيقاف الوحدة الإنتاجية والوحدات المتعلقة بها . كما أن انهيار أحد أنابيب الغلايات في مصنع يوقف إنتاج المصنع بأكمله، او انسداد أحد الأنابيب في منظومة الوقود بالطائرة يعطلها عن العمل ويعرض ركابها للخطر.

2- فقد المنتجات:

عند انهيار أحد الأنابيب بالمصنع أو الوحدة الإنتاجية يحتاج الأمر إلى وقت حتى يتم إصلاحه ويتسبب ذلك في فقدان كثير من المنتجات أو المواد المستعملة مثل الزيوت والمشتقات النفطية والمياه وما تحتويه من مواد ضد التجمد أو مانعات للتآكل وكذلك فساد الإنتاج بسبب تعطل الوحدات الإنتاجية الأخرى.

3- تدنى مستوى الكفاءة:

تصمم وحدات الطاقة في المصانع بناء على أن جميع المسالك والوحدات نظيفة وجيدة وبعد فترة تقل كفاءة الآلات والمعدات بسبب تراكم الصدأ والمواد العالقة على السطوح فتقل توصيلية المعادن للحرارة وينخفض معدل الضخ في الأنابيب وكل ذلك يحتاج إلى زيادة طاقة الآلات لتعويض الفاقد.

4- تلوث المنتجات:

يعتمد تسويق واستعمال المنتجات الصناعية على درجة نقاوتها ونوعيتها وخلوها من التلوث مثل الأغذية والمواد البلاستيكية والأدوية وغيرها، كما أن وجود كميات بسيطة من المواد الغريبة قد يفسد أطنانا من المنتجات فمثلاً كمية صغيرة من النحاس ناتجة عن تآكل الأنابيب في مصنع الصابون مع المواد الخام تعمل على فساد الصابون عند التخزين لفترة قصيرة. كما أن وجود أكثر من جزء واحد في المليون من الرصاص يعمل على تسمم المواد الغذائية.

5- الزيادة في التصميم

إن معامل فرط التصميم شائع جداً في صناعة الخزانات الحرارية وخزانات الغاز وأنابيب المياه والنفط وذلك عن طريق زيادة سمك الهيكل أو اختيار معدن أقوى ليتحمل الضغط والإجهادات عند التشغيل والتأكد من سلامة الهياكل خلال عمرها الزمني. وكمثل على ذلك تبلغ كمية الحديد المستعملة في زيادة سمك خطوط الأنابيب آلاف الأطنان لعدة مئات من الكيلومترات وكل هذه الإجراءات مقاومة التآكل هي زيادة في الكلفة.

من هنا تبرز أهمية دراسة تأثير التآكل على وذلك لتخفيض التكلفة وتحسين سلامة التشغيل وكذلك للمحافظة على الثروات المعدنية فهذه الثروات محدودة في العالم.

6-5 التآكل في المنشآت النفطية

1-6-5 مسببات التآكل في الصناعة النفطية:

أن تآكل المعدات والاجهزة النفطية سببه وجود شوائب ومواد تسبب التآكل قد تكون موجودة أصلا في النفط الخام أو مضافة إليه تبعا لمتطلبات العملية الانتاجية. من اهم العناصر الرئيسية المؤدية للتآكل:

أولا: المواد الموجودة أصلا" في النفط الخام:

1- ايون الكلوريد:

أن قابلية ذوبان معظم الكلوريدات كبيرة مما يساهم في زيادة شدة تأثير ايون الكلوريد كما أن نواتج عملية التآكل تذوب في المحلول ولا تبقى ملتصقة على سطح المعدن متسببة في كشف سطح المعدن مرة أخرى للتآكل فيصبح من الصعوبة التخلص من هذا الايون غير المرغوب فيه. من الامثلة لهذا التآكل في الصناعة النفطية. الجزء العلوي من أبراج التقطير الرئيسية لوحدات التكرير و أبراج النزع لمنتوج النفثا والكيروسين والاجزاء العلوية والسفلية للخزانات النفطية.

2- ايون الكبريتيد:

يعتبر هذا الايون المسبب الرئيسي والاكثر فعالية في حصول التآكل في الصناعة النفطية حيث تقاس شدة التآكل لأي نفط بمقدار ما يحرره من غاز كبريتيد الهيدروجين عند التسخين وعندما تزداد نسبته فيها يطلق عليها تسمية أنواع النفط الحامضية. يظهر هذا الايون في السوائل والغازات النفطية بشكل كبريتيد الهيدروجين الذي يوجد في النفط الخام بشكل طبيعي أو من جراء تحلل المركبات الكبريتية خلال عمليات التكرير والتكسير الحراري والعمليات التشغيلية الاخرى المتضمنة للضغط والحرارة العالية. أن التآكل بأيون الكبريتيد يحصل بإحدى طريقتين هما:-

(أ) التآكل في درجات الحرارة الواطئة (تحت درجة حرارة التكثف أي أقل من 93 °C):

يذوب الايون في قطرات الماء المتكثفة على سطح المعدن مكونا" حامض الكبريتيك مسببا تلفا كبيرا في المعدات النفطية

(ب) التآكل في درجات الحرارة العالية:

يحصل التآكل عادة في درجات حرارة (200-480 °C) في حين تنخفض شدة التآكل في درجات الحرارة الاعلى من (480 °C) حيث تصبح ضيئلة بسبب تكون طبقة الفحم (Coke) التي تمنع وصول غاز كبريتيد الهيدروجين الى المعدن. من الامثلة لهذا التآكل هو التآكل الحاصل في أنابيب الافران ومجمعات رؤوس الانابيب والانابيب الناقلة للمنتوج من الافران الى أبراج التقطير والاجزاء السفلية من أبراج التقطير و المبادلات الحرارية التي تعمل بدرجات حرارة عالية.

3- ايون الهيدروجين:

يعتبر هذا الايون من أسوأ العناصر المؤاكلة حيث يعتبر التآكل بأيوني الكلوريد والكبريتيد أساسا تآكلا بأيون الهيدروجين.

(أ) التآكل في درجات الحرارة الواطئة: (أقل من 230 °C)

يحصل من جراء تكون حوامض مخففة تساعد على تكوين ذرات هيدروجين لها قابلية النفاذ في المعادن خصوصا" عند وجود الفجوات المتكونة من جراء التصنيع الردئ للمعدن حيث تتحد هذه الذرات مكونة جزئيات الهيدروجين الكبيرة الحجم فلا تتمكن بعدها من الاستمرار بالنفاذ مما يزداد ضغطها الامر الذي يؤدي الى إنفصال جزء من المعدن وإنتفاخه ويظهر واضحا" على السطح حيث يطلق عليها تسمية بثور الهيدروجين (Hydrogen blisters).

(ب) التآكل في درجات الحرارة العالية: (أعلى من 230 °C)

في درجات الحرارة العالية ينفذ الهيدروجين الذري الى داخل المعدن ويستقر في الفجوات الموجودة في المعدن نتيجة الصنع الرديء فتتحد مع بعضها مولدة جزئيات هيدروجين والتي بدورها تتفاعل مع الكربون الداخل في صنع المعدن أو السبيكة مولدة غاز الميثان (CH_4) مما ينتج عنه قلة في تركيز الكاربون (Decarburization) فيصبح المعدن هشاً وضعيفاً فيفقد المعدن خواصه الميكانيكية فتحصل الشقوق في المعدن ومثال على هذا التآكل الحاصل في أفران ومفاعلات ومبادلات وحدات التعامل بالهيدروجين.

4- الماء المصاحب:

يعتبر الماء الوسط المحفز للتآكل لان كثيراً من التفاعلات الكيميائية ظاهرياً تتضمن الماء ولكن لا تحصل هذه التفاعلات إلا في الحالة السائلة لذا فأن معظم التفاعلات الكيمياوية المسؤولة عن التآكل في درجات الحرارة الواطئة (أقل من 230 °C) . يتواجد الماء في معظم الاجهزة بشكل سائل وعليه فأن المواد القابلة للذوبان بالماء تتأين وتتحول الى ايون نشط فعال علماً بأنه كلما كانت كمية الماء السائل قليلة سيزداد تركيز الايونات وبالتالي تزداد شدة التآكل. من امثلة هذا التآكل تآكل قواعد وسقوف الخزانات النفطية و قنوات الجريان للمبادلات الحرارية.

5- الاوكسجين:

(أ) الاوكسجين في درجات الحرارة الواطئة:

يعتبر الاوكسجين عاملاً مهماً في التآكل عند درجات الحرارة الواطئة بوجود المحاليل حيث يزيل الاستقطاب باتحاده مع الهيدروجين المتولد على القطب السالب فيمنع تجمعه وبالتالي يبقيه بحالة نشطة موصلة للأيونات الموجبة مما ينتج عنه ارتفاع في معدل التآكل على القطب الموجب أما في المناطق الفقيرة بالأوكسجين كالمناطق الضيقة فيتوقف التآكل حتى لو كان المحلول شديد التآكل كماء البحر مثلاً.

(ب) الاوكسجين في درجات الحرارة العالية:

جميع المعادن معرضة للتأكسد في درجات الحرارة العالية فبعضها يقاوم التأكسد بتكوينه طبقة واقية من الاوكسيد وبعضها لا يقاوم التأكسد .

6- ثاني أوكسيد الكاربون:

عند ذوبان ثاني أوكسيد الكاربون في الماء ينتج عنه حامض ضعيف يكاد يكون تأثيره مهملاً وهو حامض الكاربونيك لذا فأن العامل الحقيقي المسبب للتآكل هو آيون الهيدروجين الحامضي.

7- البكتريـا:

وهي أحياء بايولوجية تعيش في التربة الطينية وبعض مصبات الانهار، كذلك في الماء المالح الموجود في النفط الخام عند تواجده بكميات كبيرة. تقوم هذه البكتريا باختزال الكبريتات الموجودة في النفط الخـام الـى الكبريـتيـدات (Sulfates to Sulfides) مولدة غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يهاجم المعدن مكوناً كبريتيدات معدنية محدثة التآكل. من امثلة هذا التآكل هو التآكل الحاصل في أنابيب حزم المبردات المائية (Coolers) وتآكل الانابيب المدفونة الناقلة للنفط الخام أو منتجاته.

8- الحوامض العضوية:

تمتاز هذه الحوامض بكونها غير مؤاكلة في درجات الحرارة الواطئة ولكنها تصبح شديدة التآكل قرب درجات غليانها. بالإمكان إجمال الحوامض العضوية الموجودة في النفط الخام بالاتي:-

(حامض النفثينك، حامض البروبيونك، حامض البالمتيك،حامض الستيريك، حامض الاوليك).

9- مركبات النتروجين:

تعتبر مركبات النتروجين الموجودة في النفط الخام غير مؤاكلة ولكن عندما يحصل فيها تكسير حـراري تسبب تآكلا شديدا في الوحدات الصناعية عند درجات الحرارة الاقل من درجة حرارة التكثف (Dew Point). كما أن وجود النتروجين في الهواء المستعمل للاحتراق في الافران سيولد غازات أكاسيد النتروجين التي تذوب في الماء عند درجات الحرارة الواطئة فتصبح شديدة التآكل.

ثانياً : المواد المضافة الى النفط لأغراض صناعية:

أ- ايون الهيدروكسيل

تستعمل مادة الصودا الكاوية على نطاق واسع في عمليات التصفية لمعادلة التأثير الحامضي لمكونات النفط كما أنه يدخل أيضاً في صناعة الشحوم وتعتبر هذه المادة غير مؤاكلة في درجات الحرارة الاعتيادية بحيث يمكن خزنها في أوعية حديدية ولكنها تسبب ظاهـرة التشقق الجهدي من جـراء الهشاشـة القاعديـة خصوصاً عندما تصبح درجة الحرارة أعلى مـن (93 °C).

ب- حامض الفسفوريك:

ينتج هذا الحامض خلال عملية البلمرة بوجود عامل مساعد يحتوي على خامس أوكسيد الفسفور فتتحلل الفوسفات العضوية الى حامض الفسفوريك مسبباً تآكل الاجهزة والمعدات. كما في التآكل الحاصل في المبادلات الحرارية وأبراج التجزئة.

ث- حامض الكبريتيك وفلوريد الهيدروجين:

يستخدم حامض الكبريتيك بتركيز (85-90%) كعامل مساعد في وحدات الألكلة مع وجود منظومة لتنظيف المنتوج من شوائب الحامض. ويكون التآكل على شكل تنقر أو تآكل منتظم يحصل تحت مستوى السائل في قواعد الابراج والاوعية وعلى الصواني وفي الانابيب.

د- الفينول:

يستخدم في صناعة دهون التزييت والهيدروكاربونات الاروماتية وذلك لألفته الشديدة للنفثينيات والهيدروكاربونات الاروماتية.

هـ - الزئبق:

يستخدم في بعض الآلات الدقيقة والمقاييس فلو حصل ودخل الى المعدات النفطية خطأ فأنه يسبب ظاهرة التآكل الجهدي لسبائك المونيل وسبائك النحاس كما أنه يسبب تآكل شديد للألمنيوم.

و- الامونيا:

يستخدم للتبريد ومعادلة الحوامض ويؤثر تأثيراً شديداً على سبائك النحاس عندما تكون درجة حموضته (pH=8) مسبباً تآكلاً شديداً يظهر بشكل منتظم وبلون أزرق.

ز- الكلورين:

يستخدم في أبراج التبريد وفي عمليات خاصة حيث يعتبر غير مؤاكل في حالة غياب الماء ولكن بوجوده يصبح شديد التآكل.

2-6-5 أنواع التآكل الحاصلة في الصناعة النفطية

(1) التآكل المنتظم: Uniform corrosion

هو تآكل منتظم للمعدن على كل سطحه، و يحدث هذا النوع في المعادن او السبائك ذات البنية الوحيدة الطور (المعادن النقية، والمحاليل الصلبة والمركبات الكيميائية. المثال الشائع على هذا النوع هو التآكل الجوي بوجود الرطوبة نتيجة تلوث الجو بالغازات الحامضية المؤاكلة).

شكل (5-2) التآكل المنتظم لأنبوب معدني

(2) التآكل التنقري: Pitting corrosion

وهو نوع من أنواع التآكل الموضعي و يتآكل إثناءه المعدن في أماكن متفرقة من السطح، ويلاحظ حدوث هذا النوع من التآكل بالسبائك الكثيرة الاطوار ذات البنية الخشنة كما يحدث بالسبائك الوحيدة الطور والمعادن النقية عند تدمير الغلاف الواقي. وتسبب الخدوش والحزوز السطحية التآكل التنقري، اذ تتكون في هذه الاماكن ظروف مناسبة لتكون الاعمدة الكهربائية المتناهية في الصغر. لذلك يصعب تقييمه بالطرق الاعتيادية بسبب عدم تأثر المعدن بصورة ملحوظة مما يجعله تآكلاً خطراً فيصبح من الصعوبة جداً حساب العمر المتبقي للمعدة أو الجهاز فيحصل خلاله النضوح و يتم قياسه باستخدام جهاز خاص لمعرفة عمق النقرة يسمى (Pit gauge).

شكل (5-3) التآكل التنقري

(3) التآكل الكلفاني: Galvanic corrosion

يحصل التآكل الكلفاني عند تعرض معدنين مختلفين في قيم جهود الاختزال لهما في وسط واحد أو أكثر وبينهما اتصال أيوني وإلكتروني حيث يشكل الفرق في قيم جهود الاختزال للمعدنين القوة الدافعة الكهربائية للتآكل. يتصرف المعدن الذي يمتلك جهد اختزال أعلى مهبطاً (كاثود) بينما يتصرف المعدن ذو جهد الاختزال الأقل مصعداً (انود) ويقع عليه التآكل.

شكل (5-4) التآكل الكلفاني لنقطة اتصال معدنين مختلفين

(4) التآكل على حدود المجاميع البلورية: Intergranular corrosion

تحت ظروف معينة يحصل تفاعل بين المحلول المؤاكل وحدود المجاميع البلورية بنشاط كبير محدثاً تآكلاً سريعاً على حدود المجاميع فتحصل من جرائه تشققات تؤدي الى تقليل قوة المعدن وفشله. مثال على هذا النوع هو التشققات على جانبي وصلة لحام سبيكة من الفولاذ المقاوم للصدأ عند المعاملة الحرارية بين درجة حرارة (870-425 °C) حيث يطلق على هذه الظاهرة بتفسخ اللحام ولا يمكن اكتشاف هذه التشققات إلا باستخدام المجهر.

شكل (5-5) صورة مكبرة تبين التآكل على حدود المجاميع البلورية

(5) التآكل الجهدي: Stress corrosion

أن التآكل يسبب تشققات سطحية على المعدن أما أن تكون على حدود المجاميع البلورية أو خلال البلورات نفسها ثم تتوسع وتتعمق لوجود جهد في تلك المنطقة وعليه فأن هذا النوع من التآكل هو من اجتماع عاملين هما عامل التآكل (الوسط المؤاكل) وعامل الجهد. أن درجة الحرارة والزمن المستغرق لحين حدوث الفشل يلعبان دوراً في العملية. كما في تآكل الفولاذ المقاوم للصدأ في محاليل الكلوريد، البخار، ماء البحر، والمحاليل القاعدية.

شكل (5-6) التآكل الجهدي لأنبوب معرض لجهد

(6) التآكل بالهيدروجين: Hydrogen attack

غاز الهيدروجين من الغازات الصناعية المهمة وهو يتولد في الصناعات النفطية بسبب تكسر الهيدروكوربونات بدرجات حرارة عالية او اثناء عملية الاستخراج النفطي، كما يتولد من عمليات الحماية الكاثودية او تفاعلات الاختزالات لأيون الهيدرونيوم عند الكاثود وكذلك هناك اسباب اخرى لتوليده. إن طبيعة الانهيار ميكانيكية ولو إن التآكل يلعب دورا بارزا فيها. ويحصل الانهيار نتيجة تولد الهيدروجين الذري من تفاعل كيماوي. فمثلا إن وجود كميات قليلة من كبريتيد الهيدروجين الرطب على سطح الحديد. ينفذ الهيدروجين الذري خلال مسامات المعدن حيث يتحد مع بعضه مكونة الهيدروجين الجزيئي الذي لا يتمكن من الخروج من المسامات وعلى مرور الزمن تبقى كميات لا باس بها من الهيدروجين الجزيئي محصورة داخل المعدن مولدة ضغوطاً كبيرة كافية لتكسير المعدن وانهياره التام.

شكل (5-7) جزء من انبوب متكسر بسبب التآكل بالهيدروجين

(7) التآكل الاعيائي: Corrosion fatigue

يحصل من جراء عاملين هما الجهد الدوري والوسط المؤاكل فتظهر التنقرات والاخاديد حيث تعمل كنقاط لبدء التشققات التي تكون عادة عمودية على أتجاه الجهد الدوري وخلال مجاميع البلورات. ومثاله التآكل في المعدات الدوارة.

شكل (5-8) التآكل الكللي لجزء دوار

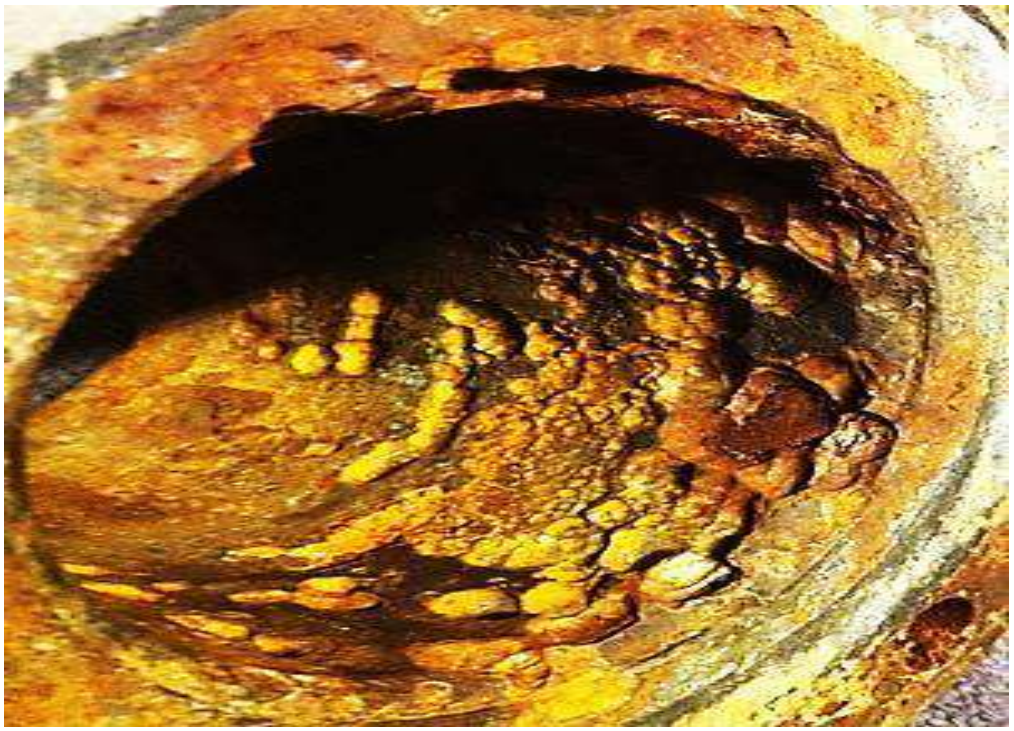
(8) التآكل والتعرية: Erosion – corrosion

يعتبر هذا النوع من التآكل من الظواهر الشائعة في الصناعة النفطية التي تعرف بأنها عملية بلي ميكانيكي من جراء سرعة الجريان التي تتسبب في قشط الطبقة الواقية لسطح المعدن وكشف المعدن الاصلي مرة ثانية للوسط المؤاكل. يتخذ هذا التآكل شكل أخاديد وخطوط أو ثقوب مدورة ويكون السطح عادة لامعاً غير مكسو بنواتج التآكل. كما في التآكل في مناطق الصمامات، المضخات، المنحنيات، ومراوح التبريد. ويمكن الحد من هذا النوع من التآكل بتغطية المناطق المتعرضة للتعرية بطبقة من معدن مصلد أو سبيكة مقاومة للتآكل.

شكل (5-9) التآكل والتعرية لزعانف وجسم المروحة

(9) التآكل بالأحياء المجهرية: Microbiological Corrosion

تقوم بعض أنواع البكتريا وبوجود الاوكسجين بتحويل كبريتيد الهيدروجين الى كبريتات وبعض الانواع تعكس العملية حيث تعمل البكتريا على خلق خلايا تآكلية مختلفة ويظهر التآكل بشكل حفر كبيرة. كما في تآكل الانابيب المدفونة في التربة التي تعاني من تآكل سريع بالبكتريا ما يؤدي الى حدوث انسدادات فيها.



شكل (5-10) التآكل الميكروبي داخل أنبوب

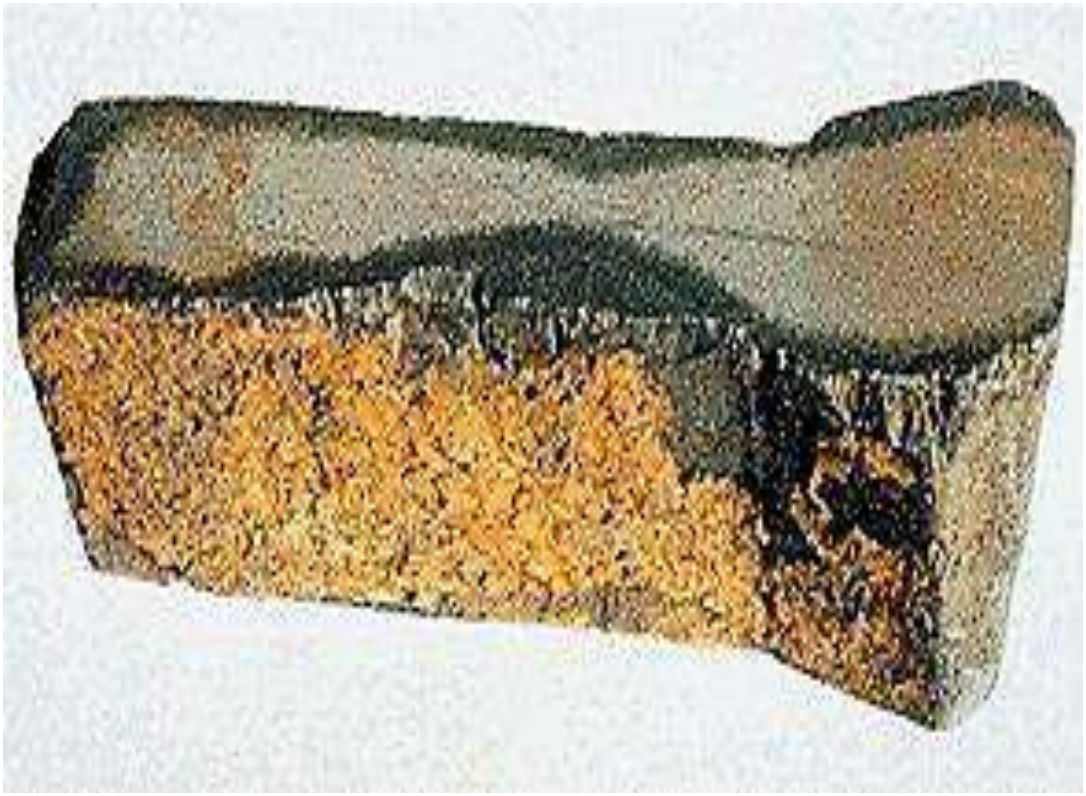
(10) التآكل بالفقاعات Cavitation corrosion.

هناك تجاويف تحدث من تكثف و تكون الأبخرة المائية والغازات على شكل فقاعات بأشكال مختلفة تختلف باختلاف مقدار الضغط الداخلي للبخار والغاز بداخل خطوط النقل وكذلك في حال تواتر ضخ المياه بالزيادة أو التوقف المفاجئ، وتلعب هذه الفقاعات دورا رئيسيا في حدوث التآكل الداخلي ويشاهد بوضوح في توصيلات مضخات المياه ذات القدرات العالية.

شكل (5-11) التآكل بالفقاعات

(11) الانفصال بالتآكل Selective Leaching

هو عملية ازالة لعنصر من سبيكة بسبب التآكل نتيجة تواجده في وسط مؤاكل ومن اكثر الامثلة شيوعا لهذا النوع من التآكل هو انفصال الزنك من سبيكة البراص. وتتعرض انواع كثيرة من السبائك لهذا النوع من التآكل اذا ما وضعت في وسط يساعد على التآكل.



شكل (5-12) الانفصال بالتآكل لمعدن من سبيكة

(12) تآكل الشقوق Crevice corrosion

يشير تآكل الشقوق إلى التآكل الذي يحدث في المساحات الضيقة الرطبة التي يكون فيها وصول الاوكسجين الجوي محدودًا. هذه المساحات تسمى عادة الشقوق. ومن الأمثلة على الشقوق الفجوات ومناطق الاتصال بين الأجزاء كالمساحة الفاصلة بين قطعتين معدنيتين وكذلك رؤوس الصواميل.

شكل (5-13) تآكل الشقوق لنقطة اتصال صفيحتين معدنيتين

5-7 حساب معدل التآكل

يعرف معدل التآكل على انه السرعة التي يتدهور بها أي معدن معين في بيئة معينة. المعدل، أو السرعة، يعتمد على الظروف البيئية وكذلك على نوع وحالة المعدن. ويعتبر حساب معدلات التآكل مهما لأنه يحدد عمر الهياكل المعدنية. وان هذا الواقع يملي علينا اختيار المعادن المستخدمة لأغراض مختلفة، وفي بيئات مختلفة. كما يحدد متطلبات الصيانة للهياكل فقد يتطلب التركيب المعدني في بيئة رطبة صيانة أكثر تواتراً من بنية مماثلة في موقع أكثر جفافاً.

يتم حساب معدل التآكل بالملمتر لكل سنة Millimeters per year (mm/y). عدد المليمترات التي يخترقها التآكل لكل عام. ولحساب معدل التآكل ، يجب جمع المعلومات التالية:

1. فقدان الوزن (انخفاض في وزن المعدن خلال الفترة الزمنية المحددة)

ويتم حساب فقدان الوزن كما يلي:

أ- تعد العينات بأشكال هندسية منتظمة كان تكون مكعبات
ب- توزن بميزان حساس لمعرفة الوزن الاصلي للعينة (W_1)
ت- تغمر العينات في المحلول لفترة من الزمن (T)
ث- ترفع العينات من المحلول ثم تغسل بالماء المقطر لازالة اثار المحلول ثم تجفف و توزن مرة ثانية (W_2)
ج- مقدار فقدان الوزن $\Delta W = W_1 - W_2$

2. الكثافة (كثافة المعدن)

3. المساحة (مجموع المساحة السطحية الأولي للقطعة المعدنية المتعرضة للتآكل)

4. الوقت (طول الفترة الزمنية المحددة)

ويتم تطبيق المعادلة التالية لحساب معدل التآكل لمعدن معين:

$$\mathbf{CR}\left(\mathbf{^{mm}/_{y}}\right) = \mathbf{87.6}\ \frac{\mathbf{\Delta W}}{\mathbf{DAT}} \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad (5-5)$$

حيث ان :

CR: هو معدل التآكل بالملمتر لكل سنة mm/y

ΔW : فقدان الوزن في ملليغرام
D : كثافة المعادن في g / cm^3
A : مساحة العينة بوحدة cm^2
T : وقت التعرض لعينة المعدن بالساعة

مثال (5-1)

عينة على شكل مكعب من الحديد طول ضلعه (1 cm) وزنه (7870 mg) وضع معلقا في محلول لمدة 240 ساعة فتبين ان وزنه (7840 mg) . احسب معدل التآكل اذا علمت ان كثافة الحديد تساوي ($7.87\ g/cm^3$).

الحل :

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\Delta W = 7870 - 7840 = 30\ mg$$

$$A = 1x6 = 6\ cm^2$$

$$CR\left(^{mm}/_{y}\right) = 87.6\ \frac{\Delta W}{DAT}$$

$$CR\left(^{mm}/_{y}\right) = 87.6\ \frac{30}{7.87\ x\ 6\ x\ 240}$$

$$CR\ = 0.2319\left(^{mm}/_{y}\right)$$

8-5 اجراءات الوقاية من التآكل

يمكن تجنب التآكل أو تأخيره بالخطوات التالية:

اولاً: اختيار المواد

إحدى الطرق العامة للتحكم في التآكل, هو استخدام مواد ذات مقاومة عالية للتآكل لوسط معين. وعند اختيار المواد يجب الاستعانة بالمراجع والمعطيات للتأكد من اختيار المادة المناسبة. بالإضافة إلى استشارة خبراء التآكل في الشركات التي تنتج المواد وذلك ليكون الاختيار أفضل ما يمكن. وهناك بعض القواعد العامة والدقيقة إلى حد ما يمكن تطبيقها عند اختيار المواد المعدنية والسبائك المقاومة للتآكل في التطبيقات الهندسية وهي :

أ- في الأوساط المختزلة او غير مؤكسدة مثل الحوامض الخالية من الهواء أو المحاليل المائية تستخدم عادة سبائك النيكل والنحاس .

ب- في الأوساط أو الظروف المؤكسدة تستخدم السبائك التي تحتوي على الكروم .

ج- في الأوساط المؤكسدة القوية تستخدم مادة التيتانيوم وسبائكه .

ثانياً: اختيار التصميم المناسب

وتتضمن ما يلي:

- البساطة فى التصميم كتجنب الانحناءات الكثيرة في شبكات الانابيب.
- تجنب تكوين الخلايا الجلفانية .
- تجنب الرطوبة لأنها العامل الاهم لحدوث التآكل .

ثالثا: المعالجة الكيميائية

وهي عبارة عن تعديل وتغيير وسط التآكل: وتشمل:

- إزالة الأملاح عن طريق أعمال التأين .
- إزالة الأحماض بإضافة الجير والمواد القلوية

رابعاً: التغطيات

التغطيات المعدنية وغير العضوية هي من التغطيات الشائعة للسيطرة على التآكل ويتوقف اختيار نوع التغطية على كل من الوسط الآكل، طريقة التطبيق، نوع المعدن المراد تغطيته إضافة إلى نوع الترابط بين المعدن المغطى والتغطية نفسها.

وتعد التغطيات هي أكثر الطرق المستخدمة شيوعاً للتصدي لعملية التآكل ويتلخص عمل التغطيات في الحد من عملية التآكل المعدني في أنها تقوم بعزل المعدن عن الوسط الآكل كلية أو أنها تؤخر حدوث التفاعل بين كل من المعدن المراد حمايته والوسط الآكل.

وبشكل عام فإن التغطيات لا تستخدم لحماية المعادن من تأثير المواد الكيماوية القوية ولكنها تستخدم في الأوساط المتعادلة ولمقاومة التآكل الجوي أو التآكل في الماء أو في داخل التربة.

وحالياً يوجد مئات من الأنواع المختلفة من التغطيات والكثير منها عبارة عن خلائط من مكونات مختلفة وبنسب مختلفة لتحقيق خصائص معينة.

وهذا التعدد في الأنواع والتراكيب يجعل مهمة الشخص القائم بعملية الإختيار للتغطية لتحقيق هدف معين عملية بالغة الصعوبة خصوصاً إذا كان المطلوب ثلاثة أنواع أو أكثر من التغطيات على أساس تطبيق كلا منها فوق الآخر وذلك حتى يتحقق في التغطية الناتجة الأداء المنشود.

ويمكن تصنيف التغطيات إلى ثلاثة أنواع وهي :

1-التغطيات المعدنية

التغطيات المعدنية التي تختلف عن المعدن المراد حمايته يمكن تطبيقها كطبقة تغطية رقيقة وذلك لفصل الوسط الآكل عن المعدن . وأحياناً يتم تطبيق التغطيات المعدنية لتعمل عمل أقطاب تضحية (اقطاب انود) التي تتآكل مقابل حماية المعدن . مثال ذلك تغطية الفولاذ بطبقة من الخارصين (الفولاذ المجلفن) حيث يتآكل الخارصين مقابل حماية الفولاذ . وهناك عدة طرق لتطبيق التغطيات المعدنية وهي:

أ- التغطية بالغمر الساخن

تتلخص عملية تطبيق التغطية في هذه الحالة في غمر الجسم المعدني المراد تغطيته لحمايته من عملية التآكل في حوض يحتوي على المادة المراد استخدامها كتغطية على صورة مصهور. ويجب أن يكون معلوما أنه يجب أن تكون نقطة الانصهار للمادة المراد التغطية بها أقل من نقطة انصهار الجسم المعدني المراد تغطيته وذلك حتى لا ينصهر الأخير. ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع من التغطية هو تغطية الفولاذ بالخارصين بما يعرف بالفولاذ المجلفن.

ب- التغطية بالرش الفلزي

الرش الفلزي أو التفليز أو الرش باللهب يعني تطبيق بالرش لقطرات من الفلز المنصهر على السطح المراد تغطيته. وعادة ما تكون التغطية في هذه الحالة مسامية، ويمكن تحويلها إلى تغطية غير مسامية بتطبيق طبقة مالئة عليها، وتعد هذه الطريقة من الطرق الجيدة إذا كان مخططاً لها فيما بعد عمل تغطية فوقها لأنها تسمح بتواجد ترابط قوي بين الفلز المغطى والتغطية نفسها.

ج- الطلاء الكهروكيميائي

الطلاء الكهروكيميائي هو آحدى العمليات الكاثودية حيث يجري اختزال أيونات المعدن المتواجدة في المحلول لتترسب على شكل ذرات متعادلة على السطح المراد طلاؤه. في هذه العملية يكون الجسم المعدني المراد طلاؤه كاثود في خلية التحليل الكهربائي والمحلول الإلكتروليتي المستخدم في الخلية

فيجب أن يحتوي على أيونات المعدن المراد الطلاء به والأنود يكون من المعدن المراد إجراء عملية الطلاء الكهروكيميائي به.

2-التغطيات غير العضوية

عادة يتم تغطية المعادن بطبقة من الخزف أو الزجاج عن طريق صهرها على سطح المعادن بقصد حمايتها من التآكل. أما التغطيات من الخزف فعادة تطبق على الفولاذ والألمنيوم وتستخدم هذه التغطيات في انتاج الأدوات والأجهزة المنزلية وفي بعض مصانع الأغذية. أما التغطيات الزجاجية للاستخدامات الكيمياوية فهي تتكون أساساً من السيليكا على الحديد وتتميز التغطيات الزجاجية في قدرتها على مقاومة أنواع مختلفة من الكيمياويات والتي تشمل الأحماض القوية (فيما عدا حامض الهيدروكلوريك) ولكن مثل هذه التغطيات تكون غير مناسبة على الإطلاق في حالة القلويات المركزة الساخنة.

ويجب أن تكون التغطية الزجاجية متماسكة تماماً على سطح المعدن وخالية من المسامات تماماً لأنه لا سبيل في هذه الحالة لوقاية المعدن من التآكل بالتضحية، وكما أوضحنا في حالة الفولاذ المجلفن. ومن أهم عيوب التغطيات الزجاجية هي كونها هشة وتكون عرضة للتشقق عند تعرضها للصدمات الحرارية. وتستخدم هذه الطريقة بكثرة في تبطين المفاعلات الكيميائية والخزانات المستخدمة في عمليات التخزين

3-التغطيات العضوية

تشمل الدهانات، الورنيش، والعديد من المواد البوليمرية العضوية والتي تستخدم في العادة لحماية المعادن من الأوساط الأكالة. هذه المواد تعمل على تزويد طبقة رقيقة صلبة تحمي المعادن من التآكل. وبالتالي يجب اختيار تغطية مناسبة وتطبيقها بشكل جيد على السطوح المعدنية المجهزة. وفي حالات عديدة فان الأداء الضعيف للدهانات، مثلاً يعزى الى التطبيق الضعيف والتجهيز الضعيف للسطوح.

خامساً: الحماية الكاثودية (المهبطية)

الحماية الكاثودية أو المهبطية هي تقنية تستخدم للسيطرة على تآكل سطح المعدن بجعله كاثودا (مهبطا) لخلية كهروكيميائية. تقوم الطريقة البسيطة للحماية بتوصيل المعدن المراد حمايته بمعدن آخر يكون أسهل للتآكل يسمى (بالمعدن المُضحى به) ليعمل كمصعد (انود). ولحماية الهياكل الضخمة مثل خطوط الأنابيب الطويلة فإنه يتم استخدام مصدر طاقة كهربائي خارجي من التيار المستمر لتوفير التيار المطلوب لعملية الحماية الكاثودية. وتحمي أنظمة الحماية الكاثودية مجموعة واسعة من الهياكل المعدنية في بيئات مختلفة كما في أنابيب توصيل المياه الفولاذية و انابيب نقل النفط والوقود وخزانات المياه الفولاذية مثل سخانات المياه المنزلية و هياكل السفن والقوارب و منصات النفط البحرية و غيرها من الهياكل و المنشئآت التي يمكن أن تتعرض للتلف. و هناك تطبيق آخر شائع يتمثل في الفولاذ المجلفن، حيث يتم حماية الفولاذ بطبقة من الخارصين بحيث تحميه من الصدأ.

وغالبًا ما تستخدم الحماية الكاثودية لحماية الفولاذ من التآكل أو الصدأ. يحدث التآكل عندما يتم غمر معدنين مختلفين في مادة إلكتروليتية مثل الماء أو التربة أو الخرسانة. و يتيح هذا النوع من مسارات التوصيل الفلزي بين المعدنين المتباينين على حدوث مسار يمكن من خلاله أن تنتقل عبره الإلكترونات الحرة من الفلز الأكثر نشاطًا (الأنود او المصعد) إلى الفلز الأقل نشاطًا (الكاثود أو

المهبط). فإذا لم تصل الإلكترونات الحرة الصادرة من الأنود (المصعد) إلى النقاط النشطة على الكاثود (المهبط) قبل وصول الأكسجين، فيمكن حينئذ إعادة تجميع الأيونات في المواقع النشطة لإنتاج هيدروكسيد الحديدوز، أي الصدأ.

باختصار، تقوم الحماية الكاثودية بتوصيل الفلز الأساسي المعرض للخطر (المعدن) بفلز يمكن التضحية به لكي يتآكل بدلاً من الفلز الأساسي. و تحافظ تقنية توفير الحماية الكاثودية للفولاذ على الفلز من خلال توفير فلز آخر نشط للغاية يمكنه أن يعمل كمصعد ويوفر إلكترونات مجانية. ومن خلال إدخال هذه الإلكترونات الحرة، يضحى الفلز النشط بأيوناته و يمنع الفولاذ الأقل نشاطًا من التآكل.

والحماية الكاثودية نوعان :

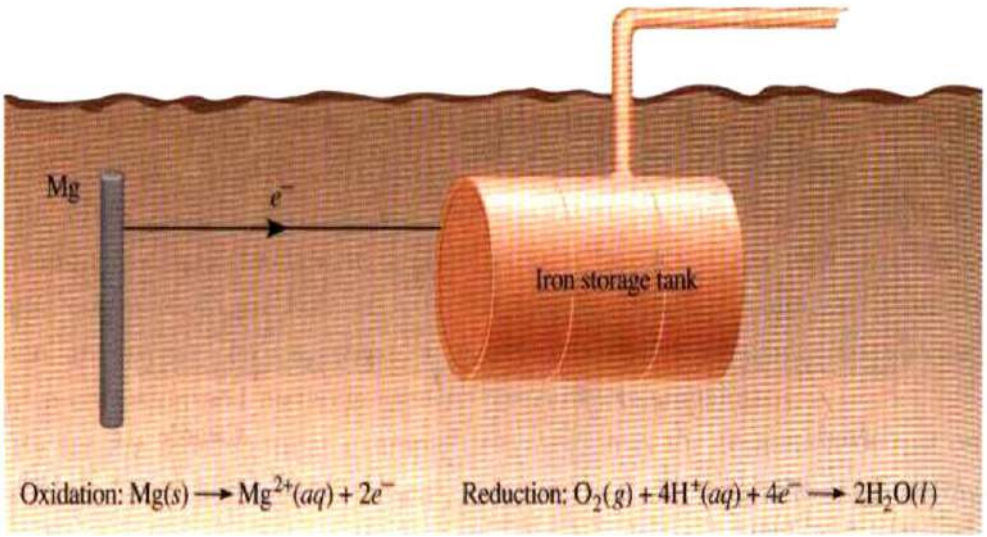
1- الحماية الجلفانية:

تتكون الحماية الجلفانية من تطبيق طلاء الخارصين الواقعي على الفولاذ لمنع الصدأ، وبالتالي يتآكل الخارصين بدلا من الفولاذ المغلف. و لهذه الأنظمة فترات عمرية محدودة ، حيث سيستمر تدهور الفلز المضحى به الذي يحمي الفلز الأساسي بمرور الوقت إلى أن يصبح الفلز المضحى به غير قادرٍ على توفير الحماية.

2- الحماية الكاثودية المتأثرة بالتيار الكهربائي :

تتكون أنظمة الحماية الكاثودية المتأثرة بالتيار الكهربائي من أنودات (مصاعد) متصلة بمصدر طاقة يوفر مصدرًا دائمًا للتيار الكهربائي. ففي طريقة الأنود المضحى به يتم استخدام فلز أكثر نشاطًا للتضحية به و لحماية الفلز الأساسي. وتكون هذه الأنودات المضحى بها (المغنيسيوم أو الألومنيوم أو الخارصين) .

تم استخدام الحماية الكاثودية لسنوات لحماية الهياكل التي تعاني من التعرض الطويل الأجل في البيئات التي يحدث فيها عمليات التآكل و الصدأ . لكن تركيب الحماية الكاثودية نفسها قد يكون مكلفًا كما يمكن أن تزيد التفاصيل المحددة لكيفية بناء الهياكل من تعقيد الحماية الكاثودية وبالتالي تكلفة ذلك. بالإضافة إلى هذه التكلفة ، يتطلب النظام أيضًا صيانة روتينية، بما في ذلك الفحص البصري الدوري. وفي حالة الحماية الكاثودية المتأثرة بالتيار الكهربائي، هناك أيضًا تكلفة الكهرباء المستمرة. كما أن الأنودات المضحى بها على وجه الخصوص لديها كمية محدودة من التيار متاحا ، وتخضع للتآكل السريع، وبالتالي لها عمر محدود. و باختصار، الحماية الكاثودية هي طريقة شائعة الاستخدام لحماية الهياكل الفولاذية ، ومع ذلك يمكن أن تكون مكلفة وتتطلب صيانة روتينية وبالتالي العمل على استبدالها.



شكل (5-14) الحماية الكاثودية (المهبطية) لخزان تحت الارض

سادساً: مثبطات التآكل

مثبط التآكل يمكن تعريفه بأنه أي مادة تضاف بكميات قليلة إلى وسط التآكل للحد من سرعة تآكل المعدن فيه، وذلك من خلال عمله على سطح المعدن أو قريباً منه، والتثبيط في معظم الحالات يأتي نتيجةً لارتباط أو تفاعل المثبط مع سطح المعدن حيث ينتج عن هذه العملية تكوين غشاء يمنع أو يحد من عملية التآكل. واختيار المثبطات يتم بناءً على عدة اعتبارات أهمها مايلي:

1- صفاتها التركيبية.
2- طبيعة وسط التآكل.
3- طبيعة المعدن المراد حمايته.

وتصنف مثبطات التآكل :

1- حسب التركيبة الكيميائية : مثبطات عضوية و مثبطات لا عضوية.
2- حسب قيمة PH الوسط التي تستعمل فيه : مثبطات حامضية – مثبطات قلوية – مثبطات معتدلة.
3- حسب شروط استخدام المثبطات : مثبطات طيارة و مثبطات المحاليل.
4- حسب آلية التأثير : مثبطات أنودية – مثبطات كاثودية – مثبطات مختلطة.

ومن اهم انواع مثبطات التآكل :

1- المثبطات الأنودية :

تسبب عرقلة في التفاعلات الأنودية وتنتمي لهذه المجموعة المؤكسدات اللاعضوية (الكرومات والنتريتات) وكذلك المركبات التي تشكل على سطح المعدن راسب صعب الانحلال أمثال (NaOH , $NaCO_3$, Na_3PO_4) .

2- المثبطات الكاثودية :

تؤثر على سرعة التفاعلات الكاثودية و تنتمي لهذه المجموعة المواد المرجعة التي تتحد مع الأوكسجين و تخفض محتواه في المحلول مثل سولفيت الصوديوم و الهيدرازين و المواد الواقية لسطح الكاثود نتيجة لتشكيلها طبقة رقيقة من مركبات صعبة الانحلال مثل ($ZnSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$) .

3- المثبطات المختلطة :

تبطئ التفاعلات الأنودية و الكاثودية المتسببة في عملية التآكل و تعمل على تخفيض كثافة التيار للتفاعلين المهبطي (الكاثودي) والمصعدي (الانودي) معا. و إلى هذا النوع من المثبطات تنتمي البولي فوسفات والسيليكات .

اسئلة الفصل الخامس

س1: عرف ما ياتي:

1- التآكل 2- السلسلة الكهروكيميائية 3- الطلاء الكهروكيميائي

س2: اشرح باختصار ميكانيكية التآكل

س3: ما هي الاضرار التي يسببها التآكل

س4: ما هي التكاليف المباشرة للتآكل؟ وضحها

س5: ما هي المواد المضافة الى النفط لاغراض صناعية؟

س6: عدد انواع التاكل الحاصل في المنشآت النفطية

س7: ما الفرق بين انظمة الحماية الكلفانية و الحماية الكاثودية المتأثرة بالتيار الكهربائي

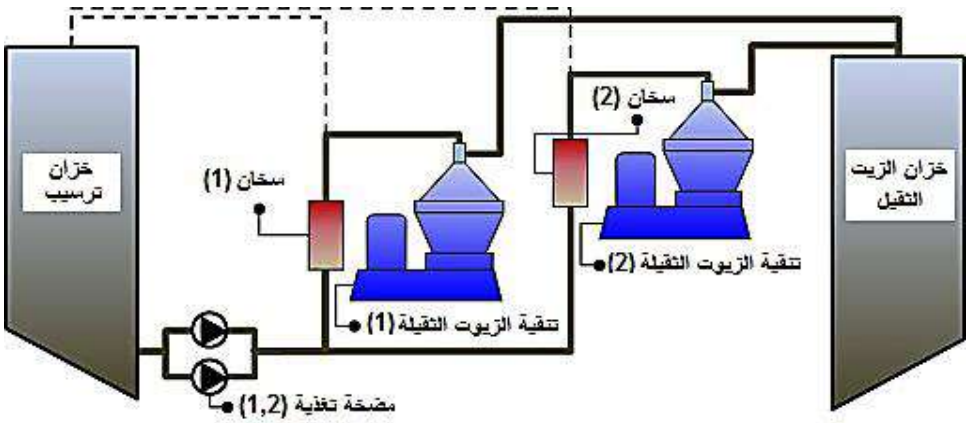
س8: عرف المثبطات، وما هي الاعتبارات الواجب الاخذ بها لاختيار المثبط

س9: ما هي اهم انواع المثبطات ؟ عددها مع الشرح

س10: عينة على شكل مكعب من الحديد طول ضلعه (1 cm) وزنه (7870 mg) وضع على احد قواعده في محلول لمدة 300 ساعة فتبين ان وزنه (7830 mg) . احسب معدل التآكل اذا علمت ان كثافة الحديد تساوي ($7.87\ g/cm^3$).

الفصل السادس

الزيوت الثقيلة Heavy Oils



الأهداف

يهدف الفصل الى تعريف الطالب بمصطلح الزيوت الثقيلة وأهم العمليات التي تجرى عليها في وحدات الزيوت الثقيلة في مصافي النفط وتحويله الى منتجات استهلاكية مهمة.

بعد الانتهاء من هذا الفصل يكون الطالب ملماً بما يلي:

1 - يعرف ما هو النفط المختزل وكيف يتم تكريره.
2 - يدرك أهمية زيوت التزييت.
3 - يعرف تركيب زيوت التزييت وأنواعها وطرق تصنيعها.
4 - يتقن اختيار المذيبات الأنتقائية المناسبة لعمليات الاستخلاص.
5 - يعرف طريقة انتاج الأسفلت والشحوم والشموع في مصافي النفط.
6 - يدرك الأهمية الاقتصادية ويتعرف على طرق معالجة الزيوت المستهلكة.

1-6 تمهيد Preface

النفط الخام، كما يستخرج من باطن الأرض عبارة عن خليط من العديد من المركبات الهيدروكاربونية المختلفة التي تشكل القسم الأعظم من تركيبه والباقي مركبات غير هيدروكاربونية (نتروجين، أوكسجين، كبريت، ونسب ضئيلة من المعادن).

تهدف عمليات تكرير النفط الى معالجة النفط الخام، واستخلاص المركبات العديدة المرغوب فيها منه، وتحويلها الى منتجات صالحة للاستهلاك، اذ ليس من الممكن استخدام النفط الخام بالصورة التي يوجد بها في باطن الأرض.

تعد عمليات التقطير من عمليات الفصل الأساسية في المصافي النفطية. وان طرق وأساليب أجراء عمليات التقطير في المصافي متعددة ومختلفة، يتعلق بعضها ببرنامج عمل المصفاة ذاتها. ومن ابرز هذه الأساليب هو أسلوب التقطير بمرحلة واحدة، حيث يتم تقطير النفط الخام تحت الضغط الجوي الاعتيادي وانتاج كافة القطفات الخفيفة. ويطلق على هذا النوع من المصافي بمصافي الوقود. أما الأسلوب الثاني فهو أسلوب التقطير بمرحلتين ، والذي يشتمل أضافة الى عمليات التقطير الجوي عمليات تقطير النفط المختزل تحت الضغط الفراغي لأنتاج الزيوت الثقيلة، التي تشمل زيوت التزييت والأسفلت والشحوم والشموع وبقية المواد الثقيلة.

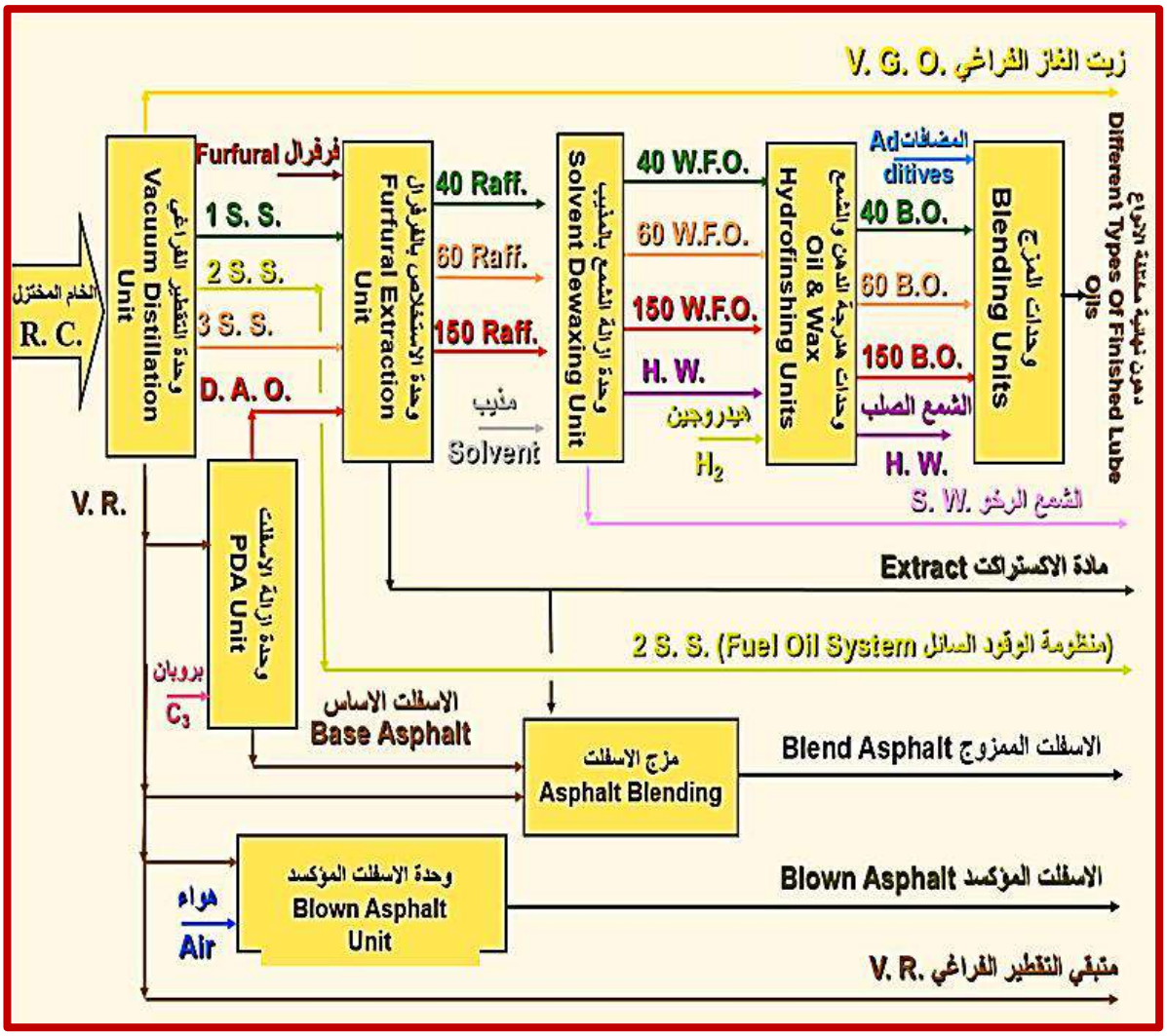
ان التقطير الفراغي للنفط المختزل ينتج أنواعاً مختلفة من الزيوت الأساس، الخفيفة والمتوسطة والعالية الكثافة. يعامل كل من هذه المقطرات بطرق مختلفة تعتمد على المواصفات المرغوب فيها ونوعية النفط الخام .

تعتبر صناعة زيوت التزييت (Lubricating Oil Manufacturing) من الصناعات الاستراتيجية لكون منتجاتها تستعمل في معظم الأنشطة والفعالُيات اليومية , فوسائل المواصلات ومداولة المواد في الوحدات الإنتاجية المختلفة لا يمكنها القيام بواجباتها على الوجه الاكمل أذا لم تتوفر النوعيات المطلوبة من زيوت التزييت .

2-6 صناعة زيوت التزييت (Manufacturing of Lube Oils)

تصنع زيوت التزييت في المصافي النفطية بمرحلتين تتضمن المرحلة الأولى انتاج الزيت الأساس اما المرحلة الثانية فهي مرحلة اضافة المواد المحسنة (المضافات).

تتضمن المرحلة الأولى، وكما موضح في الشكل (6-1) عدة عمليات ، بدءا بعملية التقطير الفراغي للنفط الخام المختزل، أو ما يصطلح عليه عادة بالنفط الأسود، حيث يتم انتاج المقطرات الشمعية التي تستخدم في تصنيع زيوت التزييت، وانتهاءاً بعمليات المزج والتعبئة وسيتم التطرق لهذه العمليات تباعا في الفقرات اللاحقة.



شكل (6-1) مخطط انسيابي متكامل لإنتاج زيوت التزييت في المصافي

6-2-1 زيوت التزييت (Lubricating Oils)

زيوت التزييت عبارة عن مواد تقوم بتسهيل الحركة الميكانيكية للألات المختلفة. الفكرة من عملية التزييت هي وضع غشاء رقيق من الزيت بين سطحين متلاصقين يتحرك أحدهما بالنسبة للأخر، ويحول الزيت دون تلامسهما المباشر أثناء الحركة، تفاديا للتأكل الذي يحدث اذا كان هناك تلامس جاف. ان زيوت التزييت تقلل الاحتكاك وتوفر الطاقة والوقود وتسرع في الأداء وتحافظ على المعدات من التأكل والبري. وتساهم في تقليل درجات حرارة التشغيل في تلك المعدات.

6 – 2 – 1 – 1 أنواع زيوت التزييت

تقسم زيوت التزييت الى نوعين :-

1. زيوت المحركات ؛ وهي نوعان :
   أ- زيوت محركات الديزل
   ب- زيوت محركات الكازولين

2. زيوت التزييت المستخدمة في المجالات الصناعية المختلفة، مثل زيوت تزييت الطواحين والآت الحفر والنظم الهيدروليكية والتروس بأنواعها وقوالب صب الحديد، وأخرى .

6 – 2 – 1 – 2 وظائف زيت التزييت

زيوت التزييت يجب أن تؤمن الوظائف التالية :

1. تقليل قوى الاحتكاك بين السطوح المتلامسة المتحركة.
2. منع أو تخفيض التآكل الميكانيكي للسطوح المتحركة (خدش، حثاً).
3. امتصاص الحرارة التي تظهر نتيجة الاحتكاك و تبريد قطع الأجهزة.
4. حماية المعدن من الأثر التآكلي للوسط المحيط.
5. إحكام سدّ الشقوق أو الفراغات بين القطع المتزاوجة.
6. تنظيف السطوح المعدنية المتحركة من الأوساخ المترسبة الناتجة عن الاحتكاك.
7. امتصاص الصدمات الناتجة عن ظروف العمل.
8. العزل الكهربائي.
9. نقل القدرة و تزييت القطع المتحركة.

و لكن بغض النظر عن ظروف عمل الزيت فإنه يجب أن يتمتع بما يلي :

1. أن يؤدي وظيفته في مجال واسع من الحرارة .
2. أن يحافظ الزيت على خصائصه عند الاستخدام .
3. ألا يؤثر على السطوح الملامسة له.
4. أن لا يسبب تلوثاً للوسط المحيط.
5. أن يكون اقتصادياً .
6. أن يكون مقاوماً للرغوة.

6 – 2 – 1 – 3 تركيب زيوت التزييت

تتكون زيوت التزييت من جزأين أساسيين هما :

اولا - الزيت الأساس (Base Oil): وهو الذي يشكل الجزء الأكبر من الزيت حيث يشكل ما يقارب 90% من الزيت النهائي وهو على نوعين :

1. الزيت المعدني (Mineral Oil) : وهو الزيت المنتج من عمليات تكرير النفط الخام.
2. الزيت المخلق (Synthetic Oil): وهو الزيت المصنع كيمياوياً ويكون عادة ذو مواصفات عالية الجودة ويتحمل ظروف عمل قاسية.

تستخلص هذه الزيوت من مخلفات التقطير الجوي بعد اعادة تقطيره تحت ضغط منخفض.

ثانيا - المضافات (Additives): وهي مواد كيمياوية تضاف الى الزيوت الأساس بنسب مختلفة بغية أنتاج زيت نهائي ذي مواصفات جودة عالية حيث تختلف نسب الأضافة بأختلاف نوع الزيت ومتطلبات استخدامه.

6-2-2 وحدة التقطير الفراغي (Vacuum Distillation Unit)

تستخدم طريقة التقطير تحت الضغط الفراغي لتجزئة زيت الوقود الثقيل أو ما يعرف بالنفط الخام المختزل (Reduced Crude , RC)، الناتج من عمليات التقطير تحت الضغط الجوي (Atmospheric Distillation)، الى أسفلت ومقطرات شمعية، تستخدم أساسا في انتاج زيوت التزييت والشحوم .

6 – 2 – 2 – 1 مبدأ عمل الوحدة

التقطير تحت الضغط الفراغي يتيح خفض درجة الحرارة اللازمة لتبخير أكبر جزء من زيت الوقود الثقيل للحصول على الأسفلت، وذلك لأن درجة الحرارة التي يغلي عندها السائل ترتبط بالضغط الواقع عليه. اذ يمكن تخفيض درجة غليان السائل بتخفيض الضغط المسلط عليه. والغرض الأساسي من هذه العملية هو لتفادي عملية التكسير للمركبات الهيدروكاربونية لو تم التقطير تحت الضغط الجوي . اذ ان رفع درجة حرارة زيت الوقود الثقيل الى الدرجات الحرارية العالية التي يتطلبها تقطيره تحت الضغط الجوي الاعتيادي سيؤدي ليس فقط الى تبخيره بل الى تكسيره الى مكونات لها خواص مختلفة تماما عن المنتج المطلوب. فمثلا المركب الهيدروكاربوني $C_{20}H_{42}$ يغلي عند 325 ^{o}C في الظروف الجوية الأعتيادية بينما تنخفض درجة غليانه الى 170 ^{o}C عند انخفاض الضغط المسلط عليه الى $38kN/m^2$.

6 – 2 – 2 – 2 المادة المغذية

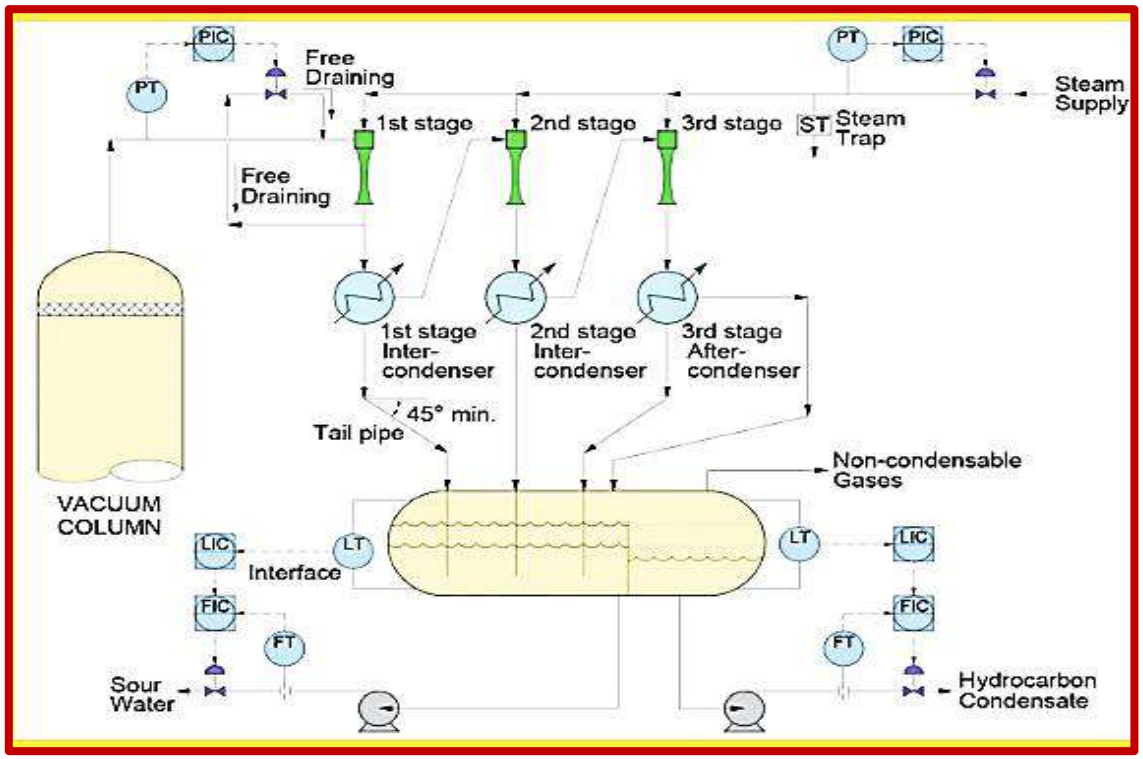
كما تمت الأشارة مسبقآ ، فأن المادة المغذية لوحدة التقطير الفراغي هي النفط الخام المختزل (RC) والذي درجة غليانه (350 – 540 ^{o}C) تحت الضغط الجوي الأعتيادي .

6 – 2 – 2 – 3 وصف العملية

1- تضخ مادة التغذية (Feed) من الخزانات وتمرر في مبادلات حرارية (Heat Exchangers) لرفع درجة حرارتها الى حوالي (175-205 ^{o}C) ومن ثم تدخل الى الفرن (Furnace) حيث ترفع درجة حرارتها الى حوالي (350-360^{o}C) وتكون المادة الخارجة من الفرن عبارة عن مزيج من السوائل الثقيلة والأبخرة. يتم تحديد درجة حرارة مادة التغذية الخارجة من الفرن أعتمادآ على طبيعة النفط الخام (ميله الى التفحم، Cooking) والمستوى المطلوب لعملية الفصل.

2 - يتم التقطير تحت ضغوط تتراوح بين (10-30 mmHg) في قعر البرج. ونتيجة لذلك تقل درجة غليان النفط الخام المختزل الى (160-325^{o}C) . في هذه الطريقة تستخدم مضخات التفريغ (Vacuum Pumps) أو شافطات خاصة تستعمل بخار الماء (Steam Ejectors) لسحب الغازات والأبخرة من أعلى البرج والحصول على ضغط فراغي، كما في الشكل (6-2) .

3 - تعتمد درجة الحرارة والضغط داخل البرج على طبيعة النفط الخام وكذلك على نوع عملية التقطير حيث تستخدم ضغوط أوطأ ودرجات حرارة أعلى في حالة الأبراج الجافة مقارنة بالتقطير بوجود بخار الماء .



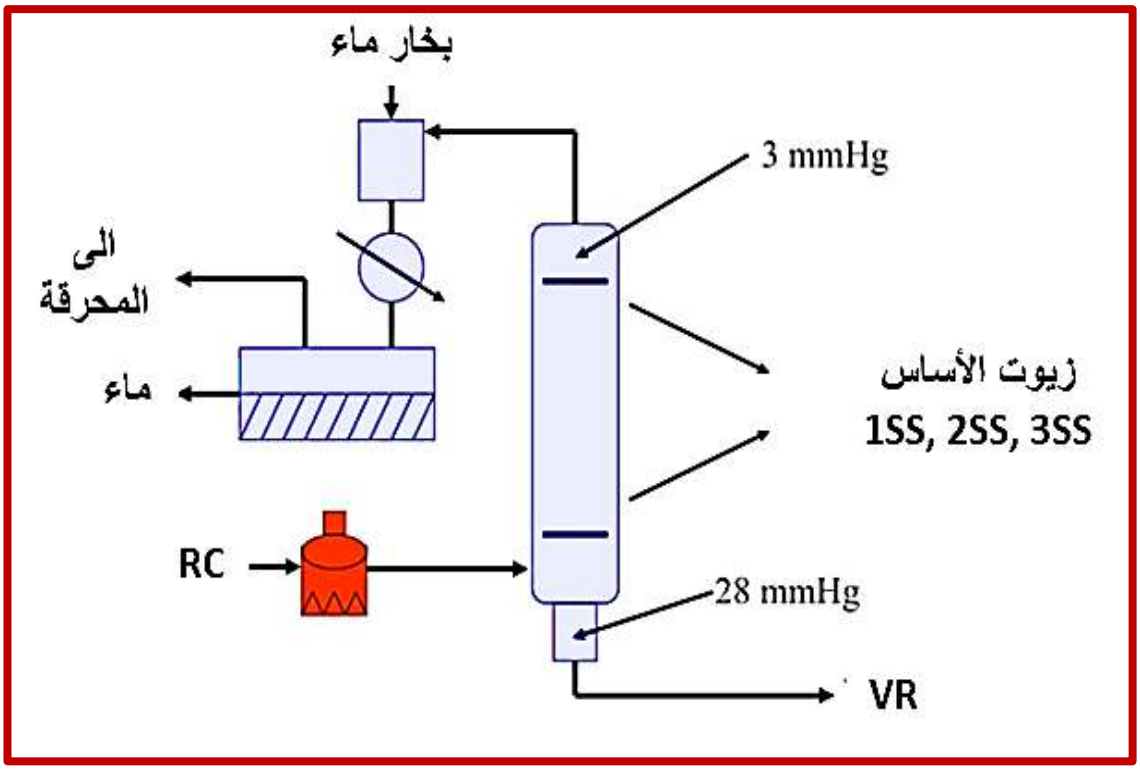
شكل (6-2) شافطات توليد الضغط الفراغي

4 - تدخل المادة المغذية في منطقة التبخير (Flash zone) من البرج [نوع الصواني الفقاعية (Bubble-cup) او الصمامية (Valve tray)] . تستخدم مضخات لرفع الزيت خلال الفرن الى برج التقطير، أذ ان التفريغ يحول دون سحب الزيت بالتدفق الطبيعي.

5 - تخرج الأجزاء ذات الكثافة المنخفضة من أعلى البرج على شكل بخار مختلط ببخار الماء ، ليمر على مكثف يكثفهما معًا ويفصل الماء عن البخار في وعاء الفصل. ويرسل الماء الى وحدات المعالجة اما الأبخرة فترسل الى المحرقة.

6 - تسحب السوائل من برج التقطير على أبعاد مختلفة، ويمرر كل سائل الى برج النزع (Stripper)، لفصل المواد الخفيفة بالاستعانة ببخار الماء وإعادتها إلى البرج. أما الباقي فيبرد على حدة، وهو أساسًا زيت الغاز الفراغي (VGO) وزيوت الأساس (1SS, 2SS, 3SS) التي تعتبر المادة الخام لصناعة زيوت التزييت والشحومات. أما مخلفات التقطير التي هي عبارة عن مواد أسفلتية ثقيلة فتفصل من أسفل البرج وترسل الى وحدات ازالة الأسفلت.

7 - في عملية التقطير تحت الضغط المنخفض، يمكن الاحتفاظ بالتوزيع الصحيح للحرارة بضبط درجة حرارة النفط الخام المختزل الداخل، كذلك بضبط كميات زيت الغاز الفراغي الراجع الذي تعيده المضخات من برج االنزع إلى برج التقطير، أي يتم تسخين برج التقطير من أسفل إلى أعلى بواسطة النفط الخام المختزل، ويتم تبريده من أعلى إلى أسفل بتأثير الزيت الراجع الذي يسيل من صينية إلى أخرى، الشكل (6-3) يمثل نموذجا مبسطا لبرج التقطير الفراغي.



شكل (6-3) برج التقطير الفراغي

6 – 2 – 2 – 4 أقسام برج التقطير الفراغي

1. قسم النزع (Stripping Section): وهو القسم السفلي من البرج وفيه يتم نزع المواد الخفيفة المتخلفة من مخلفات التقطير الفراغي بواسطة بخار الماء المحمص ذو ضغط واطئ .
2. قسم التجزئة (Rectifying Section): وهو القسم العلوي من البرج وفيه تتم عملية التبخير وتكثيف الأبخرة الصاعدة من منطقة التبخير .
3. منطقة التبخير (Flash Zone): وهي منطقة دخول النفط الخام المختزل وفيها يتم عزل الأبخرة (التي ترتفع الى القسم العلوي) من السوائل الثقيلة (التي تنزل الى القسم السفلي) تكون درجة الحرارة فيها حوالي 360 ^{o}C .

6 – 2 – 2 – 5 نواتج التقطير الفراغي

اولا - المقطرات الشمعية (Waxy Distillates)

توجد في القطفة التي تغلي من (350 – 500 ^{o}C) ، ويمكن تقسيمها الى زيوت خفيفة تغلي في المدى (350-400 ^{o}C)، وزيوت متوسطة تغلي بين (400-450 ^{o}C) وزيوت ثقيلة تغلي بين (450-500 ^{o}C) .

هذه القطفات تحتوي على خليط من الزيوت والشموع والأسفلت، وتختلف نسب هذه المركبات في زيوت التزييت حسب نوع الخام النفطي. فالخام ذو الأساس البرافيني غالبا لا يحتوي على الأسفلت، والخام ذو الأساس الأسفلتي لا يحتوي على الشموع . والبرافينات في زيوت التزييت تصل عدد ذرات

الكاربون فيها الى حتى 42 ذرة كربون. والنافثينات ذات حلقات رباعية وخماسية، أما العطريات فتكون وحيدة الحلقة حتى ثلاث حلقات ، وفيها سلاسل جانبية قصيرة. وتوجد المركبات الكبريتية ذات الوزن الجزيئي العالي في زيوت التزييت اضافة الى وجود مشتقات الأحماض الكاربوكسيلية.

ثانيا - الأسفلت (Bitumen)

وهو المتبقي من عملية التقطير الفراغي في الخامات ذات الأساس الأسفلتي أو ذات الأساس المختلط .

الجدول (6-1) يوضح مواصفات نواتج برج التقطير الفراغي

جدول (6-1) مواصفات وإنتاجية نواتج برج التقطير الفراغي					
	RC	1SS	2SS	3SS	VR
الوزن النوعي	0.95	0.89	0.9	0.92	1.02
درجة اللزوجة SUV	108	40-39	44-47	62-64	450
درجة الأنسكاب ، ^{o}C		21	33	37	40
درجة الوميض ، ^{o}C		196	220	250	320
الأنتاجية %		8%	15%	21%	44%

6 – 2 – 2 – 6 العوامل المؤثرة على عمل الوحدة

1. **درجة حرارة مادة التغذية**

تكون درجة حرارة مادة التغذية الخارجة من الفرن بحدود 370 ^{o}C وأن أي زيادة لهذه الدرجة يسبب تفحم المادة المغذية (cooking) وترسبها على الجدران الداخلية لأنابيب الفرن وكذلك حصول ترسبات في قاع برج التقطير، وهذه الترسبات تسبب ما يسمى بالبقع الحمراء الساخنة (red hot spots) التي تقلل من كفاءة التبادل الحراري كونها عبارة عن كاربون مترسب (رديء التوصيل للحرارة) والذي يسبب بقاءه فترة طويلة الى حدوث حريق في الأفران .

2. **الضغط داخل البرج**

ان انخفاض الضغط داخل البرج يؤدي الى انخفاض درجة الغليان الأبتدائية للمادة الناتجة وبالتالي زيادة اللزوجة .

3. **درجة حرارة أعلى البرج**

يتم التحكم بدرجة حرارة أعلى البرج عن طريق التحكم بكمية الراجع (Reflux) . أن زيادة درجة حرارة أعلى البرج يسبب زيادة في درجات حرارة الغازات الخارجة من الاعلى وبالتالي نقصان كفاءة المكثف (Condenser) مما يؤدي الى خروج بخار الماء مع الغازات الخارجة وبالتالي تقل معدلات التآكل، وعلى العكس من ذلك اذا كانت كفاءة المكثف عالية، فان الماء المتكثف سوف يساعد على حدوث التآكل بدرجة اكبر، مما يتطلب استخدام مواد مقاومة للتآكل في تصنيع الأجزاء العلوية من البرج .

3-2-6 التنقية الانتقائية (Selective Refining)

أن المقطرات الشمعية الناتجة من برج التقطير الفراغي التي يمكن الحصول عليها من مستويات مختلفة من البرج، يمكن معالجتها لإنتاج زيوت التزييت. وكذلك بالنسبة للمتبقي في قاع البرج، فهذه المقطرات الشمعية تشكل المواد الأولية اللازمة لإنتاج زيوت التزييت الخفيفة والمتوسطة والثقيلة، كما يعد المتبقي في قاع البرج المادة الأولية اللازمة لإنتاج الزيوت المتبقية (Bright Stocks)، ومن الضروري ان تكون هذه الزيوت على درجة عالية من النقاء، وان يتوفر فيها المواصفات القياسية العالمية نظرا لدورها المهم في كافة الاستخدامات. ولتحقيق ذلك، يلزم معالجة المقطرات الشمعية والزيوت المتبقية ، باستخدام مذيبات أنتقائية (Selective Solvents)، لاستخلاص الشوائب منها في عمليات تسمى بعمليات التنقية الأنتقائية .

6 – 2 – 3 – 1 المذيبات الانتقائية

تستخدم المذيبات الانتقائية لفصل الأسفلتينات والراتنجات من مخلف التقطير الفراغي (عملية ازالة الأسفلت) ولتنقية الزيوت الخام من الهيدروكاربونات الأروماتية والنفثينية ذات معامل اللزوجة الواطئ (عملية التنقية الأنتقائية) ولفصل الهيدروكاربونات البارافينية الصلبة عند درجات الحرارة الاعتيادية (عملية ازالة الشمع).

الشروط الواجب توافرها في المذيبات

1. الانتقائية الجيدة أي قدرتها على فصل المنتج الخاضع للتنقية الى المركبات المطلوبة.
2. القدرة الكافية على اذابة مركبات الزيت غير المرغوب فيها التي توفر استخلاصا أكثر كما ان لهذه المركبات مع استخدام نسبة صغيرة من المذيب الى الخام في عملية الاستخلاص.
3. الاختلاف في الخواص الكيميائية الفيزيائية بين المذيب والزيت (درجة الغليان والكثافة) الذي يسمح باسترجاع المذيب استرجاعا جيدا.
4. الثباتية ضد الحرارة والأكسدة.
5. أقل سمية ممكنة.

المذيبات المستخدمة في عمليات الاستخلاص لإنتاج زيوت التزييت :

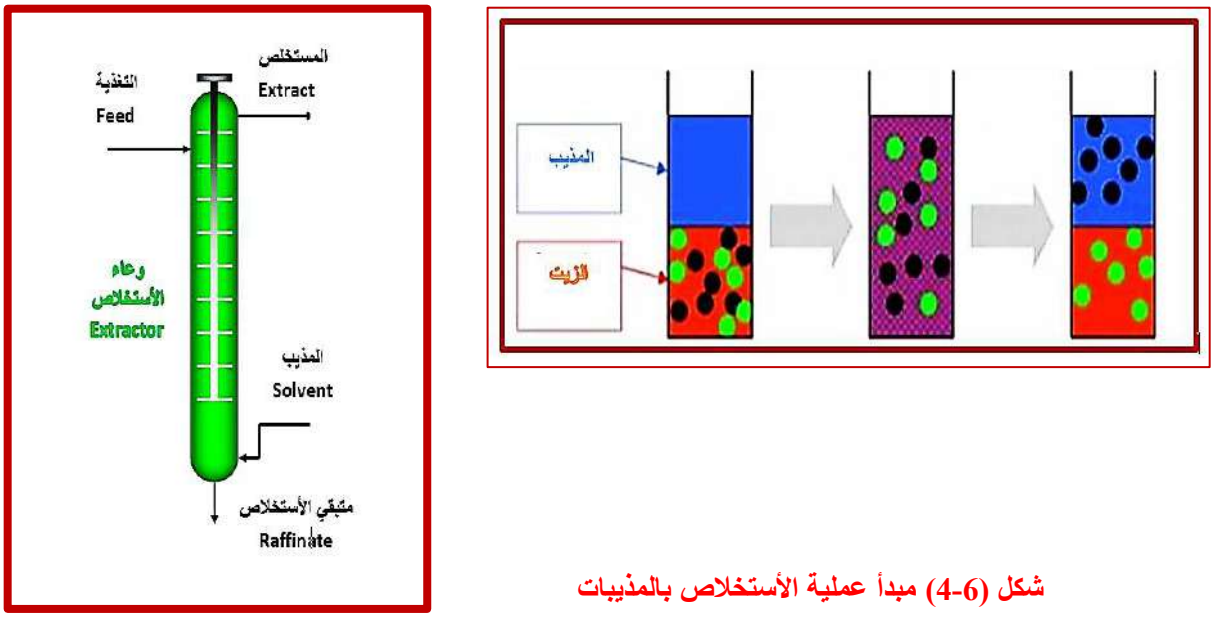
أولا - يستخدم سائل البروبان لإزالة المواد الأسفلتية من المتبقي الثقيل الناتج من برج التقطير الفراغي (Vacuum Residue).

ثانيا - يستخدم الفينول والفورفورال ومخلوط الفينول والكريزول والبروبان وكذلك النيترو – بنزول لتنقية الزيوت من المركبات ذات معامل اللزوجة المنخفض.

ثالثا - تستخدم الكيتونات (المثيل اثيل كيتون والأسيتون) وثنائي كلورو ايثان مع اضافة البنزول والتولوين كمذيبات لتخليص الزيوت من الشموع العالقة فيها.

6 – 2 – 3 – 2 مبدأ عملية الاستخلاص

يتلخص استخدام المذيبات الانتقائية لتنقية الزيوت في استخدام الذوبانية المختلفة للهيدروكاربونات في المذيبات المنفردة . ويجب ان يستخلص المذيب المستخدم المركبات غير المرغوب فيها من هذه الزيوت دون المساس بالمركبات المفيدة مكونا طورين أثناء عملية التنقية ، شكل (6-4) وهما :



شكل (6-4) مبدأ عملية الأستخلاص بالمذيبات

1- متبقي الاستخلاص (Raffinate): يطلق على الطور المحتوي على مركبات الزيت المفيدة.

2- المستخلص (Extract): يطلق على الطور المحتوي على الشوائب غير المرغوب فيها.

6-2-4 وحدة ازالة الأسفلت بالبروبان (Propane Deasphalting Unit)

تهدف وحدة إزالة الأسفلت بالبروبان (PDA) الى الحصول على زيت خالٍ من الأسفلت (De-asphalted Oil , DAO) أو ما يسمى بالزيوت الثقيلة (Bright Stock). والمادة المغذية لوحدة PDA هي مخلفات التقطير الفراغي (VR) التي تزيد درجة غليانها عن 1000 ^{o}C وتمتاز بكثافة ووزن جزيئي عاليين فضلاً عن احتوائها على نسبة عالية من المواد الاسفلتية والمركبات المعدنية ونسب قليلة من المركبات البرافينية.

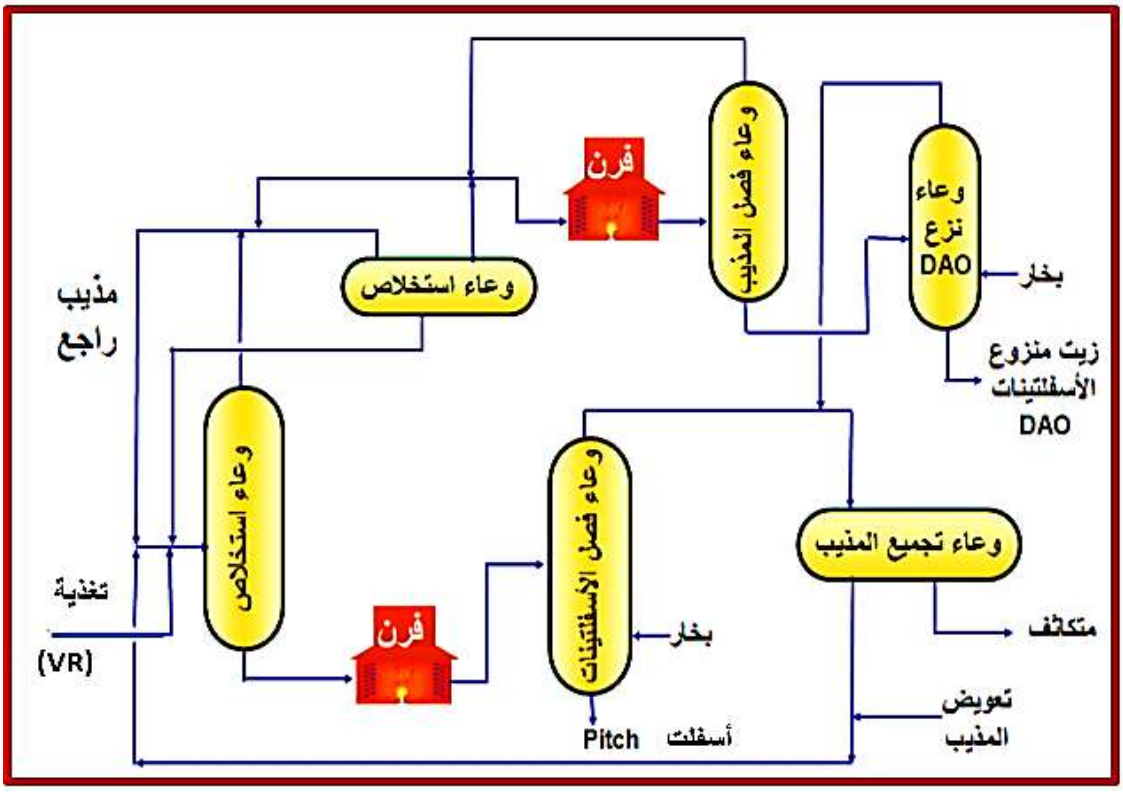
تعتبر عملية ازالة الأسفلت عند انتاج الزيوت عملية أولية تتبعها عمليات التنقية الأنتقائية ونزع الشموع وغيرها. وبدون استخدام عملية ازالة الأسفلت لا تعطي عملية تنقية المنتجات النفطية المحتوية على نسبة عالية من الراتنجات بالمذيبات التأثير المطلوب. ويصعب علاوة على ذلك اجراء عملية التنقية نظرا لسوء فصل طور المستخلص وطور متبقي الاستخلاص.

6 – 2 – 4 -1 مبدأ عمل الوحدة

يعتمد مبدأ عملية ازالة الأسفلتينات بالمذيب على ترسيب الأجزاء الأثقل من النفط (الأسفلتينات وجزء كبير من الراتنجات) باستخدام مذيب بارافيني يقوم بدور كسر الروابط بين هذه الأجزاء ودفعها إلى الترسيب، حاملة معها الشوائب الأخرى كالمركبات الكبريتية والنتروجينية والمعادن. أما المقطر الخفيف الناتج (DAO) فيحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين، والمركبات المشبعة، والنافثينات، والهيدروكربونات العطرية، مع نسبة منخفضة جداً من المعادن والكبريت والنتروجين. يستخدم سائل البروبان كمذيب في هذه الوحدة، اذ أن المركبات الأسفلتية لاتذوب في سائل البروبان وتختلف عن البرافينات والنفثينات القابلة للذوبان والأستخلاص بسائل البروبان. وبناء على ماتقدم فأن نواتج وحدة ازالة الأسفلت بالبروبان هي الزيوت المتبقية (Bright Stock) وأسفلت الأساس (Base Asphalt).

6 – 2 – 4 – 2 وصف العملية

في وحدة أستخلاص الأسفلت بالبروبان، وكما موضح في الشكل (6-5)، يعامل المتبقي الثقيل الخارج من أسفل برج التقطير الفراغي مع سائل البروبان تحت ظروف عالية من الضغط. وتذوب عند ذلك الهيدروكاربونات الزيتية وجزء من الراتنجات في البروبان ويترسب الجزء الأساسي من المواد الراتنجية والأسفلتية. وعلى هذا النحو وبتأثير فرق الكثافة، يتكون في البرج تياران: تيار صاعد عبارة عن محلول الهيدروكاربونات الزيتية في البروبان وتيار هابط من المواد الإسفلتية الراتنجية الذي يحتوي أيضا على البروبان.



شكل (6-5) المخطط الانسيابي لوحدة استخلاص الأسفلت بالبروبان (PDA)

تتم استعادة البروبان بواسطة تقليل الضغط في أعمدة الفصل وازالة بقايا البروبان من الزيت في أبراج النزع ببخار الماء (Steam Strippers)، ومن ثم يجمع البروبان المستعاد في خزان البروبان الرئيسي بغية استعماله مرة ثانية في عملية الأستخلاص.

تعتمد فاعلية عملية نزع الأسفلت على المتغيرات التالية :

1. النسبة بين المذيب والخام: يتم اختيار النسبة بين المذيب وكل نوع من الزيوت اختباريا. وتتراوح هذه النسبة بين 4:1 الى 8:1 ، وتؤدي زيادة النسبة بين البروبان والخام عن النسبة المثلى المحددة الى زيادة حصيلة ناتج نزع الأسفلت نتيجة للذوبان الإضافي للمركبات ذات الوزن الجزيئي العالي في البروبان مما يسبب انخفاض نوعية ناتج الأسفلت. ويرتبط تقليل هذه النسبة بفصل رديء لمحاليل ناتج نزع الأسفلت والأسفلتينات.
2. درجة الحرارة والتدرج الحراري: تجري عملية نزع الأسفلت عادة عند (75-80 ^{o}C) في أعلى برج الاستخلاص بالنسبة للمتبقيات الراتنجية الناتجة من أنواع البترول البارافينية و (50-55 ^{o}C) بالنسبة لأنواع البترول غير البرافينية. درجة حرارة اسفل برج الاستخلاص (55-60 ^{o}C) في الحالة الأولى و 45 ^{o}C في الحالة الثانية. ويؤدي رفع درجة الحرارة أعلى من الدرجة المطلوبة الى خفض ذوبانية الراتنجات في البروبان فتتحسن نوعية المنتج المنقى وفي نفس الوقت تنخفض حصيلته . ويحافظ على تدرج درجات حرارة الاستخلاص (الفرق بين درجتي حرارة الجزء العلوي والسفلي لبرج الأستخلاص) في حدود (15-25 ^{o}C).
3. نوعية المذيب : يجب ان لا تقل درجة نقاوة البروبان المستخدم في عملية نزع الأسفلت عن (94-95%) ويسمح بوجود البيوتان في حدود 2% لكل منهما. يمكن أستخدام مذيبات أخرى مثل البيوتان أو البنتان وهذه تسبب زيادة في كمية الزيت المستخلص لكنه يؤدي الى زيادة نسبة الشوائب كالكبريت والفناديوم والنيكل في الزيت الناتج .

6-2-5 وحدة الأستخلاص بالفورفرال (Furfural Extraction Unit)

تهدف وحدة الأستخلاص بالفورفورال الى فصل المركبات العطرية وبعض المركبات النفثينية والمركبات غير المشبعة وغير المستقرة التي تعتبر من المركبات غير المرغوب فيها لأفتقارها لخواص التزييت الجيدة وقابليتها العالية للأكسدة .

6 – 2 – 5 – 1 المادة المغذية

- المقطرات الشمعية الناتجة من وحدة التقطير الفراغي .
- الزيت الخالي من الأسفلت (DAO) الناتج من وحدة فصل الأسفلت

6 – 2 – 5 – 2 المذيب

يمكن استعمال أنواع مختلفة من المذيبات مثل الفورفورال ، الفينول ، مثيل بيروليدون الأعتيادي (NMP) :

1- الفورفورال : يتمتع الفورفورال بقدرة أنتقائية عالية ودرجة غليانه تختلف بشدة عن الزيوت الخاضعة للتنقية. ويمكن اجراء عملية الأستخلاص بالفورفورال عند درجات حرارة مرتفعة توفر خلطا جيدا للمذيب مع القطفات. ولا يفقد الفورفورال حركيته عند درجات الحرارة المنخفضة. ومن عيوب الفورفورال عدم ثباته أثناء التخزين تحت تأثير درجات الحرارة وكذلك

ذوبانيته العالية في الماء. ومن الضروري فصل الماء من الفورفورال المستخدم في التنقية حيث ان وجود الماء يؤدي الى خفض قدرته على الاذابة بدرجة كبيرة

2- الفينول: يمتاز الفينول كمذيب انتقائي عن الفورفورال بثبات كيميائي كبير مما يؤدي الى فقدان أقل أثناء التنقية . وعيوب الفينول هي سميته ، ونشاطه المسبب للتآكل خاصة في اماكن التكثف، تؤدي الذوبانية المرتفعة بين الماء والفينول الى تكوين المستحلبات مما يؤدي الى تلوث المياه الصناعية في المصافي. وتعمل التنقية بالفينول كالتنقية بالفورفورال الى تنقية القطفات من الهيدروكاربونات الأروماتية غير المرغوب فيها وجزئياً من الراتنجات وكذلك من المركبات الكبريتية.

3- NMP: يمتاز المثيل بيروليدون الأعتيادي بخواص جيدة من ناحية الثباتية ضد الأكسدة والحرارة مما يقلل من فقدانه أثناء عملية التنقية ومن عيوبه ارتفاع تكاليف شراءه .

6– 2 – 5 – 3 وصف العملية

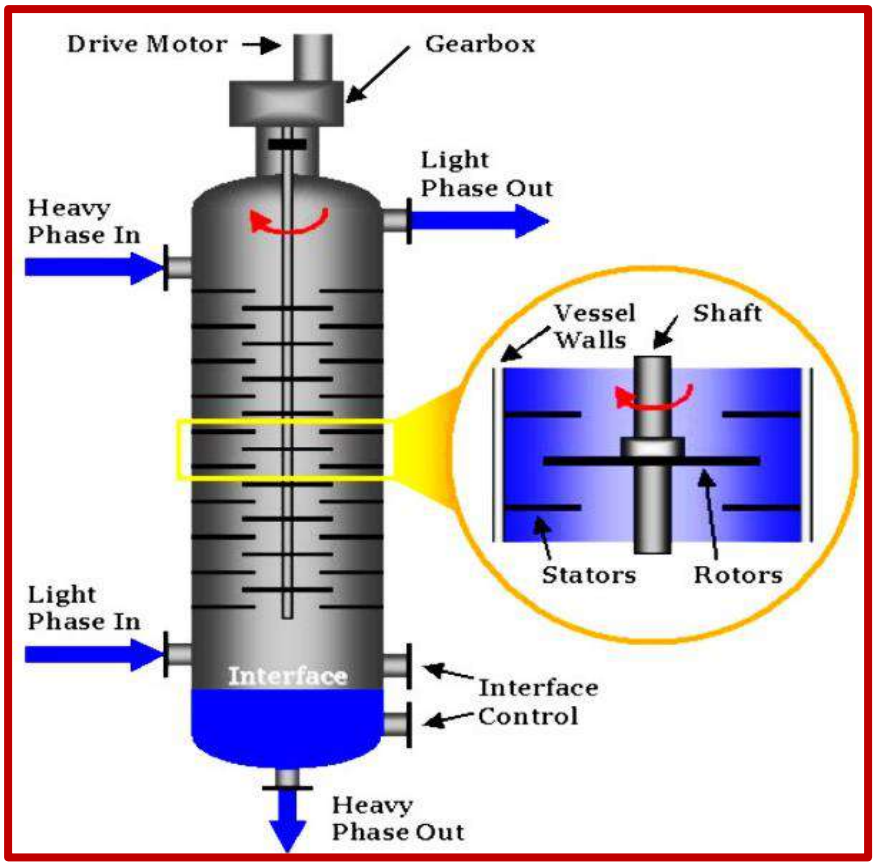
1- يدخل الفورفورال في جهاز الاستخلاص بعد مروره خلال المبادلات الحرارية ويتكون طوران نتيجة للأستخلاص في جهاز تلامس القرص الدوار(Rotating Disc Contactor, RDC)، طور خفيف (متبقي الاستخلاص) وطور ثقيل (المستخلص). ويتجه الطوران بعد ذلك الى عملية أسترجاع المذيب.

2 - يدخل متبقي الاستخلاص (Raffinate) الخارج من الجزء العلوي لجهاز الأستخلاص خلال مبادل حراري وفرن انبوبي ثم الى برج التبخيرلفصل الفورفورال عن الزيت.

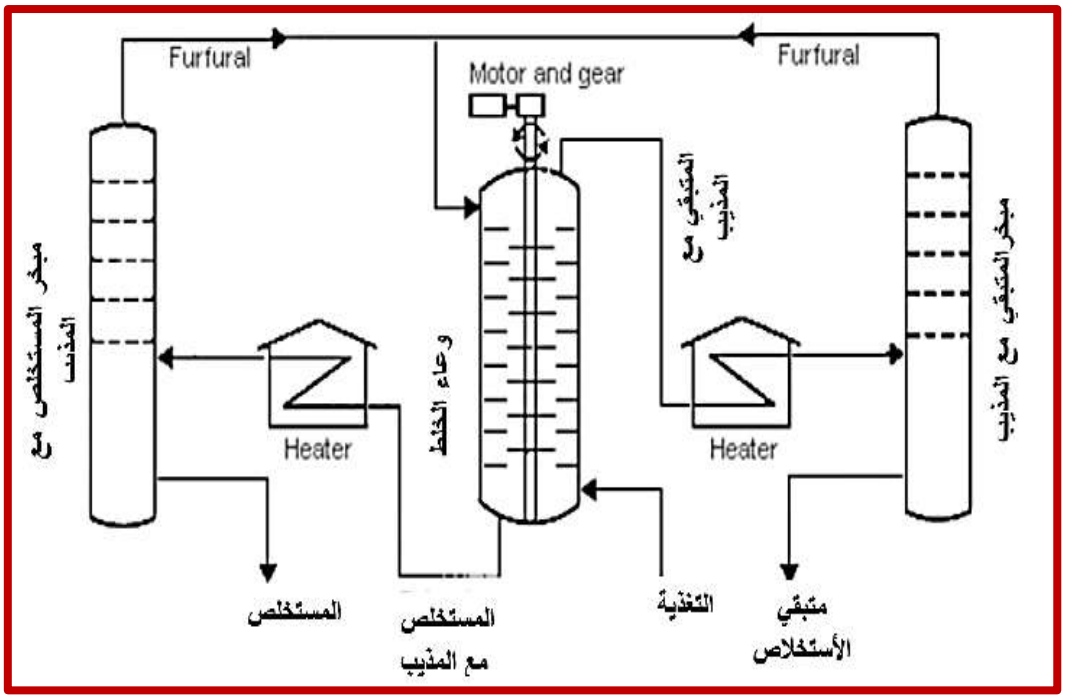
3 - وبطريقة مماثلة يسحب المستخلص (Extract) من اسفل برج الأستخلاص ويمرر خلال مبادلات حرارية الى برج التبخير حيث يسترجع الفورفورال.

4 - لا تختلف اجهزة وحدة الأستخلاص بالفورفورال عن الاجهزة العادية لوحدات التقطير (المبادلات الحرارية والافران والابراج) باستثناء برج الاستخلاص والمسمى جهاز تلامس القرص الدوار (RDC). البرج، وكما موضح في الشكل (6-6)، عبارة عن اسطوانة عمودية يدور داخلها عمود متحرك بواسطة محرك كهربائي موضوع في الجزء العلوي من الجهاز. وتثبت على العمود اقراص تدور معه. وتثبت حواجز حلقية غير متحركة على السطح الداخلي لجهاز التلامس، وتوضع هذه الحواجز بحيث يكون كل قرص في الوسط بين حاجزين. ويؤدي دوران الأقراص الى تكون دفق دوامي للسوائل المخلوطة مما يوفر تلامساً شديداً بينها.

5 - يستخدم الجزء العلوي والجزء السفلي لجهاز التلامس لفصل طوري متبقي الأستخلاص (Raffinate) والمستخلص (Extract) .



يوضح الشكل (6-6) جهاز تلامس القرص الدوار(RDC) .



شكل (6-7) المخطط الأنسيابي لوحدة الأستخلاص بالفورفورال

7 – 2 – 5 – 4 العوامل المؤثرة على عمل الوحدة

1. درجة حرارة المادة المغذية

ان الأنخفاض في درجة حرارة المادة المغذية يؤدي الى زيادة كمية طور متبقي الأستخلاص (Raffinate) وزيادة لزوجته، وذلك لأن انخفاض درجة الحرارة يؤدي الى تقليل أذابة المواد العطرية في المذيب وبالتالي تنخفض مواصفات متبقي الأستخلاص.

2. درجة حرارة أعلى البرج

ان درجة حرارة أعلى البرج هي بحدود (^{o}C 110 -95) وان أرتفاع درجة الحرارة في أعلى البرج يؤدي الى زيادة قابلية ذوبان المواد غير المرغوب فيها في المذيب، مما يؤدي الى تحسين مواصفات متبقي الأستخلاص من حيث أنخفاض اللزوجة ومتبقي الكاربون، ولكن في نفس الوقت يؤدي ذلك الى تقليل حصيلة متبقي الأستخلاص. وتتم السيطرة على درجة الحرارة أعلى البرج من خلال السيطرة على درجة حرارة المذيب.

3. درجة حرارة أسفل البرج

ان خفض درجة حرارة أسفل البرج تؤدي الى زيادة انتاجية متبقي الأستخلاص (Raffinate) وخفض مواصفاته .

4. التدرج الحراري داخل البرج

يمثل التدرج الحراري داخل برج الأستخلاص الفرق في درجات الحرارة بين أسفل وأعلى البرج حيث يجب الحفاظ على تدرج حرارة منتظم داخل البرج لغرض الحصول على نوعية جيدة من المنتجات لأن تغير التدرج الحراري يؤثر سلباً عل كفاءة عملية الأستخلاص .

5. نسبة المذيب الى المادة المغذية

أن نسبة المذيب الى المادة المغذية هي بحدود 2.5:1 وأن زيادة هذه النسبة أي بزيادة كمية المذيب تزداد ذوبانية المركبات غير المرغوب فيها مما يقلل من انتاجية متبقي الأستخلاص ولكن في نفس الوقت تتحسن نوعيته فيكون ذو لزوجة منخفضة وتقل نسبة متبقي الكاربون ويتحسن اللون .

6. سرعة الخلط

إن زيادة سرعة الخباطة يؤدي الى تحسّن المزج والتجانس وبالتالي تحسّن كفاءة الأستخلاص وهذا يؤدي الى خفض انتاجية متبقي الاستخلاص وتحسين نوعيته، ولكن زيادة السرعة عن الحدود المسموح يؤدي حدوث مايعرف بظاهرة الطوفان (Flooding) . وأن الدليل على حصول هذه الظاهرة هو تبدل لون طبقة متبقي الأستخلاص الى اللون الأسود.

6-2-6 وحدة أزالة الشمع (Dewaxing Unit)

تحتوي القطفات الزيتية الناتجة من وحدة الاستخلاص بالفورفورال على هيدروكاربونات صلبة عند درجة حرارة (18-20 ^{o}C)، ويمكن أن تنتمي هذه الهيدروكاربونات حسب بنائها الكيميائي اما الى مجموعة الهيدروكاربونات البرافينية أو الهيدروكاربونات الحلقية ذات السلاسل البرافينية الجانبية الطولية . وتشكل الهيدروكاربونات ($C_{18} - C_{40}$) التي تتراوح درجة غليانها بين (318 – 536 ^{o}C) النسبة الأكبرمن البرافينات العادية الموجودة في قطفات الزيوت النفطية .

وتوجد الى جانب ذلك في القطفات الزيتية الهيدروكاربونات الألكيل –نفثينية والألكيل- أروماتية التي تكون صلبة عند درجة حرارة (18-30 ^{o}C). ووجود الهيدروكاربونات الصلبة يجعل الزيت غير صالح للأستعمال كمادة تزييت بما أن هذه الهيدروكاربونات تتجمد عند خفض درجة الحرارة وتفقد حركيتها كلياً . وعلى هذا يعتبر فصل الهيدروكاربونات الصلبة من القطفات الزيتية عملية هامة للحصول على زيوت ذات محتوى شمعي منخفض (درجة انسكاب واطئة) وشمع ذي محتوى زيتي منخفض. يطلق على عملية فصل الهيدروكاربونات الصلبة من الزيوت أسم عملية ازالة الشمع (Dewaxing) أو وحدات المعاملة ب MEK نسبة الى المذيب المستخدم الذي يتمتع بقابلية عالية على إذابة الزيوت وقابلية منخفضة لإذابة الشموع .

6 – 2 – 6 – 1 المادة المغذية

المادة المغذية لوحدة إزالة الشمع هي الزيوت الناتجة من وحدة الأستخلاص بالفورفورال.

6 – 2 – 6 – 2 المذيب

يستعمل عادة مذيب يتكون من 50% مثيل أثيل كيتون (MEK) و 50% تولوين وفي بعض الأحيان يستخدم البنزول بدل التولوين. أن درجة غليان MEK تبلغ (78-81 ^{o}C) ووزنه النوعي حوالي 0.8 أما درجة غليان التولوين فهي 111 ^{o}C ووزنه النوعي 0.86 . وأن نسبة المذيب الى المادة المغذية حوالي 3/1 وقد تتغير نسبة الى المادة المغذية .

6 – 2 – 6 – 3 النواتج

1. زيت أساس خالٍ من المركبات الشمعية (WFO) ، ذو درجة انسكاب واطئة.
2. شمع صلب (Hard Wax) .
3. شمع رخو(Soft Wax) .

6 – 2 – 6 – 4 وصف العملية

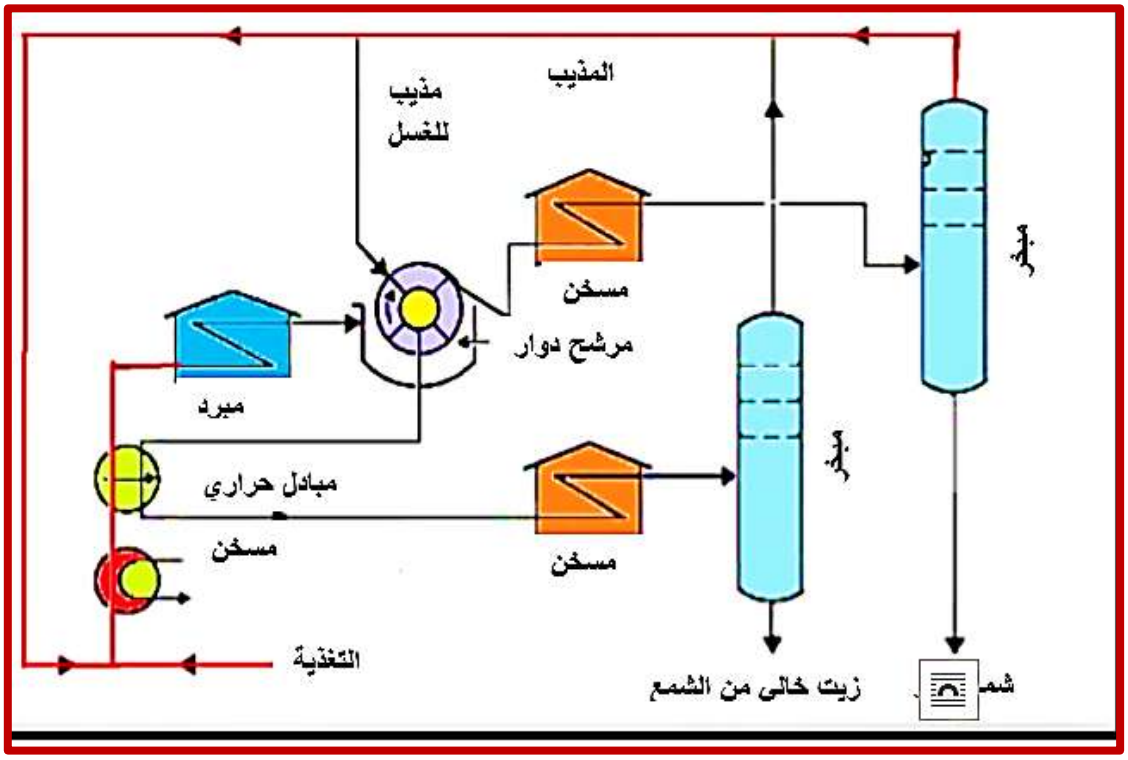
لقد تم تطوير عدد كبير من عمليات الاستخلاص بالمذيب لغرض فصل الشمع عن زيوت التزييت. ولكن جميع هذه الطرق تستند الى ثلاث مراحل أساسية هي :

1. التبلور (Crystallization) : وتشتمل على التخفيف (Dilution) والتبريد (Chilling) لمادة التغذية مع المذيب.
2. الترشيح (Filtration) : فصل الشمع من محلول الزيت الخالي من الشمع والمذيب .
3. استرجاع المذيب (Solvent Recovery): فصل المذيب من راسب الشمع والراشح واعادة تدويره الى العملية باستخدام عمليات التقطير الومضي (Flash Distillation) والنزع ببخار الماء (Steam Stripping).

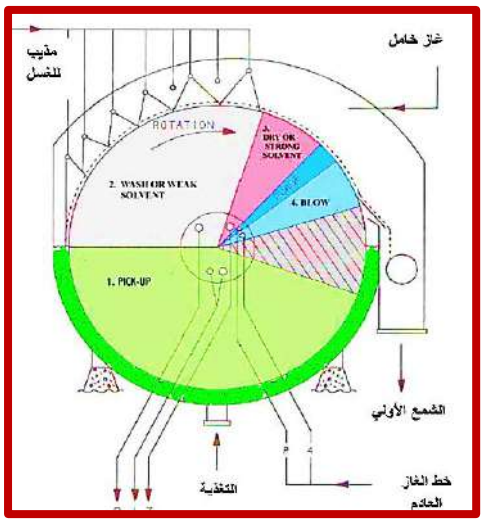
يمثل الشكل (6-8) مخططاً انسيابياً لمراحل عملية ازالة الشمع من مقطرات الزيوت .

يخلط الزيت مع المذيب في أنبوبة خلط على شكل حرف T . ويسخن الخليط في مبادل حراري لتفكيك البلورات الشمعية وجعل الخليط متجانسا ثم يبرد ويتجه الى أجهزة البلورة حيث يبرد بواسطة الراشح الخارج من مرشحات التفريغ .

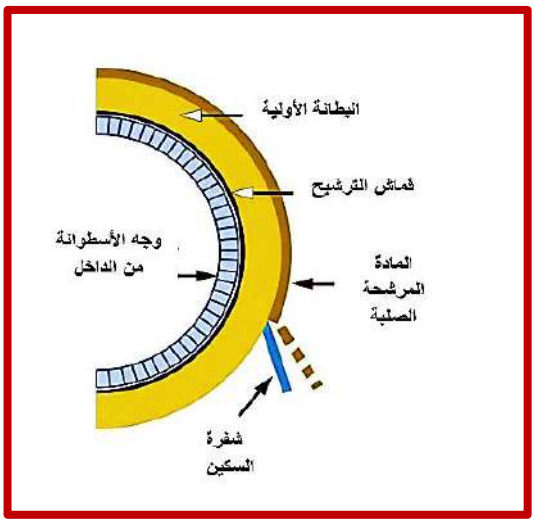
يدخل المزيج الى مبردات (Chiller) حيث تبرد بواسطة البروبان السائل فتتبلور جزيئات الشمع ثم تفصل بواسطة المرشح الدوار (Rotary Filter). المرشح الدوار، كما موضح في الشكل (6-9) عبارة عن أسطوانة دوارة مغطاة بقماش من نوع خاص، ينساب الزيت عبر القماش الى منظومة استخلاص المذيب من الزيت الخالي من الشمع (WFO). يتجمع الشمع على سطح قماش الترشيح، شكل (6-10) حيث يغسل بواسطة المذيب الجاف ثم الغاز الخامل لمساعدة السكين على قشطه وتجميعه ثم يمرر خلال مبادلات حرارية ومنها الى منظومة أستخلاص المذيب .



شكل (6-8) مخطط لعملية ازالة الشمع من مقطرات الزيوت



شكل (6-9) جهاز المرشح الفراغي الدوار



شكل (6-10) مقطع داخلي لأسطوانة المرشح الدوار

6– 2 – 6 – 5 متغيرات العملية

أن أهم متغيرات عملية فصل الشمع عن زيوت التزييت :

1. طبيعة مادة التغذية
2. نوع المذيب
3. طريقة التخفيف بالمذيب
4. طريقة التبريد
5. طريقة الترشيح
6. طريقة استعادة المذيب

أن طريقة السيطرة على هذه المتغيرات يؤثر تأثيرا كبيرا على :

1 - معدل الإنتاج .
2 - حصيلة انتاج الزيت الخالي من الشمع (WFO) .
3 - نقطة الانسكاب للزيت الخالي من الشمع .
4 - محتوى الزيت من الشمع .

6-2-7 وحدة هدرجة الزيت والشمع (Hydrofinishing of Lube oil and Wax)

1. إزالة جميع الشوائب من الزيت أو الشمع وأهمها الكبريت والنتروجين والأوكسجين.
2. إشباع المركبات غير المشبعة وبهذا تتحسن درجة ثباتية الزيت أو الشمع ضد الأكسدة.
3. تحسن اللون والمواصفات التزيتية.
4. تقليل نسبة متبقي الكربون.

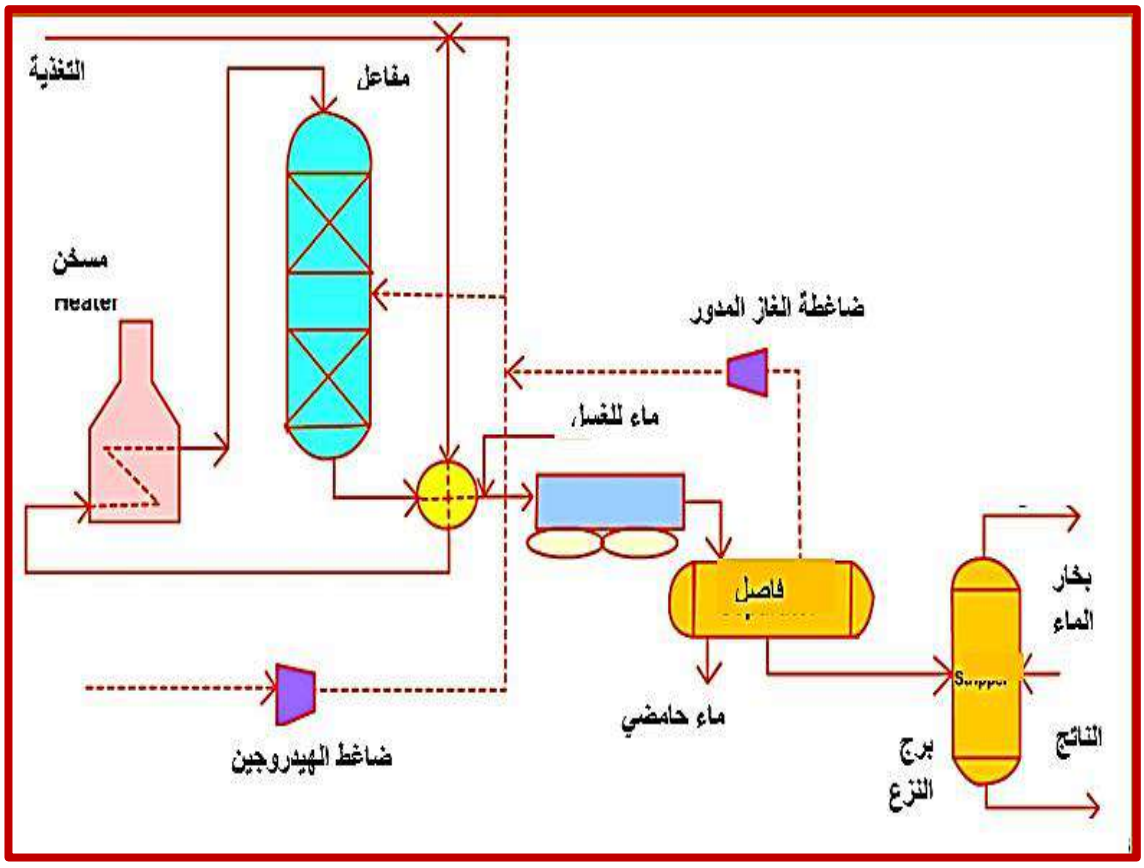
6 – 2 – 7 – 1 المادة المغذية

1. الزيت الخالي من الشمع (WFO) أو الشمع (Wax) .
2. الهيدروجين، يجهز الهيدروجين في المصافي من وحدات تحسين البنزين (Reforming Units) حيث ينتج الهيدروجين كمنتج عرضي .

6 – 2 – 7 – 2 وصف العملية

يمزج الزيت الخالي من الشمع مع الهيدروجين ويمرر الزيت خلال مبادلات حرارية ثم خلال فرن وذلك لرفع درجة الحرارة الى درجة التفاعل المطلوبة ثم يدخل المزيج الى المفاعل (من الأعلى) وبوجود العامل المساعد المناسب يتم التفاعل بين الهيدروجين والمادة المغذية ليخرج المزيج من الأسفل ويدخل الى مجموعة المبادلات ثم للعازلة حيث يفصل الزيت عن الغاز ثم يذهب الزيت الى برج النزع ومن ثم الى المجفف لتحسين درجة الوميض وازالة البخار ومن ثم الى الخزانات أما الغاز فيذهب قسم منه الى منظومة غاز الوقود أما القسم الأخر فيعاد أستعماله مرة أخرى .

الشكل (6-11) يمثل مخططاً انسيابياً مبسطاً لعملية الهدرجة للزيوت أو الشموع .



شكل (6-11) المخطط الانسيابي لوحدة هدرجة الزيت أو الشمع

3-6 وحدات المزج والتعبئة (Blending and Packing Units)

اَن الزيوت النهائية تتألف من جزئين وهما الزيت الأساس والمضافات أو المحسنات والتي تضاف الى زيوت الأساس بغية رفع كفاءتها وجعلها صالحة للاستخدام كما تقدم. تجري هذه العملية في وحدات المزج حيث يتم أنتاج ما يقارب 100 نوع من أنواع الزيوت.

1-3-6 أنواع الزيوت (Types of Lube Oils)

6 – 3 – 1 – 1 أنواع الزيوت حسب نوع المضافات

زيت عادي (Regular) : وهو زيت دون أضافات كفاءته واطئة ومعامل لزوجته واطئ وبتأكسد أثناء التشغيل وغالبا ما يستخدم هذا النوع من الزيوت في المحركات ذات نسب الانضغاط المنخفضة .

زيت خاص (Super) : وهو زيت أساس تضاف له أضافات كيمياوية تمنع التأكسد وتذيب الرواسب الناتجة عن عمليات الأحتراق وتحول دون تكون مواد صمغية أو شمعية .

زيت التشغيل الثقيل (Heavy Duty Oil) : يتم أعداد هذا الزيت باستخدام اضافات خاصة ويستخدم في محركات الديزل ذات القدرة العالية.

6 – 3 – 1 – 2 أنواع الزيوت حسب استخدامها

1. زيوت محركات الاحتراق الداخلي (محركات البنزين، محركات الديزل)
2. الزيوت الصناعية (التوربينات، الضاغطات، مكائن التجميد والتثليج، مضخات الفراغ العالي، المكائن الترددية، صناديق التروس ..... وأخرى)
3. زيوت نقل الحركة (الهيدروليكية)
4. زيوت المحولات الكهربائية
5. زيوت نقل الحرارة
6. زيوت تشغيل المعادن (سوائل القطع، سحب الأسلاك، درفلة المعادن، واخرى)
7. الزيوت التي تستعمل للاستخدامات الطبية ومواد التجميل

أن هذه الاستخدامات الواسعة للزيوت توضح سبب الاختلاف الكبير في المواصفات التي يجب ان تتوفر في النوع المحدد من الزيت، وتعطي صورة واضحة عن تأثير الأنواع المختلفة من المضافات على نوعية الزيت ومجال استخدامه.

2-3-6 المضافات (Additives)

تفرض صناعة المحركات الحديثة شروطاً قاسية بالنسبة لجودة زيوت التزييت، وزيوت الأساس الناتجة عن الخامات النفطية لا تؤمن متطلبات العصر المتزايدة على جودة زيوت التزييت. و بالتالي ولكي يتم تحسين الخواص التشغيلية لزيوت الأساس من الضروري أن يضاف إليها مواد محسنة للأداء يطلق عليها أسم المضافات.

المضافات هي مواد كيميائية تُضاف بنسب معينة بحيث تُحسّن بعض خواص الزيوت التشغيلية أو تمنحها خواص جيدة لم تكن موجودة فيها. المواد المضافة الى زيوت المحركات تزيد من كفاءة المحرك وتساعد على خفض معدل استهلاك الوقود أو أنها تتمتع بتأثير منقي للوقود. وتصنف المضافات:

أولا - حسب وظيفتها.
ثانيا - حسب تركيبها الكيميائي.
ثالثا - حسب آلية التأثير.

لكن أكثر الطرق شيوعاً هو تصنيفها حسب وظيفتها ووفقاً لذلك تصنف الإضافات إلى المجموعات التالية:

1. الإضافات المانعة للأكسدة (Antioxidant Additives)

أحدى أهم خواص زيوت التزييت هي الثباتية ضد الأكسدة في ظروف الحرارة المرتفعة، وأن تغير خواص الزيوت عند الأستخدام يتعلق بشكل أساسي بتركيبها الكيميائي وثباتيتها لتأثير أوكسجين الهواء والحرارة المرتفعة أيضاً وتتعلق بتأثير سطح المعدن ونواتج التفاعل وتصميم المحرك وظروف عمله.

والزيوت النفطية عبارة عن مزيج معقد من البارافينات والنفتينات والعطريات والمركبات الأوكسجينية والكبريتية والنيتروجينية حيث يخضع الزيت عند عمل المحرك لتحولات كيميائية عميقة مثل الأكسدة و البلمرة والألكلة والتفكك. وتستعمل موانع الأكسدة على تكوين طبقة واقية على سطح المحرك وبالتالي تعطيل نشاط المعادن التي تعجل تفاعلات الأكسدة.

2. الأضافات المانعة للتآكل (Corrosion or Rust Inhibiting Additives)

تتعرض الأجزاء المعدنية تحت تأثير العوامل الجوية للتآكل وذلك أثناء الاستخدام والتخزين، وزيوت الأساس لا تكون قادرة على تأمين الحماية للمعدن مدة طويلة من التآكل، لذلك وبغية رفع قدرة الزيت على حماية المعدن من التآكل من الظروف الجوية يتم أضافة الأضافات المانعة للصدأ والإضافات المانعة للتآكل مركبات قطبية، يدخل في تركيبها مشتقات الحوامض الشحمية والأحماض السلفونية والأحماض الفوسفورية. وتعمل هذه المضافات على تكوين طبقة رقيقة متماسكة نتيجة تفاعلها مع السطوح المعدنية وتمنع تماسها مع الماء والهواء وبالتالي تقي المعادن من الصدأ.

3. الإضافات المنظفة و المشتتة (Detergent & Dispersants Additives)

عند درجات الحرارة العالية و نتيجة للتحولات الكيميائية التي تخضع لها الهيدروكربونات (عند تأكسد الزيوت) سوف تتشكل الأحماض والأصماغ والبوليمرات والرواسب الكربونية في الزيت وهذا يؤدي إلى إعاقة عمل المحرك وانخفاض فترة خدمته. ولهذا لا بد من استخدام الأضافات التي تقوم بتشتيت الرواسب في أجزاء المحرك، وتمنع التصاقها بالمعدن وإبقائها على شكل دقائق صغيرة معلقة في الزيت وبالتالي تبقى أجزاء المحرك نظيفة.

4. الإضافات المخفضة لدرجة الانسكاب (Pour Point Depressants)

ان درجة الانسكاب تتأثر بالمحتوى الشمعي للزيت فكلما تم ازالة الشمع بنسبة عالية كلما انخفضت درجة الانسكاب وخلال عمليات تصنيع زيوت التزييت تتم ازالة الشمع في وحدات إزالة الشمع ، الا ان قسما من الشمع يتبقى مع الزيت مما يسبب انجماد الزيت في درجات الحرارة المنخفضة ، نتيجة لتجمع بلورات الشمع مع بعضها وتكوين شبكة بلورية فوق الزيت تعيق حركته ، لذلك تضاف مضافات تعمل على تغليف بلورات الشمع ومنع التصاقها ببعضها وبالتالي منع تكوين الشبكة البلورية التي تعيق حركة الزيت .

5. الإضافات المحسنة لمعامل اللزوجة (Viscosity Modifiers)

من أهم الخصائص المطلوبة في الزيوت الحديثة التي يجب أن تتمتع بها هي أن تؤمن عمل المحرك في مجال حراري واسع من (^{o}C 60 - 40) الى (^{o}C 250 — 200) ولكي يتم تلافي التغيير السريع للزوجة بتغيير درجة الحرارة ورفع قدرة الزيت على الضخ (المحافظة على السيولة) تضاف محسنات اللزوجة.

ترفع هذه الإضافات اللزوجة وتحسن من معامل اللزوجة، وهي عبارة عن مواد بوليمرية تتمتع بوزن جزيئي عالي ولزوجة مرتفعة ومقدرة على زيادة لزوجة الزيوت عند أضافتها بكميات صغيرة، حيث تنتفخ هذه المضافات عند ارتفاع درجة الحرارة لتتغلب على انخفاض لزوجة الزيت.

6. الإضافات المانعة للرغوة (Anti-Foam Agents)

الفقاعات الهوائية المنفصلة من الزيت تُشكل على السطح الداخلي للمحرك أو في نظام التزييت رغوة غزيرة ويؤدي ظهور الرغوة إلى عدة سلبيات :

أولا - إن وجود الفقاعات الهوائية في الطبقة الزيتية يسيء إلى الأجزاء المتحركة .
ثانيا – يزيد من ضياع الزيت .
ثالثا – يسبب خللاً في مستوى الزيت .

7. الإضافات المتعددة الوظائف (Multi-Purpose Additives)

تحسن هذه الإضافات في آن واحد عدة خواص لزيوت التزييت، يدخل في تركيب هذه الإضافات، الكبريت والفوسفور والنيتروجين بالإضافة إلى مجموعات قطبية أخرى.

6 – 4 تصنيع الأسفلت والشحوم والشموع
(Manufacturing of Asphalt, Greases, and Waxes)

6 – 4 – 1 تعاريف (Definitions)

درجة النفاذية (Penetration Point): وهي مقياس للمادة القيرية أو الشمعية أو الشحمية، ويعبر عنها بالمسافة بأعشار المليمتر التي تخترق أبرة قياسية (القير أو الشمع) أو القمع القياسي (للشحوم) عموديا في نموذج لهذه المواد تحت ظروف قياسية : (درجة حرارة : 25 ^{o}C ، زمن : 5 min، وتحميل 100 g) .ويجري هذا الفحص للمواد الصلبة وشبه الصلبة لتعيين مدى صلابتها تحت ظروف معينة.

درجة الليونة (Softening Point): وهي الدرجة الحرارية التي عندها تصل المادة الى حد معين من الليونة تحت ظروف معينة من الأختبار. او هي الدرجة الحرارية التي تتحول عندها المادة من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة. ويتم تعيينها بطريقة الحلقة والكرة.

درجة الانسكاب (Pour Point): وهي أقل درجة حرارة يكون عندها الزيت سائلاً أي قابلاً للجريان ويتم تحديدها بواسطة تبريد نموذج من الزيت عند ظروف معينة.

6 – 4 – 2 الأسفلت (Asphalt)

الأسفلت عبارة عن مادة هيدروكاربونية ذات لون بني غامق أو أسود، ذات لزوجة عالية، وينتج الأسفلت من مخلفات التقطير للنفط الخام. وتتم معالجته بعمليات تكميلية للحصول على المواصفات المطلوبة في مجالات استخدامه . يستخدم الأسفلت في رصف الطرق والمطارات وفي صناعة الأسقف، ولمنع تسرب الماء. كما يستخدم كمادة عازلة ولتقوية أماكن حفظ المياه، ومناطق تخزين المخلفات، وقنوات الري. ويستخدم الأسفلت أيضاً في صناعة الأصباغ والأحبار. كما تستخدم طبقات الأسفلت في حماية خطوط الأنابيب الممدودة تحت الأرض لتحميها من التآكل. والأسفلت من المواد حرارية التلدن أي انها تصبح لينة عند تسخينها ثم تعود الى حالتها الطبيعية بعد التبريد. وهو عازل جيد للماء ولا تؤثر فيه الأحماض والأملاح.

6 – 4 – 2 – 1 تصنيع الأسفلت

يسمى الأسفلت الناتج من وحدة ازالة الأسفلت بالبروبان بالأسفلت الأساس (Base Asphalt) وهو ذو لون أسود، متماسك، ذو لزوجة عالية، صلب في درجات الحرارة الاعتيادية، تعتمد ليونته على كمية الزيوت المزالة في وحدة التقطير الفراغي. وهو يعتبر المادة الأساس لأنتاج الأنواع الأخرى من الأسفلت. ومن أهم أنواع الأسفلت:

أولا - الأسفلت السيال (Liquid Asphalt): وينتج من مزج الأسفلت الأساس مع طبقة المستخلص (Extract) الناتج من وحدة التعامل بالفورفورال أو مع مخلفات التقطير الفراغي (VR) وبنسب معينة لإنتاج عدة أنواع من الأسفلت السيال ذو درجة نفاذية (Penetration Point) مختلفة.
يستعمل هذا النوع بصورة رئيسية لتبليط الطرق بعد مزجه مع مواد أخرى .

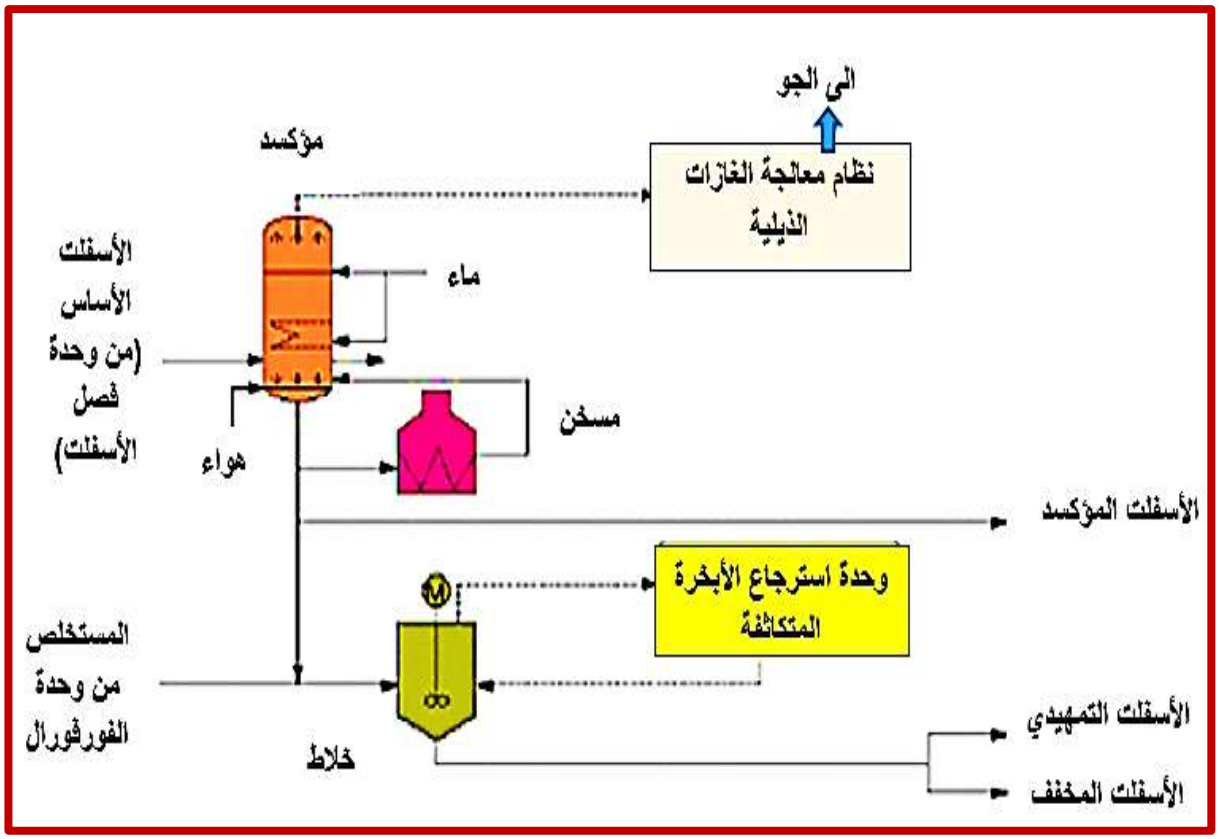
ثانيا - الأسفلت المخفف (Cut Back Asphalt): وهو عبارة عن مزيج من الأسفلت المؤكسد مع مذيبات مخففة اللزوجة كالنفثا والكيروسين وبنسب تتراوح بين (30-50%) حيث يستخدم في أنشاء الطرق لتغطية طبقة الحصى أو الصخر الناعم بشكل كامل ويتطلب ذلك تسخين الأسفلت الى الدرجة التي تجعله سائلا ومن أجل تجنب التسخين الشديد في مواقع العمل مع الحفاظ على الصلابة بعد أكمال العمل يلجأ الى استعمال هذه المذيبات حيث تتبخر المادة المخففة بعد سكب الأسفلت ويعود الأسفلت صلبا وثابتا.

ثالثا - الأسفلت المستحلب (Emulsion Asphalt): يصنع هذا النوع بمزج (50-60%) من الأسفلت المؤكسد مع (30-50%) ماء واضافة مادة تساعد على الاستحلاب (Emulsifying Agent) بنسبة لا تزيد عن 1% . يستعمل هذا النوع في حالة كون الأسفلت المخفف غير محبذ لتأثيراته على البيئة وعدم تداخل المذيب مع الأسفلت فتبقى المادة المذيبة طافية. وعند استخدام الأسفلت في أنشاء الطرق يتبخر الماء ويبقى الأسفلت قويا وصلبا ومتماسكا ولا يحتاج الى التسخين الشديد عند أكساء الطرق.

رابعا - الأسفلت المؤكسد أو الأسفلت المنفوخ (Blown Asphalt): يمتاز هذا النوع من الأسفلت بمقاومة عالية للظروف المناخية والرطوبة والضغوط العالية، فيتمتع بدرجة اختراق واطئة Low) (Penetration Point أضافة الى خواص مطاطية جيدة أي درجة ليونة عالية High) (Softening Point . ينتج هذا النوع من الأسفلت عن طريق نفخ هواء ساخن في مادة الأسفلت الناتجة من وحدة إزالة الأسفلت من متبقي التقطير الفراغي .

خامسا - الأسفلت التمهيدي (Primer): مادة قيرية مخففة بمذيب عضوي ويستخدم كطبقة مانعة للرطوبة.

يمثل الشكل (6-12)، المخطط الانسيابي لعمليات انتاج أنواع مختلفة من الأسفلت منها الأسفلت المؤكسد والأسفلت المخفف والتمهيدي.



شكل (6-12) مخطط انتاج أنواع مختلفة من الأسفلت

6 – 4 – 3 الشحوم (Greases)

تعرف شحوم التزييت بحسب الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) بأنها مواد صلبة أو مائعة (شبه سائلة) ناتجة عن مزج زيت تزييت مع مادة مثخنة (Thickening agent) مع مواد أخرى مضافة (Additives) لتغيير خواص الشحم واستخدامه .

تتكون شحوم التزييت من زيت الأساس النفطي، وهو مزيج من الشحوم الهيدروجينية مرتفعة الوزن الجزيئي ناتجة عن متبقيات التقطير عند الضغط الجوي، يشكل زيت الأساس (70-95%) من وزن الشحم المصنع ويجب ان يكون هذا الزيت المستعمل في صناعة الشحم ذا لزوجة وكثافة معينة، فضلا عن وجود مجموعة من الاضافات تجعله مطابقا للمواصفات مثل المادة المثخنة، وهي مادة تتبعثر في زيت التزييت بشكل غروي لتحوله الى مادة صلبة او شبه سائلة، وتتراوح نسبتها بين (7-30%) من وزن الشحم المصنع. كما يضاف الى الشحم مواد اخرى (كمواد مانعة للأكسدة والتآكل والصدا) بهدف تحسين خواصها وادائها وتقليل الخواص غير المرغوب بها.

ان الغاية من التثخين هو ابقاء مادة التزييت ملتصقة بسطح المعدن المراد تزييته لتقليل الاحتكاك وزيادة كفاءة الأجزاء المتحركة. أن أهم المواد المثخنة هي الصوابين من أنواع مختلفة.

وبصورة عامة يمكن مزج الصوابين مع أي زيت تزييت سواء كان خفيفا ام ثقيلا، وتعتمد خواص الشحم الناتج على نوعية ولزوجة زيت التزييت، وبالإضافة الى زيوت التزييت والصوابين يمكن أضافة مضافات أخرى تجعل الشحوم تكتسب الخواص المرغوب فيها مثل مقاومتها لظروف الاستعمال الشديدة

ولتقليل تأكسد السطوح المعدنية ولمقاومة الشحم ضد نزيف زيت التزييت من جسم الشحم وقد تضاف نسبة من الكرافيت والمايكا والتلك لمساعدة الشحم لمقاومة الصدمات المفاجئة وامتصاصها أو لتحقيق مزايا أخرى مطلوبة.

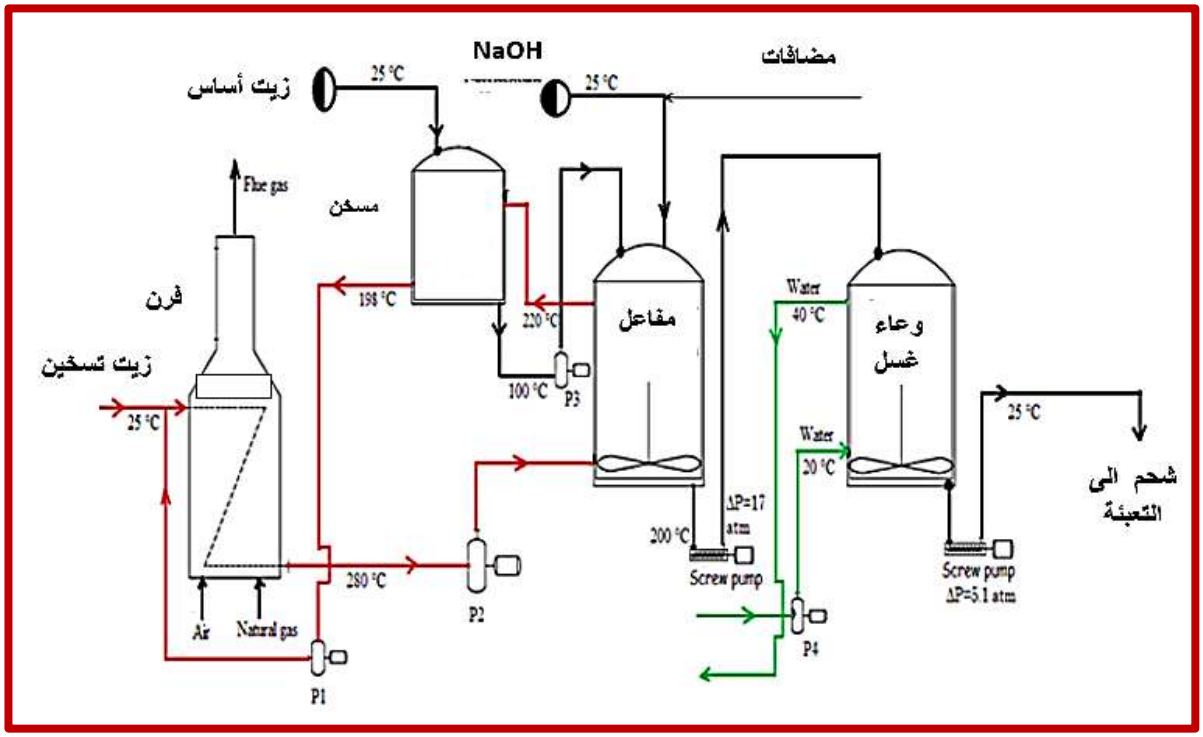
6 – 4 – 3 – 1 تصنيع الشحوم

ان تكنولوجيا انتاج الشحوم على اساس المثخنات الصابونية هي من العمليات المعقدة حيث ان احد عناصر عملية انتاج الشحم في هذه الحالة هي عملية انتاج الصابون التي تتطلب تقديرا دقيقا لكميات المواد وأتباعا تاما لنظام درجات حرارة العملية.

ان عملية صناعة الشحوم هي عملية مزج زيوت التزييت مع الأنواع الملائمة من الصوابين في أوعية خاصة مزودة بخلاطات ميكانيكية خاصة من النوع المروحي أو المجذافي . تحضر المادة الصابونية عادة في نفس وعاء المزج حيث يتم التفاعل كالاتي :

Free Fatty Acid Base Soap Water

يمثل الشكل (6-13) مخططا انسيابيا لعملية تصنيع الشحوم ، ان الأجزاء الأساسية للمخطط هي كما يلي:



شكل (6-13) المخطط الانسيابي لتصنيع الشحوم

1. **وعاء تسخين الزيت الأساس (Base Oil Heating Vessel):** وهو وعاء معزول حراريا يستخدم لتسخين زيت الأساس من درجة حرارة الخزان الى حوالي 100 ^{o}C قبل دخوله الى المفاعل.
2. **المفاعل (Reactor):** وعاء يعمل بضغط عالٍ معزول حراريا حيث يحدث تفاعل الصوبنة ويضاف زيت الأساس والمضافات المحسنة للخواص.
3. **وعاء الغسل (Scrapper):** وعاء معزول حراريا يستخدم لتبريد الشحم المنتج باستخدام الماء البارد أضافة الى انه يوفر مزجاً اضافياً يؤدي الى زيادة تجانس الشحم المنتج.
4. **الفرن (Furnace):** فرن أنبوبي يستخدم الغاز الطبيعي كوقود لتسخين زيت الوقود الثقيل.

6 – 4 – 3 – 2 أنواع الشحوم

تنقسم الشحوم النفطية تبعا للغرض منها الى :

- شحوم مقاومة للاحتكاك تستخدم لتخفيض احتكاك الأجزاء المتحركة
- شحوم احتكاكية تزيد الاحتكاك لمنع الانزلاق.
- شحوم واقية تقي الأجزاء المتحركة من التآكل.
- شحوم مشتتة تحسّن من انسجام أسطح الاحتكاك.

ومن أهم أنواع هذه الشحوم :

شحم الكالسيوم: شحم أساسه الكالسيوم وتحتوي على 3-4 % ماء وهي شحوم خضراء اللون مائلة الى الاصفرار ذات بنية ناعمة وهي شحوم ثابتة بتأثير الرطوبة ويمكن استخدامها في مجموعات الاحتكاك الخاضعة لتأثير الماء. وتستعمل في شاصي السيارات والمضخات المائية (أي في حالة المجالات الرطبة) وفي درجة حرارة أقصاها 60 ^{o}C حيث يحدث انفصال الماء عن الشحم ، ودرجة السقوط لهذا النوع من الشحوم هي (100 ^{o}C).

شحم الليثيوم: وهي شحوم أساسها الليثيوم وذات بنية ناعمة وتستعمل في درجة حرارة أقصاها 120 ^{o}C، وتقاوم الماء وتحتوي على مواد محسنة (مانعة للتأكسد) ويوصى باستخدامها للأغراض المتعددة وكذلك في الحوامل الكروية والأسطوانية وتقاوم درجات الحرارة الواطئة لذا يستعمل في تزييت مكائن الطائرات، درجة السقوط لشحم الليثيوم (190 ^{o}C).

شحم الصوديوم: وهي شحوم أساسها الصوديوم وهي شحوم تذوب في الماء وتكون مستحلبات ثابتة في حالة وجود كميات قليلة من الماء في المنظومة. ولونها أزرق وذات بنية ليفية وتستعمل لتزييت الهيكل والأجزاء الأخرى والحوامل غير الرطبة وكذلك عجلات الحوامل ولا يصلح استعماله في المجالات الرطبة ويحتوي على مواد مانعة للتأكسد ويوصي باستعمالها في درجة حرارة أقصاها (93 ^{o}C) ودرجة السقوط لهذ النوع (150 ^{o}C).

شحم الموليبيديوم: وهي شحوم ذات أساس ليثيومي تضاف اليها مادة محسنة (ثنائي كبريتيد الموليبيديوم، MoS_2) والغرض من أضافة هذه المادة هو لجعل الشحوم ذات طبيعة جيدة لمقاومة الضغط العالي والحرارة العالية والواطئة، وتستعمل في الأجهزة التي هي بتماس مع الماء وبخار الماء

والمحاليل الكيمياوية، وتستخدم أيضا في صناعة النسيج ولها خاصية جيدة ضد التأكل والصدأ، ودرجة السقوط ($190\ ^oC$).

شحم الكرافيت: هي شحوم ذات أساس كالسيوم مضافا اليها نسبة معينة من مادة الكرافيت السوداء، وتستعمل لتشحيم جميع أنواع الحوامل البسيطة المنزلقة (Slide and Plain Bearing) وتحت ضغط قليل، وتستعمل أيضا في حشوات المضخات وكذلك لتشحيم جميع الأجهزة التي هي بتماس مع الماء ودرجة السقوط لها ($100\ ^oC$) .

6 – 5 اعادة تكرير زيوت التزييت المستعملة (Refining of Used Lube oils)

الزيوت المستعملة أو المستهلكة هي الزيوت التي فقدت كامل أو بعض خواصها أثناء التشغيل، حيث تتدنى جودة الزيوت وتتغيّر لزوجتها وتزداد حموضتها، ونسبة الشوائب المعدنية، والماء فيها، ويتمّ تمييزها من خلال تغيّر لونها إلى الداكن وتصبح رائحتها حادة وتكثر فيها الرواسب. الزيوت المستهلكة يجب تغييرها مباشرة، لأنّها لا تغطّي الحاجة من استخدامها، وتزداد معها مظاهر التآكل والشوائب في المحرّكات والماكينات، مما يعيق العمل ويؤثر على الماكينات.

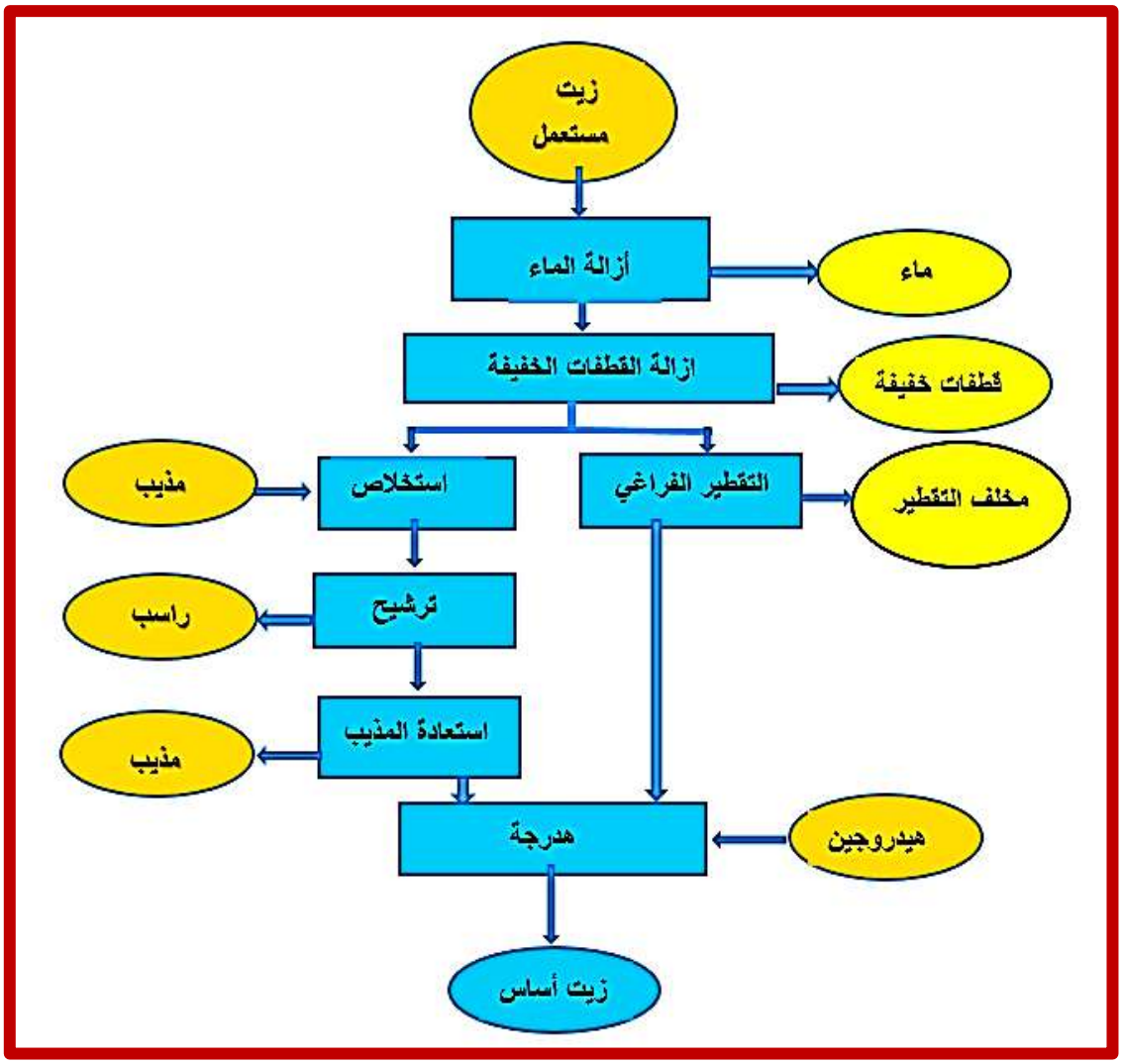
6 – 5 – 1 أهداف عمليات أعادة التكرير للزيوت المستعملة

1. خفض معدل النفايات.
2. منع وصول الزيوت المستهلكة إلى الأرضي الزراعية والمياه الجوفية، ومياه السدود، حيث إن غالوناً واحداً من الزيوت المستهلكة قادر على تلويث مليون غالون ماء.
3. خفض كلفة الإنتاج، لأنّ كلفة المواد المعاد تصنيعها أقلّ من كلفة المواد الجديدة.
4. توفير الطاقة، حيث إنّ الطاقة اللازمة لإنتاج المواد المكرّرة أقلّ.

6 – 5 – 2 مراحل عمليات إعادة التكرير

عمليّة التكرير للزيوت المستعملة تتم في مصانع متخصّصة، تبدأ العمليّة بفحص الزيت لمعرفة صلاحيته لإعادة التكرير، وبعدها يمرّ بالمراحل الموضحة في الشكل (6-14) :

1. الترشيح والتركيد (Filtration and Settling) للزيوت بعد تجميعها .
2. ازالة الماء والقطفات الهيدروكاربونية الخفيفة بطريقة التقطير الومضي (Flash distillation).
3. فصل زيت الغاز باستخدام التقطير الفراغي (Vacuum Distillation).
4. ازالة المواد الثقيلة والملوثات باستخدام الضغط الفراغي أو عمليات التبخير الغشائي (Film Evaporation) .
5. معالجة الزيت المتبقي بالمذيبات أو الهيدروجين لأعادته الى طبيعته الأصلية .



شكل (6-14) الخطوات الأساسية لعمليات استعادة زيوت التزييت المستعملة

6 – 5 – 3 أصناف عمليات أعادة التكرير

يمكن تصنيف العمليات التكنولوجية المستخدمة حاليا لأستعادة زيوت التزييت من الزيوت المستعملة الى ثلاثة أصناف وهي:

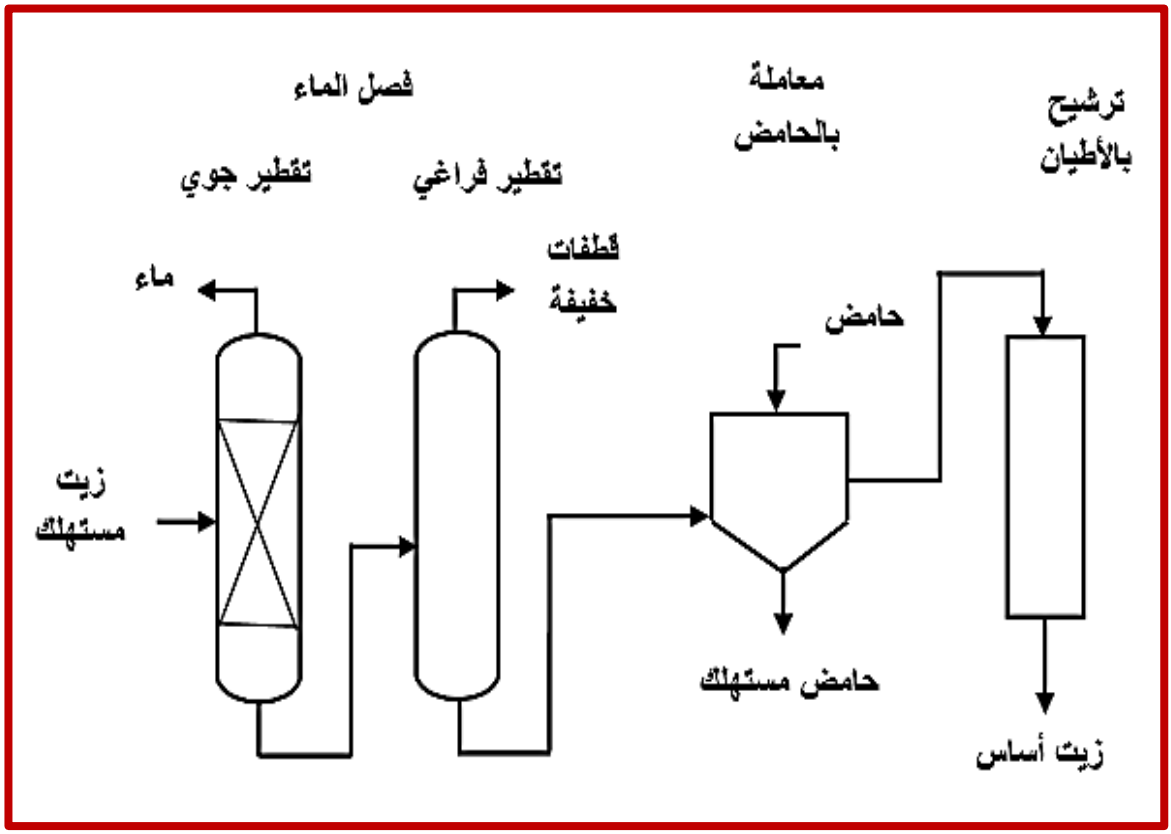
أولآ- طريقة المعالجة بالحامض/ الأطيان (Acid/Clay Treatment):

ويستخدم على الأغلب حامض الكبريتيك لأستخلاص المركبات الأوكسجينية، الأسفلت، الراتنجات، وبعض المركبات النيتروجينية والكبريتية الأخرى أضافة الى المعادن من زيوت التزييت المستعملة. الأطيان الفعالة يمكن ان تزيل اللون والروائح غير المرغوب فيها من الزيوت. الشكل (6-15) يمثل المخطط الأنسيابي للعملية. تعتبر هذه الطريقة من الطرق القديمة وغير المستعملة حاليا فلقد تم تطوير بعض الوحدات القديمة من هذا النوع لتعمل بالطرق التكنولوجية الحديثة.

وصف العملية

تتضمن مراحل العملية الخطوات التالية :

1. فصل الماء (Water Separation): يتم فصل الماء في ابراج التقطير الجوي وبدرجة حرارة (160-180 ^{o}C).
2. فصل القطفات الخفيفة (Light Ends Separation): تفصل القطفات الخفيفة من أعلى برج التقطير الفراغي وتستخدم كوقود. أما الزيت فيفصل من أسفل برج التقطير ويمرر الى أوعية التركيد.
3. المعالجة بالحامض/ الأطيان (Acid/Clay Treatment): يمزج الحامض المركز (93-98%) مع الزيت بنسبة (9-12%) في أوعية التركيد لفصل المواد الأسفلتية والمواد غير المشبعة حيث يتفاعل الحامض مع هذه المواد تاركا الزيت ويكون زمن التركيد بحدود 24 h .



شكل (6-15) المخطط الانسيابي لعملية المعالجة بالحامض/الأطيان

يفصل الخليط الى طبقتين، طبقة الحامض المستهلك التي تسحب من أسفل وعاء التركيد أما الزيت فيطفو الى الأعلى ويمرر الى برج الامتزاز حيث تجري المعالجة باستخدام الأطيان الفعالة لإزالة ما تبقى من الشوائب والتي قد تكونت في المراحل السابقة (كالماء وغيرها).

أن من مساوئ هذه الطريقة تخلف كميات كبيرة من المخلفات الحامضية والأطيان الملوثة والتي تسبب تلوثا للبيئة، أضافة الى ان انتاجية الزيت لا تتعدى 75% ، لذلك تم استبدالها بطرق حديثة غير مؤثرة على البيئة ويتم فيه الحصول على زيت ذو نقاوة أعلى ومواصفات تسويقية أفضل.

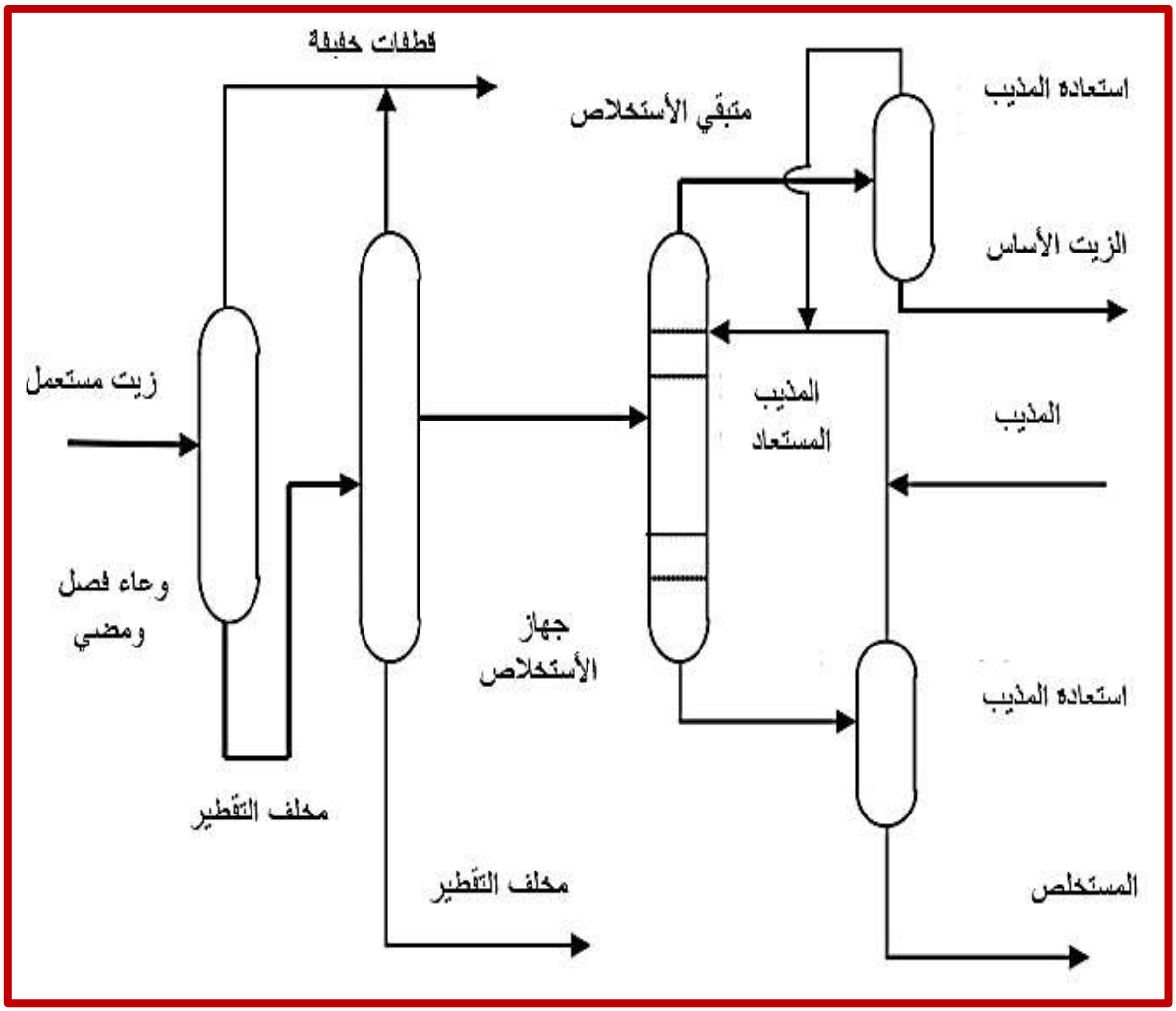
ثانياً - عمليات الأستخلاص بالمذيبات (Solvent Extraction Processes) :

في عمليات التكرير، تستخدم عمليات الأستخلاص بالمذيبات لتحسين مواصفات القطفات المباشرة والناتجة من برج التقطير الفراغي . وحاليا تستخدم هذه الطريقة بنجاح في استعادة زيوت التزييت. ومن المذيبات المستخدمة في عمليات الأستخلاص، البروبان (Propane) ، مثيل – بيروليدون الأعتيادي (N-Methyl- 2-Pyrrolidone) .

وصف العملية

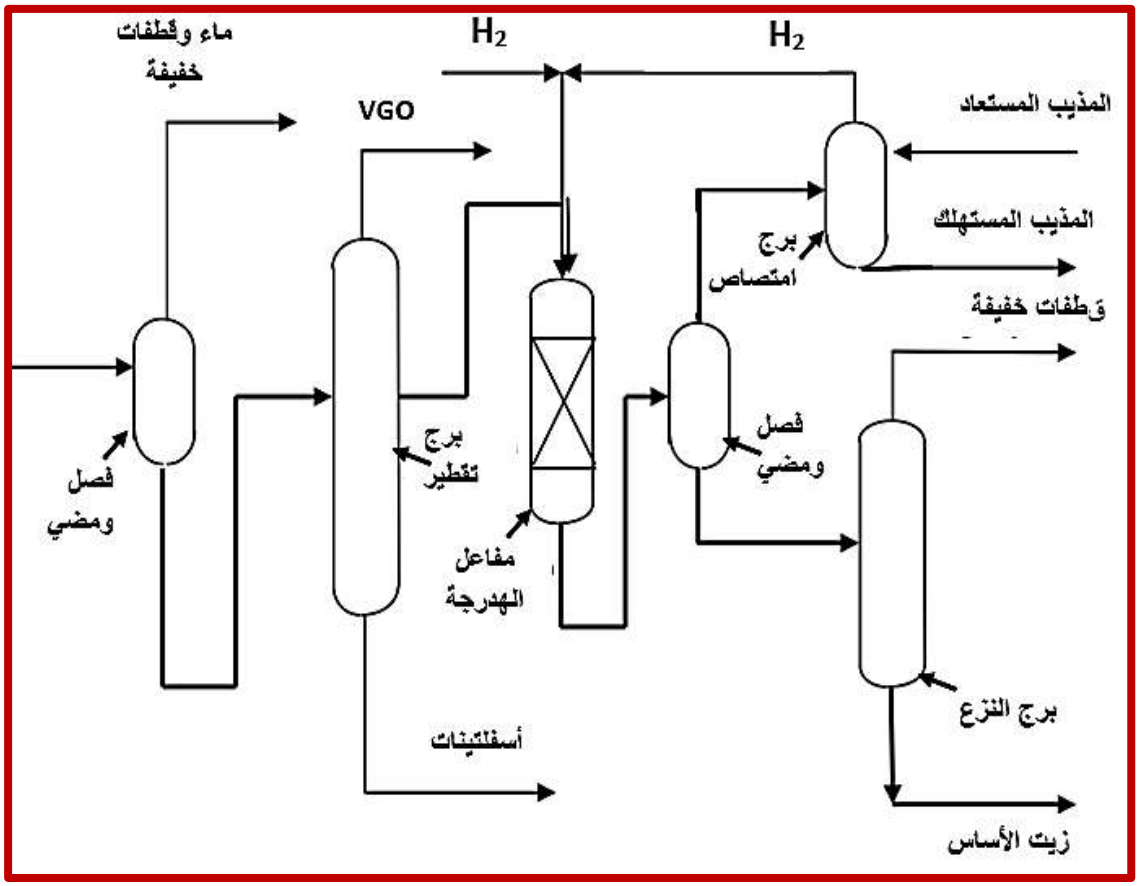
المراحل الرئيسية لعملية المعالجة بالأستخلاص يوضحها المخطط الأنسيابي في الشكل، (6-16) وهي :

1. فصل القطفات الخفيفة (Light Ends Separation): في هذه المرحلة يعامل الزيت المستعمل في برج التقطير الومضي حيث يتم فصل القطفات الهيدروكاربونية الخفيفة ويرسل متبقي التقطير الى برج التقطير الفراغي.



شكل (6-16) المخطط الانسيابي لعملية الاستخلاص بالمذيبات

2. التقطير الفراغي (Vacuum Distillation): تفصل الأسفلتينات والشوائب الأخرى من الزيت ويتم انتاج زيوت بدرجات لزوجة مختلفة. ترسل قطفة زيت الأساس الى برج الأستخلاص بالمذيبات بعد تبريده.



شكل (6-17) المخطط الأنسيابي لعملية المعالجة بالهيدروجين

3. الأستخلاص بالمذيبات (Solvent Extraction): يدفع زيت الأساس المعالج الى برج الأستخلاص بالمذيب (n-methyl-2-pyrrolidone) حيث تتم ازالة المركبات غير المشبعة والأروماتية في طبقة المستخلص (Extract). أما الزيت الأساس فيكون طوراً متبقي الأستخلاص (Raffinate). يفصل المذيب من المستخلص ويعاد استخدامه في العملية في برج النزع (Stripper). يحتوي المستخلص على مايقارب 10% من زيت الأساس وهذا يعود الى ظروف عملية الأستخلاص.

ثالثآ - المعالجة بالهيدروجين (Hydrotreating) :

عمليات المعالجة بالهيدروجين تتضمن مجموعة من العمليات المتعاقبة أهمها عملية ازالة الأسفلت وعملية الهدرجة التي تستهدف :

أ. أزالة الملوثات
ب. اشباع المركبات الأروماتية والمركبات غير المشبعة الأخرى بغية الحصول على المواصفات القياسية المطلوبة للزيت .

<u>وصف العملية</u>

تتضمن عملية المعالجة بالهيدروجين المراحل التالية :

1. فصل ومضي أولي (Pre-flashing): يسخن الزيت المستهلك الى ما يقارب ($140\ ^oC$) ويقطر في برج الفصل الومضي حيث يتم فصل الماء والهيدروكاربونات الخفيفة .
2. أزالة الأسفلت (De-asphalting): يقطر الزيت الجاف في برج التقطير الفراغي بدرجة حرارة ($360\ ^oC$) حيث يتم فصل الأسفلتينات والقار من أسفل البرج كما يتم الحصول على ثلاث منتجات جانبية ذات لزوجة مختلفة أضافة الى فصل زيت الغاز الفراغي (VGO) من أعلى البرج .
3. المعالجة الهيدروجينية (Hydrotreating): يتم في مفاعل الهدرجة معالجة قطفات الزيت الأساس بالهيدروجين لأزالة المركبات غير المشبعة، الكبريت والنيتروجين. النواتج من المفاعل تفصل الى طورسائل وطور بخار. يتم نزع المركبات المتطايرة من الطور السائل في برج النزع ببخار الماء. يفصل الزيت الأساس من أسفل برج النزع بالبخار. الشكل (6-17) يمثل مخططآ انسيابياً مبسطآ لعمية المعالجة بالهيدروجين.

أسئلة الفصل السادس

س 1 : اذكر أنواع زيوت التزييت ووظائفها وتركيبها ؟

س 2 : ما اقسام برج التقطير الفراغي ؟ وما هي نواتج العملية ؟

س 3 : اذكر الشروط الواجب توافرها في المذيبات ؟

س 4 : اشرح مبدأ عمل وحدة إزالة الاسفلت بالبروبان ؟

س 5 : اذكر أصناف المضافات الى الزيوت ؟ ثم اشرح المضافات المانعة للتأكسد ؟

س 6 : ما الأهداف من عمليات إعادة التكرير للزيوت المستعملة ؟ اذكر مراحلها ؟

س 7 : عدد اقسام برج التقطير الفراغي مع ذكر نواتج العملية ؟

س 8 : اشرح مبدأ عملية الاستخلاص ؟

س 9 : عدد مع الشرح أنواع المذيبات المستعملة في وحدة الاستخلاص بالفورفورال ؟

س 10 : اشرح وحدة إزالة الشمع ؟ ثم اذكر نواتجها ؟

س11: ماالمقصود بالاسفلت؟ ومماانواعة؟ وما هي استخداماتة؟

س12: على ماذا يعتمد عملية نزع الاسفلت؟

س13: عرف 1- النفاذية 2- درجة الليونة 3- درجة الانسكاب

الفصل السابع

المعدات الصناعية

Industrial Equipment

الاهداف

بعد إنهاء دراسة الفصل سيكون الطالب قادرا على أن:

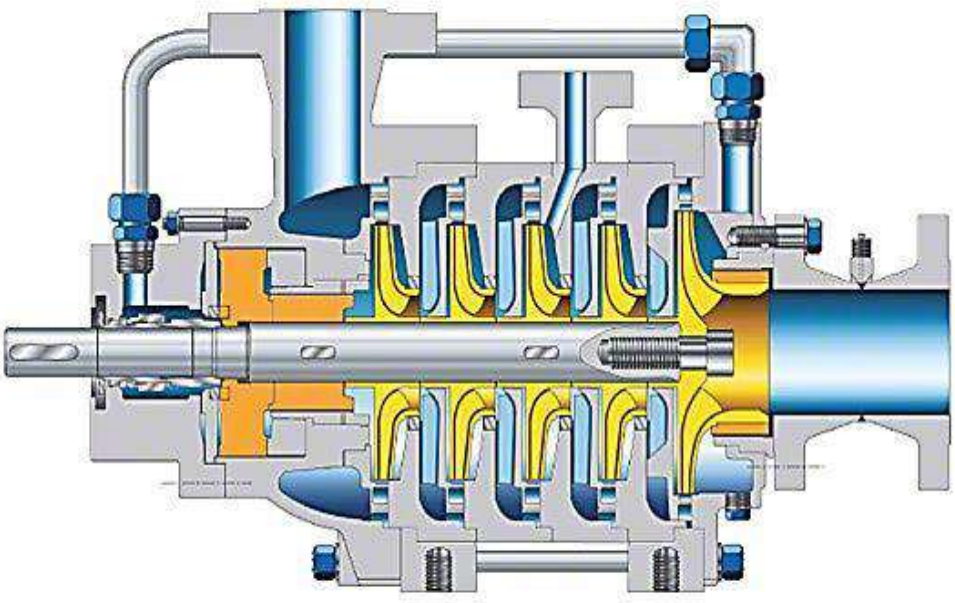
1 - يميز انواع وخصائص المعدات الصناعية المستخدمة في تكرير النفط و معالجة الغاز.
2 - يتعرف على انواع المعدات الصناعية وتصنيفاتها المختلفة.
3 - يتفهم أعمال الصيانة الدورية للمعدات الصناعية المستخدمة في تكرير النفط و معالجة الغاز.

7- 1 تمهيد

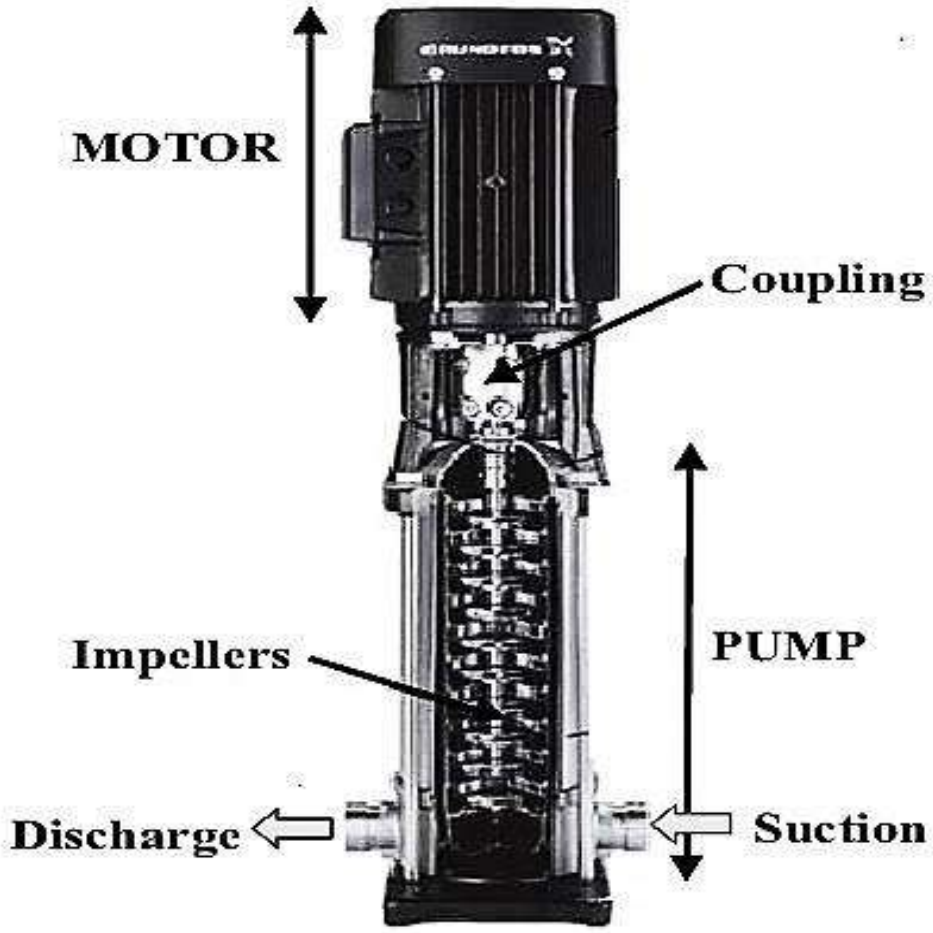
لا يمكن لأي عملية صناعية نفطية أن تتكامل بدون معدات صناعية تعمل على مناقلة وتوفير الظروف التشغيلية اللازمة لمعالجة النفط الخام ومشتقاته في المفاعلات الكيمياوية واعمدة التقطير والفصل. فالمضخات والضواغط والمحركات والمولدات الكهربائية واجهزة تخلخل الضغط والعازلات تعتبر معدات صناعية أساسية في كافة المصافي النفطية، وسيتم استعراض المعدات المذكورة بالتفصيل.

7-2 المضخات متعددة المراحل (Multistage pumps)

تعرف المضخات متعددة المراحل بأنها مضخات يتدفق فيها السائل من خلال عدّة بشارات (Impellers) مثبتة على التوالي على محور مشترك. حيث يندفع السائل من انبوب طرد البشارة الاولى (اي المرحلة الاولى) الى أنبوب سحب البشارة الثانية (اي المرحلة الثانية) و هكذا حسب عدد البشارات (اي عدد مراحل الضغط). المضخة ممكن أن تكون افقية أو عمودية، والشكل (7-1) يمثل مضخة طاردة مركزية افقية من خمسة مراحل ضغط. أما الشكل (7-2) فيوضح مضخة طاردة مركزية عمودية متعددة المراحل. من التطبيقات الشائعة في المصافي النفطية لمضخة الطرد المركزي متعددة المراحل هي في تغذية مفاعلات تكسير النفط الثقيل التي تعمل على ضغوط تصل الى 170 bar وكذلك مضخة مياه تغذية المراجل البخارية حيث تتطلب وحدة مرجل بطاقة 350 mega watt (ميكا وات) اثنين من مضخات التغذية في وقت واحد. كل مضخة تغذية هي مضخة طرد مركزي متعددة المراحل تنتج 150 liter/second عند 210 bar .



الشكل (7-1) مضخة طاردة مركزية افقية متعددة المراحل



شكل (7-2) مضخة طاردة مركزية عمودية متعددة المراحل

الجدول (7-1) يبين أوجه المقارنة بين المضخة الطاردة المركزية (المرحلة الواحدة والعديدة المراحل) لهما نفس قطر البشارة.

جدول (7-1)

ت	صفة المقارنة	مضخة المرحلة الواحدة	مضخة متعددة المراحل
1	عدد البشارات	واحدة	8 كحد اقصى بالنسبة للمضخة الافقية , وعدد غير محدد بالنسبة للمضخة العمودية
2	ارتفاع عمود السائل (متر)	اقل من 10 الى 100	من 100 الى 1000
3	تدفق السائل (m^3/hr)	اقل من 10 الى 1000	من 100 الى 10000
4	الصيانة وسعرالمضخة	الصيانة بسيطة والسعر قليل الى متوسط	الصيانة معقدة والسعر عالي

7-2-2 الصيانة الوقائية الدورية

في أي جو تشغيلي، سوف يعمل برنامج الصيانة الدورية على إطالة عمر المضخة نظرًا لأن المعدات التي يتم صيانتها جيدًا تستمر لفترة أطول وتتطلب إصلاحات بوقت اقصر وبتكلفة أقل. فيما يلي الفقرات الأساسية للصيانة الوقائية لمضخات الطرد المركزي المتعددة المراحل.

اولا - يجب الاحتفاظ بسجل مفصل للصيانة الوقائية التي تم إجراؤها والإصلاحات المطلوبة للمساعدة في تشخيص المشكلات وتجنب (في أي وقت) تعطل المعدات مستقبلا أو تقليل عدد الاعطال.

ثانيا - حالة زيت التشحيم للمحامل (bearings): مراقبة درجات الحرارة للمحامل، مستوى زيوت التشحيم والاهتزاز. يجب أن يكون لون زيت التشحيم صافيا بدون أي فقاعات او مواد طافية على سطحه. الاهتزاز المفرط وزيادة في درجة حرارة المحامل قد يشير إلى فشل وشيك.

ثالثا - حالة مانع تسريب عمود الدوران: يجب ألا تظهر مانعات التسريب الميكانيكية أي علامات للتسرب المرئي. بعض التسريبات في الحشوات أمر طبيعي ، لكن يجب ألا يتجاوز ذلك معدل يتراوح بين 40 إلى 60 قطرة في الدقيقة.

رابعا – الاهتزاز في جسم المضخة:. يمكن أن يكون سبب الاهتزازات العالية ناتجاً عن تغيير في اتزان مستوى جسم المضخة مع المحرك أو حالة تكهف في المضخة (وجود فقاعات غازية داخل المضخة) أو تآكل في أساسات المضخة أو الصمامات الموجودة في خطوط السحب و / أو الطرد.

خامسا - ضغط تصريف المضخة: قد يشير الانخفاض التدريجي في ضغط المضخة إلى أن الخلوص (المسافة) بين البشارة وغلاف المضخة قد اتسع. وبالتالي هناك حاجة لتعديل ذلك الخلوص لاستعادة المضخة إلى أدائها التصميمي.

7-3 الضاغطات (Compressors)

لاريب ان المصافي النفطية تحتوي على مختلف أنواع ضواغط الهواء والغازات وذلك لحاجة وحدات الانتاج الى ضغوط عالية لتحقيق ظروف التشغيل المطلوبة في مختلف انواع المعدات والاجهزة. والضاغط هو جهاز ميكانيكي يستخدم لزيادة ضغط الغاز وذلك بتقليل الحجم. وهو شبيه للمضخة فكليهما يزيد الضغط على الموائع وكليهما ينقل المادة المضغوطة خلال انبوب، والفرق بينهما أن الغازات مواد قابلة للانضغاط فالضاغط يقلل من حجمها ولكن السوائل مواد غير قابلة للانضغاط فالمضخة تستخدم لنقل السوائل. ويُميز الضاغط بمجموعة المواصفات الآتية التي تميز ضاغطاً من آخر:

1 - التدفق (ويقاس بالمتر المكعب في الثانية m^3/s) ويعرف بأنه كمية الهواء المارة عبر الضاغط في وحدة الزمن.

2 - ضغط الغاز عند مقطع الدخول إلى الآلة P_1 ويقاس بالباسكال (Pa)، وكذلك الضغط عند مقطع الخروج P_2 ويقاس بالباسكال (Pa) أيضاً، أي من خلال معامل الانضغاطية الذي يعرف بأنه ضغط الغاز عند مقطع الخروج منسوباً إلى ضغط الغاز عند مقطع الدخول.

3 - سرعة دوران الضاغط n وتقدر بعدد الدورات في الدقيقة (r.p.m).

4- القدرة على محوره N وتقدر بالواط (watt).

1-3-7 تصنيف الضواغط

تُصنف الضواغط حسب مبدأ عملها، الى ثلاثة أنواع:

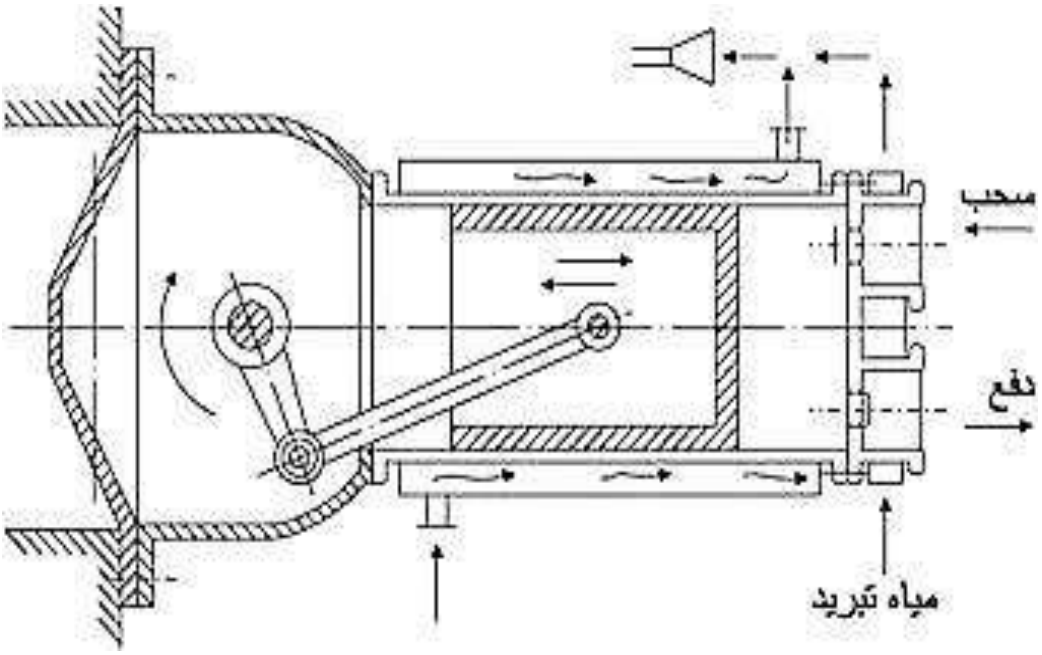
اولا - الضواغط الحجمية (أو ذات الإزاحة الموجبة -positive-displacement compressors)، وتعمل عن طريق الضغط المباشر على المائع من خلال تغير الحجم الذي يحوي هذا المائع (الهواء أو الغاز) مثل الضاغط المكبسي و الضاغط الدوراني.

ثانيا - الضواغط الحركية (dynamic compressors - أو ذات الريش)، وتعمل عن طريق تحريك الغاز قسرياً وتحويل طاقته الحركية إلى طاقة كامنة (طاقة ضغط).

ثالثا - الضواغط النفاثة (jet - type compressors) التي تعتمد على مزج تيارين مختلفي القدرة من مائعين، مما يؤدي إلى رفع طاقة المائع ذي الطاقة الأخفض.

يحتوي كل صنف من الصنفين الأوليين على أشكال وأنواع مختلفة من حيث التصميم والأداء، إلا أنها تعمل وفق المبدأ ذاته.

1-1-3-7 الضواغط الحجمية



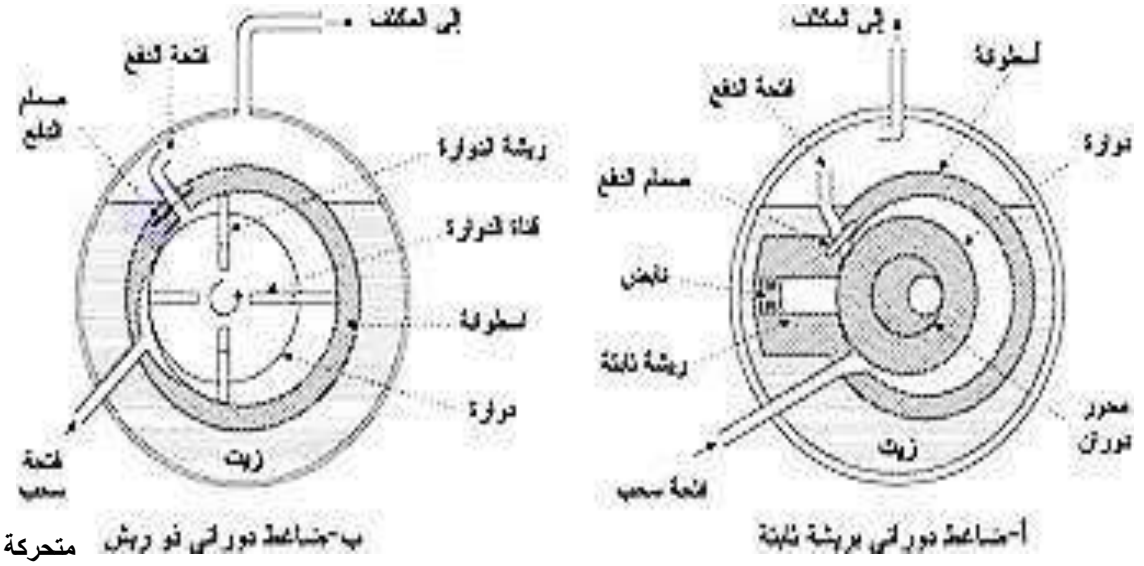
الشكل (7-3) ضاغط حجمي

1- الضاغط المكبسي (reciprocating compressor): وهو مؤلف من مكبس يتحرك داخل أسطوانة بشوطين؛ شوط سحب يكون خلاله صمام السحب مفتوحاً ويدخل الهواء (الغاز) إلى حجرة المكبس، وشوط دفع (ضغط) يتحرك خلاله المكبس بالاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى تقليل حجم الحجرة التي تحوي الهواء ومن ثم انضغاطه عند وصول قيمة ضغط الهواء إلى حد معين، يؤدي إلى أن يُفتح صمام الدفع ويخرج الهواء المضغوط من الحجرة، كما هو مبين في الشكل (7- 3).

2 ـ الضاغط الدوراني (rotary compressor): وهو محور دوران موضوع بشكل لا مركزي داخل الغلاف الخارجي للضاغط، ومزود بصفائح قابلة للحركة قطرياً، بحيث تبقى ملامسة للجدار الداخلي لجسم الضاغط. يتغير الحجم الذي يحوي المائع في أثناء دوران المحور، مما يؤدي إلى انضغاطه في أثناء حركته من قسم السحب إلى قسم الدفع، كما هو مبين في الشكل (7- 4)، ويميز من هذه الضواغط نوعان:

أ ـ ضاغط دوراني ذو ريشة ثابتة (rotary compressor with stationary blad).

ب ـ ضاغط دوراني ذو ريَش متحركة (vane- type rotary compressor).



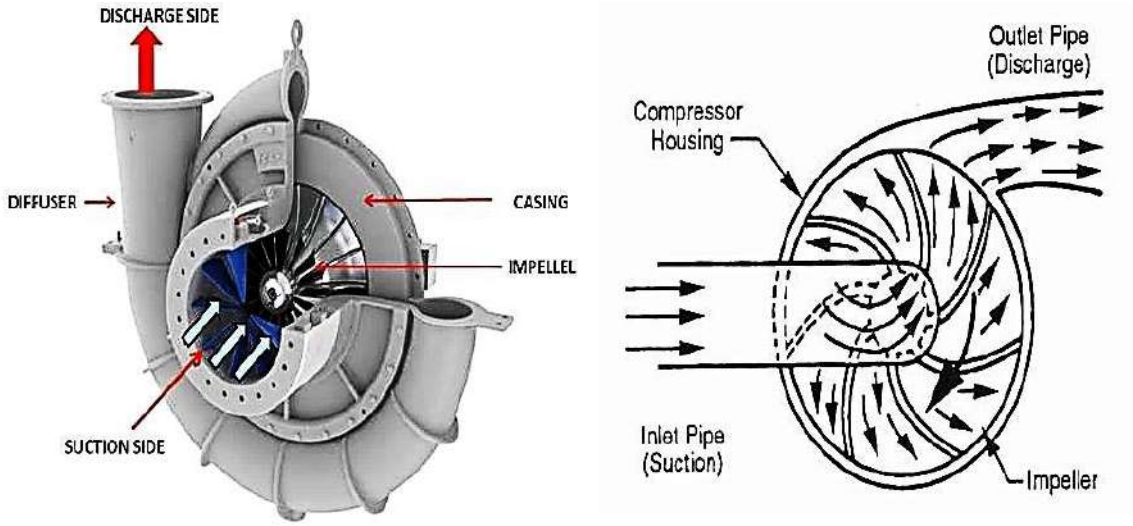
الشكل (7-4) الضاغط الدوراني

7-3-1-2 الضواغط الحركية

وهي على نوعين:

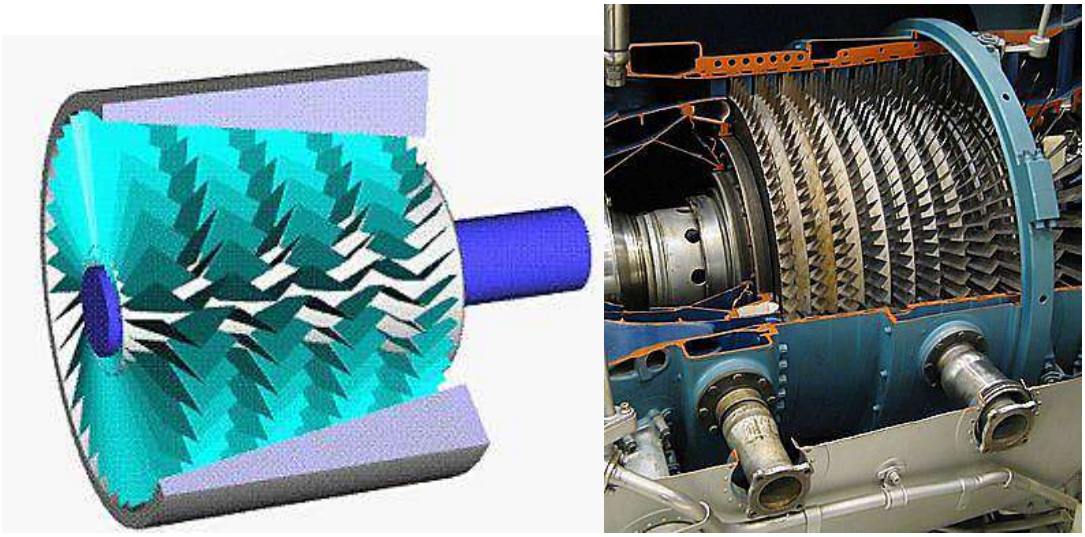
1ـ الضواغط الطاردة المركزية (centrifugal compressors): وهي دوارة تحوي مجموعة من الريش، بحيث يدخل الهواء إلى الجزء العامل موازياً محور الدوران، ويخرج منه عمودياً على هذا المحور (أي بشكل قطري). ويكون مزوداً بقرص دوار به ريش أو مروحة منحرفة الشكل بحيث توجه الغاز الداخل إلى نهاية طرف المروحة حتى تزداد سرعة الغاز. قناة الناشر (Diffuser) تحول السرعة إلى ضغط. وهي تستخدم أساسا بالمصانع بشكل مستمر وثابت كمعامل تكرير النفط ومصانع الكيمياويات والبتروكيماويات والغاز الطبيعي. قدرة تلك الضواغط تبدأ من 100 hp (حصان) (= 75 كيلو واط) وحتى الآلاف وتكون متعددة المراحل وبإمكانها رفع مقدار الضغط الى أكثر من 10,000 psi (= 680 bar بار) . كما ان له استخدامات أخرى في محركات الاحتراق الداخلي كشاحن إضافي (supercharger) أو شاحن توربيني (Turbocharger)، بالإضافة الى انه

يستخدم بمحركات التوربين الغازي الصغيرة أو كآخر مرحلة من مراحل الضغط الغازي للتوربينات الغازية المتوسطة الحجم. والشكل (7-5) يمثل ضاغط طرد مركزي.



الشكل (7-5) يمثل ضاغط طرد مركزي

2- الضواغط المحورية (axial compressors): وتتألف أيضاً من مجموعة من الريش، يدخل إليها الهواء ويخرج منها موازياً لمحور الدوران. والضاغط المحوري يستخدم سلسلة من شفرات على شكل مراوح تحرك الدوار لتضغط على تدفق الغاز. وهناك الريش الثابتة الموضوعة بنهاية كل دوار لإعادة توجيه التدفق إلى شفرات الدوار التالي. مساحة المرور للغازات تقل خلال الضاغط للمحافظة على السرعة المحورية المطلوبة. هذا النوع من الضواغط يستخدم في التطبيقات العالية التدفق, مثل محركات التوربين الغازي المتوسطة والكبيرة الحجم, وتكون متعددة المراحل. لها أشكال هندسية متعددة لتحسين كفاءة التشغيل. والشكل (7-6) يبين ريش الضاغط محوري compressor (Axial)



الشكل (7-6) الضاغط محوري (Axial compressor)

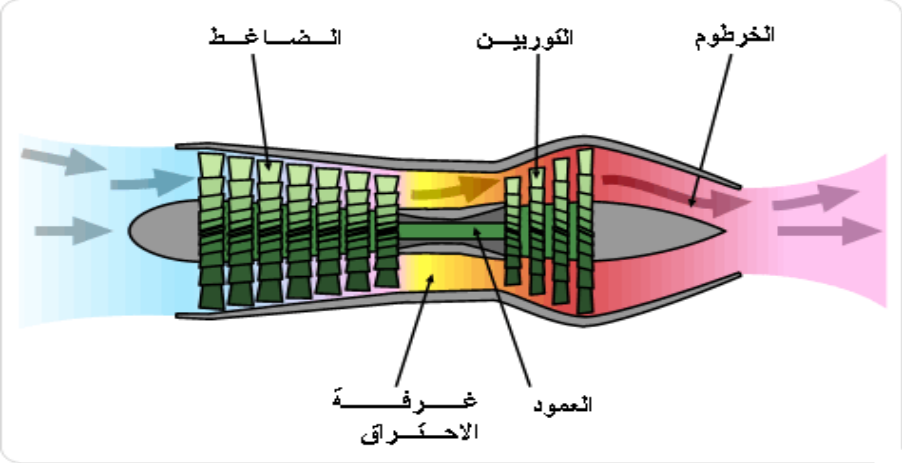
3-1-3-7 الضواغط النفاثة (jet - type compressors)

تعتبر الضواغط النفاثة من المكونات الاساسية للمحركات النفاثة المستخدمة بشكل واسع في الطائرات الحديثة.

والمحرك النفاث ينفث الموائع (الماء أو الهواء) بسرعة فائقة لينتج قوة دافعة اعتمادا على مبدأ قانون نيوتن الثالث للحركة. الشكل (7-7) يوضح موقع الضاغط في المحرك النفاث. وتتشابه المكونات الأساسية عند معظم أنواع المحركات النفاثة وإن كانت جميعها لا تحتوي كل القطع. فالقطع الأساسية تتكون من الضاغط مكون من عدة مراحل, وكل مرحلة تحتوي على أسطوانة ريش دوارة وأخرى ثابتة. بما أن الهواء يشفط بقوة شديدة خلال الضاغط، فسوف تزداد الحرارة والضغط لذلك فالطاقة ستجلب من التوربين مروراً خلال العمود.

عمود الدوران (Shaft): هذا العمود يصل ما بين التوربين والضاغط, ويدور خلال معظم المحرك.

غرفة الاحتراق (Combustion chamber):هي الغرفة التي يختلط بها الوقود مع الهواء المضغوط فيحترقان وسط اللهب.



لشكل (7-7) يوضح موقع الضاغط في المحرك النفاث

2-3-7 التوربين (Turbine)

هو سلسلة أسطوانات من الريش الدائرية تعمل كدولاب طاحونة تكتسب الطاقة من الهواء الحار وتبقي بعضا من تلك الطاقة بغرفة الاحتراق لكي يدير الضاغط. بعض محركات التوربين مثل (المروحة التوربينية وعمود الدوران التوربيني وحتى التوربين المروحي) تستخلص الطاقة بواسطة أقراص توربينية إضافية للتحكم وإدارة المراوح الخارجية أو مراوح التيار الجانبي أو عمود التدوير للمروحية. هناك نوع واحد فقط به توربين حر مصمم بحيث قرص التوربين الذي يدير الضاغط منفصل عن القرص الذي يغذي المكونات الخارجية. وهواء التبريد يأتي من الضاغط لتبريد شفرات التوربين والريش حتى لا تذوب من شدة الحرارة.

4-7 المحركات (Motors)

يعرف المحرك بانه آلة تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركة دورانية لإنجاز شغل .وتُستَخدم المحركات الكهربائية لتشْغيل عدة آلات كهربائية ومعدات ميكانيكية مثل المضخات والضواغط وأجهزة التكييف والمكانس الكهربائية والمثاقب الكهربائية والمناشير. كما وتشغل أنواعٍ شتى من المحركات في القطارات وحافلات النقل العام الكهربائية، كما تدير آلات المصانع والروبوتات. ويتنوع حجم المحركات الكهربائية تنوعًا كبيرًا. فقد يكون جهازاً صغيراً يقوم بوظائفه داخل ساعة يد أو محرّكاً ضخماً يمد قاطرة ثقيلة بالحركة . وبناء على نوع الكهرباء المستخدمة، هناك نوعان رئيسيان للمحركات:

1- محركات تعمل بالتيار المتناوب.
2- محركات تعمل بالتيار المستمر.

ينعكس التيار المتناوب اتجاه سريانه خمسين أو ستين مرة في الثانية بين السالب والموجب. وهو التيار المستعمل في المصانع والمنازل. وتستعمل محركات التيار المستمر أيضاً بشكل شائع في أدوات عديدة مثل مقياس ضغط الدم والأجهزة التي تستخدم بطارية. يسير التيار المستمر في اتجاه واحد فقط (لا يتردد)، ومصدره البطارية وكذلك الطاقة الشمسية والدوائر الالكترونية وتستخدم محركات التيار المتناوب لتشغيل الاجهزة الميكانيكية في المصانع، كما أنه يستخدم كباديء تشغيل في محركات الاحتراق الداخلي. يمكن تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر، تسمى تلك العملية "تقويم التيار" وتقوم بها مقومات التيار(Rectifiers). وبالعكس يمكن تحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب عن طريق جهاز مشابه هو المحول الكهربائي (Transformer) ويوجد منه الصغير والكبير.

يتكون المحرك الكهربائي أساسًا من مغناطيس ثابت وموصل متحرك يسمى عضو دوار .وتشكل خطوط القوى بين أقطاب المغناطيس وعندما يمر تيار كهربائي خلال الموصل يصبح الموصل مغناطيساً آخر. ويتنافر المجالان المغناطيسيان ويؤدي هذا التنافر إلى دوران العضو الدوار.

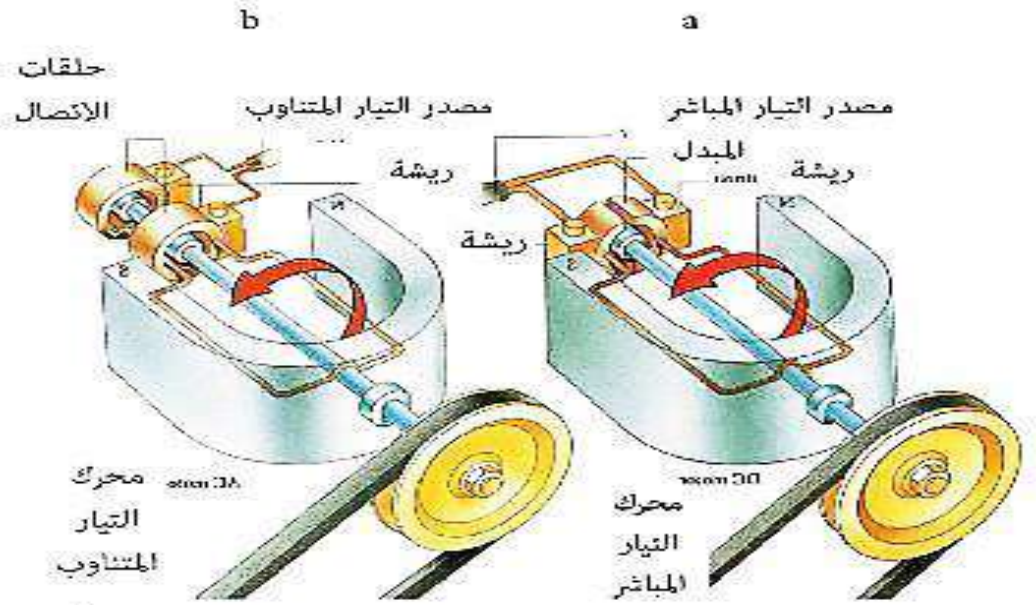
يعتمد تشغيل المحرك الكهربائي على ثلاثة مبادئ رئيسية:

1- يولِّد التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسيا في العضو الثابت.

2- يولد تيار كهربائي آخر مجالا مغناطيسيا في ملفات العضو الدوار، يصل التيار الكهربائي الثاني إلى ملفات العضو الدوار عن طريق مبادل كهربائي ذي تقسيمات توزع التيار المستمر.

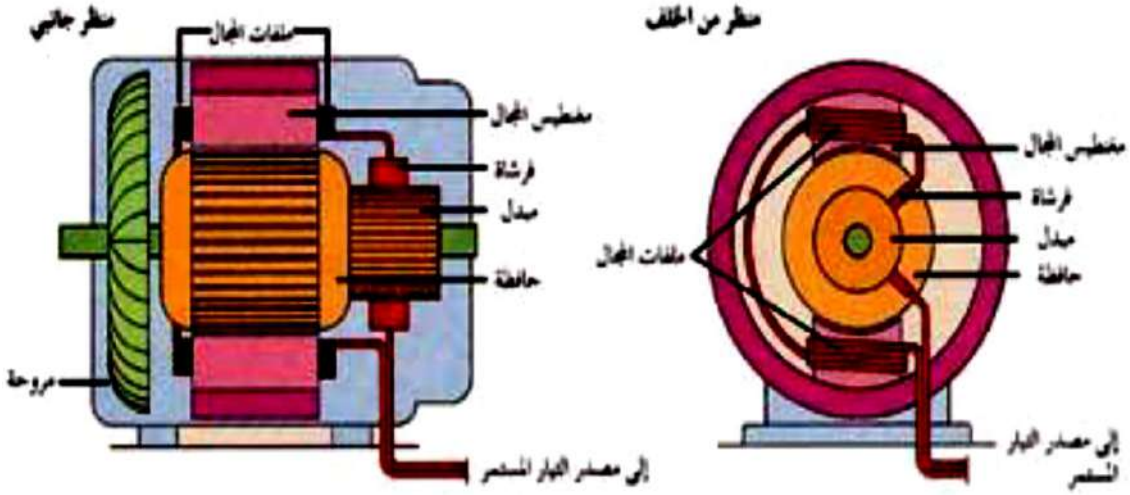
3- يتجاذب المجالان المغناطيسيان أو يتنافرا فتحدث حركة العضو الدوار.

والشكل (7-8) يوضح مبدأ عمل محرك التيار المستمر (a) و مبدأ عمل محرك التيار المتناوب (b).

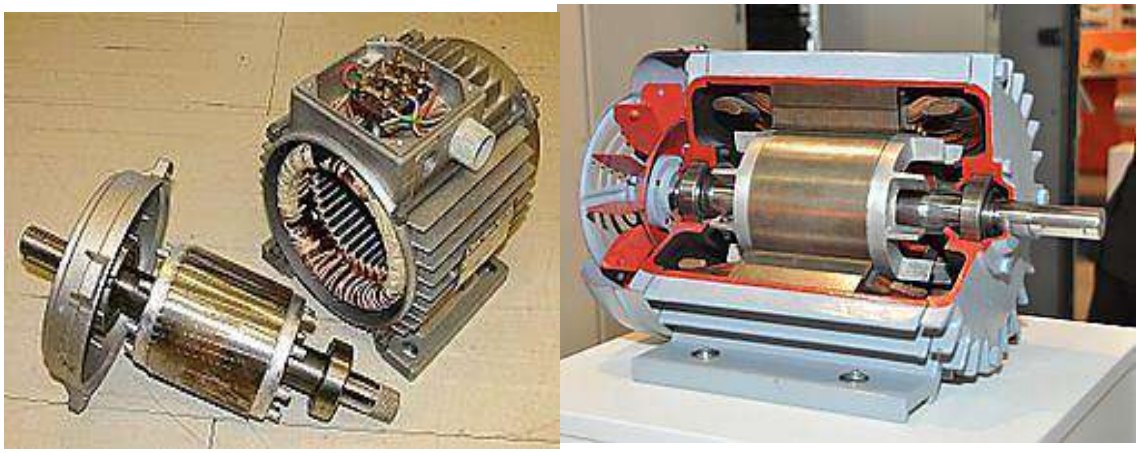


(a) في المحرك البسيط الذي يستخدم التيار المباشر يمر التيار خلال المُبْدِل الذي ينقسم إلى جزأين. يستند عمل المُبْدِل على تحويل اتجاه التيار خلال كل نصف دورة حتى يستمر الملف في دورانه في الاتجاه نفسه في المجال المغناطيسي. (b) لا يحتاج محرك التيار المتناوب إلى مُبْدِل نظراً لتغير اتجاه التيار نفسه بمعدل ٥٠ إلى ٦٠ مرة في الثانية الواحدة.

الشكل (7-8) يوضح مبدأ عمل محرك التيار المستمر (a) ومبدأ عمل محرك التيار المتذبذب (b).



الشكل (7-9) يوضح أجزاء محرك كهربائي يعمل بواسطة التيار المتناوب



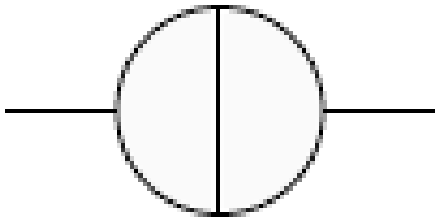
شكل (7-10) أجزاء محرك كهربائي يعمل بواسطة التيار المتناوب

وتخضع المحركات الكهربائية الى فحص دوري و ذلك لتجنب توقفها المفاجيء مما يؤدي الى توقف تشغيل الخط الانتاجي. وبرنامج الفحص الدوري يشمل:

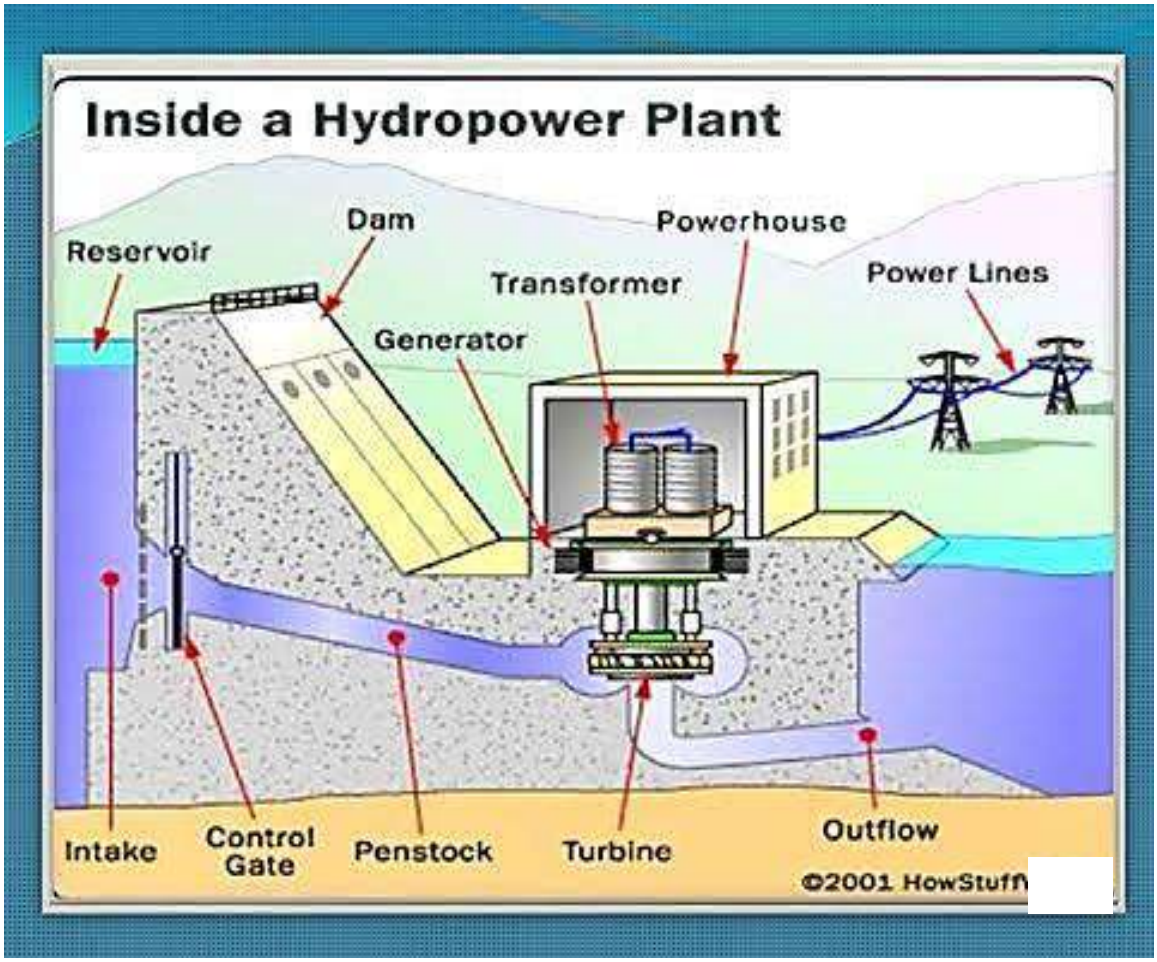
1- فحص الدائرة الكهربائية للمحرك و قياس مقاومة عزل الملفات.
2- فحص الفرش الكربونية وتغيير الفرش المتآكلة لتلافي حدوث شرر في المحرك.
3- فحص عمود الادارة (Rotating shaft) والتأكد من عدم حدوث أي التواء فيه.
4- فحص المحامل (Ball bearings) وتزييتها في المواعيد المقررة.
5- فحص دوائر التبريد الموجودة في محركات الضغط العالي.
6- فحص مثبتات المحرك (Shock adsorber) لتلافي الضوضاء والتذبذب.

5-7 المولدات (Generators)

المولد الكهربائي, هو جهاز ميكانيكي يحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية بوجود مجال مغناطيسي. ويعمل المولد الكهربائي على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي والذي هو الأساس في توليد التيار الحثي. وقد تطورت صناعة المولدات الكهربائية كثيراً من حيث إنتاج التيار الحثي المقوّم، ويُوجه المولد الكهربائي التيار الكهربائي للتدفق خلال دائرة كهربائية خارجية، كما أن مصادر المولد الكهربائي عديدة منها ما هو محرك متردد ومنها التوربينات التي تستخدم المحركات البخارية في عملها، أو عن طريق تساقط المياه في التوربينات التي تعرف بالطاقة المائية، أو بمحركات الاحتراق الداخلية، أو توربينات الرياح، أو مرفق اليد، أو الهواء المضغوط، أو أي مصدر آخر من مصادر الطاقة الميكانيكية. وكلما زادت الطاقة الميكانيكية المغذاة الى المولد زادت سرعة الاخير وأنتج كهرباء اكثر. ويشير المهندسون عادة إلى الأداة الميكانيكية التي تدير المولد بالمحرك الأساسي. الشكل (7-11) يوضح رمز المولد الكهربائي في مخطط دائرة كهربائية. اما الشكل (7-12) فيوضح احد مصادر الطاقة الميكانيكية لتحريك المولد.



الشكل (7- 11) رمز المولد الكهربائي في مخطط الدائرة الكهربائية.



الشكل (7-12) مصدر خارجي لحركة المولد الكهربائي (تساقط المياه)

1-5-7 مكونات المولد الكهربائي

هناك جزأن رئيسيان من أي مولد أو محرك كهربائي، وهو جزء ميكانيكي وجزء كهربائي:

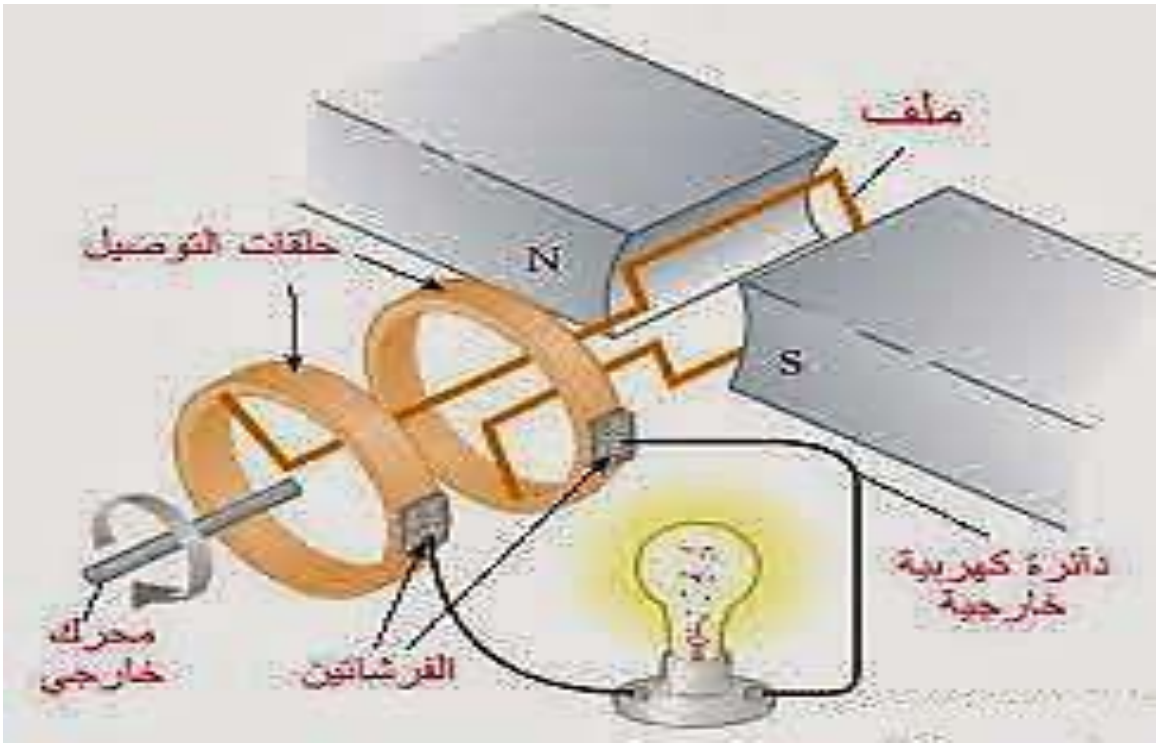
العضو الثابت: وهو الجزء الثابت في الآلة الكهربائية.

العضو الدوار: هو الجزء الدوّار في الآلة الكهربائية.

الإطار الحامل: وهو المنتج للطاقة في الآلة الكهربائية، ففي المولد الكهربائي، أو مولد التيار المتناوب، أو المحرك الكهربائي، تقوم ملفات الإطار الحامل بتوليد الطاقة الكهربائية والإطار الحامل أما أن يكون مُركباً على العضو الثابت أو على العضو الدوار في الجزء الميكانيكي.

ملفات المجال: وهو المنتج للمجال المغناطيسي في الآلة الكهربائية، ويمكننا إنتاج مجال مغناطيسي للمولد الكهرباء أو لمولد التيار المتناوب عن طريق أي مغناطيسي دائم وتوضع ملفات المجال أما على العضو الثابت أو على العضو الدوّار في الجزء الميكانيكي.

ولأن كمية نقل الطاقة الكهربائية إلى دائرة ملفات المجال أقل بكثير من كمية نقلها إلى دائرة الإطار الحامل، فإن مولدات التيار المتردد دائمًا ما تكون ملفات المجال فيه على الجزء الثابت، والإطار الحامل على الجزء المتحرك. فقط كمية بسيطة من تيار ملفات المجال ينقل إلى الجزء المتحرك للبدء بتحريكه باستخدام حلقات الانزلاق، أما مكائن التيار المستمر فتتطلب وجود مبادل كهربائي على محور الجزء المتحرك، وذلك لتحويل التيار المتردد الناتج من الإطار الحامل التيار مستمر، ولهذا فإن الإطار الحامل يكون على الجزء المتحرك. علما ان المولد لا يَستحدِث طاقة، ولكنه يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ولذا فإن كل مولد يديره توربين أو محرك ديزل أو أي آلة تنتج طاقة ميكانيكية. والشكل (7- 13) مخطط يوضح الاجزاء الرئيسية لمولد بسيط.



الشكل (7-13) مكونات مولد بسيط

2-5-7 كيف يتم توليد الكهرباء

عندما يتم تحريك الجزء الدوار (Rotor) عن طريق عمود دوران موصل بالمحرك الأساسي (Prim-mover)، يتولد من ملفات الجزء الدوار مجال كهرومغناطيسي ينتقل إلى ملفات الجزء الثابت (stator) الذي بدوره يستقبل المجال الكهرومغناطيسي ليتحول إلى تيار كهربائي داخل الملفات .

6-7 اجهزة التخلخل بالضغط (Vacuum equipment)

يتم استخدام معدات الفراغ (التخلخل بالضغط) للتوليد، والحفاظ على الضغوط الأقل من الغلاف الجوي المحيط عن طريق سحب كتلة الغاز من الوسط (الحيز) المستهدف. والعديد من التطبيقات الصناعية، وكذلك بعض التجارب المختبرية الشائعة تتطلب حالات الفراغ. مثل سحب الغاز الخامل من المعدات و انظمة التبريد, التقطير الفراغي للنفط الثقيل، والتبخير بالمذيبات. ووحدة قياس التخلخل بالضغط هي التور (1torr = 1mmHg) . اما المستويات الشائعة الاستخدام للتخلخل بالضغط هي:

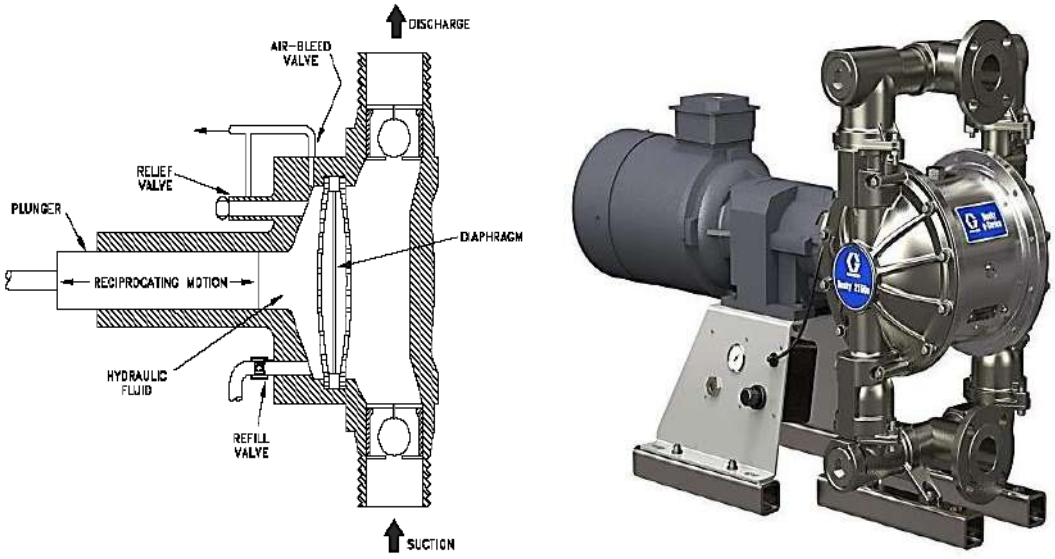
ووحدة قياس التخلخل بالضغط هي التور (1 torr = 1 mm Hg) .

اما المستوي الشائع الاستخدام للتخلخل بالضغط فهو :

(torr 760) الى (torr 25)

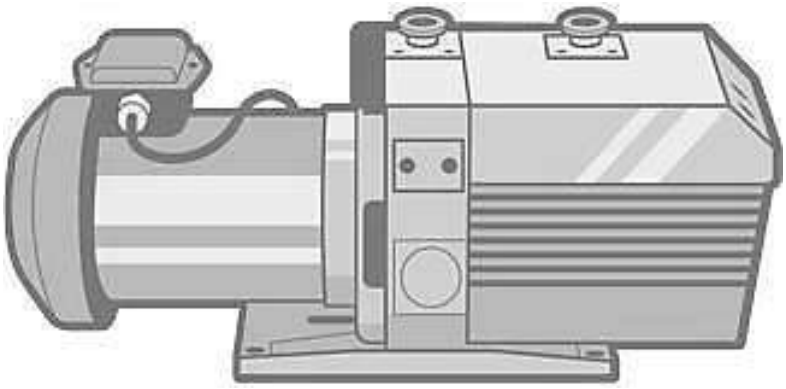
وللحصول على مستوى الضغط المذكور تستخدم أنواع مختلفة من المضخات هي :-

1- المضخة الغشائية (Diaphragm pump): تستخدم المضخة الغشائية، الغشاء المرن ومجموعة من الصمامات لتوليد ضغط الضخ, والمضخة عادةً تنتج تخلخل بالضغط المتوسط. غالبًا ما يكون هذا النوع من المضخات مقاوم للأبخرة المذيبة وذات مقاومة معتدلة للتآكل، مما يجعلها مفيدة للمبخرات الدوارة، ولكن عدم قدرتها على إنتاج تخلخل كبير يحد من فائدتها. والمضخات الغشائية في كثير من الأحيان لا تحتاج إلى تزييت. الشكل (7-14) يوضح الشكل العام للمضخة مع مخطط لاجزائها.

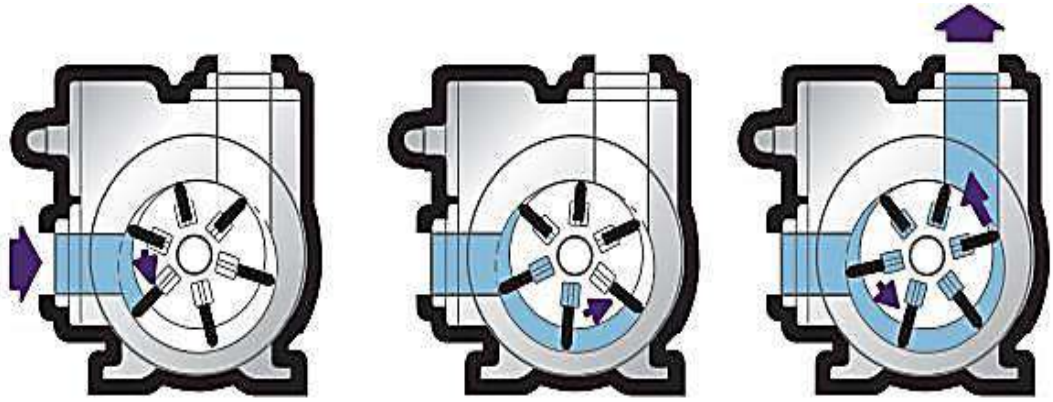


الشكل (7-14) المضخة الغشائية

2- المضخة الدوارة (Rotary vane pump): تستخدم المضخة الدوارة مجموعات من الريش الدوارة في تجويف بيضوي الشكل لتكوين ضغط الضخ، ويمكن تحقيق مستوى تخلخل (فراغ) متوسط إلى عالي. وعلى الرغم من أنها يمكن أن تحقق فراغًا أعلى من المضخات الغشائية ، إلا أنها تتلف بسهولة بواسطة الأبخرة المذيبة أو المسببة للتآكل. ولذلك يجب اتخاذ خطوات لمنع الأبخرة الضارة من الوصول إلى هذا النوع من المضخات مثل وضع مصيدة ابخرة قبل المضخة، حيث يمكن للتلوث أن يقلل بشكل كبير من كفاءة المضخة وعمرها ولذلك فالمضخة تحتاج، إلى تغيير الزيت بشكل دوري. الشكل (7- 15) يوضح الشكل العام لمضخة التخلخل الدوارة، اما الشكل (7-16) فيوضح مبدأ العمل للمضخة. إن المضخات الدوارة لها ريش مستطيلة الشكل مثبتة في فتحات على دوار يتحول داخل غلاف المضخة غير المتماثل. فأثناء دوران الدوار، يتسبب الشكل غير المتماثل للغلاف في أن تتحرك الريش داخل وخارج الفتحات لتلمس جدران الغلاف وتحبس السائل بين الغلاف والدوار. تقوم هذه الآلية بسحب كمية المائع حتى يتم إخراجها من منفذ التفريغ.

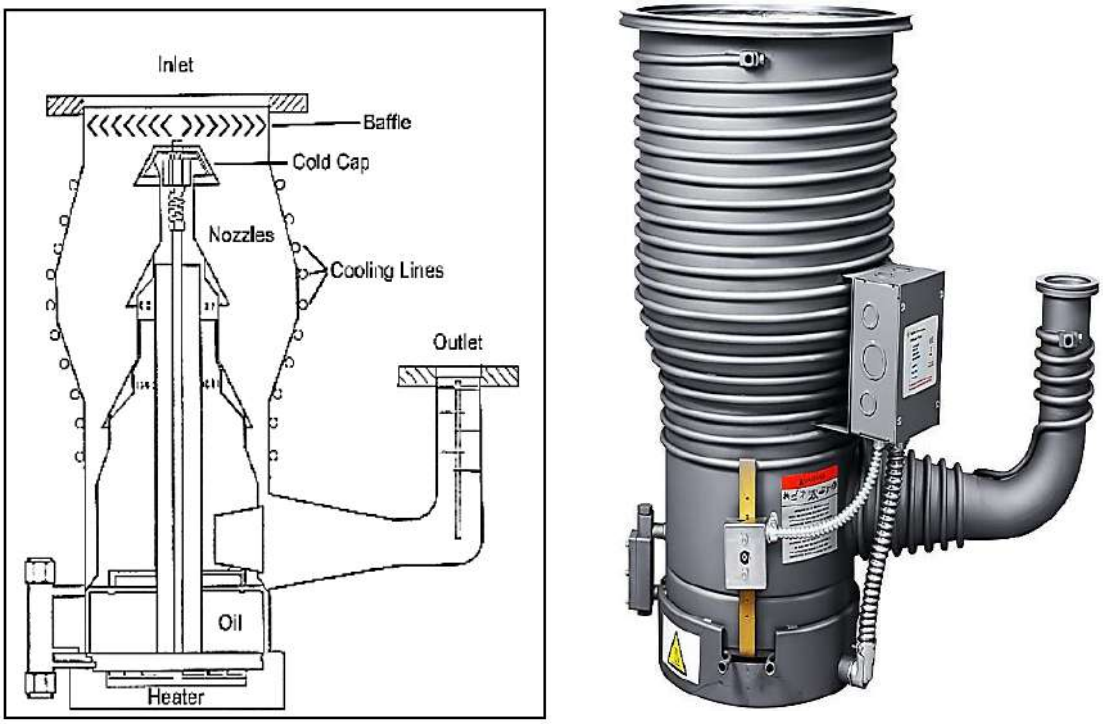


الشكل (7- 15) يوضح الشكل العام لمضخة التخلخل الدوارة



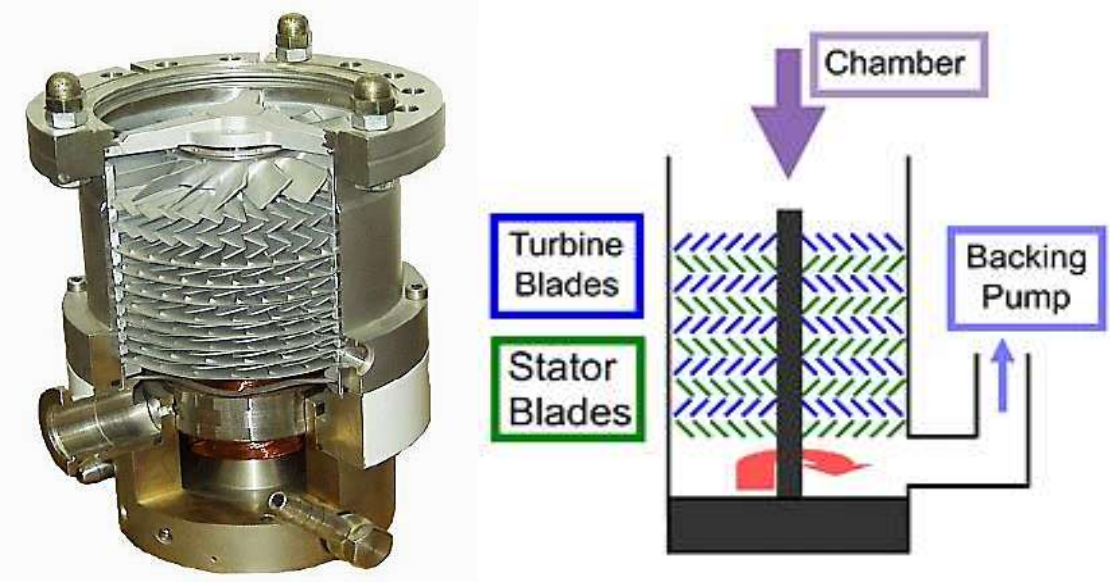
الشكل (7-16) مبدأ العمل للمضخة الدوارة

3- مضخة الانتشار(Diffusion pump): مضخات الانتشار لا تحتوي على أجزاء ميكانيكية متحركة، وبدلاً من ذلك، يتم استخدام نفاثة بخار عالية السرعة لتوجيه الغازات نحو العادم. يمكن أن يحقق هذا النوع من المضخات فراغًا من درجة عالية إلى عالية جدا، ربما تكون مضخات الانتشار هي الأكثر استخدامًا لإنشاء فراغ عالٍ في تطبيقات التفريغ الصناعي. كما أنها تستخدم بشكل شائع في قياس الطيف الكتلي، والأجهزة التحليلية، وتكنولوجيا النانو. نظرا لعدم وجود أجزاء ميكانيكية متحركة، فإن مضخات الانتشار موثوقة للغاية وتعمل بشكل عملي دون ضوضاء أو اهتزاز. وللسبب نفسه، تعتبر مضخات الانتشار منخفضة التكلفة نسبيًا والتشغيل والصيانة. تعمل مضخة الانتشار على مبدأ نشر الغاز لخلق فراغ. ففي مضخة الانتشار، يتم تسخين الزيت بواسطة مسخن كهربائي إلى درجة حرارة الغليان. ثم يتم ضغط بخار هذا الزيت أثناء تحركه للأعلى في مخروط مجوف مستدق رأسياً. في الوقت نفسه، يخرج بخار الزيت من نوزلات موجودة اعلى المخروط المجوف. بخار الزيت الذي يخرج بسرعة كبيرة يقتنص الهواء ثم يصطدم بجدار مضخة الانتشار المبرد بالماء ثم يتحرك الى الأسفل. بعد ذلك يتم إطلاق الهواء المحبوس في أسفل مضخة الانتشار. وهذا يخلق الضغط التفاضلي في مضخة الانتشار. الضغط في الأعلى هو الحد الأدنى (الفراغ العالي) وفي الأسفل يكون الحد الأقصى (الفراغ المنخفض). من أسفل مضخة الانتشار يتم امتصاص الهواء بواسطة مضخة دوارة. الشكل (7-17) يوضح مضخة الانتشار.



الشكل (7-17) مضخة الانتشار

4- المضخة التوربينة الجزيئية (Turbomolecular pump): تستخدم المضخة التوربينية الجزيئية مجموعات من شفرات الغزل (Spinning blades) لتسريع سحب الغازات. يمكن للمضخة من تحقيق مستوى فراغ متوسط إلى فائق. ويتطلب الفراغ العالي معدلات دوران أسرع للشفرات ، لذلك يجب أن تعمل المضخات الجزيئية التوربينية بسرعات عالية للغاية. تستخدم بعض المضخات التوربينية الجزيئية محامل مغناطيسية لتقليل الاحتكاك وتلوث الزيت كما يجب تشغيل المضخات الجزيئية التوربينية بعناية لتجنب إدخال جزيئات أو أبخرة قابلة للتآكل. الشكل (7-18) يوضح المضخة التوربينة الجزيئية.



الشكل (7-18) المضخة التوربينة الجزيئية

7 – 7 العازلات

يصاحب النفط في أثناء خروجه من البئر غازات وشوائب ومياه، ولا يمكن استخدام النفط بحالته السائلة التي يستخرج بها من باطن الأرض، بل يجب معالجته من خلال فصل هذه الأشياء جزئيا في الحقل وكليا في معامل التكرير، التي يتم فيها تصنيع النفط الخام من خلال مجموعة من العمليات المعقدة لإنتاج مشتقات يمكن استعماله في مجالات عديدة، وبالتالي رفع القيمة الاقتصادية. تتم هذه العمليات في أجهزة تسمى العازلات او الفاصلات (Separators).

العازلة عبارة عن وعاء اسطواني افقي او عمودي واحيانا كروي بداخلة طبقات من الصفائح او العوارض التي تكون إما ثنائية أو ثلاثية الطور ويفصل بها الغاز عن النفط.

1-7-7 انواع العازلات

1- تقسم العازلات من حيث الشكل الى أفقية ، عمودية ، كروية.

2- تقسم العازلات من حيث الاطوار الى:

أ- ثنائية الطور

حيث ينفصل فيها المائع النفطي الى غاز ونفط خام ويتم تصريف الغاز من الجزء العلوي للعازلة والنفط الخام من اسفلها .

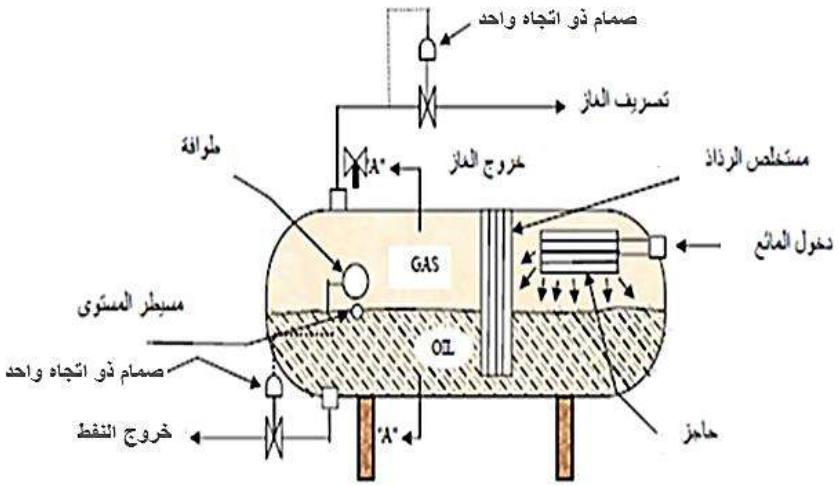
وتكون العازلة الأفقية اما :

1 - أحادية الأنابيب.

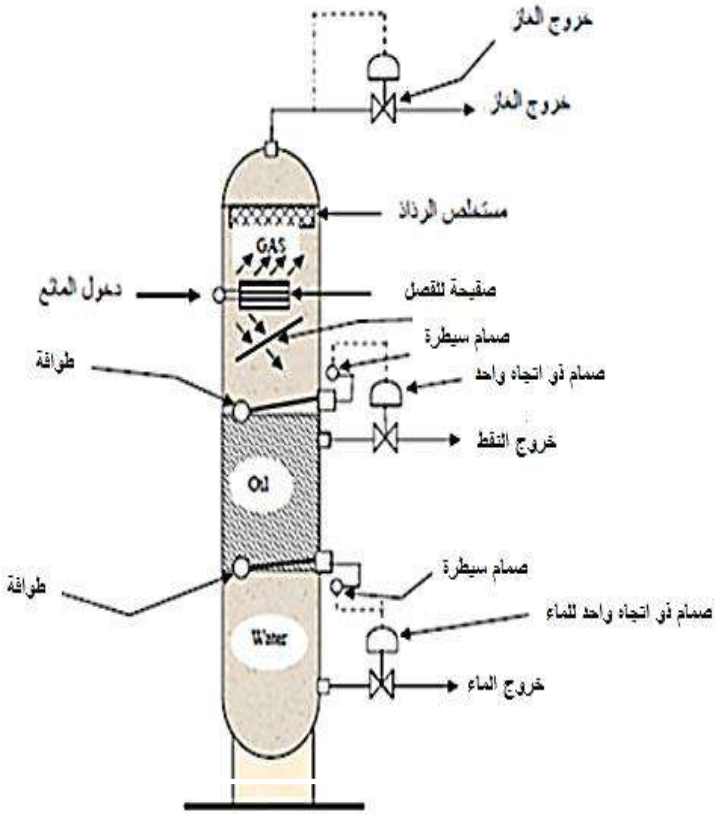
2 - مزدوجة الأنابيب.

ب- ثلاثية الطور .

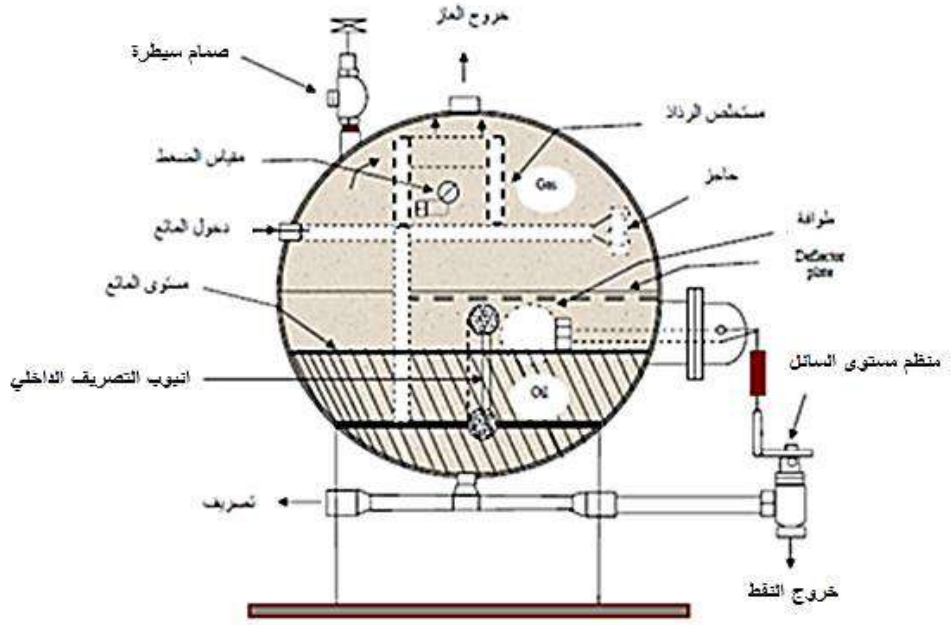
ينفصل فيها المائع النفطي الى غاز وسائل هايدروكاربوني وماء ويتم تصريف الغاز من اعلى العازلة اما السائل النفطي فيتم تصريفه من وسط العازلة ومن فتحة خاصة اما الماء فيتم تصريفه من اسفل العازلة .



شكل (7 - 19) عازلة ثنائية الطور - افقية



شكل (7 –20) عازلة ثلاثية الطور - عمودية



الشكل (7 – 21) عازلة كروية ثنائية الطور

7– 8 عمليات العزل

يتدفق النفط الخام من البئر بطورين سائل وغاز وتحت ضغط عال, ويكون قسم من الغاز حراً في حين يكون الجزء الآخر مذاباً في السائل، يجب تخفيض ضغط وسرعة تدفق النفط الخام للحصول على فصل مستقر.. وذلك من خلال أدخال النفط الى محطة العزل (عزل الغاز عن النفط) وتخفيض الضغط الى الضغط الجوي من خلال عدة مراحل من العزل.

تبعاً لمقدار تخفيض الضغط فأن بعض المركبات الهيدروكربونية الخفيفة في النفط ستفقد الى الغاز، لذا تعتبر محطة العزل هي المرحلة الأولى في سلسلة طويلة من المراحل لمعالجة النفط الخام وذلك للسماح للقسم الأكبر من الغاز للتحرر من هذه المركبات الهيدروكربونية الخفيفة وبالتالي زيادة استخلاص النفط.

أن النفط الذي يكون ذو نسبة غاز الى النفط عالية يجب أن يمر خلال العديد من مراحل العزل. تهدف عملية العزل لتحقيق ما يأتي :

1. عزل الغازات الخفيفة من النفط.
2. زيادة كفاءة استخلاص المركبات المتوسطة من النفط الخام.
3. البقاء على المكونات الثقيلة في النفط (الطور السائل).

7-8-1 محطات العزل

تعتبر محطات عزل الغاز الطبيعي أولى حلقات العملية الإنتاجية للنفط الخام عبر سلسلة طويلة من المراحل منذ لحظة خروجه من البئر ولحين خروج النفط والغاز الطبيعي عبر منافذ التصدير أو المنتجات الأخرى من المصافي أو معامل معالجة الغاز .

عند وصول النفط المنتج من البئر الى محطات عزل الغاز الطبيعي فانه يدخل على صمام لتحديد معدل الجريان وقبله صمام الاتجاه الواحد لمنع رجوع النفط بالاتجاه المعاكس مع وجود مقاييس ضغط قبل وبعد هذه الصمامات، بعدها يدخل النفط الخام الى مجمع الصمامات الذي يقوم بتوزيع النفط على العازلات وفقاً لإنتاجية كل بئر من النفط والغاز والسعة التشغيلية لكل عازلة

توجد بعض الاعتبارات التصميمية لمحطات العزل وكما يأتي :

1- وجود صمامات توقف اضطراري تقوم بإيقاف المحطة اضطراريا عند ورود اشارات معينة بالنسبة للنفط أو الماء التي تحدث عند صعود مستواهما الى ارتفاع عالي بالإضافة الى اشارة.
2- يجب الحفاظ على ضغط العازلة بين psi (50-60) وهو الضغط المثالي الذي يضمن عدم خسارة الغازات الخفيفة التي نخسرها في الضغوط العالية أو خسارة المكونات الثقيلة في النفط.
3- تتم السيطرة على ضغط العازلة من خلال التحكم بكمية الغاز الخارج منها، ويتحقق ذلك من خلال صمام سيطرة على الضغط يقوم بتنظيم الضغط من خلال تصريف الغاز الى محطة معالجة الغاز.
4- لزيادة الأمان يتم وضع صمام أمان تتم معايرته على ضغط معين وفقاً للنفط المعالج.

5- أن الماء الخارج من العازلة لا يكون نقياً 100% بل يحتوي على قطرات من النفط على شكل مستحلب لذا يرسل الى وحدة معالجة الماء ليتم عزل هذه القطيرات ، ويمكن بعدها حقنه في الآبار التي توقفت عن الإنتاج.

6 - كان النفط المنتج نفطاً رطباً يتم نقله الى محطة معالجة النفط الرطب .

7 - إذا كان حاوياً على غاز H_2S ينقل النفط الى وحدات معالجة النفط ليتم تخليصه من غاز H_2S والذي يسبب مشاكل تشغيلية مختلفة منها مشكلة التآكل بسبب تفاعله مع قطرات الماء الموجود في النفط مكوناً حامض الكبريتيك H_2SO_4.

8 - إذا كان النفط الخام المنتج لا يحتوي على الماء أو غاز H_2S ينقل مباشرةً الى منافذ التصدير.

9 - إذا كانت محطات معالجة الغاز بعيدة عن محطات عزل الغاز الطبيعي يتم نقل الغاز الى محطات كبس الغاز الطبيعي .

10 - يتم إزالة قطرات الماء من الغاز الطبيعي عبر إدخاله الى وحدات تجفيف الغاز الطبيعي حيث تتم معالجته من خلال تلامسه مع الكلايكول في برج تلامس .

تذهب نسبة معينة (قليلة) الى المشعل لغرض الحرق، وللأمان في حالات توقف نقل الغاز الى وحدات معالجة الغاز أو محطات الكبس لأي سبب كان.

9-7 العوامل المؤثرة على عملية العزل

1 - معدل تدفق النفط والغاز الطبيعي (الحد الأدنى – الحد الأعلى – المعدل).

2 - الضغط التشغيلي

3 - الحرارة التشغيلية .

4 - الخواص الفيزيائية للموائع مثل الكثافة والانضغاطية .

5 - الكفاءة التصميمية للعزل (على سبيل المثال: إزالة 100% من الجزيئات التي يزيد حجمها عن 10 Micron).

6 - وجود الشوائب مثل البارافين والرمل .. الخ.

7 - ميل النفط الخام الى تكوين الرغوة .

8 - ميل السائل الى أحداث التآكل.

عازلة الاختبار والعازلة الانتاجية

عازلة الاختبار: تستخدم لعزل وقياس الموائع الخارجة من البئر، ويمكن ان تكون عمودية او افقية او كروية، يمكن ان تكون بطورين أو ثلاثة أطوار، كما يمكن أن تكون ثابتة أو محمولة وتستعمل لاحتساب كميات النفط والغاز المنتج من البئر.

العازلة الانتاجية : تستعمل لعزل المائع المنتج الى أطواره، ويتراوح قطرها بين (30-12) قدم ، وارتفاع يتراوح بين (70-6) قدم.

العوامل المؤثرة على اختيار سعة العازلة

1- الحجم (القطر - الارتفاع) للعازلة.
2- تصميم وترتيب الأجزاء الداخلية للعازلة.
3- عدد مراحل العزل.
4- الضغط التشغيلي والحرارة التشغيلية.
5- الخواص الكيميائية والفيزيائية للموائع الخارجة من النفط (الوزن النوعي - اللزوجة - توازن الأطوار ..الخ).
6- نسبة الغاز الى النفط .
7- ميل النفط الى إحداث الرغوة.

7 – 10 أنواع العازلات

تصنيف العازلات حسب الشكل:

1 - عازلات عمودية .
2 - عازلات أفقية .
3 – عازلات كروية .

مقارنة بين العازلات الأفقية والعمودية:

الموضوع	العازلات الأفقية	العازلات العمودية
الضغط	محطات الضغط العالي	محطات الضغط الواطيء
معدل الجريان	معدلات الجريان العالية	معدلات الجريان العالية
نسبة الغاز الى النفط	أعلى	أقل
الحد الفاصل	بسبب توفيرها مساحة فصل أعلى فأنها تسرّع عملية الفصل لذا يكون تحرر الغازات أسهل	مساحة فصل قليلة لذا فهي غير مناسبة للتعامل مع الحد الفاصل
الحجم	أكبر	أقل
الكلفة	أقل	أكبر
السعة	أكبر	أقل
التعامل مع المواد الصلبة	أقل كفاءة	أكثر كفاءة
التعامل مع معدل تدفق متغير	أقل كفاءة	أكثر كفاءة
التعامل مع مستوى السائل	أقل كفاءة بسبب قلة ارتفاعها ،	أكثر كفاءة بسبب ارتفاعها
أعمال الصيانة	أسهل	أصعب
التعامل مع المستحلبات والرغوة	أكثر كفاءة	أقل كفاءة

تصنيف العازلات من حيث عدد الأطوار: حيث تقسم الى:
1 - عازلات ثنائية الطور
2 - ثلاثية الطور ويمكن استعمال العازلات العمودية والأفقية لكلا الغرضين.

تصنيف العازلات من حيث الضغط التشغيلي : حيث أن العازلات تعمل بضغط تشغيلي يتراوح بين 20-1500 psi ، ويمكن تصنيفها على أنها:
عازلات ضغط عالي (750-1500 psi) - عازلات ضغط متوسط (230-700psi) - عازلات ضغط واطئ (10-225 psi) .

7 - 11 عازلات الغاز من الناحية التصميمية

لقد شهد تصميم عازلات الغاز تطوراً كبيراً في العقدين الأخيرين ولكن تبقى هناك بعض الأمور التصميمية التي لا يمكن الحياد عنها لأنها تعتبر من الأمور البديهية في أغلب التصاميم وهذه الأمور هي:

أولا - الاستفادة من زخم الدخول :

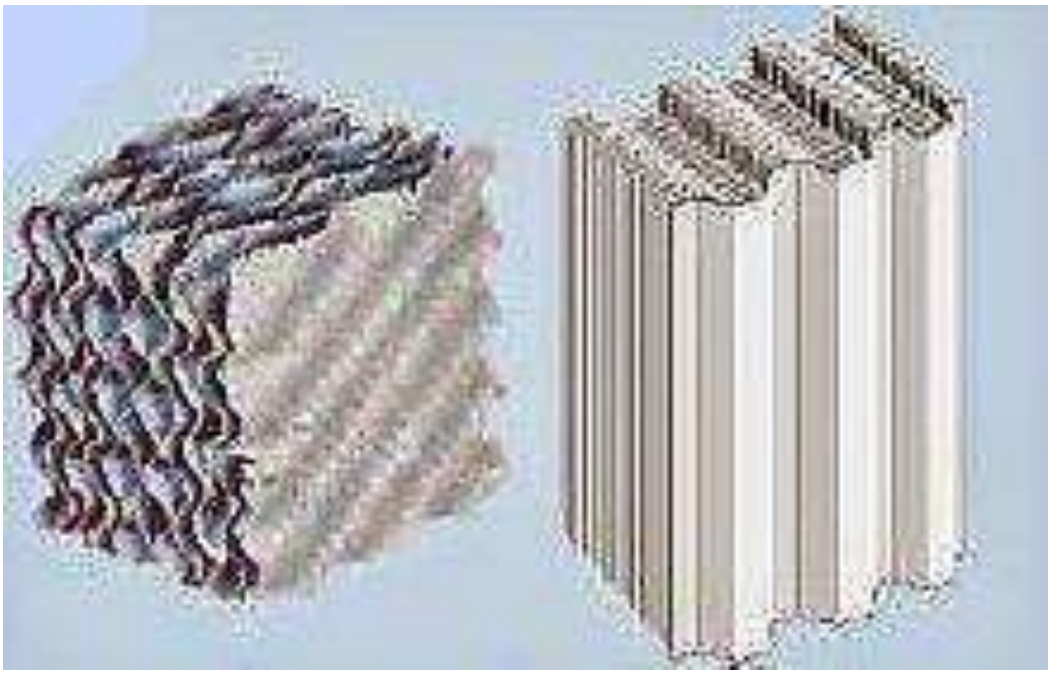
تستخدم أغلب العازلات تراكيب ميكانيكية لتغيير المسار وتقليل السرعة العالية للمائع الداخل تساعد في تحقيق عزل كبير بين السائل والغاز حيث أنها تشتت النفط بشكل يساعد على هروب الغاز من النفط. أما في العازلات الأفقية فهناك مجال واسع لاستخدام العديد من التراكيب مثل:

الصفائح – الرؤوس المقعرة، حيث أن أغلب هذه التراكيب تقوم بالسيطرة على السرعة والاتجاه الداخل من خلال تغيير مسار السائل وتشتيت طاقة المائع الداخل .

أن فائدة تراكيب الدخول في العازلة هي إحداث تغير مفاجئ في السرعة والاتجاه مما يؤدي (بالإضافة الى اختلاف الكثافة) الى عزل السائل.

ثانيا - مستخلص الرذاذ :

ويستعمل لاستخلاص قطرات النفط المحمولة مع الغاز ويتحقق ذلك من خلال استعمال شبكة سلكية ولكن عندما يكون النفط المعالج ثقيلاً أو يحتوي على الشمع تستبدل هذه الشبكة بريش ملتفّة ولكن جميع هذه الأنواع توضع بشكل عمودي على أتجاه التدفق حيث أن تدفق الغاز بشكل متعرج يساعد على عملية فصل القطرات وهي أقرب الى المصيدة في عملها.
ويصدف أحياناً وجود بعض قطرات السوائل في الغاز، لأن بعض الأبخرة القابلة للتكثف لا يمكن استخلاصها بواسطة مستخلص الرذاذ ويحصل هذا التكثف بسبب تقليل درجة الحرارة، أن وجود هذه الأبخرة المتكثفة لا يدل على عدم كفاءة العازلة لأنها تمتلك خصائص الغاز الطبيعي، وقد يحصل هذا التكثُف حال خروج الغاز من العازلة بسبب التغير في الضغط والحرارة.



شكل (7 - 22) الريش الملتفة

فيما ادناه ميكانيكية عمل مستخلص الرذاذ

1. الارتطام : أن ارتطام الغاز المحتوي على قطرات بسطح مستخلص الرذاذ، سيؤدي الى تماسك قطرات السائل وتجمعها على السطح وعند اندماجها ستكون على شكل قطرات كبيرة لتنزل الى مقطع تجميع السوائل.
2. التغير في أتجاه التدفق: في حالة تغير أتجاه جريان الغاز الحاوي على قطرات بشكل مفاجئ فأن القطرات سوف تستمر بالجريان بنفس الاتجاه بسبب الاستمرارية في حين يكون جريان الغاز بعيداً عن جريان هذه القطرات، حيث أن هذه القطرات ستتجمع على السطح ومن ثم تسقط في قسم تجميع السوائل.
3. التغير في سرعة الجريان: أن التغيير في سرعة الغاز يسبب تجمع قطرات السائل على سطح مستخلص الرذاذ مما يؤدي الى سقوط القطرات الى مقطع تجميع السوائل.
4. القوة الطاردة المركزية : عند جريان الغاز الحاوي على قطرات النفط بشكل دوراني وبسرعة عالية فأن القوة الطاردة المركزية سترمي قطرات السائل بعيداً باتجاه جدران العازلة. مما يؤدي الى تصادم هذه القطرات وتجمعها في قطرات كبيرة ونزولها الى مقطع تصريف السوائل. أن القوة الطاردة المركزية هي من أكثر الطرق فاعليةً في عزل قطرات السوائل من الغاز، وتزداد كفاءتها بزيادة سرعة الغاز الداخل.

ثالثا - مانعات التموج

ويتم استعمالها بالذات في العازلات الأفقية حيث هناك احتمال لحصول تموجات في الحد الفاصل بين النفط والغاز مما يؤدي الى تقلبات في مستوى السائل وبالتالي التأثير على أداء مسيطر المستوى ولتجنب هذه الحالة يتم تركيب مانعات التموج الذي يكون عبارة عن تراكيب ميكانيكية على شكل موانع عمودية على اتجاه الجريان.

رابعا - زمن بقاء السائل (زمن المكوث)

يتم أخذ هذا الأمر في العازلات ثلاثية الطور كي يتسنى للماء والنفط أن ينفصلا عن بعضهما بطريقة فرق الكثافة. وتستخدم العديد من التراكيب على زمن بقاء هذه السوائل في العازلة ويتأثر زمن البقاء بالعديد من العوامل مثل: الكثافة النسبية للنفط ودرجة الحرارة التشغيلية. وفي حال الرغبة في زيادة زمن المكوث فهذا يتطلب زيادة حجم العازلة أو زيادة منطقة السائل.

خامسا – الحرارة

أن الحرارة تؤدي الى تقليل الشد السطحي ولزوجة النفط مما يساعد على تحرر الغاز، واكثر الطرق فاعلية هي تسخين النفط من خلال امراره خلال حمام مائي، كما تساعد الحرارة على إزالة فقاعات الرغوة، وتستخدم المسخنات غير المباشرة أو المبادلات الحرارية.

جدول (7-2) ترجمة و تعريف الكلمات الواردة في الفصل

ت	الكلمة / العبارة	الترجمة	ت	الكلمة / العبارة	الترجمة
1	Chamber	غرفة	20	Baffles	قواطع
2	Backing pump	مضخة مساعدة	21	Cold cap	غطاء بارد
3	Stator blades	ريش الجزءالثابت	22	Cooling lines	خطوط التبريد
4	Turbine blades	ريش التوربين	23	Relief valve	صمام تنفيس السائل
5	Inlet	دخول	24	Refill valve	صمام املاء السائل
6	Outlet	خروج	25	Hydraulic fluid	مائع (سائل) هيدروليكي
7	Heater	مسخن	26	Plunger	كباس
8	Suction	سحب	27	Air-bleed valve	صمام تنفيس الهواء
9	Discharge	طرد	28	Reservoir	خزان
10	Carbon brush	فرشاة كربونية	29	Intake	مأخذ
11	Path of motion	مسار الحركة	30	Control gate	بوابة السيطرة
12	Dam	سد	31	Penstock	
13	Coil rotated by mechanical mean	ملف مدور بوسيلة ميكانيكية	32	Reciprocating motion	حركة ترددية
14	Inside a hydropower plant	داخل مصنع قدرة مائية	33	Direction of force	اتجاه القوة
15	Power house	بيت القدرة	34	Current	تيار
16	Outflow	التدفق الخارج	35	Power lines	خطوط القدرة
17	Transformer	محولة	36	Turbine	توربين
18	Excitation		37	3-phase supply	تجهيز ثلاثي الطور
19	Pole	قطب	38	Compressor housin	غلاف الضاغط

أسئلة الفصل السابع

س 1 : عدد الفروقات الرئيسية بين المضخة الطاردة المركزية (المرحلة الواحدة والعديدة المراحل), لهما نفس قطر البشارة؟

س 2 : عرف الضاغطات وماهي مميزاتة؟

س 3 :اذكر انواع المحركات الكهربائية واشرح مبدأ عمل محرك التيار المتناوب موضحا ذلك بمخطط بسيط؟

س 4 : اذكر اهمية المولدات الكهربائية، وعدد اجزائها الرئيسية مع شرح مبادئ عملها؟

س 5 : عدد انواع العازلات ؟

س 6 : عدد انواع اجهزة تخلخل الضغط واشرح مبدأ عمل جهاز التخلخل العالي جدا, مع رسم مخطط الجهاز؟

س 7 : قارن بين العازلات الافقية والعمودية ، واذكر ايهما افضل في عمليات العزل ؟

س 8 : عرف العازلة ؟ وما الهدف من عملية العزل ؟

س 9 : اذكر اهداف ومراحل إعادة تكرير زيوت التزييت المستعملة ؟

س 10 : عرف المضافات ؟ ثم اذكر تصنيفها ؟

س11: ماالمقصود بمستخلص الرذاذ؟ وما هي ميكانيكية عملة؟