



الوقود والزيوت المعدنية



السنة: الثالثة

قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة

الاختصاص: هندسة السيارات



منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الوقود والزيوت المعدنية

الدكتور المهندس

نائر فواز سلام

مدرس في قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة





الفهرس

CONTENT

رقم الصفحة	الموضوع
9	المقدمة
13	الفصل الأول: الوقود
13	مقدمة
14	تصنيف الوقود
15	تركيب الوقود
17	خواص الوقود
20	الكتل المختلفة للوقود
23	احتراق الوقود والقيمة الحرارية
52	الوقود العياري والوقود المكافئ
57	الفصل الثاني: الوقود الصلب
57	مقدمة
58	1-2- تصنيف الفحم الحجري
62	2-2- إنتاج الفحم الحجري
66	3-2- أشكال الفحم الحجري
67	4-2- تحليل الفحم الحجري
70	5-2- الوقود الصلب المصنع (الصناعي)
71	6-2- معايير استخدام الوقود الصلب
72	7-2- استعمالات الفحم الحجري
75	8-2- تخزين الفحم الحجري
81	الفصل الثالث: الوقود السائل (النفط ومشتقاته)

81	مقدمة
82	3-1- استخراج النفط
84	3-2- تصنيف النفط
85	3-3- الخواص الكيميائية للنفط
93	3-4- الخواص الفيزيائية للنفط
108	3-5- الخواص الكهربائية
108	3-6- الخواص الضوئية
109	3-7- تحضير النفط لعملية التكرير
117	3-8- فرز النفط في الحقول والمصانع
118	3-9- تقطير النفط الخام
134	3-10- إنتاج المحروقات في المصافي
144	3-11- تصنيف الوقود الناتج عن تكرير النفط
168	3-12- تخزين وتداول الوقود السائل ومراقبته
181	3-13- أنواع الوقود السائل الأخرى
189	الفصل الرابع: الوقود الغازي
189	مقدمة
190	4-1- أنواع الوقود الغازي
203	4-2- الحسابات المتعلقة بالغاز
208	4-3- طرائق تحديد تركيب الغازات الهيدروكربونية
211	4-4- تصفية الغازات الهيدروكربونية وتنقيتها
213	4-5- استخدام الوقود الغازي كبديل في وسائط النقل
223	الفصل الخامس: الزيوت المعدنية
223	مقدمة

224	5-1 أشكال وأنماط التزييت
228	5-2 وظائف الزيوت
239	5-3 خواص الزيوت
247	5-4 تصنيع زيوت التزييت
253	5-5 تنقية الزيوت
260	5-6 تحسين جودة الزيوت باستخدام الإضافات المناسبة
265	5-7 الحصول على الزيوت التجارية
266	5-8 تجديد الزيوت المستهلكة ومعالجتها
270	5-9 أنواع الزيوت
292	5-10 تحديد صلاحية الزيوت المعدنية واختبارها
297	الفصل السادس: الشحوم
297	مقدمة
299	6-1 تصنيف الشحوم
301	6-2 تصنيع الشحوم
306	6-3 الخواص الفيزيائية والكيميائية للشحوم
312	6-4 تخزين وتداول الزيوت والشحوم
320	6-5 التوزيع والصرف
322	6-6 قواعد الأمن الصناعي
325	دليل المصطلحات العلمية
339	المراجع العربية
341	المراجع الأجنبية



المقدمة

INTRODUCTION

يعد الوقود الطبيعي العادي بأنواعه الصلب والسائل والغازي أحد أهم مصادر الطاقة التي استخدمها ويستخدمها الإنسان، رغم اهتمامه بالطاقات البديلة والمتجددة، لتأمين احتياجاته المتزايدة من الطاقة. ولا زالت الطاقة الكيميائية للوقود هي المصدر الأساسي للحصول على الحرارة اللازمة لتلبية تلك الاحتياجات.

إن التطور المتسارع في الصناعة النفطية مع التطور الاقتصادي للبلدان جعل دور الوقود ينمو باستمرار، ذلك أن التقدم التقني وآليات تحقيقه يستوجب زيادة مستمرة في الحاجة للطاقة.

كما أن تطور الصناعة عامة ووسائل النقل خاصة وغيرها من نواحي الحياة، يتطلب كميات كبيرة من الوقود خاصة السائل منه، بالإضافة إلى مواد التزليق (زيوت، شحوم) التي لا يمكن الاستغناء عنها. حيث يستهلك منها يوميا "مئات الآلاف من الأطنان في كافة أنحاء العالم.

إن نوعية المواد المستخدمة من الوقود والزيوت والشحوم وطريقة استعمالها واستهلاكها الصحيح يؤثر بشكل مباشر في أداء مختلف الآليات والمحركات والآلات، كما ويحسن مردودها.

لذلك فإن معالجة المسائل التي تتعلق بالوقود والزيوت المعدنية تحتاج إلى دراية واطلاع قد لا تتوفر لدى الكثير من المهندسين، خصوصا وأن المعلومات المتعلقة بهذا الموضوع تنتشر في كتب ومراجع ونشرات متفرقة، يحتاج جمعها والربط بينها إلى الكثير من الجهد والوقت. لهذا تم وضع هذا الكتاب الذي يحتوي على المعلومات الضرورية لتكوين أرضية علمية في هذا المجال ذات نفع مباشر وفائدة كبيرة.

يُدرّس هذا الكتاب في جامعة دمشق - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، خلال فصل دراسي واحد فقط، وبمعدل أربع ساعات أسبوعياً (2 نظري + 2 عملي). لذلك تمّ وضعه ليُلبي هذه الحاجة كما ونوعاً.

يتألف الكتاب من ستة فصول، يعتبر الفصل الأول منها مقدمة ضرورية للتعريف بالوقود التقليدي واستخدامه وخواصه ومواصفاته بالإضافة إلى عمليات احتراق الوقود وطرق حساب منتجات الاحتراق والقيمة الحرارية لأنواع الوقود المختلفة.

يستعرض الفصل الثاني حتى الفصل الرابع الأنواع المختلفة من الوقود التقليدي ودراسة خواصها ومواصفاتها وطرق معالجتها وتحسين جودتها.

أما في الفصلين الخامس والسادس فيتم التعرف على مواد التزليق (الزيوت والشحوم)، استخراجها وخواصها ومواصفاتها وتركيبها وظروف عملها.

ولقد تمّ تعريب المصطلحات العلمية باستخدام أنسب الكلمات العربية التي توضح المعنى المقصود باللغة الانجليزية. كما تمّ وضع المصطلحات الأجنبية إلى جانب معناها بالعربية حتى يتسنى للقارئ الرجوع إلى المراجع الأجنبية.

إنني أضع هذا الكتاب للمهتمين بهذا المجال، وبين أيدي طلابنا ليكون عوناً لهم، راجياً من الله أن يكون عملي هذا مساهمة متواضعة في إعداد الكوادر الهندسية المؤهلة تأهيلاً جيداً.

دمشق 2018 م

الدكتور المهندس

ثائر فوزان سلام

الفصل الأول الوقود

مقدمة

- 1-1- تصنيف الوقود
- 1-2- تركيب الوقود
- 1-3- خواص الوقود
- 1-4- الكتل المختلفة للوقود
- 1-5- احتراق الوقود والقيمة الحرارية
- 1-6- الوقود العياري والوقود المكافئ



الفصل الأول

الوقود

FUEL

مقدمة Introduction:

الوقود هو المواد القابلة للاحتراق، والتي تعطي عند احتراقها طاقة حرارية، يمكن استخدامها للأغراض التقنية، والاقتصادية المختلفة. ولكن هذه المواد كثيرة في الطبيعة، ولكي تسمى وقوداً يجب أن تتوفر في الطبيعة بكميات كبيرة، وأن تحترق بمرود حراري عالٍ، وأن لا تترك نواتج احتراق ضارة بالبيئة. لهذا يتصدر الوقود العضوي (الفحم الحجري، والنفط والغاز الطبيعي) قائمة المصادر المختلفة للطاقة حيث يشكل حوالي 80% من مجموع مصادر الطاقة المستخدمة في العالم وذلك بالرغم من وجود الوقود النووي واتساع نطاق استخدام الوقود الحيوي في الآونة الأخيرة.

يعتقد الكثير من العلماء أن الوقود العضوي قد تكوّن من مواد عضوية نباتية وكائنات مجهرية عاشت على سطح الأرض منذ ملايين السنين، ففي تلك الفترة نمت وتطورت الغابات المستنقعية الضخمة في جو حار ورطب مناسب لنمو النباتات الضخمة جداً. ثم هبط بعد ذلك سطح هذه الغابات وانطمرت وتخمّرت في جو خال من الأكسجين. ثم تحولت البقايا العضوية مشكلة ثروات طبيعية قابلة للاحتراق من صف الهيوموليت. أما البقايا العضوية المتراكمة في قاع المحيطات فقد تشكّلت بشكل رئيسي نتيجة التفكك الحراري للكائنات وحيدة الخلية، حيث تعرضت للتحويل بظروف الانعدام التام للأوكسجين وتشكل ما يسمى بالطمي المتعفن. هذا وينتمي كل من الخشب وأغلب الفحوم الطبيعية إلى الهيوموليت بينما ينتمي النفط والغاز الطبيعي وبعض الفحوم النادرة إلى الطمي المتعفن.

1-1 - تصنيف الوقود Classification of Fuel:

يصنف الوقود بحسب حالته الفيزيائية إلى وقود صلب، وسائل، وغازي وبحسب طريقة استخراجة إلى وقود طبيعي وصناعي. ويستخرج الوقود الصناعي من الوقود الطبيعي بطريقة تحويل فيزيائية ميكانيكية أو فيزيائية كيميائية.

ويصنف أيضاً وبحسب طريقة الاستخدام إلى وقود الطاقة الذي يستعمل للحصول على الطاقة الحرارية والوقود التقني المستخدم للأهداف الخاصة حيث يخضع الوقود لمعالجة تقنية لاستخلاص المواد القيمة منه التي يمكن استخدامها كمادة خام للصناعات الكيميائية، وتستخدم المواد الباقية كوقود حراري لاستخلاص الطاقة. ويبين الجدول (1-1) التصنيف العام لأنواع الوقود.

الجدول (1-1):

الوقود الطبيعي

الصلب	الوسائل	الغازي
الحطب والخشب	النفط	الغاز الطبيعي
الفحم الحجري بأنواعه		الغاز المرافق للنفط
المختلفة وغيرها		

الوقود الصناعي

الصلب	الوسائل	الغازي
فحم الكوك بأنواعه	البنزين، الكيروسين	الغاز المضغوط و الغاز المسيل
الأنتراسيت الحراري،	وقود الديزل، وقود	من عملية تكرير النفط
الوقود الناعم (المسحوق)	المراحل وغيرها	غاز الكوك، الغاز المائي، غاز
وغیرها		التوليد وغيرها

1-2- تركيب الوقود Composition of Fuel:

يتألف الوقود من كتلتين أساسية وثنائية: الكتلة الأساسية، التي تشتعل وتعطي الطاقة الحرارية والكتلة الأخرى مؤلفة من مواد غير قابلة للاشتعال. تتألف الكتلة الرئيسية في مختلف أنواع الوقود من خمسة عناصر هي:

الكربون C، والهيدروجين H، والكبريت S، والأوكسجين O، والآزوت N. علماً بأن العنصرين الأخيرين لا يشتركان في عملية الاحتراق وبالتالي ليس لهما أي قيمة بالتأثير الحراري. أما الكتلة الثانوية فتتألف بالنسبة للوقود الصلب والسائل من الرطوبة (بخار الماء) والشوائب الطبيعية الأخرى. ويحدد تركيب الوقود الصلب والسائل بالنسبة المئوية الكتلية، والوقود الغازي بالنسب المئوية الحجمية.

- **الكربون:** وهو العنصر الأهم في الكتلة الأساسية القابلة للاشتعال في تركيب الوقود وتكون نسبة وجوده 50% وتصل إلى 98% وتتأرجح نسبة وجوده:

في الحطب والأخشاب 50-60%، الفحم الحجري 60-90%، الأنتراسيت 92-98%، وقود الديزل 87%، البنزين 85%، الغاز الطبيعي 75%.

ينتج عند الاحتراق الكامل لـ 1 كغ من الكربون 33300 ك جول. وكلما ازدادت نسبته في الوقود ازدادت كمية الحرارة الناتجة عن احتراقه، هذا وتؤدي زيادته في الوقود الصلب إلى صعوبة احتراقه من جهة وإلى احتراقه دون السنة لهب.

- **الهيدروجين:** ويعد العنصر الثاني بأهميته في تركيب الوقود ونسبة وجوده في الأنتراسيت 1-3%، الفحم الحجري العادي 4-6%، الحطب والأخشاب 6%، وقود الديزل 13%، البنزين 15%، الغاز الطبيعي 25%.

يتشكل عند احتراق الهيدروجين بخار الماء، وتنتج كمية من الحرارة تساوي (118000-139000 ك. جول) وذلك عند احتراق 1 كغ هيدروجين، وتبعاً لحالة البخار الناتج (سائلاً أو غازاً).

يرفع الهيدروجين من الحرارة النوعية لاحتراق الوقود، ويرفع من نسبة المواد المتطايرة منه بالتسخين عند انعدام الهواء.

- **الأوكسجين:** وهو العنصر الذي يدخل في تركيب الوقود دائماً ويستحسن عدم وجوده نظراً لأن وجوده يقلل من كتلة الجزء القابل للاشتعال من الوقود. وتختلف نسبة وجود الأوكسجين في الوقود من (0 - 42%)، حيث تزداد نسبته في الوقود ذي الأصل النباتي وفي الأنواع الحديثة من الوقود المستخرج، وتقل نسبته في الفحم الحجري ولاسيما في الأنتراسيت.

تؤدي زيادة الأوكسجين في الوقود الصلب إلى الاشتعال السهل وبخاصة عند وجود مواد متطايرة في تركيبه.

أما الوقود السائل المقطر فلا يحتوي على أوكسجين عملياً، رغم وجوده بكميات قليلة في بنية النفط الخام. ويحتوي الغاز الطبيعي على نسبة ضئيلة جداً من الأوكسجين.

- **الآزوت:** وهو العنصر الحيادي الذي يدخل في تركيب الوقود ولا يشارك في عملية الاحتراق. ويحتوي الوقود الصلب والسائل على نسبة ضئيلة من الآزوت (0.3-2%) ولهذا لا يؤثر في الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود. وتحتوي بعض أنواع الغاز الطبيعي على كميات كبيرة من الآزوت مما يؤدي إلى تدهور نوعية هذا الوقود.

- **الكبريت:** يحتوي الوقود الصلب على الكبريت بثلاثة أشكال، عضوي، وكبريتات، ومع اتحادات الحديد.

الكبريت العضوي يدخل في بنية الاتحادات العضوية المعقدة المكونة للوقود ويحترق هذا النوع مع الوقود ويشكل غاز الكبريت وينتج طاقة حرارية 8970 ك. جول لـ 1 كغ كبريتاً. والكبريت الذي يدخل في اتحاد الحديد وغيره، يحترق أيضاً ويشكل غاز الكبريت، وأكاسيد الحديد ويعطي حرارة تساوي 12500 ك.جول لـ 1 كغ

من الكبريت. لهذا يعد هذا النوع من الكبريت الذي يحترق، جزءاً من تركيب الوقود الصلب والسائل القابل للاشتعال والذي يعطي وسطياً من الحرارة ما يعادل 10700 ك.جول لـ 1 كغ من الكبريت.

أما الكبريتات فلا تشارك عملياً في الاحتراق وتعد جزءاً من النفايات أو الرماد الذي يبقى بعد عملية الاحتراق ويترسب إلى الأسفل.

تتراوح نسبة الكبريت في الفحم الحجري من 6-7% ويتواجد الكبريت في الوقود السائل بشكل حر أو بشكل اتحادات عضوية وتتراوح نسبته من (0,1-5%) في النفط الخام. ويحتوي الوقود الغازي على الكبريت بشكل كبريت الهيدروجين H_2S وغاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وغيرها. هذا ويؤدي وجود الكبريت في الوقود إلى تدهور قيمته ونوعيته لاسيما الوقود التقني بسبب تأثيره الكبير في ظاهرة تكوين الصدأ في الأجهزة والمعدات التي تستخدمه.

1-3- خواص الوقود Fuel Properties:

تختلف خواص الوقود الرئيسية باختلاف نسبة وجود العناصر الداخلة في تركيبه وهذه الخواص هي:

1-3-1- تفكك المواد الخفيفة وتطايرها:

عند تسخين الوقود الصلب في ظل انعدام الهواء، يتعرض للتفكك وتتشكل نواتج غازية تسمى المواد المتطايرة الخفيفة. منها المواد القابلة للاشتعال كـ Co أول أكسيد الكربون، و H_2 الهيدروجين، والهيدروكربونات المختلفة، ومواد لا تحترق كالآزوت N_2 والأكسجين O_2 وبخار الماء كذلك وغيرها. إن هذه المواد وكميتها تؤثر بشكل فعال على بدء عمليات الاحتراق وتطورها، فعندما تزداد كمية هذه المواد تسهل عملية احتراق الوقود، وتكبر ألسنة اللهب. ويحدث الاحتراق فوق طبقة

الوقود. وعندما تنخفض كمية المواد الخفيفة، تصعب عملية الاحتراق، ويحدث الاحتراق مباشرة في طبقة الوقود.

تتراوح نسبة المواد الخفيفة في الأنتراسيت من 2-9% وفي الفحم العادي من 40-60%.

1-3-2- التفحم:

عند تسخين الوقود الصلب بمعزل عن الهواء كما سبق وذكرنا يتفكك وتتشكل المواد المتطايرة والخفيفة ويطرسب كذلك فحم الكوك.

إن شكل الكوك الخارجي ومتانته يدلان على خاصية التفحم لهذا النوع من الوقود أو ذاك. عندما يعطي الوقود الصلب كوكاً متيناً ومقاوماً يكون الوقود ذا درجة عالية من التفحم. وعندما يكون الكوك الناتج ضعيف البنية يكون الوقود ذا درجة ضعيفة من التفحم وعندما يتكون كوك ناعم ودقيق، يعني أن الوقود لا يتمتع بخاصية التفحم.

تحدد نسبة المواد الخفيفة بتسخين عينة ناعمة من الوقود في وعاء من الصيني مغلق بإحكام، في فرن كهربائي درجة حرارته 850 درجة مئوية خلال 7 دقائق. وتحسب بمقدار النسبة المئوية من وزن العينة، وينسب إلى الكتلة القابلة للاشتعال عادة. وتحسب درجة التفحم للوقود الصلب بمقدار سماكة الطبقة الناتجة من التسخين بالميليمتر. ومن معرفة ظاهرة التفحم للوقود يمكن تحديد طريقة الاشتعال لأنواع الوقود الصلب ويمكن الاعتماد على تجربة تحديد المواد الخفيفة في الوقود في معرفة خاصية التفحم فيه وذلك من الشكل الخارجي ومتانة الكوك الناتج.

1-3-3- نسبة الشوائب المعدنية والنفايات والرماد:

تحتوي كل أنواع الوقود ما عدا الغاز الطبيعي والسائل الخفيف المقطر جيداً، على شوائب معدنية.

تقسم هذه الشوائب الموجودة في الوقود الصلب إلى نوعين، داخلية (متحدة) وخارجية عالقة (حرة). تتحد الشوائب الداخلية مع البنية العضوية للوقود، ولا يمكن التخلص منها عند إغناء الوقود، بينما يمكن التخلص من الشوائب العالقة الحرة.

أما بالنسبة للشوائب الموجودة في الوقود السائل فهي أملاح مختلفة، منحلة في الماء وتصل إلى النفط أثناء استخراجه. ويمكن أن توجد في الوقود السائل الشوائب الناتجة عن صدأ الأنابيب والصهاريج وخزانات النفط، والشوائب الناتجة عن عمليات التنقية الحمضية والقلوية لمشتقات النفط ويمكن أن تبلغ نسبة هذه الشوائب في الوقود السائل من 0,5 إلى 1%.

تتعرض الشوائب المعدنية أثناء الاحتراق، وتحت تأثير الحرارة العالية إلى تغيرات متعددة. وتسمى البواقي غير المحترقة منها الرماد أو الخبث، التي تؤدي إلى تخفيض نوعية الوقود الحرارية وجودتها.

يتألف الرماد والنفائات عادة من مواد مختلفة أبرزها $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ والتي تتصف بارتفاع درجة حرارة الانصهار وتتراوح بين 1200 و 1400⁰ م أو أعلى من ذلك أو أقل. ويصنف الرماد تبعاً لذلك إلى ثلاثة أنواع: منخفض الانصهار أقل من 1200⁰ م وعالي الانصهار أعلى من 1400⁰ م ومتوسط الانصهار بين (1200-1400⁰ م). حيث يشكل النوع الأول عند الاحتراق رواسب قاسية بشكل طبقات، تؤثر في عملية الاحتراق فيما بعد. أما الأنواع الأخرى فتشكل مواد يسهل التخلص منها، ويمكن استخدام هذه النواتج كمواد خام في البناء.

تبلغ نسبة الرماد والنفائات في الفحم الحجري 25% أو أكثر. وهذا ما يعقد عمل المراجل البخارية، ويستدعي زيادة الاهتمام عند استخدامه في المراجل البخارية الضخمة لمحطات الطاقة الكهربائية وفي الصناعات الثقيلة.

تحسب نسبة الرماد بتسخين عينة من الوقود إلى درجة 800⁰ م وتحسب النسبة المئوية من وزن العينة.

1-3-4 - نسبة بخار الماء (الرطوبة):

يعد بخار الماء مادة غير مرغوب فيها، ويستهلك عندما يتبخر جزء من الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق. ويؤدي بخار الماء إلى تباطؤ عملية الاحتراق، وتخفيض درجة حرارتها.

ويوجد بخار الماء في الوقود بشكلين إما بخار داخلي أو خارجي، ويصل البخار الخارجي إلى الوقود عند استخراجها ونقله وتخزينه، ويمكن التخلص منه بسهولة بعملية التجفيف. أما البخار الداخلي الذي يتحد عضوياً مع بنية الوقود والشوائب المعدنية الموجودة فيه فيصعب التخلص منه.

يحتوي الوقود السائل على بخار خارجي فقط بصورة قطرات دقيقة أو بشكل مستحلب (خليط مع السائل). تبلغ نسبة البخار في الوقود السائل نسبة 1% أو أقل من ذلك. وحتى 30% أو أكثر في الوقود الصلب. ويمكن تحديد نسبة الرطوبة مخبرياً بتجفيف عينة من الوقود الصلب إلى الدرجة 105-110 مئوية بحيث تكون نسبة الرطوبة متوازنة بين العينة والوسط المحيط (60% عادة) ودرجة الحرارة $20 \pm$ م⁰⁵. وتحسب النسبة المئوية بعد عملية التجفيف.

1-4 - الكتل المختلفة للوقود Different Fuel Masses:

وفقاً للتركيب العنصري للوقود، تعتمد المفاهيم التالية لكتل الوقود:

- الكتلة الفعلية (العملية) - الكتلة الجافة - الكتلة القابلة للاشتعال - الكتلة العضوية.

يسمى الوقود المستخرج من باطن الأرض والذي يستخدم بشكله الطبيعي الوقود العملي (الفعلي) ويدخل في تركيبه: الكربون C، الهيدروجين H، الأكسجين O، الأزوت N، الكبريت S، الرطوبة W، والشوائب المعدنية (الأملح) A. ويرمز لتركيبه بالمعادلة التالية:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + W^p + A^p = 100\%$$

حيث S^p - نسبة الكبريت المتطاير .

وعند تجفيف هذا الوقود إلى درجة 105° مئوية للتخلص من البخار العالق الموجود يصبح تركيب الوقود الجاف الناتج كما يلي:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S_c^c + A^c + W^c = 100\%$$

وعند وجود البخار الداخلي العضوي فقط في تركيب الوقود تصبح المعادلة كما يلي:

$$C^o + H^o + O^o + N^o + S_c^o + A^o + W^o = 100\%$$

والوقود الخالي من البخار والشوائب الأخرى (الرماد والنفايات) يسمى الوقود القابل للاشتعال ومعادلته:

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100\%$$

وينتج الوقود العضوي بعد استخلاص الكبريت والبخار والشوائب وتصبح معادلته كما يلي:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%$$

أكثر التراكيب استقراراً هو تركيب الوقود القابل للاشتعال. وهذا ما تعطيه الجداول دائماً. وعند إجراء الحسابات الحرارية التقنية يجب استخدام تركيب الوقود الموافق للكتلة العملية (الفعلية).

تعطي المعادلات التالية التركيب العنصري للوقود في الحالات المختلفة وتسمح لنا بعد معرفة عينة تحليلية بحساب العناصر الداخلة في تركيب كل من الكتل السابقة بوساطة علاقات بسيطة وذلك كما يلي:

- لحساب الوقود الفعلي (العملي):

$$X^p = X^A \frac{100 - w'^p}{100 - w'^A}$$

حيث X^p - أي عنصر من تركيب الوقود العملي.

X^A - أي عنصر من تركيب العينة التحليلية.

- ولحساب الوقود الجاف:

$$X^c = X^d \frac{100}{100 - w^d}$$

حيث X^c - أي عنصر من الوقود الجاف.

- لحساب الوقود القابل للاشتعال:

$$X^r = X^d \frac{100}{100 - w^d - A^d}$$

حيث X^r - أي عنصر من الوقود القابل للاشتعال.

- ولحساب الوقود العضوي:

$$X^o = X^d \frac{100}{100 - w^d - A^d - S^d}$$

حيث X^o - أي عنصر من الكتلة العضوية.

مثال (1):

عند تحليل عينة من المازوت الثقيل (وقود المراحل) تم الحصول على

المعطيات التالية:

$$C^A = 84.5\%; \quad H^A = 11.2\%; \quad (N^A + O^A) = 0.5\%; \quad S^A = 3.5\%; \quad A^A = 0.3\%$$

والرطوبة في الوقود العملي $W^P = 2\%$. والمطلوب تحديد تركيب الوقود العملي .

الحل:

$$C^P = 84.5 \frac{100 - 2}{100} = 82.81\%$$

$$H^P = 11.2 \times 0.98 = 10.98\%$$

$$N^P + O^P = 0.5 \times 0.98 = 0.49\%; \quad S^P = 3.5 \times 0.98 = 3.43\%$$

$$A^P = 0.3 \times 0.98 = 0.29\%$$

وللتأكد من أن القيم صحيحة يجب أن يكون مجموع النسب التي تم الحصول

عليها للوقود العملي مع نسبة ما يحتويه من الرطوبة مساوياً للمئة.

نكتب: $100\% = 2 + 0.29 + 3.43 + 0.49 + 10.98 + 82.81$ أي الحساب صحيح.

1-5- احتراق الوقود والقيمة الحرارية & Fuel Combustion :Heating Value

- عملية الاحتراق combustion process:

يمكن تعريف الاحتراق على أنه الأكسدة السريعة للوقود وتحت درجة حرارة عالية، أو هو عملية تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود إلى طاقة حرارية، يتم استخدام هذه الطاقة في أغراض متعددة (تدفئة، تحويلها إلى طاقة ميكانيكية في محركات الاحتراق الداخلي....). وحيث أن الوقود المستخدم حالياً يحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين، لذلك يتضمن الاحتراق أكسدة الكربون إلى أول أو ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين إلى بخار الماء. يتم الاحتراق عادة والوقود في الحالة الغازية ما عدا الفحم الحجري، وحتى في هذه الحالة يكون الأوكسجين ومخلفات الحرق في الحالة الغازية ويبقى الكربون في حالة صلبة.

وحتى نحصل على أعظم قدر من الحرارة الناتجة عن الاحتراق لا بد من توافر الشرطين التاليين:

- أن يكون احتراق الوقود كاملاً
- أن يستعمل للاحتراق الحد الأدنى اللازم من الهواء

هذا وإن الاحتراق يمكن أن يكون تابعاً لإحدى الحالات التالية:

1- عندما يكون الاحتراق كاملاً وشروطه صحيحة وتستعمل الكمية المطلوبة من الهواء دون زيادة أو نقصان، عندئذ تقتصر نواتج الاحتراق على الأزوت وبخار الماء وثاني أكسيد الكربون، وإذا وجد الكبريت في الوقود ينتج أيضاً ثاني أكسيد الكبريت، أما المواد غير القابلة للاحتراق فتظهر على شكل رماد، في هذه الحالة تكون الخسارة أقل ما يمكن وتتمثل في

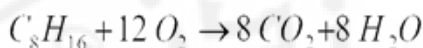
كون غازات الإفلات تخرج عادة بدرجة حرارة عالية حاملة معها جزء من حرارة الاحتراق.

2- في حالة كون الاحتراق ناقصاً بسبب عدم كفاية الهواء فإن الكربون أو الهيدروجين سوف يخرجان مع غازات الإفلات وذلك قبل إتمام أكسدتها وبالتالي هدر في طاقة الوقود الكامنة.

3- عند وجود فائض كبير في الهواء بهدف التأكد من إتمام عملية الاحتراق، فإن جزءاً من الطاقة سوف يصرف على تسخين هذا الهواء الفائض والذي يخرج دون الاستفادة منه مع مخلفات الاحتراق وبالتالي ضياع قسم من حرارة الوقود.

إن أهم مشكلة تتعلق بالاحتراق هي القدرة على زيادة التلامس أو التداخل بين ذرات الوقود والهواء وذلك بزيادة المساحة السطحية للوقود وامتزاجه مع الهواء امتزاجاً جيداً، ولا شك أن هذه المشكلة بسيطة بالنسبة للوقود الغازي إذ إنه يمكن أن يمتزج مع الهواء بسهولة قبل أو بعد غرفة الاحتراق. ولكن المشكلة تصبح أعسر لأنواع الوقود الأخرى خاصة إذا ارتفعت أوزانها الجزيئية كثيراً، ففي حالة الوقود السائل وحتى يحدث الاحتراق الكامل لابد من تذير الوقود وتحويله إلى قطرات صغيرة تسهل من عملية امتزاجه مع الهواء وتزيد من مساحة سطح الاحتراق، ولكن هذه المشكلة تتعقد أكثر عند حرق الوقود الصلب الذي يتم حرقه عادة في الصناعة على شكل قطع من الوقود أو على شكل مسحوق ينفخ بتيار من الهواء يدفعه إلى حجرة الاحتراق فيحترق فيها وجزيئاته عالقة في هواء الاحتراق فيكون احتراقاً شبيهاً باحتراق قطرات الزيت المبخوخ.

وتبعاً للنظريات الموجودة لآلية الاحتراق، فمن الضروري أن تصطدم جزيئات المادة الأولى (الوقود) مع جزيئات المادة الثانية (الأوكسجين) بطاقة تساوي أو تزيد عن الحد الأصغري قبل أن يحدث التفاعل. فمن أجل احتراق الأوكتين Octene نكتب معادلة الاحتراق التالية:



وتدل هذه المعادلة على أنه حتى يحدث هذا التفاعل لابد من اصطدام جزيء أوكتين واحد مع اثني عشر جزيئاً من الأوكسجين في وقت واحد. لكن بالرغم من أن جزيء الغاز يمكن أن يصطدم مع جزيئات أخرى لعدة بلايين من المرات في الثانية لكن يبقى اصطدام 13 جزيء بالنسبة الصحيحة في آن واحد بعيد الاحتمال.

إن تفاعلاً "معقداً" يحوي على عدد من الجزيئات يجب أن يتم وفق سلسلة من التفاعلات المختلفة تبدأ بالمواد الأولية وتنتهي بالمنتجات النهائية، من ذلك يتضح أن المعادلة السابقة ما هي إلا إجمال لتلك السلسلة من التفاعلات بحيث تظهر فيها المواد التفاعلية والنااتجة ولا تظهر المواد ما بينها.

عندما يتم إشعال الوقود يبدأ تفكك الوقود تفككاً مباشراً، أو يتبخر الوقود إذا كان سائلاً ثم يتفكك بعد ذلك. نعرف هنا عملية الدعم الذاتي الكيميائية والتي تتألف من سلسلة التفاعلات المختلفة، التي ينتج عنها منتجات وسطية تتحطم في الخطوة التي تليها بسلسلة التفاعلات. تدعى المنتجات الوسطية المتشكلة بنواقل السلسلة حيث تقوم بنقل التفاعل حتى نهايته، وهذه النواقل يمكن أن تكون ذرات حرة من غازات ثنائية الذرة (مثل الهيدروجين والأوكسجين) أو جذور حرة أو حتى بعض المركبات العضوية مثل الفورالدهيد (HCHO).

والجذور الحرة (CHO-CH-OH-.....) هي مجموعة من الذرات، تحمل الكتروليد أي تملك رابطة حرة، فنجد أن جذر الهيدروكسيد يمكن أن يتحد بذرة

هيدروجين ليشكل جزيء الماء. ويوجد ناقل السلسلة جزء دقيق من الثانية حيث أنه خلال زمن التفاعل سوف يتشكل بلايين من حوامل السلسلة وفي الوقت نفسه يتلاشى مثلها.

يمكن تقسيم التفاعل المتسلسل إلى ثلاث مراحل وهي:

- المرحلة الأولى أو البدائية حيث تتشكل نواقل السلسلة.
- مرحلة التطور.
- المرحلة النهائية.

كما أن التفاعلات المتسلسلة يمكن أن تتوقف عند وصولها إلى مادة أخرى تتفاعل معها أو تمتصها. فمثلاً جدران غرف الاحتراق في محركات الاحتراق الداخلي الباردة نسبياً تقوم بامتزاز نواقل السلسلة بشكل كاف لإيقاف الاحتراق قرب الجدران وبالنسبة هناك ميل كبير لترسيب الوقود المحروق جزئياً (أو السخام) على جدران غرف الاحتراق عندما تكون باردة.

وفي بعض الأحيان يظهر خلال جريان سلسلة التفاعل عدة نواقل للسلسلة في كل خطوة، يدعى هذا التفاعل المتسلسل المتفرع، حيث يقوم كل ناقل جديد بتكوين سلسلة جديدة وبالتالي توليد حوامل جديدة وفروع أخرى ذاتية.

تقسم مناطق الاحتراق إلى ثلاث مناطق: منطقة التسخين ومنطقة التفاعل والمنطقة المضيئة (منطقة اللهب).

ففي البداية لابد من رفع درجة حرارة المزيج الأولية إلى درجة حرارة عالية نوعاً ما (درجة حرارة الإشعال) في منطقة التسخين للبدء بالتفاعل في منطقة التفاعل، حيث يتم الاشتعال والقسم الأكبر من الأكسدة، بينما يكتمل الاحتراق في المنطقة المضيئة التي تتميز بتوهجها، يطلق على منطقة الاحتراق جبهة اللهب وهي

السطح الفاصل بين المنطقة النيرة والمنطقة المعتمدة للغازات غير المحترقة، وينبغي التنويه إلى صعوبة الفصل عملياً بين هذه المناطق المختلفة إذ قد لا تزيد سماكة الاحتراق الكلية عن بضعة أجزاء من ألف جزء من السنتيمتر.

وتسمى درجة حرارة الاشتعال، الدرجة التي يبدأ فيها اتحاد جزيئات الوقود مع الأكسجين وتساوي درجة حرارة احتراق أغلب الغازات القابلة للاشتعال (600) درجة مئوية تقريباً والوقود السائل الثقيل من 100-200 درجة مئوية، ودرجة احتراق الوقود الصلب تتراوح بين 250-450°م وللأنتراسيت من 600-700°م.

تختلف هذه الحرارة باختلاف خواص الوقود، والظروف الخارجية المحيطة كالضغط، زمن تسخين الوقود، ووجود الغازات النادرة في المزيج. ومما يميز وقود الديزل درجة حرارة الاشتعال الذاتي، وهي أقل درجة حرارة، يحترق خلالها الوقود دون تأثير مصدر خارجي للاحتراق. وتنخفض حرارة الاشتعال الذاتي بارتفاع الضغط.

وهناك ما يدعى درجة الاشتعال النظرية ودرجة الاشتعال الفعلية، وتسمى درجة حرارة الاشتعال العظمى التي يبلغها المزيج دون حدوث التبادل الحراري مع الجو المحيط بالدرجة النظرية وهي تساوي 1800-2000°م للوقود السائل و 1450-1800°م للفحم الحجري ودرجة حرارة الاشتعال الفعلية في حجرات الاحتراق المغلقة أقل من درجة حرارة الاشتعال النظرية.

يوجد حدين لالتهاب مزيج الهواء والوقود في نسبة تركيب هذا المزيج لا يمكن تجاوزهما وذلك من أجل حدوث الاشتعال وهما:

- حد الغنى الأعظمي:

وهو الحد الذي إذا تجاوزته نسبة الوقود في المزيج توقف الاشتعال (أي المزيج الذي تكون فيه نسبة الوقود أعلى ما يمكن).

- حد الإفقار الأعظمي:

وهو الحد الذي إذا انخفضت عنه نسبة الوقود في المزيج توقف الاشتعال (أي المزيج الذي تكون فيه نسبة الوقود أقل ما يمكن).

العوامل التي تؤثر في حدي الالتهاب:

1- اتجاه اندلاع اللهب: يتسع مجال الالتهاب إذا كان اللهب صاعداً ويقل إذا كان هابطاً أو أفقياً.

2- قطر الأنبوب الذي يتم فيه القياس: فكلما زاد قطر الأنبوب يتسع مجال الالتهاب حتى يصل إلى القطر 5 سم ثم يتضائل أثر القطر بعد ذلك.

3- الرطوبة: إذا وجدت كمية من بخار الماء في المزيج عند الاشتعال فإنها تؤثر فقط في حد الغنى الأعظمي بحيث تعمل على تقليله.

يمكن حساب حدي الالتهاب لمزيج مكون من عدة غازات وفق علاقة شاتلييه (Shatlee):

$$L = \frac{100}{\frac{P1}{N1} + \frac{P2}{N2} + \dots}$$

حيث:

$P1, P2, \dots$: النسبة المئوية لكل غاز يحترق في المزيج

الأصلي.

$N1, N2, \dots$: حدود الالتهاب للغازات الممزوجة.

هذا ويبين الجدول (1-2) حدود الالتهاب لعدد من أنواع الوقود في درجة الحرارة والضغط المعتدلين.

الجدول (1-2) حدود الالتهاب لأنواع مختارة من الوقود مع الهواء

نوع الوقود	نسبة الأكسجين في الوقود	حد الالتهاب : النسبة المئوية	
		الحد الأدنى	الحد الأعلى
بنزين	0.14	0.01	0.01
بنزين	0.14	0.02	0.02
بنزين	0.14	0.03	0.03
بنزين	0.14	0.04	0.04
بنزين	0.14	0.05	0.05
بنزين	0.14	0.06	0.06
بنزين	0.14	0.07	0.07
بنزين	0.14	0.08	0.08
بنزين	0.14	0.09	0.09
بنزين	0.14	0.10	0.10
بنزين	0.14	0.11	0.11
بنزين	0.14	0.12	0.12
بنزين	0.14	0.13	0.13
بنزين	0.14	0.14	0.14
بنزين	0.14	0.15	0.15
بنزين	0.14	0.16	0.16
بنزين	0.14	0.17	0.17
بنزين	0.14	0.18	0.18
بنزين	0.14	0.19	0.19
بنزين	0.14	0.20	0.20
بنزين	0.14	0.21	0.21
بنزين	0.14	0.22	0.22
بنزين	0.14	0.23	0.23
بنزين	0.14	0.24	0.24
بنزين	0.14	0.25	0.25
بنزين	0.14	0.26	0.26
بنزين	0.14	0.27	0.27
بنزين	0.14	0.28	0.28
بنزين	0.14	0.29	0.29
بنزين	0.14	0.30	0.30
بنزين	0.14	0.31	0.31
بنزين	0.14	0.32	0.32
بنزين	0.14	0.33	0.33
بنزين	0.14	0.34	0.34
بنزين	0.14	0.35	0.35
بنزين	0.14	0.36	0.36
بنزين	0.14	0.37	0.37
بنزين	0.14	0.38	0.38
بنزين	0.14	0.39	0.39
بنزين	0.14	0.40	0.40
بنزين	0.14	0.41	0.41
بنزين	0.14	0.42	0.42
بنزين	0.14	0.43	0.43
بنزين	0.14	0.44	0.44
بنزين	0.14	0.45	0.45
بنزين	0.14	0.46	0.46
بنزين	0.14	0.47	0.47
بنزين	0.14	0.48	0.48
بنزين	0.14	0.49	0.49
بنزين	0.14	0.50	0.50
بنزين	0.14	0.51	0.51
بنزين	0.14	0.52	0.52
بنزين	0.14	0.53	0.53
بنزين	0.14	0.54	0.54
بنزين	0.14	0.55	0.55
بنزين	0.14	0.56	0.56
بنزين	0.14	0.57	0.57
بنزين	0.14	0.58	0.58
بنزين	0.14	0.59	0.59
بنزين	0.14	0.60	0.60
بنزين	0.14	0.61	0.61
بنزين	0.14	0.62	0.62
بنزين	0.14	0.63	0.63
بنزين	0.14	0.64	0.64
بنزين	0.14	0.65	0.65
بنزين	0.14	0.66	0.66
بنزين	0.14	0.67	0.67
بنزين	0.14	0.68	0.68
بنزين	0.14	0.69	0.69
بنزين	0.14	0.70	0.70
بنزين	0.14	0.71	0.71
بنزين	0.14	0.72	0.72
بنزين	0.14	0.73	0.73
بنزين	0.14	0.74	0.74
بنزين	0.14	0.75	0.75
بنزين	0.14	0.76	0.76
بنزين	0.14	0.77	0.77
بنزين	0.14	0.78	0.78
بنزين	0.14	0.79	0.79
بنزين	0.14	0.80	0.80
بنزين	0.14	0.81	0.81
بنزين	0.14	0.82	0.82
بنزين	0.14	0.83	0.83
بنزين	0.14	0.84	0.84
بنزين	0.14	0.85	0.85
بنزين	0.14	0.86	0.86
بنزين	0.14	0.87	0.87
بنزين	0.14	0.88	0.88
بنزين	0.14	0.89	0.89
بنزين	0.14	0.90	0.90
بنزين	0.14	0.91	0.91
بنزين	0.14	0.92	0.92
بنزين	0.14	0.93	0.93
بنزين	0.14	0.94	0.94
بنزين	0.14	0.95	0.95
بنزين	0.14	0.96	0.96
بنزين	0.14	0.97	0.97
بنزين	0.14	0.98	0.98
بنزين	0.14	0.99	0.99
بنزين	0.14	1.00	1.00

1-5-1 - احتراق الأنواع المختلفة من الوقود:

تختلف عملية احتراق الوقود باختلاف نوعيته وخواصه.

- احتراق الوقود الصلب:

يحترق الوقود الصلب (الفحم الحجري بأنواعه) بطريقتين:

- 1- بشكل طبقي في حجرة احتراق طبقية (طبيعية).
- 2- بشكل ناعم (فحم مطحون) في حجرة احتراق خاصة.

أ- يحترق الوقود الصلب في حجرة الاحتراق الطبقيّة على عدة مراحل وهي:

- تبخر الماء والرطوبة العالقة (تجفيفاً أولياً).
 - تفكك المواد الغازية الخفيفة واحتراقها في جو الحجرة.
 - احتراق مباشر للفحم الحجري الموجود على شبكة داخل الحجرة.
- ولإتمام احتراق الغازات الناتجة الخفيفة في جو الحجرة، ينبغي توافر حرارة عالية بداخلها لأن درجة اشتعال هذه المواد تزيد على 500م°. وتعد عملية الاحتراق هذه عملية متداخلة وكلما كانت سطوح التماس المباشر بين طبقات الفحم والهواء أكبر كانت عملية الاحتراق أكثر فاعلية ونشاطاً. فإذا كان الفحم مؤلفاً من قطع كبيرة يفضل زيادة سماكة طبقة الفحم، وإذا كان الفحم مكوناً من قطع صغيرة يفضل أن تكون ناعمة ودقيقة ما أمكن.

إن انجاز عملية الاحتراق يرتبط مباشرة بمعامل فائض الهواء. فإذا كانت طبقة الفحم سميكة كما هو مرغوب، فإن عدم كفاية الهواء يقود إلى الاحتراق الجزئي وإذا كانت الطبقة رقيقة أكثر من اللزوم فإن الهواء الفائض في الحجرة يسخن ويحمل الحرارة معه إلى المدخنة، مع نواتج الاحتراق مما يزيد فقدان الطاقة الحرارية، وتؤدي زيادة معامل فائض الهواء إلى انخفاض درجة حرارة الاحتراق كذلك. يعد أصغر معامل ممكن لفائض الهواء، الذي يحقق الاحتراق التام للوقود، المؤشر الاقتصادي لعملية احتراق الفحم بشكل طبقي.

تستخدم طريقة حرق الفحم طبقيّاً، في المراحل البخارية، والقاطرات البخارية، والأفران الصناعية ومولدات الغاز.

ب- عملية احتراق الفحم الناعم:

يمكن اختصار العملية كما يلي: يدفع مسحوق الفحم الناعم بواسطة تيار من الهواء من خلال حراق إلى حجرة الاحتراق حيث يحترق وهو معلق في تيار الهواء.

يسمى تيار الهواء هذا التيار الأولي وهو جزء من الهواء اللازم لعملية الاحتراق. والهواء الباقي واللازم للعملية يدخل إلى الحجرة من خلال الحراق أو بالقرب منه ويسمى الهواء الثانوي. تتعلق سرعة احتراق الفحم الناعم، بدقة جزيئات الفحم الناعمة وقياسها وكلما كانت أدق كان الاحتراق أسرع وكان تاماً. هذه الطريقة أكثر اقتصادية حيث يمكن استخدام الفحم عالي الرطوبة، والفحم ذي الرماد والنفائات، ويمكن استخدام بقايا الفحم الناتج عن صناعة الفحم. تستخدم هذه الطريقة في مراحل محطات الطاقة الكهربائية وبعض الأفران التقنية.

- احتراق الوقود السائل:

يحترق الوقود السائل بطرائق مختلفة:

1- احتراق الوقود السائل الخفيف:

حيث يتم تحويل الوقود الخفيف إلى بخار أولاً، ثم يمتزج بخار الوقود مع الهواء ثانياً ويحترق ثالثاً. هنا يحدث ما يسمى الاحتراق الحركي (الذي تسبقه عملية المزج). ويستخدم لحرق أنواع الوقود السائل التي تتبخر بسهولة (البنزين) في المحركات ذات المفحم (المغذي). حيث يدخل الوقود إلى حجرات الاحتراق بشكل مزيج متجانس مع الهواء ويشتعل المزيج بواسطة الشرارة الكهربائية. وتلعب عملية التبخير دوراً هاماً وعليها تتوقف سرعة عملية الاحتراق لاحقاً. ولتحسين عملية التبخير في المحركات تستخدم عملية تسخين المزيج الغازي أو الهواء أولاً بواسطة غازات العادم أو الماء الساخن في نظام التبريد.

2- احتراق الوقود السائل الثقيل:

وهي طريقة شائعة وتتم بحرق الوقود وهو في حالة رذاذ (قطرات خفيفة). وهنا تحدث ما تسمى عملية الاحتراق المتداخل ولتسريع عملية الاحتراق يتم تذيير الوقود

إلى رذاذ ناعم أولاً ثم يشتعل الرذاذ في المخروط المتشكل داخل الحجرة. وعلى هذا الأساس تتكون العملية من عدة مراحل وهي:

- تذيرير الوقود - تبخر الرذاذ والتفكك الحراري - تكوين مزيج الاشتعال من نواتج التبخر والهواء - اشتعال المزيج واحتراقه.

يتم التذيرير بوساطة معدات خاصة تسمى وحدات الحقن، حيث يدخل رذاذ الوقود إلى حيز (الأسطوانات) مملوء بالهواء الحار المضغوط (حرارة أكثر من 700م°) بسبب ارتفاع نسبة الانضغاط، وتبدأ عملية الاحتراق الذاتي. وتتألف عملية الاحتراق في الديزل من ثلاث مراحل - فترة تأخير الاشتعال (الأكسدة الأولية للوقود) - فترة الاحتراق السريع وازدياد الضغط المفاجئ - فترة الاحتراق المتباطئ. كلما كانت فترة التأخير أقل كان عمل الديزل أكثر اقتصادية وأكثر انسياباً وإذا ازدادت هذه الفترة تراكم الوقود داخل الاسطوانة، وعند احتراق كمية كبيرة نسبياً من الوقود في آن واحد يرتفع الضغط بشكل حاد داخل الأسطوانة مما يؤدي إلى تلف أجزاء المحرك بسرعة، وتتنخفض استطاعة المحرك ودرجة اقتصاديته. تتعلق فترة تأخير الاشتعال بنوع الوقود، ونوعية التذيرير، ودرجة حرارة الهواء المضغوط.

- احتراق الوقود الغازي:

تتم عملية إشعال الغاز في الصناعة باستخدام تجهيزات مساعدة تسمى الحراق. حيث يتم إمداد الغاز والهواء الضروريين للاحتراق من خلال الحراق إلى حجرات الاحتراق حيث يتشكل مخروط الغاز الساخن.

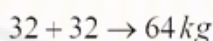
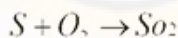
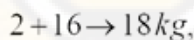
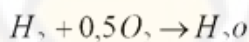
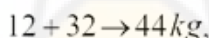
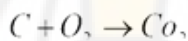
ويحدث الاحتراق بثلاثة أشكال تبعاً لطريقة الإمداد بالغاز والهواء وظروف المزج بينهما - الاحتراق الحركي - الاحتراق المتداخل - الاحتراق المختلط.

ويحدث الاحتراق الحركي للمزيج المتجانس المحضر مسبقاً والذي يحتوي على كمية من الهواء أكبر ما يلزمه نظرياً. ويحدث الاحتراق المتداخل عندما يدخل تيار

الغاز منفرداً إلى حجرة الاحتراق، التي يتشكل داخلها المزيج وذلك بتداخل كل من تيار الهواء والغاز فيما بينهما، حيث ترافق ذلك عملية الاحتراق. ويحدث الاحتراق المختلط عندما يحترق المزيج الذي يحتوي على جزء فقط من الهواء الضروري ويدخل الهواء الإضافي إلى حجرة الاحتراق إما منفرداً أو من محيط الحجرة وتعد الطريقة الثانية المتداخلة أكثر انتشاراً في الصناعة.

1-5-2- حساب عملية الاحتراق التام:

من الشروط الأساسية لإتمام عملية الاحتراق، وجود كمية كافية من الهواء، ويمكن حساب الكمية اللازمة من الهواء لاحتراق الوقود الصلب والسائل، بمعرفة التركيب الكيميائي للوقود، والأوزان النوعية لنواتج الاحتراق. بمعرفة تفاعلات الاحتراق النهائية، وبوضع الأوزان الجزيئية للعناصر الكيميائية، نحدد كمية الهواء الضرورية نظرياً لاحتراق 1 كغ من الوقود.



نتيجة لذلك، عند الاحتراق الكامل لـ 1 كغ من الكربون يلزم $32/12 = 2,67$ كغ من الأكسجين و لاحتراق 1 كغ من الهيدروجين يلزم $16/2 = 8$ كغ من الأكسجين و لاحتراق 1 كغ كبريت يلزم 1 كغ من الأكسجين.

وإذا وضعنا في حسابنا أن الوقود يحتوي على جزء من الأكسجين، وأن الهواء يحتوي على 23% من الأكسجين وزناً، فإن الهواء اللازم نظرياً لاحتراق 1 كغ من الوقود يساوي:

$$L_o = \frac{1}{0,23} (2,67C + 8H + S - O_F) kg,$$

وحجم الهواء اللازم نظرياً يساوي:

$$V_o = \frac{L_o}{1,293} M^3$$

حيث أن كثافة الهواء = 1,293 كغ/م³

وللوقود الغازي، يلزم من الأكسجين نظرياً كمية معينة، تحسب بمعرفة التركيب الحجمي للغاز باستخدام العلاقات التالية:

$$V_{O_2} = 0,01(0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6,5C_4H_{10} + 8C_5H_{12} + 3C_2H_4 + 4,5C_3H_6 + 1,5H_2S - O_2),$$

وعلى اعتبار أن الهواء مكون فقط من الأكسجين والنيتروجين وأن نسبة الأكسجين في الهواء 21% حجماً فإن كمية الهواء اللازمة نظرياً:

$$V_o = 4,76V_{O_2} M^3$$

في الواقع إن كمية الهواء اللازمة نظرياً غير كافية لاحتراق 1 كغ من الوقود احتراقاً كاملاً ، لأن قسماً من الأكسجين لا يتمكن من الدخول في التفاعلات مع الوقود، ويترد مع نواتج الاحتراق. لهذا يجب إمداد حجرة الاحتراق بكمية إضافية من الهواء.

تسمى كمية الهواء التي تدخل حبرات الاحتراق في الظروف العملية الكمية الفعلية L . وتساوي نسبة كمية الهواء الفعلية اللازمة لاحتراق 1 كغ من الوقود على كمية الهواء اللازمة نظرياً معامل فائض الهواء α وعلى هذا الأساس:

$$\alpha = \frac{L}{L_o}$$

تختلف قيمة معامل فائض الهواء باختلاف نوعية الوقود وطريقة اشتعاله، ونظام عمل حجرة الاحتراق. وكلما كان الوقود ناعماً ومتجانساً. كانت عملية المزج منتظمة مع الهواء وكانت الحاجة إلى الهواء أقل. وعند احتراق الوقود الصلب والسائل الثقيل يلزم هواء إضافي بكمية أكبر نسبياً، هذا وتؤدي زيادة الهواء الإضافي إلى فقدان جزء من الطاقة الحرارية التي يكتسبها هذا الهواء، وتخرج مع غازات العادم.

من جهة أخرى تؤدي عدم كفاية الهواء في عملية الاحتراق إلى فقدان في الطاقة الحرارية نتيجة عدم اكتمال احتراق الوقود (يكون احتراقاً جزئياً) لهذا السبب يلزم لكل نوع من الوقود كمية معينة من الهواء يكون فيها الفاقد الحراري أصغر ما يمكن.

مثال (2):

حدد كمية الهواء الفعلية اللازمة للاحتراق التام لـ 1 كغ من وقود الديزل عندما $\alpha = 1.4$ إذا كان تركيب الوقود:

$$C^P = 86.5\%; \quad H^P = 13.1\%; \quad O^P = 0.1\%; \quad S^P = 0.3\%$$

الحل:

كمية الهواء اللازمة نظرياً لاحتراق 1 كغ من الوقود

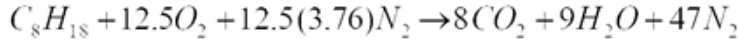
$$L_o = \frac{1}{0.23} (2.67 \times 0.865 + 8 \times 0.131 + 0.003 - 0.001) = 14.6 \text{ Kga / Kgf}$$

$$L = 1.4 \times 14.6 = 20.4 \frac{\text{Kga}}{\text{Kgf}} \quad \text{وكمية الهواء الفعلية}$$

وبيين الجدول (1-3) كمية الهواء اللازمة نظرياً وفعلياً لاحتراق الكامل للوقود.

- حساب عملية الاحتراق للوقود السائل:

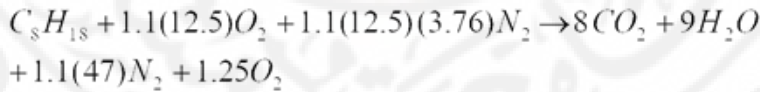
إذا أمكن الرمز للوقود السائل بصيغته الكيميائية، فمن السهل عندئذ كتابة معادلة الاحتراق بسهولة. فمثلاً عند احتراق الأوكتان نكتب:



الجدول (3-1):

L كغ/كغ	α	L _o كغ/كغ	
18.9-24.7	1.3-1.7	14.5	وقود الديزل
15	1.0	15	البنزين، الكيروسين
		13.2-13.9	وقود المراحل
14.5-16.7	1.1-1.2		(المازوت الثقيل)
9.2-14.0	1.2-1.4	7.7-10.0	الفحم الحجري العادي
11.3	1.2	9.4	الأنتراسيت
تبعاً لنوع الفحم	1.2-1.3	تبعاً لنوع الفحم وتركيبه	الفحم الناعم

ومن أجل إتمام الاحتراق لابد من إدخال كمية من الهواء الفائض. وعادة ما تعطى هذه الكمية على شكل نسبة مئوية، كأن نقول 110% هواء نظرياً؛ أي وجود 10% هواء فائضاً. فإذا احترق الأكتان في هواء فائض مقداره 10% هواء نظرياً فسوف تكون معادلة الاحتراق على الشكل التالي:



عادة ما نستخدم مؤشراً آخر للتعبير عن عملية الاحتراق، ألا وهو نسبة الهواء للوقود AF. فمن أجل الاحتراق التام للأكتان مع الهواء النظري نكتب:

$$AF = \frac{n_{air}}{n_{fuel}} = \frac{12.5(4.76)}{1} = 59.5 \frac{kmol_{air}}{kmol_{fuel}}$$

وإذا أخذنا الوزن الجزيئي للهواء $29 \frac{kg}{kmol}$ فيكون لدينا:

$$AF = \frac{59.5 \times 29}{1(8 \times 12 + 18 \times 1)} = 15.14 \frac{kg_{air}}{kg_{fuel}}$$

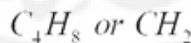
لكن من المعلوم أن الوقود السائل المستخدم اليوم لا يتألف من مركب هيدروكربوني وحيد بسيط، وإنما من مئات المركبات الهيدروكربونية المختلفة. وحتى نعرف كمية الهواء اللازمة للاحتراق لأبد من معرفة تركيبها.

فقد يتكون البنزين مثلاً من عدة مئات من المركبات الهيدروكربونية المختلفة، ومع ذلك يمكن وضع صيغة مبسطة له على النحو التالي (C_xH_y) بحيث تتناسب كل من x و y مع نسب وجودها في البنزين. وهناك العديد من الطرق المختلفة لإيجاد مثل هذه الصيغة المبسطة، أهمها:

- 1- عن طريق إعطاء نسبة ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون.
 - 2- عن طريق إعطاء النسب المئوية للهيدروجين والكربون وزنياً في الوقود.
- يمكن تحويل نسبة الهيدروجين إلى الكربون وزنياً إلى النسبة بين عدد ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون وذلك بتقسيم كل عنصر على وزن ذرته.
- فمثلاً: لو كان لدينا وقوداً سائلاً يحتوي على 8 كغ هيدروجين و 48 كغ كربون:

$$\frac{8kg_{H_1}}{48kg_{C_{12}}} = \frac{8.Atoms_H}{4.Atoms_C}$$

عندها يمكن كتابة الصيغة الكيميائية للوقود بالشكل التالي:



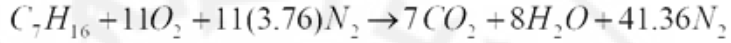
مثال (3):

حدد منتجات الاحتراق ونسبة الوقود للهواء وزنياً عندما يحترق 16 % H و 84 % C وزنياً مع 120 % هواء نظرياً وزنياً.

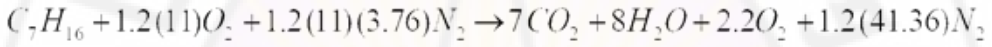
الحل:

$$\frac{H}{C} = \frac{16 \text{ kg}}{84 \text{ kg}} = \frac{16}{84} = \frac{16 \cdot \text{Atoms}_H}{7 \cdot \text{Atoms}_C} \\ \Rightarrow C_7H_{16}$$

معادلة الاحتراق النظرية:



إن وجود 20% هواء فائضاً من الهواء اللازم للاحتراق يجعل المعادلة تبدو بالشكل التالي:



$$\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{weight}} = \frac{(13.2 \text{ kmol}_{O_2} + 49.6 \text{ kmol}_{N_2}) \times 29}{1 \text{ kmol}_{\text{Fuel}} [7 \times (12) + 16 \times (1)]} = 18.2 \frac{\text{kg}_{\text{Air}}}{\text{kg}_{\text{Fuel}}}$$

- حساب عملية الاحتراق للوقود الغازي:

يعدّ الوقود الغازي خليطاً ميكانيكياً لعدة مركبات قابلة للاحتراق، عادة يعطى تركيب هذه الأنواع من الوقود كنسب مئوية حجمية لكل مركب في الخليط، كما هو مبين في الجدول (1-4):

- الغاز الطبيعي: مجموعة فحوم هيدروجينية غازية توجد في صخور خازنة في المكامن البترولية حيث تستخرج لاستعمالها كوقود أو مادة بتروكيميائية أولية.
- غازات النفط المسالة: وتتألف غازات النفط المميعة من مزيج غازي تمت إسالته تحت ضغوط منخفضة نسبياً حوالي 13 كغ/سم². وهي تتكون بشكل أساسي من البروبان والبوتان وذلك فيما لو تم الحصول عليها من مصادر طبيعية.

غاز الفحم: غاز ينتج من تقطير الفحم الحجري، ويحتوي بشكل أساسي على الهيدروجين والهيدروكربونات، وتتعلق نوعيته بنوعية الفحم المستخدم.

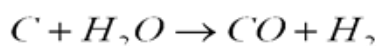
الجدول (4-1)

C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₆	CH ₄	H ₂	CO	N ₂	O ₂	CO ₂	الوقود الغازي
-	5.0	90.0	-	-	5.0	-	-	الغاز الطبيعي الأمريكي
87.5	-	4.4	6.1	1.2	0.6	0.2	-	غازات النفط المسالمة
3.0	-	27.1	48.0	7.4	11.3	0.8	2.4	غاز الفحم
-	-	-	1.0	27.5	60.0	-	11.5	غاز الفرن العالي
-	-	1.3	47.3	37.0	8.3	0.7	5.4	غاز الماء
-	-	66.0	2.0	-	6.0	-	26.0	غاز الغسيل

- غاز الفرن العالي: غاز يجمع من مخرج فوهة الأفران العالية خلال إعداد الحديد الصب، يحوي هذا الغاز على 25-30% غاز أول أكسيد الكربون و 3-2% هيدروجين، أما الجزء المتبقي فيتألف من غازات خاملة كيميائياً عبارة عن N₂, CO₂

كما توجد عمليات خاصة بهدف الحصول على مثل هذه الغازات فقط.

- غاز الماء: غاز يحتوي خاصة على الهيدروجين وغاز أول أكسيد الكربون، وينتج من تسليط تيار من بخار الماء على فحم الكوك ذي درجة الحرارة حوالي (1000 ÷ 1300) °C.



من الجدول السابق نلاحظ أن أساس تكوين الوقود الغازي يعتمد على الهيدروكربونات الخفيفة بالإضافة إلى الهيدروجين وغاز أول أكسيد الكربون، حيث يوجد المركبان الأخيران في الغازات المصنعة ولا يوجد في الغازات الطبيعية أو غازات النفط. عادة يؤخذ عدد جزيئات الغازات المكونة للوقود الغازي في 100 جزيء كنسب حجمية مئوية. لذلك وكقاعدة للحساب يختار 100 جزيء وقوداً ثم يحسب على هذا الأساس الهواء اللازم لحرقها.

مثال (4):

لدينا الغاز ذو التركيب التالي "حجماً":

$$CH_4 = 0.4\%, CO = 38.3\%, CO_2 = 5.5\%, O_2 = 0.1\%$$

$$H_2 = 52.8\%, N_2 = 2.9\%$$

تم حرق هذا الغاز مع هواء فائض بنسبة 10%. تخرج غازات الإفلات بدرجة حرارة $390^\circ C$ وضغط $1.01 \times 10^5 Pa$. حدد مكونات غازات الإفلات ونسبة الهواء للوقود حجماً.

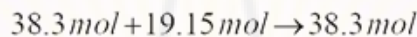
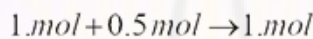
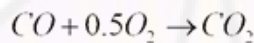
الحل:

لحل مثل هذا النوع من المسائل عادة ما ينظم جدولاً.

من معادلات الاحتراق الأساسية نحدد جزيئات الأكسجين اللازمة نظرياً لاحتراق كل عنصر مكون للوقود الغازي وعدد جزيئات نواتج الاحتراق:

عدد جزيئات منتجات الاحتراق				عدد الجزيئات المطلوبة من الأكسجين		تركيب الوقود
N_2	O_2	H_2 O	CO_2	المطلوبة من الأكسجين	جزيئات الوقود	
-	-	-	5.5	-	5.5	CO_2
-	-	-	38.3	19.15	38.3	CO
-	-	-	-	-0.1	0.1	O_2
-	-	52.8	-	26.4	52.8	H_2

-	-	0.8	0.4	0.8	0.4	CH ₄
2.9	-	-	-	-	2.9	N ₂
2.9		53.6	44.2	نظرياً	100.00	المجموع
				46.25+4.625		
				(10% فائضاً)		
191.3	4.625					
194.2				50.88		



إذاً نحتاج إلى 19.15mol أكسجين من أجل الحرق الكامل لـ 38.3mol غاز ثاني أكسيد الكربون. بالنسبة لجزيئات الأكسجين الموجودة في الوقود فسوف تدخل في التفاعل حالما يسخن الوقود إلى درجة حرارة الاحتراق. لذلك فسوف نلاحظها في حقل الأكسجين اللازم للاحتراق بإشارة سالبة لأنها لم تدخل من الجو. أما غاز ثاني أكسيد الكربون والأزوت فهي مكونات خاملة لن تشارك في التفاعلات وسوف تخرج كما هي مع مخلفات الاحتراق.

بالنسبة لعدد جزيئات الأكسجين التي تخرج مع غازات الإفلات عبارة عن:

$$0.1 \times 46.25 = 4.625.mol$$

أما النتروجين:

$$50.875 \times 3.76 = 191.3.mol$$

أخيراً نسبة الهواء للوقود حجماً:

كل 100.0 جزيء هواء تحتوي على 21.0 جزيء أكسجين

$$\frac{50.875 \times 100}{21} \text{ جزيء هواء } 50.875 \text{ جزيء أكسجين}$$

نواتج الاحتراق بالنسبة الجزيئية الحجمية (أورسات)	نواتج الاحتراق الجافة <i>mol</i>	نسبة مئوية حجمية (رطبة)	نواتج الاحتراق <i>mol</i>
18.2	$CO_2 = 44.2$	14.9	$CO_2 = 44.2$
1.9	$O_2 = 4.63$	1.6	$O_2 = 4.63$
79.9	$N_2 = 194.2$	65.4	$N_2 = 194.2$
-	-	18.1	$H_2O = 53.6$
100.0	243.03	100.0	المجموع 296.63

$$\Rightarrow AF (\%Vol.) = \frac{50.875 \times 100}{100 \text{ mole}} = 2.42 \frac{\text{moles}_{air}}{\text{moles}_{fuel}}$$

- حساب عملية الاحتراق للفحم الحجري: يتكون الفحم الحجري من مركبات تحتوي على خمسة عناصر أساسية: هي الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت، بالإضافة للرماد الموجود في الوقود. وحتى تجري الحسابات يكفي معرفة النسب المئوية الوزنية لكل عنصر من هذه العناصر الموجودة في الفحم.

لتحديد كمية الأكسجين المضافة وعدد جزيئات غازات الإفلات، يجب معرفة أوزان العناصر الداخلة في الاحتراق ضمن عينة يبلغ وزنها 100 كغ فحم، ثم تقسيم

أوزان المركبات للفحم على أوزانها الجزيئية وذلك لإيجاد عدد الجزيئات للعناصر الموجودة. من هذه النقطة تتحول المسألة إلى احتراق وقود غازي.

مثال (5):

حدد تركيب غازات الإفلات ونسبة الهواء للوقود وزناً وحجم مخلفات الاحتراق عند $500^\circ F$ وذلك عندما يحترق الفحم مع هواء فائض بمقدار 50%. يفترض أن كامل الوقود يحترق والهواء المستخدم في الاحتراق جاف. وأن تركيب الفحم:

$$C = 72\%, N_2 = 1.4\%, A = 11\%, H_2 = 6\%$$

$$O_2 = 8\%, S = 1.6\%.$$

الحل:

لحل مثل هذه المسائل نعد أنه لدينا 100 كغ وقود صلب:

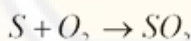
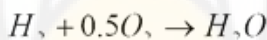
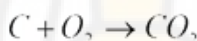
مخلفات الاحتراق					عدد الجزيئات المطلوبة من الأكسجين	$\frac{mol}{100.kg_f}$	$\frac{kg}{100.kg_f}$	تركيب الوقود الصلب
O_2	N_2	SO_2	H_2O	CO_2				
-	-	-	-	6	6	6	72	C
-	-	-	3	-	1.5	3	6	H_2
-	-	-	-	-	-0.25	0.25	8	O_2
-	0.05	-	-	-	-	0.05	1.4	N_2
-	-	0.05	-	-	0.05	0.05	1.6	S
-	-	-	-	-	-	-	11	رماد
0.0	0.05	0.05	3	6	7.3	9.35	100	المجموع
+3.65	+				+فائض			
3.65	41.17				3.65=			
	41.22				10.95			

منتجات الاحتراق الرطبة	نسبة مئوية حجمية (رطبة)	تحليل أورسات (جاف)	نسبة مئوية حجمية (جافة)
$CO_2 = 6$	11.13	$SO_2 + CO_2 = 6.05$	11.88
$H_2O = 3$	5.56	$O_2 = 3.65$	7.17
$SO_2 = 0.05$	0.09	$N_2 = 41.22$	80.95
$N_2 = 41.22$	76.45		
$O_2 = 3.65$	6.77		
المجموع 53.92	100.00	50.92	100.00

ملاحظة: يتم امتصاص غازي SO_2 و CO_2 معا في جهاز أورسات.

بالنسبة للنتروجين:

$$10.95 \times 3.76 = 41.17 \text{ mol}$$



نسبة الهواء للوقود وزناً:

$$AF = \frac{7.3 \times 1.5 \times 100 \times 29}{21. \times 100.} = 15.12 \frac{kg_{air}}{kg_{fuel}}$$

1-5-3- حساب عملية الاحتراق غير التام:

في بعض الأحيان يستلزم الحصول على القدرة القصوى أن تقل كمية الهواء عن قيمتها النظرية المطلوبة للاحتراق التام (كما في المحركات ذات الاشتعال بالشرارة حتى نحصل على القدرة القصوى يجب أن يكون معامل الهواء الفائض الذي هو نسبة الهواء الفعلية إلى النظرية حوالي 0.9). وتبعاً لذلك لن يكون

الاحتراق كاملاً، وسوف يظهر غاز أول أكسيد الكربون في نواتج الاحتراق. ولحل مثل هذه المسائل لابد من افتراضات معينة مثل:

تتحول كامل كمية الهيدروجين إلى بخار ماء.

تتحول كامل كمية الكربون إلى غاز أول أكسيد الكربون.

ما تبقى من الأوكسجين يتفاعل بعد ذلك مع جزء من غاز أول أكسيد الكربون لينتج غاز ثاني أكسيد الكربون.

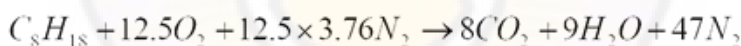
وسر هذا الترتيب هو ميل هذه المركبات للاتحاد مع الأوكسجين.

مثال (6):

احسب نسب تركيب الغازات الخارجة من العادم نتيجة احتراق وقود صيغته الكيميائية C_8H_{18} مع هواء بنسبة 85% من كمية الهواء النظرية.

الحل:

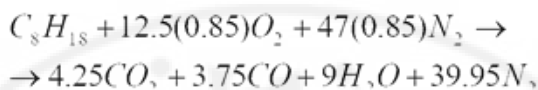
معادلة الاحتراق التام هي:



ومنها نلاحظ أن 25 ذرة من الأكسجين تلزم لحرق جزيء واحد من الوقود. لكن من نص المسألة نلاحظ وجود فقط 85% هواء نظرياً، أي أن عدد ذرات الأكسجين المتوفرة $21.25 \text{ Atoms} = \frac{85 \times 25}{100}$ وهذه الكمية موزعة بالشكل التالي:

عدد ذرات الأكسجين المتفاعلة مع الهيدروجين هي 9 وذلك من أجل حرق 18 ذرة هيدروجين، المتبقي هو 12.25. ثم 8 ذرات أكسجين تتفاعل مع 8 ذرات كربون لتحويلها إلى غاز أول أكسيد الكربون، يبقى لدينا $12.25 - 8 = 4.25$ ذرة أكسجين فائضة، حيث تتفاعل هذه الكمية مع 4.25 ذرة غاز أول أكسيد الكربون لتحويلها إلى غاز ثاني أكسيد الكربون.

وبالتالي تتكون نواتج الاحتراق من 9 جزيئات ماء و 4.25 جزيء غاز ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى جزيئات غاز أول أكسيد الكربون وعددها 8-4.25=3.75 جزيئاً.



لكن عملياً نلاحظ أن نسبة غاز أول أكسيد الكربون في نواتج احتراق البنزين في غرف الاحتراق أعلى من النسبة المحسوبة آنفاً وذلك بسبب ما تتعرض له نواتج الاحتراق من تفكك عند درجات الحرارة المرتفعة الموجودة ضمن تلك الحجر .

1-5-4- تحليل غازات الإفلات Flue- gas Analysis:

عند حرق الوقود المحصور في حجم محدد في فترة قصيرة من الزمن - كما في محركات الاحتراق الداخلي- لن تقتصر نواتج الاحتراق على غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء بل سوف تشتمل على كميات من الهيدروجين والميثان ومركبات هيدروكربونية أخرى بنسب بسيطة. حيث يتشكل الميثان في مرحلة من مراحل الاحتراق بينما يظهر الهيدروجين نتيجة تحلل الماء في درجات الحرارة السائدة داخل حجرة الاحتراق، وكذلك يظهر غاز أول أكسيد الكربون حتى في حالة وجود هواء فائض وذلك بسبب عدم اكتمال المزج أثناء العملية، أو لعدم كفاية الوقت من أجل إتمام عملية الاحتراق التام.

من ناحية أخرى فإن عملية قياس نسبة الوقود للهواء صعبة التحقيق. فإمداد الوقود(صلب أو سائل أو غازي) إلى غرفة الاحتراق معروف، لكن إمداد الهواء صعب القياس بدقة. لذلك وللتغلب على هذه المشكلة يتم تحليل مخلفات الاحتراق بدقة معينة ومن خلال هذا التحليل يمكننا الحصول على معلومات جديدة للتعرف من خلالها على عملية الاحتراق بمجملها. يمكن أن تتم عملية التحليل بواسطة جهاز تحليل الغازات الكيميائي أو الكهربائي وعلى أساس جاف أو رطب. فعلى أساس جاف لا تحسب نسبة الماء الموجودة داخل المزيج ويستخدم لذلك مقياس

يدعى بمقياس أورسات للتحليل على أساس جاف. فرغم أن عينة الغاز تحتوي على بخار الماء كل الوقت لكن وجود القميص المائي المحيط بأنبوبة القياس في الجهاز يحافظ على درجة حرارة العينة مثل درجة حرارة الغرفة مما يثبت الضغط الجزئي لبخار الماء. فمع نقصان عينة الغاز (بعد خسارتها أحد مكوناتها) تقل الرطوبة (بالنسبة نفسها) للمحافظة على ضغطها الجزئي ثابتاً، وبالتالي فإن وجود بخار الماء ضمن المزيج لن يؤثر على نتائج التحليل، وتظهر النتائج كما لو كانت على أساس جاف.

ويمكن حساب معامل فائض الهواء كما يلي:

- عند الاحتراق الكامل للوقود:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}}$$

حيث RO_2 - حجم ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت م³/كغ.

- عند الاحتراق الجزئي للوقود:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0.5 Co}{100 - (RO_2 + Co + O_2)}}$$

مثال (7):

عند تحليل غازات الإفلات تبين أن في نواتج الاحتراق للديزل نسبة ثاني أكسيد

الكربون $CO_2 = 8.2\%$ ونسبة الأكسجين الفائض $O_2 = 9.5\%$ والمطلوب

تحديد معامل فائض الهواء.

الحل:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{9.5}{100 - (8.2 + 9.5)}} = 1.77$$

إذاً الديزل يعمل بمعامل فائض الهواء $\alpha = 1.77$

مثال (8):

احسب نسبة الهواء للوقود وزناً عند حرق وقود ما، إذا كان تركيب نواتج الاحتراق بالنسب الحجمية كما يلي:

$$CO_2 = 6\%; \quad O_2 = 0.2\%; \quad CO = 13.4\%; \quad H_2 = 8\%; \quad CH_4 = 0.5\%$$

الحل:

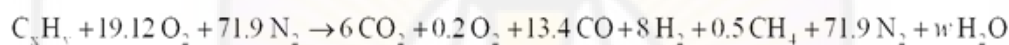
بما أننا أخذنا أثناء التحليل /100/ جزئي، فالفرق بينهما وبين مجموع الجزيئات السابقة هو عدد جزيئات النتروجين:

$$100 - (6 + 0.2 + 13.4 + 8 + 0.5) = 71.9 \text{ (جزيئاً)}$$

إذا فعدد جزيئات الأوكسجين التي دخلت مع هذه الكمية من النتروجين هي:

$$71.9/3.76 = 19.12 \text{ (جزيئاً)}$$

معادلة التفاعل:



من موازنة عدد ذرات الكربون نجد:

$$x = 6 + 13.4 + 0.5 = 19.9$$

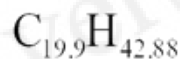
من موازنة عدد ذرات الأوكسجين نجد

$$38.24 = 12 + 0.4 + 13.4 + w \Rightarrow w = 12.44$$

من موازنة عدد ذرات الهيدروجين نجد:

$$y = 16 + 2 + 24.88 = 42.88 \text{ Atoms}$$

إذا تركيب الوقود هو:



نسبة الهواء للوقود

$$AF = \frac{(19.12 + 71.9) \times 29}{19.9 \times 12 + 42.88 \times 1} = 9.4 \text{ Kg air / Kg fuel}$$

1-5-5- القيمة الحرارية النوعية:

تعد من أهم مؤشرات الوقود، القيمة الحرارية النوعية Q وهي تدل على كمية الحرارة، التي تنتج عند الاحتراق الكامل لوحدة الكتلة أو وحدة الحجم من الوقود. وتقاس بـ kJ/kg للوقود الصلب والسائل، وللوقود الغازي تقاس: kJ/M^3 أو kJ/M^3 أو $\text{k.cal / M}^3, \text{k.cal / kg}$ ($\text{cal} = 4,187 \text{ j}$).

وهناك مفهوم القيمة الحرارية النوعية العليا والدنيا. وعند حساب القيمة الحرارية العليا Q_b ، تحسب كل الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود بما فيها حرارة تبخر الماء، والتي يمكن أن ترجع عندما يتكثف بخار ماء الوقود، والماء الناتج عن احتراق الهيدروجين.

لا تحسب عند حساب القيمة الحرارية الدنيا Q_n ، الحرارة المفقودة عند تبخر الماء العالق في الوقود والماء الناتج عن احتراق الهيدروجين. وتعد القيمة الحرارية العليا مقداراً ثابتاً، وتستخدم لمقارنة أنواع الوقود، والقيمة الحرارية الدنيا تختلف باختلاف نسبة الماء في الوقود، لهذا تستخدم لتقدير النوعية الحرارية للوقود عملياً.

ولحساب الفرق بين القيمتين الحراريتين، ينبغي احتساب الحرارة المفقودة في عملية تكاثف بخار الماء، والحرارة الضائعة في تبريد البخار المتكاثف إلى الصفر. هذا الفرق يصل إلى 600 ك. كالوري لـ كغ ماء متكثف. أي 6 ك. كالوري لكل 1% من الماء الموجود في تركيب الوقود. أو الناتج عن احتراق الهيدروجين الموجود في الوقود. على هذا الأساس يكون:

$$Q_n = Q_b - 25,12 (9H + W) \text{ kJ / kg}$$

$$Q_n = Q_b - 6 (9H + W) \text{ k.cal / kg}$$

والجدول (1-5) يبين القيمة الحرارية الوسطية الدنيا لبعض أنواع الوقود. وتحسب القيم الحرارية النوعية العليا والدنيا بالمعادلات التالية: للوقود الصلب والسائل:

$$Q_b = 339,15 C + 1256 H - 108,86 (O - S) \text{ kj / kg}$$

$$Q_h = 339,15 C + 1256 H - 108,86 (O - S) - 25,12 (9H + W) \text{ kj / kg}$$

- وللوقود الغازي:

$$Q_h = 30,2 C_o + 25,8 H_2 + 133,88 C_2 H_2 + 85,5 CH_4 + 151,26 C_2 H_6 \\ + 218 C_3 H_8 + 283 C_4 H_{10} + 349 C_5 H_{12} + 141 C_2 H_4 + 205 C_3 H_6 \\ + 271 C_4 H_8 + 337 C_5 H_{10} + 335 C_6 H_6 + 56 H_2 S (k.cal / M^3)$$

حيث CH_4, C_o وغيرها - نسبة المركبات الغازية الحجمية في الظروف النظامية.

الجدول (5-1):

الخشب	10216	ك. جولا
الفحم الحجري	13100	ك. جولا
الأولي		
الفحم الحجري	20265	ك. جولا
العادي		
الأنتراسيت	27216	ك. جولا
الغاز الطبيعي	35590	ك. جولا
الغاز المضغوط	92114	ك. جولا
البنزين	43754	ك. جولا
وقود الديزل	42624	ك. جولا
المازوت الكبريتي	38855	ك. جولا

مثال (9):

حدد القيمة الحرارية النوعية الدنيا للمازوت الثقيل ذو التركيب التالي:

$$C = 82.5\%; \quad H = 10.65\%; \quad S = 3.1\%$$

$$(N + O) = 0.5\%; \quad A = 0.25\%; \quad W = 3\%$$

الحل:

بكتابة العلاقة نجد:

$$Q_h = 339.15 \times 82.5 + 1256 \times 10.65 - 108.86 \times (0.5 - 3.1) - 25.12 \times (9 \times 10.65 + 3) = 39156 \text{ KJ/Kg}$$

إن القيمة الحرارية النوعية المحسوبة نظرياً أقل دقة من القيمة الحرارية المحسوبة تجريبياً في الظروف المخبرية.

تُحسب القيمة الحرارية النوعية للوقود الصلب والسائل الثقيل تجريبياً، بطريقة إحراق عينة من الوقود المختبر في تجهيزات معدنية قياسية حرارية الشكل (1-1). وتتألف من علبة معدنية مغلقة بإحكام مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ وتأثير الحموض، تملأ بالأكسجين تحت ضغط 25 كغ/سم² (24,5 × 10⁵ ن/م²). قبل حرق العينة توضع في وعاء، ويوضع الوعاء في الجهاز المعدني السابق الذي يحوي كمية محددة من الماء. أثناء الاحتراق تنتقل الحرارة الناتجة من خلال جدران الوعاء إلى الماء، وبمعرفة كمية الماء ودرجة حرارتها قبل عملية الحرق وبعدها، تُحسب كمية الحرارة الناتجة عن احتراق العينة التحليلية التي يرمز لها Q .

الشكل (1-1)

هذه القيمة الحرارية التجريبية المحسوبة بالتجهيزات السابقة دائماً أكبر من القيمة الحقيقية، لأن الأكسجين المضغوط في العلبة المعدنية يقوم بأكسدة الآزوت والكبريت الموجود في بنية الوقود، حيث يتفاعلان مع الماء الموجود ويشكلان حمض الآزوت وحمض الكبريت، وهذه التفاعلات يصاحبها ظهور حرارة معينة، ولهذا يجب تصحيح مقدار القيمة الحرارية النوعية الحاصلة للوقود بمقدار الحرارة الناتجة خلال تشكل هذه الحموض وانحلالها في الماء.

ويصبح لدينا:

$$Q_b = Q_r - (94,0 S + a_1 \cdot Q_r) \text{ kJ/kg}$$

حيث Q_r - كمية الحرارة الناتجة في الجهاز القياسي الحراري.

$94,0S$ - كمية الحرارة الناتجة عن تشكل حمض الكبريت.

a_1 - معامل يضع في الحسبان تشكيل حمض الآزوت.

($a_1 = 0,001 - 0,0015$) للفحم الحجري بأنواعه المختلفة.

1-6- الوقود العياري والوقود المكافئ Standard fuel and equivalent fuel

بما أن لكل نوع من أنواع الوقود كمية حرارية نوعية مختلفة، لهذا يجب تحديد وقود معياري شرطي لمقارنة الأنواع المختلفة من الوقود. هذا الوقود المعياري الشرطي، له قيمة حرارية نوعية تساوي 7000 ك. كالوري/كغ أو م³؛ أو 29307 ك.جول/كغ أو م³.

وهناك نوعان من الوقود المكافئ: الوقود الحراري والوقود التقني. وتستخدم العلاقات التالية لحساب الوقود المكافئ عند تحويل الوقود الطبيعي إلى وقود شرطي:

- عند وضع الخطط العامة للإمداد بالوقود يحسب الوقود الحراري E_1 بالعلاقة:

$$E_r = \frac{Q_h}{7000}$$

- وعند استخدام الوقود بالمراجل البخارية يحسب الوقود التقني E_e بالعلاقة:

$$E_e = \frac{Q_h \cdot \eta_k}{7000}$$

حيث η_k - مردود المرجل البخاري الذي يستخدم الوقود.

وعند استخدام مزيج (خليط) من الأنواع المختلفة للفحم يحسب الوقود المكافئ بالعلاقة:

$$E_c = n_1 \cdot E_1 + n_2 \cdot E_2 + n_3 \cdot E_3 + \dots$$

حيث:

n_1, n_2, n_3 - نسبة كل نوع من الفحم في الخليط.

E_1, E_2, E_3 - مكافئ كل نوع من أنواع الفحم في الخليط.



الفصل الثاني

الوقود الصلب

مقدمة

- 1-2- تصنيف الفحم الحجري
- 2-2- إنتاج الفحم الحجري
- 2-3- أشكال الفحم الحجري
- 2-4- تحليل الفحم الحجري
- 2-5- الوقود الصلب المصنع (الصناعي)
- 2-6- معايير استخدام الوقود الصلب
- 2-7- استعمالات الفحم الحجري
- 2-8- تخزين الفحم الحجري



الفصل الثاني

الوقود الصلب

SOLID FUELS

مقدمة Introduction:

يتشكل الوقود الصلب (الفحم) من مواد نباتية، متراكمة منذ العصور الجيولوجية السحيقة، حيث تعرضت هذه المواد إلى تغيرات عميقة، ومرت بمراحل متعددة متتالية، ازدادت خلالها نسبة الكربون فيها. حيث تشكل أولاً ما يسمى الفحم الأولي، ثم تشكل الفحم الحجري المعروف، والأنتراسيت، الذي يعد المرحلة العليا لعملية ترسيخ الكربون في تركيبه الكيميائي.

تختلف أنواع الوقود الصلب عن بعضها بعضاً بالشكل الخارجي وبالخواص الفيزيائية والموصفات الكيميائية أيضاً. ويختلف التركيب الكيميائي العنصري لأنواع الوقود الصلب كما هو موضح بالجدول (1-2):

الجدول (1-2):

الوقود الصلب	% C	% H	% (O+N)
الوقود الصلب الابتدائي (جذوعاً خشبية نباتية)	44	6	50
الوقود الصلب الأولي (مرحلة متقدمة)	59	6	35
الفحم الحجري الأولي	70	5.5	24.5
الفحم الحجري	82	5	13
الأنتراسيت	95	2	3

يبين الجدول أن هناك العديد من أنواع الوقود الصلب المستخدمة في الحياة العملية، لكن أهمها على الإطلاق الفحم الحجري ذو الاحتياطي الأكبر فيها، ويبلغ الاحتياطي العالمي المعروف من الفحم الحجري نحو /18,000/ مليار طن تقريباً. لقد احتل الفحم الحجري في الماضي مركز الصدارة ضمن المصادر المولدة للطاقة. لكن مع اكتشاف النفط أخذ ينافس على هذا المركز. ومع ذلك بقيت أهمية الفحم الحجري كمصدر مهم من مصادر الطاقة الحرارية في العالم، وذلك نظراً لتوافره بكميات كبيرة في مناطق واسعة من الأرض.

والفحم الحجري وقد يمكن استخدامه بحالته الطبيعية التي استخرج بها من المنجم دون تعريضه لأيّة عملية تكنولوجية، كما يمكن أيضاً معالجته لاستخراج العديد من أنواع الوقود الثانوية الأخرى منه، وتكون (غازية أو سائلة أو صلبة)، كما يعد المادة الأولية والأساسية للعديد من الصناعات كالأصبغة والمبيدات واللدائن والمواد الصيدلانية والأدوية.... الخ.

يعد الفحم الحجري وقوداً رخيص الثمن حيث تقدر كلفة الطاقة الحرارية التي يولدها بنصف كلفة توليدها عن طريق النفط.

2-1- تصنيف الفحم الحجري Classification of Coals:

يمكن تصنيف الفحم الحجري إلى عدة أنواع حسب درجة التفحم. ندعو هذا التصنيف برتبة الفحم. والرتب الأساسية للفحم مرتبة من الأدنى إلى الأعلى هي على الشكل التالي:

أ- الفحم الحجري الأولي: اللغيت

ب- الفحم الشبه بيتوميني.

ج- الفحم الحجري البيتوميني

د- الأنتراسيت: شبه الأنتراسيت - الأنتراسيت.

على الرغم من التصنيف السابق وتعدد الأنواع، إلا أنه في الحقيقة لا توجد خطوط تفصل بين الأنواع المختلفة للفحم. لذلك يستعان ببعض الصفات الفيزيائية المختلفة للمساعدة في تصنيف أنواع الفحم التي تقع عند الحالة الحدية بين الأنواع المختلفة للفحم. ولقد قامت الجمعية الأميركية لاختبار المواد ASTM بإنجاز أسس عامة لتصنيف الفحم وذلك تبعاً لدرجة تحولها في السلسلة الطبيعية من الفحم الحجري الأولي إلى الأنتراسيت، أي تبعاً للكربون الثابت والقيمة الحرارية العليا على أساس المادة العضوية. في الجدول (2-2) تم تصنيف رتب الفحم العليا تبعاً للفحم الثابت على أساس جاف، والرتب الدنيا تبعاً للقيمة الحرارية الإجمالية على أساس رطب.

2-1-1- الطوب أو فحم المستنقعات Peat:

وينشأ عن تحم جذور النباتات في المستنقعات. وهو ليس فحمًا بالمعنى الحرفي للكلمة، وإنما يعدّ المرحلة الأولى في عملية تشكل الفحم، وغالباً ما يتلون باللون الأسمر المائل للصفرة أو المائل للسواد. تبلغ نسبة الماء فيه عند استخراجه حوالي 90% يمكن تقليصها إلى 50% بتركه يجف في الهواء. خفيف الوزن حيث تتراوح كثافته (0,1 - 1) كغ/م³، وحرارة احتراقه منخفضة تبلغ حوالي 19000 ك.جول/كغ.

2-1-2- اللغيت Lignite (الفحم البني):

فحم حديث المنشأ، بني اللون، ذو بنية طبقية، تبلغ نسبة الماء فيه 30% وحتى 40% حتى ولو ظهر بمظهر جاف. تبلغ قيمته الحرارية حوالي 25000 ك.جول/كغ (على أساس جاف)، وهي قيمة منخفضة إذا ما قورنت بالفحم الحجري وذلك بسبب الكميات الكبيرة من الماء والشوائب والرماد التي يحتويها هذا الفحم،

الجدول (2-2)

حدود القيمة الحرارية الإجمالية MJ/kg		حدود المواد الطيارة %		حدود الكربون الثابت %		الرتبة
أصغر من	يساوي أو أكبر من	أصغر من	يساوي أو أكبر من	أصغر من	يساوي أو أكبر من	
						الأنتراسيت:
...	...	2.0	...	...	98.0	- المينا -
...	...	8.0	2.0	98.0	92.0	- الأنتراسيت
...	...	14.0	8.0	92.0	86.0	- شبه
						الفحم
...	...	22.0	14.0	86.0	78.0	- منخفض
...	...	32.0	22.0	78.0	69.0	- متوسط
...	32.6	...	31.0	69.0	...	- عالي
32.6	30.2	...	...	...	...	- عالي
30.2	26.7	...	...	...	...	- عالي
						الفحم شبه
26.7	24.4	...	...	...	...	الفحم A
24.4	22.1	...	...	...	...	الفحم B
22.1	19.3	...	...	...	...	الفحم C
						فحم اللغيت:
19.3	14.7	...	...	...	...	- لغيت A
14.7	...	...	...	...	...	- لغيت B

غير أن وجوده على أعماق قريبة من سطح الأرض يخفف من كلفة استخراجه ويسهل استعماله.

2-1-3- الفحم شبه البيتومينية Subbituminous Coals:

لها لون أسود بني أو أسود، وذات بنية متجانسة، وسطوح ناعمة مع عدم وجود دلائل على طبقات. وتحتوي على نسبة عالية من الرطوبة.

2-1-4- الفحم البيتوميني Bituminous (أو الفحم القاري):

وهو عبارة عن صخور رسوبية غنية بمادة فحمية . وتشمل :

- الفحم البيتومينية منخفضة التطاير Low volatile bituminous coal والتي تدعى أيضاً بأشباه البيتومينية، ذات لون أسود رمادي وذو بنية حبيبية مميزة. يتحول إلى فحم الكوك في النار ويحترق بلهب صاف دون دخان.

- الفحم البيتومينية متوسطة التطاير Medium volatile bituminous coal بعضها يكون ذو بنية حبيبية وهي طرية، وبعضها ذو بنية متجانسة ومنها ذو بنية صفيحية.

- الفحم البيتومينية عالية التطاير Medium volatile bituminous coal-A ذات بنية متجانسة مع وجود حبيبات وذات طبقات واضحة وهي قاسية منخفضة المحتوى من الرطوبة والرماد والكبريت، ذات قيمة حرارية عالية حوالي 35000 ك.جول/كغ.

- الفحم البيتومينية عالية التطاير Medium volatile bituminous coal-B ذات بنية صفيحية وذات طبقات رقيقة سوداء براقّة تتناوب مع طبقات فحم غامقة. وهي قاسية وعادة ما يحدث الانكسار فيها بشكل يوازي الطبقات.

- الفحم البيتومينية عالية التطاير Medium volatile bituminous coal-C كسابقتها لكنها تحتوي على نسبة أكبر من الرطوبة والكبريت والرماد.

2-1-5- فحم الأنثراستيت Anthracitic:

وهو فحم أسود لامع كثيف ذو بنية متجانسة لا أثر للطبقات فيها ، قاس، يحترق بلهب قصير وساطع مزرق. يستخدم عادة للتدفئة المنزلية وفي إنتاج الغاز. تبلغ قيمته الحرارية حوالي 33000 ك.جول/كغ.

نلاحظ من خلال التصنيف السابق أن أول مرحلة تتحول إليها النباتات المتكدسة المتحللة هي فحم الطورب أو فحم المستنقعات. في هذه المرحلة نلاحظ وجود كميات كبيرة من الماء وغاز الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون. ومع زيادة الضغط ودرجة الحرارة يتم نزع الأوكسجين والرطوبة والمواد الطيارة فيتحول فحم الطورب إلى اللغنيت ثم البيتوميني وفي النهاية إلى الأنثراستيت. على الشكل (2-1) يلاحظ التغيير في التركيب أثناء عملية التفحم.

2-2- إنتاج الفحم الحجري Production of Coal:

يصادف الفحم الحجري في مناجمه بشكل طبقات مختلفة السماكة، تصل إلى 8-15 متراً أو أكثر وفي بعض الأحيان يصادف فحم بسماكة 100 متر. تتوضع طبقات الفحم في أعماق مختلفة من باطن الأرض وأحياناً تكون قريبة جداً من سطح الأرض وفي هذه الحالة يستخرج الفحم بالطريقة المفتوحة، أو ما يسمى عمليات تقطيع الفحم المباشر باستخدام الجرافات القوية. تتميز هذه الطريقة بزيادة إنتاجية العمل، وانخفاض قيمة التكاليف. وعلى العموم، فإن صناعة استخراج الفحم المتطورة أصبحت آلية بالكامل، حيث تعمل في داخل المناجم آليات التقطيع

والتحميل وسيور النقل والإمداد. تقوم هذه الآليات بتقطيع الفحم ووضعه على السيور الناقلة، مما يحقق الاستخراج والإمداد المستمر والدائم للفحم، و يخفف جداً



الشكل (2-1)

من عمل الأيدي العاملة ويرفع من مستوى الإنتاج، كما تستخدم حالياً الطريقة الهيدروليكية لاستخراج الفحم، حيث تقطع صفائح الفحم في المناجم بواسطة تيارات من الماء المضغوط أو بواسطة آلات هيدروليكية خاصة. بعدها يرفع الفحم بواسطة تيار الماء من خلال أنابيب أو مجاري خاصة إلى السطح.

هذا ويجب التنويه إلى أن طبقات الفحم الموجودة في باطن الأرض، ليست نقية تماماً إنما ترافقها بعض الشوائب المكونة من طبقات رقيقة تتألف من مواد طبيعية

مختلفة، هذه الشوائب يمكن أن تصاحب الفحم المستخرج بكميات مختلفة، مما يزيد تكاليف الاستثمار عند احتراق الفحم نتيجة زيادة تكاليف تنظيف أماكن حرق الفحم، وإخراج الرماد والخبث الناتجين. وللتخلص من الشوائب من جهة ولزيادة القيمة الحرارية يجب إغناء الفحم المستخرج وتنقيته. ويتم ذلك إما يدوياً حيث تستبعد الشوائب ويتم إخراجها على سيور نقالة خاصة لهذا الهدف، أو ميكانيكياً باستخدام آلات خاصة لهذا الغرض. وهنا نميز طريقتين:

- طريقة التحضير الجافة: يتم بواسطة هذه الطريقة فصل الفحم باستخدام الهواء المضغوط إلا أنها غير اقتصادية نظراً لارتفاع سعر الهواء المضغوط.

- طريقة التحضير الرطبة: تعتمد هذه الطريقة على الترسيب لفصل الفحم عن شوائبه وذلك باستخدام أجهزة الترسيب أو بالغسيل في مجار خاصة أو بواسطة التعويم.

على الشكل (2-2) نلاحظ كيفية جريان عملية الترسيب، حيث يمرر تيار الماء، عبر ثلاثة أقماع، حيث أن سرعة الماء تتناقص ابتداء من القمع الأول وانتهاء بالقمع الأخير وذلك مع ازدياد حجم القمع، حيث يتم غسل الفحم وفصله عن شوائبه ثم يسحب من فتحات في أسفل الأقماع. بعد ذلك تتم تصفية الفحم في مصافي خاصة وذلك لطرد الماء منه ثم يخزن ويترك فترة من الزمن كي يسيل الماء منه.

تستعمل الكمية الرئيسية منه، والتي تبلغ حوالي 35% لتحضير فحم الكوك، أما القسم الناعم فيستخدم على شكل محروقات لإنتاج الطاقة.



الشكل (2-2)

يمكن أيضاً الاستفادة من الفروق الكبيرة في الكثافة بين الفحم النقي والذي تتراوح كثافته ما بين 1,3-1,6 وبين الأوساخ والشوائب والتي يتراوح ثقلها النوعي ما بين 2,4 للطمي و 5 لكبريت الحديد. تدعى هذه الطريقة بالتصويل، الشكل (3-2).



الشكل (3-2)

يتكون جهاز التصويل من خزان مقسوم بحاجز غير كامل إلى جزأين غير متساويين، يملأ بالماء ويتحرك في القسم الضيق منه مكبس يسبب اهتزاز الماء في الجزء العريض الحاوي على منخل موجود تحت سطح الماء يصب فوقه الفحم والشوائب وكل هزة للماء نحو الأعلى بواسطة المكبس ترفع الفحم والشوائب، لكن الفرق في الكثافة يسبب ارتفاع الفحم أكثر، فإذا تحرك الماء نحو الأسفل ترسبت الأوساخ بسرعة أكبر من الفحم ويتكرر هذه العملية يتم فصل الفحم عن الشوائب وتنقيته منها.

بعد ذلك تتم عملية تجفيف الفحم بإمراره فوق سطوح مسخنة البخار أو بالغازات الحارة. وعند تجفيف الفحم ينقلص حجمه حوالي 30% وذلك بسبب بنيته الغروية.

2-3- أشكال الفحم الحجري Types of Coal:

يمكن تصنيف الفحم الحجري إلى طبقى Banded أو لا طبقى no banded وذلك تبعاً لتركيبته الصخرية، فالفحم الطبقي هو مادة غير متجانسة لكنها تتألف من طبقات متناوبة (أو خطوط) من أسود معتم وفاتح ورمادي، ويمكن أن يتواجد هذا الشكل من الفحم في رتب الفحم

من اللغينت وحتى الأنتراسيت، ويعزى ظهور الطبقات إلى تنوع الأخشاب المشكلة المتراكمة في مختلف مراحل التحلل. أما بالنسبة للفحم غير الطبقي فهو من نوع الفحم الوقاد cannel coal أو من نوع فحم المستنقعات bog-Head coal، وهو فحم ذو تركيبة متماسكة منتظمة لا وجود للطبقات فيها وهو ذو مكسر نظيف حاد، لونه أسود شحمي، يحتوي على كمية كبيرة من المواد الطيارة، حيث يمكن أن ينتج كمية كبيرة من القطران والزيوت الخفيفة أثناء التقطير.

2-4- تحليل الفحم الحجري Coal Analysis:

يتألف الوقود الصلب بشكل أساسي من عنصري: الهيدروجين والكربون، مع كميات مختلفة من الأوكسجين والازوت والكبريت والفلزات المعدنية الأخرى، وبالرغم من أن لونه الأساسي الأسود، لكن إذا أخذنا منه شريحة رقيقة شفافة ظهرت بلون يميل إلى الصفرة، وإذا وضعت تحت المجهر ظهرت الآثار النباتية فيها.

يمكن تحديد مكونات الوقود الصلب بواسطة طريقتين، هما:

2-4-1- طريقة التحليل التقريبي Proximate Analysis:

وهو اختبار سهل نوعاً ما يعطي فكرة أولية عن نوعية الفحم وجودته، ويتم من خلاله تحديد مكونات هامة هي: الرطوبة- المواد الطيارة- الرماد- الكربون الثابت، كنسب وزنية مئوية.

فالحصول على نسبة الرطوبة يتم تحديد الخسارة في وزن عينة الفحم أو الكوك وذلك عند تسخينها تحت شروط معينة من درجة حرارة وزمن وضغط.

أيضاً يمكن حساب نسب المواد الطيارة وذلك بقياس الخسارة في وزن عينة الفحم أو الكوك الجافة أو الرطبة المحللة تحت شروط معينة.

بالنسبة للرماد يتم تحديده بقياس كتلة الباقي من عينة الفحم أو الكوك عند حرقها تحت شروط معينة.

بعد أن نحدد نسب كل من الرطوبة والمواد الطيارة والرماد نقوم بجمع هذه النسب جميعاً ثم نطرحها من المئة فنحصل على النسبة المئوية للكربون الثابت في العينة.

2-4-2- طريقة التحليل النهائي Ultimate Analysis:

هذا التحليل هو تحديد كيميائي دقيق تحسب فيه العناصر الستة المكونة للوقود كنسبة وزنية. عادة لا نلجأ لمثل هذه الطريقة إلا في حالات خاصة تلزم البحث العلمي أكثر من لزومها للتطبيق العلمي.

حيث يتم تحديد النسب المئوية للكربون والهيدروجين بعد حرق عينة بوزن معين في جو مؤكسد تحت شروط معينة (للحصول على مخلفات الاحتراق الكامل) ثم وزن كميات غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء اللذين يتم امتصاصهما من قبل محاليل كيميائية معينة (حيث يقوم محلول ماءات البوتاسيوم بامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون أما بخار الماء فيمتصه محلول كلوريد الكالسيوم). بالنسبة للأزوت والكبريت فيتم تحديد نسب وجودهما ضمن عينة الفحم وذلك عن طريق تحاليل كيميائية معقدة، أما نسبة الرماد فيتم تحديدها وفق الطريقة المشروحة سابقاً في التحليل التقريبي. أخيراً وللحصول على نسبة الأوكسجين ضمن عينة الفحم أو الكوك نقوم بجمع نسب العناصر التي حصلنا عليها من التحليل ثم طرح المجموع بعد ذلك من المئة. على الجدول (2-3) موضح تركيب نموذجي للوقود الصلب.

يمكن تحليل الوقود الصلب و إجراء التحاليل التقريبية والدقيقة واستنتاج القيمة الحرارية له وتسجيل النتائج وفق العديد من الأسس، أكثر هذه الأسس انتشاراً في العالم أساس استلامه في المخبر "As Received"، عند حرقه "As Fired"، أساس الفحم الجاف "Moisture-free"، أساس الفحم الجاف الخالي من الرماد "Moisture-and ash-free"، على أساس جاف وعضوي "Dry, mineral-free" على أساس رطب وعضوي "Moist mineral-free" وأيضاً "جاف وخال من الرماد والكبريت".

إن وجود الرطوبة في الوقود يمكن أن يختلف بحسب شروط أساس التحليل المختار، بالإضافة لذلك فإن الفحم المخزن لفترة طويلة من الزمن يمكن أن يتغير ويختلف تركيبه.

الجدول (2-3) التركيب النموذجي للوقود الصلب:

[illegible]

تعطي عينة جافة من الفحم الحجري نسب وزنية لمكوناتها المختلفة بعد إزالة الرطوبة منها بالتسخين لدقائق معدودة عند الحرارة 105 درجة مئوية، كما أننا لو تمكنا من إزالة الرطوبة والرماد من الفحم فإن النسب الوزنية للمكونات الباقية تصبح

على أساس الجاف مع الخلو من الرماد. عادة ما يتم التحليل على أساس استلام العينة "As received" أو بعد تجفيف العينة "Moisture-free"، ثم بعد ذلك يمكن حساب هذه النسب على الأسس الأخرى عن طريق تحويلها وذلك بهدف مقارنة العينات المتعددة على ذات الأسس، وهذا يتطلب معرفة العديد من المعادلات للمساعدة في حسابات التحاليل الجديدة.

2-5- الوقود الصلب المصنع (الصناعي) Industrial solid-fuel:

ويستخرج من الوقود الصلب الطبيعي بطريقتين:

الطريقة الميكانيكية (الفحم المقطع، الفحم المطحون).

الطريقة الكيميائية الحرارية (فحم الكوك، الكوك الوسطي).

يعالج الوقود الصلب لتحسين نوعيته، ولتحسين جودة استخدامه، وأيضاً لبعض الاستعمالات التقنية.

- الفحم المقطع: ينتج عن المعالجة بالضغط العالي للفحم الطبيعي، وتستخدم غالباً في عملية التصنيع مادة التحام خاصة (رملاً فحمياً حجرياً). ويستخرج من الفحم الذي لا يثبت عند التخزين، كما يمكن أن يستخرج من الأنتراسيت وغيره. يتميز الفحم المقطع بعدة ميزات إيجابية وهي: التجانس في الأبعاد، سهولة الاحتراق، ومتانة كافية، وعند تصنيعه تنخفض نسبة الرطوبة فيه، مما يرفع من قيمته الحرارية، ويتميز بسهولة تحميله ونقله وتخزينه.

- الفحم المطحون: هو مزيج الجزيئات من 1 حتى 300 ميكرون حسب درجة الطحن، ويمكن إعادة عملية الطحن بغية الحصول على مسحوق ناعم. وتتم عملية التجفيف والطحن في مطاحن كروية أو أسطوانية خاصة أو غيرها. إن عملية احتراق الوقود الصلب في هذه الحالة، تعد أكثر اقتصادية، ويمكن أن تطحن الأنواع الرديئة من الفحم.

- فحم الكوك: هو نتاج التحلل الحراري للوقود الصلب في أماكن بعيدة عن الهواء وعند درجات حرارة تصل إلى 1000 درجة مئوية، وغالباً ما تتم العملية داخل حجرات في أفران خاصة وتستخدم لهذا الغرض أنواع خاصة من الفحم القاري تحمل صفات وخصائص ضرورية لإنتاج الكوك مثل احتوائها على القليل من الكبريت وكمية محدودة من الرماد.

تختلف القيمة الحرارية للكوك باختلاف تركيبه وتتراوح بين 26500-27200 ك. جول/كغ وينتج عن عملية التحلل الحراري هذه غاز الكوك، ويخرج بنسبة 14-16% وكذلك الماء النشادرى وغيرها.

يستخدم الكوك عادة في صناعة التعدين، وتحدد نوعية الكوك عادة بنسبة تطاير الغازات منه، ونسبة الرماد، وغيرها.

- الكوك الوسطي: ينتج عن عملية التسخين الجاف للوقود الصلب عند درجة حرارة 500-550 درجة ويستخدم لهذا الغرض الوقود الصلب الذي يتميز بزيادة نسبة الغازات المتطايرة فيه. والهدف من هذه العملية هو الحصول على مواد سائلة أو نصف جامدة. حيث يستخرج منها الوقود السائل الخفيف، والزيوت والبارافين وغيرها من المواد.

الكوك الوسطي الناتج يحترق بسهولة وبشكل مستقر، ويستخدم في صناعة الطاقة وفي الاستخدام المنزلي، إضافة لهذا الكوك ينتج غاز الكوك الوسطي، وغيره من المواد المهمة.

2-6- معايير استخدام الوقود الصلب Standards for the use of solid fuels

تحدد نوعية الفحم باعتماد معيار معين، لتوزيعه بين المنشآت المختلفة في الصناعة وعلى وسائل النقل. وهناك المعيار الإنتاجي، والاستهلاكي.

* المعيار الإنتاجي: يحدد نوعية الفحم الناتج، طبقاً للحالة الفنية للآلات والمعدات المستخدمة في عمليات الاستخراج والإغناء في الأماكن المختلفة.

وهنا تحدد مؤشرات النوعية (احتواء الرطوبة، الرماد، احتواء الكبريت، نسبة الغازات المتطايرة، القيمة الحرارية النوعية)، حيث تحدد القيمة الوسطية والكبرى لنسبة الرطوبة والرماد والكبريت، أما المؤشرات الأخرى، يتم تحديد قيمتها الوسطية فقط.

* المعيار الاستهلاكي: يحدد درجات نوعية الفحم، لاسيما المؤشرات التي تحقق الاستخدام الأمثل للفحم للحصول على المردود الأفضل (تحدد نوعية الفحم الأفضل لعملية استخراج الكوك، والفحم الأمثل لاستخراج الغازات المتطايرة وغيرها). ولتحضير الفحم المطحون يمكن استخدام شتى أنواع الفحم ولاسيما ذو الرماد الكثير، مع العلم أن درجة الرطوبة يجب ألا تزيد عن 12% في الفحم الحجري العادي و 35% في الفحم الوسطي.

وتعتمد المعايير آنفة الذكر طريقة موحدة لاستخراج العينات المختلفة، اللازمة لتحديد وحساب مؤشرات النوعية والجودة للفحم في المخابر.

2-7- استعمالات الفحم الحجري :Uses of coal

تعتمد طريقة استخدام الفحم الحجري على تركيبه الكيميائي ومحتوى الرطوبة فيه. وتصنف الفحم الحجري عادةً طبقاً لكمية محتواها من الكربون، ويتناقص محتوى الكربون في الفحم الحجري مع تدني رتبها، أما كمية الرطوبة في الفحم الحجري فتتزايد مع تدني رتبها. والفحم القارية من الفحم الأكثر وفرة، كما أنها الأكثر استخداماً من بين رتب الفحم الحجري الرئيسية، وهي ذات طاقة حرارية أعلى نسبياً، وهي الفحم الوحيدة الملائمة لإنتاج الكوك، أما الأنتراسيت فهي صعبة الاشتعال كما أنها بطيئة الاحتراق لا تتاسب الطرق الحديثة المعتادة لإنتاج

الطاقة الكهربائية من الفحم الحجري، كما أنها الأقل وفرة بين رتب الفحم الحجرية الأربع.

2-7-1- الفحم الحجري كوقود:

يعدّ الفحم الحجري وقوداً نافعاً بسبب وفرته واحتوائه على قيمة حرارية عالية نسبياً، ومع ذلك يحتوي الفحم الحجري على شوائب معينة تحد من صلاحية استعماله كوقود، تشمل هذه الشوائب عنصر الكبريت ومعادن أخرى متنوعة، ولدى احتراق الفحم الحجري فإن معظم الكبريت يتحد مع عنصر الأوكسجين ويكونان غازاً ساماً هو غاز ثاني أكسيد الكبريت، أما معظم المعادن الأخرى فتتحول إلى رماد. وتشير صناعة الفحم الحجري إلى المواد المنتجة للرماد باسم رماد حتى قبل احتراق الفحم الحجري.

وتحتوي بعض الفحم الحجرية على أقل من 1% من عنصر الكبريت، وهذه الفحم ذات المحتوى القليل من عنصر الكبريت يمكن حرقها بكميات كبيرة ودون إطلاق كميات ضارة من غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى الهواء. إلا أن هناك فحوماً حجرية عديدة تحتوي على ما يزيد على 1% من عنصر الكبريت، وتسبب هذه الفحم الحجرية ذات المحتوى المتوسط وذات المحتوى العالي من عنصر الكبريت تلوثاً خطيراً للهواء إذا أحرقت بكميات كبيرة دون أخذ تدابير الأمان المناسبة، وهذا ما جعل من استعمال الفحم الحجري كوقود محدوداً، نظراً لصعوبة وارتفاع تكلفة تطوير تدابير الأمان من التلوث. كما أن بعض الرماد الناتج عن احتراق مسحوق الفحم الحجري قد يتسرب في الهواء ويلوثه، شأنه في هذا شأن غاز ثاني أكسيد الكبريت، ولقد جرى تطوير أدوات وأجهزة يمكنها حجز الرماد المتطاير من احتراق الفحم الحجري من عوادم الدخان، الأمر الذي يحول دون تسربه إلى الهواء، ويتركز استعمال الفحم الحجري كوقود بشكل رئيسي لإنتاج القدرة الكهربائية.

إن الغالبية العظمى من محطات القدرة الكهربائية محطات توربينية بخارية. وتستخدم الفحم الحجري أو النفط أو الغاز لإنتاج البخار لتوليد الطاقة الكهربائية، وتعدّ الفحم القارية الفحم الحجرية المفضلة لتوليد القدرة الكهربائية من بين أنواع الفحم الأخرى.

يستعمل الفحم الحجري بكثرة في مناطق من قارتي آسيا وأوروبا في تدفئة المنازل والمباني، وفي الولايات المتحدة حلّ الغاز الطبيعي والنفط محل الفحم الحجري كوقود للتدفئة، ومع ذلك فإن ارتفاع تكلفة النفط والغاز الطبيعي قد أدت ببعض المصانع والمباني التجارية إلى العودة إلى استخدام الفحم الحجري، ولهذا السبب تفضل الفحم القارية على الأنتراسيت في استخدامها لتدفئة المصانع والمباني التجارية الأخرى، والفحم تحت القارية واللغنيئات ذات معدلات حرارية منخفضة، ولذا يتعين إحراقها بكميات كبيرة من أجل توليد الحرارة بفعالية كافية، ونتيجة لذلك يندر استخدامها في أعمال التدفئة والتسخين.

استخدم الفحم الحجري في الماضي من أجل الحصول على الحرارة اللازمة لصناعة منتجات كثيرة تتفاوت من صناعة الزجاج إلى صناعة الأطعمة المعلبة، ومن ثم استبدل بالغاز الطبيعي لصناعة معظم المنتجات. أما الاستخدامات الرئيسية للفحم الحجري فاقترنت على صناعات الإسمنت والورق، ومع ذلك تحولت بعض الصناعات إلى الفحم الحجري تفادياً لأسعار الغاز الطبيعي المرتفعة.

2-7-2- الفحم الحجري كمادة خام:

تصلح المواد المنتجة من الفحم الحجري كمواد خام في الصناعة، ويعد الكوك الأكثر انتشاراً من بين هذه المواد، ذلك أن معظم معامل الكوك أجزاء ملحقة بمصانع الفولاذ، وتقوم مصانع الفولاذ بحرق الكوك مع خام الحديد وحجر الجير وذلك لتحويل خام الحديد إلى حديد نقي لازم لإنتاج الفولاذ. ويطلق على عملية

إنتاج الكوك اسم الكربنة، حيث تتحول بعض الغازات الناتجة خلال عملية الكربنة (بعد أن تبرد) إلى أمونيا سائلة وقطران الفحم الحجري وفي عمليات لاحقة تتحول بعض الغازات المتبقية إلى زيت خفيف. وتستخدم الأمونيا وقطران الفحم الحجري والزيت الخفيف في إنتاج الأدوية والأصباغ والأسمدة، كما يستعمل قطران الفحم الحجري أيضاً في أعمال أسطح المنازل ورصف الطرق، وهو يحترق مثل الغاز الطبيعي ولكنه ذو قيمة حرارية أقل، ويطلق كميات كبيرة من هباب الفحم لدى احتراقه، وفي العادة يتم استهلاك غاز الفحم الحجري هذا، وبشكل رئيسي، داخل المعامل التي تنتجه حيث يستخدم في توليد الحرارة اللازمة لعمليات إنتاج الكوك والفولاذ.

ويمكن الحصول على الغاز من الفحم الحجري مباشرة دون عملية الكربنة وذلك بطرق عديدة تسمى التغويز، وتتضمن أبسط طرق التغويز حرق الفحم الحجري بوجود الهواء المضغوط أو البخار، ويشبه الغاز الناتج غاز أفران الكوك، وذلك لاحتوائه على قيمة حرارية منخفضة وإطلاقه هباب الفحم، وهو يستخدم أساساً في بعض عمليات الصناعة، وكذلك في إنتاج أنواع من الوقود السائل ذات الطاقة العالية مثل البنزول و زيت الوقود، ولكن الطرق المستخدمة حالياً لإنتاج هذه الأنواع من الوقود مكلفة ومعقدة.

2-8- تخزين الفحم الحجري Coal Storing:

حتى تستمر العملية الإنتاجية في المصانع ووسائل النقل والمشاريع الأخرى، من الضروري تنظيم عملية التخزين الطويل للوقود الصلب، وذلك بسبب الاختلاف في درجة الاستهلاك الفصلية على مدار السنة.

تتأثر نوعية الفحم الحجري عند تخزينه بشكل مكشوف وذلك بسبب أنه يمكن أن تخلق ظروف مساعدة جداً على أكسدته في درجات حرارة منخفضة، لذلك يجب أن تؤخذ احتياطات خاصة منعا لذلك.

فكما هو معروف أن التأثير المتبادل بين الجزء القابل للاحتراق في الوقود وأوكسجين الهواء يشكل أساس طرق استخدامه في الاحتراق، ومن أهم ما يميز عملية الاحتراق هو التسخين الذاتي لجملة التفاعلات الجارية نتيجة البث الحراري لتفاعلات الأكسدة والإرجاع. هذا وإن عملية أكسدة الوقود الصلب بالأوكسجين يمكن أن تجري بسرعة حتى في درجات حرارة غير مرتفعة.

لذلك فإن عملية التخزين تؤثر بشكل مهم في كتلة الوقود، حيث أن الأوكسجين يُمتز على سطح الفحم ومع الزمن يرتبط مع الفحم مشكلاً تجمعات أكسجينية في الفحم تؤدي إلى تشكيل مركبات كيميائية تؤلف - بالتالي - أحد الأجسام المكونة للجزيئات الضخمة للفحم.

تدعى هذه المرحلة بفترة التهييج، ويرتبط استمرار هذه الفترة بمرتبة الفحم وبظروف الأكسدة. وبانتهاء فترة التهييج تتفك المجموعات الأكسجينية مشكلة مواد ذات أوزان جزيئية صغيرة على شكل غازات حاوية على الأوكسجين مثل CO_2 ، H_2O ، CO ، وينطلق عادة كمية غير كبيرة من المواد غير المؤكسدة كالميتان والهيدروجين وغيرها. هذا كله بالطبع يؤثر سلباً على صفات الوقود الكيميائية والفيزيائية، ومن أهم هذه الصفات التي تتأثر بأكسدة الوقود الصلب هي نقصان القيمة الحرارية (وذلك نتيجة زيادة محتوى الكتلة العضوية بالأوكسجين).

وتلعب الرطوبة دوراً مهماً كوسيط في عملية الأكسدة لذلك يتوجب حماية الوقود من رطوبة الجو وعدم تعرضه للمطر. كما يجب عدم فصل القطع الكبيرة للفحم عن الناعمة حتى لا يتشكل فجوات بين القطع تسمح بمرور الهواء بينها حيث يؤدي ذلك إلى تسريع أكسدة الفحم مما يعني الإساءة لصفاته المطلوبة، وبالتالي انخفاض جودة الفحم نتيجة ميله للاحتراق الذاتي أثناء التخزين الطويل. ويتعلق ذلك بعمر الفحم ونسبة عنصر الكربون فيه، ويقسم الفحم تبعاً لهذه الظاهرة إلى أربعة أنواع:

- الفحم الأكثر استقراراً- الفحم المستقر - متوسط الاستقرار - غير مستقر عند التخزين.

للحد من فقدان في عملية تخزين الفحم، يخزن الفحم في أماكن كبيرة الحجم، حيث يغلف الفحم بطبقات حماية بإحكام وعزل جيدين.

وعند التخزين الطويل للفحم الحجري، يجب أن يتمتع بالمؤشرات المطلوبة وخاصة درجة الرماد التي يجب ألا تزيد عن نسبة محددة لمعايير استخدامه. يخزن الأنتراسيت لمدة 1,5 سنة والأنواع الأخرى في حدود ستة أشهر. ولكن يجب ملاحظة انخفاض نوعية الفحم أثناء التخزين في كل الحالات لاسيما عند بواخر ظهور الاحتراق الذاتي له.



الفصل الثالث الوقود السائل (النفط ومشتقاته)

مقدمة

- 1-3- استخراج النفط
- 2-3- تصنيف النفط
- 3-3- الخواص الكيميائية للنفط
- 4-3- الخواص الفيزيائية للنفط
- 5-3- الخواص الكهربائية
- 6-3- الخواص الضوئية
- 7-3- تحضير النفط لعملية التكرير
- 8-3- فرز النفط في الحقول والمصانع
- 9-3- تقطير النفط الخام
- 10-3- إنتاج المحروقات في المصافي
- 11-3- تصنيف الوقود الناتج عن تكرير النفط
- 12-3- تخزين وتداول الوقود السائل ومراقبته
- 13-3- أنواع الوقود السائل الأخرى



الفصل الثالث

الوقود السائل (النفط ومشتقاته)

PETROLEUM FUELS

مقدمة Introduction:

النفط أو البترول، كلمة مشتقة من الأصل الإغريقي بيترا، الذي يعني صخوراً، وأوليوم، التي تعني زيتاً. ويطلق عليه أيضاً "الزيت الخام، كما أن له اسماً "دارجاً" (الذهب الأسود). وأحياناً يسمى نافثاً، من اللغة الفارسية (نافث أو نافاثا) التي تعني قابليته للسريان.

عرف الأقدمون النفط منذ أكثر من ستة آلاف عام في حوض الفرات في العراق، واستخدموه في مجالات طبية عدة، ولتغطية الزوارق الخشبية بهدف حمايتها من الماء، كما استخدم في الإضاءة. وكان النفط يجمع في أماكن خروجه إلى سطح الأرض ومن ثم ظهرت واتسعت طرائق متعددة لاستخراجه بحفر الآبار المختلفة. والنفط كمصدر من مصادر الطاقة الأولية المهم للغاية، يختلف في مظهره وتركيبه ونقاوته بشدة من مكان إلى آخر. ولقد شكلت صناعة النفط واستخراجه وتكريره قطاعاً صناعياً ضخماً ما زال يتطور باستمرار.

وقد كان لتطور صناعة المحركات الحرارية المتنوعة والآلات والتجهيزات الميكانيكية التي لا تحصى، ضرورة كبيرة لإنتاج كميات ضخمة من الوقود والزيوت، التي يعد النفط مصدرها الأساسي، ويستخدم حالياً النفط ومشتقاته في كل فروع الاقتصاد العالمي. زيادة على ذلك يعد النفط المادة الخام والقاعدة الرئيسة لصناعة متعددة الوجوه والتي تعرف بصناعة البتروكيمياويات التي تنتج الكحول الصناعي واللدائن والكاوتشوك، والقماش الصناعي والسجاد وغيرها.

يزداد استخراج النفط بمعدل سريع وتزداد حصة استهلاكه في ميزان الطاقة العالمي زيادة مستمرة، وذلك بسبب سهولة استخدامه ورخص مشتقاته بالمقارنة مع الفحم الحجري.

3-1 - استخراج النفط Oil Extraction:

يوجد النفط في جوف الأرض في أعماق مختلفة في حدود واسعة تصل إلى خمسة آلاف متر أو ستة أو أكثر أو أقل أحياناً، ويكون النفط عادة مصحوباً بالغاز والماء، وتشغل هذه المواد الثلاث في الطبقة النفطية، وضعاً ينطبق مع وزنها النوعي، فالغاز يقع في الجزء الأعلى ثم يليه النفط ويقع الماء في الأسفل. ويستخرج النفط من باطن الأرض إلى سطحها بحفر الآبار في أماكن وجوده بعد إجراء عمليات التنقيب والبحث لتحديد أماكن حفر هذه الآبار التي سيتدفق منها النفط. وهدف العمليات هو دراسة تركيب صخور المنطقة التي يجري فيها التنقيب، وتفحص صخور الطبقة النفطية (قدرتها، مساميتها، نفاذيتها، وتشبعها بالنفط) وتحدد مساحة حقل النفط والاحتياطي الأولي للغاز والنفط فيه.

يتم الحفر بطريقتين هما الحفر الدوراني والحفر التوربيني، وتطور أداة الحفر (اللقمة) في الحفر الدوراني مع كل عمود مواسير الحفر، وكلما ازداد عمق البئر، تضاف إلى الماسورة (الأسطوانة) العاملة مواسير حفر جديدة. ويصل طول عمود مواسير الحفر في نهاية عملية الحفر إلى عدة كيلو مترات، ولفصل الصخور، التي تفتتها أداة الحفر من البئر يضخ خلال مواسير الحفر إلى قاع البئر محلول طيني يحمل الصخور إلى السطح.

تدور اللقمة أثناء الحفر التوربيني بواسطة توربين خاص، ينزل إلى قاع البئر ويعمل بواسطة المحلول الطيني المضخ. ويمكن بواسطة الحفر التوربيني إجراء الحفر المائل الموجه تحت الأبنية وأحواض الماء وغيرها. وكذلك إجراء الحفر

الموازي أي حفر عدة آبار (تصل إلى 12 بئراً) من موقع واحد. وهذا الحفر مريح جداً عند استغلال الحقول النفطية البحرية.

يتم إنتاج النفط من الآبار بثلاث طرائق أساسية وهي: طريقة النافورة الطبيعية، طريقة الضغط (الرفع بالغاز)، وطريقة الضخ الميكانيكي العميق.

يرتفع النفط بطريقة النافورة إلى فوهة البئر تحت تأثير ضغط الطبقة، ويدخل بعدها في تراكيب حديدية خاصة تتحمل الضغط العالي ماراً في شبكات (مصادر) يفصل فيها الغاز عن النفط ثم يدخل النفط بعد ذلك في خزانات واسعة ومحكمة. تستخدم طريقة النافورة في بداية فترة الإنتاج من البئر، عندما يكون ضغط طبقة النفط كافياً أو باستخدام طرائق إضافية للحفاظ على هذا الضغط تحت تأثير ضغط الماء أو الغاز.

وفي حالة الإنتاج بضغط الهواء، ينزل عمودان من المواسير في البئر، ويدفع في الفراغ الحلقي بينهما هواء أو غاز مضغوط. ويكون هذا الهواء أثناء مروره بالسائل عموداً من مزيج النفط والغاز ذا كثافة منخفضة، ويصل هذا المزيج إلى سطح البئر تحت ضغط الطبقة.

أما في حالة الإنتاج بالمضخات، يتم إنزال مضخة خاصة إلى البئر على مواسير أو قضبان، وتقوم هذه المضخة بدفع النفط إلى السطح. وتدور المضخة باستخدام عمود من قضبان التوصيل، بوساطة آلة الترحيح التي تتركب فوق سطح البئر. وهذه الآلة هي عاتق متأرجح يتصل أحد أطرافه بعمود قضبان التوصيل، والطرف الآخر بآلية ذراع توصيل تدار بوساطة محرك كهربائي. وتستخدم في الآونة الأخيرة مضخات كهربائية غطاسة، يتم إنزالها في البئر على مواسير، تقوم بإيصال النفط إلى السطح. تعمل المضخة بوساطة محرك كهربائي يقع مباشرة في البئر، ويغذى بالتيار الكهربائي بوساطة كابل خاص.

يمكن بوساطة الطرائق المذكورة إيصال من 30 إلى 50% من النفط الموجود في الطبقة إلى السطح. وبعد استخراج النفط، تفصل الغازات المرافقة له في شبكات خاصة، ويجمع في خزانات تجميع حيث يفصل عنه الماء والشوائب الأخرى، ثم إلى خزانات أخرى في الحقول، حيث يخضع النفط فيها لعملية ترسيب وتنظيف إضافيتين. ويمر النفط خلال وحدة إزالة الاستحلاب (إذا كان يحتوي على ماء لا يفصل عنه).

ينقل النفط بطرائق مختلفة مثل الضخ في الأنابيب الضخمة، أو بوساطة صهاريج السكك الحديدية أو بالطرائق البحرية أو النهرية وغيرها، غير أن النقل بالأنابيب يعد أكثر جدوى اقتصادية من الوسائط الأخرى.

3-2- تصنيف النفط Classification of oil:

إن عملية تصنيف النفط لها أهمية كبيرة، بتحديد عملية التكرير، وأنواع المشتقات الناتجة وجودتها. ومن أهم الأسس المتخذة لتصنيف النفط هو التركيب الهيدروكربوني. ويقسم النفط تبعاً لذلك إلى:

أولاً: - النفط الميتاني أو (النفط البارافيني) - النفط النفثاني - النفط العطري
ثانياً: - النفط الميتاني نفثاني - النفط النفثاني العطري - النفط الميتاني النفثاني العطري.

وأكثر أنواع النفط انتشاراً هو ذو الأساس المختلط.

إذا كانت نسبة وجود مجموعة هيدروكربونية أكثر من 50% في تركيب النفط، سمي باسمها كما في التصنيف الأول (أساساً وحيداً). وإذا كانت نسبة وجود مجموعة هيدروكربونية أخرى أكثر من 25% إضافة للأولى يسمى النفط ويصنف كما في الحالة الثانية (أساساً مختلطاً).

ويصنف النفط تبعاً لنسبة الكبريت في تركيبه إلى:

- نفط من الدرجة الأولى يحتوي على نسبة 0,5% من الكبريت.

- نفط درجة ثانية يحتوي على نسبة تتراوح ما بين 0,51 - 1,9 % من الكبريت.

- نفط درجة ثالثة يحتوي على نسبة عالية من الكبريت تفوق 1,9 %

ويصنف النفط تبعاً لكمية البارافين الموجودة في تركيبه إلى:

- نفط قليل البارافين.

- نفط بارافيني.

- نفط كثير البارافين.

وتستخدم طرائق أخرى لتصنيف النفط طبقاً للخواص الفيزيائية والكيميائية، وطبقاً لجودة المشتقات التجارية التي نحصل عليها منه.

3-3- الخواص الكيميائية للنفط Chemical properties of oil:

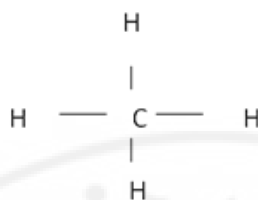
إن المركبات الأساسية التي تدخل في تركيب النفط هي مجموعة المواد الهيدروكربونية ومجموعة المواد غير الهيدروكربونية وتحدد نسبة هذه المركبات خواص النفط الفيزيائية والكيميائية.

3-3-1- مجموعة المواد الهيدروكربونية Hydrocarbons:

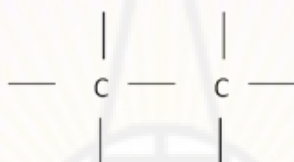
أهم المجموعات الهيدروكربونية المكونة للنفط تنتمي إلى إحدى المجموعات الثلاث التالية: البرافينات (الألكانات) $ALkans$ ، البرافينات الحلقية (النفثانات) والمركبات العطرية (الأروماتية)، وضمن المجموعة الواحدة تميل الخواص الكيميائية والفيزيائية وخواص الاحتراق لأن تكون متشابهة بين مختلف المركبات الواقعة ضمنها.

3-3-1-1- مجموعة الألكانات (البرافينات) $ALkans$:

ورمزها العام C_nH_{2n-2} وتبدأ هذه المجموعة بغاز الميثان الذي يتكون من ذرة كربون وأربع ذرات هيدروجين مرتبطة معها بروابط أحادية:



وكل عنصر في هذه المجموعة يختلف عن الذي قبله بزيادة ذرة كربون جديدة.
فالمركب الثاني هو الإيثان C_2H_6 :



وأما تسمياتها فقد جاءت حسب الأرقام المتسلسلة لعدد ذرات الكربون باللغة اليونانية.

ويعد البرافين أحد مركبات النفط المهمة جداً، وهو عبارة عن مزيج من المركبات الصلبة حيث تنسب المجموعة إليه. وهي تتصف بخمولها كيميائياً حيث لا تتفاعل مع حمض الكبريت والأزوت المركزين. كما أنه عند اشتعال النفط بوجود الهواء أو الأكسجين، فإن البرافين يحترق مولداً كمية كبيرة من الحرارة وقد يؤدي هذا الاشتعال عند شروط معينة إلى الانفجار. ولكن مثل هذا التفاعل لا يحدث إلا عند درجات حرارة مرتفعة.

في الشروط الطبيعية من الحرارة والضغط تكون حالة العناصر الأربعة الأولى من هذه المجموعة غازية، أما العناصر من C_5 وحتى C_{16} فتكون في الحالة السائلة. وما فوق ذلك تكون صلبة. بقي أن ننوه إلى أن وجود روابط أحادية فقط

بين ذرات الكربون في هذه المجموعة جعلها تعدّ مشبعة، فهي تحتوي على أكبر كمية ممكنة من ذرات الهيدروجين. أما عن عددها فيوجد في النفط مركبات عديدة، قد يصل عدد ذرات الكربون فيها إلى 78 ذرة، وتحتوي هذه المجموعة على نوعين من السلاسل:

- المركبات ذات السلاسل المستقيمة n-Paraffin
- المركبات ذات السلاسل المتفرعة iso-Paraffin ، حيث تبدأ هذه السلسلة بمركب الإيزوبروبان.

وجدير بالذكر أن عدد الإيزوبارافينات المقابلة للبرافين المستقيم تزداد بزيادة عدد ذرات الكربون كما هو موضح في الجدول (3-1) وبالرغم من أن الصيغة الجزيئية هي ذاتها لكل من البرافينات ومشابهاتها (الإيزوبارافينات) إلا أنهما يختلفان كثيراً في الخواص الطبيعية، وأهم اختلاف في الصفات الفيزيائية والكيميائية هو صفة الحرق التي تختلف بشكل واسع.

فالإيزوأكتان وقود ذو احتراق ناعم وهادئ في المحركات ذات الاشتعال بالشرارة، ولقد اختير مقياساً للبنزين الممانع للطرق بعدد أكتاني (100) بينما شبيهه من العائلة البارافينية وهو الأوكتان الطبيعي فهو ذو عدد أوكتاني منخفض جداً، حتى أن الهبتان الطبيعي من العائلة البارافينية قد اختير كمقياس لوقود سهل الطرق وأعطى الرقم 0.

الجدول (1-3). المشابهات في مجموعة البرافينات

مثال: الأكتان	عدد ذرات الكربون	عدد المشابهات
$C - C - C - C - C - C - C$	C_4	2
الأكتان العادي (المستقيم)	C_5	3
$n - octane, C_8H_{18}$	C_6	5
$ \begin{array}{c} \text{C} \qquad \qquad \text{C} \\ \qquad \qquad \\ C - C - C - C - C \\ \\ C \end{array} $	C_7	9
	C_8	18
	C_9	35
الإيزوأكتان	C_{12}	355
$iso - octane, C_8H_{18}$		

3-3-1-2- مجموعة الألكانات الحلقية Cyclo Alkanes:

وهي مركبات مشبعة لكنها حلقية، رمزها العام C_nH_{2n} وتسمى أيضاً البرافينات الحلقية Cyclo Paraffins ولكن اسمها الشائع النفثينات.

وأول مركبات هذه المجموعة البنزان الحلقي C_5H_{10} والهكسان الحلقي C_6H_{12} وتركيبها كما يلي:



ويمكن أن تحل مجموعة الكيل محل إحدى ذرات الهيدروجين المتصلة بإحدى ذرات الكربون فتتشأ مركبات حلقة أخرى تصنف في المجموعة نفسها:

تقع درجات غليان مركبات هذه المجموعة بين درجات غليان البرافينات المستقيمة والمنفرعة.

3-1-3-3 - مجموعة المركبات العطرية Aromatics:

وهي مركبات حلقة غير مشبعة، أي تحتوي على روابط ثنائية ورمزها العام $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ وأولها البنزول C_6H_6 ، وهو سائل لا لون له، حيث إن درجة غليانه تساوي 8 درجة مئوية، ومنها أيضاً التولوين $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$.

كما يوجد في البترول مركبات عطرية تحتوي على حلقتين بترولينيتين مثل النفثالين $C_{10}H_8$ ، ومركبات تحتوي على ثلاث حلقات مثل الإنتراسين $C_{14}H_{10}$ وذات أربع حلقات مثل البترانتراسين $C_{18}H_{12}$.

تتميز أغلب الفحم الهيدروجينية في هذه المجموعة برائحة خاصة، لذلك سميت بالعطرية. ولهذه الزمرة خواص احترق مرغوب بها، إذ تضاف لوقود البنزين من أجل رفع مقاومته للطرق.

من ناحية أخرى فإن بعض الفحم الهيدروجينية النادرة أو غير الموجودة في النفط الخام قد ركبت بالتكسير أو بالهدرجة، وهي توجد في بعض النواتج البترولية بعد التصفية أو في منتجات البتروكيميا كالأولييفينات أو الفحم الهيدروجينية

الأثيلينية ذات الرمز العام C_nH_{2n} ذات الرابطة المضاعفة بين ذرات الكربون، وكذلك الأسيتيلينيات.

3-3-2- مجموعة المواد غير الهيدروكربونية:

وهي مركبات غير مرغوب بها ينبغي فصلها عن النفط. تحتوي على عناصر مثل الكبريت والنتروجين والأكسجين والنيكل والفانديوم، والتي تكون على هيئة سلاسل وحلقات تشبه سلاسل وحلقات الكربون والهيدروجين، وقد تكون هذه العناصر أيضاً داخلية في تركيب السلاسل والحلقات الهيدروكربونية نفسها. وأهم هذه المركبات:

3-3-2-1- مركبات الكبريت Sulfur Compounds:

يعدّ القسم الأعظم من الاحتياطي العالمي للبترول في الوقت الحاضر من النوع الكبريتي أو الغني بالكبريت. ومن المعلوم أن وجود الكبريت في وقود السيارات يؤدي إلى تخفيض استطاعة المحرك ويزيد من عدد الإصلاحات الأساسية للمحرك، كما يلحق استخدام وقود كبريتي أضراراً بالبيئة والوسط المحيط، حيث إنّ أكاسيد الكبريت التي تنطلق أثناء الاحتراق تؤثر تأثيراً ضاراً بالبيئة والإنسان.

تبلغ نسبة الكبريت في النفط الخام بين 0.1 و 3.5% وزناً، وهذه النسبة لا تشمل بالطبع غاز كبريت الهيدروجين H_2S الذي يوجد مع النفط مصاحباً له في المكنن، والذي يتم في العادة التخلص منه مع الغازات المصاحبة للنفط في فاصلات الغاز عند رأس البئر.

يدخل الكبريت في العديد من المركبات منها: - كبريتيد الهيدروجين - الكبريتيدات - ثنائي الكبريتيدات - الكبريتيدات الحلقية ومشتقات الثيوفين - كبريتيد رباعي الميثيلين وغيرها. ويتوزع الكبريت في القطفات البترولية بحيث تزداد نسبة وجوده مع ارتفاع درجة الغليان.

3-2-3-2- مركبات الأكسجين:

تحتوي الأحماض النفطية والفينولات، ومركبات الأسفلت الموجودة في النفط على الأكسجين ولا تزيد نسبته في النفط على 1%.

الأحماض النفطية هي مركبات تحتوي على مجموعة كربوكسيل، وتكون مركبات مشابهة للمركبات التي تكونها الأحماض العضوية. وتتراوح نسبة الأحماض النفطية في النفط بين 0,01-2% أو أكثر.

يحتوي النفط على كمية ضئيلة من الفينولات التي تفصل عنه مع الأحماض النفطية. وتعد المواد الأسفلتية الموجودة في النفط من المركبات المحتوية على الكبريت علاوة على الأكسجين. وتساوي نسبة وجود المواد الأسفلتية في النفط 4-20% وأكثر.

3-2-3-3- مركبات الآزوت:

توجد هذه المركبات في النفط بكميات ضئيلة (0,03-0,3%) وتزداد نسبة الآزوت بزيادة وزنه النوعي ونسبة المواد الأسفلتية. ولا تبدأ مركبات الآزوت بالتطاير إلا في مدى الغليان أعلى من 400°C . ويوجد الآزوت في الغالب في مركبات ذات طابع عضوي، وتتركز هذه المركبات في الرواسب المتبقية.

3-2-3-4- المركبات الفلزية العضوية

:Organo-Metallic compounds

توجد في النفط الخام كميات ضئيلة من بعض المركبات العضوية التي تحتوي على بعض الفلزات مرتبطة بها مثل الفانديوم والنيكل وغيرها. وهي مركبات ثابتة لا تتطاير إلا في درجات غليان أعلى من 500°C ووجودها في المنتجات الثقيلة يسبب مشاكل وذلك عندما يراد معالجة هذه المنتجات للحصول على نوعية أفضل. وأهم هذه المشاكل هي ما يدعى بتسمم العوامل الحفازة التي تستخدم في هذه

المعالجات للتعجيل من معدلات التفاعلات فيها. لذلك وجب إزالة هذه الفلزات من مثل هذه المنتجات الثقيلة قبل معالجتها.

ولقد أظهرت دراسة رماد النفط أنه يحتوي على الفاناديوم بنسبة 0,5-4% من الرماد، والفوسفور p بنسبة 5% من الرماد، والبوتاسيوم K والنيكل Ni واليود I بنسبة 0-3%.

3-4- الخواص الفيزيائية للنفط Physical properties of oil:

3-4-1- الكثافة والوزن النوعي:

تعد الكثافة والوزن النوعي أهم الخواص الفيزيائية تأثيراً عند دراسة النفط ومشتقاته. ويساوي الوزن النوعي للسائل أو الغاز وزن وحدة الحجم منهما كغ/م³، وكثافة السائل أو الغاز هي كمية المادة الموجودة في وحدة الحجم منهما كغ/م³.

وهناك الكثافة النسبية ρ_4^{20} وهي الكمية التي تبين نسبة كثافة المادة النفطية إلى كثافة الماء الصافي، عند درجة الحرارة +4 للماء و 20 للمادة النفطية. وهناك الوزن النوعي النسبي للمادة وهو يعطي العلاقة بين الوزن النوعي للمادة والوزن النوعي للماء ويرمز له γ_4^{20} . مع العلم أن الكثافة النسبية والوزن النوعي النسبي كميتان متساويتان.

تعد كثافة النفط (الوزن النوعي) من الخصائص التي تبين مدى احتوائه على القطافات منخفضة الغليان ذات الكثافة المنخفضة، والرسوبيات ذات الكثافة المرتفعة وكذلك على نوعية المجموعات الهيدروكربونية التي تدخل في تركيب النفط. ومن المعروف أن كثافة مجموعة الميثان أقل من كثافة النفثانات التي تتساوى بعدد ذرات الكربون في الجزيء الواحد. وكثافة النفثانات أقل بدورها من كثافة مجموعة العطريات. أي أن كثافة النفط تدل بشكل أو بآخر على تركيبه بشكل تقريبي أولي.

تتراوح كثافة أغلب أصناف النفط بين 0,82-0,9 وأحياناً تنخفض إلى 0,75 ويمكن أن تزداد إلى 1 أو أكثر بقليل.

وتختلف كثافة مشتقات النفط عن بعضها كما يلي:

- البنزين (0,72 - 0,78) - الكيروسين (0,8 - 0,86) - وقود الديزل (0,84 - 0,90)
- الزيت (0,89 - 0,94).

بارتفاع درجة حرارة المادة النفطية تقل كثافتها وتحسب طبقاً لذلك بالعلاقة التالية:

$$\rho_4' = \rho_4^{20} - \gamma_t (t - 20)$$

حيث:

ρ_4' الكثافة النسبية عند درجة حرارة معينة مئوية.

γ_t المعامل الحراري للكثافة ويساوي (0,00089 إلى 0,0051).

ويحسب متوسط الكثافة (الوزن النوعي) لمزيج من المواد النفطية، كأى مقدار وزني وسطي كما يلي:

$$\rho_a = \frac{V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2 + \dots + V_n \cdot \rho_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n}$$

حيث:

V - حجم المركبات المختلفة للمواد النفطية.

ρ - كثافة هذه المركبات.

ولحساب الكثافة النسبية لغاز ما تقارن كتلته مع الحجم نفسه من الهواء في الظروف العادية (760 مم زئبقاً ضغطاً ودرجة حرارة تساوي الصفر). مع العلم أن كثافة الهواء في الظروف العادية تساوي 1,293 كغ/م³. وتعد وحدة قياسية عند تعيين الكثافة النسبية للغازات.

تقاس كثافة المواد النفطية بمقياس (أريومتر) وهو أبسط المقاييس ويعمل وفقاً لمبدأ أرخميدس. ويغمس الجهاز مباشرة في المادة. وتتراوح دقته بين 0,001 للمواد ذات اللزوجة المنخفضة و 0,015 للمواد اللزجة. وباستخدام الميزان الهيدروستاتيكي (ميزان فستقال - مور) يمكن الحصول على دقة أعلى وتساوي 0,0005 ويعمل على المبدأ نفسه.

أكبر دقة في قياس الكثافة (0,0001)، يمكن التوصل إليها بواسطة ما يسمى زجاجة الكثافة، ويتم القياس هنا بمقارنة وزن المادة النفطية في حجم معين مع وزن الحجم نفسه من الماء عند درجة الحرارة نفسها.

كما يعبر عن الكثافة بوحدة (API Gravity) وهي التي استحدثها معهد النفط الأمريكي (American Petroleum Institute) حيث تتناسب عكسياً مع الكثافة وفق العلاقة التالية:

$$API = \frac{141.5}{S} - 131.5$$

حيث S- الكثافة النسبية

ومعظم أنواع النفط تتراوح كثافتها النوعية بين 20 و 45 درجة API، وأقل من ذلك يعدّ النفط ثقيلًا" وأكبر من ذلك يكون جيداً".

يضم الجدول (2-3) بعض المواصفات للنفط الخام المستخرج من مناطق مختلفة من العالم.

الجدول (2-3)

مواصفات الزيت الخام	الزيت المستخرج من تكساس	الزيت العربي الخفيف	الزيت المستخرج من الأسكا
الكثافة النوعية (S)	0.811	0.853	0.893
درجات API	43	34.5	27
نسبة الكبريت، وزنًا %	0.4	1.6	0.9

مقياس API هو الذي يحدد سعر النفط الخام، فإذا كانت الكثافة النوعية بمقياس API عالية كان سعره مرتفعاً. آخذين في الاعتبار أن نسبة الكبريت تؤثر أيضاً في سعر النفط الخام.

3-4-2- الوزن الجزيئي:

يتوقف الوزن الجزيئي للنفط ومشتقاته على الوزن الجزيئي للمركبات المكونة له وعلى نسبة هذه المركبات. يزداد الوزن الجزيئي للمشتقات النفطية بارتفاع درجة غليانها، وبما أن التركيب الهيدروكربوني للقطرات المتماثلة من الأنواع المختلفة للبتترول قد يكون مختلفاً، فإن الأوزان الجزيئية تكون مختلفة نتيجة لذلك. عند الدرجات المتساوية للغليان تتميز قطرات الأنواع البارافينية من البترول بأكبر وزن جزيئي، وقطرات الأنواع النفثانية والعطرية بأقل وزن جزيئي، حيث تشغل القطرات ذات الأساس النفثاني مكاناً وسطاً.

يحدد الوزن الجزيئي أساساً، عند تحديد المجموعات الهيدروكربونية الداخلة في تركيب القطرات، وعند تحليل وجود الهيدروكربونات غير المشبعة بوساطة العدد اليودي والعدد البرومي وعند تعيين الانكسار الجزيئي... الخ وكذلك عند تصميم

تجهيزات مصانع النفط، وكثيراً ما تعين الأوزان الجزيئية في الحياة العملية تجريبياً، وتستخدم العلاقة التقريبية التالية:

$$M_o = 60 + 0,3t = 0,001 t^2$$

حيث: t درجة الغليان الوسطية للقطعة النفطية (يغفل هنا الطابع الكيميائي للمزيج).
ويحسب الوزن الجزيئي لمزيج القطرات النفطية كذلك بالجمع كمقدار وزني وسطي، وتحدد العلاقة بين الوزن الجزيئي وكثافة القطرات النفطية بالعلاقة التجريبية التالية:

$$M = \frac{44,29 \rho}{1,3 - \rho}$$

حيث: ρ - كثافة القطعة النفطية عند الدرجة 15,5 مئوية.

3-4-3 - اللزوجة Viscosity:

تعدّ اللزوجة مقياساً لمدى مقاومة الزيت للسيلان، وكذلك مدى قدرته على تزييت السطوح (بمعنى آخر يطلق مفهوم اللزوجة للسائل على مقاومته لانزياح إحدى طبقاته بالنسبة للطبقة الأخرى تحت تأثير قوى خارجية). وهناك اللزوجة الديناميكية والكينماتيكية والشرطية.

تعرف اللزوجة المطلقة (الديناميكية) بأنها حاصل قسمة إجهادات القص على التشوه الزاوي في طبقات السائل، الناجم عن هذه الاجهادات، ووحدتها البواز (Poise) (Dyne.s / cm^2).

أما اللزوجة الحركية (الكينماتيكية) فهي نسبة اللزوجة المطلقة إلى الكثافة عند درجة الحرارة نفسها وتقاس بالستوكس (cm^2 / s) Stocks.
- تعين اللزوجة الديناميكية η بقانون بوازيل وهو:

$$\eta = \frac{\pi \cdot p \cdot L \cdot r^4}{8 \ell V}$$

حيث: p- الضغط الذي يدخل خلاله السائل في الأنبوبة (غ/سم²).

t- زمن تدفق السائل (ثانية).

r- نصف قطر الأنبوبة الشعرية التي يتدفق منها السائل (سم).

ℓ - طول الأنبوبة (سم).

V- حجم السائل (م.ل).

أما اللزوجة الشرطية: وهي النسبة بين زمن تدفق 200 مل من المادة النفطية عند درجة حرارة الاختبار وبين زمن تدفق الحجم نفسه من الماء المقطر عند الدرجة 20 مئوية. وهي قيمة نسبية تستخدم فقط كخاصية عملية للمشتقات النفطية وليس كاللزوجة الديناميكية والكينماتيكية التي يعبر عنها بواحدات مطلقة وتستخدم للأغراض الحسابية.

تتغير لزوجة المواد النفطية مع تغير درجات الحرارة فنقل بارتفاعها وتزداد بانخفاضها، ويوضح شكل (3-1) العلاقة بين تغير اللزوجة ودرجة الحرارة لبعض المشتقات النفطية.

إن طابع تغير اللزوجة المرتبط بالحرارة دليل مهم على نوعية المشتقات النفطية وبخاصة الزيوت، ويعين هذا الدليل بطرائق مختلفة منها النسبة بين مقدار اللزوجة عند الدرجة 50° م ومقداره عند الدرجة 100° م. وتعد هذه النسبة حالياً إحدى المواصفات القياسية للزيوت.

الشكل (1-3)

العلاقة بين تغير اللزوجة ودرجة الحرارة

من الشكل نرى أنه كلما ازدادت النسبة بين مقداري اللزوجة زاد انحدار منحنى العلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة والعكس بالعكس كلما قلت هذه النسبة زاد اعتدال المنحنى.

- ثابت اللزوجة الوزني K : يحدد هذا الثابت لأعمال الأبحاث العلمية، لتمييز القطافات الزيتية. يربط هذا الثابت بين الكثافة واللزوجة ويحسب من الصيغة التجريبية التالية:

$$K = \frac{\rho - 0.24 - 0.038 \lg v 100}{0.755 - 0.11 \lg v 100}$$

حيث: ρ - كثافة المادة النفطية عند الدرجة 15 مئوية.

v100 - اللزوجة الكينماتيكية عند الدرجة 100 مئوية (سنتي ستوكس).
يتراوح ثابت اللزوجة الوزني للزيوت بين 0,75 - 0,90 تبعاً لتركيبها
الكيميائي. كلما قل دليل اللزوجة زاد الثابت، وكلما انخفض الثابت زاد دليل اللزوجة
واعتمد المنحني. يبين الشكل (2-3) العلاقة بين دليل اللزوجة والثابت K .

الشكل (2-3) العلاقة بين دليل اللزوجة وثابت
اللزوجة الوزني

هذا ولا يمكن حساب لزوجة مزيج من المشتقات النفطية كمقدار وزني وسطي
حيث أن اللزوجة لا تتمتع بخاصية الجمع، وفي حال وجود اختلاف كبير بين
لزوجة المواد الممزوجة تكون اللزوجة المحسوبة بالعلاقة الخطية أكبر من اللزوجة
المحددة تجريبياً.

3-4-4 - خاصية الاشتعال:

تتألف المنتجات النفطية شائعة الاستخدام من مجموعات متباينة التركيب والخواص، حيث تبدأ المركبات الطيارة (ذات درجات الغليان المنخفضة) بالتبخر أولاً عندما تتعرض كمية من الوقود للحرارة.

هذا وللتمييز بين مختلف المواد البترولية من حيث خطر اشتعالها يجب معرفة درجة حرارة الوميض والالتهاب لكل مادة من المواد. وتعرف نقطة الوميض بأنها درجة الحرارة التي تستطيع عندها العينة إعطاء كمية من الأبخرة كافية لتشكيل خليط مع الهواء قابل على الوميض لفترة زمنية قصيرة جداً (وذلك بتقريب مصدر خارجي للاشتعال).

والوميض عبارة عن انفجار ضعيف يمكن أن يحدث عند تراكيز معينة لمزيج الهيدروكربونات مع الهواء. وهناك حد أعلى وحد أدنى لقابلية الانفجار. فالحد الأعلى يشير إلى التركيز الأعظم لأبخرة المادة العضوية في الهواء والذي لا يحدث بعده الاشتعال لعدم كفاية الأكسجين. أما الحد الأدنى فهو أصغر تركيز للمادة العضوية في الهواء تكون عندها كمية الحرارة المنطلقة في مكان الاشتعال غير كافية لانتشار اللهب في مختلف أرجاء المادة.

أما درجة الاشتعال فهي درجة الحرارة الدنيا التي تسخن إليها المادة البترولية في الشروط النظامية بحيث إذا قربنا من مزيج أبخرة المادة والهواء لهبا" تشتعل المادة وتدوم عملية الاحتراق فترة زمنية لا تقل عن خمس ثواني. وتصنف المواد البترولية حسب الخطر من اشتعالها إلى أربعة فئات كما في الجدول (3-3).

الجدول (3-3)

الفئة	درجة الوميض °C	المواد البترولية
الأولى	أقل من 28	بنزين، نافتا...
الثانية	28-45	كيروسين...
الثالثة	45-120	فيول، وقود الديزل..
الرابعة	أكثر من 120	زيوت، أسفلت، برافين

هذا ومن الممكن أن تشتعل المواد الهيدروكربونية حتى دون لهب خارجي، وذلك عند درجة حرارة معينة تدعى درجة الاشتعال الذاتي. جدول (3-4).

الجدول (3-4)

المادة النفطية	درجة حرارة الاشتعال الذاتي °C
البنزين	390-530
كيروسين	290-430
وقود الديزل	300-330
بنزول	660
تولوين	630

وعند تعيين درجة وميض أنواع الكيروسين ووقود الديزل وزيوت التزليق وغيرها من المنتجات البترولية الثقيلة، فإن هذه الدرجة تعبر عن الحد الأدنى للقابلية للانفجار، في حين أنها تعبر عن الحد الأعلى أثناء تحليل أنواع البنزين التي تتصف بضغط مرتفع لأبخرتها في درجة حرارة الغرفة. ففي الحالة الأولى يتم التعيين أثناء التسخين، بينما في الحالة الثانية يتم أثناء التبريد.

وكما هو الحال بالنسبة إلى أية خاصية شرطية، فإن نقطة الوميض تتعلق بتصميم الجهاز وشروط التعيين، كما أن قيمتها تتأثر بالشروط الخارجية كالضغط والرطوبة، فهي تزداد مثلاً بارتفاع الضغط الجوي.

ترتبط نقطة الوميض بدرجة غليان المادة المدروسة تبعاً لعلاقة أورماندي-كريفن بالنسبة للهيدروكربونات المنفردة:

$$T_f = K \cdot T_B$$

حيث T_f - درجة الوميض بالدرجات المطلقة.

K - معامل يساوي 0,736

T_B - درجة الغليان المطلقة.

ودرجة الوميض مقدار غير جمعي، فقيمتها التجريبية أقل دوماً من متوسط قيم درجات الوميض للمكونات الداخلة في تركيب المزيج. ويعود السبب إلى أن درجة الوميض تتعلق أساساً بضغط بخار المكون ذي درجة الغليان المنخفضة، بينما يلعب المكون ذو درجة الغليان المرتفعة دور الناقل للحرارة. ونشير في هذا المجال إلى أنه يكفي وجود البنزين في زيوت التزليق بنسبة 1% حتى تنخفض نقطة وميض الزيت من 200 إلى 170 درجة مئوية كما أن وجوده بنسبة 6% يخفض هذه الدرجة مرتين.

وهناك طريقتان لتعيين درجة الوميض، تجري الأولى منهما في جهاز مغلق والأخرى في جهاز مفتوح. وتختلف قيمة درجة وميض المنتج البترولي تبعاً للطريقة المعينة بها، حيث قد يبلغ هذا الاختلاف 50 درجة للمنتجات عالية اللزوجة بينما قد لا يتعدى 3-8 درجة في حالة المنتجات منخفضة اللزوجة.

3-4-5- نقطة الانصباب:

إن النفط ومشتقاته هو مزيج هيدروكربوني معقد، ويؤدي تغير حالة بعض مركبات هذا المزيج على المزيج ككل. فمثلاً بانخفاض درجة الحرارة يمكن أن يفقد

النفط أو المادة النفطية القدرة على الحركة، بغض النظر عن احتوائه على بعض المركبات التي تبقى سائلة عند درجة الحرارة نفسها. ويعتمد تصلب المواد النفطية أساساً على وجود البارفينات ذات الوزن الجزيئي العالي والمركبات الأخرى ذات درجة الانصهار العالية.

- نقطة التصلب للمادة النفطية: هي درجة الحرارة التي تفقد عندها هذه المادة قدرتها على الحركة في ظروف التجربة.
- نقطة التعكر: هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها سقوط البارفين والتي تحدث تعكر المادة النفطية.

نقطة الانصباب في المواد النفطية لها أهمية كبيرة بالنسبة لنقلها واستخدامها. وتعد نقطة التعكر دليلاً مهماً وبخاصة لوقود المحركات، والتي تبين الظروف التي يمكن أن تتكون خلالها بلورات البارفين والتي إذا سقطت في المحرك يمكن أن تخل بعمله الطبيعي.

يتم تعيين نقطة الانصباب عن طريق تسخين العينة النفطية إلى درجة الحرارة (45⁰م) لإذابة ما يكون بها من شمع، ثم تبرد العينة إلى درجة الحرارة (32⁰م). بعد ذلك توضع العينة في حمام تبريد حتى تصل إلى درجة التجمد. وللتأكد من ذلك ترفع الأنبوبة من الحمام من فترة لأخرى، ويتم إمالتها ليرى إذا كان الزيت يتحرك، فإذا كان الزيت لا يتحرك في الأنبوبة لمدة خمس ثوان عند وضع الأنبوبة بشكل أفقي دلّ ذلك على وصول الزيت لنقطة التصلب.

تؤخذ نقطة الانصباب عادة أعلى من نقطة التصلب بحوالي 3 درجات مئوية. ويمكن للزوجة عند زيادتها أن تفقد المواد النفطية قدرتها على الحركة أيضاً عند انخفاض درجات الحرارة.

3-4-6- اختبارات تقطير النفط:

كما سبق وذكرنا فإن النفط هو مزيج معقد من الهيدروكربونات المختلفة بتركيبها الكيميائي، وبدرجات غليانها، ولكل مجموعة هيدروكربونية درجة غليان خاصة حيث ترتفع كلما ازداد عدد ذرات الكربون في المجموعة. وتبعاً لدرجات غليان الهيدروكربونات المختلفة ونسبة وجودها في المادة النفطية يختلف تركيبها، أي تختلف حدود تبخرها. وتسمى النواتج الحاصلة عن طريق تقطير النفط، قطفات، تتبخر في مجالات حرارية معينة. يتبخر البنزين في مجال 50-200°م والكيروسين 150-315°م ووقود الديزل 180-350°م والزيوت المقطرة الخفيفة 350-420°م والزيوت المقطرة الثقيلة 420-490°م والزيوت الباقية أعلى من 500°م وهذه الحدود هي حدود متوسطة.

يحدد التركيب التقطيري للنفط ومشتقاته في ظروف مخبرية بطريقة التقطير. حيث يسخن النفط مع رفع درجة حرارته بالتدريج، وتتحول في المقام الأول الهيدروكربونات ذات درجة الغليان المنخفضة إلى الحالة الغازية، ومع رفع درجة حرارة التسخين، تتحول الهيدروكربونات ذات درجات الغليان الأعلى. وبعد تكثيف الأبخرة المتكونة وتجميع المتكثفات كلاً على حدة فإننا نحصل على عدة قطفات تتبخر في مجالات حرارية مختلفة. وتحدد نسبة هذه القطفات، التركيب التقطيري للمادة الخام.

يتم تقطير المادة النفطية التي تغلي في درجة حرارة 360-380° تحت الضغط الجوي العادي. أما المواد التي تغلي عند درجة أعلى يتم تقطيرها تحت التخلخل أو باستخدام بخار الماء (لأن هذه المواد قد تتحلل).

يمكن تقطير النفط مخبرياً باستخدام أجهزة لتكرير التقطير (أعمدة إرجاع) أو دونها وفي الحالة الثانية لا يكون فصل القطفات دقيقاً. ويكون التركيب الناتج مختلفاً بعض الشيء عن التركيب الحقيقي. وإذا تم تقطير كل من القطفات

الحاصلة، يتضح أن بها كمية معينة، تتبخر في درجات حرارة أقل أو أعلى من المجالات الحرارية التي فصلت فيها القطفة. ولذلك تستخدم هذه الطرائق التقطيرية عند التقدير النسبي لتركيب المواد النفطية.

تفصل القطفات بدقة عند إجراء التقطير باستخدام أعمدة الإرجاع، وهي عبارة عن أجهزة تتكثف فيها الأبخرة جزئياً ويقابل الجزء الراجع العائد إلى دورق التقطير الأبخرة الساخنة الخارجة منه. وتتكثف قطفات الأبخرة الثقيلة جزئياً عند ملامستها للراجع، فتتركز القطفات الثقيلة في الرجوع ويزداد احتواء الأبخرة على المركب منخفض الغليان.

وتستخدم الأجهزة الاختبارية المزودة بأعمدة تكرير التقطير بصورة أساسية عند دراسة النفط بغرض فحص إمكان وجود المواد النفطية الفاتحة والزيوت فيه. كما وتستخدم عند حساب أجهزة تكرير النفط درجة الغليان الحقيقية للنفط الخام، والتي يمكن الحصول عليها مخبرياً، بوساطة جهاز تحديد الدرجة الحقيقية للغليان.

يجري التقطير في جهاز تحديد درجة الغليان الحقيقية تحت الضغط الجوي أولاً ثم تحت التخلخل ثانياً. وتوزن القطفات الحاصلة ثم تحسب نسبة وجودها في النفط (% بالوزن). وتحلل النتائج ثم يرسم على أساسها منحنى درجة الغليان الحقيقية، ومنحنيات أخرى تبين الخواص الأساسية للقطفات، الكثافة، اللزوجة، والوزن الجزيئي ودرجة التصلب ودرجة الوميض. وتقوم كل الطرائق الاختبارية السابقة والخاصة بدراسة التركيب التقطيري للنفط ومشتقاته، على التبخير التدريجي أي التبخير الذي يتم فيه فصل البخار المتكون في لحظة تكونه.

تستخدم في الصناعة طريقة التبخر الفجائي (دفعة واحدة) التي يتم فيها فصل الأبخرة عن السائل دفعة واحدة وليس بالتدرج، بعد الوصول إلى درجة التسخين اللازمة، ونحصل على النقاط اللازمة لرسم منحنى التبخير الفجائي عن طريق

تحديد حصيلة الطور الغازي والطور السائل عند درجة الحرارة المعطاة. وتجرى التجربة عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة.

ترسم النتائج الحاصلة على مخطط تمثل إحداثياته الشاقولية درجة الحرارة والأفقية النسب المئوية للمادة المقطرة. ويظهر الشكل (3-3) منحنى التبخير الفجائي ومنحنى درجة الغليان الحقيقية، ويتضح الفرق بين التبخير دفعة واحدة والتبخير التدريجي. ففي حالة التبخير التدريجي يحدث تقطير القطرات الخفيفة عند درجات الحرارة المنخفضة وتفصل من دارة التسخين ثم تتبخر بعد ذلك القطرات العالية الغليان.

الشكل (3-3) - منحنيات التبخر الفجائي ودرجة الغليان الحقيقية للبيترول
1 - التبخر الفجائي، 2 - درجة الغليان الحقيقية

ولا تفصل القطرات منخفضة الغليان من محيط التسخين عند التبخير الفجائي ولذلك فهي تساعد على تبخر القطرات عالية الغليان عند درجة حرارة أقل. ويتضح

من الشكل أن نسبة 60% من المادة المقطرة تقابل حرارة 355°م على منحنى التبخر الفجائي و 450°م على منحنى درجة الغليان الحقيقية.

3-5- الخواص الكهربائية Electrical properties:

المنتجات النفطية ذات مقاومة كهربائية عالية جداً (ذات موصالية منخفضة جداً) لذلك يستخدم بعضها كمواد عازلة للكهرباء (مثل زيت المحولات الذي نحصل عليه من النفط وزيت المكثفات أيضاً).

وتخضع المواد العازلة لاختبارات خاصة لتحمل الجهد العالي وعند الاختبار يجب ألا يقل جهد الاختراق بين قرصين قطر كل منهما 25مم والمسافة بينهما 2مم عند درجة حرارة 15-20°م عن 25 كيلو فولطاً، ويزداد جهد الاختراق بارتفاع درجة الحرارة إلى 80°م حيث يصل إلى نهايته العظمى، ويبدأ بعد ذلك في الانخفاض. كما يزداد جهد الاختراق بارتفاع الضغط ويقل في ظروف التخلخل.

يطلق اسم الاستثارة الكهربائية للمواد النفطية على قدرتها على الاحتفاظ بالشحنة الكهربائية التي تظهر نتيجة الاحتكاك مع جدران الأنابيب وعند خلط المواد ومزجها بخلطات معينة، هذه الشحنات الكهربائية قد تولد شرارة كهربائية وتسبب حريقاً في ظروف معينة.

3-6- الخواص الضوئية Optical Properties:

يتمتع النفط بلون بني أو بني - أحمر في الغالب، والقطفات الثقيلة المحتوية على الكبريت والمواد الأسفلتية يقترب لونها من اللون الأسود. لذلك يمكن الحكم بلون النفط الخام على النسب التقريبية لوجود القطفات الثقيلة فيه. ويعد لون مشتقات النفط دليلاً غير مباشر على وجود المواد الأسفلتية والرسوبية عند دراسة خواص هذه المشتقات. ولمعرفة اللون تستخدم أجهزة قياس الشدة اللونية التي يقارن فيها لون عمود السائل المختبر بمحلول أو زجاج ملون.

وكما هو معروف تتغير سرعة الشعاع الضوئي واتجاهه عند انتقاله من وسط إلى آخر، وتسمى هذه الظاهرة انكسار الشعاع ويطلق اسم معامل الانكسار على النسبة بين جيب زاوية سقوط الشعاع وجيب زاوية الانكسار.

وتدخل في تركيب النفط ومشتقاته مجموعات هيدروكربونية مختلفة ذات معاملات انكسار مختلفة، فهيدروكربونات السلاسل البارافينية ذات أقل معامل انكسار تليها الهيدروكربونات النفطية ثم العطرية، ويزداد معامل الانكسار بازدياد الوزن الجزيئي للهيدروكربونات. وتسمح هذه الصفة باستخدام معامل الانكسار للتحليلات المختلفة مثل تعيين نسبة وجود الهيدروكربونات في البنزين.

وهناك ما يسمى الانكسار النوعي ويرتبط بمعامل الانكسار وله أهمية أكبر من أهمية معامل الانكسار نفسه. ويعين الانكسار النوعي بوساطة المعادلة التالية:

$$R = \frac{n_d - 1}{\rho} = \text{const}$$

حيث: ρ - كثافة المادة.

n_d - معامل انكسار السائل.

ويستخدم جهاز خاص لتعيين معامل الانكسار يطلق عليه اسم مقياس انكسار الأشعة (reflectometer).

3-7- تحضير النفط لعملية التكرير Preparation of oil for Refining

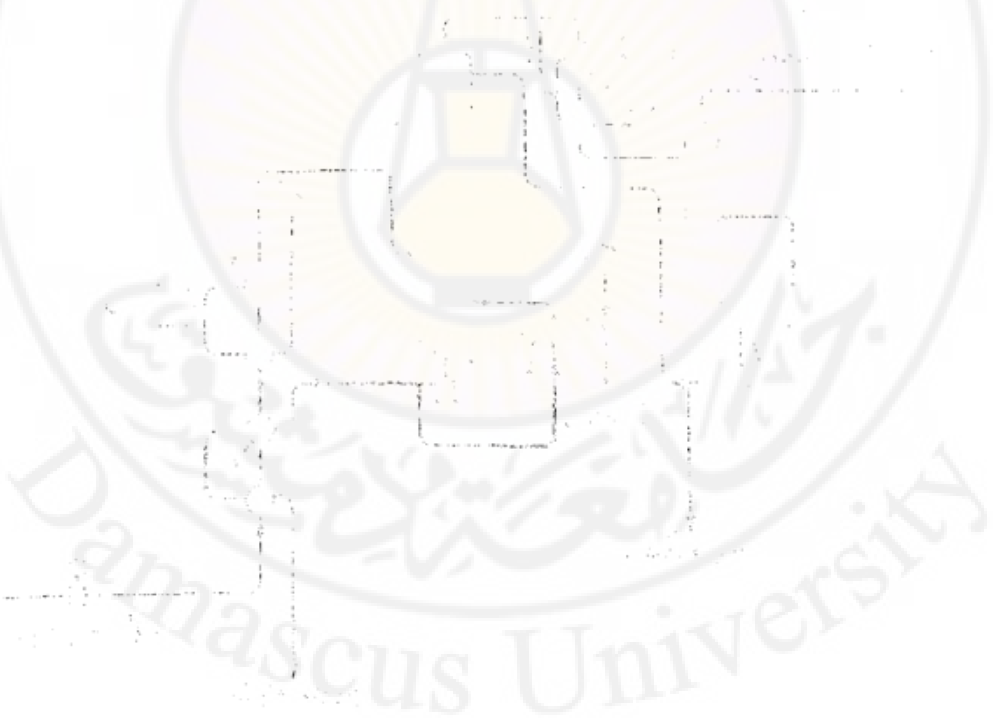
:Process

3-7-1 - طرد الغازات وتثبيت النفط:

يجب فصل الغاز المرافق للنفط أثناء استخراجه، ويتم هذا الفصل في حقول النفط في شباك خاصة، وذلك بتخفيض سرعة جريان مزيج النفط والغاز. وعند ازدياد الضغط في البئر تستخدم طريقة فصل الغاز المرحلية (على مراحل)، ولا ينبغي الاكتفاء بفصل الغاز فقط عن النفط إذ يبقى بعد الفصل كثير من القطرات الخفيفة التي قد تتبخر أثناء التخزين في المستودعات وأثناء صب النفط في

الخزانات والصحاري... الخ. لذلك من المستحسن تثبيت النفط في الحقول وبخاصة إذا كان النفط المستخرج يحتوي على كثير من القطرات الخفيفة ويراد نقله لمسافات بعيدة.

وتتلخص عملية التثبيت في فصل القطرات الخفيفة والغازات الذائبة عن النفط الخام، ولهذا الغرض توجه أبخرة القطرات الخفيفة والغاز بعد مرورها من خلال مكثف إلى فاصل الغاز gas Separator حيث يفصل الغاز ويدفع بمضخة إلى شبكة الغاز أو إلى مصانع المعالجة، ويوجه النفط المثبت إلى محطات التكرير. يظهر على الشكل (3-4) مخطط لوحدة تثبيت نموذجية.



الشكل (3-4) مخطط وحدة نموذجية لتثبيت البترول

وكما هو موضح من الشكل يضخ النفط الخالي من الماء، والذي لا يحتوي على أكثر من 2% ماء إلى مبادلات حرارية (1) حيث يسخن بواسطة النفط المثبت الساخن، ثم يمر في مجموعة مبادلات حرارية (2) مسخنة بالبخار ويدخل النفط بعد تسخينه إلى درجة 90م° في المثبت (3) الذي يعمل تحت ضغط 1,5 ضغطاً جوياً والمزود بمسخن بخاري، يعمل على تثبيت درجة الحرارة عند 110م°. ويدفع البترول المثبت إلى مبادلات حرارية حيث يقوم بتسخين النفط الخام غير المثبت، ثم يجمع في خزان. ويمر مزيج البخار والغاز الخارج من المثبت خلال مكثف (5) وفاصل (6). ويوجه تيار الغازات من الفاصل للمعالجة أو يدخل في شبكة جمع الغاز، أما المتكثف فيجمع في حجم خاص (7) حيث يدفع جزءاً منه إلى القسم العلوي للمثبت كراجع.

3-7-2- تخليص النفط من الماء والأملاح:

إن الماء والشوائب الأخرى (الأملاح والرمال والأترربة) التي ترافق النفط دائماً أثناء استخراجها يجب التخلص منها، ويفصل الماء بسهولة في بعض الأحوال ولكنه يشكل مستحلبات ثابتة مع النفط أيضاً. ويخضع النفط المستخرج بشكل مستحلب (نفط + ماء وشوائب). لمعالجة خاصة ومعقدة بعض الشيء لتخليصه من هذه المواد العالقة فيه، لأن تكرير النفط الملوث يعقد تشغيل الوحدات الصناعية إلى حد كبير.

تؤثر الشوائب والماء في المبادلات الحرارية فيخفض مردودها، وتؤدي الجسيمات الصلبة منها إلى تآكل الأنابيب بسبب الاحتكاك الحاصل خلال الجريان. ويؤدي بقاء هذه الشوائب بعد التقطير إلى تخفيض نوعية المشتقات، وزيادة نسبة الرماد (وقود المراجل، والكوك)، وبشكل عام تكون مواصفات النواتج مخالفة للمواصفات المطلوبة. ويؤدي تبخر الماء الموجود في النفط في أجهزة التسخين إلى زيادة حجمه زيادة كبيرة وإلى ازدياد الضغط في الأجهزة وبالتالي إلى

الإخلال بمعدلات تشغيل هذه الأجهزة. وعند وجود الأملاح (كلوريد الصوديوم، وكلور الكالسيوم والمغنيزيوم)، يتكون حمض كلور الماء أثناء عملية التقطير، حيث يقوم هذا الحمض بزيادة تآكل الأجهزة بشكل كبير.

3-7-2-1- المستحلبات النفطية:

هناك نوعان من المستحلبات النفطية "الماء في النفط" و "النفط في الماء" ومستحلبات النوع الأول أكثر انتشاراً من الثاني. ففي النوع الأول يوجد الماء في النفط بكمية كبيرة من القطرات الدقيقة، أما في المستحلبات الأخرى فيوجد النفط على شكل قطرات قليلة معلقة في الماء. وتتكون المستحلبات كما يلي:

على الحد الفاصل بين سائلين لا يختلطان، أحدهما مبعثر في الآخر بشكل قطرات دقيقة، تتراكم مادة ثالثة لتكوين المستحلب وتسمى عامل الاستحلاب أو مثبت المستحلب، ويذوب هذا العامل في أحد السائلين مشكلاً ما يشبه الغشاء، الذي يمنع قطرات المادة المبعثرة من الاندماج مع المادة الأخرى. هذه العوامل في النفط هي (الأسفلتات، الرواسب، صابون الحموض النفطية والأملاح). وتعمل الشوائب الصلبة أيضاً على ثبات المستحلب. أي أن الغشاء المذكور يسبب ثبات المستحلبات النفطية، ويتم هدم هذه المستحلبات بهدم هذه الأغشية. وتسبب الشحنات الكهربائية المتراكمة على سطح الماء ثبات المستحلبات أيضاً، وذلك بنتيجة التناثر المتبادل فيما بينها والذي يمنع اندماج قطرات الماء.

3-7-2-2- الطرائق المتبعة لإزالة استحلاب النفط:

تتم عملية إزالة استحلاب النفط على مرحلتين:

1- تحطيم الأغشية الواقية واندماج القطرات المعلقة إلى الحجم الذي يسمح بترسيبها.

2- ترسيب القطرات وفصل الماء عن النفط.

تتم إزالة الاستحلاب صناعياً تحت تأثير المواد التي تمنع الاستحلاب، وبالطريقة الحرارية، والطريقة الكهربائية، والطريقة الكيميائية. ويمكن استخدام العوامل السابقة بصورة مشتركة.

تتلخص الطريقة الحرارية في تسخين النفط وتركه في الخزانات. وتستخدم هذه الطريقة لمعالجة المستحلبات غير الثابتة فقط، وقد تؤدي إلى فقد كمية كبيرة من قطرات النفط الخفيفة في حالة الإحكام السيئ.

يمكن استخدام الطريقة الكيميائية الحرارية لإزالة الاستحلاب بنجاح إذا وجدت مادة مانعة للاستحلاب ذات فعالية كافية ورخيصة، يسهل الحصول عليها ونقلها ولا تسبب الحث (التآكل) الكيميائي للأجهزة، كما يجب أن تختلط المادة المانعة للاستحلاب بالسائل الموضوعة فيه لكي تتفاعل بسهولة مع الغشاء الواقعي لقطرات الماء، ويتم ذلك بخلط المستحلب النفطي مع المادة المانعة للاستحلاب في مضخة طاردة مركزية تضخ النفط الخام إلى وحدة إزالة الاستحلاب، وتدفع المادة المانعة بوساطة مضخات إلى خط سحب مضخات النفط الخام. ويسخن المزيج في مبادلات حرارية أو في فرن أنبوبي بوساطة البخار أو بوساطة النار إلى درجة 70-75°م. ويؤدي التماس بين المادة المانعة والمستحلب في الأنابيب، إلى تحطيم الأغشية الواقية ويدخل المستحلب المهدم بعد ذلك في وعاء نزع الماء أو في خزان حيث يفصل الماء عن النفط.

ويبين الشكل (3-5) مخطط عملية إزالة الاستحلاب بالطريقة الكيميائية الحرارية.

ولهذه الطريقة عيوب كثيرة وهي الحاجة إلى كمية كبيرة من المواد المانعة للاستحلاب وفقدان قطرات البنزين والحاجة إلى خزانات كثيرة وتلويث المياه الصناعية بالأملاح الخطرة.

الشكل (3-5) - مخطط عملية إزالة الاستحلاب بالطريقة الكيميائية الحرارية:
5.1- خزانات، 2- مضخة، 3- فرن، 4- وعاء نزع الماء

وهناك طريقة كيميائية حرارية أكثر تطوراً وتتم في أوعية محكمة تعمل تحت الضغط، حيث يسخن النفط الاستحلابي إلى الدرجة 150-155°م في مبادلات حرارية أو في أفران ثم يدخل بعد ذلك في أوعية نزع الماء حيث يحافظ على الضغط العالي (8 ضغط جوي). ويتم فيها فصل النفط عن الماء وإبعاد الأخير. ثم يبرد النفط في مبادلات حرارية إلى الدرجة 80-90°م بواسطة تيار من النفط الاستحلابي البارد. وتستخدم هذه الطريقة للنفط الخام الثقيل.

وتطبق حالياً على نطاق واسع الطريقة الكهربائية لنزع الماء والأملاح من النفط، حيث يتعرض المستحلب لمجال كهربائي ذي جهد عال وتردد صناعي فتتحرك قطرات الماء المشحونة تحت تأثير هذا المجال نحو الإلكتروودات، ويتغير اتجاه حركة القطرات مع تغير التردد، مما يؤدي إلى تصادمها ببعضها وبالإلكتروودات مما يساعد على تجمعها. ويظهر على الشكل (3-6) مخطط وحدة إزالة الاستحلاب بالطريقة الكهربائية، وفيه يسحب المستحلب (النفط الخام) من الخزان (1) بالمضخة (2) إلى المبادل الحراري (3) حيث يسخن البخار (أو إلى فرن أنبوبى ويسخن بالنار) ثم يدخل في أوعية نزع الماء بالكهرباء (4) التي تعمل

على التوازي. حيث يذهب الماء الناتج إلى خط التصريف والنفط الناتج إلى وعاء راحة إضافي (5) ومن ثم المستودع (6).

الشكل (3-6) مخطط وحدة لإزالة استحلاب البترول بالطريقة الكهربائية

أهم عيوب وحدات نزع الماء بالكهرباء هي: انخفاض إنتاجيتها بخاصة عند زيادة نسبة الماء في النفط، وصعوبة المحافظة على نظام التشغيل في حالة تغيير نسبة الماء في المستحلب. ويستخدم الوعاء الكروي لإزالة استحلاب النفط كهربائياً (سعته 600م³) في الوحدات الحديثة الضخمة، حيث تزداد إنتاجيتها كثيراً بحيث يمكن معالجة 6500 طن من النفط الخام يومياً.

بعد إزالة الاستحلاب تبقى في النفط أملاح معلقة، كلوريدات الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وغيرها). ومن المعروف عملياً أنه لكي يمكن تكرير النفط يجب ألا تزيد نسبة الأملاح فيه على 50 م.غ/لتر. أو أقل من ذلك. وتشبه عملية التخلص من الأملاح عملية إزالة الاستحلاب. ويتم التخلص من الأملاح في

مصانع التكرير بطريقة غسل الأملاح بالماء العذب ثم نزع الماء بعد ذلك عن النفط.

وهناك وحدات تخلص من الأملاح تعمل كهربائياً، ووحدات مركبة ومؤلفة من وحدة حرارية كيميائية ووحدة كهربائية.

يظهر على الشكل (3-7) مخطط لوحدة نزع الأملاح كهربائياً. وفيها يتجه تياران من النفط الخام (يحوي 3000 م غ/ليتر من الأملاح و 5% ماء) إلى مبادلات حرارية (1) حيث يسخن النفط الخام بوساطة النفط الخالص من الأملاح ثم يدخل بعد ذلك في مسخنات (2) حيث يتم التسخين بالبخار.

ويتجه النفط من المسخن إلى وعاء التخليص من الماء بالطريقة الكيميائية الحرارية، وتضاف مادة مانعة للاستحلاب إلى النفط الساخن قبل دخوله إلى وعاء الراحة(3) ويمر كل تيار بصمام خلط ليحصل التماس التام بين المادة المانعة للاستحلاب والنفط. ويدخل تيارا النفط الخارجا من وعائي الراحة (نزع الماء كيميائياً حرارياً) إلى المجمع الأول (4) لتخليص الأملاح كهربائياً ويضخ إلى كل من التيارين ماء قلوي ساخن إلى درجة 70-80م° لغسل الأملاح.

ويتحد التياران في تيار واحد إلى أجهزة التخلص من الماء كهربائياً (4,5) ومن ثم يدفع ماء قلوي إلى النفط الخالص من الأملاح جزئياً، بعدها يضخ النفط إلى المرحلة الثانية (لنزع الماء) (6,7) ومن ثم إلى وعاء التجميع.

الشكل (3-7) مخطط وحدة نزع الأملاح (حرارية - كيميائية - كهربائية)

3-8 فرز النفط في الحقول والمصانع Sorting of oil in the fields :and factories

لا يمكن إجراء تكرير منفصل لكل نوع من أنواع النفط في مصانع التكرير الحديثة الضخمة، وليس من الملائم خلط الأنواع المختلفة من النفط قبل دراسة نوعيتها لأن الأنواع المختلفة من النفط تحوي منتجات مختلفة في تركيبها الكيميائي وفي خواصها الفيزيائية والكيميائية وخواصها التشغيلية.

ولهذا يتم تصنيف الأنواع المختلفة من النفط تبعاً لخواصها الواحدة في الحقول ومصانع التكرير. وتجمع بعض الأنواع المنفردة ذات الخواص المتميزة عن الأخرى، وتحفظ وتنقل وتكرر بصورة مستقلة لإنتاج المشتقات عالية النوعية من الوقود والزيوت، وعدد هذه الأنواع من النفط غير كبير ولذلك فإنه يتم تكرير خليط عدة أنواع قريبة من بعضها في تركيبها الكيميائي والمنتجة في مجموعات خاصة.

3-9- تقطير النفط الخام Crude Oil Distillation:

3-9-1- المبادئ الأساسية لعملية التقطير:

يتم تقطير النفط بتسخينه حتى الغليان وتحويل بعض الهيدروكربونات الموجودة فيه إلى حالة بخارية ثم تكثيف وتبريد هذه الأبخرة وينتج من ذلك القطافات والرواسب المتبقية. تتلخص عملية التقطير بما يلي:

يسخن المزيج (الخليطة) الثنائي الذي يتكون من مركبين، درجة غليانهما مختلفة t_1 , t_2 إلى درجة معينة t التي يتبخر (يتطاير) عندها الناتج الأكثر تطايراً وتسحب أبخرته ثم تكثف، وبذلك يفصل عن الناتج الثقيل. وهذا الفصل لا يعد كاملاً، حيث يمكن أن تتطاير بعض جزيئات المركب الثقيل أيضاً كما أن بعض جزيئات المركب المتبخر تبقى ذائبة في الجزء المتبقي. ويقوم أساس عملية التقطير على قوانين بسيطة ومعروفة وهي:

- قانون دالتون:

نفرض أن لدينا حجماً مقداره V يحتوي على غاز أو بخار بضغط p_1 ، فإذا أضيف إلى هذا الحجم أي غاز آخر فإن هذا الغاز ينتشر في كل الوعاء، كما لو كان فارغاً، فإذا كان ضغط الغاز الثاني p_2 فإن الضغط الكلي لمزيج الغاز الناتج هو:

$$p = p_1 + p_2 \quad (1)$$

وإذا كان المزيج مكوناً من عدة غازات فيصبح لدينا:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (2)$$

وبشكل عام:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i$$

والعلاقة الأخيرة التي تنص على أن الضغط الكلي لمزيج من الغازات التي لا تتفاعل كيميائياً مع بعضها يساوي مجموع الضغوط المنفردة لكل غاز عندما يشغل

الحجم V نفسه عند درجة الحرارة نفسها. وينطبق هذا القانون على خليط المواد، التي تختلط مع بعضها بنسب مختلفة.

- قانون أماج:

وينص على أن حجم خليط الغازات (المزيج) V التي لا تتفاعل كيميائياً مع بعضها، يساوي مجموع الحجوم المنفردة V_i التي يشغلها كل غاز تحت الضغط نفسه وعند درجة حرارة الخليط نفسها.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i$$

- قانون راؤول:

يضع هذا القانون في حسابه تأثير ضغط كل مركب وتركيزه في ضغط الخليط الكلي. ويقول القانون: الضغط الجزئي لأي بخار أو غاز P_i من الغازات الموجودة في مزيج يعين كحاصل ضرب التركيز الجزئي للغاز (mole fraction) في الضغط الكلي.

$$P_i = P y_i$$

وعند دراسة خليط الأبخرة الموجودة في حالة توازن مع طور السائل، وليس مزيج الغازات، فإن قانون راؤول ينص على أن الضغط الجزئي للمادة المذابة يحدد كحاصل ضرب ضغط أبخرتها عند الحرارة نفسها t_i في تركيزها الجزئي في المحلول X_i .

$$P_i = t_i \cdot X_i$$

ومن هاتين العلاقتين الأخيرتين نرى أن:

$$P \cdot y_i = t_i \cdot X_i$$

أو أن تركيز المادة في الطور البخاري :

$$y_i = \frac{t_i}{P} \cdot X_i$$

تصلح هذه القوانين عادة للغازات المثالية، التي تختلف في سلوكها عن الغازات الحقيقية الناتجة عن تكرير النفط، ولكن يمكن استخدام العلاقات السابقة بعد استبدال ضغوط المركبات بتطايرها F .
التطاير F : هو مقدار تم الحصول عليه من الحسابات الحرارية الديناميكية ويساوي:

$$F = P \gamma$$

حيث:

P - ضغط الأبخرة.

γ - معامل الفعالية (النشاط).

ونختار γ من منحنيات خاصة طبقاً للضغط ودرجة الحرارة في الخليط. على هذا الأساس يصبح لدينا الخليط الثنائي.

$$P = t_1 \cdot X_1 + t_2 \cdot (1 - X_1)$$

ومن هذه العلاقة يكون تركيز المركب في الطور السائل:

$$X_1 = \frac{P - t_2}{t_1 - t_2}$$

ويحدد تركيز المركب في الطور البخاري من المعادلة:

$$y_1 = \frac{t_1}{p} \times \frac{P - t_2}{t_1 - t_2}$$

وبمعرفة العلاقة بين ضغط أبخرة المركبات ودرجة الحرارة يمكن حساب تركيب الطورين الغازي والسائل عند درجات الحرارة المختلفة.

ويحسب عادة عند ضغط معين ثابت تركيب الطورين السائل والغازي من أجل درجات حرارية وسطية (ما بين t_1 درجة غليان المركب الخفيف و t_2 درجة غليان المركب الثقيل). ثم تعتمد النتائج لرسم منحنيات الضغط المتساوي، الذي يسمح

بتحديد تركيب الطور البخاري y_1, y_2, y_3 والطور السائل X_1, X_2, X_3 للخليط الثنائي وذلك عند أي درجة حرارة، الشكل (8-3).

3-9-2- عمليات التبخر (التطاير):

هناك ثلاث حالات لعملية التبخر وهي:

- 1- التبخر الفجائي المستمر.
 - 2- التبخر الفجائي المتكرر (المرحلي).
 - 3- التبخر التدريجي.
- يجري في التبخر الفجائي التسخين إلى الدرجة المطلوبة دون أن تسحب الأبخرة الناتجة من الجهاز حيث تبقى مع الطور السائل.
- تتكرر في التبخر الفجائي المتكرر عملية التبخر الفجائي عدد من المرات، وتسحب في كل مرة الأبخرة الناتجة من الجهاز.
- يتم في التبخر التدريجي التسخين تدريجياً وتفصل الأبخرة الناتجة مباشرة في لحظة تكونها.

الشكل (8-3)

وتستخدم حالياً الطريقتان الأولى والثانية فقط بحيث تتم طريقة التبخر المتكرر على مرحلتين (مرتين).

تظهر على الشكل (3-9) منحنيات مميزة لتركيب الطورين البخاري السائل أثناء عملية التبخر الفجائي. ولنفرض أن نسبة المركب المتطاير في الخام هي X_0 ودرجة الغليان t_1 وتركيز المركب المتطاير في الطور البخاري y_0 . فإذا ارتفعت درجة حرارة الخليط إلى درجة t فإننا نستطيع برسم خط أفقي مستقيم من النقطة t تحديد تركيب الطور السائل x والطور البخاري y (النقطتان a, c في الشكل (3-9)).

الشكل (3-9) منحنيات تركيب الطورين

البخاري والسائل للمخلوط الثنائي

يتحول كل الخليط إلى الطور البخاري عند درجة t' ويكون تركيب الطور البخاري $y' = x_0$ وتركيب الجزء المتبقى من السائل المتبخر x . ويبين المنحني أنه

في حالة التبخر الفجائي تكون درجة بداية غليان الخليط t_1 أعلى من درجة غليان المركب المتطاير t_2 ودرجة نهاية الغليان t' أقل من درجة غليان المركب عالي الغليان t_3 .

إذا سخنا الخليط حتى الدرجة t الواقعة بين t_1 و t' فإننا نحصل على حالة تتكون من طورين سائل وبخاري.

يمكن عد الطور السائل المتبقي بعد فصل الأبخرة خاماً للتقطير المحدد، وتكون فيه نسبة المركب منخفض الغليان x أقل من النسبة X_0 في الخليط الأولي. ويلزمه درجة حرارة أعلى من t' لكي يتبخر بالكامل.

وترتفع درجة الحرارة اللازمة للتبخر الكامل للخليط عند فصل الطور الغازي عدد من المرات (التبخر المتكرر) أثناء عملية التقطير. وتصبح النهاية العظمى لدرجة حرارة التقطير مساوية درجة غليان المركب مرتفع الغليان في حالة الفصل المباشر للأبخرة في لحظة تكونها.

3-9-3- التقطير ببخار الماء:

عند تسخين سائلين لا يختلطان ببعضهما فإن ضغط أبخرة كل منهما يساوي ضغط كل مركب منهما إذا سخن بشكل منفرد. ويساوي ضغط أبخرة الخليط، مجموع الضغطين الجزئيين للمركبين المنفردين.

فإذا درسنا حالة خاصة لتقطير السوائل التي لا تختلط مع بعضها، مثل التقطير ببخار الماء، فإن الخليط يغلي عندما يساوي مجموع ضغطي أبخرة مركبي الخليط الضغط الخارجي. وتكون درجة غليان الخليط في هذه الحالة أقل من درجة غليان أي من المركبين إذا أخذ بشكل منفرد.

فمثلاً يصل ضغط أبخرة البنزول عند الدرجة $69,2^\circ\text{C}$ إلى 535 مم زئبقاً. ويساوي ضغط بخار الماء عند الدرجة نفسها 225 مم زئبقاً، فعلى هذا النحو يكون

ضغط أبخرة خليط البنزول والماء عند الدرجة 69,2 م° مساوياً 760 مم زئبقاً أي يغلي الخليط عند هذه الدرجة، في حين أن درجة غليان البنزول 80,2 م° والماء 100 م°.

يتم تخفيض درجة الغليان باستخدام طريقة التقطير بوجود بخار الماء، في صناعة تكرير النفط لاسيما في حالات تقطير القطفات النفطية الثقيلة. ويمكن إجراء التقطير في وجود الغازات (N_2 , CO_2 وغيرها)، وتؤثر هذه الغازات كتأثير بخار الماء. ولا تستخدم هنا الغازات الخاملة حيث إن وجودها يعقد عملية تكثيف القطفات النفطية.

3-9-4- التقطير تحت التخلخل:

تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع وبخاصة عندما نريد تخفيض درجة الحرارة لمنع تحلل القطفات الناتجة. وكما ذكرنا سابقاً، يبدأ السائل في الغليان عندما يساوي ضغط أبخرته الضغط الخارجي. فإذا انخفض الضغط في جهاز التقطير (التخلخل) فإن الناتج المسخن يغلي عند درجة حرارة أكثر انخفاضاً فمثلاً تنخفض درجة غليان قطفات النفط الزيتية من 500 م° عند الضغط العادي إلى 400 م° أو أقل عندما يكون التخلخل 700 مم زئبق. هذا ولا يتناسب انخفاض درجة الغليان طرداً مع التخلخل في هذه الحالة ولا يؤثر انخفاض الضغط تأثيراً ملحوظاً في درجة الغليان في حالة التخلخل المنخفض ويكون هذا التأثير ملموساً جداً في حالة التخلخل العميق.

أحياناً تستخدم الطريقة المركبة أي إجراء التقطير تحت التخلخل مع استخدام بخار الماء وبخاصة عندما نريد الحصول على القطفات الزيتية.

3-9-5- تكرار التقطير (التقطير المتكرر):

إن التقطير العادي لخليط مكون من مركبين أو من عدد من المركبات لا يوفر فصلاً دقيقاً للقطفات النقية الخالصة.

لهذا تستخدم طريقة تكرار التقطير والتي تتلخص في فصل مركبين أو عدد من المركبات بطريقة التماس المتكرر للطورين البخاري والسائل عند حركتهما باتجاهين متعاكسين، مما يؤدي إلى تركيز المركب منخفض الغليان في الطور البخاري والمركب عالي الغليان في الطور السائل. وتجري عملية تكرار التقطير في تجهيزات أسطوانية عمودية تسمى أبراج التقطير، تحتوي على صوان خاصة على طولها، وتمر فيها الأبخرة الصاعدة في البرج خلال طبقات السائل المناسب من أعلى فتختلط اختلاطاً كافياً.

يدخل النفط الخام المسخن إلى الدرجة الضرورية إلى برج تكرار التقطير على شكل خليط من الأبخرة والسائل فترتفع الأبخرة إلى أعلى البرج وينساب السائل إلى أسفل، ويغذى أعلى البرج براجع (reflux) وهو الناتج المتكون بعد تكثيف الأبخرة الخارجة من أعلى البرج. ويقابل الرجوع الأبخرة الساخنة الصاعدة فيسخن ويتبخر بالتدريج. ويمتص الراجع جزءاً من حرارة الأبخرة حيث يمكن أن يتكثف بعضها ويسيل على هيئة راجع إلى أسفل البرج، وتتكرر عملية التبخر والتكثف هذه على كل صينية موجودة في البرج. ويتغير تركيب الراجع والأبخرة بطول البرج باستمرار، وتتركز القطافات الثقيلة في الراجع السائل إلى الأسفل وتصبح درجة غليان الأبخرة الصاعدة أقل انخفاضاً. ويتكون تيار الأبخرة الصاعدة من تبخر النفط الخام ومن تبخر المتبقي في أسفل البرج. أما السائل الهابط في البرج فيتكون من الراجع الباقي، وتختلف درجات الحرارة داخل البرج تبعاً لدرجات غليان المركبات المفصولة. وتقرب درجة الحرارة في أعلى البرج من درجة غليان المركب منخفض الغليان.

- شروط إجراء التقطير المتكرر:

- 1- وجود تيار الأبخرة الصاعد وتيار الراجع الهابط على ارتفاع البرج.
- 2- يجب أن تكون درجة حرارة الأبخرة أعلى من درجة حرارة الراجع الملامس لها.

3- يجب أن يؤمن البرج تماساً وثيقاً بين الأبخرة والسائل.

يطلق على الجزء العلوي من البرج والواقع فوق مكان دخول الخليط الخام جزء التركيز والجزء السفلي من البرج جزء التقطير. ويسمى الناتج الحاصل في قسم (جزء) التركيز القطارة والناتج الحاصل في قسم التقطير المتبقى (الباقى). وتستخدم هذه الأبراج المؤلفة من قسمين لفصل الخليط إلى قطفتين وتسمى الأبراج البسيطة. وهناك أبراج أكثر تعقيداً يتم فيها فصل الخليط إلى عدة قطفات، وهي مجموعة أبراج بسيطة متضوعة أعلى بعضها بعضاً ويفصل قسم التقطير في برج خاص يرتبط عمله بعمل البرج الأساسي. وتوضع في الأبراج صوان (أجهزة خاصة) توفر التماس بين الأبخرة والسائل، وعليها يجري التماس بين الراجع والأبخرة، وتبادل المركبات منخفضة ومرتفعة الغليان.

3-9-6 وحدة التقطير ومخطط عملها:

إن أول عملية يتعرض لها النفط الخام في مصفاة التكرير هي فرزها إلى مركباته الأولية. ويتم ذلك بتقطيرها في برج تقطير وذلك برفع درجة حرارة النفط في مسخن أنبوبى حتى تصل درجة حرارته إلى 350°م وهي درجة كافية لتبخر مكونات النفط الخفيفة والمتوسطة وجزء من المواد الثقيلة قد يصل إلى 20% منها. ثم تمرر الأبخرة على عمود فصل، حيث ينفصل الزيت إلى عدة قطرات.

فالمركبات الأثقل ذات نقاط غليان أعلى ومع ارتفاع الأبخرة داخل البرج، تبرد وتترسب المركبات الثقيلة أولاً وتخرج من البرج، أما الهيدروكربونات الخفيفة فترتفع نحو الأعلى قبل أن تتكاثف، بينما يتم عزل المكونات ذات نقط الغليان المتوسطة في مراحل متوسطة. ويدعى السائل الناتج في مختلف المراحل لعملية التكرير الأولية بالقطفات الأولية، شكل (3-10).

الشكل (3-10) برج التقطير

يمكن استخدام المنتجات البترولية الأولية كما هي عليه، لكن عادة تجري عليها جملة من العمليات التكنولوجية كما يلي:

- **المواد الغازية:** حيث يؤخذ جزءاً من الغاز ليعالج فيزيائياً ثم يضغط ويعبأ في أسطوانات ليشكل ما هو معروف بالغاز المميع. أما الجزء الآخر، فيتم تحويله إلى بنزين بعد تعريضه لعملية الكلة (عملية تركيبية) وهي تعتمد على دمج ذرة من السلسلة الأوليفينية مع هيدروكربون خفيف (إيزوبوتان) بوجود وسيط كيميائي حمضي هو إما حمض الكبريت أو حمض فلور الماء للحصول على بنزين عالي الأوكتان.

- **النافثا الخفيفة:** أو ما يعرف أحياناً بالنهايات الخفيفة، وهي المادة الأولية للحصول على البنزين، وتتعرض لعملية الأيزومرة، وتتلخص هذه العملية إلى تشعيب السلسلة الخطية للمواد البارافينية، أي تحويل المركبات النظامية للسلسلة

البرافينية إلى مركبات غير نظامية، أيزو.. ذلك لأن العدد الأوكتاني (ON) للمركبات الأخيرة أعلى بكثير من السابقة.

والهدف من هذه العملية هو زيادة العدد الأوكتاني لخليط المواد البارافينية C_5/C_6 ويتم ذلك باستخدام وسائط كيميائية (مواد حمضية) متحدة مع البلاتين أو مواد تعرف بالزبوليت. وقد يزداد العدد الأوكتاني بهذه الطريقة بحدود 20 درجة. يمكن تبسيط العملية كما هو موضح على الشكل (3-11).

الشكل (3-11) عملية الأيزومرة

- النافثا الثقيلة: وهي أيضاً المادة الأولية للحصول على البنزين. وتتعرض هذه المواد لعملية إصلاح أو تحسين تحفيزي (عملية تتحول بموجبها الأجزاء البنزينية ذات العدد الأوكتاني المنخفض إلى أجزاء ذات عدد أكتاني مرتفع، ويتم ذلك عن طريق تحويل البرافينات والنفتينات إلى أيزو-برافينات أو فحوم عطرية). وتهدف هذه العملية إلى زيادة العدد الأوكتاني من حوالي 50 وما دون إلى أن يصل إلى حوالي 100. وتتم هذه العملية في جو مشبع بالهيدروجين ووسيط كيميائي محفز هو البلاتين أو الراديوم.

يمكن تلخيص هذه العملية كيميائياً كما هو موضح على الشكل (3-12):

الشكل (3-12). توضيح لعملية الإصلاح التحفيزي

- القطارة الوسطى: وهي المادة الأولى للحصول على الكيروسين والوقود النفاث ووقود محركات الديزل. وتتعرض للمعالجة بالهيدروجين شكل (3-13)، تهدف في النهاية إلى تخليصها من الشوائب العالقة بها والضارة بالمحركات، وتحديداً يتم التخلص من الكبريت والنيتروجين والأكسجين حيث يتم تحويلها إلى H_2S , NH_3 , H_2O . وهذه المواد إما أن تتطلق على شكل غازات أو تترسب في القاع. ويتم ذلك باستخدام وسيط النيكل والموليبدن المتوضعين على قضبان من الألومنيوم والهيدروجين.

الشكل (3-13). المعالجة بالهيدروجين

- القطارة الثقيلة: وهي عبارة عن فحوم هيدروجينية تشكل المادة الخام الأساسية لعمليات التحطيم بهدف كسر بنيتها الطويلة وتحويلها إلى مواد من فئة المركبات البنزينية أو من فئة وقود الديزل (حيث تتم عملية التحطيم ثم المعالجة بالهيدروجين للحصول على وقود الديزل).

- البقايا: تمثل المخلفات المتبقية من عملية التقطير أصعب جزء من وجهة نظر التكرير، وتتم معالجتها بإحدى الطرق التالية:

* تتعرض البقايا لمعالجات بسيطة تهدف إلى رفع وتحسين جودتها وتخليصها من الرواسب والمواد الثقيلة بحيث تصبح مادة ملائمة لعمليات التحطيم.

* التفحيم: وتعتمد على درجات الحرارة العالية لكسر وتفكيك الجزيئات الثقيلة في النفط الخام. تسفر هذه العملية عن تشكل مادة سوداء صلبة تدعى بالكوك يجب إزالتها بشكل دوري من قعر المفاعل.

تستطيع عملية التفحيم استيعاب مواد أولية متباينة جداً من حيث التركيب وتتحمل شوائب كثيرة. وبالرغم من أن هذه الطريقة عالية الإنتاجية إلا أن المنتجات التي تعطيها تكون من نوعية رديئة تستوجب معالجة لاحقة لتحسين نوعيتها.

3-9-7- التكسير الحراري للنفط:

التكسير الحراري هو عملية كيميائية تجري تحت تأثير الحرارة العالية (500م°) والضغط العالي، (40 - 70 ضغط جوي). حيث تجري تفاعلات التحلل والتكاثف وإعادة التركيب في آن واحد، خلافاً لعملية التقطير المختلفة والتي يتم فيها الحصول على المنتجات النفطية بطريقة الفصل الفيزيائي للنفط إلى قطرات مختلفة بدرجة غليانها. وتخضع البقايا النفطية والقطرات المتقطرة للتكسير الحراري للحصول على مازوت المراحل وكيروسين التكسير والبنزين. وهناك عمليات التفحيم للبقايا النفطية بهدف الحصول على فحم الكوك التجاري والغاز وغيرها.

وفي وحدات التكسير يدخل الخام إلى حجرات التفاعل بعد تسخينه إلى الدرجة المطلوبة. وفي الحجرات يخضع لعملية التكسير إلى أن يتكون فحم الكوك مع العلم أن زمن التكسير له دور أساسي. ويتم حالياً الجمع بين وحدات التكسير الحراري ووحدات التقطير الأولى للنفط.

أهم مؤشرات عملية التكسير الحراري هي:

- التركيب الفصلي (التقطيري) للنفط.
 - التركيب والطبيعة الكيميائية للنفط.
 - درجة الحرارة والضغط في حجرات التفاعل.
- ويبين الجدول (3-5) نتائج تكسير القططات المختلفة تحت تأثير الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية لمدة ساعة واحدة.

على الشكل (3-14) يظهر مخطط وحدة تكسير حراري وهي تتألف من البرج 1، المبخر الأول 2، المبخر الثاني 3، وفاصل الغاز 4، فرن التكسير 5.

- تتلخص عملية التفحيم في رفع درجة حرارة المادة الخام (مازوت التقطير، وباقي عملية التكسير، والبواقي الثقيلة أيضاً) في جهاز التفحيم إلى 400° درجة مئوية حيث يلاحظ انفصال القطارات بشدة فتتباطأ عملية ارتفاع الحرارة، ثم ترفع الحرارة إلى 500° مئوية فتتخفض سرعة انفصال القطارات، وبعد توقفها يحمص الكوك الحاصل برفع حرارته إلى 720° درجة، ثم تجري عملية تبريد الجهاز ببخار الماء.

يتم تفريغ الكوك يدوياً. وتستمر دورة العملية حتى 30 ساعة.

3-9-8- عملية التكسير المنشطة:

تشبه هذه العملية عملية التكسير الحراري العادي مع احتوائها على عوامل نشطة لتسريع عمليات التفاعل الكيميائية، وفي بعض الأحيان لتبطل سرعة التفاعلات (عوامل موجبة، وعوامل سالبة).

من العوامل الحافزة (النشطة) الموجبة، البلاتين، أكسيد الموليبدنيوم، كلور الألمنيوم، سليكات الألمنيوم.

المادة الخام المستخدمة هنا هي قطارات الكيوسين والسولار، والراجع الناتج عن التكسير الحراري وبقايا التكسير التخلخلي.

الجدول (3-5) حصيلة نواتج تكسير القططات المختلفة

القطعة الخاضعة للتكسير	حدود التبخر (°م)	حصيلة البنزين الذي ينتهي غليانه عند درجة 200 م° (%بالوزن)	حصيلة القططات المتكونة من جديد (%بالوزن)
النفثا	180-220	-	17
الكيروسين	220-270	15	25
زيت الغاز	270-300	16	33
زيت الغاز	300-325	18	46
المتبقى	أكثر من 300	18	-
القطارة الزيتية الثقيلة	250-280 (تحت ضغط 6مم زئبق)	22	85

الشكل (3-14) الرسم التخطيطي التكنولوجي للتكسير الحراري لقطة قطارية

نحصل من هذه العملية على البنزين، والكوك، وبعض الغازات (كالميتان) وغيرها.

أهم مؤشرات العملية هي:

- درجة الحرارة والضغط وهي (500 درجة مئوية)، (0.5 - 1.5 ضغطاً جويًا).

- سرعة التغذية بالمادة الخام (الحجمية).

- نسبة العامل المنشط (الحافز) وفعاليته.

9-9-3 عمليات الإنهاء أو المزج Finishing or Blending Processes:

وهي ضرورية لأنواع الوقود المستحصل عليها من وحدات التحطيم والمعالجة المختلفة حتى تحقق المواصفات المطلوبة لاستخدامها فمثلاً البنزين لا يكون متجانساً من حيث قيمة العدد الأكتاني، وكذلك الديزل من حيث العدد السيتاني،

لذلك يتم إضافة بعض المواد في وحدة المزج (كإضافات مضادات الطرق، ألكيلات الرصاص Antidetonation Add.، ومضادات الأكسدة Antioxidation Add.، وممانعات تجمد Anti-icing، ومخمدات النشاط الكيميائي Deactivators)، وذلك لمنع حدوث التفاعلات غير المرغوب بها أثناء عمليات النقل والتخزين طويل الأمد.

3-10- إنتاج المحروقات في المصافي :hydrocarbons in refineries

3-10-1- مصافي التكرير الحديثة :Modern Refineries

إن مهمة مصفاة التكرير تأمين المحروقات اللازمة للمحركات التي تتطلبها حاجة السوق الاستهلاكية بالتنوع التي تحتاجها المحركات في كل مرحلة من مراحل تطورها. إن النسب التي توجد بها المركبات في النفط الخام تتباين من مصدر لآخر. ويمكن بصورة وسطية قبول التركيب الوسطي المبين على الشكل (3-15).

الشكل (3-15). مكونات النفط الخام ومنتجات التكرير. % حجماً

نلاحظ أن النفط يحتوي على كمية من البنزين أقل من متطلبات السوق في حين أنه يحتوي على كمية أكبر من المركبات الثقيلة وهي أكثر مما يحتاجه السوق. وفضلاً عن الكمية القليلة من البنزين، فإن نوعيتها متدنية أيضاً فلا بد من تحسينها وتحويل الفائض من المركبات الأخرى إلى بنزين. إذاً تنحصر مهمة المصفاة في ناحيتين مهمتين:

1- توفير الكمية المطلوبة من المواد اللازمة التي تفوق بكثير الكمية الموجودة بشكل طبيعي في النفط الخام.

2- تأمين النوعية الجيدة اللازمة للأداء الجيد.

وبالنظر إلى طبيعة عمل المصافي نجد أن المصفاة تقوم أولاً بعزل كل مجموعة من الفحوم الهيدروجينية على حدى، وتحطيم المركبات الثقيلة إلى مكونات خفيفة، وبعد ذلك يعاد ترتيب هذه المجموعات بهدف الحصول على وقود بنزيني عالي الأوكتان.

يبين الشكل (3-16) مخططاً رمزياً لمصفاة نموذجية موضحاً فيه حركة المواد بدءاً من وحدة التقطير (على اليسار) والطريق الذي تسلكه المركبات المختلفة مروراً بالعمليات التكنولوجية المتنوعة التي يتعرض لها كل صنف من الأصناف الناتجة في وحدة التقطير حتى الحصول على المنتجات النهائية (في اليمين).

الشكل (3-16) مخطط رمزي لمصفاة نموذجية

3-10-2- عمليات التكرير Refinery Operations:

يمكن تقسيم عمليات التكرير إلى أنواع رئيسية ثلاثة:

3-10-2-1- عمليات الفصل Separating Processes:

وأهم هذه العمليات:

أ- عمليات التقطير Distillation Processes: حيث يتم فيها فصل خليط السوائل إلى مكوناته الأساسية تبعاً لدرجة تطاير مكوناتها (حسب درجات الغليان). إذا كان الخليط معظمه سوائل عند الضغط الجوي العادي، فيمكن أن يتم تسخينه عند هذا الضغط. عندئذ تسمى عملية التقطير بالتقطير الجوي. أما إذا كان معظم الخليط غازات عند الضغط الجوي، فيتم التقطير عند ضغوط مرتفعة حيث يمكن عندها الاحتفاظ بالغازات في حالة سائلة. أما إذا كانت السوائل ثقيلة وتحتاج لدرجات حرارة عالية لتطاير، فإن مثل هذه الحرارة يمكن أن تحلل هذه المواد وتغير

من تركيبها. لذلك يتم تقطيرها تحت ضغط منخفض، أي أقل من الضغط الجوي بحيث يؤدي إلى خفض نقاط غليانها، ويدعى مثل هذا التقطير بالتقطير التخللي.

ب- عمليات الامتزاز Adsorption Processes: تستخدم هذه العمليات لفصل بعض بقايا المواد التي لا تزال موجودة في الخليط وهي غير مرغوب بها. ويتم ذلك باستخدام بعض المواد الصلبة المسامية، مثل الكربون المنشط وجل السيلكا. حيث يتم امتزاز البقايا على سطوح ومسامات هذه المواد الصلبة. (تستخدم هذه العمليات في المعالجة النهائية للبنزين والكيروسين وزيوت التزليق.. وذلك لفصل المواد الملونة منها والرطوبة.).

ج- عمليات الامتصاص Absorption Processes: وهي عمليات فصل خليط من الغازات بواسطة سائل يذيب بعض الغازات دون الآخر، ثم تتم عملية الإرجاع بعملية عكسية باستخدام البخار أو الهواء الساخن. تستخدم هذه الطريقة في مصافي النفط للتخلص من بعض الغازات الخطرة والضارة، مثل غاز الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون بمذيبات مثل المحاليل الأمينية أو كربونات الكالسيوم.

3-10-2-2- العمليات التحويلية Conversion Processes:

حيث تتعرض المواد فيها لتغيرات كيميائية تؤدي إلى تكون مواد مختلفة كيميائياً وفيزيائياً عن المواد الأصلية. وأهم هذه العمليات:

أ- عمليات التكسير Cracking Processes: وهي تحويل الجزيء البرافيني الكبير إلى مواد خفيفة عن طريق:

- إما تعريضه لدرجة حرارة عالية تكسير حراري. (يستخدم لتحويل زيوت الوقود الثقيلة إلى زيت الغاز، التفحيم، أو تخفيض لزوجة زيوت الوقود).

- وإما تعريضه لدرجة حرارة عالية واستخدام عامل حفاز، التكسير الحفازي. (يستخدم لإنتاج البنزين).

- وإما تعريضه لدرجة حرارة عالية مع وجود الهيدروجين، التكسير الهيدروجيني. (يستخدم لإنتاج البنزين).

ب- عمليات التهذيب الحفازي Catalytic Reforming Processes : أي تشكيل بعض الجزيئات بتحويلها إلى أخرى ذات خواص أفضل، كتحويل البرافينات العادية إلى أيزوبرافينات ذات عدد أكتاني عالي.. وتتم هذه العمليات بوجود عوامل حفازة وحرارة مرتفعة وضغط عال.

ج- عمليات البلمرة أو الألكلة Polymerization and Alkylation : حيث تعرف البلمرة بأنها عملية تجميع الجزيئات الصغيرة غير المشبعة (Olefin) إلى جزيئات أكبر ذات سلاسل أطول من ذرات الكربون. أما الألكلة فهي إدخال مجموعة ألكيل (C_nH_{2n+1}, R) إلى مركب عضوي. وفي مصافي النفط فيقصد بالألكلة على أنها تفاعل الأوليفينات الخفيفة مع الأيزوبوتان لإنتاج بنزين ذي عدد أكتاني عال.

3-2-10-3- المعالجة الكيميائية Chemical treatment:

قد تحتوي المنتجات النفطية الناتجة عن العمليات السابقة على شوائب تضر بمواصفات الوقود الناتج وخواصه، وأهم الشوائب الضارة الموجودة في مشتقات الوقود هي: - مركبات الكبريت - مركبات غير مشبعة - الأحماض النفطية - البرافينات الصلبة.

يؤدي وجود مركبات الكبريت والأحماض النفطية إلى الحث الكيميائي لأجزاء المحرك، وتؤثر الأحماض في الحديد والنحاس والقصدير.

وتجعل المركبات غير المشبعة الوقود غير ثابت أثناء التخزين والتشغيل، حيث تؤدي إلى تكوين الرواسب التي تتراكم في نظام التغذية.

وتؤدي البرافينات الصلبة في وقود الديزل إلى رفع درجة التجمد، مما يعقد الإقلاع بخاصة في الشتاء، ويؤدي إلى تلف المحرك بسرعة.

يحتاج الأمر إلى المعالجة بعمليات كيميائية بهدف إصلاح التركيب ونزع الشوائب. ويستخدم لذلك عدة طرق، أهمها:

- عمليات المعالجة بالهيدروجين Hydro-refining أو ما يسمى Hydro-finishing وذلك بهدف تنقية القطفات النفطية من المركبات غير المشبعة، حيث تتحد مع الهيدروجين وتشكل مركبات مشبعة. وكذلك فصل مركبات الكبريت، عن طريق تحويل الكبريت إلى كبريتيد الهيدروجين، وطرده.
- المعالجة بالحموض والقلويات: تمثل هذه العملية المرحلة النهائية لعمليات تصنيع الوقود والزيوت. وتتخلص العملية في معالجة القطفات بوساطة محلول مائي من الصودا الكاوية أو الكلسية، لإزالة كبريتيد الهيدروجين، والأحماض النفطية، أو معالجة المنتج بحمض الكبريت ثم معادلة الحمض بوساطة محلول قلوي مائي وذلك لإزالة الهيدروكربونات غير المشبعة والرواسب وغيرها.
- المعالجة باستخدام منشط (ألومينو - ساليكوني): تستخدم هذه الطريقة لتحسين البنزين الناتج عن التكسير المنشط، حيث تقل نسبة الهيدروكربونات غير المشبعة في البنزين ويزداد أكتانه. وتستخدم العملية لإنتاج بنزين الطائرات.
- عمليات تخليص البارافين: الغاية منها تخفيض درجة تجمد وقود الديزل، ويتم ذلك بمعالجة الناتج بمحلول اليوريا، حيث يشكل مادة متراكمة مع البارافينات، ثم يتم فصل هذه المادة وتحليلها بالتسخين لفصل البارافين عن اليوريا، ويعاد استخدام اليوريا من جديد.

- المعالجة لمنع الصدأ: وتتلخص في إضافة مواد، لها خواص مانعة للأكسدة والتآكل إلى الوقود (بنزين التكسير الحراري، الذي يحوي على نسبة كبيرة من الهيدروكربونات غير المشبعة، وهو غير ثابت عند التخزين والتشغيل) حتى تضمن ثباته لمدة طويلة من الزمن. وهناك طرائق كثيرة أخرى لمعالجة المنتجات النفطية.

3-10-3- الحصول على البنزين التجاري:

يحضر بنزين الطائرات والسيارات بخلط مركبات كثيرة مختلفة (الكيل البنزين، الكيل بنزول وبيرو بنزول، وتولوين، وقطرات التقطير الأولى للنفط، وقطرات التكسير الحراري، وقطرات التكسير المنشط).

وتضاف بعض المواد المقاومة للصفع، التي ترفع عدد الأكتان مثال رابع-أثيل - الرصاص، $Pb(C_2H_5)_4$ وهو سائل شفاف عديم اللون ويزوب بسرعة في الهيدروكربونات ولا يذوب في الماء، وشديد السمية، ويضاف مع بروميد الأثيل، وثنائي - برومو - الأيتان، أو مع ثنائي برومو البروبان و α أحادي كلور والنفثالين. ويطلق على مزيج المركبات المذكورة اسم السائل الأتيلي.

يؤدي احتراق هذا السائل إلى تكوين رواسب على جدران حجرة الاحتراق وعلى شمعات الاحتراق والصمامات. وتتكون مركبات رصاصية تظهر مع غاز العادم. ولهذا لم يعد يستخدم في المحركات الحديثة.

يتألف بنزين الطائرات التجاري من المركبات الأساسية التالية:

- البنزين الحاصل من التقطير الأول للنفط ومن البنزين الحاصل من المعالجة لقطرات البنزين.

- البنزين المتكون من عملية التكسير المنشط والخاضع للتنقية، الذي يساوي عدده الأكتاني 80-82 ولا تزيد نسبة الرواسب فيه على 2م.غ لكل 100م. لliter بنزين.

- والمركبات ذات الأكتان العالي، التي تضاف إلى البنزين حتى تصل جودته إلى جودة البنزين التجاري وهي (أيتيل - أيزوبريل - بنزول، الكيل - بنزول، أيزوبنتان، الأيزوأوكتان التجاري ، التولوين ، والبيروبنزول).

يضاف إلى هذه المركبات الأساسية السائل الأتيلي المقاوم لظاهرة الصفع، ولحساب خصائص هذا الخليط (المزيج) يستخدم مفهوم العدد الأكتاني للمزيج، حسب تكوينه الذي يختلف باختلاف الإضافات والمركبات الرئيسية (الأساسية)، ويحسب أكتان المزيج كما يلي:

إذا أخذنا خليطاً "مؤلفاً" من 80% بنزيناً من التقطير المباشر (أكتان 92,5) و 20% الكيل - بنزول (أكتان 93,8) فإن أكتان المزيج س يصبح:

$$92,5 \times 80 + 93,8 \times 20 = \text{س} \quad \text{ومنه} \quad \text{س} = 99$$

يتميز بنزين السيارات، الذي ينتج من التقطير المباشر للخام، بانخفاض مقاومته لظاهرة الصفع، ورغم خلطه بالبنزين الناتج عن عمليات التكسير الحراري والتكسير المنشط، يبقى بحاجة إلى عملية تحسين، ترفع من عدد الأكتان فيه وذلك باستخدام أكسيد الموليبدن وأكسيد البلاتين، تحت الحرارة 500 مئوية وتحت الضغط الذي يساوي من 15-20 ضغطاً جواً فنحصل على الهيدروكربونات العطرية المهمة في الصناعة الكيميائية إضافة لتحسين نوعية البنزين، ونحصل أيضاً على كمية من الغازات التي تحوي كمية كبيرة من الهيدروجين.

ولزيادة أكتان البنزين التجاري نستخدم مركبات خاصة من بنزين التقطير التخلخلي، وبنزين التكسير المنشط والبنزين المحسن جودته إضافة للمركبات الرئيسية (مركبات التقطير المباشر، تقطير التكسير الحراري) مع إضافات خاصة (سوائل زيادة أكتان الوقود). بحيث يصل الأكتان إلى (93) تقريباً عند السيارات ذات الجودة العالية.

يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من البنزين التجاري، بنزين عادي خال من الرصاص Unleaded Regular Gasoline ذو عدد أوكتاني 87، وبنزين ممتاز خال من الرصاص Unleaded Premium Gasoline ذو عدد أوكتاني 91-93 وبنزين عادي حاو على الرصاص بعدد أوكتاني 88-89 .

إن استخدام مركبات الرصاص كإضافات للبنزين يزيد من العدد الأوكتاني، لكن هذه الإيجابية يرافقها سلبيات كثيرة لوجود الرصاص ضمن البنزين. من هذه السلبيات:

- لا يتم طرد كل أكاسيد الرصاص من غرفة الاحتراق (حيث يخرج حوالي 90% منه مع غازات الإفلات نظراً لسرعة خروج الغازات العالية، ويتبقى 10% التي تترسب على جدران الأسطوانة الداخلية).

- إن ترسب مركبات الرصاص على جدران حجرة الاحتراق يخفض من درجة حرارة احتراق هباب الفحم وبالتالي يترافق مع ظهور الاحتراق السطحي (الاحتراق بسبب وجود سطوح ساخنة مشكلة بؤرة احتراق). وللتقليل من هذه المشكلة يتم إضافة بعض الإضافات كالفوسفور والفلور.

وكما ظهر فإن للرصاص مشكلة أخرى لا تقل أهمية عن سابقتها وهي ظاهرة تسمم الوسيط الحفاز Catalytic Poisoning . فكما هو معروف أن معظم شركات صنع السيارات تتركب المحولات الحفازة Catalytic Converters (وهي عبارة عن شبكة مصنوعة من السيراميك المشبع بمعادن نفيسة مثل البلاتين والراديوم وغيرها، والتي تعدّ الوسائط اللازمة لتنشيط وتفعيل عملية الأكسدة) لتحويل نواتج الاحتراق غير الكامل السامة إلى مخلفات الاحتراق الكامل -إكمال الاحتراق، أي إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء والأزوت، وهذه المركبات موجودة بشكل طبيعي في الوسط المحيط وبالتالي يتلاشى الخطر .

وهكذا تضافرت هذه العوامل السلبية ضد وجود الرصاص في البنزين، وكان القرار النهائي والحاسم بضرورة تخفيض كميات الرصاص بدءاً من 0,85 غ/ل التي كانت سائدة في مطلع السبعينيات إلى 0,4 غ/ل في نهايتها ووصل إلى 0,15 غ/ل في منتصف الثمانينيات، ثم ما أصبح معروفاً باسم البنزين الخالي من الرصاص Unleaded Gasoline والذي يسمى أحياناً بالبنزين الأخضر أو البنزين البيئي والذي لا تتجاوز نسبة الرصاص فيه مقدار 0.013 غ/ل.

3-10-4- الحصول على وقود الديزل:

نحصل على وقود الديزل من قطرات التقطير المباشر أو باستخدام نواتج ذات أصل ثانوي.

يجب أن يتمتع وقود الديزل بعدد سيتان في حدود 45-50 درجة ليكون عمل المحرك اقتصادياً، ونحصل على هذا الوقود من النفط البارافيني، ولرفع عدد السيتان في الوقود نستخدم بعض الإضافات (نيترات البيوثيل، نيترات الاميل، نيترات ايزو-بروبيل)، إلى الوقود الناتج من التقطير المباشر للنفط، وتضاف هذه المواد بنسبة 1% وتزيد عدد السيتان من 10-13 درجة، وهناك بعض البيروكسيدات التي تتمتع بخاصية رفع عدد السيتان.

هذا وتوجد طرق عديدة أخرى لزيادة العدد السيتاني، وهي:

- إزاحة مجال نقطة الغليان الوسطية التي يتم عندها تجميع المركبات العائدة لوقود الديزل.

- المعالجة بالهيدروجين لمركبات زيت الغاز الناتجة عن عمليات التحطيم.

ويعدّ الطريق (الإضافات) هو الأقصر والأكثر اقتصادية من بين ما ذكر أعلاه.

إن المركبات المتوفرة في السوق التجارية لتحسين العدد السيتاني Improvers Cetane Number هي خلائط ألكيل النترات Alkyl Nitrate. والشكل (3-17) يبين الاستجابة لزيادة العدد السيتاني التي تبديها أنواع الوقود الناتجة من التكرير المباشر (المنحني العلوي) وأنواع الوقود الناتجة عن عمليات التحطيم (المنحني السفلي).

11-3- تصنيف الوقود الناتج عن تكرير النفط :produced by oil refining

في إحصائية لمعهد البترول الأمريكي (API) أعلن أن هناك أكثر من ألفي منتج يمكن إنتاجها من البترول في مصافي النفط وفي مصانع البتروكيماويات. غير أنه لا يمكن بالطبع أن تقوم مصفاة واحدة بإنتاج هذا الكم الهائل من المنتجات، وعادة ما تقوم هذه المصافي بإنتاج عدد قليل ومحدود من هذه المنتجات. والجدول (3-6) يبين منتجات التكرير ومجال نقاط الغليان لها (تطايرها).

الجدول (3-6) منتجات التكرير النموذجية

المنتج	مجال الغليان °C
غازات النفط المميعة LPG	0 إلى -40
بنزين المحركات	30 إلى 200
الكيروسين، وقود الطائرات	170 إلى 270
وقود الديزل	180 إلى 340
وقود الأفران	180 إلى 340
زيوت التزليق	340 إلى 540
الوقود المتبقي	340 إلى 650
الأسفلت	+540
الكوك البترولي	صلب

ونظراً لوجود عشرات الأنواع من النفط الخام، فإن نوعية المشتقات وكمياتها تختلف من نفط إلى آخر. وبسبب اختلاف كثافة المشتقات وإضافة بعض المواد الكيميائية، فإن برميل النفط غالباً ما ينتج مشتقات تفوق حجمه بحدود عشرة لترات تقريباً.

يمكن استخراج ما يلي من برميل النفط متوسط النوعية:

51,4% بنزين ؛ 15,3% ديزل (مازوت) ووقود للتدفئة ؛ 12,6% وقود طائرات وكيروسين ؛ 3,3% وقود للسفن والمصانع ومحطات الكهرباء ؛ 8,2% غازات مختلفة جافة وسائل ؛ 5,0% فحم الكوك ؛ 1,9% أسفلت ومواد مشابهة لتعبيد الطرق ؛ 0,9% زيوت تزليق ؛ 1,4% منتجات أخرى.

وبصورة عامة تنتج الأنواع التالية من الوقود في عملية تكرير النفط الخام:

أ- الوقود الغازي: الغازات المكثفة الناتجة عن عمليات التكوير .

ب- الوقود السائل ويضم:

1- وقود المحركات ذات المغذي (المفحم). بنزين السيارات، وبنزين الطائرات ووقود الجرارات.

2- وقود المحركات ذات الاشتعال الذاتي (الاشتعال بالضغط). أي وقود محركات الديزل.

3- وقود المحركات الثابتة بطيئة الدوران.

4- الوقود النفث للمحركات النفثية.

5- وقود المراجل والأفران الصناعية.

ج- الوقود الصلب المكون من فحم الكوك الناتج عن التكوير أيضاً.

3-11-1- غازات زيت التكوير Refinery Oil Gas:

المكون الأساسي لهذا الغاز هو غاز الميثان ذو الكثافة المنخفضة 0.3، وهو يكون في الحالة الغازية في درجات الحرارة العادية (درجة غليانه منخفضة جداً -161.5°C). عادة يستخدم هذا الغاز كوقود في أفران المصفاة.

3-11-2- غازات البترول المسالة Liquefied Petroleum gases:

تحتوي هذه الغازات على البروبان والبوتان والأيزوبوتان، وتتراوح كثافتها بين 0.5 و 0.6 حيث يمكن إسالة هذه الغازات بالضغط والتبريد واستخدامها في المنازل في موافد وأفران الغاز.

3-11-3- وقود البنزين Gasoline:

تنتج مصافي النفط العديد من أنواع البنزين، والتي يستخدم معظمها في السيارات. يتكون البنزين عموماً من الهيدروكربونات التي تتراوح بين $(C_5 \div C_{10})$ في مدى الغليان $30 \div 200^{\circ}\text{C}$. وعادة ما يتم خلط أنواع مختلفة من البنزين المنتج في

وحدات المصفاة المختلفة في ما يسمى بحوض البنزين Gasoline Pool ويضاف لهذا الخليط بعض الإضافات الأخرى بغية تحسين خواصه بما يتلاءم ومتطلبات المحركات المختلفة.

يستخدم البنزين في مجالات متعددة: بنزين الطائرات - بنزين السيارات - البنزين البحري.

1-3-11-3- Aviation Gasline: بنزين الطائرات

وهو وقود يصلح لمحركات الاحتراق الداخلي المكبسية ذات الاشتعال بالشرارة في الطائرات.

على الجدول (3-7) موضح المتطلبات الواجب توفرها لهذا النوع من البنزين.

الجدول (3-7) مواصفات بنزين الطائرات

القيمة	المواصفات
	درجات حرارة التقطير، °C :
75.0	10% مقطر، حد أعلى
105.0	50% مقطر، حد أعلى
135.0	90% مقطر، حد أعلى
170.0	نقطة نهاية الغليان، حد أعلى
97.0	الكمية المستخلصة أو المستردة، حد أدنى %
1.5	المتبقي (% حجماً)، حد أعلى
1.5	ضياعات التقطير (% حجماً)، حد أعلى
43543	القيمة الحرارية الدنيا (الصافية)، حد أدنى، kJ/kg
	ضغط البخار، kPa:

0.388	حد أدنى
0.5	حد أعلى
No.1	اختبار الصفيحة النحاسية، حد أعلى
6.0	نسبة الصمغ، حد أعلى، (ملغ/100 مل)
3.0	ترسبات الرصاص الواضحة، حد أعلى، (ملغ/100 مل)
0.05	نسبة الكبريت (% وزناً)، حد أعلى
-58	نقطة التجمد، حد أعلى، °C

يوجد ثلاثة أصناف من هذا الوقود تبعاً للعدد الأوكتاني ولكمية رابع أثيل الرصاص المضافة له.

على الجدول (3-8) موضح مواصفات هذه الأصناف الثلاثة.

أهمية هذا البنزين أخذت بالتناقص نظراً لاعتماد الطائرات الحديثة على محركات العنفات الغازية.

3-11-2- بنزين السيارات Automotive Gasoline:

يحضر هذا الوقود للاستخدام في محركات الاحتراق الداخلي ذات الاشتعال بالشرارة. وهو عبارة عن خليط معقد مؤلف من عدة مئات من الفحوم الهيدروجينية حيث يختلف تركيبه باختلاف العملية المنتجة له، حتى عندما يكون العدد الأوكتاني له واحداً. وأهم مكونات البنزين هي مركبات برفينية و أوليفينية وعطرية.

الجدول (3-8) أصناف بنزين الطائرات

المواصفات	الصنف 80	الصنف 100	الصنف 100LL
رقم الأكتان، حد أدنى، (طريقة المحرك)	80	100	100
اللون	أحمر	أخضر	أزرق
نسبة رابع إيثيل الرصاص، حد أعلى (مل/غالون)*	0.5	4.0	2.0

*الغالون = 3.7854 لتر

يجب أن يتمتع بنزين السيارات بالشروط المطلوبة التي يتمتع بها بنزين الطائرات، كالتركيب النقطي، ومقاومة الصفع، والثبات الكيميائي، ومقاومة الحث الكيميائي وضغط الأبخرة المشبعة. ولكن الشروط المطلوبة في بنزين السيارات أقل شدة منها في بنزين الطائرات نظراً لاختلاف تصميم كلا النوعين من المحركات وظروف عملها. وبشكل أكثر تحديداً فإن التركيب أوسع والعدد الأوكتاني أقل وضغط الأبخرة المسموح به أعلى. وتبقى مقاومة الصفع هي المؤشر الرئيسي في الحالتين ويجب أن يكون عدد الأوكتان مرتفعاً بسبب ارتفاع نسبة الانضغاط في المحركات الحديثة.

إن السهولة التي يمكن بها إقلاع محرك سيارة ما، وسرعة تدفنته وتعجيله وقلة المواد المترسبة فيه، وانخفاض ميل الوقود نحو تكوين عائق بخاري، كلها تعتمد على مدى تبخر الوقود وإلى حد ما على ضغطه البخاري الذي بدوره يعتمد على درجات غليان الوقود. فلكي يبدأ المحرك البارد بالدوران لابد من وجود كمية كافية من البنزين في خليط الهواء ضمن حجرة احتراقه. عادة ما تعبر درجة الحرارة التي

يجتمع عندها 10% من العينة المبخرة دليلاً على سهولة إقلاع المحرك البارد. يظهر الجدول (3-9) أقل درجات الحرارة اللازمة لإقلاع المحركات المقابلة لدرجات التقطير التي يتبخر عندها 10% من البنزين.

الجدول (3-9) أقل درجات بدء المحرك

أقل درجة لبدء المحرك C	درجة تطاير 10% من الوقود C
-34	37.8
-26	48.9
-18	60.0
-11	71.1

مما تقدم فإن بنزين الشتاء يحتوي على (10-14)% من البوتان العادي بينما بنزين الصيف يحتوي على (5-8)% منه فقط.

أما درجة الحرارة التي يتبخر عندها 50% من العينة، فتدل على سرعة تسخين المحرك ومرونة تحوله من نظام عمل إلى آخر، وعلى مدى استقرار عمل المحرك. إن احتواء الوقود على مركبات هيدروكربونية خفيفة أكثر من اللازم قد يكون له بالمقابل آثار ضارة، أهم هذه الآثار ما يدعى بالسدادة البخارية، حيث إن كمية الأبخرة المتكونة داخل أنابيب نقل الوقود وفي فالات المفحم تعمل على منع جريان الوقود السائل إلى أسطوانات المحرك بانتظام، وقد تؤدي إلى توقفه كلياً.

أما الرواسب التي تتشكل على سطوح حجرة الاحتراق وعلى قمة المكبس فبسببها الرصاص الموجود ضمن البنزين وزيوت التزيق، وكذلك المحتويات الثقيلة التي تكون موجودة في الوقود ذاته. يتم تحديد ميل الوقود لتكوين مثل هذه الترسبات عن طريق تحديد درجة الحرارة التي يتبخر عندها 90% من عينة الوقود.

فإذا كانت هذه الدرجة عالية دل ذلك على الميل الكبير للبنزين المدروس لتكوين رواسب ثقيلة ضمن أسطوانات المحرك، وما يستجره ذلك من احتياج المحرك للأوكتان. فالمحرك الجديد الذي يتطلب -مثلاً- وقوداً ذا عدد أوكتاني 77، بعد قطع عدد معين من الأميال سوف يحتاج إلى وقود ذي عدد أوكتاني يبلغ 87، ذلك بسبب الترسبات المتكونة في حجرة الاحتراق وبالتالي صغر هذه الحجرة.

ويجب أن يحدد مسبقاً نسبة الرواسب في البنزين ويجب مراقبة الثبات الكيميائي فيه بتعيين دور الثبات وهو الزمن الذي لا يمتص البنزين خلاله الأكسجين في ظروف صعبة ويجب أن لا تقل فترة هذا الدور عن 6 ساعات.

ويجب مراقبة وجود المركبات الكبريتية فيه، التي يؤدي وجودها إلى انخفاض العدد الأوكتاني وزيادة الحث الكيميائي.

يظهر الجدول (3-10) الموصفات المتفق عليها والتي تشكل النظم القياسية للبنزين الخالي من الرصاص.

يعدّ العدد الأوكتاني من أهم مؤشرات نوعية البنزين الأولية، والتي يتم تصنيف البنزين في السوق على أساسها. والعدد الأوكتاني عبارة عن مقياس لقابلية البنزين لمقاومة الطرق. والطرق عبارة عن ضجة ميكانيكية حادة تنتج عن الاحتراق غير الطبيعي في المحرك. وقد عرف مفهوم العدد الأوكتاني منذ مطلع الثلاثينيات وتم تحديد السلم الأوكتاني الذي يحتل فيه الهبتان الطبيعي ($n-C_7$) درجة الصفر والأيزوأكتان ($i-C_8$) درجة المائة، على أن الأول يعدّ أسوأ أنواع الوقود والثاني أفضلها - في ذلك الوقت عام 1930 .

كما تم تصنيف أنواع الوقود تبعاً لهذا السلم، وأصبح الرقم الأوكتاني للوقود عبارة عن نسبة الأيزوأكتان الموجودة في خليط معياري له مع الهبتان الطبيعي

الجدول (3-10) مواصفات البنزين الخالي من الرصاص

المواصفات		منظمة القياسات الأوروبية EN 228		ألمانيا DIN 51607		انكلترا B5 7070	
		أعلى	أدنى	أعلى	أدنى	أعلى	أدنى
العدد الأكتاني							
بطريقة البحث:							
-	الصف الممتاز	95	-	95	-	95	-
-	الصف العادي	-	-	91	-	90	-
العدد الأكتاني بطريقة المحرك:							
-	الصف الممتاز	85	-	85	-	85	-
-	الصف العادي	-	-	82.5	-	80	-
كمية الرصاص		-	0.013	-	0.013	-	0.013
المحتواة، g_{pb}/l							
الكثافة، g/ml							
-	الصف الممتاز	0.72	0.79	0.74	0.79	-	-
-	الصف العادي	-	-	0.72	0.77	-	-
النسبة الحجمية لكمية البنزين، $\%C_6H_6$		-	5	-	5	-	5
النسبة الوزنية لكمية الكبريت، $\% S$		-	0.1	-	0.1	-	0.2
المحتويات الصمغية، $mg/100ml$		-	5	-	5	-	5
زمن التحريض، دقيقة		-	-	-	-	240	-

(حجماً)، والتي تطرق بالشدة نفسها التي يطرق بها الوقود المدروس، وذلك في محرك معياري (المحرك المعياري هو من صنع لجنة أبحاث الوقود التعاونية

(Co-Operative Fuel Research Committee CFR).

يتم تحديد العدد الأوكتاني وفق عدة تقنيات، حيث تختلف الشروط الخاصة التي يتعرض لها الوقود أثناء اختبارها في المحرك المعياري. وقد درجت بشكل رئيسي تسميتان للعدد الأوكتاني هما:

العدد الأوكتاني المحدد بطريقة البحث (RON) Research Octane Number، وهي الأقدم زمناً.

والعدد الأوكتاني المحدد بطريقة المحرك (MON) Motor Octane Number، وهي الأقسى من حيث الشروط.

عادة ما يكون العدد الأوكتاني المحدد بطريقة البحث أعلى من مثيله المحدد بطريقة المحرك لذات الوقود بحوالي 6 إلى 12 وحدة. ندعو الفارق بينهما بالحساسية.

تتمايز مركبات الوقود الكيميائية من حيث حساسيتها من جهة، ومن حيث عددها الأوكتاني من جهة أخرى. يوضح الجدول (3-11) الرقم الأوكتاني لبعض الهيدروكربونات.

الجدول (3-11) الرقم الأوكتاني لبعض الهيدروكربونات.

Material	RON	MON	المادة
n- Paraffins:			- البرافينات
C_5	61.7	61.9	البنتان
C_6	24.8	26.0	الهكسان
C_7	0.0	0.0	الهيبتان
Olefins			- الأوليفينات
C_5	90.9	77.1	البنتين
C_8	72.5	68.1	الأكتين
i- Paraffins:			- الأيزوبرافينات
$i-C_5$	92.3	90.3	الأيزوبنتان
$i-C_7$	42.4	46.4	الأيزوهيبتان
$i-C_8$	100.0	100.0	الأيزوأوكتان
Aromatics:			- المواد العطرية
Benzene	-	114.8	البنزين الكيميائي
Toluene	120.1	103.5	التولوين
Ethyl Benzene	107.4	97.9	إيثيل البنزين

من الجدول نلاحظ:

- كلما ازداد عدد ذرات الكربون في البرافينات الطبيعية قل العدد الأوكتاني.
- يزداد العدد الأوكتاني مع زيادة تفرع السلاسل البارافينية.
- تتمتع العطريات بأكبر عدد أوكتاني والبرافينات الطبيعية بأقل عدد أوكتاني بينما تشغل الأوليفينات مكاناً وسطاً.

يجب التنويه إلى أن عمل المحرك يختلف إلى حد ما عن تلك الشروط القياسية والتي تم خلالها حساب العدد الأوكتاني وفق طريقة البحث أو المحرك، لذلك أدخل مفهوم العدد الأوكتاني المحدد بالطريقة Road Octane Number وذلك بتحديد قيمته على السيارة أثناء سيرها على الطريق وباعتماد طريقة معينة للتشغيل وباستخدام وسائل قياس نظامية. لقد وجد أن قيمة هذا العدد تقع عملياً بين القيمتين السابقتين لذلك تم اعتماد المتوسط الحسابي لهما، أي: $\frac{RON + MON}{2}$ لأنها أكثر واقعية من اعتماد أحدهما، والأشد اقتراباً لمتطلبات المحرك الفعلية.

يدعى هذا المعدل الأوكتاني " دليل مقاومة الطرق Antiknock Index " وهو ما تعتمد محطات التوزيع.

3-11-4-الكيروسين Kerosene:

تتراوح درجة غليان هذا المنتج في وحدة التقطير بين $C^{\circ} (170 \div 270)$ ، ويجب معالجته من الكبريت في وحدة تنقية هيدروجينية.

إن وجود المواد العطرية في الكيروسين غير مرغوب فيه، على عكس البنزين، حيث إنَّها تسبب اشتعال الكيروسين مصحوباً بالدخان. يقاس ميل الكيروسين لتكوين الدخان عند اشتعال الوقود بواسطة نقطة الدخان Smoke Point.

إن وجود المواد العطرية والكبريتية في الكيروسين يخفض من نقطة الدخان. وتملك البرافينات أعلى نقطة دخان، لذلك يفضل دوماً احتواء الكيروسين على نسبة عالية من هذه المركبات.

وتعين هذه النقطة عن طريق قياس ارتفاع شعلة الوقود بالميلترات في مصباح معياري بحيث لا يتكون دخان، وتعدّ نقطة الدخان مرضية إذا كانت أعلى أو تساوي 17 مم .

يستخدم الكيروسين في الإضاءة والتدفئة، وأحياناً يضاف لزيت الوقود لتخفيفه وجعله سهل الضخ في مواعد الأفران. يوضح الجدول (3-12) مواصفات الكيروسين المنزلي.

إلا أن أهم استخدام له هو في إنتاج وقود الطائرات، حيث يدعى عندئذ بوقود الطائرات Aviation Gasoline وهو أساساً يتكون من الكيروسين مضافاً له بعض البنزين. مدى غليان هذا الوقود يقع بين $170 \div 288$ °C.

الجدول (3-12) مواصفات الكيروسين المنزلي حسب المواصفات القياسية السورية.

القيمة	المواصفات
0.77-0.8	الوزن النوعي بدرجة الحرارة 15.6°C
35	درجة الوميض، جهاز بنسكي - مارتنز المغلق. حد أعلى
0.25	نسبة الكبريت، % وزناً. حد أعلى
أزرق	اللون
خال	الماء والرواسب
خال	الحموضة والقلويات
IB	اختبار الصفيفة النحاسية عند درجة الحرارة 50° م مدة 3 ساعات. حد أعلى
25	درجة التدخين، مم. حد أدنى
	النقطة، °C :
140	- بداية الغليان، حد أدنى
210-260	- نهاية الغليان
98	- المقطر الكلي (% حجماً). حد أدنى

من أهم المواصفات التي يتمتع بها وقود الطائرات هو ارتفاع نقطة دخانه ونظافة احتراقه. تقع درجة تجمده بين $C^{\circ} [(-50) \div (-40)]$.

3-11-5- وقود الديزل Diesel Fuel:

يعدّ وقود الديزل خليط مؤلف من عدد كبير من الفحوم الهيدروجينية، حيث تحتل المركبات البارافينية حوالي 85% من تركيب الوقود. وتتراوح نقاط غليان الأنواع المختلفة من وقود الديزل بين $C^{\circ} (180 \div 340)$. وقد تنتج هذه الأنواع بواسطة عمليات التحطيم من الزيوت الثقيلة للحصول على مركبات يتم خلطها مع الوقود البكر لبلوغ الكميات المطلوبة لسد حاجة السوق التجارية، (حيث ترفع هذه العمليات من نسبة المواد العطرية ضمن تركيب الوقود).

ويجب أن يحقق وقود الديزل الشروط التالية:

- تركيب تقطيري ولزوجة معينة يضمنان سهولة الإقلاع في مختلف الظروف الحرارية في الجو المحيط.
- مقاومة ظاهرة التجمد عند الحرارة المنخفضة وانفصال بلورات البارافينات عند درجات التشغيل.

- الاشتعال السريع والاحتراق السلس (عدد سيتان مرتفع).

- منع ظهور الحت الكيميائي لأجزاء المحرك.

- عدم تكوين الرواسب والتراكبات عند استعماله.

ويجب تحديد المواصفات القياسية لوقود الديزل دائماً وأهمها:

1- تعيين التركيب التقطيري (الفصلي).

2- عدد السيتان.

3- درجة التجمد والتعكر.

4- نسبة وجود الكبريت فيه.

يؤدي وجود القطفات الثقيلة إلى انخفاض جودة الوقود، حيث تسبب الاحتراق الجزئي للوقود ويتشكل دخان كثيف، وكذلك تراكمت في الداخل. بينما يجب أن تكون لزوجته مناسبة، وتسمح بتذير الوقود وتكوين المزيج وخلطه بشكل جيد، وتتراوح هذه اللزوجة عند الدرجة 50 درجة مئوية (36-66 سنتي أستوكسا) . وأن لا يحتاج الوقود إلى عملية تسخين أولية (أن تكون درجة حرارة التجمد والتعكر أقل بكثير من درجات حرارة المحرك). ويجب أن لا يحتوي على أحماض نفتائية لأنها تسبب الحت الكيميائي، وميله إلى ظاهرة التفحيم 3-4%.

يبين الجدول (3-13) مواصفات بعض الأنواع من وقود الديزل (خمسة أصناف) المناسبة للاستخدام في مختلف محركات الديزل.

الجدول (3-13) المتطلبات الواجب توفرها في وقود الديزل

المواصفات	منخفض الكبريت No.1-D	منخفض الكبريت No.2-D	الصف No.1-D	الصف No.2-D	الصف No.4-D
نقطة الوميض، C° حد أدنى	38	52	38	52	55
الماء والرسوبات، % حجماً. حد أعلى	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5
90% تتقاطر عند درجة الحرارة، °C :					

-	282	-	282	-	- حد أدنى
-	338	288	338	288	- حد أعلى
					اللزوجة الكينماتيكية، (س.ستوكس) عند 40 °C
5.5	1.9	1.3	1.9	1.3	- حد أدنى
24.0	4.1	2.4	4.1	2.4	- حد أعلى
0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	نسبة الرماد، % وزناً. حد أعلى
2	0.5	0.5	0.05	0.05	نسبة الكبريت، % وزناً. حد أعلى
-	N0.3	N0.3	N0.3	N0.3	اختبار الصفیحة النحاسیة عند درجة الحرارة، °C 50 مدة 3 ساعات. حد أعلى
30	40	40	40	40	العدد السیتانی. حد أدنى
-	-	-	40	40	دلیل السیتان. حد أدنى

-	0.35	0.15	0.35	0.15	مخلفات الكربون (رامسبوتوم) على أساس 10% بقايا تقطير، % وزناً. حد أعلى
---	------	------	------	------	--

- الصنف منخفض الكبريت (1.د) 1-D Grade Low Sulfur No. :
وهو وقود للاستعمالات الخاصة، من قطارة خفيفة يستخدم في محركات سيارات الديزل التي تتطلب وقوداً منخفض الكبريت وذا تتطاير أعلى مما يقدمه الصنف 2.د منخفض الكبريت.

- الصنف منخفض الكبريت (2.د) 2-D Grade Low Sulfur No. :
للاستعمالات العامة، هو وقود من قطارة متوسطة يستخدم في محركات سيارات الديزل التي تتطلب وقوداً منخفض الكبريت. كذلك هذا النوع من الوقود مناسب للاستخدام في المحركات الثابتة، وخصوصاً في شروط من تغيرات في الحمولة والسرعة.

- الصنف (1.د) 1-D Grade No. :
للاستعمالات الخاصة، هو وقود من قطارة خفيفة يستخدم في محركات سيارات الديزل التي تتطلب وقوداً ذا تطاير أعلى مما يقدمه الصنف 2.د .

- الصنف (2.د) 2-D Grade No. :
للاستعمالات العامة، وقود من قطارة متوسطة يستخدم في محركات سيارات الديزل. كذلك هذا النوع من الوقود مناسب للاستخدام في المحركات الثابتة، وخصوصاً في شروط من تغيرات في الحمولة والسرعة.

- الصنف (د.4) 4-D Grade No.:

وقود من قطارة ثقيلة، أو توليفة من وقود مستقطر مع زيت متبقي، يستخدم في محركات الديزل الثابتة ذات السرعة المنخفضة والمتوسطة السائد في عملها ثبات الحمولة والسرعة.

يتم وفق العدد السيتاني Cetane Number تقييم أنواع وقود الديزل المختلفة. ويتم بموجب هذا العدد احتراق الوقود ذاتياً وذلك من وجهة نظر ضمان حدوث الإقلاع المناسب عند درجات الحرارة المنخفضة ومن ثم مرحلة الإحماء الضرورية وأخيراً، وهو المهم تأمين حصول الاحتراق الذي يؤمن الزيادة التدريجية في الضغط.

يعبر عن هذا العدد بالنسبة المئوية (حجماً) لمركب السيتان ($C_{16}H_{34}$) في خليط له معياري مع مركب ألفا ميثيل نفتالين ($C_{11}H_{10}$)، حيث الأول ذو خاصية احتراق عالية أما الثاني فخاصية احتراقه متدنية، ويتم مقارنة وقود الديزل بخليط من هذين المركبين في محرك معياري حسب مواصفات الجمعية الأمريكية لاختبار المواد ASTM.

ولا يوجد مانع من استخدام وقود ذي رقم سيتاني أعلى من الموصى به من قبل المنتج. فكلما ارتفع العدد السيتاني للوقود كان أداء هذا الوقود أجود عند الاحتراق، أي يمكنه بدء الاشتعال عند درجات حرارة منخفضة، ولا يسبب ضغوطاً عالية في المحرك ولا تتكون ترسبات فيه.

تتأثر قيمة العدد السيتاني من ناحية الوقود بالعوامل التالية:

- التركيب الكيميائي للنفط الخام الأصلي المستخدم (خفيف أم ثقيل).
- مجال درجات حرارة التقطير للوقود.
- كمية وطبيعة المركبات الناتجة عن عملية التحطيم والموجودة في خليط وقود الديزل.

تؤثر المركبات الكيميائية التي يتألف منها الوقود تأثيراً متبايناً على قيمة العدد السيتاني ويمكن بصورة تخطيطية إبراز الدور الذي تلعبه السلاسل المتعددة ومدى مساهمتها في زيادة مقداره على النحو التالي:

العطريات النفثينات الأوليفينات المتشعبة الأوليفينات الخطية البرافينات المتشعبة البرافينات الخطية
الأقل تأثيراً ← → الأعلى تأثيراً

وحيث إن وقود الديزل مؤلف من مزيج من قطرات الديزل المقطرة مباشرة ومن تلك الناتجة من تحطيم القطارة الثقيلة فإن نسبة وجود هذه المركبات تؤثر بشكل مباشر على العدد السيتاني. إن مركبات التحطيم (المواد العطرية) ذات العدد السيتاني الأقل، تؤثر بشكل سلبي على العدد السيتاني الإجمالي للوقود. يظهر الشكل (3-18) العلاقة بين محتوى الوقود من الفحوم العطرية وبين العدد السيتاني.

الشكل (3-18) العلاقة بين محتوى الوقود من الفحوم العطرية وبين العدد السيتاني

يعدّ العدد السيتاني الخاصية المميزة للحكم على نوعية الاشتعال Ignition Quality في محركات الديزل، ويتم على محرك معياري، وباستخدام أجهزة ومقاييس نظامية وتحت شروط محددة بدقة. وهذا أمر قد لا يتوفر وجوده نظراً لغلاء ثمن هذه المعدات، لذلك تم اعتماد طرق أخرى لحساب العدد السيتاني بشكل تقريبي وباستخدام تجارب بسيطة فنياً ورخيصة الثمن، وبالتالي يمكن تحديد العدد السيتاني بإحدى الطرق التالية:

- بواسطة معادلة تربط بين العدد السيتاني ونقطة الأنيلين Aniline Point (تعرف نقطة الأنيلين بأنها أقل درجة حرارة يحدث عندها اختلاط كامل بين عينة من الوقود مع كمية مساوية لها من الأنيلين $C_6H_5NH_2$ فيتشكل محلول رائق منهما. حيث ترتفع هذه الدرجة مع زيادة نسبة البرافينات وتتنخفض مع زيادة المواد العطرية).
- باعتماد العلاقة التي تربط بين العدد السيتاني والكثافة (أو API) ونقطة الغليان الوسطية للوقود (تؤخذ من منحنى التقطير).

3-11-6- وقود الأفران والمراجل Fuel furnaces and boilers:

أهم مؤشرات هذا الوقود هي اللزوجة، التي تحدد قابليته للنقل ودرجة تسخينه اللازمة للتذيرير الفعال أثناء استخدامه، ودرجة التجمد التي تحدد ظروف تخزينه واستعماله في درجات حرارة الهواء، ونسبة الكبريت التي تؤثر في التجهيزات، وفي تلوث غاز العادم. وتحدد جودة الوقود أيضاً بطاقته الحرارية وتتراوح بين (9450-9870 ك كالوري/كغ) ويجب ألا يحتوي على شوائب معدنية. ويستخدم الوقود الأكثر لزوجة عند وجود تجهيزات إضافية خاصة بالوقود (للتسخين والترشيح). كما ويتميز المازوت البحري عن الوقود العادي بوجود نسبة قليلة من الكبريت والماء والرماد وبعض الرواسب.

يحرق هذا الوقود في الصناعة بواسطة حراقات Burners حيث تحول طاقته الكيميائية إلى حرارة. هذا ويوجد العديد من أنواعه التي تغطي كافة احتياجات الصناعة. نورد فيما يلي أهم الخصائص الواجب توافرها حسب المواصفات القياسية (ASTM 92-396 D) الجدول (3-14).

- الصنف No.1: مقطر خفيف مخصص للاستخدام في الحراقات من النوع المبخر vaporizing type والتي يحول فيها الوقود إلى بخار وذلك بملاسة سطوح ساخنة أو بالإشعاع. من الضروري ارتفاع التطاير لضمان حدوث التبخر مع أقل بقايا ممكنة.

- الصنف No.2: مقطر أثقل من الصنف رقم 1. مخصص للاستخدام في الحراقات من النوع المرذاذ atomizing type والتي ترش الوقود ضمن حجرة الاحتراق حيث تحترق القطرات الدقيقة وهي معلقة في الهواء ضمن الحجرة. يستخدم هذا النوع من الوقود في معظم الحراقات المنزلية وفي بعض الحراقات الصناعية ذوات السعة المتوسطة.

- الصنف No.4 (Light): وقود من مقطر ثقيل أو خليط من مقطر ومتبق، يوافق مجال اللزوجة الموصوف. مخصص للاستخدام في الحراقات الصناعية من النوع المرذاذ تحت الضغط pressure-atomizing commercial – industrial burners والتي لا تحتاج للقطفات عالية التكلفة وأيضاً في الحراقات المجهزة لتذرع أنواع الوقود ذات اللزوجات العالية.

مجال اللزوجة الموجود لديها يسمح لها بأن تضخ وتذرع عند درجات حرارة تخزين منخفضة نسبياً.

الجدول (3-14)

No.6	No.5 (Heavy)	No.5 (Light)	No.4	No.4 (Light)	No.2	No.1	الخصائص
60	55	55	55	38	38	38	نقطة التوميض، °C - حد أدنى.
							الماء والرواسب، % حجماً.
2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.05	0.05	- حد أعنى درجات حرارة التقطير، °C: (10% مقطر)
-	-	-	-	-	-	215	- حد أعنى (90% مقطر)
-	-	-	-	-	282	-	- حد أدنى
-	-	-	-	-	338	288	- حد أعنى اللزوجة الكينماتيكية عند درجة الحرارة 40°C: (mm ² /s)
-	-	-	>5.5	1.9	1.9	1.3	- حد أدنى
-	-	-	24.0	5.5	3.4	2.1	- حد أعنى اللزوجة الكينماتيكية عند درجة الحرارة 100°C: (mm ² /s)
15.0	9.0	5.0	-	-	-	-	- حد أدنى
50.0	14.9	8.9	-	-	-	-	- حد أعنى

							البقايا الفحمية (زاسبوتوم) على أساس 10% بقايا تقطير، % وزناً.
-	-	-	-	-	0.35	0.15	- حد أعلى
0.15	0.15	0.15	0.1	0.05	-	-	نسبة الرماد، % وزناً.
							- حد أعلى.
							نسبة الكبريت، % وزناً.
-	-	-	-	-	0.5	0.5	- حد أعلى.
							اختبار الصفحة النحاسية عند درجة الحرارة 50°C مدة 3 ساعات.
-	-	-	-	-	NO.3	NO.3	- حد أعلى.
							الكثافة عند الدرجة 15°C، كغ/م ³ :
-	-	-	-	-	-	-	- حد أدنى
-	-	-	-	>876	876	850	- حد أعلى
							نقطة الانصهار °C
-	-	-	-6	-6	-6	-18	- حد أعلى

- الصنف No.4: وهو وقود خليط من مقطر ومتبق، لكن يمكن أن يكون وقوداً من قطعة ثقيلة توافق مجال اللزوجة الموصوف. مخصص للاستخدام في كل من الحراقات الصناعية من النوع المرذاذ تحت الضغط

pressure-atomizing commercial – industrial burners والتي لا تحتاج للقطفات عالية التكلفة وأيضاً في الحراقات المجهزة لتذلل أنواع الوقود ذات اللزوجات العالية. مجال اللزوجة الذي يقع عنده هذا الصنف يسمح له بأن يضخ ويذلل عند درجات حرارة تخزين منخفضة نسبياً.

- الصنف (Light) No.5: وهو وقود متبق ذو لزوجة متوسطة، مخصص للاستخدام في الحراقات القادرة على معالجة أنواع الوقود ذات اللزوجة أعلى من الصنف رقم 4 دون تسخين مبدئي. يمكن أن يكون التسخين المبدئي ضرورياً في بعض الأنواع من تجهيزات الحرق وفي الطقوس الباردة.

- الصنف (Heavy) No.5: وهو وقود متبق أكثر لزوجة من الصنف رقم 5 (الخفيف) وهو مخصص للاستخدام في ذات الحراقات. التسخين المبدئي ضرورياً في بعض الأنواع من تجهيزات الحرق وفي الطقوس الباردة.

- الصنف No.6: وهو وقود ذو لزوجة عالية يستخدم غالباً للتسخين الصناعي والتجاري. وهو يحتاج للتسخين المبدئي في الخزانات وذلك من أجل ضخه، وتسخين إضافي عند الحراقات من أجل حدوث التذلل. إن ضخامة المعدات والصيانة التي يتطلبها استخدام مثل هذا النوع من الوقود، قد حد من استخدامه، لهذا فهو يستخدم فقط في بعض المنشآت الصغيرة.

3-11-7- الكوك النفطي:

ينتج الكوك أثناء تفحيم المنتجات الثقيلة والأسفلت، وبقياء عملية التكسير الحراري، وتختلف جودة الكوك تبعاً لنوع النفط الخام، وتقانة الإنتاج المستخدمة، ويتمتع الكوك بجودة عالية، فهو يحتوي على أقل نسبة من الرماد ويستعمل في

الصناعة لإنتاج الإلكترودات، كما يستخدم في صناعة الألومنيوم، ويجب أن لا يحتوي الكوك الإلكترودي على أكثر من 1% كبريتاً و 7% من المواد المتطايرة، ويجب أن يكون متيناً لدرجة كافية.

12-3- تخزين وتداول الوقود السائل ومراقبته Storage and handling of liquid fuels and monitoring

12-3-1- تخزين الوقود السائل:

يتم تخزين النفط في خزانات ضخمة (تحت الأرض أو على سطحها) مخصصة لذلك في أماكن الاستعمال. من أجل هذا يجب تنظيف خزانات (صهاريج) النقل أولاً وبشكل جيد وكذلك خزانات التجميع باستخدام مضخات خاصة مزودة بأنابيب، يتم بواسطتها قذف الأوساخ إلى الخارج. وكذلك يجب تنظيف خرطوم التفريغ وأنابيبه بشكل جيد، ومن ثم يتم التفريغ باستخدام مضخات خاصة وذلك من أعلى خزانات النقل.

ولمنع وقوع الغبار والرمل وكذلك الماء في الوقود المخزن يجب تغليف عنق التفريغ بإحكام جيد، أو باستخدام طريقة التفريغ المغلقة، ويجب الحرص على أن تكون درجة الحرارة خلال عملية التفريغ أقل ب 10 درجات من درجة حرارة اشتعال الوقود على الأقل.

وبما أن المواد البترولية تحتوي على الهواء المنحل داخلها، لذلك يحدث أن تتأكسد هذه المواد عند التخزين، ولهذا السبب يجب إضافة مواد (بنسب قليلة)، لمنع حدوث عمليات الأكسدة هذه. غير أن عمليات الأكسدة، مع المدى الطويل تجري بشكل بطيء، وتنتج خلال فترة التخزين الطويل في أسفل الخزانات طبقة من الرواسب والأوساخ وبقايا عمليات الصدأ وغيرها. هذه المادة المتكونة، التي تزداد مع الزمن، تعد في غاية الضرر إذا ما وجدت سبيلاً إلى المحركات.

ولهذا يجب الحرص الشديد عند ملء المحركات بالوقود، استخدام مصاف خاصة قدر الإمكان، هذا من جهة، والاعتناء بنظافة خزانات الوقود من جهة أخرى. ولمنع وقوع الماء وغيره في خزانات الوقود يجب التأكد من نوعيه الوقود المنقول، وبخاصة في أسفل خزانات النقل، ويفرغ الوقود من خزانات النقل، بعد فترة ترقب وانتظار، وبعد التخلص من الرواسب الموجودة أيضاً، وعند اكتشاف الماء أو الحموض أو القلويات أو غيرها، يمنع تفريغ هذا الوقود.

3-12-2- تخزين وقود الأفران:

إن التخزين الصحيح الذي يتيح السهولة اللازمة في عمليات الاستلام والمناولة والمحافظة على نظافة الوقود يحتاج إلى صهاريج تخزين رئيسية وصهاريج للسحب والترسيب وصهاريج للخدمة اليومية ومعدات مناولة ذات مواصفات خاصة. وبحسب مواد الصنع، هناك نوعان من الصهاريج: معدنية وخرسانية.

وفيما يلي بعض الاشتراطات الواجب توافرها في صهريج الوقود:

(أ) أن يكون قاع الصهريج منحدرًا إلى ناحية صنبور التصفية بنسبة 1:50 حتى يمكن سحب ما يتراكم من قاع الصهريج من مياه وشوائب من وقت لآخر.

(ب) أن يزود كل صهريج بماسورة تهوية في أعلاه مفتوحة إلى الجو ويكون طرفها العلوي ملتو إلى الأسفل بشكل $\cap$ وتركب على فوهتها مصفاة سلك مناسبة.

(ج) من الأفضل أن تكون صهاريج الوقود فوق سطح الأرض حتى يتيسر الكشف عليها وصيانتها وسحب المياه والشوائب عن طريق صنبور التصفية من حين لآخر. أما إذا استوجب الأمر إنشاء صهاريج التخزين تحت سطح الأرض فإنه يجب تشييد حجرة مناسبة من الطوب أو الخرسانة حول صنبور التصفية وذلك حتى يتمكن أحد العمال من الدخول لسحب المياه والرواسب -

كما ينبغي أن يكون مستوى قاع هذه الحجرة من الانخفاض بحيث يسمح بوضع وعاء مناسب تحت صنوبر التصفية لاستلام المياه. وإذا كانت الرغبة دفن الصهريج بأكمله تحت سطح الأرض فإنه لابد من طلائه من الخارج قبل وضعه في المكان بطبقتين من طلاء بيتوميني مناسب وذلك لتلافي حدوث التآكل، كما يستعاض عن صنوبر التصفية بماسورة تصل من أعماق نقطة في قاع الصهريج إلى سطحه ومتصلة بمضخة لسحب المياه والشوائب المتجمعة في القاع إلى خارج الصهريج.

(د) أن يزود كل صهريج بما يأتي:

1. ماسورة استلام تصل من مكان التفريغ إلى السطح العلوي للصهريج.

2. ماسورة سحب ذات حجم مناسب وتبدأ هذه الماسورة على ارتفاع 3 إلى 4 بوصة (7 إلى 10 سم تقريباً) فوق قاع الصهريج عند الطرف الأعلى منه.

3. جهاز لقياس محتويات الصهريج.

4. فتحة للتنظيف وغطاء - يجب أن تكون فتحة التنظيف ذات حجم مناسب يسمح بالدخول لتنظيف الصهاريج من الداخل أما الغطاء فيجب أن يكون محكم الغلق بحيث يمنع دخول الأتربة أو المياه إلى داخل الصهريج. ويجب اتخاذ احتياطات الأمان المناسبة عند وجود أحد الأشخاص بداخل الصهريج لتنظيفه.

5. أجهزة للتسخين تتناسب قدراتها مع سعة الصهريج والغرض منه.

3-12-2-1- تسخين وقود الأفران:

إن اللزوجة العالية لوقود الأفران لا تسمح بنقله وتداوله بسهولة إلا بعد تسخينه إلى درجة مناسبة حتى تنخفض لزوجته إلى الحد الذي يساعد على سريانه بيسر وسهولة.

كما أن حرق وقود الأفران يقتضي تحطيمه إلى ذرات دقيقة (وتعرف هذه العملية بالتذرية) ثم خلطه بكمية من الهواء اللازمة للحرق - وعلى ذلك فإنه يجب خفض لزوجة وقود الأفران عن طريق التسخين إلى درجة مناسبة لكي يمكن الحصول على التقسيم الدقيق المطلوب للجزيئات حتى يتم الحرق بكفاءة.

يتم التسخين الموضعي قبل وصول الوقود إلى المواقف مباشرة كي تصل درجة حرارة الوقود إلى الحد المناسب لكفاءة التذرية. وتساعد الترمومترات على التعرف على درجة الحرارة المناسبة لكل مرحلة ولذا يجب وضعها في الأماكن المناسبة من الصهاريج ومواسير السحب وتكون إما من النوع الزئبقي أو المزدوجات الحرارية على أن تقرأ بانتظام وتضان دورياً للتأكد من أنها تعطي قراءات صحيحة.

كما أن تسخين الوقود في صهاريج الخدمة والترسيب يساعد على فصل الشوائب والمياه إلى قاع الصهريج وسحبها من صنوبر التصفية حتى يظل الوقود نظيفاً وخالياً من الشوائب التي تؤثر على المرشحات ومواقف الحرق.

إذاً "يسخن وقود الأفران لكي تنخفض لزوجته وبالتالي:

(أ) تيسير دفعه من المواسير وانسيابه بسهولة

(ب) تسهيل التذرية لإتمام الحرق الجيد.

(ج) سهولة فصل الشوائب والمياه من الوقود وترسيبها ثم التخلص منها.

يحتاج وقود الأفران في كل من صهاريج التخزين الرئيسية وصهاريج الاستعمال اليومي إلى تسخين يكفل له درجة من السيولة تسمح بضخه.

وأكثر وسائل التسخين انتشاراً هي سخانات البخار، على أنه يمكن أيضاً استعمال السخانات بالماء الساخن، وإذا لم يتوفر أي من هذين السخانيين فإنه يمكن استعمال السخانات الكهربائية.

في صهاريج التخزين الرئيسية:

يكون التسخين موضعي أي عند فتحة سحب الوقود وتكون درجة الحرارة بين 50/40 درجة مئوية والغرض منه سهولة سحب الوقود من الصهاريج.

في صهاريج الترسيب:

يكون التسخين لجميع محتويات الصهريج إلى درجة حرارة تتراوح بين 60/50 درجة مئوية لترسيب المياه والشوائب التي تكون عالقة بالوقود.

في صهاريج الخدمة اليومية:

يجب أن تكون درجة حرارة محتويات الصهريج بين 70/50 درجة مئوية لأن التسخين الزائد عن الحد يعرض الوقود للغليان والانسكاب كما يزيد من الفقد الحراري من أسطح الصهريج.

3-12-2- التسخين قبل الحرق:

ينبغي تسخين الوقود قبل وصوله إلى الموافد إلى درجة الحرارة التي تنخفض عندها لزوجته إلى الحد الذي يساعد على تذيته وحرقة بسهولة.

ففي حالة التغذية بالتناقل يكون صهريج الاستعمال اليومي عالياً ويسخن الوقود بأي طريقة مناسبة إلى درجة حرارة 70/60 م ° على أن يمر الوقود بعد ذلك في طريقه إلى الموافد بسخان ذي ضابط حراري أوتوماتيكي قبل الموافد مباشرة لرفع درجة حرارة الوقود إلى الدرجة المطلوبة للتذرية، أما إذا كان الوقود يدفع بالضغط فإنه يمر في طريقه إلى الموافد على عدد من السخانات (سواء بالبخار أو بالكهرباء) لرفع درجة حرارته إلى المعدل اللازم.

ويجب مراعاة أن تكون جميع المواسير التي بداخلها وقود ساخن معزولة لمنع فقد الحرارة وفي حالة المواسير الطويلة قد يحتاج الأمر وضع ماسورة تسخين موازية لماسورة الوقود داخل غلاف العزل لمنع تجمد الوقود داخل المواسير شتاءً في بعض المناطق.

ويمكن حساب كمية الحرارة المطلوبة في الساعة بالمعادلة التالية:

$$Q = w(t_2 - t_1)C_f$$

حيث:

Q : كمية الحرارة المطلوبة (كيلو كالوري).

w : وزن الوقود المار بالسخان في الساعة بالكيلو غرام.

t_1 : درجة حرارة دخول الوقود في السخان - درجة مئوية.

t_2 : درجة حرارة خروج الوقود من السخان - درجة مئوية.

C_f : الحرارة النوعية لوحدة الوزن للوقود (كيلو كالوري/كغ $\times$ م $^{\circ}$) وهي تساوي حوالي 0.5 كيلو كالوري للكيلو غرام لكل درجة حرارة مئوية واحدة. ومن هذه الكمية يمكن حساب مسطحات السخان بالبخار أو الكهرباء.

3-12-3- نظافة الوقود:

تتجمع في أنواع الوقود السائل وخاصة الثقيلة منها مثل وقود الأفران كميات من الملوثات المختلفة مثل الأتربة والغبار التي تصل إلى الوقود من الجو وبرادة الحديد والصدأ الذي يصل إلى الوقود من صهاريج النقل - هذا بجانب أن الوقود عرضة للتلوث بالمياه التي تصل إليه عن طريق رطوبة الجو أو الأمطار أثناء التخزين عموماً - لذلك كان من الضروري المحافظة على نظافة وقود الأفران والتخلص بانتظام مما قد يصل إليه من شوائب أو مياه والتأكد من وصوله إلى المواقف نظيفاً وخالياً تماماً من أية مواد غريبة قد تتسبب في سد فوهات المواقف وما يتبع ذلك من عطل أو أضرار ولتحقيق ذلك يجب الاهتمام بما هو آت:

1. مراعاة الدقة في تنفيذ الاشتراطات الواجب توافرها في صهرج الوقود.
2. ضرورة تسخين وقود الأفران في صهاريج الترسيب إلى درجة حرارة 60/40 درجة مئوية وتركه لمدة ساعتين على الأقل لكل قدم عمق عند درجة الحرارة هذه حتى تترسب جميع المياه والشوائب التي تكون عالقة بالوقود في أسفل الصهرج ثم تسحب عن طريق صنوبر التصفية.
3. يجب تزويد المنشأة بمجموعة من المرشحات ذات كفاءة مناسبة لحجز الشوائب العالقة في الوقود وذلك في المراحل التالية:

(أ) يركب مرشح لا تزيد عدد ثقوبه عن ثمانية لكل سنتيمتر طولي بين صهرج التخزين الرئيسي وصهرج الاستعمال اليومي لحجز الشوائب ذات الحجم الكبير نسبياً.

(ب) يركب مرشح بين صهاريج الاستعمال اليومي والمواقد لحجز الجزيئات الدقيقة من الشوائب وتكون هذه المرشحات إما عادية وذلك في حالة استخدام المواقد ذات التذرية بالبخار أو الهواء أو مرشحات دقيقة عدد ثقوبها أربعين ثقباً للسنتيمتر الطولي الواحد وذلك في حالة استخدام مواقد ذات التذرية بالضغط.

وهناك أنواع متعددة من المرشحات المناسبة منها:

- المرشحات الشبكية الأسطوانية: حيث يسري الوقود إلى داخل الأسطوانة وتحجز الشوائب خارجها وبذلك يمكن التخلص من الشوائب بسهولة.
- المرشحات الشبكية المسطحة: وفي هذا النوع تتركب الشبكة أفقية وينساب الوقود عمودياً إلى أعلى وتتساقط الشوائب من السطح الأسفل للشبكة.
- المرشحات الشبكية الدقيقة.

يجب أن تكون المرشحات المستعملة في مرحلتي الترشيح ذات كفاءة مناسبة وأن توضع في أماكن دافئة وأن يكون الوصول إليها سهلاً نظراً لضرورة تنظيفها

من فترة لأخرى مرة في كل دورية حتى تستطيع الاستمرار في عملها وإلا عاقت مرور الوقود وتحطمت الشبكات - ويفضل دائماً تركيب مرشحين أو مرشح مزدوج حتى يمكن تنظيف أحدهما بينما يستمر الآخر في العمل وينبغي مراعاة أن تكون شبكات المرشحات مصنوعة من معدن يقاوم التآكل ولا يتأثر بالوقود.

3-12-3- نقل وتوزيع وقود الأفران:

تختلف وسائل نقل وقود الأفران من مستودعات شركات التسويق إلى مراكز الاستهلاك تبعاً لعدة عوامل كحجم الكمية المنقولة وطول المسافة ووجود الطرق الممهدة. وتتحكم هذه العوامل إلى حد كبير في اختيار الوسيلة المناسبة للنقل. وأهم هذه الوسائل هي:

1. خطوط الأنابيب:

تعدّ خطوط الأنابيب إحدى الوسائل المهمة في نقل وقود الأفران إلا أن استعمالها كوسيلة اقتصادية يتوقف إلى حد كبير على حجم الكميات المنقولة (إذ إن تكاليف إنشاء وتشغيل خطوط الأنابيب مرتفعة) ولذلك يقتصر استخدام نقل وقود الأفران بخطوط الأنابيب على العملاء الذين يستهلكون كميات ضخمة منه.

2. صهاريج السكة الحديدية:

ينقل وقود الأفران في صهاريج سكة الحديد المعدة لهذا الغرض وتعدّ هذه الوسيلة مناسبة للنقل إذا كانت الكميات المنقولة متوسطة والمسافات طويلة.

3. سيارات الصهاريج:

يعدّ نقل وقود الأفران بسيارات الصهاريج من أنسب الوسائل للتوزيع الداخلي للمناطق الواقعة حول مراكز المستودعات الكبرى وكذلك للأصناف الخاصة من الوقود للمحافظة عليها من التلوث.

4. الناقلات النهرية:

تستعمل الناقلات حيثما وجدت الطرق المائية الداخلية ويقتصر استخدام هذه الوسيلة على المسافات الطويلة.

ومهما كانت طريقة النقل فيجب على المستلم أن يعد وسائل الاستلام اللازمة كوصلات المواسير المناسبة ومعدات التسخين وأن تتخذ الاحتياطات الكفيلة بمنع التلوث. من الضروري تركيب ماسورة استلام من نقطة تفريغ الوقود من عربة التسليم إلى أعلى الصهريج، ويجب أن تكون هذه الماسورة أقصر ما يمكن وخالية من الالتواءات الحادة قدر المستطاع وأن تكون ذات قطر مناسب للزوجة الوقود المستخدم. ويجب تركيب غطاء على طرف الماسورة أثناء عدم استعمالها لمنع دخول الغبار والمواد الغريبة إلى داخلها مما قد يسبب تلوث الوقود.

3-12-4- مراقبة نوعية الوقود السائل:

لا شك أن معامل التكرير تنتج الوقود مطابقاً للمواصفات وخالياً تماماً من الشوائب والمياه وأية ملوثات أخرى. كما أن شركات التسويق تتخذ كافة الاحتياطات التي تكفل نظافة الوقود وخلوه من أية مواد غريبة في مستودعاتها وعند شحنه من هذه المستودعات إلى المستهلك يكون المستهلك مسؤولاً عن المحافظة على نظافة وخواص الوقود في جميع المراحل التي يمر عليها إلى أن يصل إلى المواقف. ولتحقيق ذلك يجب على المستهلك مراعاة الآتي:

1. يجب الكشف على كل كمية وقود مرسله عند وصولها إلى المستهلك والتأكد من خلوها من المياه والشوائب وذلك عن طريق سحب عينة من صمام التفريغ والكشف عنها بالنظر.
2. إذا ظهر من الكشف بالنظر وجود ماء وشوائب صلبة في كمية الوقود المرسله تؤخذ منه عينات أخرى حتى يظهر المنتج نظيفاً وخالياً من الشوائب وعندئذ يمكن البدء في تفريغ كمية الوقود.

3. إذا كانت المواسير تستخدم في استلام مواد بترولية أخرى خلاف وقود الأفران فينبغي التأكد من احتوائها على نفس المنتج المستلم أو تفريغها تماماً من المنتج السابق قبل البدء في الاستلام.

4. يجب فتح صنبور التصفية للتخلص من أية شوائب أو مياه تكون متجمعة في قاع الصهريج وذلك قبيل الاستلام مباشرة. إن أي إهمال في هذا الإجراء قد يسبب متاعب في التشغيل نتيجة لأن دخول الوقود المستلم إلى الصهريج يحرك المياه والشوائب الراكدة في القاع مما قد يؤدي إلى خروجها مع الوقود وسد المرشحات والمواقد.

5. يجب الاهتمام بتوعية العاملين الذين تتصل أعمالهم باستلام وتخزين وحرق الوقود، بطبيعة هذا الوقود وخواصه ومدى الفائدة التي يمكن الحصول عليها منه عندما يكون مطابقاً للمواصفات والضرر الذي يسببه إن كان ملوثاً بأية مواد غريبة حتى يهتموا بالمحافظة على نظافته وخواصه.

6. تسحب عينة من كمية الوقود المرسله ويقاس وزنها النوعي ودرجة حرارتها ويقارن الوزن النوعي للعينة بالوزن النوعي المبين على إخطار الشحن (الإرسالية) وذلك بعد تحويلها إلى درجة حرارة 15 مئوية باستعمال جداول تحويل الوزن النوعي.

7. يقاس حجم كمية الوقود المرسله في وعائها باستعمال عصا القياس ثم يحول الحجم إلى وزن باستعمال الوزن النوعي لكمية الوقود عند درجة حرارة 15 مئوية.

8. تقاس كميات الوقود التي بالصهريج قبل وبعد استلام الأحجام وقياسات الوزن النوعي للتأكد من أن الكمية المستلمة بالكامل دخلت إلى الصهريج، أما الكميات الصغيرة المستلمة بواسطة العربات فيمكن تحديدها بالوزن.

9. يجب الاهتمام بصيانة الموادر والصهاريج والمواسير تلافياً للإسراف في استخدام الوقود.

هذا ويجب التأكد من سلامة عملية التفريغ والتخزين ومن نوعية الوقود خلال التخزين الطويل أيضاً، بحيث تفحص نوعية الوقود مرتين شهرياً على الأقل، وذلك بأخذ عينة وسطية (هي كمية قليلة من الوقود تعكس تركيب الكمية المخزونة منها وخواصها).

تؤخذ العينة بوعاء خاص بحيث لا تقل سعته عن 1 لتر. وهو وعاء معدني له غطاء وقعر ثقيلان نسبياً، يمكن فتح غطاءه بسهولة بوساطة سلسلة معدنية وهو في العمق. ويجب الاهتمام بصورة خاصة لمنع دخول الغبار والرطوبة أثناء عملية أخذ العينة، هذا من جهة ومن جهة ثانية يجب أن يكون الوعاء المستخدم نظيفاً وجافاً لدرجة كبيرة.

يختلف عدد العينات المأخوذة باختلاف حجم خزان النقل بحيث تؤخذ عينة واحدة من الخزان الصغير واثنان من الخزان الكبير.

تؤخذ العينة الوحيدة على ارتفاع يساوي ثلث قطر الخزان ابتداء من الأسفل، وتؤخذ العينتان كما يلي: الأولى على ارتفاع 25 سم من الأسفل والثانية على ارتفاع يساوي ثلث القطر، وتحسب منهما العينة الوسطية.

عند أخذ العينات من خزانات أسطوانية شاقولية أو من خزانات أفقية، قطرها أكبر 250 سم. من الضروري زيادة عددها إلى ثلاث عينات بارتفاعات مختلفة، بحيث تؤخذ الأولى على ارتفاع 20 سم من الأعلى، والثانية من الوسط تماماً، والثالثة من الأسفل، ويركب من هذه العينات عينة وسطية كما يلي:

يؤخذ جزء من كل من العينة السفلية و العليا، وثلاثة أجزاء من العينة الوسطى إذا كان الخزان شاقولياً، أو ستة أجزاء إذا كان الخزان أفقياً.

وعندما يكون قطر الخزان الأفقي أقل من 250 سم يكفي أخذ عينتين اثنتين منه، أما في حالة الوقود الغازي، فليس هناك صعوبة في أخذ العينات. نظرا لتجانس الغاز وتستخدم لهذا الغرض أجهزة معينة بسيطة التركيب.

هذا ويجب على الجهة المراقبة لنوعية الوقود تحديد لزوجة الوقود، درجة حموضته وكذلك نسبة وجود الحموض والقلويات المنحلة فيه وكذلك نسبة وجود الشوائب المعدنية وبخار الماء بشكل دوري.

3-12-5- إجراءات الأمان والحماية اللازمة أثناء تخزين مشتقات النفط(وقود الديزل):

إن المحافظة على النظافة وحسن الترتيب تعدّ من أكثر العوامل فاعلية في الوقاية من الحوادث والحريق والأمراض المهنية، وفيما يلي: بعض القواعد التي ينبغي مراعاتها أثناء تخزين وقود الديزل:

1. يجب أن تتخذ احتياطات مشددة ضد الحرائق وتشمل خطر التدخين واستخدام الشعلات المكشوفة (أعواد ثقاب - مصابيح الكيروسين - اللحام بالكهرباء أو الإسيبتلين) في المناطق التي يخزن فيها أو يتم فيها تداول الوقود.

2. يجب أن تكون كافة الأسلاك الكهربائية الموجودة بالقرب من صهاريج الوقود بداخل مواسير معدنية كما يجب أن تكون الأجهزة الكهربائية المستخدمة من النوع غير القابل للاشتعال أو توليد شرارة.

3. يجب وضع الفضلات الشحمية والزيتية والخرق المبللة بالزيوت أو المخلفات القابلة للاشتعال في أوعية معدنية ذات غطاء مخصصة لهذا الغرض. كما يجب أن تكون الممرات بين صهاريج الوقود خالية من العقبات أو أي أكوام من الفضلات أو المواد القابلة للاشتعال. إن الممرات

النظيفة والخالية من العقبات تسهل عملية مكافحة الحرائق إذا اقتضى الأمر.

4. يجب الكشف بانتظام على صهاريج تخزين الوقود ووصلاتها وكذلك الخراطيم والمواسير والمحابس وغيرها من الأجهزة لاكتشاف أي تسرب أو خراب قد يحدث بها والعمل على إصلاحها بسرعة، كما لا يجوز ارتداء الملابس المبللة بالوقود لأنها تكون عرضة دائماً للاشتعال كما أنها تسبب الالتهابات الجلدية.

5. على الأشخاص الذين يلامسون وقود الأفران أن يكثرُوا من غسل الأجزاء العارية من أجسامهم جيداً بالماء الدافئ والصابون، كما لا يجوز استعمال البنزين في غسل الملابس أو تنظيف الأيدي والجسم.

من المعروف أن وقود الديزل يشتعل ذاتياً بسهولة عند درجة حرارة معينة، ولهذا يجب اتخاذ الحيطة والحذر الشديدين عند القيام بعملية تخزينه.

على منشآت التخزين أن تكون محصنة ضد نشوء الحريق عند تصميمها وتنفيذها ويجب أن يوضع في الحسبان أن احتكاك وقود الديزل بالمعدن أو بالمطاط أو القماش يؤدي إلى ظهور شحنات كهربائية ساكنة وهذا من أحد الأسباب التي تؤدي إلى ظهور الحرائق. ويمكن أن تتجمع الشحنات الكهربائية المختلفة على سطح الخزانات وقد تصل قيمة توترها إلى عشرات الآلاف من الفولتات إذا لم يكن الخزان متصلاً بالأرض. ولهذا السبب وللحماية من الشحنات الكهربائية الساكنة يتم وصل المعدات المعدنية، وأنبيب النقل والمضخات وآلية التفريغ المستخدمة في عمليات نقل الوقود وتخزينه بالأرض حيث تنفّغ الشحنات الكهربائية الحاصلة.

تعد الأبخرة المتصاعدة من الوقود المختزن، ضارة بجسم الإنسان وبجلده بالذات، ولا يسمح بزيادة نسبة وجودها في الهواء عن 0.3 غراماً لكل 1م³ هواء

لأن زيادة النسبة إلى درجة كبيرة في الهواء قد يؤدي إلى حدوث الموت. ولهذا يجب توفير أجهزة مختلفة للتهوية في أماكن تخزين الوقود بحيث يتم التخلص منها وطردها بعيداً.

لا يسمح بإصلاح الخزانات إلا بعد تنظيفها تماماً من آثار النفط وغسلها جيداً ومعالجتها بالهواء المضغوط. ويجب فك الأنابيب والوصلات المختلفة عن الخزان، وفتح كل نوافذه، إضافة إلى أخذ عينات من الهواء من داخل الخزان وتحليلها للتأكد من عدم وجود خطورة على جسم الإنسان في داخله.

لا يسمح بالمكوث داخل الخزانات أكثر من 15 دقيقة فقط على أن يتبعها مدة استراحة لا تقل عن 5 دقائق خارجية. ويجب أن تكون الحرارة الداخلية أقل من 35 درجة مئوية حتماً. وعند القيام بعمليات التنظيف داخل الخزانات يجب على العمال ارتداء اللباس اللازم والحذاء الضروري لذلك. ويجب استعمال أجهزة تنفس مساعدة، واستخدام سيور خاصة للإنقاذ عند الضرورة، بحيث يكون أحد العمال جاهزاً على المدخل للقيام بعملية المساعدة والإنقاذ لزميله الموجود داخل الخزان.

إذا كان الغرض من التنظيف هو اللحام فيجب التأكد من خلو الصهريج من الغازات قبل بدء اللحام مباشرة، وذلك باستخدام جهاز خاص للكشف عن الغازات القابلة للاشتعال.

3-13 - أنواع الوقود السائل الأخرى Other liquid fuels:

إن حقيقة نفاذ احتياطات النفط وعدم كفاية مخزونه لتغطية الاحتياجات العالمية بعد قرابة نصف قرن من الآن يهدد أمن الطاقة العالمي، كما أن تعاظم الحديث عن تلوث البيئة، وعن المخاطر العالمية للتغير المناخي وذوبان الجليد واتهام النفط ومحروقاته بأنها وراء تلك المشاكل، يجعل إيجاد مصدر طاقة بديل ومكافئ للنفط مسألة وقت لا أكثر.

يعدّ الوقود الحيوي أحد مصادر الطاقة البديلة والواعدة بيئياً واقتصادياً، وتزايد إنتاجه واستخدامه بشكل لافت خلال الفترة الأخيرة، وبدرجة تتبى بأن هناك تحولات عالمية كبيرة قادمة. لن تطل فقط مستقبل الطاقة العالمي بل ستطل أيضاً الأمن الغذائي، والإنتاج الزراعي، والاقتصاديات الناشئة عبر أرجاء العالم المختلفة. يشكل الوقود الحيوي حالياً حوالي 10% من إجمالي الاستهلاك العالمي من الطاقة، بينما يشكل النفط 35% والفحم 23% والغاز 21%.

3-13-1- الوقود الحيوي BioDiesel:

يصنع الوقود الحيوي من الزيوت النباتية كفول الصويا وزيت النخيل وزيوت القلي المختلفة والشحوم الحيوانية، بعملية الأسترة. حيث تمزج الزيوت مع ماءات الصوديوم والميتانول أو الأيتانول، وينتج عن التفاعل الكيميائي الديزل الحيوي والغليسيرول. وذلك بما يعادل (1) جزء غليسيرول لكل (10) جزء ديزل حيوي.

يستخدم الوقود الناتج مباشرة في تشغيل محركات الديزل بالرغم من أن بعضه يصبح لزجاً عند حرارة متدنية، ويحتاج إلى مسخن لأنابيب الوقود. كما أنه يؤثر أيضاً في الأجزاء المطاطية لدارة الوقود ويقلل من قوة المحرك. لذلك يوصى بمزجه مع أحد المشتقات النفطية لتحسين جودته، ويوصى معظم المصنعين بالمزج بنسبة 15% ديزل حيوي.

ويتم إنتاج الوقود الحيوي من النفايات الحيوانية في كل من ألمانيا والولايات المتحدة وكندا، بالإضافة إلى إمكانية إنتاج الغاز الحيوي بالاعتماد على النفايات الحيوانية، حيث يتم إنتاج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات بطريق الهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion، أو استخدام عملية التغويز Gasification، وذلك بتعريض الكتلة الحيوية إلى درجة حرارة مرتفعة وكمية محدودة من الأكسجين لإنتاج وقود غازي. هذا الوقود هو خليط من غازات مثل أول أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكربون والنيتروجين والهيدروجين والميثان، ويمكن بمعالجة الغاز الناتج

بطريقة تماثل معالجة الغاز الطبيعي، وفي ظروف مناسبة يمكن أن ينتج غاز التخليق Synthesis Gas الذي تصنع منه المواد الهيدروكربونية السائلة، التي تعوض عن المشتقات النفطية. كما أن الهيدروجين نفسه الناتج عن التغويز أو غاز التخليق هو الوقود المحتمل في المستقبل.

إن ميزة الوقود الحيوي الكبرى التي يؤمل تطويرها والتوسع فيها، هي أنه يمكن إنتاجه من المخلفات و الفضلات الحيوانية والنباتية، سواء كانت بقايا الحيوانات وروثها أم كانت من قش الأرز ونشارة الخشب. كما يمكن إنتاجه من الطحالب المائية ومن نباتات أخرى سريعة النمو وغير ذات قيمة غذائية مثل الجاتروفا والهوهوبا.

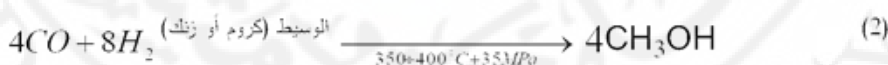
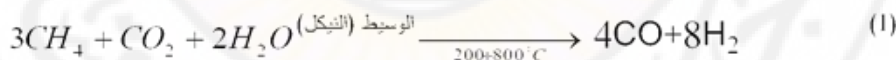
يتميز الوقود الحيوي بعدم إضراره بالبيئة والمناخ، ذلك أنه يطلق غاز CO_2 المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري بنسبة 75% أقل من النفط. وهو لا يحوي الرصاص أحد العناصر السامة والمسببة للسرطان، وأمراض مستعصية أخرى. كما أن غالبية زيوت الوقود الحيوي تتحلل تدريجياً في الماء بنسبة 85% في أقل من شهر، مما يعني عدم تأثيرها سلباً على البيئة.

هناك أربعة أجيال من الوقود الحيوي: الجيل الأول من الوقود الحيوي المصنع من محاصيل غذائية (السكر والنشاء والزيوت النباتية أو الشحوم الحيوانية). الجيل الثاني من الوقود الحيوي المصنع من محاصيل غير غذائية (السليلوز والنفايات النباتية والحيوانية). الجيل الثالث من الوقود الحيوي المصنع من الطحالب (الوقود الطحلي) ويدعى الزيت الطحلي، ولا تستهلك الطحالب الكثير من الغذاء، وهي عالية المردود، كما أن الوقود الطحلي يتفكك بيولوجياً، ولا يؤثر على البيئة في حال تسربه. وهناك اهتمام متزايد به مع ارتفاع أسعار النفط. أما الجيل الرابع من الوقود الحيوي فينتج من غاز ثنائي أكسيد الكربون مباشرة، ولكنه لا يزال في مراحل مبكرة من البحث والتطوير.

3-13-2- الغول Alcohol:

يجري الحديث الآن عن استخدام الأغوال والأثيرات في المحركات سواء كانت بنزينية أم ديزل. ولقد أجريت الأبحاث الحديثة على نوعين من الأغوال، الأيتانول C_2H_5OH والميتانول CH_3OH ، حيث يتم استخراج الأول من عملية تخمر السكر أو الحبوب وذلك بتحول النشاء الموجود في الحبوب إلى سكر بواسطة الأنزيمات ثم يتخمّر السكر بوجود الخمائر المناسبة ليتشكل المحلول الكحولي الممدد. بعد ذلك يتم تعريض هذا المحلول في أبراج التقطير إلى عملية الفرز المعروفة ومن ثم عملية التصفية للوصول به إلى النقاوة المطلوبة.

أما الميتانول، فيتم إنتاجه من الميثان (الذي يعدّ العنصر الأساسي الداخل في تركيب الغاز الطبيعي) وغاز ثاني أكسيد الكربون والماء وبوجود الوسيط الكيميائي المناسب وذلك خلال مرحلتين. يتشكل في المرحلة الأولى غازي أول أكسيد الكربون والهيدروجين، ثم في المرحلة الثانية يتفاعل هذا الغازان بوجود وسيط مناسب ليتشكل الميتانول حسب التفاعلين التاليين:



3-13-3- الخصائص الأساسية للأغوال لدى استخدامها في المحركات:

على الرغم من وجود خصائص مشتركة لكل من البنزين ووقود الديزل مع الكحول إلا أن هناك بعض الفوارق المهمة التي يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء اعتماده كوقود في محركات الاحتراق الداخلي، وأهمها ما يلي:

- 1- العدد الأوكتاني للأغوال مرتفع بينما العدد السيتاني منخفض مما يصعب من عملية استخدامها في محركات الديزل.
- 2- القيمة الحرارية للغول منخفضة مقارنة بالبنزين ووقود الديزل.
- 3- الحرارة الكامنة لتبخّر الكحول عالية مما يزيد من تأثير التبريد بالتبخير. فكمية الحرارة التي يمتصها الأيتانول لدى تبخره تساوي 3.7 مرة من تلك التي يمتصها البنزين، وفي حال الميثانول فإنه يمتص 6.4 مرة أكبر من البنزين. وهذه الظاهرة سلبية في محركات الديزل لأنها تحاول إطفاء الشعلة أثناء الاحتراق، أما في محركات ذات الاشتعال بالشرارة فهي ظاهرة ايجابية نوعاً ما، حيث تساعد على زيادة كمية الشحنة الوزنية الداخلة إلى أسطوانة المحرك، وبالتالي زيادة المردود الحجمي والاستطاعة.
- 4- إن ضغط الأبخرة المنخفض للغول يسبب صعوبة أثناء إقلاع المحرك وهذا عملياً يستلزم استخدام وسائل مساعدة للإقلاع عند انخفاض درجات الحرارة.
- 5- يعدّ الغول في الأصل من فئة المواد المذيبة، وبالتالي هناك خطر على المواد المعدنية واللامعدنية المستخدمة في جهاز الوقود في نوعي المحركات على حد سواء. وفي أسوأ الأحوال يقود ذلك إلى انسداد المصافي وفلات المفحم وفوهات الحاقن.
- 6- إن نقطة وميضها منخفض جداً ويقع بحدود $^{\circ}C (13 \div 15)$ ، كما أن الغول النقي يحترق بشعلة زرقاء باهتة وتقريباً غير مرئية وبالتالي لابد من مراعاة وضع إجراءات أمان احترازية لتجنب حدوث الحريق.
- 7- إن أنواع الغول ذات حدود اشتعال أوسع من أنواع الوقود الأخرى وبالتالي فإن أبخرتها المحصورة ضمن خزانات الوقود تشكل خطر يمكن أن يؤدي إلى حدوث الانفجار حتى عند درجات الحرارة العادية.

- 8- إن الغول مادة قابلة للذوبان بالماء على عكس البنزين ووقود الديزل. وهكذا يمتص الغول الماء في البداية ولكن زيادة الكمية سوف يسبب عزل مركبات الخليط إلى مكوناتها الأصلية عزلاً تاماً.
- 9- إن زيادة نسبة تركيز المينانول يؤدي إلى التسمم، لذلك يجب أخذ الحذر أثناء التعامل مع مثل هذه المواد



الفصل الرابع الوقود الغازي

مقدمة

- 4-1- أنواع الوقود الغازي
- 4-2- الحسابات المتعلقة بالغاز
- 4-3- طرائق تحديد تركيب الغازات الهيدروكربونية
- 4-4- تصفية الغازات الهيدروكربونية وتنقيتها
- 4-5- استخدام الوقود الغازي كبديل في وسائط النقل



الفصل الرابع

الوقود الغازي

GASEOUS FUELS

مقدمة Introduction:

تنقسم الغازات إلى غازات طبيعية وأخرى اصطناعية (ناتجة من محطات تكرير النفط). وتنقسم الغازات الهيدروكربونية الطبيعية بدورها إلى: - غازات طبيعية خالصة وصافية - غازات مرافقة للنفط - غازات متكثفة في حقولها في جوف الأرض.

تستخرج الغازات الهيدروكربونية الطبيعية الخالصة من حقول غازية لا تحتوي على النفط. أما الغازات المرافقة فتستخرج مع النفط، وتكون الغازات على عمق كبير وتحت ضغط مرتفع دائبة في النفط. وعند خروج الأخير إلى سطح الأرض يفصل الغاز عن النفط نتيجة لانخفاض الضغط. أما الغاز المتكثف فهو الغاز المشبع بالهيدروكربونات النفطية السائلة في الأعماق. وعند خروجه إلى السطح يفصل الطور السائل على هيئة متكثف، و يفصل بسهولة عن الكتلة الأساسية للغاز.

تعد الغازات الهيدروكربونية مصدرا مهما للحرارة والطاقة، وخامات مهمة لكثير من الصناعات المختلفة.

تتركب الغازات الطبيعية أساسا من الهيدروكربونات البارافينية ذات الوزن الجزيئي المنخفض ونادرا ما تحتوي على الهيدروكربونات الثقيلة لذلك فهي تنتمي إلى مجموعة الغازات الجافة. وتحتوي الغازات المتكثفة على نسبة كبيرة من الميثان وبعض الهيدروكربونات التي تدخل في قطرات النفط البنزينية والكيروسينية. وتستخدم الغازات المرافقة لاستخلاص البنزين الخفيف (البنزين الغازي). وتحتوي الغازات الطبيعية على شوائب غير هيدروكربونية.

تخضع الغازات قبل استخدامها للتصفية والتنقية من الرواسب السائلة وغبار الفحم والغبار العادي وغيرها من الشوائب الأخرى. وأهم الخواص الإيجابية التي تتمتع بها الغازات الطبيعية كوقود بالمقارنة مع الأنواع الأخرى للوقود هي:

- الوقود الغازي أرخص أنواع الوقود.
- يحترق الوقود الغازي عند أقل معامل لفائض الهواء بما يزيد درجة حرارة الاحتراق ودرجة الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة.
- عند احتراق الوقود الغازي لا تبقى رواسب صلبة أو خبث أو رماد أو غيرها.
- إن عملية الإمداد بالغاز سهلة التحكم، ويمكن أتمتة عملية الاحتراق بالكامل.
- وأهم الخواص السلبية لاستخدام الوقود الغازي هي:
- إمكانية تسرب الغاز عند التخزين ومن الأنابيب الناقلة، خاصة عند الإحكام في الوصلات المختلفة.
- إمكانية تكوين مزيج قابل للانفجار عند خلطه بالهواء الجوي.
- خطورة التسمم الناتج عن الغاز.

ولكن بالعناية الفائقة والحذر والتطبيق الدقيق لقواعد الاستخدام الخاصة بالوقود الغازي يمكن مكافحة المخاطر والسلبيات المختلفة والتغلب عليها.

4-1- أنواع الوقود الغازي Gaseous fuels types:

4-1-1- الغاز الطبيعي Natural Gas:

وهو أهم نوع من أنواع الوقود الغازي ويعدّ من أكثرها انتشاراً واستخداماً وأحد الخامات الهامة جداً والمستعملة كمصدر لإنتاج الطاقة الحرارية. وكذلك يدخل في كثير من عمليات الاصطناع العضوي كإنتاج الكحول والمطاط الصناعي والمركبات ذات الجودة العالية لوقود المحركات... الخ.

الغاز الطبيعي عديم الرائحة واللون ويوجد تحت سطح الأرض إما حراً أو ممزوجاً مع النفط. ويستخرج من الحقول الغازية البحتة أو مع النفط حيث تكون

الغازات على عمق كبير وتحت ضغط مرتفع ذائبة مع النفط، وعند خروجه إلى سطح الأرض ينفصل الغاز عن النفط نتيجة انخفاض ضغطه وتبلغ كمية هذه الغازات (10-15)% من كتلة النفط الكلية. ويطلق على كمية الغاز المرافقة للطن الواحد من النفط المستخرج باسم عامل الغاز. وهو يتكون بشكل رئيسي من الميثان مع كميات من الهيدروكربونات الأثقل. كما يحتوي الغاز على كمية قليلة من المكونات غير القابلة للاحتراق مثل CO_2 ، الآزوت وبخار الماء.

يمكن تقسيم الغاز الطبيعي حسب نوع الفحوم الهيدروجينية الموجودة فيه: إلى الغاز الرطب والجاف. ندعو الغاز الطبيعي بالجاف عند احتوائه على أقل من 13.4 ليتر من البنزين الطبيعي في كل 1000 م³ من الغاز. فالغاز الطبيعي الجاف (الصافي) يحتوي على فحوم هيدروجينية غازية ذات أوزان جزيئية منخفضة كالميثان، حيث تبلغ نسبة وجوده من (90-98)%، أما الغاز الرطب فهو الذي يحوي بالإضافة للميثان كميات كبيرة من الهيدروكربونات وبشكل رئيسي على البروبان والبوتان، تبلغ نسبة الميثان فيه (30-70)% لذلك تكون القيمة الحرارية مرتفعة تصل إلى $41 \frac{MJ}{m^3}$.

4-1-1-1- تركيب الغاز الطبيعي وخواصه:

يتألف الغاز الطبيعي أساساً من الميثان CH_4 ، الإيثان C_2H_6 ، البروبان C_3H_8 والبوتان C_4H_{10} وغيرها.

تصل نسبة الميثان في الغاز الطبيعي الموجود في حقول الغاز الخالصة إلى 90-98%، وإضافة إلى الكتلة المشتعلة في صميم الغاز الطبيعي، يوجد بعض الغازات الأخرى كالأزوت N_2 ، ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وبخار الماء H_2O وكبريت الهيدروجين H_2S .

تحتوي الغازات المرافقة على نسبة أقل من الميثان ونسبة أعلى من الهيدروكربونات الثقيلة نسبياً لهذا تكون قيمتها الحرارية أعلى نسبياً.

في الجدول (1-4) تظهر بعض الأنواع المختلفة من الغاز الطبيعي وتركيبها الكيميائي.

الجدول رقم (1-4)

أنواع الغاز	تركيب الغاز الطبيعي							Q	
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	Kka/M ³	MJ/M ³
1	91.2	2.8	0.9	0.6	0.7	0.5	3.3	8860	37.1
2	93.4	2.1	0.8	0.4	0.3	0.3	2.7	8740	36.5
3	93.0	3.1	0.7	0.6	-	0.1	2.5	8800	36.8
4	93.3	4.0	0.6	0.4	0.3	0.1	1.3	9050	37.8
5	98.7	0.3	0.1	0.1	أثار	0.1	0.7	8570	35.8
6	98.3	0.3	0.1	0.2	-	0.1	1.0	8570	35.8
7	95.1	1.1	0.3	-	-	-	3.0	8450	35.3

يقدر الاحتياطي العالمي المعروف حتى الآن من الغاز الطبيعي بأكثر من 150 ترليون م³، ويستخرج الغاز الطبيعي بحفر الآبار في أماكن وجوده، ويخرج منها تحت تأثير الضغط الطبقي إلى سطح الأرض، حيث يجري في الشبكة الجاهزة إلى أماكن استهلاكه.

هذا ويزداد من يوم إلى يوم إنتاج الغازات المضغوطة (السائلة) لاسيما الناتجة عن غاز البروبان والبوتان. وتستخدم هذه الغازات في التقنية الكيميائية، وفي بعض الاحتياجات الصناعية الصغيرة وفي الحاجات المنزلية، ويحضر لهذا الغرض البروبان التقني أو البوتان التقني أو مزيج منهما.

يحفظ الغاز المضغوط في أسطوانات خاصة تحت ضغط 12-16 كغ/سم².
ويعد الغاز الطبيعي المضغوط وقودا جيدا للمحركات، ويتفوق على الوقود السائل العادي بزيادة مقاومته لظاهرة الطرق، ويمتزج جيدا بالهواء، كما أن استخدامه في محركات الاحتراق الداخلي أكثر اقتصادية.

والجدول (2-4) يحتوي على قائمة بأسماء الهيدروكربونات الممكن وجودها في الغاز الطبيعي أو الغاز الناتج عن التكرير.

الجدول (2-4- أ) الخواص الفيزيائية للهيدروكربونات

المركب	الصيغة	نقطة الغليان °C	ضغط البخار $kPa(abs)$, 40 °C	الكثافة النسبية	كثافة السائل، ضغط جوي و 15 °C	نقطة التجمد
		°C		Kg / m^3		°C
الميثان	CH_4	-161.52	35000.00	0.300	300.0	-182.470
الإيثيلين	C_2H_4	-103.77	-	-	-	-169.150
الإيثان	C_2H_6	-88.58	6000.00	0.358	358.0	-182.800
البروبيلين	C_3H_6	-47.72	1596.00	0.523	523.0	-185.250
البروبان	C_3H_8	-42.07	1341.00	0.508	508.0	-187.680
أنتان	C_4H_{10}	-0.49	377.00	0.585	584.2	-138.360
الإيزوبوتان	C_4H_{10}	-11.81	528.00	0.564	563.2	-159.600
البنتان	C_5H_{12}	36.06+	115.66	0.632	631.0	-129.730

159.900-	624.4	0.625	151.30	27.84+	C_2H_{12}	الايروبنتان
95.820-	664.0	0.664	37.28	68.74+	C_6H_{14}	الهكسان
90.582-	688.0	0.689	12.34	98.42+	C_7H_{16}	الهيبتان (غاز)

الجدول (4-2-ب) الخواص الفيزيائية للهيدروكربونات

المركب	القيمة الحرارية، عند $15^\circ C$ MJ / m^3		كمية الهواء اللازمة لاحتراق الغاز المثالي، m_{air}^3 / m_{gas}^3	حدود الاشتعال، % حجماً ضمن مزيج الهواء	
	الدنيا	العليا		الادنى	الاعلى
الميثان	33.936	37.694	9.54	5.0	15.0
الايثيلين	55.942	59.700	14.32	2.7	34.0
الايبتان	60.395	66.032	16.70	2.9	13.0
البروبين	81.482	87.119	21.48	2.0	10.0
البروبان	86.456	93.972	23.86	2.1	9.5
البوتان	112.384	121.779	31.02	1.8	8.4
الايروبوتان	112.031	121.426	31.02	1.8	8.4
البنتان	138.380	149.654	38.18	1.4	8.3
الايروبنتان	138.044	149.319	38.18	1.4	8.3

7.7	1.2	45.34	177.566	164.402	الهكسان
7.0	1.0	52.50	203.431	190.398	الهبتان (غاز)

الجدول (4-2- ج) الخواص الفيزيائية للهيدروكربونات

العدد الأوكتاني تبعاً لـ ASTM		الحجم النوعي للغاز المثالي، ، عند $15^{\circ}C$ والضغط الجوي (m^3 / Kg)	السعة الحرارية النوعية، عند $15^{\circ}C$ والضغط الجوي $KJ / Kg.^{\circ}C$		المركب
RON	MON		الغاز المثالي	السائل	
D908	D357				
-	-	1.4740	-	2.204	الميثان
-	75.6	0.8428	-	1.514	الإيثيلين
-	-	0.7863	3.807	1.706	الإيثان
-	84.9	0.5619	2.443	1.480	البروبيلين
-	97.1	0.5362	2.476	1.625	البروبان
93.8	89.6	0.4068	2.366	1.652	البوتان
-	97.6	0.4068	2.366	1.616	الإيزوبوتان
61.7	62.6	0.3277	2.292	1.622	البنتان
92.3	90.3	0.3277	2.239	1.600	الإيزوبنتان
24.8	26.0	0.2744	2.231	1.613	الهكسان
0.0	0.0	0.2360	2.209	1.606	الهبتان (غاز)

4-1-1-2- معالجة الغاز عند رأس البئر:

يوجد الغاز عادة ضمن طبقات الأرض على هيئة مكامن غازية صرفة أو غازات عائمة على سطح آبار النفط العادية. ويبين الشكل (4-1) بصورة رمزية كيفية الحصول على كل من الغاز الطبيعي والمميع. حيث يتوجه مزيج الغازات الرطب والنفط الخام العالق به تحت تأثير الضغط من مكامنه في جوف الأرض عبر القناة (1) إلى سطح الأرض. حيث يقاد هذا المزيج إلى مصيدة الغاز (2) وهي عبارة عن وحدة فرز، حيث يتم فيها فرز الغاز عن النفط السائل الذي يجري في أنابيب إلى خزان التجميع (3).

الشكل (4-1)

يؤخذ الغاز الرطب عبر أنابيب إلى الوحدة (5) حيث يتم تخليص الغاز الرطب (الحاوي على البنزين وغازات النفط المميعة والغاز الطبيعي) من المواد السائلة

التي يمتلكها. (مجموعة البنزين والغازات المميعة) ويبقى الغاز الطبيعي لوحده والذي يعرف بالغاز الجاف. حيث تنطلق المركبات الغازية من قمة الوحدة (5) في حين تسحب المواد السائلة من أسفلها في العمود (6). يتجمع السائل المشبع بالفحوم الهيدروجينية حيث يتعرض مزيج البنزين الطبيعي والغازات المميعة إلى عملية غليان بوجود وسيط لامتصاص. بعد ذلك يساق الخليط إلى برج الاستقرار حيث يتعرض لعملية امتصاص إضافية يتجمع في نهايتها البنزين الطبيعي في أسفل العمود (7) في حين تندفع الغازات الخاصة بالتميع إلى الأعلى حيث تؤخذ من هناك لتتعرض لعملية فرز إضافية (عند الضرورة) إلى المكونات الأصلية بروبان وبوتان.

يدعى البنزين الطبيعي الناتج عند رأس البئر عن طريق ضغط وتبريد الغاز بهدف تكثيف الهيدروكربونات العالية، بنزين رأس البئر Casing-head Gasoline. يؤخذ الغاز الطبيعي ويساق إلى شبكة المدينة للاستخدامات المنزلية وذلك بعد معالجته وتنظيفه من المركبات التي تسيء إلى نوعيته وإكسابه رائحة خاصة تسمح بمعرفة تسربه في الجو وذلك بإضافة مادة المركبتان ذات الرائحة القوية.

4-1-2- غازات النفط المميعة (LPG) Liquefied Petroleum Gases :

من خلال عمليات معالجة النفط نحصل على كميات مهمة من البروبان والبوتان والتي يمكن أن تبيع عند درجات الحرارة العادية بتعرضها لضغوط معتدلة. حيث يتم إسالتها وتعبئتها في أسطوانات فولاذية وذلك بهدف توزيعها إلى المستهلك مباشرة، حيث يتم تحويلها إلى غاز بعد تمريرها عبر مجموعة منظم الضغط لتصبح جاهزة للاستعمال.

وتتألف غازات النفط المميعة من مزيج غازي تمت إسالته تحت ضغوط منخفضة نسبياً حوالي 13 كغ/سم². وهي تتكون بشكل أساسي من البروبان والبوتان وذلك فيما لو تم الحصول عليها من مصادر طبيعية. تستخدم هذه الأنواع

من الغازات في الاستخدامات المنزلية وفي الصناعة أيضاً وفي مجال محركات الاحتراق الداخلي.

يجب أخذ الحذر عند استخدام البروبان والبوتان، بسبب وجود خاصيتين فيزيائيتين لهما تميزهما عن أنواع الوقود الغازي الأخرى:

1. ارتفاع قيمتها الحرارية (حوالي $95 \frac{MJ}{m^3}$ للبروبان و $120 \frac{MJ}{m^3}$ للبوتان). لذلك

يجب تعديل الحراقات عند استخدامها.

2. بما أن البروبان والبوتان أثقل من الهواء، فهذا يسبب ترسب الغازات المتسربة وتجمعها على شكل جيوب مما يؤدي إلى خطر الانفجار.

4-1-3- غازات زيت التكرير Refinery Oil Gas:

تنتج هذه الغازات من خلال العمليات العديدة التي تجري أثناء تكرير النفط الخام. وهي غازات خفيفة ليس من الاقتصادية في شيء تحويلها إلى بنزين أو إلى أي وقود سائل آخر.

تتألف هذه الغازات من هيدروكربونات خفيفة متنوعة بالإضافة لكميات قليلة من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون. عادة ما تتم الاستفادة من هذه الغازات ضمن منشأة التكرير ذاتها لمساندة كميات الوقود اللازمة للأفران والمسخنات الضرورية لعملية التكرير.

4-1-4- غاز الفرن العالي Blast-furnace Gas:

وهو الغاز القابل للاحتراق الناتج في عملية الحصول على الحديد. وبعد منتجاً ثانوياً. ففي عملية الحصول على الحديد ينتج 4 م^3 غاز أفران لكل طن مصهور حديد، (يحتوي هذا الغاز على 25-30%) غاز أول أكسيد الكربون و 2-3% هيدروجين، أما الجزء المتبقي فيتألف من غازات خاملة كيميائياً عبارة عن CO_2 ، N_2 ..) وبسبب أن القيمة الحرارية لمثل هذه النوع من الغازات منخفضة، (أقل من

$\frac{MJ}{m^3}$ 4)، لذلك تستخدم في مكان استخراجها (تشغيل محركات الغاز، تسخين الأفران).

4-1-5- غاز الفحم الحجري Coal Gas:

تعدّ عملية تحويل الفحم الحجري إلى غاز من أقدم الطرق المستخدمة في الحصول على غاز، وما تزال هذه الطريقة حتى الوقت الحاضر تعد مصدراً لإنتاج كميات كبيرة من الغاز المصنع للاستخدامات المنزلية والصناعية. تتم عملية إنتاج هذا الغاز في متعرجات أفقية أو مائلة أو شاقولية، حيث يكون الغاز هو المنتج الأولي بينما يشكل الكوك منتجاً ثانوياً.

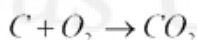
ترفع درجة حرارة الفحم الحجري حتى درجة حرارة $1500^{\circ}C$ بوجود كمية قليلة من الهواء، حيث تتفكك المركبات العضوية المعقدة للفحم الحجري عند درجات الحرارة العالية مشكلة منتجات بسيطة طيارة وكوك.

4-1-6- غاز التفكك الحراري:

وهو الغاز الناتج أثناء عملية تفكك الوقود الصلب بمعزل عن الهواء وكذلك عملية التفكك الحراري للوقود السائل. ويكون الغاز الناتج مكون من هيدروكربونات وهيدروجين فقط. وتتميز هذه الغازات باحتوائها على كمية كبيرة من الأوليفينات والبرافينات العالية.

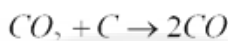
4-1-7- الغاز المولد Produced Gas :

ونحصل عليه من تحويل الوقود الصلب والسائل إلى غاز. وعملية التحويل هذه تتم بإدخال الهواء إلى منطقة الاحتراق فيقوم أوكسجين الهواء بالاتحاد مع الكربون الساخن وفق المعادلة التالية:



مولداً طاقة حرارية، مما يرفع من حرارة كامل شحنة الوقود ويؤدي إلى تبخر المواد الطيارة من الوقود قرب رأس المولد تاركة الكربون المتوهج في وسط وأسفل الوحدة.

ومع مرور الغازات أثناء صعودها نحو الأعلى خلال فرش الوقود، تتم عملية إرجاع غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون وفق المعادلة التالية:

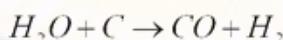


حيث أن الأوكسجين يكون قد نفذ تماماً عند بلوغ الغازات القسم العلوي من منطقة الاحتراق.

تبلغ القيمة الحرارية للغازات المولدة $\frac{MJ}{m^3}$ (5 ÷ 6) وهي قيمة منخفضة بسبب احتواء هذه الغازات على كميات كبيرة من الآزوت (الذي يدخل مع الهواء الجوي).

4-1-8- غاز الماء المكربن Carburated Water Gas:

يتم الحصول على هذا الغاز بتسخين شحنة الفحم الحجري أو الكوك حتى درجة التوهج وذلك بحرق الفحم بشدة بإمرار الهواء خلال فرش الوقود. بعد احتراق شحنة الفحم بالكامل يوقف انسياب الهواء وتجرى عملية إدخال البخار من الأعلى والأسفل خلال فرش الكوك الساخن، حيث يتولد غاز الماء Water Gas وذلك عن طريق تفاعل الماء مع الكربون الساخن وفق المعادلة التالية:



حيث يقوم هذا التفاعل بتبريد الشحنة خلال 4 إلى 5 دقائق. يتكون الغاز بشكل رئيسي من غاز أول أكسيد الكربون والهيدروجين، أما غاز الآزوت فوجوده ضمن تركيب الغاز يكون بنسب بسيطة جداً بسبب عدم السماح للهواء الجوي بالدخول إلى فرش الوقود خلال مرحلة تشكل الغاز. بالإضافة لذلك يحتوي الغاز على نسبة من المواد الطيارة الناتجة عن الفحم.

بسبب احتواء غاز الماء على نسبة كبيرة من غاز أول أكسيد الفحم، فإنه يحترق بسرعة وبلهب أزرق، لذلك يطلق عليه اسم الغاز الأزرق Blue Gas.

تبلغ القيمة الحرارية لغاز الماء حوالي $10 \frac{MJ}{m^3}$ عند خروجه من المولد. وحتى يتم استثماره تجارياً، لا بد من رفع قيمته الحرارية وذلك بواسطة إغناؤه بالزيت السائل (منتجات تحطيم القطارة الثقيلة) أو بالفويل. ويتم ذلك برش الزيت السائل على طوب حراري مسخن يدعى بالمفحم، وأحياناً تتم عملية تزيير الوقود ضمن فرش الوقود لمولد الغاز ذاته. حيث تقوم الحرارة الشديدة بتحطيم الهيدروكربونات الثقيلة لزيوت الغاز وتحويلها إلى هيدروكربونات خفيفة تبقى في الحالة البخارية ضمن غاز الماء المكربن. يمكن بهذه الطريقة الحصول على غاز بقيم حرارية مختلفة تبعاً لكمية الهيدروكربونات الثقيلة المضافة ضمن المكربن، لكن أكثرها انتشاراً $(18.65 \div 22.4) \frac{MJ}{m^3}$.

4-1-9- غاز المجاري Sewage Gas:

ينتج هذا الغاز من تفكك أحوال المجاري، ويتكون من غاز الميثان (الذي يشكل تقريباً ثلثي الغاز) وغاز ثاني أكسيد الكربون (ويشكل حوالي ثلث الغاز). تبلغ القيمة الحرارية لهذا الغاز $(22.4 \div 28) \frac{MJ}{m^3}$. أما كمية الغاز الناتجة في وحدة التخلص من القاذورات فتتراوح بين (8.5-28.32) لتر في اليوم، وهذا الغاز من النادر أن يوزع تجارياً، بل يستخدم لتزويد الحرارة والطاقة اللازمة لتشغيل وحدة المدينة للتخلص من القاذورات.

يوضح الجدول (3-4) التركيب لبعض النماذج من الغازات الطبيعية المختلفة.

الجدول (3-4) تركيب بعض النماذج من الغازات الطبيعية المختلفة

نماذج من غازات غير معالجة								نماذج من بعض الغازات الرئيسية		
غاز غير مرافق		من حقبة جيولوجية قديمة	من حقبة جيولوجية حديثة	غاز مرافق	UK	Holland	USA			
							8	7	6	
1	2	3	4	5	6	7	8			
								التركيب % :V/V		
69.1	96.0	66.0	94.7	81.2	94.7	72.9	75.0	الميثان		
2.8	-	14.0	30	2.9		19.0	24.0	الإيثان		
0.8	-	10.5	0.5	0.4		-	-	البروبان		
1.5	-	5.0	0.2	0.1		-	-	البوتان		
0.6	-	2.0	0.2	0.1		-	-	C ₅		
15.4	-	-	-	-		-	-	H ₂ S		
9.7	3.7	1.5	0.1	0.9		0.4	-	CO ₂		
-	0.3	1.0	1.3	14.4		7.7	1.0	أزوت		

هيليوم	-	-	-	<0.1	<0.1	-	-	-
أرغون	-	-	-	-	-	-	-	-
الوزن النوعي (غز جاف/ هواء جاف)	0.75	0.59	0.87	0.59	0.64	0.58	0.68	0.67
القيمة انحرافية $\frac{MJ}{m^3}$ العليا	33.9	35.4	52.3	38.6	31.4	36.8	39.2	43.2

الغازات الموجودة ضمن الأعمدة من 1 إلى 3 هي غازات غير معالجة.

الغازات الموجودة ضمن الأعمدة 4 و 5 قد تعرضت لتعديل ثانوي في نقطة ندى الهيدروكربونات.

الغازات الموجودة ضمن الأعمدة من 6 إلى 8 قد عولجت لإزالة LPG والهيدروكربونات الأعلى.

2-4- الحسابات المتعلقة بالغاز :Calculations relating to gas

1-2-4- العدد الأوكتاني:

إن إيجاد العدد الأوكتاني تجريبياً باستخدام المحرك المعياري أمر مكلف كما أنه يحتاج إلى تقنية عالية. لذلك يمكن استخدام معادلة الباحث Liss W. (معهد أبحاث الغاز في الولايات المتحدة) لحساب العدد الأوكتاني بطريقة المحرك والتي أثبتت قربها من الواقع. وهذه المعادلة هي:

$$MON = 20.17(H/C)^3 - 173.55(H/C)^2 + 508.04(H/C) - 406.14$$

حيث إن:

$$H/C = \sum X_i \cdot (H/C)_i \text{ للمركب الغازي.}$$

X_i - النسبة المولية للعنصر i .

$(H/C)_i$ - نسبة ذرات الهيدروجين إلى ذرات الكربون للعنصر i ، مثلاً:

للميثان CH_4 فإن $H/C = 4/1 = 4$.

4-2-2 عامل الانضغاطية Z :

يحسب عامل الانضغاطية للغاز الطبيعي عند الشروط النظامية بتطبيق العلاقة:

$$Z = 1 - \left(\sum X_i \cdot \sqrt{b_i} \right)^2$$

حيث $\sqrt{b_i}$ عامل خاص بالعنصر i وتؤخذ قيمته من الجدول (4-4).

الجدول (4-4) خصائص العناصر المكونة للغاز الطبيعي

المركبات	الكثافة النسبية للغاز المثالي	عامل الانضغاطية عند الضغط الجوي ودرجة حرارة 15م°	$\sqrt{b}$
الهيدروكربونات:			
-الميثان	0.5539	0.9981	0.0436
-الإيثان	1.0382	0.9915	0.0922
-البروبان	1.5225	0.9810	0.1378
-الإيزوبوتان	2.0068	0.9665	0.1830

0.1895	0.9641	2.0068	-البوتان
0.2230	0.9480	2.4911	-الإيزوبنتان
0.2408	0.9420	2.4911	-البنتان
0.3000	0.9100	2.9753	-الهكسان
0.3847	0.8520	3.4596	-الهيبتان
			المواد غير الهيدروكربونية:
0.0200	0.9996	1.0000	-الهواء
0.0640	0.9943	1.5195	CO_2 -
0.0224	0.9995	0.9671	CO -
0.0170	1.0005	0.1382	-الهيليوم
-	1.0006	0.0696	-الهيدروجين
0.0985	0.9903	1.1785	H_2S -
0.0173	0.9997	0.9672	-الآزوت
0.0265	0.9996	1.1048	-الأوكسجين

4-2-3- الكثافة النسبية ρ :

تحسب من العلاقة:

$$\rho = \frac{0.9996}{Z} \sum \rho_i \cdot X_i$$

ρ_i : الكثافة النسبية للعنصر i ، وتؤخذ من الجدول (4-2)

4-2-4- القيمة الحرارية الدنيا LHV:

تحسب من العلاقة:

$$LHV = \frac{1}{Z} \sum X_i \cdot H_i$$

حيث:

H_i - القيمة الحرارية الدنيا للعنصر i ، مقدرة بـ $\left(\frac{MJ}{m^3} \right)$ وتؤخذ من الجدول (4-2).

4-2-5- النسب الوزنية لمكونات الغاز الطبيعي:

يتم حساب النسب الوزنية لكل عنصر بدلالة النسب والكتل الجزيئية لجميع العناصر من العلاقة:

$$\frac{m_i}{m} = \frac{X_i \cdot M_i}{\sum_{i=1}^k X_i \cdot M_i}$$

حيث:

M_i - الكتلة الجزيئية للعنصر i ،

k - عدد العناصر المشكلة للمزيج الغازي.

4-2-6- القيمة الحرارية الدنيا على أساس وزني:

لقد أعطت الجداول (2-4) القيمة الحرارية الدنيا لأي عنصر على أساس حجمي $\left(\frac{MJ}{m^3}\right)$ ويمكن الحصول على القيمة الحرارية لأي عنصر على أساس وزني من الجدول (2-3) بتطبيق العلاقة التالية:

$$LHV_m = LHV_v \cdot v$$

حيث LHV_m - القيمة الحرارية الدنيا للعنصر بـ $\left(\frac{MJ}{Kg}\right)$.
 LHV_v - القيمة الحرارية الدنيا للعنصر من الجدول (2-4) بـ $\left(\frac{MJ}{m^3}\right)$.
 v - الحجم النوعي بوحدة $\left(\frac{m^3}{Kg}\right)$ من الجدول (2-4).

4-2-7- نسبة الهواء للوقود A/F:

على أساس حجمي، يمكن استنتاج هذه النسبة من العلاقة التالية:

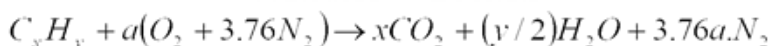
$$A/F = \sum_{i=1}^k (A/F)_i \cdot X_i$$

حيث $(A/F)_i$ - للعنصر i ، $\left(\frac{m_{air}^3}{m_{gas}^3}\right)$ وهي موجودة في الجدول (2-4).

على أساس وزني، يمكن استنتاج هذه النسبة من العلاقة التالية:

$$A/F = \sum_{i=1}^k (A/F)_i \cdot (m_i/m)$$

حيث $(A/F)_i$ - للعنصر i ، $\left(\frac{Kg_{air}}{Kg_{gas}}\right)$ و يمكن الحصول عليها من معادلة احتراق العنصر كما يلي:



إن نسبة الهواء للوقود النظرية يمكن إيجادها من العلاقة:

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{stoich} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{stoich} = \frac{4.76a}{1} \cdot \frac{M_{air}}{M_{fuel}}$$

حيث M_{air} - الوزن الجزيئي للهواء في الجدول (2-4).

M_{fuel} - الوزن الجزيئي للوقود في الجدول (2-4).

4-2-8- القيمة الحرارية للخليط المجهز للاحتراق:

تعطى القيمة الحرارية الدنيا للخليط المجهز للاحتراق بالعلاقة:

$$LHV_{mixture} = \frac{1}{1 + (A/F)_{stoich}} LHV_{fuel}$$

4-3- طرائق تحديد تركيب الغازات الهيدروكربونية Methods of

:determining the composition of hydrocarbon gases

هناك أربع طرائق مختلفة تستخدم لتحديد تركيب الغازات وهي:

- طريقة الامتصاص.
- طريقة الحرق.
- طريقة الامتزاز.
- طريقة تكرير التقطير.

- طريقة الامتصاص: تقوم على أساس الامتصاص المتعاقب للمركبات المنفردة بواسطة ممتصات (absorbents) كيميائية مختلفة ويحدد الفرق بين حجم الغازات قبل الامتصاص وبعده، وتحسب بذلك كمية (الغاز) المركب الممتص.

- طريقة الحرق: تستخدم لتعيين نسبة الهيدروجين والهيدروكربونات المشبعة، وتعين نسبة الهيدروجين بالحرق في أنبوب يحتوي على حبيبات من أكسيد النحاس عند الدرجة (280-285)°م. فيحترق الهيدروجين مكونا الماء على حساب أكسجين أكسيد النحاس. وتحدد نسبة الهيدروجين في الغاز بنقص حجم الغاز بعد الحرق.

وتحرق الهيدروكربونات المشبعة في الأنبوب نفسه عند درجة 900-950 °م .
وتعين النسبة الكلية للهيدروكربونات المشبعة من الفرق بين حجمي الغاز المحلل
قبل الحرق وبعده.

- طرائق الامتزاز: وتنقسم طرائق الامتزاز إلى طريقة الامتزاز والمج وطريقة
التحليل الكروماتوغرافي.

تتلخص الطريقة الأولى في امتصاص كل كمية المزيج الغازي الذي يراد
فصله، دفعة واحدة، ثم تجري بعد ذلك عملية المج عن طريق التسخين أو تخفيض
الضغط وتسمح هذه الطريقة بفصل أنواع المزيج الثنائية، التي تختلف مكوناتها عن
بعضها في خواص الامتزاز بدرجة كبيرة. وتسمح الطريقة الكروماتوغرافية بفصل
أنواع المزيج المعقدة للغازات المتقاربة في خواصها.

وتقسم طرائق التحليل الكروماتوغرافي الغازي إلى: تحليل جبهي (frontal
analysis) وتحليل استخراجي elution analysis وتحليل إزاحي
displacement analysis وإلى المج الحراري والكروماتيرموغرافيا.

في حالة التحليل الجبهي يمرر المزيج المطلوب فصل مكوناته خلال عمود به
مادة sorbent انتشاف، فينفصل أولا المركب النشط من ناحية قدرته على
الانتشاف ثم المركب التالي وهكذا.

ويتحرك المزيج المدروس عند التحليل الاستخراجي خلال طبقة من مادة
الانتشاف في العمود بواسطة تيار من الغاز الحامل، وتتوزع مركبات المزيج
بطول العمود تبعا لاختلاف درجة انتشافها.

ويفترض في التحليل الإزاحي أن الغاز الحامل يحتوي على كمية ما من مادة
إزاحة، قابليتها للامتزاز أكبر من قابلية كل مركبات (مكونات) المزيج المطلوب
فصله، ولا يستخدم الغاز الحامل في طريقة المج الحراري التي تتم إزاحة المركبات
فيها بواسطة المجال الحراري.

وتجمع طريقة الكروماتيرموغرافيا بين المج الحراري والتحليل الاستخراجي.

ويستخدم الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والهليوم والهواء وغيرها من الغازات، كغازات حاملة. ويطلق على التحليل الامتزازي هذا الاسم في حالة استخدام الكربون النشط أو أكسيد الألمنيوم أو المناخل الجزيئية (Zeolites) كمواد امتزاز.

تكون مادة الانتشاف في الحالة السائلة سائلا غير متطاير، ويستخدم الحامل الصلب الذي لا يشترك مباشرة في عمليات الانتشاف في تكوين سطح كبير للسائل، وتعتمد عملية فصل مركبات المزيج على قدراتها على الذوبان في السائل الماص. تستخدم سليكات الألمنيوم الطبيعية مثل الدياتوميت والكيلجور وحجر الخفاف وغيرها كحامل صلب. ويستخدم زيت البارافين الأبيض وبزئيل ثنائي الفينيل وثنائي - منيل فورمايد وغيرها كمذيبات.

- طريقة تكرير التقطير: يجري تكرير تقطير الغازات عادة عند درجات حرارة منخفضة وتحت الضغط الجوي، أهم أجهزة وحدة تكرير التقطير عند درجات الحرارة المنخفضة هي جهاز استقبال التقطير وتكثيفه وتكريره وجهاز قياس مكونات الغاز المنفصلة.

وينقى الغاز في البداية من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين بوساطة محلول قلوي مركز، ويجفف بكلوريد الكالسيوم ثم يدفع في دورق حيث يكتف بتبريده بوساطة النيتروجين السائل، ثم يسخن الدورق ويكرر تقطير الأبخرة المتكونة وتجمع في أوعية استقبال تفتح على التوالي. وتوصل أوعية الاستقبال بجهاز التفريغ عند جمع القطعة C_5 والقططات الأكثر تعقيداً. ويحسب حجم القطعة بالقياس المباشر أو بالضغط المتبقي في أوعية الاستقبال.

وتحلل القططات الموجودة في أوعية الاستقبال كما يلي: تعين نسبة وجود الأكسجين وأول أكسيد الكربون والهيدروجين والميتان في القطعة الأولى (قطعة

الميتان والهيدروجين) ونسبة وجود الأثيلين في القطفة الثانية، ونسبة وجود البروبلين في القطفة الثالثة ونسبة وجود أيزوبيوتيلين في القطفة الرابعة.

4-4- تصفية الغازات الهيدروكربونية وتنقيتها Filtering hydrocarbon :gases and purified

تحتوي الغازات الهيدروكربونية شوائب غازية غير هيدروكربونية تؤثر في نوعيتها، ولهذا يجب فصلها، باستخدام عملية تنقية ذات مراحل متعددة.

أهم هذه الشوائب هو كبريتيد الهيدروجين، ويفصل بعمليات متعددة ومختلفة، وهي: التنقية الجافة (باستخدام هيدروكسيد الحديد والكربون المنشط وغيرها). أو التنقية السائلة(بوساطة محلول الصودا، أو محلول أمين الأيتانول أو الفينات وغيرها).

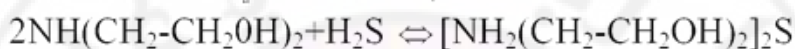
تستخدم الطريقة الأولى في الحالات التي تتطلب فصلاً تاماً لكبريتيد الهيدروجين، تحت الضغط المنخفض وعند معالجة كميات قليلة نسبياً من الغاز، ولا تستخدم هذه الطريقة في حالة وجود نسبة عالية من كبريتيد الهيدروجين نظراً لاحتمال تراكم كتلة الكبريت.

وتستخدم الطريقة السائلة لمعالجة الحجوم الكبيرة من الغازات، ويتم ذلك باستخدام محلول كربونات الصوديوم وهي أبسط طريقة، وتستخدم في حالة احتواء الغاز على نسبة 2% وزناً أو أقل من كبريتيد الهيدروجين، حيث يسيل محلول الكربونات في جهاز غسل الغاز من أعلى إلى أسفل فيقابل الغاز الخاضع للتصفية والذي يتحرك في اتجاه معاكس، ويتفاعل كبريتيد الهيدروجين الموجود في الغاز مع الصودا كما يلي:



ويخرج محلول الصودا من الجهاز إلى المسترجع حيث يسترجع بوساطة تيار مضاد من الهواء ثم يعود بعد ذلك مرة أخرى إلى الاستخدام ولا تؤدي هذه العملية إلى تنقية عميقة للغازات من كبريتيد الهيدروجين بدرجة كافية.

وباستخدام أحادي الأيتانول- أمين والفينات نحصل على تنقية عميقة مع الحصول على كبريتيد الهيدروجين النقي، ويمتص الأيتانول كبريتيد الهيدروجين وحمض الكربونيك وغيرها بسهولة، ويتم التفاعل كما يلي:



ويخضع محلول الأيتانول الناتج إلى عملية استرجاع كما في السابق. والطريقة الأخرى المستخدمة للتنقية تتم باستخدام فينات الصوديوم ويتم التخلص من كبريتيد الهيدروجين حسب المعادلة التالية:



ويتم التخلص من كبريتيد الهيدروجين بتسخين المحلول الناتج إلى درجة 120 °م حتى يتبخر الماء ويصعد البخار إلى الأعلى وتفصل الشوائب من مادة التفاعل السائلة ويبرد ويعود إلى العملية من جديد.

ولفصل كبريتيد الهيدروجين عن الغازات فصلاً تاماً يمكن استخدام عملية غير استرجاعية وذلك باستخدام محلول برمنجنات البوتاسيوم أو بيكرينات الصوديوم والبوتاسيوم.

كما يمكن استخدام عمليات التنقية بوساطة عامل حافز (أكسيد الكوبالت والموليبدن) أو عامل حافز آخر من النحاس والكروم والألمنيوم.

يوجد الماء في الغازات كشوائب ضارة على شكل بخار أو قطرات سائلة. ويؤدي وجود الماء في الغاز إلى زيادة الحث الكيميائي لأجهزة الغاز تحت تأثير كبريتيد الهيدروجين، كما يمكن أن يتجمد الماء عند انخفاض درجات الحرارة ويمكن أن تتحد الهيدروكربونات مع الماء وتكون هيدرات صلبة يمكن أن تسد أنابيب الغاز والأجهزة. لذلك يجب أن يخضع الغاز للتجفيف.

ومن طرائق التجفيف طريقة استخدام مواد الامتصاص التي تمتص الرطوبة، وهي مواد صلبة وسائلية والمواد السائلة أكثر استخداماً من المواد الصلبة. ومن المواد المستخدمة أكسيد الألمنيوم المنشط وكلوريد الكالسيوم الحبيبي وهيدروكسيد الصوديوم السائل وغيرها.

وعند استخدام المواد السائلة يمكن أتمتة العملية التقنية بسهولة. وأحياناً يتم الجمع بين عملية التجفيف وعملية التخلص من كبريتيد الهيدروجين. ومن المواد السائدة الاستخدام ثنائي أثيلين الغليكول، أو أحادي- أيتانول الأمين ويمكن استخدام مادة مركبة منهما أيضاً.

4-5- استخدام الوقود الغازي كبديل في وسائط النقل Use a gaseous fuels as an alternative in the transport

إن ارتفاع نسب المواد الملوثة في نواتج الاحتراق لبعض أنواع محركات البنزين والديزل، مثل أول أكسيد الفحم وأول أكسيد النيتروجين ومركبات الرصاص المستخدمة للتخفيف من ظاهرة الاحتراق غير الطبيعي، يدعو إلى اعتماد المحركات العاملة على الغاز كبديل في وسائط النقل بهدف التقليل من تلك النسب وغيرها.

إن للوقود الغازي أفضلية على غيره في تطبيقات عدة حيث يمكن بسهولة كبيرة إدخاله للفرن دون أي معالجة فيزيائية، فالوقود الغازي خال من الرماد والمواد الغريبة ويحترق بشكل كامل ويمكن التحكم بسهولة بشعلة اللهب والحصول على احتراق كامل دون إنتاج هباب فحم، كما أنه يعد الأرخص بين أنواع الوقود المختلفة وهو متوفر بكميات كبيرة والحصول عليه لا يحتاج إلى تقنيات عالية ومعقدة.

ومن مساوئ الوقود الغازي هي القيمة الحرارية المتدنية بالنسبة للحجم الذي يشغله ضمن اسطوانة المحرك، وعليه لا بد من تأمين احتياط كاف من الوقود

الغازي لضمان تشغيل الآلية. لكن صعوبة تخزينه تستلزم استخدام خزانات غاز إضافية للاحتفاظ بكميات كبيرة تحت ضغط عال وتصنع هذه الخزانات من الفولاذ والألمنيوم لتجنب إمكانية حدوث تهريب من الخزانات وأنابيب التوصيل وتشكل مزيج مع الهواء قابل للانفجار.

تتوضع الغازات المضغوطة ضمن أسطوانات وبضغط يصل إلى (20 Mpa). أما الغازات المميعة فتضغط حتى (1.57 Mpa)، حيث يتم استخدامها في وسائط النقل المختلفة وفي تزويد المنازل والصناعات بالطاقة، كما يمكن تغذية المحركات الثابتة بمختلف أشكال الوقود الغازي عن طريق وضع صمامات خنق لتقليل ضغط الغاز قبل وصوله إلى الخلطات وتركيب منظمات خاصة لضبط ضغط الغاز في المحرك.

إن استخدام الغاز الطبيعي المضغوط (CNG) Compressed-Natural-Gas والغاز الطبيعي المسال (LNG) Liquid-Natural-Gas في تشغيل السيارات لعب دوراً في اعتماد الغاز بدلاً من البنزين والديزل في وسائط النقل لما له من فوائد بيئية واقتصادية وميزات إيجابية، رغم وجود بعض السلبيات المشار إليها أعلاه. فالوقود الغازي أرخص أنواع الوقود ويحترق بكفاءة عالية دون إفراز عوادم صلبة وله رقم أوكتان مرتفع، إضافة إلى قدرته على زيادة عمر المحرك بمعدل يتراوح بين 35-45% مقارنة مع محرك البنزين، وذلك بفضل خفض تآكل جدران الاسطوانات وندرة المواد الناتجة عن عملية الاحتراق نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من غاز الميثان الذي يعدّ أقل الغازات تلويثاً للهواء أثناء الاحتراق. إن تحليل غازات العادم الناتجة عن السيارات العاملة على الوقود الغازي أظهرت انخفاضاً كبيراً في الملوثات قد يصل إلى 92% لغاز CO و 62% لغازات NO_x إضافة إلى الانخفاض الكبير في نسب المعلفات والمواد الهيدروكربونية وغيرها. كما يخفف مستوى الضجيج إلى النصف ويقلل من حرارة المحرك.

يقسم الوقود الغازي المستخدم في وسائل النقل المختلفة ومحطات توليد الطاقة الثابتة إلى عدة أنواع:

1. الغاز الطبيعي المضغوط: لا يتطلب تصنيعه تقنيات خاصة، وبشكل الميثان النسبة العظمى من خليط الغازات المكونة له.

2. الغاز الطبيعي المسال: يستخدم في كثير من البلدان حيث يتم حفظه في درجة حرارة منخفضة تصل إلى (-162°C) في أسطوانات معزولة. وتكون نسبة الميثان فيه $(95-99\%)$ لذلك فهو وقود ثابت التركيب.

3. الغاز البترولي المسال (LPG-Liquid-Petroleum-Gas): ويكون بالحالة السائلة تحت ضغوط منخفضة نسبياً حوالي 13 كغ/سم^2 ، ويتكون بشكل أساسي من البوتان C_4H_{10} والبروبان C_3H_8 وهما من أهم المنتجات الثانوية الناتجة عن تكرير النفط.

4-5-1- الشروط التقنية والاستثمارية الواجب توافرها في الوقود الغازي:

لضمان أفضل الشروط التقنية والاستثمارية الواجب توافرها في الوقود الغازي المستخدم في المحركات لابد من توفر متطلبات أساسية أهمها:

1- امتزاج الهواء والغاز بشكل جيد بهدف تشكيل مزيج أكثر تجانساً وقابل للاشتعال مع إمكانية التقليل من ظاهرة الاحتراق غير الطبيعي المعروفة في محركات البنزين، هذا من جهة، أما من الجهة الأخرى فيجب أن يتمتع الوقود الغازي بحدود احتراق واسعة بهدف زيادة نسب الانضغاط حتى $(\varepsilon=14)$ مع الحفاظ على إمكانية تشغيل المحرك الغازي في حدود الخلائط الفقيرة نسبياً، والذي يؤدي إلى وفر في عملية استهلاك الوقود ويجعل من المحركات الغازية أكثر اقتصادية بالمقارنة مع محركات البنزين.

2- كمية المواد السامة (أول أكسيد الفحم CO ، ثاني أكسيد النتروجين NO_2 وغيرها) والمنطلقة مع غازات العادم أقل ما يمكن.

3- إن الوقود الغازي المستخدم في المحركات يجب أن يحتوي على أقل كمية من الرواسب الكربونية الضارة والكبريت والفحوم الهيدروجينية غير المحترقة والتي تسبب اتساخ وانسداد منظومة التغذية بالوقود وبالتالي تعرقل عمل صمامات التحكم بضغط الوقود وكذلك تآكل قطع المحرك المختلفة.

أفضل أنواع الوقود الغازي التي تحقق الشروط المذكورة هي الغاز الطبيعي المضغوط والغاز الطبيعي المسال اللذان يستخدمان في وسائل النقل من سيارات وشاحنات وغيرها.

وأهم العناصر التي يتركب منها الغاز البترولي المسال هي البروبان والبيوتان المقطر والإيثان والإيثيلين مع بعض المركبات الهيدروكربونية القليلة، وقد توجد الشوائب الميكانيكية الضارة بنسبة قليلة جداً.

تصل القيمة الحرارية للبروبان $Hu = 24000 [kcal / m^3]$ والبروبان من أفضل الوقود المستخدم، لتحقيقه معظم الشروط المطلوبة ولا سيما الضغط النموذجي للأبخرة المشبعة في المزيج الغازي والوسائل الذي يشكله خلال عمل منظومة التغذية بالوقود في مختلف الفصول وعند درجات حرارة مختلفة.

إن احتراق البيوتان يولد حرارة عالية وسهل التميع أي انتقال المركبات الهيدروكربونية النفطية من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة تحت درجة الحرارة الطبيعية دون أي تبريد إضافي ودون الحاجة إلى ضغط كبير نسبياً، وتصل القيمة الحرارية للبيوتان $Hu = 30000 [kcal / m^3]$.

يعدّ العدد الأوكتاني الذي تحويه الأنواع المختلفة للوقود الغازي المقياس الذي يحدد مقدرة الفحوم الهيدروجينية الغازية على مقاومة الاحتراق غير الطبيعي، وهو

يتراوح بين (120÷90). ويبين الجدول (4-5) نسب الانضغاط والعدد الأوكتاني لأنواع مختلفة من الوقود الغازي والبنزيني المستخدمة في السيارات. (القيم خارج القوس في الجدول قيم تجريبية و داخل القوس يتم الحصول عليها بالطرق التحليلية النظرية).

في حال استخدام الغاز المنزلي كوقود في وسائل النقل. لا نستطيع ضمان استقرار المواصفات الفنية مثل الاستطاعة الفعلية - الضغط الفعلي وكذلك الاقتصادية والسمية أي نسبة CO، و NO_x في تلك المحركات بسبب تغير نسب الفحوم الهيدروجينية التي يحويها الغاز ضمن مجالات واسعة، بالإضافة لاحتوائه على الشوائب التي تعرقل عمل جهاز التغذية بالوقود.

الجدول (4-5) نسب الانضغاط والعدد الأوكتاني لبعض أنواع الوقود المستخدمة في السيارات:

نوع الوقود	نسبة الانضغاط	العدد الأوكتاني
البروبان	10÷12	96(112)
البوتان	7,5÷8,5	89(95)
البنزين A-76	6,5	76
البنزين Av-93	8,2	85(93)

4-5-2- أهمية وآفاق استخدام الوقود الغازي في محركات السيارات:

يلاحظ عند استخدام الوقود الغازي في محركات السيارات ما يلي:

- عملية الاحتراق أكثر تجانساً مقارنة بالمحركات البنزينية مما يسمح بزيادة (ع) دون الخوف من حصول احتراق غير طبيعي، كذلك المجالات الواسعة لاحتراقه مع الهواء التي تمكنه من العمل في حدود الخلائط الفقيرة التي تجعل من المحرك الغازي أكثر اقتصادية مقارنة مع مثيله محرك البنزين.

- المحرك الغازي أقل تلويثاً للبيئة من محرك البنزين ومحرك الديزل وذلك بسبب عدم احتواء الوقود الغازي على مركبات الرصاص السامة كرابع أيتيل الرصاص $[(C_2H_5)_4pb]$ الذي يضاف حجم واحد منه إلى 1300 حجم مماثل من وقود البنزين بهدف كبح ظاهرة الطرق في محرك البنزين وهذا بدوره يؤدي إلى تلويث البيئة نتيجة انطلاقها مع غازات العادم. كما أن غازات الإفلات في المحركات الغازية تحوي نسب متدنية من CO و No_2 .

- إن الخليط المتجانس في المحرك الغازي يقلل من إمكانية وصول الغاز إلى حوض الزيت في المحرك وبالتالي تفادي ظاهرة تمييع الزيت (تكاثف أبخرة الوقود السائل على جدران الأسطوانة وخاصة عند السرعات البطيئة في محرك البنزين والديزل) وتغيير خواصه الفيزيائية والكيميائية. مما يقلل من إمكانية تآكل مجموعة الذراع والمرفق وعدم تشكل رسوبات الورنيش الزيتي والرسوبات الفحمية في أسطوانة المحرك ومنظومة التغذية بالوقود، يؤدي كل ذلك إلى الإطالة في فترة تغيير الزيت ومصافيه، وبدوره إطالة عمر المحرك وتحسين ظروف استثماره وفترة خدمته، وتدل التجارب العملية على أن استخدام الوقود الغازي يزيد من فترة خدمة الزيت بحوالي $(1.5 \div 2)$ مرة وبذلك يقل استهلاك الزيت مقارنة مع محركات البنزين ويزداد عمر المحرك وفترة خدمة شمعات الاشتعال بحدود 40%.

- إن من أهم ما يتميز به الوقود الغازي المستخدم في وسائل النقل: رخص ثمنه، سهولة نقله وعدم وجود تعقيدات في تصنيعه، كما يتصف نظام عمل المحركات الغازية بالنعومة والسلاسة ودون إجهادات محسوسة حيث يحصل الشوط العامل

فيها بشكل هادئ وناعم مما يؤدي إلى تقليل وتخفيض معدل الضجيج من $dB(8 \div 9)$ ديسبل مقارنة مع محركات البنزين.

- إن عملية تحويل محرك البنزين إلى نظام التغذية بوقود- الغاز الطبيعي المسال يؤدي إلى تناقص الاستطاعة والعزم للمحرك بحدود $\%[(7 \div 5)]$ ، ولكن في حال عمل محرك البنزين على نظام الغاز الطبيعي المضغوط فإن الاستطاعة والعزم يتناقصان بحدود $\%[(12 \div 10)]$ ويترافق ذلك بتدهور الخواص الديناميكية والاستثمارية للسيارة ومنها:

*زمن التسارع في الحركة.

*السرعة الأعظمية تتناقص بحدود $\%6$.

*المسافة المقطوعة للسيارة تصبح 200 كم بين محطات تزويد الوقود بدلاً من 500 كم بالنسبة لوقود البنزين مما يؤدي إلى انخفاض عامل المسير.

- المحركات العاملة على الوقود الغازي أقل إنتاجاً واستخداماً مقارنة مع محركات البنزين والديزل وذلك بسبب عدم توفر شبكات توزيع الغاز، وكذلك بسبب الخطر الذي يمكن أن يسببه تسرب هذا الغاز وبشكل خاص عند التصادم وحوادث السير. كما يزداد الجهد المصروف على الإصلاح نظراً لتطلب ذلك توفر أهلية إصلاح ذات تقنية عالية مقارنة بمحركات البنزين، كما تزداد الفترات بين كل إصلاح والإصلاح الذي يليه.



الفصل الخامس الزيوت المعدنية

مقدمة

- 5-1- أشكال وأنماط التزييت
- 5-2- وظائف الزيوت
- 5-3- خواص الزيوت
- 5-4- تصنيع زيوت التزييت
- 5-5- تنقية الزيوت
- 5-6- تحسين جودة الزيوت باستخدام الإضافات المناسبة
- 5-7- الحصول على الزيوت التجارية
- 5-8- تجديد الزيوت المستهلكة ومعالجتها
- 5-9- أنواع الزيوت
- 5-10- تحديد صلاحية الزيوت المعدنية واختبارها



الفصل الخامس الزيوت المعدنية MINERAL OILS

مقدمة Introduction:

اشتهر قدماء المصريين وبلاد الرافدين والإغريق والرومان بدراسة علم الحركة والروافع، واخترعوا آلات خشبية قابلة للانزلاق، كما هو معروف ومبين في لوحات منقوشة على جدران المعابد والمواقع الأثرية، واستخدموا السوائل وخاصة الماء لتخفيف الاحتكاك، واستخدموا كذلك (الزيوت النباتية) كزيت عباد الشمس وزيوت الكتان والزيتون والشحوم الحيوانية والصابون الكالسيومي لتزييت العجلات والقطع المتحركة، واستخدم العرب إضافة لذلك، الزيوت والشحوم المعدنية الطبيعية والنفط المستخرج من مناطق مختلفة، كما استخدم الصينيون الماء في البداية ثم مزيج من زيت نباتي ورصاص محمص. وقد اقترح منذ أكثر من 100 عام الهواء لتخفيف الاحتكاك، ومع توصل العلم إلى استخراج النفط وتكريره وتكسيده منذ أوائل القرن التاسع عشر تنوعت منتجات النفط والزيوت المستخرجة منها وغدت ضرورة لا يستغنى عنها لتزليق مختلف القطع المتحركة في المركبات والمعدات والرافعات وغيرها.

وتصنف الزيوت بحسب حالتها الفيزيائية إلى:

- غازية (هواء - بخار الماء) حيث يستخدم الهواء في التطبيقات ذات السرعة العالية والحمولات القليلة مثل فراغات الطرد المركزي عالية السرعة ومحاور الجرخ ذات السرعة العالية، وموزع الغاز للمفاعلات النووية... الخ. أما بخار الماء فيستخدم للنفقات البخارية، كذلك يوجد العديد من الغازات التي تستخدم للتزييت مثل الأبخرة العضوية والهيدروكربونات الهالوجينية.

- سائلة وأهمها الزيوت المعدنية المنتجة من النفط، كما يندرج تحتها الزيوت الحيوانية والنباتية وحتى الماء.

- صلبة (الغرافيت والرصاص الأبيض وزهر الكبريت والأسبستوس والبلاستيك).

تعدّ الزيوت المعدنية ذات الأصل النفطي، من أهم الزيوت المستخدمة في التزييت على الإطلاق، والتي هي عبارة عن مواد لزجة عالية الغليان تم تنقيتها من المكونات غير المرغوب بها، وتستخدم للتزييت في مختلف الآلات والمحركات. وسوف تقتصر دراستنا هنا على هذا النوع من الزيوت فقط.

5-1- أشكال وأنماط التزييت Lubricating Forms:

5-1-1- التزييت المائع Liquid Lubricating:

يتحقق هذا النوع من أنماط التزييت عندما تؤدي الحركة النسبية للسطوح المنزلقة إلى تشكيل غشاء مانع ذي ضغط كاف لفصل هذه السطوح بعضها عن بعض فصلا "كاملا" بحيث يمتنع التماس بين هذه السطوح أو بين نقاط منها. أما الضغوط اللازمة لتشكيل مثل هذا الغشاء، فيمكن الحصول عليها إما من المائع نفسه، بفضل حركة الانزلاق النسبية للمساند، وتعرف هذه الحالة بالغشاء المائع الجاري Hydrodynamic Lubrication أو قد تأتي هذه الضغوط من الخارج بحيث يجبر ذلك سطوح المساند إلى الابتعاد عن بعضها بعضا فتدعى المساند حينئذ بمساند التزييت المائع الراكدة Hydrostatic Lubrication.

أهم خصائص الزيوت في حالة التزييت المائع - لزوجتها ويلاحظ هنا أنه كلما قلّت اللزوجة كلما قلت الطاقة الضائعة بسبب الانزياح، لكن من ناحية أخرى وحتى يستطيع الزيت احتمال الضغوط العالية لابد من رفع اللزوجة.

5-1-2- التزييت الغشائي Boundary Lubrication:

يعتمد هذا النوع من التزييت على تشكيل غشاء صلب على السطوح المنزلقة بحيث يقلل من الاحتكاك الذي تسببه حركتها النسبية، كما ييسر انزلاقها فوق بعضها بعضاً". ويستخدم هذا النمط في حالة تعذر استخدام التزييت المائع (كما يحصل في المحامل التي تتعرض لحمولات عالية جداً يتعذر عندها الحفاظ على الغشاء المائع الذي يفصل بينها).

يعتمد التزييت الغشائي على ثلاثة مبادئ: الامتزاز الفيزيائي، الامتزاز الكيميائي، والتفاعل الكيميائي. ونعني بالامتزاز كل حالة يكون فيها تركيز بعض المواد على سطح طور من الأطوار أكبر من تركيزها في الجزء الأعظم من ذلك الطور في داخله.

وهناك نوعان من الامتزاز تبعاً لكون التجمع على السطح أو ضمن الجرم ذو صفة فيزيائية أو كيميائية:

- الامتزاز الفيزيائي Physical Adsorption: (كمثال ما يحدث من امتزاز الأرغون على سطح الكربون) هي عملية منعكسة تامة الانعكاس.

إن قدرة الجزيئات الممتزة على السطوح على تزليق هذه السطوح ومنع الاتصال الفلزي بينها، أمر يختلف باختلاف تركيب تلك الجزيئات من حيث كونها قطبية أو غير قطبية. فالجزيئات غير القطبية، ومنها الغازات الخاملة والمركبات البارافينية المتسلسلة والمركبات العطرية البسيطة والمركبات الحلقية جميعها لا تصلح في التزليق إذا ارتفعت درجة حرارتها فوق درجة حدية معينة تعرف بدرجة التحول (إن جميع المركبات الهيدروكربونية في أساسها غير قطبية وكذلك كل مركب فيه رابطة $C-H$ وذلك لتماثل الكهروسلبية بين الكربون والهيدروجين). أما إذا استبدل الهيدروجين بعنصر آخر، كالكلور مثلاً، عندئذ يمكن للمركبات أن تكون قطبية

لوجود الأوكسجين فيها. وبما أن المركبات غير العضوية في زيوت التزليق النفطية ترتبط عادة بالمركبات العطرية، فإن المركبات العطرية تكون قطبية.

تصلح المركبات الهيدروكربونية عموماً كزيوت أساس، ويؤدي وجود الشوائب القطبية في هذه الزيوت إلى التقليل من الاحتكاك عموماً والتقليل من البري. وهذه الشوائب قد تكون مواد تنتج عن التفكك بالأكسدة أو بفعل الحرارة أو على شكل إضافات خاصة وحموض.

من هنا نجد أن التزيت الغشائي لا يتحقق بشكل فعال إلا إذا تشكل على السطح غشاء من الجزيئات القطبية التي تمتزها هذه السطوح من السائل غير القطبي أو من زيت الأساس. إذا ما يسبب دهانة الزيوت أو صلاحيتها للتزيت هو ما تحتويه على جزيئات قطبية، حيث تتكاثف هذه الجزيئات على السطوح مشكلة "غشاء" صلباً بفضل قطبيتها موجهة ومرتبطة بقوة إلى السطح الفلزي.

إن لهذا الغشاء الصلب القدرة على مقاومة انغراز النتوءات فيه. فهو يمنع لذلك كل اتصال فلزي. ويتأثر هذا الوضع بالحرارة، حيث إن الحرارة تسبب اضطراباً في توجيه الجزيئات وانعكاساً لعملية الامتزاز وانصهار السطوح الفلزية. وعند ارتفاع درجة الحرارة فوق درجة التحول، تصبح المواد المزلفة غير فعالة. وتعتمد جودة تزليق المواد القطبية على عدة عوامل:

1. حرارة الامتزاز. حيث تزداد جودتها مع ازدياد حرارة الامتزاز.
2. الوزن الجزيئي لمادة الامتزاز. فمع زيادته ينخفض عامل الاحتكاك.
3. طول السلسلة في المركبات القطبية. فالمركبات ذات السلاسل القصيرة لا تصلح للتزليق لأن القوى التي تربط الجزيئات الممتزة والمرتبطة على السطوح الفلزية، قوى ضعيفة. فطول السلسلة يزيد من قوى تحمل الزيت، حيث يحافظ على عامل احتكاك منخفض في ظروف لا يتم فيها إبدال الزيت.

وقد وجد أن الطبقات المفردة إذا كانت مؤلفة من مركبات ثقل عدد ذرات الكربون فيها عن أربع عشرة ذرة، فإنها تشكل غشاء سائلاً، أما إذا زادت ذرات الكربون عن ذلك فإنها تشكل غشاء صلباً، وهي قادرة حينذاك على مقاومة انغراز النتوءات. وقد وجد أن التزليق الفعال يرجع إلى دور الطبقة الأولى المتصلة بالفلز، أما الطبقات الأخرى الخارجية فارتباطها بالسطح الفلزي أضعف وقد تزاح أو تطرد عند تعرضها لإجهادات كبيرة. أما تركيز المواد القطبية الممتزة على السطوح الفلزية فيزداد بازدياد تركيز هذه المواد في مائع الأساس إلى حد معين يتعلق بنوعية هذه المواد. ويتم امتزاز المركبات القطبية ذات السلاسل الطويلة بتفاعل تجاذب يتم بين أقطابها وبين ذرات السطوح الفلزية. ولا يتم ذلك نتيجة تفاعل كيميائي.

-الامتزاز الكيميائي (Chemisorption) (Chemical Adsorption): كما رأينا سابقاً أن الزيوت التي تعتمد على الامتزاز الفيزيائي في التزليق لا تصلح لذلك عند ارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي لا بد من اعتماد الامتزاز الكيميائي.

يعتمد هذا النوع من الامتزاز على تشكل روابط كيميائية، حيث تتبادل الجزيئات الممتزة إلى السطوح الفلزية الكهارب مع هذه السطوح. ويتطلب هذا النوع من الامتزاز طاقة تنشيط، وهو تفاعل غير تام الانعكاس، وتبقى الأغشية المشكلة بالامتزاز الكيميائي صالحة للتزييت حتى تبلغ درجات انصهارها.

وأفضل المواد المستخدمة في هذا النمط من التزليق هي الحموض الدسمة، حيث وجد أن امتزاز السطوح الفلزية لهذه الحموض وما ينتج عنه من تشكل الصابون (عن طريق أكسبتها) يفيد في التزليق فائدة كبيرة. ولكي تستطيع زيوت الأساس المحتوية على الحموض الدسمة أن تؤثر في السطوح الفلزية تأثيراً ملحوظاً، لا بد من وجود الأوكسجين والماء والأكاسيد على السطوح الفلزية.

وتزداد جودة التزليق إذا ازداد تركيز المواد الممتزة إلى حد معين وكذلك بازدياد الوزن الجزيئي وطول السلسلة إلى حد معين أيضاً" (حيث لا بد من أن يزيد عدد

ذرات الكربون على طول السلسلة عن عشر ذرات، أما إذا زاد العدد عن ست عشرة ذرة كربون فإن التحسين في جودة التزليق غير ذي أثر). أيضاً يجب التنويه إلى أن الامتزاز الكيميائي لا يصلح في تزليق السطوح المصنوعة من بعض العناصر كالفضة لعدم تأثرها بالحموض الدسمة.

- التفاعل الكيميائي Chemical Reaction: مع ازدياد ارتفاع درجة الحرارة إلى درجة عدم صلاحية الامتزاز الكيميائي، فلا بد عندئذ من اعتماد التفاعل الكيميائي في التزليق، حيث يتم تبادل الكهارب وتشكيل مركبات كيميائية جديدة. وهي عملية غير منعكسة تتطلب طاقة تنشيط كبيرة، وينتج نتيجة ذلك غشاء من مركبات غير عضوية (كبريتيدات Sulfides والكلوريدات Chlorides والفوسفيدات Phosphides) وجميعها أملاح فلزية، وهذا الغشاء أكثر ثباتاً من الغشاء المتشكل بالامتزاز فهو أصلح للاستخدام عند ارتفاع درجة الحرارة، حيث وجد أن المواد المضافة للزيت والتي تسبب التفاعل الكيميائي، لا تؤدي دورها ما لم ترتفع درجة الحرارة ارتفاعاً كافياً بحيث يتم تفكك الإضافات بعض الشيء وتحرر العناصر النشطة منها. ويتم إعداد الإضافات بحيث تناسب كل حالة على حدى في شروط معينة من درجة حرارة وضغط وسرعة انزلاق وطبيعة للفلز.

مما سبق يتبين أن غاية التزليق العشائي تشكيل غشاء موضعي صلب قليل المقاومة للانزياح. وقد تطلّى السطوح المنزلقة مباشرة بمواد التزليق الصلبة كالغرافيت حيث يكون التزليق عشائياً في هذه الحالة أيضاً.

أهم خصائص زيوت التزليق في هذا النمط من التزليق: تركيبها الكيميائي أو طبيعة الإضافات الممتزجة معها.

5-2- وظائف الزيوت Lubricant's Functions:

للزيوت وظائف متنوعة، أهمها:

5-2-1- مقاومة الاحتكاك:

يظهر الاحتكاك في أماكن التماس بين جسمين (أو أكثر) ثابتين أو متحركين واستناداً إلى ذلك يميز احتكاك السكون واحتكاك الحركة. ويكون الاحتكاك خارجياً إذا ظهر على سطوح الجسم، وداخلياً إذا ظهر داخل الجسم تحت تأثير قوى خارجية عندما تقاوم إحدى طبقاته الحركة نسبة إلى الأخرى.

تفسر ظاهرة الاحتكاك بوجود قوى مؤثرة بين الجزيئات المختلفة للجسم، أو قوى التماسك الميكانيكي. يرافق الاحتكاك الخارجي عادة ظهور كمية من الحرارة وقد يحدث تكهرب محلي وتآكل معين بين الأجسام المحتكة.

تحاول ظاهرة الاحتكاك منع الحركة الحرة للأجسام فيما بينها وإبقائها ثابتة وذلك تحت تأثير قوى الاحتكاك التي تظهر في سطوح التماس (الاحتكاك). ولتأمين الحركة الحرة للأجسام المتلامسة تتخذ بعض الإجراءات المعينة لتخفيض تأثير ظاهرة الاحتكاك فيما بينها وبالعكس يمكن زيادة ظاهرة الاحتكاك بين الأجسام لمنعها من الحركة. واستناداً إلى نوعية الحركة، يفرق بين احتكاك الانزلاق واحتكاك التدرج، حيث يظهر النوع الأول عند انزلاق أحد الأجسام على الآخر ويظهر النوع الثاني من الاحتكاك بتدرج أحد الأجسام على سطح جسم آخر وعندما تتساوى الحمولة والسرعة في الحالتين السابقتين يكون الاحتكاك التدرجي أقل ب 10 مرات أو حتى 100 مرة من الاحتكاك الانزلاقي، ولهذا السبب تبذل المحاولات دائماً لتعويض احتكاك الانزلاق باحتكاك التدرج في الماكينات والآليات المختلفة.

ويكون الاحتكاك جافاً، محدوداً أو رطباً ويسمى محدوداً إذا كانت هناك طبقة رقيقة جداً من الزيت تفصل الجسمين المحتكين عن بعضهما (سماكة الطبقة الحدية) وتتعلق متانة هذه الطبقة الحدية بمواصفات السطوح ونوعية الزيت. ويسمى

رطباً" إذا كان الجسمان منفصلين عن بعضهما بكمية كبيرة نسبياً" من الزيت وهناك احتكاك نصف جاف وآخر نصف رطب بحيث يكون الأول حالة وسطية بين الجاف والمحدود والثاني حالة وسطية بين الرطب والمحدود.

عند غياب زيت التزييت بين السطحين المتحاكين، فإن الاحتكاك يصبح كبيراً جداً، ومثل هذا الاحتكاك يجب ألا يسمح به، إذ إنه يسبب ضياعاً كبيراً في الاستطاعة، وما يرافقها من ارتفاع في درجة حرارة أجزاء المحرك وتآكل شديد في سطوحها العاملة. لخفض الاحتكاك الجاف، يتم تشغيل سطوح العمل بدقة، وبالتجليخ وتسوية السطوح.

يؤمن صقل السطوح إمكانية خفض الاحتكاك عند الانزلاق، وهنا نشير إلى تأثير نوع المعالجة للسطوح على نعومتها بالأمثلة التالية:

- ارتفاع البروزات نتيجة الجلخ أو الخراطة يشكل $0.03 \div 0.04 \text{ mm}$ وتنخفض نتيجة عملية الصقل إلى $0.003 \div 0.005 \text{ mm}$ وتنخفض بعد التلميع إلى 0.0001 mm .

- إدخال مواد تزييتية بين السطوح المتحاكاة بالكمية اللازمة، للفصل الكامل بين السطحين، عند حركتهما بالنسبة لبعضهما بعضاً، يؤدي إلى جعل عمل المحرك طبيعياً ويطيل عمر خدمته. وينخفض ضياع الطاقة اللازمة للتغلب على قوى الاحتكاك، في هذه الحالة بنسبة 90% وأكثر، مقارنة بالاحتكاك الجاف. وتستبعد بشكل نهائي تقريباً عمليات التآكل وتسخين أجزاء المحرك.

- تبرهن نظرية التزييت الهيدروليكية، على إمكانية الحصول على احتكاك سائلي بين السطوح المتحركة بالنسبة لبعضها بعضاً، اعتماداً على قدرة الحمل لدى طبقة الزيت، الناشئة نتيجة الضغط الهيدروليكي للخلوص الزيتي الإسفيني. (وبحسب النظرية الهيدروليكية فإن الخاصية الأكثر

أهمية للمادة الزيتية، تعد اللزوجة والقدرة التزييتية، أي قدرة الزيت على تشكيل طبقة زيتية مستقرة نسبياً على السطوح العاملة).

لزوجة الزيت هي المقدار الأكثر أهمية، عند الحسابات الهيدروليكية. وتعبير اللزوجة يفهم منه خاصية السائل لمقاومة انزياح جزيئاته، تحت تأثير القوى الخارجية. لنفرض أنه في كتلة من السائل جعلنا طبقة من السائل مساحتها $1 m^2$ ، تتحرك بالنسبة إلى طبقة مماثلة سفلية، متوضعة على بعد $1 m$ من الطبقة العلوية بسرعة $1 m/sec$. في هذه الحالة يعبر عن القوة الضرورية للتغلب على المقاومة المرتبطة بهذا الانزياح، بـ $kg/sec.m$ وهي ما يسمى باللزوجة المطلقة لهذا السائل. ويمكن حساب مقدار اللزوجة المطلقة من سرعة سيلان السائل من جهاز (ابيلود - هولد) حسب علاقة بوازيل، الفقرة (3-4-3):

$$\eta = \frac{\pi \rho r^4}{8 l V}$$

- الاحتكاك الجاف: تعد خشونة الأجسام سببا من أهم أسباب ظهور الاحتكاك الجاف وعندما يتحرك أحد الأجسام نسبة إلى الآخر تتآكل النتوءات البارزة من على السطحين وترتفع درجة حرارتها وتصبح أكثر نعومة وعندما تنعدم الحركة تتداخل نتوءات السطوح فيما بينها عند حدوث أي ضغط خارجي وكلما كانت السطوح معالجة ميكانيكياً بشكل أفضل انخفضت إبعاد هذه النتوءات وانخفضت درجة مقاومة الحركة تبعاً لذلك.

واستناداً إلى ذلك يمكننا القول إن ظاهرة الاحتكاك يمكن أن تنعدم إذا كانت سطوح الأجسام مثالية ولكن هذا لا يمكن حدوثه عملياً ويرجع ذلك إلى وجود القوى المؤثرة بين جزيئات المادة إضافة إلى الأسباب المختلفة الأخرى.

ولهذا السبب يمكننا التأكد أن للاحتكاك الجاف وجوداً دائماً بين الأجسام المتلامسة مهما كانت درجة نعومة سطوحها ويكون سبب الاحتكاك عندئذ إما تماسك نتوءات السطوح أو تماسك جزيئات السطوح المتلاصقة وفي كلتا الحالتين

يلزمنا صرف عمل ما للتغلب على قوى التماسك هذه بحيث يجب أن يكون اتجاه القوة المنتجة للعمل مخالفاً لاتجاه قوى الاحتكاك.

تحسب قوى الاحتكاك استناداً إلى ما يسمى معامل الاحتكاك والذي يساوي نسبة قوة الاحتكاك إلى قوة الحمولة (قوة ضغط أحد الأجسام إلى الآخر) وإذا كانت الحمولة مخالفة للاتجاه العمودي على مستوى الحركة الشكل (5-1) نستخدم مركبتها العمودية فقط وبذلك يكون:

$$f = \frac{F}{N}$$

حيث:

f - معامل الاحتكاك الجاف.

F - قوة الاحتكاك الجاف Kg_f

N - قوة الضغط العمودية على سطح الاحتكاك Kg_f

وبمعرفة N و f يمكن حساب قوة الاحتكاك كما يلي:

$$F = f.N$$

$$F = W.SIN \theta$$

$$N = W.COS \theta$$

$$f = F / N = TAN \theta$$

شكل (5-1)

تتعلق قيمة معامل الاحتكاك الانزلاقي بمادة السطح ودرجة نعومته وبأبعاد السطوح من جهة وبسرعة حركة الأجسام من جهة أخرى.

تتراوح قيمة معامل الاحتكاك f للمعادن بين 0.1 - 0.5 وكلما انخفضت قيمته كانت سطوح الأجسام معالجة بشكل أفضل وتتنخفض قيمة f بازدياد سرعة الحركة وتزداد بازدياد الضغط النوعي على الجسم.

كما يجب أن ننوه إلى أن قوى الاحتكاك اللازمة لبدء الانزلاق تكون عادة أكبر من تلك المطلوبة للحفاظ على وضعية الانزلاق، وهذا ما أعطى فكرة وجود معاملي احتكاك، ستاتيكي Static (للسطوح أثناء الراحة) وحركي Kinetic (للسطوح أثناء الحركة). عادة ما يوضع هذان المعاملان في الجداول على شكل منفصل.

أما معامل الاحتكاك التدرجي فيعد قيمة خطية تقاس بوحدة قياس الأطوال (متراً، سم، مم).

- الاحتكاك الرطب: يسمى الاحتكاك رطباً عندما تكون الأجسام المحتكة منفصلة عن بعضها بطبقة من الزيت سماكتها أعلى من نتوءات سطوح الاحتكاك، ونتيجة لذلك تنخفض الاستطاعة المهدورة للتغلب على الاحتكاك بدرجة كبيرة (90% أو أكثر بالمقارنة مع الاحتكاك الجاف). وتنخفض عملية تآكل السطح وعملية التسخين أيضاً، حيث ترتفع جودة عمل الآليات والماكينات.

وتعدّ اللزوجة هي الخاصية الأهم من خصائص الزيوت في هذه الحالة، لما لها من أثر على سماكة الغشاء المانع والطاقة الضائعة.

تحسب قوة الاحتكاك الرطب كما يلي:

$$F_f = \frac{\eta \cdot v \cdot Q}{h}$$

حيث:

F_f - قوة الاحتكاك الرطب N .

η - اللزوجة التحريكية للزيت $N.s/M^2$

v - السرعة النسبية للحركة M/s

Q - مساحة سطح الاحتكاك M^2

h - سماكة طبقة الزيت M

أي أن الاحتكاك الرطب يتعلق مباشرة بخواص الزيت الفاصل بين الأجسام المحتكة وليس بمادة الأجسام ذاتها.

يمكن التعرف على الاحتكاك الرطب من خلال الاحتكاك الموجود بين المضجع والمحور حيث يتكون فراغ بين سطوح التماس بينهما، ويكون هذا الفراغ ضئيلاً في أماكن الضغط العالية وأكبر في الأماكن الأخرى. وعند انعدام الحركة يستند المحور إلى المضجع مباشرة ، وعندما يدخل الزيت في الفراغ تتكون طبقة رقيقة منه تفصل الجسمين عن بعضهما.

في بداية الدوران يعمل المحور كمضخة حيث تتجمع كمية من الزيت المضغوط في الفراغ الضئيل، وبزيادة سرعة الدوران تزداد كمية الزيت في أماكن الحمولة الكبرى (الفراغ الضئيل) ويزداد بالتالي ضغط الزيت هناك ويزداد الفراغ نتيجة لذلك ويمتلئ بطبقة من الزيت تمنع التماس المباشر بين سطحي الاحتكاك وابتداءً من هذه اللحظة يبدأ ما يسمى الاحتكاك الرطب.

عندما تنخفض سرعة الدوران أو عندما يفقد جزء من الزيت وتصبح كميته غير كافية يتحول الاحتكاك الرطب إلى نصف رطب ومن ثم إلى احتكاك محدود (حدي).

- قياس معامل الاحتكاك الرطب: يمكن حساب معامل الاحتكاك الرطب كما في حالة الاحتكاك الجاف وذلك من العلاقة التالية:

$$\mu = \frac{F_t}{P}$$

حيث:

F_t - قوة الاحتكاك.

P - الحمولة على السطوح المحتكة.

وبتعويض F_t بما تساويه نحصل على:

$$\mu = \frac{\eta \cdot v \cdot Q}{h \cdot P}$$

وبالتعويض عن الحمولة بقيمة الضغط النوعي الوسطي $P_t = \frac{P}{Q}$ يكون:

$$\mu = \frac{\eta \cdot v}{h \cdot P_t}$$

أي أن معامل الاحتكاك الرطب يتناسب طرذاً مع اللزوجة والسرعة النسبية للأجسام المحتكة وعكساً مع سماكة طبقة الزيت والضغط النوعي الوسطي.

تساوي قيمة معامل الاحتكاك الرطب أقل بـ 10 مرات من معامل الاحتكاك الجاف عند الشروط نفسها (السرعة، الحركة) ويساوي عادة من (0.001-0.01).

وإن تخفيض مقدار اللزوجة قد يؤدي إلى خروج الزيت من الفراغ الموجود فيه، ويتحول الاحتكاك من رطب إلى حدي وتزداد درجة الحرارة ودرجة التآكل وهذا ما لا يسمح به. كما أن زيادة اللزوجة تؤدي إلى فقدان كبير بالاستطاعة، ولهذا السبب يجب عند تصميم الآليات الاهتمام باختيار الزيوت المناسبة.

تحسب سماكة طبقة الزيت الصغرى اللازمة كما يلي:

$$h = \frac{3.84}{d} \cdot \frac{P_t \cdot \eta}{\eta \cdot \omega}$$

حيث:

d - القطر M .

η - اللزوجة التحريكية للزيت $Kgf.S/M^2$ أو $N.S/M^2$.

ω - السرعة الزاوية للمحور Rad/S .

P_f - الضغط النوعي الوسطي Kgf/M^2 .

$1/\eta$ - الفراغ النسبي (نسبة الفراغ القطري إلى القطر).

لكن ظروف التزليق المائع لن تستمر بشكل دائم وإنما يحدث أن تقترب النتوءات السطحية للأجزاء المتحركة فتؤثر في عامل الاحتكاك. هنا تدخل عدة عوامل غير لزوجة الزيت كعوامل مؤثرة في مقاومة الاحتكاك مثل المواد القطبية المضافة إلى موائع الأساس كالشحوم والحموض الدسمة، وتعرف هذه الحالة بالتزليق المختلط *Mixed Lubrication*. ومع اقتراب ذرات الفلز من بعضها بعضاً يقترب التزليق من النوع الغشائي وتزداد جودة التزليق مع زيادة الشوائب السطحية الموجودة في الزيت.

سوف نضرب مثلاً على تراوح التزليق بين الغشائي والمائع، مثلاً تزليق محامل مقعد العمود *Journal Bearing*. ففي هذه الحالة يفصل الغشاء الزيتي السطحين الفلزين ويمنع على رفته كل اتصال بينهما. ويتعلق عامل الاحتكاك هنا بلزوجة الزيت وسرعة الدوران. ويبدو المقعد كما لو أنه يطفو في الزيت. لكن مع توقف العمود عن الدوران، يبدأ مقعده بالغوص ضمن الزيت ويطرده من مكانه بحيث يتلامس السطحان المعدنيان. ومع عودة العمود للدوران، فإنه لن يسحب الكمية الكافية من الزيت لفصل السطحين عن بعضهما بعضاً وتكون قوة الاحتكاك مستقلة عن لزوجة الزيت وتتعلق بالحمولة وبخاصية الدهانة في الزيت، أي يصبح التزليق غشائياً. يترافق التزليق الغشائي دوماً مع حدوث شيء من الاحتكاك مما يؤدي إلى تسخين السطوح والاضرار بها مع إضاعة للطاقة. لذلك مما سبق

نلاحظ أن التزليق الغشائي ليس مرغوباً به دوماً وإنما يلجأ إليه فقط في حالة عدم التمكن من الحصول على التزليق المائع وذلك للتقليل قدر الإمكان من أضرار الاحتكاك الجاف.

5-2-2- مقاومة التآكل والبري:

البري هو كل انخفاض من مادة السطوح ينتج عن حركة نسبية بينها. ويتلخص دور المواد المزلفة في مقاومة التآكل على الشكل التالي:

عندما تترك الأجهزة عاطلة عن العمل، تقوم مواد التزليق بوقاية هذه الأجهزة. أما عند عودة الأجهزة للعمل تقوم مواد التزليق بتشكيل غشاء واق يغطي السطوح ويبطل أثر المواد المسببة للتآكل. وتتعلق قدرة زيوت التزليق على مقاومة التآكل بشكل مباشر بسماكة غشاء التزليق المتبقي على السطوح المعدنية وبالتركيب الكيميائي لمواد التزليق.

5-2-3- ضبط درجة الحرارة:

تنتج الحرارة في أماكن الاحتكاك نتيجة صرف طاقة للتغلب على قوة الاحتكاك، وبالتالي يقوم التزليق المائع، الذي يقلل من الطاقة المصروفة، بخفض درجة حرارة القطع المتحركة.

من أهم خصائص الزيوت في هذه الحالة هي قدرتها على امتصاص الحرارة ونقلها، وذلك حتى لا تزداد حرارة السطوح الفلزية عن درجة حرارة انصهارها.

لكن من المعروف أن زيوت التزليق ليست نواقل جيدة للحرارة، فهي بالقياس بالماء لا تشكل حرارتها النوعية أكثر من 35-50% من حرارة الماء النوعية، كما أن ناقليتها للحرارة لا تزيد عن ربع ناقلية الماء، لذلك فقد استخدم الماء في التبريد بدلاً من الزيت، وعليه فإن الزيوت تقوم بضبط درجة الحرارة عن طريق التقليل قدر الإمكان من الاحتكاك ونقل الحرارة المتولدة أثناء التشغيل. أهم

العوامل التي تؤثر في هذه الخاصية هي كمية الزيت المتوفرة ودرجة الحرارة المحيطة. أما طبيعة الزيت المستخدمة فأهميتها أقل.

5-2-4- العزل الكهربائي:

وتستخدم هذه الخاصية عند استخدام الزيت في الأجهزة الكهربائية خاصة (المحولات). وأهم خصائص الزيوت عندئذ هي مقاومتها الكهربائية المرتفعة ومتانة عزلها Dielectric Strength المرتفعة، ولزوجتها المنخفضة ودرجة وميضها المرتفعة، وخمولها كيميائياً نحو المواد الفلزية العازلة، وخلوها من الرواسب المائية والشوائب، وثباتها كيميائياً في درجات الحرارة الموضعية المرتفعة.

ولابد للزيوت أن تكون خالية من الماء ومن الإضافات التي قد تشكل محاليل متشردة عند تفاعلها مع كميات قليلة من الماء، وذلك كي يتحقق أفضل عزل مطلوب.

5-2-5- نقل القدرة:

تزداد الحاجة يوماً بعد يوم إلى زيوت قادرة على نقل القدرة. ولابد للزيوت المستخدمة لهذا الغرض من أن تقوم بنقل القدرة بالإضافة إلى تزييت القطع المتحركة في المنظومة. كما تقوم بحماية القطع المعدنية من التآكل ويفضل هنا استخدام الموائع ذات الانضغاطية القليلة (وذلك كما في المكابس الهيدروليكية).

5-2-6- تبديد الصدمات:

تقوم الزيوت بهذا العمل بطريقتين:

إحدهما نقل الطاقة الميكانيكية إلى المائع، كما في أجهزة تبديد الصدمات في السيارات، وفي هذه الحالة فإن ارتجاج جسم السيارة يسبب تردد المكبس في أسطوانة مغلقة مملوءة بالمائع بحيث ينتقل المائع بين جانبي المكبس خلال ثقب

فيه فتتبدد بذلك الطاقة الميكانيكية على شكل احتكاك مع المائع. ولا بد للمائع من أن يكون ذا لزوجة معينة ليقوم بدوره كما أن لزوجته يجب ألا تتغير مع تغير درجة الحرارة. لذلك تستخدم زيوت ذات أدلة لزوجة مرتفعة.

أما الطريقة الأخرى فتعتمد على تغير اللزوجة مع الضغط في تبديد الصدمات، حيث تتضاعف اللزوجة أضعافاً مضاعفة تحت تأثير الضغط. وحيث إن عدداً من الأجهزة الميكانيكية تتحمل أعباء كبيرة تنتج ضغوطاً مرتفعة، فإن هذه الضغوط تسبب في زيادة لزوجة الزيت المحصور فيها، وهذا يفيد في امتصاص هذه الزيوت لطاقة الصدمات وتبديدها.

5-2-7- إزالة الشوائب:

قد يطلب من المزلقات أحياناً إزالة الشوائب. وتصلح لذلك شحوم التزليق عندما تضاف بكميات فائضة.

5-2-8- تشكيل غشاء مانع للتسرب:

حيث تقوم الزيوت بتشكيل غشاء مانع للتسرب، كما يحدث في حالة احتكاك مكابس السيارات ضمن أسطواناتها حيث يقوم الزيت بتشكيل طبقة تمنع غازات الأفلات من التسرب إلى غرفة المرافق بالإضافة إلى المحافظة على الضغط داخل حجرة الاحتراق.

5-3- خواص الزيوت Properties of Lubricants:

إن الهدف الأساسي من استعمال الزيوت البترولية هو خفض الاحتكاك بين السطوح الصلبة للأجزاء المتحركة في مختلف الآليات، وبالتالي الحيلولة دون تلف هذه الأجزاء. حيث يتحول الاحتكاك الجاف بين السطوح المعدنية عند التزييت إلى الاحتكاك بين طبقات السائل اللزج. والمعلوم أن قوة التماسك المتبادل بين جزيئات الزيت ومادة السطح المزييت أكبر من قوة التماسك المتبادل بين جزيئات الزيت نفسه. ولهذا تتكون على سطح الفلز طبقة متينة من التزييت تمنع حدوث

الاحتكاك الجاف. وبما أن معامل الاحتكاك بين طبقات مادة التزييت أصغر بعشرات المرات من معامل الاحتكاك الجاف لذا تقل كثيراً الطاقة اللازمة للتغلب على قوى الاحتكاك أثناء استعمال مادة التزييت.

إن المواصفات الاستهلاكية الأساسية لمواد التزييت البترولية هي اللزوجة، والعلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة، والحركية عند درجات الحرارة المنخفضة، والمقاومة للأكسدة.

5-3-1- اللزوجة Viscosity:

وهي أهم خاصية فيزيائية لزيت التزييت وهي بالتعريف المقاومة الداخلية للسائل لمنع انزلاق طبقاته فوق بعضها بعضاً، أو هي مقياس لمدى مقاومة المائع لقوى القص.

ولقد افترض نيوتن أن قوى المقاومة المحمولة على واحدة السطح (إجهادات القص) والتي تظهر نتيجة انزلاق الطبقات فوق بعضها بعضاً، متناسبة طردياً مع سطح الطبقات المتماسة وسرعة الانزلاق (التشوه الزاوي). فإذا عدنا سطح الانزلاق يساوي الواحد، يكون لدينا العلاقة التالية:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

حيث:

τ - إجهادات القص (قوى المقاومة محمولة على واحدة السطح).

μ - معامل اللزوجة (اللزوجة المطلقة).

F - قوة الاحتكاك.

$\frac{du}{dy}$ - التشوه الزاوي (تغير السعة في الاتجاه العمودي على اتجاه السرعة).

$$du = u \frac{dy}{h}$$

$$\Rightarrow F = \mu A \frac{u}{h}$$

h - المسافة بين السطحين.

بالنسبة للوحدات:

في الجملة السغنية:

$$\mu = \frac{F / A}{u / h} = \frac{\text{dyn} / \text{cm}^2}{(\text{cm} / \text{s}) / \text{cm}} = \frac{\text{dyn.s}}{\text{cm}^2} = \text{Poise}$$

أما في الجملة الدولية:

$$1.N = 1. \frac{\text{kg.m}}{\text{S}^2} \parallel \Rightarrow 1.N = 10^5 \text{ dyn.}$$

$$1.\text{dyn} = 1. \frac{\text{g.cm}}{\text{S}^2} \parallel \Rightarrow 1. \frac{\text{N.s}}{\text{m}^2} = 10.\text{Poise.}$$

يمكن تحديد اللزوجة بعدة طرق. من هذه الطرق تحديد العزم اللازم لتدوير

قرص مغمور في الزيت ومن ثم تعيين اللزوجة بتطبيق العلاقة:

$$\mu = A.\theta$$

حيث:

A - مقدار ثابت يتعلق بأبعاد الجهاز وبسرعة الدوران النسبية بين القرص والأسطوانة الثابتة المحيطة به.

θ - زاوية فتل القرص.

يستخدم هذا الجهاز لقياس لزوجة الزيوت اللزجة جداً. كما تستخدم أجهزة أخرى تعتمد على مبدأ الانسياب الصفحي خلال أنبوب شعري. وتتلخص عملية تحديد اللزوجة إلى قياس الزمن الذي يتم خلاله انسياب حجم معين تحت تأثير ثقله الذاتي وعند درجة حرارة معينة. لكن هذه الأجهزة لم تنتشر كثيراً بسبب التعقيدات الجزئية الضرورية لها، لذلك تم التحول إلى أجهزة أكثر بساطة حيث تستخدم فتحة لقياس اللزوجة. حيث إن الفتحة تحتاج إلى وقت أقل لإجراء التجربة لعدم حاجتها إلى الدقة المطلوبة عند الأنابيب الشعرية.

يوجد عدة أجهزة لقياس اللزوجة حسب المبدأ السابق هي: إنكلر وسيبولت وريدوود (Redwood Saybolt Engler) وهي جميعها تعمل وفق مبدأ واحد ولا تختلف إلا في تحديد الكمية الواجب انسيابها وأبعاد الفوهة المعيارية.

هذا وقد لوحظ أن اللزوجة الظاهرية يمكن أن تتأثر بكثافة السائل، لذلك وبهدف الإبقاء على اللزوجة مستقلة عن الكثافة أوجد مفهوم اللزوجة الكينماتيكية (الحركية) وهي حاصل قسمة اللزوجة المطلقة على الكثافة الكتلية:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{(N.s)/m^2}{kg/m^3} = \frac{(kg.m/s^2)(s/m^2)}{kg/m^3} = \frac{m^2}{s}$$

في الجملة السغئية:

$$stokes = \frac{cm^2}{s}$$

وتستخدم عادة واحدة السنتي ستوكس كواحدة لقياس اللزوجة:

$$C.stokes = \frac{mm^2}{s}$$

من أجل تعيين اللزوجة يوجد جداول خاصة يمكن بواسطتها إيجاد قيمة اللزوجة مباشرة بالنسبة لجهازي السيبولت وريدوود (طبعاً تبعاً لزمن انسياب عينة الزيت ضمن الجهازين السابقين) أما بالنسبة لجهاز إنكلر فتحسب اللزوجة أولاً بدرجات إنكلر والتي هي عبارة عن حاصل قسمة الزمن المقاس للعينة على الزمن المنقضي لانسياب 200 سم³ من الماء المقطر عند درجة الحرارة °C 20 والتي تكون عادة بحدود 50-52 ثانية.

هذا وتزداد لزوجة الأجزاء الزيتية المحضرة من نوع واحد من البترول كلما ارتفعت درجتي بداية ونهاية غليان هذه الأجزاء. وقد تختلف اللزوجة عند الأجزاء ذات الحدود المتساوية للتقطير والمحضرة من أنواع مختلفة من النفط أو حتى من نوع واحد لكن تنقيتها تمت بطرائق مختلفة. وتتعلق اللزوجة بالتركيب الهيدروكربوني للأجزاء الزيتية وهذا بدوره يتعين بالتركيب الكيميائي للبترول وطريقة فصل المكونات غير المرغوب بها (أي النفايات). حيث تنخفض لزوجة الزيت كلما مالت المركبات إلى كونها سلاسل برفينية طويلة وقل عدد الحلقات فيها. إذ تبلغ لزوجة البرافينات $C_{20} \div C_{25}$ في الدرجة °C 50 حوالي 7-9 سنتي ستوكس، ويؤدي فصل البرافينات من الأجزاء الزيتية إلى زيادة لزوجة الزيت.

أما المركبات العطرية متعددة الحلقات فهي ذات لزوجة مرتفعة في الدرجات المنخفضة من الحرارة.

5-3-2- علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة (دليل اللزوجة Viscosity Index):

تلعب هذه العلاقة دوراً مهماً عند الزيوت التي تستعمل في مجال واسع من درجات الحرارة وبخاصة زيوت المحركات، فالمفروض ألا تزيد اللزوجة بحدّة عند انخفاض درجة الحرارة. وهذا يعني أن منحني علاقة اللزوجة بدرجة الحرارة يجب أن يكون معتدلاً في انحنائه ما أمكن.

وللتعبير عن العلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة يستعان بدليين هما معامل اللزوجة ودليل اللزوجة. ويعرف معامل اللزوجة على أنه النسبة بين قيمتي اللزوجة الحركية للزيت المدروس في درجتَي الحرارة $^{\circ}C (100 \div 50)$ أو عند أية درجتين توافقان القيمتين الحديتين لمجال درجات الحرارة التي سوف يعمل عندها الزيت قيد الدراسة. هذا ولا يعكس معامل اللزوجة كلياً سير منحني تغير لزوجة الزيت تبعاً لدرجة الحرارة، ولهذا لم يحظ بانتشار واسع، والطريقة المتبعة الآن هي في الاستعانة بدليل اللزوجة الذي اقترحه دين وديفيس. ويتعين دليل اللزوجة بمقارنة لزوجة الزيت المدروس مع لزوجة زيوت قياسية حسب العلاقة التالية:

$$VI = \frac{L - X}{L - H} \cdot 100$$

حيث L - اللزوجة الحركية لزيت رديء من بترول أسفلاتي راتنجي اتفق على اعتباره دليل لزوجة الزيوت المحضرة منه مساوية للصفر عند درجة الحرارة $37.8^{\circ}C (100^{\circ}F)$ ويتميز بأن لزوجته عند الدرجة $210^{\circ}F$ مساوية للزوجة الزيت المجهول.

H - اللزوجة الحركية لزيت عالي الجودة من بترول برافيني اتفق على اعتباره دليل لزوجة الزيوت المحضرة منه مساوية المئة عند درجة الحرارة $(100^{\circ}F)$ ويميز بأن لزوجته عند الدرجة 210 فهرنهايت مساوية للزوجة الزيت المجهول.

X - اللزوجة الحركية للزيت المجهول عند درجة الحرارة $(100^{\circ}F)$.

هذا وقد وجد أن دليل اللزوجة يتحسن كلما مالت هذه المركبات إلى كونها سلاسل برافينية طويلة وقل عدد الحلقات فيها، فالشمع البرافيني ذو دليل لزوجة مرتفع وكذلك المركبات العطرية المفردة الحلقات، أما المركبات النفثينية متعددة الحلقات فهي ذات دليل لزوجة منخفض.

وللحصول على زيوت جيدة في هذا المجال ينبغي أن تفصل من الأجزاء الزيتية أكبر كمية ممكنة من المواد الراتنجية والأسفلتية وأن تستخلص منها جزئياً

المركبات العطرية متعددة الحلقات. والمواد الراتنجية: هي مركبات حلقية ملتصقة ذات سلاسل برفينية جانبية وذات أوزان جزيئية عالية ووزن نوعي يبلغ حوالي $0.99 \div 1.08$ كغ/ل. تدخل عادة الشوائب غير الهيدروكربونية (كالنتروجين والكبريت والأوكسجين) في تركيب المواد الراتنجية، وهذه المواد إذا بقيت في زيوت التزليق سوف تترسب على السطوح الحارة وتؤدي إلى تعطيل حركة هذه السطوح ويريها بالاحتكاك. من خصائص المواد الراتنجية أنها: تخفض من دليل اللزوجة، ومن ناحية أخرى فإن وجودها في الزيت بنسب بسيطة يعيق من تبلور الجزيئات الهيدروكربونية ويخفض من نقطة الانصباب كما يحسن من مقاومة الزيت للأكسدة.

5-3-3- نقطتي الضباب والانصباب Cloud & Pour Points:

تعرف نقطة الضباب بأنها درجة الحرارة التي تبدأ عندها البلورات الشمعية بالظهور مشكلة سحابة في كتلة الزيت وفي أسفل الأنبوب الذي يتم تبريده ضمن شروط معينة. أما نقطة الانصباب فهي أدنى درجة حرارة يلاحظ عندها توقف الزيت عن الجريان لدى تبريده في شروط معينة وذلك عند بقاء الأنبوب الحاوي على الزيت في الوضعية الأفقية لمدة خمس ثواني.

تعدّ درجة الانصباب الدليل الضابط لحركية الزيوت في درجات الحرارة المنخفضة.

5-3-4- الثبات الكيميائي بالنسبة لأكسجين الهواء Chemical Stability:

تعدّ مقاومة الزيت للأكسدة من أهم المواصفات الخاصة بالزيوت التي تضخ مرات عديدة خلال مناطق الاحتكاك في العنفات والضواغط والمحركات وغيرها.

وقد ثبت أن النواتج الكلية لأكسدة الهيدروكربونات هي الهيدروبيروكسيدات التي تتفكك وتتحول إلى مركبات أكسجينية أخرى. إن تراكم هذه المركبات في الزيت يؤثر تأثيراً ضاراً على خواصه الاستثنائية.

إن أفضل المركبات الهيدروكربونية استقراراً هي البرافينات والعطريات والهيدروكربونات الهجينة ذات السلاسل الفرعية الطويلة، وأسوأها الأوليفينات. ويستدل على مقاومة الزيت للأكسدة من خلال اختباري رقم الحموضة الكلي ورقم القلوية الكلي وهما:

- رقم الحموضة الكلي (Total acid number(TAN): وهو مؤشر على كمية المركبات الحمضية الموجودة في الزيت والتي تؤثر سلباً على وظائفه وتحوله إلى عنصر يزيد من اهتراء وتآكل أجزاء المحرك، ويتم الاستدلال على صلاحية الزيت المستخدم من خلال حسابه مخبرياً بعدد المليغرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لمعادلة كل المركبات الحمضية الموجودة لكل غرام واحد من عينة الزيت.

- رقم القلوية(القاعدي) الكلي (Total base number(TBN): يمثل قدرة الزيت على معادلة المركبات الحامضية الناتجة عن تسرب غازات الاحتراق، وترتفع قدرة الزيت على معادلة الحموض بارتفاعه. يفيد في تقدير نسبة الإضافات في الزيت وقدرتها على تحقيق أدائه، وانخفاضه مؤشر على تأكسد الزيت وانخفاض فاعليته لمقاومة الاهتراء، يحسب رقم القلوية الكلي مخبرياً بعدد المليغرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم المكافئة لكمية الحمض اللازمة لمعادلة كل مركبات الأسس الموجودة لكل غرام واحد من العينة.

5-3-5- اختبار نواك للتطاير Noack volatility test:

يحدد الخسارة أو الضياع بالتبخر للزيت في درجات الحرارة العالية عند الخدمة، فكلما زاد تبخر زيت المحرك يصبح سميكا" وثقيلاً" وهذا يؤدي إلى ضعف في تدفق الزيت واستهلاك أكبر له وللوقود واهتراء لأجزاء المحرك وتلوث أكثر للبيئة. إن التطاير المنخفض للزيت مهم لأنه يكسب الزيت حماية وأداء عاليين خلال فترة استخدامه في المحرك عند درجات الحرارة العالية جداً، والحد الأقصى المسموح به لخسارة التبخر هي 15%.

5-3-6- الزيتية Oiliness:

تظهر أهمية هذه الخاصية عند ظروف التزييت الحدي حيث يكون الغشاء الزيتي الذي يفصل بين الجسمين المتحاكين متناهيًا في الصغر. نعبر عن الزيتية بقدرة الزيت على تكوين غشاء زيتي قوي وسميك على سطح قاس، وتتعلق الزيتية بعاملين: نوع الزيت ونوع السطح الذي يلتصق به الغشاء الزيتي. وهذه الخاصية تفسر لماذا تختلف قوى الاحتكاك عند وضع نوعين من الزيت لهما للزوج نفسها ويعملان تحت الظروف نفسها من درجات الحرارة والضغط في المسند نفسه. وهناك خواص أخرى للزيوت نذكر منها: الوزن النوعي، نقطة الوميض، مقاومة تكون الرغوة، مقاومة الضغط العالي، وغيرها.

5-4- تصنيع زيوت التزييت Manufacturing lubrication oils:

يتم الحصول على زيوت التزييت من النفط، وشيد أول مصنع لإنتاج الزيوت في سبعينيات القرن التاسع عشر، وإن الخام اللازم للحصول على الزيت هو بقايا النفط كالفيول الثقيل، والذي نحصل عليه بعد تقطير النفط. تجري عملية تقطير الفيول للحصول على الزيوت الصناعية الخفيفة، ويتم الحصول على زيوت المحركات والمركبات من المكونات التي يكون تبخرها عند

درجات حرارة عالية. وتجري عمليات تنظيف ومعالجات إضافية للحصول على الزيوت القابلة للاستعمال، كما يتم الحصول على الزيوت الممزوجة بإضافة الشحوم وبعض الزيوت النباتية إلى الزيوت المقطرة وذلك حسب الغاية المطلوبة للزيت.

إن المركبات الأساسية الموجودة في الفيوول هي الهيدروكربونات ذات الجزيئات الكبيرة والوزن الجزيئي الكبير والتي تملك بنية معقدة. والبارافينات والنفثانات والعطريات هي المجموعات الأساسية الداخلة في تركيب زيوت التزيت، وتدخل النفثانات والعطريات بشكل أكبر بينما تدخل البارافينات بنسبة أقل مما في الوقود، حيث يجعل وجود البارافينات بحالة سائلة تركيب الوقود أقل لزوجة. الهيتاديكان $C_{17}H_{36}$ والبرافينات ذوات العدد الأكبر من الذرات والتي توجد عادة بحالة جامدة توجد في الزيوت بشكل سائل، بعض النفثانات تملك درجة حرارة ذوبان منخفضة وبعضها الآخر درجة حرارة ذوبانها عالية نسبياً، مما يؤثر على المواصفات الحرارية للزيوت.

عند دراسة التركيب الكيميائي للنفط والمنتجات النفطية يلاحظ أنه بالإضافة إلى الهيدروكربونات، يوجد فيها الحموض والمركبات الأوكسجينية الخاصة والحموض العضوية ومركبات قارية وأسفلتية وأملاح موازية. بعض هذه المركبات تنتقل إلى الفيوول خلال عملية التقطير، لذلك يجب تنقية الزيت من تلك الشوائب.

5-4-1- إنتاج زيوت الأساس:

إن المرحلة الأولى في إنتاج زيوت التزليق هي إنتاج زيوت الأساس من النفط. وزيوت الأساس عبارة عن مواد غير قطبية لا تصلح للتزليق إلا بعد إضافة الإضافات المناسبة لها لتحسين لزوجتها (من أجل التزليق المائع) وتوفير الإضافات القطبية المناسبة لها (من أجل التزليق الغشائي).

وتتلخص عملية إنتاج زيوت الأساس في مرحلتين أساسيتين:

1. مرحلة إنتاج زيت التزليق الخام.

2. مرحلة معالجة زيت التزليق الخام.

5-4-1-1- إنتاج زيت التزليق الخام:

إن المادة الخام المستخدمة لإنتاج الزيوت هي المصنفة سابقاً باسم البقايا (المواد النفطية المتبقية عن عملية تكرير النفط). وهي المخلفات التي تلي أنواع الوقود (ذات درجات غليان أكبر من 340°C) في عمود التقطير. حيث يتم تقطير هذه المخلفات بعد الحصول عليها في أبراج التقطير الفراغية Vacuum Distillation للحصول على زيت التزليق الخام، (وذلك لأن الاستمرار في رفع درجة الحرارة قد يؤدي إلى تفكيك البقايا، لذلك يتم الغليان في هذه الأبراج عند درجات حرارة معتدلة وذلك بخفض الضغط).

يظهر على الشكل (5-2) مخطط عمل محطة تخلصية، تستخدم كثيراً لاستخراج الزيوت. تتألف المحطة من فرن أنبوبي 8 ، تسخن فيه المادة الخام، ومبخر 7، تتم فيه عملية التبخر وعمود التقطير الذي تفصل فيه الأبخرة والقطرات الزيتية، وتحتوي المحطة أيضاً على جملة مبادلات حرارية (2،3،5) وأجهزة تبريد (4) ومجموعة مضخات (1،6) وغيرها.



الشكل (5-2)

نحصل من هذه المحطة على مواد زيتية يمكن استخدامها في بعض الآلات، أما للحصول على الزيوت الجيدة فيلزم إجراء عمليات تنقية إضافية، بهدف التخلص من المواد الأسفلتية والحموض النفطية والمركبات الكبريتية وغيرها. يبين الشكل (5-3) رسماً تخطيطياً لمصفاة تكرير زيوت نموذجية. يستخدم زيت الغاز الثقيل Heavy Gas Oil كمادة أولية (مأخوذة من النفط الخام)، حيث يتم فرزها في وحدة التقطير الفراغية إلى مجموعات من الزيوت المتباينة بحسب لزوجتها

(توضح الأرقام قيمة اللزوجة بحسب سلم سيبولت العالمي بالثنائي SUS عند درجة الحرارة (40 ° م). أما البقايا من النفط الخام فتحرر إلى وحدة إزالة الأسفلت DE asphaltting حيث تصنف النواتج إلى خفيفة وثقيلة وأسفلت.

5-4-1-2- معالجة زيت التزليق الخام:

يتعرض كل صنف من الأصناف الناتجة عن عملية تقطير الزيت الخام في وحدات التقطير الفراغية كل على حدى إلى مجموعات المعالجة التالية، الشكل(5-3):

1- الاستخلاص بالمذيبات Solvent Extraction وهدفها الأساسي فصل

المركبات العطرية والنفثينية الثقيلة بما في ذلك المركبات الراتنجية والقارية.

2- إزالة الشمع البرافيني بالمذيبات Solvent Dewaxing وذلك لتحسين

سيولة الزيت عند درجات الحرارة المنخفضة بإزالة المواد عالية الانصهار.

أما الشمع الخام المحصول عليه من هذه العملية فتتم معالجته للحصول على شمع نفطي مصنع.

أما الزيت الناتج فيمكن استخدامه مباشرة، أو يمكن تعريضه للمعالجة بالهيدروجين وبوجود وسائط حفازة نحصل على زيوت عالية الجودة حيث يتم تخليص الزيوت من الشوائب وخاصة الكبريت.

3 - للحصول على الزيوت البيضاء White Oils المستخدمة في بعض الصناعات، وأهمها صناعة الأدوية: يؤخذ الزيت عالي الجودة ويعالج بالحموض ثم يرشح عبر حصيرة غضارية. أخيراً تهذب الزيوت المنتجة بتحسين لونها ورائحتها وثباتها.

يتبقى بعد ذلك المركبات البارافينية المشبعة وهي تشكل الجزء الأعظم من هذه الزيوت مع بعض المركبات النفثينية والمركبات العطرية مفردة الحلقة. أما الزيوت البيضاء فلا تحوي على أية نسبة من الفحوم العطرية أو الكبريت. ويبين الجدول (1-5) تأثير عمليات المعالجة المختلفة على نسب المركبات ضمن الزيوت:

الجدول (5-1) تأثير عمليات المعالجة المختلفة على نسب المركبات ضمن الزيوت

النسبة الوزنية للكبريت %	النسبة الحجمية للمركبات العطرية %	نسبة الوحل المتشكل بالأكسدة
الزيت الخام بعد التعرض للتقطير الفراغي	0.8	50.0
الزيت المستخلص بالمذيبات	0.3	30.0
الزيت المعالج بالهيدروجين	معدوم	30.0
الزيوت البيضاء		0.0

5-5- تنقية الزيوت Purification of oils:

إن أهم دليل يبين جودة الزيوت في أثناء التشغيل هو الثبات الكيميائي (مقاومة الأكسدة). ويتعلق بالتركيب الكيميائي للمادة الخام وبعملية تنقية هذه الزيوت.

وبنتيجة الأكسدة تتكون مواد ورواسب ترفع من لزوجة الزيت، ونسبة التفحم فيه وتتراكم على سطوح الاحتكاك على شكل قشور. كما تسبب الأحماض العضوية الناتجة عن الأكسدة الحث الكيميائي الشديد للمعادن. وتكون الأحماض الهيدروكسيلية رواسب لزجة على الأجزاء الساخنة، قد تتصلب فيما بعد وتعيق حركة حلقات المكبس وتؤدي إلى تلف أجهزة المحرك.

ولقد تبين عملياً أن نسبة النفثانات (صغيرة الحلقة) والعطريات ذات السلاسل الجانبية الطويلة في تركيب الزيوت يرفع من مقاومتها للأكسدة. ويؤدي وجود نسبة صغيرة من الرواسب إلى عرقلة تفاعلات الأكسدة.

وتعد لزوجة الزيت وتغيرها بتغير الحرارة دليلاً مهماً يبين جودة الزيت، ويتحدد ذلك بنوع الهيدروكربونات الداخلة في تركيب الزيت. حيث إن طول السلسلة الجانبية في النفثانات والعطريات، يزيد من اللزوجة عند ثبات الحلقات في الجزيء. ويؤدي ارتفاع عدد الحلقات وزيادة تفرع السلاسل الجانبية إلى انخفاض اللزوجة.

تتميز البارافينات بدليل لزوجة جيد إلا أن نسبتها في الزيوت التجارية محدودة نظراً لارتفاع درجة تصلبها.

وتتمتع المواد الأسفلتية ذات الوزن الجزيئي المرتفع بخواص حرارية رديئة للزوجة لذلك يجب فصلها مع الهيدروكربونات عديدة الحلقات ذات السلاسل الجانبية القصيرة.

وتتعلق درجة تصلب الزيوت بدرجة حرارة تبلور البارافينات والسيروزيينات الموجودة فيها وكذلك بلزوجة الجزء السائل من الهيدروكربونات.

فالعطريات عديدة الحلقات ذات السلاسل الجانبية القصيرة لها لزوجة كبيرة عند الحرارة المنخفضة لذلك يجب فصلها مع البارافينات والسيروزيينات عن الزيوت.

كما تتحدد حموضة الزيت بنسبة الأحماض النفثانية فيه، وتعد أملاح هذه الأحماض حافزاً لزيادة الأكسدة.

وتتوقف قابلية الزيوت للتفحم أساساً على وجود الرواسب والأسفلتات والعطريات عديدة الحلقات فيها. وهذه القابلية تسمح بمعرفة سلوك الزيت في المحرك أثناء تكوين القشور والتراكمات المختلفة. ولهذه الأسباب نرى أنه للحصول على الزيوت عالية الجودة يجب اختيار المادة الخام ذات التركيبة الكيميائية الأمثل، واختيار الطريق الأفضل للتنقية وكذلك اختيار الإضافات الضرورية التي تعطي الزيوت المواصفات اللازمة.

5-5-1- العمليات الأساسية لتنقية الزيوت:

يتم الحصول على الزيوت بتقطير بقايا التكرير الجاري للنفط الخام في وحدات خاصة وهي: وحدات تخلخله أو وحدات جوية تخلخله. حيث نحصل منها على الأنواع المختلفة من الزيوت بعد إجراء عملية التنقية عليها. ويجب أن تؤمن العملية الأولية لإنتاج الزيوت فصلاً جيداً من القططات التقطيرية ومن البقايا، في حدود معينة من درجات الحرارة، لأن ذلك له تأثير كبير في فاعلية واقتصادية عمليات التنقية ونزع البارافين فيما بعد. فوجود القططات الخفيفة يؤدي إلى خفض تأثير التنقية بالفينول، ووجود القططات الثقيلة التي تتبخر في درجة أعلى من درجة 500 °م يؤدي إلى صعوبة استخلاص الرواسب والعطريات كثيرة الحلقات، ووجود القططات التي تتبخر في درجة أقل من 500 °م يؤدي إلى فقدان جزء من الزيت يبقى في الغاز بعد التقطير.

- أهم العمليات الأساسية للتنقية:

1- التنقية بحمض الكبريت أو بالقلوي : يتم فيها فصل الهيدروكربونات غير المشبعة وكذلك المواد الأسفلتية والرواسب جزئياً، فيتحسن لون الزيت وتنخفض قابليته للتفحم وحموضته.

2- عملية نزع الأسفلت: بواسطتها تفصل المواد الرسوبية والأسفلتية.

3- تنقية الزيوت بالمذيبات الانتقائية: وهي العملية الأساسية في إنتاج الزيوت من جميع أنواع الخامات المستخدمة ويتم فيها التخلص من الهيدروكربونات العطرية المتوسطة والثقيلة والمركبات الرسوبية.

تحسن هذه العملية دليل اللزوجة بدرجة كبيرة، وترفع من مقاومة الأكسدة ومن مقاومة الحث الكيميائي للزيوت، وتؤدي إلى خفض وزنها النوعي، وقابلية التفحم أيضاً.

4- عملية نزع بارافين الزيوت: وهي مخصصة لفصل البرافينات الصلبة من الزيوت. تسيء هذه الهيدروكربونات إلى حركة الزيوت عند انخفاض درجة الحرارة.

5- التنقية بالهيدروجين: تتلخص في معالجة الزيوت بالهيدروجين مع وجود عوامل منشطة، وتستخدم هذه العملية بدلا من التنقية الانتقائية.

6- التنقية باستخدام مواد امتصاصية: هنا يستخدم عامل منشط حيث يمكن استرجاع هذا العامل وإعادة استخدامه، وهذه طريقة بديلة لعملية التنقية الانتقائية.

5-5-1-1-5- التنقية بحمض الكبريت:

تفصل الهيدروكربونات غير المشبعة، الأسفلتات، الرواسب، والمركبات الأزوتية بواسطة حمض الكبريت وتترسب نواتج التفاعلات، ويتم التخلص من بعض المركبات الكبريتية جزئياً، كما تذوب بعض الأحماض النفطية في الحمض أيضاً. وتؤثر عوامل عدة في عملية التنقية هذه، وهي: تركيز الحمض وسرعة استهلاكه، نظام التنقية ودرجة حرارتها، زمن التماس ودرجته بين الحمض والمادة، ونوعية الزيت الخاضع للتنقية. فكلما زاد تركيز الحمض زادت قدرته على الإذابة، ويتراوح تركيز الحموض المستخدمة بين 90-96%، ويجب اختيار حرارة العملية

بحيث لا تزداد لزوجة الزيت المنقى لدرجة كبيرة، ويجب أن يحقق التماس اللازم بين المادة وحمض الكبريت، وأن يتم الترسيب بصورة جيدة.

وللعملية العديد من العيوب نذكر منها:

1- لا تسمح هذه العملية باستخلاص كافة المركبات ذات الدليل المنخفض للزوجة، والزيوت الناتجة، تقل لزوجتها بمقدار 10-12 درجة عن الزيوت الحاصلة من المادة الخام نفسها وذلك عند استخدام التنقية الانتقائية.

2- فقد كمية كبيرة من مركبات الزيت مع القار الحمضي.

3- لا يستعمل الحمض بفعالية كافية إذ يتفاعل نحو 40-50% من الحمض فقط مع المادة والباقي ينتقل إلى القار الحمضي ولا يستخدم فيما بعد.

5-1-2- التنقية بالقلوي:

يمكن إجراء العملية باستخدام سائل قلوي مائي أو بالطريقة الجافة عندما يتم خلط المادة بمادة التفاعل المسحوقة (الناعمة) الجافة، وذلك لتتم عملية التبادل الكيميائي (التوازن). وفي الحالة الأولى يستخدم محلول الصودا الكاوية وفي الحالة الثانية يستخدم الجير المطفأ.

في الحالة الأولى تتكون الأملاح من تفاعل المركبات الحمضية الموجودة مع القلوي المستخدم. وتذوب الأملاح في ماء المحلول. وتفصل نواتج التفاعل بواسطة إزاحة المحلول ثم تسحب النفايات القلوية بعد ذلك. ويغسل الزيت بالماء للتخلص من آثار الصابون المتبقية بعد المعالجة بالقلوي.

وتصادف هذه العملية صعوبات متعددة وهي:

استحلاب الزيوت مع القلوي وتحلل الصابون النفثاني بالماء أثناء غسل الزيت نتيجة لتفككه. ويؤدي ذلك إلى تكوين مستحلبات ثابتة لا تتفصل مما يعقد العملية. ولذلك يجب اختيار الظروف الملائمة للتبادل الكيميائي. (رفع درجة الحرارة، استخدام محاليل قلوية مخففة). وتذوب الأحماض النفثانية المشكلة من التفاعل

في المادة الخاضعة للتنقية.

تتم عملية التنقية هذه تحت ضغط 6-10 ضغطاً جويًا وعند درجة 130-160 مئوية، ويمنع ارتفاع الحرارة والضغط ظهور المستحلبات.

تجري التنقية الجافة عند درجة 280-300 °م وبالتماس الشديد لمدة 20-30 دقيقة ولهذه الطريقة بعض الميزات الإيجابية وهي سهولة الحصول على الجير المطفأ. ولا يفقد جزء من المادة (الزيت) أثناء العملية، ويمكن الجمع بين عمليات التقطير والتنقية.

ولكن هذه العملية يرافقها نسبة عالية من الرماد في الباقي من التفاعلات، وتنخفض قيمة وجودة القار الناتج كوقود للأفران وغيرها.

5-1-3- تنقية الزيوت بالمذيبات الانتقائية:

تستخدم هذه العملية للتخلص من الأسفلتيات والرواسب الأخرى، ولتنقية الزيوت من العطريات والنفثانات ذات دليل اللزوجة المنخفض، ولفصل البارافينات والسيروزينات الصلبة عند الحرارة العادية.

- شروط المذيبات الانتقائية:

1- أن تكون ذات قدرة جيدة لفصل الزيت عن المركبات غير المرغوب فيها.

2- إن تكون ذات قدرة على إذابة مركبات الزيت غير المرغوب فيها بأقل نسبة من المادة المذيبة.

3- الاختلاف في الخواص الكيميائية والفيزيائية بين المذيب والزيت (الكثافة ودرجة الغليان).

4- الصمود الحراري وألا تسبب الحث الكيميائي.

5- أقل سمومية ممكنة.

أهم المذيبات هي: الفينول، الفورفورال، خليط الفينول والكريزول والبروبان، كذلك النيتروبنزول، وتستخدم للتنقية من المركبات الخفيفة.

ويستخدم البروبان لاستخلاص الأسفلت، ولنزع البارافين يستخدم ميتل - ايتل - كيتون والأسيتون، ثنائي كلور - إيثان مع إضافة البنزول والتولوين كمذيبات.

5-1-4- تنقية الزيوت بمواد الامتصاص:

تتم العملية بترشيح الزيوت خلال طبقة من حبيبات مادة الامتصاص عند درجات حرارة منخفضة نسبياً أو بخلط مسحوق مادة الامتصاص بالزيت عند الحرارة المرتفعة. وتعد هذه العملية مرحلة نهائية بعد استخدام طرائق التنقية الأخرى بالحمض والقلوي والانتقائية. وتستخدم لتعديل الزيت وتحسين لونه وعدده الفحامي وغير ذلك. وقد تحل هذه العملية مكان التنقية الانتقائية.

تمر المنتجات الخاضعة للتنقية خلال أسطوانة مملوءة بمادة الامتصاص (قطر الحبيبات 0.2-0.3 مم) عند درجة حرارة تساوي 15-20 °م.

وتقل مع الزمن جودة العملية، وتبدل المادة بعد استهلاكها، بعد أن تنظف جيداً بالبنزين أسطوانة الترشيح. ولهذه العملية بعض العيوب حيث تتطلب جهداً كبيراً واستهلاكاً كبيراً للمادة المستخدمة وغير ذلك.

وتعالج الزيوت بمسحوق طين التبييض عند درجات حرارة مرتفعة (120-350 درجة)، بطريقة التماس. ثم تفصل عن الطين من خلال المرشحات. وتستخدم هنا المبادلات الحرارية والأفران والمبردات، وخلطات ومرشحات لفصل الزيت الجاهز.

5-1-5- تنقية الزيوت بالهيدروجين:

باستخدام عمليات التنقية بالهيدروجين والهدرجة الهدامة للزيوت نحصل على أنواع كثيرة من الزيوت المتميزة بلونها ومقاومة الحت، واللزوجة الجيدة والقابلية المنخفضة للتفحيم.

وتستخدم هذه الطريقة بديلة للتنقية بوساطة طين التبييض، وللحصول على زيوت المحولات وغيرها بدلا من استخدام الطريقة الانتقائية للتنقية.

وتجري العملية عند الحرارة 400°C وتحت الضغط 250-300 ضغط جوي مع وجود منشطات من النيكل والتنجستين. وتفصل نتيجة العملية القطفات الخفيفة والكبريت، والأكسجين والأزوت، ويسحب الزيت الجاهز من وحدة التنقية بمضخة خاصة. وتسحب الأبخرة والغازات من أعلى البرج. ويمكن استرجاع المعامل المنشط عن طريق حرق الكوك الناتج عن العملية.

5-6- تحسين جودة الزيوت باستخدام الإضافات المناسبة Improving the quality of the oil using appropriate additions

بالرغم من المعالجة التي يتعرض لها الزيت، فإن وجود الإضافات يعدّ ضرورياً لإكساب الزيت المواصفات المطلوبة في مجال العمل المحدد له. وهنا على عكس الوقود، فإن إضافات الزيوت أكثر كماً ونوعاً، وتشكل في زيوت المحركات نسبة قد تصل حتى (10-20)% من المادة الأصلية.

يتم تحسين جودة الزيوت باستخدام بعض الإضافات المختلفة لأهداف معينة ومختلفة تفرضها صناعة المحركات الحديثة التي تزداد ظروف عملها صعوبة وتعقيداً، وتزداد معها قساوة الشروط المطلوبة من الزيوت.

ولا تستطيع الزيوت الناتجة عن تقطير المادة النفطية الخام أن تفي بالمتطلبات المتزايدة حتى بعد اختيارها الدقيق وإجراء التنقية المطلوبة وفقاً لمخططات التنقية العصرية، ولهذا لا بد من أن نضيف إلى الزيت الإضافات التي تعطيه الخواص والمواصفات المناسبة.

إن الزيوت الناتجة لا تتمتع بالثبات الكيميائي، إذ تخضع الهيدروكربونات الداخلة في تركيبها تحت تأثير أكسجين الهواء لعمليات تحول كيميائية عميقة. وتؤدي الأحماض الموجودة في تركيب الزيوت إلى تلف أجزاء المحرك، كما أن ترسب الكوك والأسفلت على المكبس وحلقاته قد يؤدي إلى تكسيرها. ويزداد تلف

المحرك بزيادة لزوجة الزيت. وتنشط تفاعلات الأكسدة بتأثير حافز السطوح المعدنية للمحرك.

ولمنع تأكسد الزيوت أثناء التشغيل، يجب استخدام الإضافات المانعة للأكسدة على الرغم من أنها لا تمنع التأكسد تماما" ويبقى له بعض الأثر. ولهذا يجب استخدام إضافات لها طابع يمنع الحث الكيميائي ولها صفات تنظيف إضافة لمنع التأكسد.

وطبقا للمعلومات المتوافرة فإن 60-70% من تلف المحركات يتم في فترات إقلاعه أي عندما يكون الزيت باردا" لم يسخن بعد ولزوجته مرتفعة.

ويمكن تحسين خواص اللزوجة للزيوت تحسيناً فعالاً باستخدام إضافات اللزوجة بحيث يمكن تشغيل الزيوت في مختلف الظروف المناخية.

وتعد درجة تصلب الزيوت المنخفضة مهمة لتقدير جودتها أثناء العمل أيضا. ويتم عمليا" الحصول على زيوت ذات درجة تصلب منخفضة عن طريق نزع البارافين منها. أو تضاف بعض الإضافات التي تخفض درجة التصلب إذا كانت نسبة البارافينات غير كبيرة.

تقسم الإضافات إلى مجموعات:

- 1- إضافات مقاومة للأكسدة ترفع ثبات الزيت.
- 2- إضافات خاصة باللزوجة ترفع لزوجة الزيت وتحسن الخواص الحرارية للزوجة.
- 3- إضافات مقاومة للحث الكيميائي.
- 4- إضافات منظفة مشتتة تمنع تشكيل الرواسب على أجزاء المحرك.
- 5- إضافات لتخفيض درجة تصلب الزيت.
- 6- إضافات مقاومة للتآكل والتلف، وتستخدم في ظروف الحمولة والسرعات الكبيرة والحرارة العالية.

7- إضافات خاصة لمنع الصدأ ومنع تكوين الرغوة وغيرها.

وتستخدم في الحياة العملية استخداماً واسعاً الإضافات التي تحسن عدة خواص في وقت واحد. ويتم اختيار تركيب الإضافات حسب الشروط الواجب توافرها في نوعية الزيت وحسب الخواص الفيزيائية والكيميائية لزيوت الأساس. ويجب أن يكون الزيت نقياً من المركبات غير المرغوبة.

- الإضافات المقاومة للأكسدة:

تستعمل المركبات الكبريتية والأزوتية والفوسفورية، والألكيل- فينولية، والفينول المركب مثال (الفينول الأميني والنفثيل- أمين والبارا أكسي- ثنائي فينيل- أمين) وغيرها كإضافات مقاومة للأكسدة. هذا وتبطل الرواسب والأسفلتات عمل هذه الإضافات.

لهذه الإضافات أهمية خاصة بالنسبة للزيوت العاملة في ظروف التماس المباشر مع أكسجين الهواء كزيوت المحركات والعنفات والمحولات.

- الإضافات الخاصة باللزوجة:

ترفع هذه الإضافات لزوجة الزيت وتحسن الخواص الحرارية للزوجة (تحسن دليل اللزوجة)، ولها وزن جزيئي عال وتستخدم للحصول على زيوت شتوية (وقطبية) تتمتع بدليل لزوجة عال 120 ودرجة تصلب منخفضة.

تملك زيوت الأساس بوجود هذه الإضافات أكبر قيمة للزوجة في درجات الحرارة المرتفعة، وأخفض لزوجة في درجات الحرارة المنخفضة بالمقارنة مع زيت الأساس، وهذا هو المبدأ في إنتاج الزيوت متعددة الدرجات.

وتستخدم عادة الإضافات مثل: أوليفينات البلمرة المشتركة، بولي ميثاكريلات والبوليمر المشترك ستيرن أيزوبرين. والتي يتم توظيفها لجعل الإضافات متعددة الأهداف كتخفيض نقطة الانصباب وعملها كمشتتات ومنظفات ومحسنة لدليل اللزوجة بأن واحد.

- الإضافات المقاومة للحث الكيميائي:

تحمي معدن السطوح من الحث الذي تسببه الحموض المتكونة في الزيت أثناء تشغيله. ومن هذه الإضافات تستعمل مشتقات الكبريت والفوسفور، والمركبات الفينولية، ونفتينات الألمنيوم والكروم وغيرها ويفترض أنها تشكل على سطح المعدن طبقة رقيقة تحميها من الحث وتقي الزيت من تشكيل منتجات الأكسدة.

- الإضافات المنظفة المشتتة:

من أهم الإضافات المنظفة: الفينولات وأكاسيد الكبريت والفوسفات وأكاسيد المعادن كالصوديوم والكالسيوم والمغنيزيوم والباريوم.

أما الإضافات المشتتة فنذكر أكثرها شيوعاً: الأستيرات والمركبات ذات السلاسل الطويلة الهيدروكربونية السكسينيميدية مثل سكسينيميدات بولي أيزوبوتيلين.

ولا تمنع هذه الإضافات تشكل الرواسب إنما تساعد على بقائها في الزيت بصورة عالقة. وتضاف للزيوت التي تتمتع بالثبات الكيميائي المحدود لعمليات الأكسدة.

وتؤثر الإضافات المنظفة في الخواص المانعة للحث، وترفع من ميل الزيت إلى تشتيت الرواسب من على أجزاء المحرك. وتساعد على ارتخاء القشور في غرفة الاحتراق وإخراجها جزئياً.

- الإضافات المقاومة للتلف والتآكل:

وتضاف للزيوت العاملة في مسننات نقل الحركة عند الظروف القاسية والسرعات الكبيرة. ويمكن هنا استخدام بعض الزيوت النباتية (زيت الخردل). وأسترات الأحماض الكربوكسيلية، ونواتج أكسدة البارافين والكبريت، وبعض المركبات الهيدروكربونية الحاوية الكلور والفوسفور وبخاصة كلور البارافين وغيرها.

- الإضافات الخاصة:

لمنع تكوين الرغوة في الزيوت ومنع تكوين الصدأ، في الوسط الرطب. ولذلك تستخدم الإضافات السلفونية والأحماض الدهنية مع الهيدروكسيل والغازلين المؤكسد. وتضاف هذه الإضافات بنسب مختلفة تتراوح ما بين 0.5-2% وأحياناً 3% ، أما نسبة إضافات درجة التصلب فهي أقل من 1% وإضافات منع الصدأ تصل إلى 3%.

يضم الجدول (5-2) بعض الإضافات الشائع استخدامها في عالم الزيوت. وكما هو واضح من الجدول، يتم تصنيع معظم زيوت المحركات والزيوت الصناعية والشحوم من زيت أساس مستخلص بالمذيبات فقط. أما الزيوت التي تتعرض لعملية لاحقة بالمعالجة بالهيدروجين فتستخدم كزيوت عالية الجودة وكزيوت في الدارات الهيدروليكية حيث تفرض عليها المقاومة العالية للأكسدة والخلو التام من الأوحال المتشكلة نتيجة لذلك.

الجدول (5-2) بعض الإضافات الشائع استخدامها في عالم الزيوت

زيت الأساس	المنتج النهائي →	الإضافات 1- (50%)
الزيوت المستخلصة	زيوت المحركات	المطهرات
بالمذيبات	زيوت آلات تشغيل المعادن	مضادات الأكسدة
(اللزوجة)	زيوت المسننات	مانعات التآكل
500 +	شحوم	خافضات الانصباب

مضادات الاحتكاك	زيوت صناعية	200.0	الزيوت المستخلصة والمعالجة
محسّنات دليل اللزوجة	زيوت العنقات	300.0	باليهيدروجين (اللزوجة)
مضادات الرغوة	زيوت الضواغط	500 +	
	الصناعات الدوائية		الزيوت البيضاء

5-7- الحصول على الزيوت التجارية Obtaining commercial oils:

من الضروري عند تركيب النواتج النفطية الحصول على المادة المطلوبة بشكل متجانس تماما. ويتم التأكد من ذلك بطريقة تحليل عينات مأخوذة من مستويات مختلفة بطول خزان الزيت.

ويمكن خلط مركبات الزيت بعدة طرائق:

- تدوير الخليط في الخزان من الأعلى إلى الأسفل وبالعكس باستخدام مضخة خاصة.
- خلط الزيت بخلاطات ميكانيكية خاصة تقوم بتقليب الزيت في الخزان.
- طريقة الخلط بتمرير المركبات كلا على حدة بالتسلسل وبدءاً بالمركبات الخفيفة ثم تليها المركبات الثقيلة بحيث تتم الاستفادة من طاقة تيار المركبات أثناء توصيلها إلى الخزان في عملية الخلط.

8-5- تجديد الزيوت المستهلكة ومعالجتها **Renewal of consumer oils** :and processed

تتدنى جودة ونوعية الزيوت أثناء التشغيل، حيث تتغير اللزوجة، تزداد الحموضة، تزداد نسبة الشوائب المعدنية والماء، وتزداد قابلية التفحيم وغيرها. ويرافق هذا التغير الكبير للخواص الكيميائية للزيوت، تغير جذري في نوعيتها، حيث تفقد أهميتها بمرور الزمن، وأهم المؤشرات الأولية لهذا التغير هو اللون الداكن، والرائحة الحادة، وفقدان اللزوجة وظهور الرواسب والشوائب.

وتسمى الزيوت التي فقدت خواصها ومواصفاتها، الزيوت المستهلكة، هذه الزيوت يجب أن تخضع للتبديل حتما بعد ساعات عمل معينة، لأن استمرار استخدامها يعيق العمل الطبيعي للآلات حيث تزداد ظاهرة الاحتكاك، ويزداد تآكل الأجزاء المحتكة، ويظهر الصدأ عليها وتتراكم الشوائب والأوساخ خاصة في مصافي الزيت وفي نظام الزيت بشكل عام.

تتعلق فترة تشغيل الزيوت بخواصها الأولية من جهة وبظروف العمل من جهة أخرى. أما أسباب استهلاك الزيوت فهي: تأثير نواتج التآكل الحاصل في السطوح المعدنية، تأثير الأكسدة، وتأثير الوقود والماء والبخار في بنية الزيوت وكذلك العوامل الحرارية المختلفة، وغيرها. وتسمى عملية إعادة الخواص والمواصفات الأولية للزيوت المستهلكة بغرض إعادة استخدامها: عملية تجديد الزيوت المستهلكة.

يسبق عملية التجديد هذه، التنظيم الصحيح لعمليات الجمع والتخزين الجارية لهذه الزيوت، وفرز كل نوع منها في أوعية خاصة، مع الاهتمام الزائد بالنظافة.

8-5-1 طرائق تجديد الزيت المستهلك:

1- الطرائق الفيزيائية.

2- الطرائق الفيزيا- كيميائية.

3- الطرائق الكيميائية.

1- الطرائق الفيزيائية:

وتتألف من عمليات مختلفة وهي:

- عملية ركود الزيت وإراحته.
- عملية التنقية على مبدأ القوة الطاردة المركزية.
- عملية التصفية بمصافي ترشيح خاصة.
- عملية الغسل بالماء.
- عملية نزع الوقود من الزيوت.

أساس عملية الركود، هو الاعتماد على مبدأ ترسيب الشوائب الموجودة في الزيت تحت تأثير أوزانها النوعية.

تعتمد عملية التنقية تحت تأثير القوة الطاردة المركزية، على المبدأ نفسه حيث تؤثر هذه القوة في الشوائب الثقيلة نسبياً وتبعدها إلى جدران الوعاء الذي تجري فيه العملية، حيث يتم التخلص منها بعدئذ. ويمكن إضافة بعض الماء أثناء العملية، لغسل الزيت، ونزع بعض الشوائب منه.

تعتمد طريقة التصفية باستخدام أوساط تصفية معينة (عناصر تصفية) يمر من خلالها الزيت، وتحجز الشوائب والنفائيات على سطوحها (كرتون، أوراق تصفية خاصة، مصاف شبكية وغيرها).

تعتمد عملية نزع الوقود من الزيت على مبدأ الفرق الحراري بين درجة تبخر كل من الوقود والزيت.

2- الطرائق الفيزيا- كيميائية:

يتم باستخدام هذه الطرائق تغيير التركيب الكيميائي للزيوت جزئياً. هنا تستخدم عمليتان أساسيتان وهما عمليتا التجميع والتخليص:

1- عملية التجميع: وهي عملية تقارب الجزيئات الدقيقة الصلبة واتحادها وتجميعها، وقطرات السائل وفقاعات الغاز، الموجودة في منظومة الزيت المستهلك غير المتجانسة. حيث ينخفض عدد الجزيئات الصلبة والسائلة والغازية وتزداد كتلتها بتجميعها حيث تتساقط بشكل رواسب أو تتجمع وتطفو على سطح السائل.

يتم ذلك عمليا" بإدخال مواد خاصة إلى بنية الزيت المستهلك، حيث تقوم بمهمة تجميع الشوائب الدقيقة إلى درجة كبيرة يمكن أن تتساقط على شكل رواسب تحت تأثير أوزانها حيث يسهل التخلص منها، ومن هذه المواد المستخدمة، الصودا الكلسية وغيرها.

2- عملية التخليص: وهي عملية فيزياء- كيميائية تقوم خلالها مادة ما، بامتصاص الغازات والأبخرة من الزيت، والمواد المنحلة فيه. ويمكن للمادة أن تمتص المواد المنحلة بكل حجمها ويمكن أن تجمعها على سطوحها فقط ومن هذه المواد، يستخدم الفحم النشط، وحمض السليكون وبعض أنواع الطين.

3- الطرائق الكيميائية:

تعتمد هذه الطرائق على استخدام الأحماض والقلويات، التي تدخل في تفاعلات كيميائية مع الشوائب والنواتج المختلفة الموجودة في الزيت المستهلك. مثلاً: يتفاعل حمض الكبريت مع النفايات والأسفلتيات والرماد، وينظف الزيت منها، وتستخدم القلويات لتخليص الزيت من الأحماض العضوية، وحمض الكبريت وغيرها.

وتستخدم عمليا الطريقة المختلطة لتجديد الزيت المستهلك وهي طريقة فيزيائية وفيزياء- كيميائية وكيميائية حيث تؤمن تصفية وتنقية عاليتين للزيوت. ويتم ذلك في محطة معالجة الزيوت المستهلكة وتجديدها الشكل (4-5).

الشكل (4-5) محطة معالجة الزيوت المستهلكة

يتم في هذه المحطة، تخليص الماء والأوساخ بطريقة ركود الزيت، ثم يضخ الزيت بمضخات خاصة لتسخينه إلى درجة معينة 80 °م.

بعدها يقوم محرك كهربائي بتشغيل الخلاط الخاص، وتضاف عندئذ مادة التجميع (الصودا، حمض الكبريت) بنصف المقدار المطلوب. ويتم الخلط مدة 15-20 دقيقة وتوقف العملية 40 دقيقة، وتستخلص المواد الحمضية، ثم يؤخذ الناتج ويضاف إليه النصف الآخر الباقي من المادة المجمعة، وتخلط من جديد لمدة 40 دقيقة وقبل نهاية الخلط ب 15 دقيقة يضاف إليه الطين (2% من وزن الزيت) ويترك الخليط مدة 5 ساعات.

ثم تستخلص المواد الحمضية مع الطين، حيث تنتهي بذلك عملية تنظيف الزيت.

تسخن بعدها الزيوت النقية من الأسفلتيات والرماد (إلى درجة 65-80 °م) وتضاف إليها من جديد كمية من الطين بمقدار 5% من وزن الزيت مدة 25-30 دقيقة ثم يدفع الخليط بمضخة إلى فرن أنبوبى حيث يسخن إلى درجة 300°م. بعدها يذهب الخليط إلى مبخر لفصل أبخرة الوقود، ويوجه بعدها إلى مصفاة سريعة حيث يحتجز الطين وبعدها يجمع الزيت الجاهز في أوعيته الخاصة. وتوجه أبخرة الوقود إلى حيث تتكاثف وتجمع في خزان خاص بالوقود.

5-9- أنواع الزيوت Types of oils:

تصنف زيوت التزييت المعدنية بحسب مجالات الاستخدام الرئيسية لها وفق ما يلي:

- زيوت محركات الاحتراق الداخلي، في السيارات والجرارات والقاطرات والسفن والطائرات.
- زيوت نقل الحركة في السيارات والجرارات، ومجموعات التروس المسننة وتجهيزات القيادة وغيرها.
- زيوت الآلات الصناعية، ويطلق عليها اسم الزيوت الصناعية، ومنها زيوت أعمدة الدوران وتعمل في مجالات حرارية منخفضة نسبياً.
- زيوت المنشآت الهيدروليكية.
- زيوت العزل الكهربائي، وتستخدم كوسط عازل وماص للحرارة في المحولات والمقاومات وغيرها.
- زيوت التوربينات، وتستخدم لتزييت وتبريد مضاجع العنفات البخارية والمائية ومولدات التيار الكهربائي وغيرها.
- زيوت الضواغط وتستخدم لتزييت الضواغط الترددية والدورانية.

- زيوت الآلات البخارية التي تعمل في ظروف التماس المباشر مع البخار المحمص.

- زيوت لاستخدامات أخرى، وتشمل أنواع الزيوت التي لا تدخل في الفئات المذكورة أعلاه.

5-9-1- زيوت المحركات:

يتطلب تطوير صناعة محركات الاحتراق الداخلي، مواصفات مرتفعة لنوعية زيوت المحركات وأهمها، ثبات الزيت للأكسدة عند ارتفاع درجة الحرارة، الانحدار (التغير) التدريجي لمنحني تغير اللزوجة عند تغير درجات الحرارة، والذي يحدد سهولة الإقلاع، وجود التزييت خلال العمل، درجة تصلب منخفضة خاصة للأنواع الشتوية منها، وأخيراً خواص جيدة مانعة للحت الكيميائي وغيرها. تشمل هذه المجموعة أكبر مجموعة من مجموعات زيوت التزليق.

تنتج الزيوت المخصصة للمحركات ذات الاشتعال بالشرارة اعتماداً على قطرات ذات دليل لزوجة عال (أساس برفيني) ممزوجة مع مواد منظفة ومضادات أكسدة وتآكل.

تبعاً لظروف العمل هناك نوعان من الزيوت وفق SAE جمعية مهندسي السيارات الأمريكية Society of Automotive Engineers: أحدهما للاستعمال الصيفي (حيث تبلغ لزوجته عند درجة الحرارة $99^{\circ}C$ بين $5.7-22.7$) سنتي ستوكس) والآخر للاستخدام في فصل الشتاء (تبلغ لزوجته حوالي 3.9 سنتي ستوكس عند درجة الحرارة $99^{\circ}C$ وعند درجة الحرارة $(-18^{\circ}C)$ بين $(-10500-800)$ سنتي ستوكس) كما هو مبين في الجدول (3-5).

الجدول (3-5)

اللزوجة الحركية عند $99^{\circ}C$ [cst] (سنتي ستوكس)		اللزوجة الحركية عند $(-18^{\circ}C)$ [cst] (سنتي ستوكس)		درجة اللزوجة SAE
حد أعلى	حد أدنى	حد أعلى	حد أدنى	
	3.86	869	-	5W
	3.86	2600	1300	10W
	3.86	10500	2600	20W
9.62	5.73			20
12.93	9.62			30
16.77	12.93			40
22.68	16.77			50

كما تنتج زيوت خاصة لمحركات ثنائية الشوط 2-S Engine مثبتة بواسطة إضافات التنظيف من الرماد ومخففة لتزويده بإمكانية الخلط الأسهل مع الوقود.

كما يوجد هناك بعض أنواع الزيوت تدعى بالزيوت متعددة الدرجات، وتمثل نوعاً خاصاً من زيوت المحركات لا تتطلب تغييرها وفقاً لتغيرات الطقس. يرمز لهذه الأنواع برقمين حيث يشير الأول إلى درجة حرارة اللزوجة عند $(-18^{\circ}C)$ والثاني عند درجة الحرارة $99^{\circ}C$.

مثال: (10 W/30) هو زيت لزوجته عند درجة الحرارة $(-18^{\circ}C)$ هي (1300-2600) سنتي ستوكس، وعند $99^{\circ}C$ هي (12.93-9.62) سنتي ستوكس، والحد الأدنى لدليل لزوجته 145 (حسب طريقة ASTM-D2270-90) الجدول (4-5).

بالنسبة لزيوت الديزل فتمتاز بتنوعها الكبير وتتغير مواصفاتها الاستهلاكية في مجال واسع تبعاً للظروف التي تستخدم فيها. ولذلك تتمتع هذه الزيوت بخواص استثمارية عالية، وتحقق باختيار المادة الخام المناسبة، وطريقة الإنتاج المناسبة، وباستخدام بعض الإضافات التي ترفع من خواص الزيوت ومواصفاتها.

وتصنع هذه الزيوت من مادة خام مؤلفة من مركبات متبقية عن تكرير النفط وبعض المركبات النفطية وتنقسم زيوت الديزل إلى مجموعتين:

- زيوت الديزل عالي الدوران الذي يستخدم في وسائط النقل.
 - زيوت لمحركات الديزل الثابتة ذات الدوران المنخفض والمتوسط.
- ويجب استخدام زيوت عالية الجودة مع إضافة بعض الإضافات الضرورية لتحسين بعض المواصفات لاسيما في النوع الأول من الزيوت.

الجدول (4-5)

الحد الأدنى لـ دليل اللزوجة	اللزوجة الحركية عند $99^{\circ}C$ [cst] (سنتي ستوكس)		اللزوجة الحركية عند $(-18^{\circ}C)$ [cst] (سنتي ستوكس)		درجة اللزوجة SAE
	حد أعلى	حد أدنى	حد أعلى	حد أدنى	
146	أقل من 9.6	5.7	أقل من 1300	-	5W/20
145	أقل من 12.9	9.6	أقل من 2600	1300	10W/30
113	أقل من 16.8	12.9	أقل من 10500	2600	20W/40
205	أقل من 12.9	9.6	أقل من 1300	-	5W/30
169	أقل من 16.8	12.9	أقل من 2600	1300	10W/40
190	أقل من 22.7	16.8	أقل من 2600	1300	10W/50
133	أقل من 22.7	16.8	أقل من 10500	2600	20W/50

ويظهر على الجدول (5-5) بعض الخواص الفيزيائية لزيت الديزل.
عادة ما يعبر عن الزيوت الخاصة بالمحركات الرئيسية المعروفة برمز مؤلفة من رمز أو أكثر تكتب بحروف كبيرة وذلك وفق الجدول (5-6).
يضاف إلى رمز الزيوت المستخدمة في المحركات رقم أو رقمين يشيران إلى درجات اللزوجة SAE وذلك حسب الجداول (3-5) و (4-5) .

وفيما يتعلق بالزيوت المخصصة أساساً لاستخدامها في درجات الحرارة المنخفضة يضاف إليها الحرف W بعد رمز اللزوجة.

كما تدخل رموز أخرى للدلالة على مستوى النوعية بسبب الإضافات للزيوت، كما هو مبين بالجدول (5-5).

الجدول (5-5) بعض الخواص الفيزيائية لزيوت محركات الديزل

50	40	30	20	10	
0.906	0.902	0898	0.894	0.887	الوزن النوعي عند $15^{\circ}C$
232	224	218	210	204	نقطة الوميض بطريقة الكأس المفتوح $^{\circ}C$
22.7-16.8	16.8-12.9	12.9-9.6	9.6-7.5	7.5-5.7	اللزوجة عند درجة الحرارة $99^{\circ}C$ (c.st)
-9	-15	-18	-24	-32	نقطة الانصباب حد أعلى، $^{\circ}C$

الجدول (5-6)

الرمز	تسمية الزيت
M	زيوت للمحركات ذات الاشتعال بالشرارة
D	زيوت المحركات ذات الاشتعال بالضغط
AVI	زيوت لمحركات الطائرات

الجدول (5-7)

الرمز	الزيوت
-	غير مضافة
PREMIUM EXTRA SUPER 1 SUPER 2 SUPER 3	مضافة

تتميز محركات السيارات والجرارات الحديثة بالدوران السريع، وبارتفاع درجة الحرارة لاسيما في منطقة حلقات المكبس، وبالضغط المرتفع للغازات في أسطوانات المحرك. ولذلك يجب أن تتمتع الزيوت المستخدمة بمواصفات عالية. ويجب أن تؤمن الزيوت الشتوية إقلاعاً جيداً للمحرك عند الحرارة المنخفضة، وهناك الزيوت الغليظة التي تستخدم شتاءً وصيفاً وتصنع بطريقة خلط بعض القطافات القطارية قليلة اللزوجة مع مادة خاصة (أيزوبيوتيلين) ذات وزن جزيئي مرتفع (20.000-25.000) وتتميز هذه الزيوت باعتدال منحنى تغير اللزوجة بالنسبة لدرجة الحرارة.

ويجب التنويه إلى أنه بزيادة الإنتاج الضخم للمحركات المختلفة، وازدياد استطاعتها واقتصاديتها وزيادة نسب الانضغاط فيها الذي يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة الحمولة على مضاجع المحرك، كل هذا يستدعي ضرورة الاهتمام بنوعية زيوت هذه المحركات والشروط المطلوبة منها.

نبين هنا بعض المواصفات العددية لزيوت محرك الديزل:

- اللزوجة: 12-14 سنتي ستوكس (100^0 م).
 - نسبة الشوائب المعدنية: معدومة أو قليلة جداً.
 - نسبة الماء: معدومة أو قليلة جداً.
 - نسبة الحموض والقلويات: معدومة أو قليلة جداً.
 - قابلية الصدأ: 8 غ/م².
 - العدد الحمضي: 0.05 م. غ KOH لكل 1 غ زيت.
 - نسبة التفحيم: 0.4%.
- أمثلة عن الزيوت المستخدمة في محركات الاحتراق الداخلي ورموزها.
- الزيت M30 هو زيت معدني غير مضاف يستخدم في المحركات ذات الاشتعال بالشرارة وله لزوجة من فئة SAE30.
 - الزيت M30 EXTRA وهو زيت معدني يستخدم في شروط العمل MM للمحركات ذات الاشتعال بالشرارة و DG لمحركات الديزل ذو لزوجة مقابلة لفئة SAE30.
 - الزيت M20 W / 40 وهو زيت معدني متعدد الدرجات مضاف، يستخدم في شروط العمل MM، MS للمحركات ذات الاشتعال بالشرارة و DM لمحركات الديزل. ذو لزوجة مقابلة للأصناف SAE20W / 40 ويمكن استخدامه إما في الصيف أو في الشتاء حيث:

- ML تتطلب هذه الفئة عمل طبيعي فيما يتعلق بالسرعة والحمل والحرارة. وتشمل المحركات ذات الاشتعال بالشرارة ولها خاصية غير حساسة بالنسبة للمحروقات العادية والتي لها بقايا.
- MM تشمل هذه الفئة المحركات ذات الاشتعال بالشرارة ذات العمل الطبيعي والقاسي والحساسة فيما يتعلق بالبقايا والتآكل بسبب عملها بدرجات حرارة مرتفعة.
- MS تشمل هذه الفئة المحركات ذات الاشتعال بالشرارة ذات العمل القاسي وخدمتها تتطلب التوقف والتشغيل بكثرة بدرجات حرارة منخفضة، وذات الحمولة والسرعات الكبيرة في درجات الحرارة المرتفعة والتي تتطلب أهمية فائقة بالتزيت بسبب الخصائص التصميمية للمحرك ولنوعية الوقود.
- DG المحركات ذات الاشتعال بالانضغاط تعمل دون أية مشاكل في حالة وجود بقايا في الوقود أو التآكل.
- DS شروط العمل قاسية جداً للمحركات ذات الاشتعال بالانضغاط والتي تعمل بحمولات كبيرة وبدرجات حرارة مرتفعة ويمكنها أن تعمل أيضاً بدرجات حرارة منخفضة. غير حساسة بالنسبة لنوعية الوقود أو تصميم المحرك.
- DM شروط العمل قاسية جداً لمحركات ذات الاشتعال بالانضغاط والتي تعمل بوقود يمكن أن يحتوي على بقايا (رماد). وهذه المحركات ذات حساسية قليلة بالنسبة لنوعية الوقود وظروف العمل.

5-9-1-1 - المتطلبات الاستثمارية التقنية الواجب توافرها في زيوت المحركات:

يجب أن يلبي زيت التزيت الشروط التالية:

1. يجب أن يملك قدرة تزييتية عالية، أي قدرة على تشكيل طبقة متماسكة من الزيت على سطوح الأجزاء.
2. يجب ألا يعطي انخفاضاً حاداً للزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، أي يجب أن يملك معامل لزوجة عال.
3. يجب أن يملك درجة حرارة تبلور متدنية ما أمكن.
4. عند ارتفاع درجة الحرارة يجب أن يمتلك قدرة تبخر متدنية.
5. أن يكون له درجة حرارة اشتعال ملائمة.
6. ألا يعطي كمية كبيرة من الهباب.
7. يجب أن يكون مقاوماً للتأكسد في أوكسجين الهواء.
8. يجب ألا يحتوي الزيت على الحموض أو القلويات أو المركبات الكبريتية، أي يجب أن ينقى ويعالج بعناية.
9. يجب ألا يوجد في الزيت شوائب صلبة أو ماء.

الزيوت النفطية مكونة من مجموعة هيدروكربونية هي الألكانات (البارفينات) والسيكلانات (النفثانات) والعطريات. لذلك فإن الحموض الأساسية للزيوت تتعلق بالنسبة الكمية لهذه المكونات، والتركيب الجزيئي لها. وتحدد القدرة التزييتية (الدبقية) للزيوت عن طريق الاختبار الميكانيكي لها على آلات اختبار خاصة. وتبعاً لنوع الآلة وطريقة الاختبار يمكن التعبير عن القدرة التزييتية بمجموع ثلاثة مؤشرات: 1- معامل الاحتكاك، 2- الحمولة التي يجري تحتها انفصال طبقة الزيت، 3- تآكل الأجزاء المتحاكة.

لتقييم المواصفات الاستثمارية لزيوت التزييت المستخدمة في محركات السيارات والجرارات، تعطى أهمية كبيرة لتغير لزوجة الزيت تبعاً لتغير درجة الحرارة. وهو مهم عند إيقاف السيارة خارج المباني في الطقس البارد. المؤشرات للزوجية -

الحرارية للزيت تؤثر على سهولة إقلاع المحرك في حالته الباردة، فأحد الشروط المهمة عند إقلاع المحرك هو قدرة العمود المرفقي على الدوران السريع. وعند انخفاض درجة الحرارة تتزايد لزوجة الزيت، ومقاومة الحركة الدورانية للعمود المرفقي. وعند درجة حرارة محددة لكل زيت يمكن أن تصل لزوجته إلى قيمة يكون عندها من غير الممكن تأمين تسارع لدوران العمود المرفقي. وليكون الإقلاع سهلاً نسبياً لمحرك السيارة يجب ألا تزيد لزوجة الزيت عند درجة حرارة الإقلاع عن $90 \div 100 \text{ cst}$.

كلما كان انحناء منحنى اللزوجة - الحرارة للزيت أكثر حدة، ولزوجة الزيت أعلى عند إقلاع المحرك كانت نوعية الزيت أسوأ ويكون ضخه في نظام التزييت أصعب. وبالتالي يضخ هذا الزيت ولفترة طويلة من الزمن بعد الإقلاع بكميات غير كافية، الأمر الذي يزيد من الاهتراء عند الإقلاع.

وعند انخفاض درجات الحرارة يمكن أن يفقد الزيت حركته نتيجة لتجمده حيث تتشكل شبكة فراغية من بلورات البارافينات والريزينات. درجة حرارة تبلور الزيوت المستخدمة في محركات السيارات والجرارات في فصل الشتاء يجب أن تكون بحدود $(-40 \div -35)^\circ \text{C}$. إضافة بعض المواد الخاصة تحسن نوعية الزيت في هذا المجال.

ومن المواصفات الاستثمارية المهمة أيضاً، هناك الثبات الكيميائي للزيت، أي مقاومته للأكسدة. وتجري أكسدة الزيوت، بلامستها للهواء الجوي، عند درجات حرارة عالية. مع تأكسده تزداد كثافة الزيت ويعتم لونه ويصبح ذا رائحة حادة ويعطي رواسب. ويتعلق طول فترة مرحلة التأكسد بعدد من الأسباب: درجة تنقية الزيت، ووجود مواد محفزة أو مثبطة للأكسدة، وغيرها. وتتعلق قابلية الزيوت للأكسدة بنوع المركبات الهيدروكربونية الداخلة في تركيب الزيت. فالإلى الهيدروكربونات سهلة الأكسدة تنتسب مثلاً الهيدروكربونات غير مستقرة البنية

الجزئية. لذلك يجب فصلها عن الزيت. وتعدّ السيكلانات (النفثانات) من المركبات الهيدروكربونية سهلة التأكسد أيضاً. أما العطريات فهي أكثر مقاومة للأكسدة، ووجودها إلى جانب النفثانات يحمي الزيت من الأكسدة.

وهناك أيضاً الاستقرار الحراري للزيوت، وهو من المواصفات المهمة لها. وهذه الخاصية تعني قدرة الزيت على مقاومة التفحم عند ارتفاع درجة الحرارة، وخاصة في منطقة الحلقات المكبسية العليا. حيث يؤدي تفحم الزيت إلى تشكل رواسب فحمية في أخاديد الحلقات، وجبهة المكبس المواجهة لحجرة الاحتراق وفي حوض الزيت. ويتم التعبير عن هذه الخاصية بالرقم التفحمي للزيت.

يمنع وجود الحموض القابلة للذوبان في الماء، في الزيوت المستخدمة في محركات المركبات، لمنع أكسدة أجزاء هذه المحركات. ولكن يسمح بوجود نسبة ضئيلة من الحموض العضوية غير القابلة للذوبان في الماء. ذلك أن الحموض العضوية تؤدي إلى أكسدة طبقة البرونز الرصاصي في القشور الموجودة في محامل العمود المرفقي.

والجدولان (5-8) و (5-9) يبينان المتطلبات الاستثمارية التقنية المطلوبة للزيت من أجل المحركات البنزينية ومحركات الديزل.

5-9-1-2- زيوت الطائرات:

تحضر زيوت محركات الطائرات من أنواع خاصة من النفط، وذلك بالتقطير بواقى الأسفلت الرخو وبعض البقايا المركزة، بطريقة تنقية عميقة وتخلط أحياناً ببعض المركبات التقطيرية.

ونظراً لأن محركات الطائرات تعمل في ظروف حرارية عالية، يجب أن تكون زيوتها مقاومة للأكسدة لدرجة عالية (ثابتة كيميائياً)، وذات قدرة تزييت عالية، وعند استخدامها في مجالات حرارية منخفضة يجب أن تتمتع بقدرة جيدة على الحركة. ونبين هنا بعض المواصفات العددية لزيوت الطائرات:

الجدول (8-5)

المتطلبات التقنية للزيوت من أجل المحركات البنزينية

ماركة الزيت	مؤشر النوعية	
	AKZP	AKP-b
AK-10		
10	6	6
-	-	-
-	600	2300
7	4	6
200	170	185
-25	-40	-30

- العدد الحمضي: 0.05-0.1 م.غ koH لكل 1 غراما زيتا.
 - اللزوجة عند الدرجة 50°م = (20-22) سنتي ستوكس.
 - نسبة النفايات: 0.013%.
 - نسبة الماء والحمضيات والقلويات: معدومة.
- يرمز لزيوت الطائرات بالأحرف AVI متبوعة بأرقام تبين قيم اللزوجة بالسنتي ستوكس بدرجة حرارة 40°C.

زيت خاص مع مواد مضافة		صيفي	Ak-15	AKZ-10	AKP-10
شئوي					
-	-		15	10	10
35 ÷ 29	60-45		-	-	-
-	-		-	1100	-
-	-		9	4.5	7
165	200		220	170	200
-25	-20		-5	-40	-25

0.8	0.8	0.8	0.7	0.4	0.4	0.3	التفحم بـ % لا تزيد عن العدد الحمضي $M_{90}KOH$ لا يزيد عن
-	-	-	0.25	0.1	0.2	0.15	- دون إضافات
10	10	-	10	-	-	0.10	- مع إضافات
10	10	-	10	10	-	10	النسب بالصدأ حسب طريقة رامايا على صفحة من الرصاص بـ g/M^2
-	-	-	-	يسمح بتفاعل: قلوي ضعيف قلوي ضعيف	لا يسمح	يسمح بتفاعل: قلوي ضعيف قلوي ضعيف	محتويات حموض وقلويات قابلة للاندخال في الماء دون إضافات مع إضافات
-	-	0.015	0.01	0.015	0.015	0.01	رماد بـ % زيت دون إضافات لا تزيد عن
0.2	0.2	-	0.2	-	-	0.2	مع إضافات لا تزيد عن
-	-	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	شوائب صلبة % دون إضافات
-	-	-	0.025	0.025	-	0.025	مع إضافات لا تزيد عن
30	30	-	-	-	-	-	الثبات الحراري عند $250^{\circ}C$ لا يقل عن

الجدول (5-9)

المعطيات التقنية للزيت من أجل محركات الديزل

مشاركة الزيت				مؤشر النوعية
DP-14	DP-11	D-11	DP-8	
15.5 : 13.5	12.5 - 10.5	12.5 : 10.5	9 : 8	السرعة الكيميائية عند 100°C : نسبة اللزوجة الكيميائية:
7.75	6.5	7.3	6	عند 50°C إليها عند 100°C لا تزيد عن
210	190	200	200	الوميض في وعاء مفتوح لا تقل عن
-10	-15	-19	-25	التبلور لا تزيد عن
0.55	0.4	0.4	0.2	التنعم (قبل إزالة المواد) بـ % لا تزيد عن
25	20	-	20	الثبات الحراري حسب ما يكو عند 250°C في دقيقة لا يقل عن (مع إضافات)
-	-	0.15	-	الرقم الحامضي $M_{0.1} KOH$ لا يزيد عن: دون إضافات
0.10	1.10	-	0.10	مع إضافات
لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	وجود الحموض والقلويات المنحلة
0.005	0.005	0.005	0.005	وجود الرماد % دون إضافات لا تزيد عن
0.25	0.25	-	0.25	مع إضافات
لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	وجود الشوائب الصلبة

5-9-2- زيوت نقل الحركة في السيارات والجرارات:

تتصف هذه الزيوت بدرجة الالتصاق العالية وبقدرتها الكبيرة على تشكيل طبقة متينة من الزيت على سطوح الاحتكاك، وهذه المجموعة تستخدم بشكل رئيسي لتزليق مسننات علب السرعة وجسور السيارات السياحية والشاحنة. وتوجد هذه الزيوت في ظروف احتكاك أقصى منها في الآليات الأخرى وفي مجال واسع من درجات الحرارة يتراوح بين $50 \div 200$ °C.

يرمز لتلك الزيوت بالحرف T (Transmission) ويضاف فئة اللزوجة المقابلة لها وفق SAE كما هو موضح في الجدول (5-10).

الجدول (5-10)

اللزوجة بدرجة الحرارة 99°C [cst] (سنتي ستوكس)		اللزوجة بدرجة الحرارة (-18°C) [cst] (سنتي ستوكس)		فئة اللزوجة SAE
حد أدنى	حد أعلى	حد أدنى	حد أعلى	
4.28	-	3557	-	T75
4.18	-	21716	3557	T80
14.24	25			T90
25	42.7			T140
42.7	-			T250

بالنسبة للزيوت التي تحتوي على إضافات للضغط العالي يتم إضافة الحروف EP والأرقام التسلسلية التي تشير إلى مستوى الإضافات.
بالنسبة للزيوت التي تحتوي على إضافات أخرى يتم إضافة الحرف A.

أمثلة:

- الزيت T 140 زيت نقل الحركة للسيارات ذو لزوجة مقابلة للفئة
• SAE 140

- $T 80EP_1$ زيت نقل الحركة للسيارات ذو لزوجة مقابلة للفئة SAE 80 ويحتوي
على إضافات بسيطة للضغط العالي.

- $T 90EP_2$ زيت نقل الحركة للسيارات ذو لزوجة مقابلة للفئة SAE 90
ويحتوي على إضافات كثيرة للضغط العالي.

ونبين هنا بعض المواصفات العددية لزيت نقل الحركة:

- اللزوجة 3-4.5 سنتي ستوكس ($t = 100^0$ م).

- نسبة الحموض والقلويات: معدومة.

- نسبة الشوائب المعدنية: 0.05.

- نسبة الماء: زهيدة جداً أو معدومة.

5-9-3- زيوت الآلات الصناعية:

ويطلق عليها اسم الزيوت الصناعية وتستخدم هذه الزيوت في ظروف حرارية
عادية. عدد الزيوت في هذه المجموعة كبير ويصل إلى 20 نوعاً. وتعدّ اللزوجة
ودرجة التصلب من أهم خواص هذه المجموعة. تصنف الزيوت المستخدمة في
الآلات الصناعية بحسب الأماكن الرئيسية المستخدمة بها، ويتم تسميتها وفق
الجدول (5-11).

يتم تمييز الزيوت المستخدمة في الصناعة بكتابة الأحرف التي تبين الاستخدام
ويتبعها قيمة اللزوجة بالسنتي ستوكس عند درجة حرارة $40^{\circ}C$ ، وبالنسبة لزيوت
الأسطوانات يشير الرقم إلى حرارة اشتعاله بدلاً من اللزوجة.

الجدول (5-11)

الرمز	تسمية الزيت
I	زيوت صناعية
C	زيوت للأسطوانات
K	زيوت للضواغط
Tb	زيوت للعنفات
F	زيوت لأجهزة التبريد
L	زيوت للمضاجع
TIN	زيوت نقل الحركة

- اللزوجة الكينماتيكية للزيوت المستخدمة في الآلات سريعة الدوران عند الدرجة 40 مئوية 4-8.5 سنتي ستوكس.
 - زيوت الفرازات من 6-17 سنتي ستوكس.
 - زيوت أعمدة الدوران من 10-23 سنتي ستوكس.
 - زيوت الآليات والماكينات الصناعية 27-58 سنتي ستوكس.
 - زيوت الثلاجات 11.5-20 سنتي ستوكس.
- يجب أن تكون هذه الزيوت مقاومة للأكسدة والتفكك والحت الكيميائي وأن تحتفظ بلزوجتها عند المجالات الحرارية المختلفة، بخاصة أن ظروف استخدامها تتطور وتزداد صعوبة وتعقيداً.

نبين هنا بعض المواصفات العددية لزيت الأسطوانات:

- اللزوجة 20-70 سنتي ستوكس عند $t = 100^{\circ}\text{C}$.
- نسبة الشوائب والنفايات والحموض والقلويات: معدومة.
- نسبة الماء 0.05% وأقل.

5-9-4- زيت المنشآت الهيدروليكية:

وتستخدم هذه الزيوت كسوائل هيدروليكية ومواد مزلفة. وتكون هذه الزيوت صافية متجانسة خالية من أية رواسب ظاهرة أو مواد معلقة وتحتوي على الإضافات التالية: مانع التأكسد ومانع الصدأ ومانع الاهتراء.

مجال اللزوجة لهذه الزيوت كبير وذلك من أجل استيعاب التصاميم المختلفة ومتطلبات العمل. كما أنها تتمتع بدليل لزوجة عال وذات نقاط انصباب منخفضة وذلك من أجل استمرارية سيولتها عند درجات الحرارة دون الصفر المئوية، وتبقى مناسبة في مجال واسع لتغيرات درجة حرارة المحيط.

نتم تسمية هذه الزيوت بكتابة الحرف H ويتبع بالرقم الذي يشير إلى قيمة اللزوجة بالسنتي ستوكس عند درجة الحرارة $40^{\circ}C$.

5-9-5- زيت العزل الكهربائي (زيوت المحولات والمكثفات والكابلات):

وتستخدم هذه الزيوت كوسط عازل وماص للحرارة، حيث يتطلب زيتاً ذا استقرارية عالية حرارياً وأيضاً في خاصية الأكسدة. من أهم خصائص هذه الزيوت أن يكون جهد الانهيار الكهربائي Dielectric Strength عالياً (ليس أقل من 30 kV).

تجري تسمية الزيوت العازلة كهربائياً بحسب الاستعمالات الرئيسية:

- زيوت المحولات والقواطع الكهربائية تكتب بحروف Tr.

- زيوت حماية الكابلات الكهربائية وتكتب بحروف CEL.

يجري ترقيم اللزوجة بذكر الأحرف التي تشير إلى مكان الاستخدام وبعد ذلك تذكر قيمة اللزوجة بالسنتي ستوكس عند درجة الحرارة $20^{\circ}C$ بالنسبة لزيوت المحولات والقواطع الكهربائية، وبدرجة الحرارة $40^{\circ}C$ للزيوت المستخدمة في حماية الكابلات الكهربائية.

نبين هنا بعض المواصفات العددية لزيت المحولات:

- اللزوجة: 9 سنتي ستوكس عند الحرارة 50 °م.
- العدد الحمضي: 0.02م. غ/غ زيت.
- نسبة النفايات: 0.005%.
- نسبة الماء: معدومة.
- نسبة الشوائب المعدنية أقل من 0.007%.

5-9-6- زيوت التوربينات والعنفات:

يجب أن تكون هذه الزيوت المستخدمة في العنفات البخارية والمائية، مقاومة للأكسدة، ويمكن التأكد من ذلك مخبرياً ويجب أن تكون ممانعة لظاهرة الاستحلاب أي أن تكون قادرة على الانفصال جيداً عن قطرات الماء الواردة إليها. ولهذه الزيوت مستويات مختلفة من اللزوجة.

نبين هنا بعض المواصفات العددية لزيت العنفات:

- اللزوجة: 20-32 سنتي ستوكس (50 °م).
- العدد الحمضي: 0.02م. غ لكل 1 غراماً زيتاً.
- نسبة النفايات: 0.005%.
- نسبة الحموض والقلويات: معدومة.

5-9-7- زيوت الضواغط:

تعمل زيوت الضواغط التي تقوم بتزيت الأسطوانات والصمامات وغيرها. في درجة حرارة تصل إلى 225 °م وتحت ضغط 200 كغ/سم². الشرط الأساسي المطلوب من هذه الزيوت هو الثبات أمام الأكسدة. وتختلف هذه الزيوت بلزوجتها التي تختلف باختلاف تركيب الضاغط والضغط أثناء العمل وتحضر من خام مختلط مع استخدام التنقية العميقة.

نبين هنا بعض المواصفات العددية لزيت الضواغط:

- نسبة الشوائب المعدنية: أقل من 0.8%.

- العدد الحمضي: 0.35 م. غ koH لكل 1 غ أو أكثر.

- نسبة الماء: 0.008% أو أقل.

- اللزوجة: 15 سنتي ستوكس (100 م⁰).

5-9-8- زيوت الآلات البخارية:

تقسم الآلات البخارية إلى قسمين - آلات تعمل ببخار مشبع.

- آلات تعمل ببخار محمص.

أهم خواص هذه الزيوت هي التبخر القليل واللزوجة العالية، ويجب ألا تسبب تراكمات في أماكن وجودها، والزيوت المستخدمة في آلات البخار المشبع يجب أن تكون لزوجتها الكينماتيكية عند درجة 100 مئوية من 11-24 سنتي - ستوكس ودرجة الوميض 200-240 مئوية. وفي آلات البخار المحمص تساوي اللزوجة الشرطية عند الدرجة 100 مئوية 4.5-7.5 سنتي ستوكس ودرجة الوميض 300-310 م⁰.

5-9-9- زيوت لاستخدامات أخرى:

تدخل في هذه الفئة جميع أنواع الزيوت التي لا تدخل في الفئات المذكورة أعلاه. مثلاً:

- زيوت التبريد.

- زيوت آلات قطع الصخور.

- زيوت الأجهزة الميكانيكية الدقيقة.

- الزيوت البيضاء.

- الزيوت الطبية.

- زيوت المساحيق التجميلية.

- زيوت حماية السطوح المعدنية.

- الزيوت المستخدمة كوسيط ناقل للحرارة.

5-10 - تحديد صلاحية الزيوت المعدنية واختبارها :viability of mineral oils and tested

يخضع الزيت أثناء استخدامه لتغيرين أساسين:

- تغير كيميائي داخلي يطرأ على الزيت نفسه، وينشأ عن أكسدة الزيت وتحوله إلى مركبات أكسجينية ذوابة أو غير ذوابة، تؤثر سلباً في المعادن والقطع المتحركة. ويتغير معدل أكسدة الزيت والإضافات بفعل الحرارة، فتزداد لزوجته وحموضته ويميل لونه إلى السواد وتتشكل فيه رواسب شديدة اللزوجة أو صلبة غير ذوابة.
- تغير خارجي يحدث على الزيت نتيجة تأثير عوامل خارجية، ويخضع هذا التأثير إلى جودة زيت الأساس والإضافات والوقود المستعمل وشروط عمل القطع المتحركة (حمل، سرعة، حرارة) والصيانة وتصميم الآلات ودقة صناعتها.

وللتأكد من صلاحية زيت ما، يتم إجراء عدة اختبارات دورية لعينات من الزيت لمعرفة الحدود الاحترازية، ويعطي ذلك فكرة عن حالة الزيت، وحالة القطع المتحركة والتنبؤ عن الأعطال والأسباب المحتملة للأعطال، ومقارنة النتائج مع الحدود الاحترازية للمواصفات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية (الناجمة عن التحاليل المخبرية) باستخدام تقنيات مختلفة لقياس مدى تحلل الزيت ولزوجته وحموضته وقلويته، وقياس معدلات الاهتراء والتلوث والتحليل بالأشعة تحت الحمراء.

يمكن اختبار زيوت التزيت بإحدى الطريقتين:

- اختبارات فيزيائية: وتتمثل باختبار الكثافة، واللزوجة، واللون، وتأثير درجات الحرارة المنخفضة، وقرنية الانكسار، والوزن الجزيئي، ونقطة الوميض، ونقطة الاحتراق وصفات الاحتراق الذاتي، وقابلية التبخر

والخسارة بالتبخر، والتقطير، والاستخلاص والامتزاج الانتقائي، ومشكلات تكوّن الرغوة، وغير ذلك.

- اختبارات كيميائية: وتتمثل الاختبارات الكيميائية بالكشف عن المحتوى المحلي، وقرينة التعادل، وقرينة التصبن، والمحتوى بالكلور، ووجود الفينول والماء والرماد والأسفلت، وقابلية الزيت للكلل والأكسدة، والانحلال في حمض الكبريت، ونقطة الأنيلين، والمحتوى البرافيني، ومحتواه من الفوسفور والكبريت والزنك والكالسيوم والرصاص والحديد، وغير ذلك.

وعند تخزين الزيوت يجب أن تحفظ في براميل توضع في مستودعات لها شروط محددة وفوق ألواح خشبية، وقبل استخدام برميل الزيت يجب أن يتخرج على أرض مستوية ملساء خالية من الحصى والغبار عدة أمتار للأمام والخلف ثم يقلب إلى الأعلى والأسفل حتى تمتزج محتويات البرميل تماماً ثم يسحب الزيت منه.

تتدنى جودة الزيت ونوعيته أثناء التشغيل، وتتغير اللزوجة، وتزداد الحموضة، وكذلك تزداد نسبة الشوائب المعدنية والماء، ويرافق ذلك التغير بالخواص الفيزيائية والكيميائية، تغير جذري بتركيب الزيوت مع مرور الزمن، ويمكن تمييز ذلك باللون الداكن والرائحة الحادة وظهور الرواسب والشوائب والاستحلاب.

يتوقف استهلاك الزيوت واستبدالها على عدد ساعات العمل وفترة التخزين، حيث إن استمرار استخدامها يعوق العمل الطبيعي للآلة وتزداد ظاهرة الاحتكاك والتآكل بين الأجزاء المحتكة ويظهر الصدأ والشوائب والأوساخ في دارات التزييت والمصافي.



الفصل السادس الشحوم

مقدمة

6-1- تصنيف الشحوم

6-2- تصنيع الشحوم

6-3- الخواص الفيزيائية والكيميائية للشحوم

6-4- تخزين وتداول الزيوت والشحوم

6-5- التوزيع والصرف

6-6- قواعد الأمن الصناعي



الفصل السادس

الشحوم

GREASES

مقدمة Introduction:

الشحوم عبارة عن خليط أو مزيج متوازن من الزيوت المعدنية ومادة إضافية لزجة. بنية الشحوم غير متجانسة وتتألف الغالبية العظمى منها من أساس زيتي، وهو الوسط والمادة الإضافية (الثانوية)، وهي جزيئات صلبة (جامدة) تتماسك وتتوَلَف هيكلًا عضويًا يحوي في خلاياه جزيئات السائل الزيتي.

وتدل الدراسات المجهرية على أن جسيمات المادة الإضافية تكون موجودة على شكل بنية نسيجية يختلف شكلها وترتيبها تبعًا لنوع المادة الأصلية. ومن المعتقد أن الزيت المعدني الذي يدخل في تركيب المادة الشحمية يبقى محدودًا ومحصورًا في عيون الشبكة التي تشكلها المادة الإضافية، وأن نوع وتوزع وأبعاد هذه الآليات النسيجية هو الذي يمنح المادة الشحمية خواصها ومواصفاتها. ويمسك الزيت بالشبكة بواسطة الادمصاص (الامتزاز) على سطوح الألياف وكذلك بفعل الخاصة الشعرية.

وتكون الشحوم جامدة أو نصف جامدة وذلك بحسب كمية المواد الإضافية اللزجة التي تدخل في تركيبها ونوعية هذه المواد.

وبشكل عام تتألف الشحوم من مركبات المواد التالية:

- 70-90% مادة زيتية.
- 10-13% مادة مكثفة تساعد على إعطاء الشكل الهلامي للزيت.
- 1-15% إضافات لمواد أخرى.

في الظروف العادية والحمولات البسيطة تتماسك الشحوم على السطوح الشاقولية، ولا تتساقط تحت تأثير ثقلها. ولهذه تقوم بالتزييت الجيد لسطوح

الاحتكاك، وتحافظ عليها من الصدا، وتخفف من مقاومة الحركة لاسيما عند الإقلاع غير أنها لا تستطيع الحركة داخل نظام معين كالزيت ولهذا لا تقوم بنقل الحرارة (التبريد) من أماكن الاحتكاك.

تستخدم الشحوم في كثير من الآلات والمحركات المختلفة وماكينات التشغيل في الأحوال التي لا توفر فيها الزيوت المعدنية تزييتاً جيداً. وقد حلت في كثير من الأماكن محل الزيت السائل، لما لها من مزايا لا يمكن أن تتوفر في الزيت: - يسهل الاحتفاظ بها حيث توضع. - تساعد في كتامة المساند حيث تملأ الحيز الذي تتوضع فيه، وتمنع دخول الرطوبة والشوائب من المحيط.

والزيت المعدني في صناعة الشحوم هو الزيت الصناعي المتنوع 50، 40، 30، 20، 10 الذي يختلف بلزوجته. والمادة الإضافية هي مادة صابونية على أساس الصوديوم، أو البوتاسيوم بصورة أملاح الحموض الدهنية (تنتج عن اتحاد جزيئات من الحمض الدهني مع جزيئات ماءات الصوديوم، أو البوتاسيوم). أو مادة إضافية أخرى (السيروزين، البارافين، الفازلين). للحصول على المادة الصابونية تستخدم الدهون الحيوانية أو النباتية وغيرها.

تسمى الشحوم صابونية، أو شحوماً بارافينية تبعاً للمادة الإضافية، وتعد الشحوم الصابونية أكثر انتشاراً 90% من الإنتاج الكلي للشحوم، وذلك لعدة أسباب:

1- توفر هذه المواد.

2- سهولة إنتاجها.

3- انخفاض تكلفتها.

والشحوم البوتاسية أكثر الشحوم الصابونية انتشاراً.

ويتم تحضير الشحوم المختلفة نظرياً وفقاً للمعادلات التالية:

كمحلة أولى:

- دهون (عادة الدهن الحيواني أو النباتي) + بوتاسيوم (معدن) ← صابون بوتاسي (صابون معدني).

- دهون + صوديوم ← صابون صودي.

والمرحلة الثانية وفقاً للمعادلات التالية:

- زيت معدني + صابون بوتاسي ← شحوم بوتاسية.

- زيت معدني + صابون صودي ← شحوم صودية.

- زيت معدني + سيروزين ← شحوم هيدركربونية على أساس (سيروزين).

- زيت معدني + بارافين ← شحوم هيدركربونية على أساس (بارافين).

6-1-1 تصنيف الشحوم Greases Classification:

تصنف الشحوم عادة وفق المادة الإضافية وتماسكها وقوامها. وبصورة عامة

تصنف الشحوم:

6-1-1-1 بحسب التركيب الكيميائي:

6-1-1-1-1 الشحوم الصابونية:

- شحوم ألومنيومية

- شحوم كالسيومية

- شحوم ليثيومية

- شحوم بوتاسية.

- شحوم صودية.

فالشحوم الألومنيومية شحوم لاصقة مقاومة للماء ولينة، تقع نقطة السقوط لها بين 80-150 °م وتستخدم في تشحيم هياكل السيارات، وبشكل عام تستخدم بشروط حرارية أقل من 80 °م.

أما الشحوم الكالسيومية فهي شحوم عامة في استعمالاتها، وتناسب درجات الحرارة حتى 50 °م. درجة سقوطها تقارب 100 °م ولا يؤثر فيها الماء.

الشحوم البوتاسية تحتوي على 3-4% ماء، حرارة التسيب 60-110 °م، درجة حرارة عملها 50-80 °م.

وللشحوم الصودية نقاط سقوط أعلى (حوالي 160 °م) فتصلح لذلك في درجات الحرارة الأعلى، ولكنها تستحلب في الماء.

تجمع الشحوم الليثيومية بين درجة السقوط العالية (حوالي 200 °م) والمقاومة الجيدة للماء وصلاحياتها للاستعمال في درجات الحرارة المنخفضة.

6-1-1-2- الشحوم الهيدروكربونية:

- شحوم على أساس سيروزين.

- شحوم على أساس بارافين.

- شحوم على أساس فازلين.

تعدّ أكثر تماسكا من غيرها، درجة حرارة تسيبها من 60-80 °م لا تحتوي على الماء.

6-1-2- بحسب الهدف من استخدامها:

- الشحوم الخاصة (لحالات معينة).

- الشحوم متعددة الأهداف (العامة).

الشحوم الخاصة وتقسم إلى:

- شحوم مقاومة للاحتكاك: لتخفيف احتكاك الأجزاء وزيادة الانزلاق.
- شحوم واقية: لحماية الأجزاء من الحت الكيميائي.
- شحوم مشنطة (منظفة): لمعالجة السطوح الاحتكاكية وجعل الاحتكاك متجانسا ما بين الأجزاء.

أغلب الشحوم وأكثرها انتشاراً هي الشحوم المقاومة للاحتكاك، وكثير منها يتمتع بخواص واقية في الوقت نفسه وتسمى الشحوم الشاملة وتستخدم لأغراض متعددة.

الشحوم العامة تقسم إلى:

1- الشحوم الرخوة، درجة حرارة تسيبها 65°C .

2- الشحوم الجامدة، ودرجة حرارة تسيبها 100°C .

تستخرج الصناعة النفطية أكثر من 60 نوعاً من الشحوم المختلفة بخواصها ومجالات استخدامها.

6-1-3- بحسب التماسك والقوام:

يتم قياس ذلك بمقدار ما ينغرز طرف مدبب في عينة الشحم في ظروف معينة من الحرارة وغيرها، فتصنف الشحوم وفق ذلك في درجات تبعا لمجالات الانغراز من الشحوم اللينة جداً ذات الدرجة 000 وحتى الشحوم القاسية جداً ذات الدرجة 6، وذلك حسب المعهد القومي لشحوم التزليق الأمريكي (National Lubricating Grease Institute NLGI).

6-2- تصنيع الشحوم Grease manufacturing:

6-2-1- تصنيع الشحوم الهيدروكربونية:

تقتصر في جوهرها على الخلط الشديد للمركبات بنسب معينة في وعاء خاص، ثم يجري تسخين الخليط إلى درجة $100-125^{\circ}\text{C}$ ، بواسطة البخار الحار. هذا مع إجراء التقليب المستمر باستخدام خلاط ميكانيكي أو هوائي.

يتم التخلص من الماء أولاً وتشتيت المادة الإضافية في السائل بشكل جيد ثانياً. كما تستخدم مضخات لتدوير الخليط من أسفل إلى أعلى وبالعكس، ويبرد الشحم بعدها ببطء إلى الدرجة $60-70^{\circ}\text{C}$ ويصب عندئذ في أوعية التعبئة.

6-2-2- تصنيع الشحوم الصابونية:

وهذه العملية أكثر تعقيداً، حيث أنها تحتوي على عملية إنتاج الصابون التي تتطلب تقديراً دقيقاً لكمية المركبات، وملاحقة درجات الحرارة بنظام تام.

ويحضر الشحم البوتاسي. بإضافة الصابون البوتاسي لزيت القطن إلى الزيت المعدني الصناعي 20 أو 45 . وينتج ما يسمى الزيت الجاهز وله ثلاثة أنواع تختلف باختلاف نسب الصابون. ويمكن إضافة الصابون البوتاسي الناتج عن الأحماض الاصطناعية التي نحصل عليها من أكسدة البارافين ويتم تحضير الشحم ومحلول البوتاسي في مرجل يحتوي على كمية زيت صغيرة جاهزة (زيت + صابون) ومحلول الجير عند حرارة تساوي 98-105 °م، ثم تنخفض الحرارة إلى 65 °م. ويترك الخليط للاستراحة، ويستخلص منه الماء، ثم تضاف 15% من كمية الزيت الكاملة مع الأحماض الدهنية وتجرى عملية تصبن الأحماض عند الحرارة 100-105 °م ويستخلص الماء جزئياً من الصابون بطريقة التقليب لمدة 2-6 ساعات ثم تضاف الكمية الباقية من الزيت مع التقليب مما يؤدي إلى خفض درجة الحرارة إلى 70-75 °م ويصب الزيت الجاهز في أوعية خاصة.

ويعد شحم الكونستالين أكثر الشحوم الصودية انتشاراً، ويحضر كما في السابق ولكن باستخدام محلول الصود الكاوي.

وتحضر الشحوم تحت الضغط الجوي وتحت ضغط أعلى من الضغط الجوي (في أجهزة مغلقة بإحكام). تتم عملية التبريد من خلال مبرد أو في حجوم واسعة خاصة.

6-2-3- طرائق إنتاج البارافين والسيروزين:

البارافين والسيروزين هيدروكربونات جامدة، تستخلص من النفط الخام ومواد أخرى بعملية كيميائية حرارية خاصة.

درجة غليان البارافين $370-560^{\circ}\text{C}$ ، وزنها الجزيئي من 300-500، ودرجة انصهارها $30-70^{\circ}\text{C}$. ودرجة غليان السيروزينات 500-700 $^{\circ}\text{C}$ ، ودرجة انصهارها من $65-85^{\circ}\text{C}$ أو أعلى، ووزنها الجزيئي 500-700.

تقوم عملية إنتاج البارافين بمعالجة القطارة البارافينية، التي تفصل من النفط البارافيني، والخاصة لهذا الغرض.

وهناك خامات خاصة تستخدم لإنتاج السيروزين تسمى أوزوكريت وتوجد في حقول معينة، في مناطق معينة.

تتلخص طريقة إنتاج البارافين كما يلي:

تبرد القطارة التي نحصل عليها أثناء تقطير الأنواع البارافينية من النفط ثم تفصل البارافينات المتبلورة عن السائل الأساسي في صواني ترشيح، وتجري عملية الترشيح على مرحلتين: حيث يبرد الناتج من المرحلة الأولى إلى درجة $2-5^{\circ}\text{C}$ ، فينفصل عند ذلك البارافين ذو درجة الانصهار المرتفعة فقط، ويخضع الباقي الذي نحصل عليه بعد المرحلة الأولى لعملية ترشيح فيشكل نتيجة لذلك بارافين غير نقي.

يبرد راسب المرحلة الأولى إلى درجة (-12°C) ثم يخضع مرة أخرى لعملية ترشيح التي تفصل خلالها البارافينات ذات درجة الانصهار الأقل. وبعدها يتم نزع الزيت من البارافينات المفصولة بطريقة الترشيح أيضا.

تتلخص عملية الترشيح كما يلي:

تدخل المادة الخام البارافينية في حجرة خاصة مزودة بصوان قاعها هرمي لتسهيل عملية تصريف النواتج، تشد فوق الصواني شبكة، وعليها أنابيب حلزونية في داخلها ماء بارد أو ساخن بحسب الحاجة، لذلك توجد في الأسفل أنبوبة للتغذية بالبخار الحار. تدخل المادة على الصواني، وتبرد بالماء ويرشح الزيت من المادة

ويسيل من خلال الشبكة ثم ترفع درجة الحرارة على الصواني بالتدريج مما يسبب انصهار البارافينات ذات درجات الانصهار الأقل وسيلاؤها.

وتتغير خواص الراشح المنفصل أثناء العملية باستمرار فتزداد درجة انصهاره وتنخفض نسبة الزيت فيه، وتستمر عملية الترشيح إلى أن تصل نسبة الزيت في الناتج الباقي على الصواني إلى النسبة المطلوبة. عند ذلك يصهر البارافين على الصواني بالبخار، وتجري عملية الترشيح في الحجرة عند الحرارة 55-60 °م وتستمر بين 15 و 60 ساعة، ولإنتاج البارافين الأبيض يخضع الناتج السابق للتنقية بحمض الكبريت ثم يعادل بالصودا المكلسة ويغسل بالماء. والبارافين الناتج لا تزيد نسبة الزيت فيه على 0.5-3%.

وهناك طرائق حديثة لإنتاج البارافين باستخدام المذيبات الانتقائية والتجهيزات المشابهة لتلك المستخدمة في عملية نزع البارافين.

وتتلخص طريقة إنتاج السيروزين كما يلي:

يسخن الأوزوكريت الخام إلى درجة 100 °م لفصله عن الماء والشوائب المعدنية ثم تقطر القطفات الزيتية، تحت التخلخل وبوجود بخار الماء، ثم تخضع المادة الناتجة والخالية من الزيت للتنقية بحمض الكبريت، وبمواد الامتصاص الأخرى عند درجة حرارة تساوي 120 °م . ترفع الحرارة إلى 230 °م، حيث تتحلل نواتج تفاعل الحمض والمواد الأسفلتية والرواسب ويتكون الكوك وثاني أكسيد الكبريت والماء وتطرد خارجا، ثم تجري عملية التنقية بالجير، ثم عملية الترشيح عند الدرجة 160 °م لفصل الشوائب المتبقية ثم يعالج الناتج بالبنزين لاستخلاص السيروزين، ثم يقطر هذا البنزين من الناتج. وقد تتكرر عملية التنقية للحصول على السيروزين الجيد.

6-2-4- إضافات الشحوم:

يتم تحسين جودة الشحوم باستخدام بعض الإضافات التي تعطيها الخواص والمواصفات المناسبة لأهداف معينة تفرضها طبيعة وظروف عمل الآلة. وتقسم هذه الإضافات إلى:

1- إضافات التأكسد: وتضاف عادة بنسب 0,5-1% وزنا لمنع تأكسد الزيت وتكون الحموض والنفائيات الضارة في الزيت والتي تؤدي بدورها إلى التآكل.

2- إضافات التآكل الكيميائي: وتضاف للحد من حدوث التآكل نتيجة تكون الحموض أثناء الخدمة أو بنتيجة اختراق الماء للغشاء الزيتي وأكسده للمعدن.

3- إضافات منع الاهتراء: تفيد هذه الإضافات أساسا في إطالة فترة التشغيل.

4- إضافات الضغط العالي: تطلب هذه الإضافات عندما يكون الحمل على الأجزاء المتحركة عالياً أو تكون السرعات بينهما كبيرة لدرجة أن الغشاء الشحمي يتعرض للانجراف. نسبة هذه الإضافات 2-5%.

5- الإضافات الدبقية: وتمزج هذه الإضافات مع الشحم لتحسين إمكانية التصاقه بالمعادن.

6- إضافات الحشو: وتمزج هذه الإضافات مع الشحم أحيانا لتساعد على تكثيف قوامه أو زيادة كتلته. وتحسن هذه الإضافات أحيانا إمكانية التزييت وخصوصا عند درجات الحرارة العالية، وفي أحيان أخرى تبقى هذه الإضافات عند نفاذ الشحم لتقوم بدور التزييت. ومن هذه الإضافات: الغرافيت، الإسبستوس، الموليبيديوم ديسولفايد، بودرة المعادن، الأكاسيد، الكربونات والسولفيدات.

7- إضافات منع انفصال الزيت: تـمـزج هـذه الإـضـافـات مـع الشـحـم عـندما يـكـون الزيت الداخـل فـي تـركـيبـه مـنـخـفـض اللزوجة (للاستخدام تحت درجات حرارة منخفضة).

3-6- الخواص الفيزيائية والكيميائية للشحوم Physical & Chemical Properties of Greases

1-3-6- متانة أو مقاومة الشحوم:

تعرف هذه الصفة بأنها القوة أو الحمولة الدنيا التي يمكن أن تؤثر على الشحم وتسبب له التشوه، وبزوالها لا يمكن التخلص من التشوه، ونظراً لهذه الخاصية فإنه عند ميلان أسطح الاحتكاك أو عند وجود فجوات غير محكمة، نلاحظ عدم سقوط أو خروج الشحم من تلك الأماكن، ولدرجة الحرارة تأثير مهم على هذه الخاصية، إذ تنخفض متانة الشحم كلما ارتفعت درجة الحرارة ويمكن أن تنخفض هذه المتانة إلى الصفر وعند ذلك يفقد الشحم كافة خواصه ويتحول من الحالة نصف الجامدة إلى الحالة السائلة. كما أن هناك العديد من العوامل الأخرى التي تؤثر على متانة الشحوم، مثل تركيز المادة الإضافية، صفات المادة الزيتية، تركيب المواد السطحية المنشطة، تكنولوجيا إنتاج الشحوم.

تبلغ قيمة متانة معظم أنواع الشحوم حوالي $Pa (100 \div 1000)$ عند درجة الحرارة $20^{\circ}C$.

2-3-6- لزوجة الشحوم Grease Viscosity

تلعب هذه الصفة دوراً مهماً عند استخدام الشحوم، بحيث إن اللزوجة تحدد إمكانية تعبئة وعبور الشحم، وإمكانية المقاومة التي يبديها ضد الدوران الناتج عن زوايا الاحتكاك. وخلافاً للزوجة الزيت، فإن لزوجة الشحوم لا تتعلق فقط بدرجة الحرارة وإنما أيضاً بتغير سرعة التشوه بحيث تنقص اللزوجة مع زيادة تلك السرعة.

لذلك نلاحظ أنه في معظم دول العالم وعند تباين لزوجة الشحوم لابد من إيضاح درجة الحرارة والسرعة التي يمكن أن يحدث عندها التشوه.

يجب الإشارة إلى أنه بالإضافة إلى تأثير لزوجة الزيت الداخل في تركيب الشحم على لزوجة الشحم بشكل عام، توجد عناصر عديدة يمكن أن تؤثر أيضاً على اللزوجة، منها:

1- طبيعة أو منشأ وتركيز المادة الإضافية: بزيادة هذا التركيز تزداد لزوجة الشحوم.

2- أبعاد وشكل ذرات المادة الإضافية.

3- التكنولوجيا المتبعة في التحضير أو ما يسمى بطبخ الشحوم.

6-3-3- درجة الليونة أو مدى الاختراق Penetration:

عبارة عن عامل تجريبي ليس له معنى من الناحية الفيزيائية ولا يحدد مسار الشحم في شروط العمل أو بمعنى آخر حين الاستخدام، ولكن يستخدم بشكل واسع لتصنيف أو ترقيم الشحوم. تتعلق ليونة الشحوم بلزوجتها وتركيبها الكيميائي. وتتم عملية اختيار نوعية الشحم في الآلات المختلفة على أساس الليونة. ويتم قياس درجة الليونة بالمقوام Penetrometer وذلك بقياس مدى اختراق المخروط في الشحم لمدة خمس ثوان ومقابلته مع درجات NLGI.

يبين الشكل (6-1) جهاز القياس المقوام حيث يلج المخروط 2 من الجهاز في الشحم لمدة خمس ثوان ويكون عمق ولوج المخروط في الشحم هو دليل الليونة، ويظهر بعدد الدرجات التي يبينها السهم على اللوحة المرقمة 5.

تحدد الليونة عادة عند درجات الحرارة $^{\circ}C (75, 50, 25)$.

الشكل (1-6)

6-3-4- درجة حرارة السقوط (التقطير) Drop Point:

وهي بالتعريف درجة الحرارة الدنيا التي يبدأ عندها الشحم بالتحول من الحالة نصف الجامدة إلى الحالة السائلة تحت شروط معينة، وتقاس هذه الدرجة عن طريق تسخين الشحم في وعاء خاص حتى تبدأ قطرات الشحم بالتفكك والسقوط، وتكون درجة حرارة سقوط أول قطرة من الشحم المائع هي درجة حرارة السقوط للشحم وفق شروط التجربة.

وتقيد هذه النقطة في الاستدلال على عملية انتقاء نوعية الشحم للعمل في شروط حرارية معينة للألة، حيث استناداً لهذه النقطة يتم تحديد المجال الحراري الأعلى لاستخدام الشحوم، بحيث يمكن استخدامها عند درجات الحرارة، التي تساوي في مكان التشغيل أقل بـ $(15 \div 20)$ درجة من درجات السقوط.

6-3-5- خاصية التماسك وثبات الشحوم أثناء الخزن والاستخدام الطويل:

أ- الثباتية الفيزيائية Physical Stability:

ويفهم منها مقاومة الشحوم للحمولات ودرجات الحرارة غير العالية.

ب- الثباتية الميكانيكية Mechanical Stability:

وهي مقدرة الشحوم على تغيير مواصفاتها الميكانيكية تحت تأثير أي عامل أو ثقل أو قوة خارجية، حيث بزوال هذا العامل يستعيد الشحم صفاته الأولية.

ج- الثباتية الكيميائية Chemical Stability:

هي قدرة الشحوم على الثبات أمام عملية الأكسدة بأكسجين الهواء، وتحسب عملياً بكمية الحموض العضوية الناتجة عن تسخين طبقة رقيقة من الشحوم على صفيحة من النحاس، وتتعلق هذه الخاصية بمكونات الشحوم، ولها أهمية كبيرة في أماكن الاحتكاك المغلقة حيث الحمولات العالية.

يصبح لون الشحوم عندما تتأكسد داكناً، وتصبح أكثر تماسكاً، لكن بزيادة عملية الأكسدة تتفكك الشحوم وتتسرب من أماكن وجودها، مما يؤدي إلى تكون الصدأ على السطوح المعدنية.

تعد الشحوم الهيدروكربونية أكثر أنواع الشحوم تماسكاً، بينما تعد الشحوم الصابونية على العكس - أقلها تماسكاً.

د- الثباتية التركيبية Structural Stability:

وهي مقاومة الشحوم للتفكك والتحلل عند التخزين والاستخدام، حيث عند حدوث التفكك تتساقط الشحوم بشكل قطرات وتفقد الكثير من مواصفاتها. ويعتمد ثبات الشحوم وتماسكها على المواد الإضافية في الشحوم وعلى طريقة تحضيرها.

هـ- الثباتية الحرارية Thermal Stability:

وهي مقدرة الشحم على تحمل الحرارة وعدم تغيير شكله نتيجة ارتفاع درجة الحرارة لفترات زمنية قليلة ومتقطعة. ولا بد من تعيين مجال ثباتية الشحوم الحرارية أثناء تقييم الشحوم.

6-3-6- التبخرية Volatility:

إن استخدام الشحوم في درجات حرارة عالية وبشروط الضغط المخلخل المنخفض جداً ولفترة زمنية طويلة دون تغيير، يمكن أن يؤدي إلى فقدان جزء من الزيت الأساس المكون للشحم وذلك نتيجة التبخر، بحيث يجف الشحم ويتحول إما إلى كتلة لا فائدة منه أو إلى قشور على سطح الاحتكاك، وبالتالي فقدان أو ضياع خواص الشحوم من حماية وتزليق. إن فقدان الزيت من الشحم نتيجة التبخر يؤدي إلى زيادة تركيز المادة الإضافية وقساوة الشحم وضياع خواصه في درجات الحرارة المنخفضة.

تتعلق سرعة تبخر الزيت من الشحم بتركيب الزيت وشروط التخزين والاستخدام. وكلما كانت طبقة الشحم رقيقة وذات سطح كبير، كلما كان التبخر أكبر.

وللتقييم النوعي لتبخر الشحوم، توضع عينة من الشحم ضمن خلية نموذجية في حمام زيتي بدرجة الحرارة المطلوبة، وتعرض لتيار هوائي بمعدل انسياب معين وبعد ذلك تعين الكمية الضائعة من العينة.

6-3-7- مقاومة الماء Water Resistance:

إن مقاومة الشحوم للتلوث بالماء خاصية مهمة جداً، وذلك لأنه على الشحم أن يقوم بتزييت الآلات حيث يمكن أن يوجد الماء بنسب مختلفة. يمكن أن يسبب وجود الماء تغييراً في تماسك الشحم، استحلاب الشحوم ذات الأساس الصابوني القابل للذوبان في الماء، وانخفاض في الثباتية الميكانيكية. يمكن أن تفقد هذه

التغيرات على سطوح الآلات إلى انجراف المادة الشحمية مسببة تزييقاً غير كاف وكذلك تتخفض فعاليتها في حماية القطع من الصدأ.

6-3-8- نسبة الشوائب والرماد وغيره من النفايات:

لا يسمح بوجود الرماد ولا أي نوع من أنواع الشوائب المعدنية ضمن تركيب الشحوم لأنها ترفع من عملية تآكل سطوح الاحتكاك لدرجة كبيرة، وقد يؤدي ذلك إلى تلفها وتكسيدها، وبخاصة أن الشحوم لا تجري ضمن منظومة خاصة بها وبالتالي فهي لا تخضع للتصفية أثناء الاستخدام.

6-3-9- نسبة القلويات والحموض الحرة:

إن وجود القلويات والحموض الحرة ضمن الشحوم أمر غير مرغوب به وذلك بسبب ما تؤول إليه من تكوين الصدأ على الحديد (بالنسبة للحموض الحرة) ومن تأثير على المعادن الثمينة كالنحاس والرصاص وغيرها (بالنسبة للقلويات). لهذا لا يسمح بوجود مثل هذه المواد، وإن وجدت فنسبتها زهيدة جداً لا تتجاوز $(0.01 \div 0.02)\%$.

- بعض المحاذير عند استعمال الشحوم:

1- تتصف معظم الشحوم بأنها غير قادرة على التمازج، وقد يؤدي مزجها إلى إتلاف بعض خواصها، لذلك ينبغي ألا يستعمل نوع جديد من الشحم قبل تفريغ الشحم السابق.

2- تتصف الشحوم الليثيومية أو الكالسيومية بعدم قابليتها للانحلال في الماء لذلك فهي لا تقاوم الصدأ، ويتحتم عند استعمالها وجود إضافات منع الصدأ. (إن إضافات الضغط العالي EP مقاومة جيدة للصدأ).

3- ينبغي تجنب زيادة كمية الشحم في مساند المدرجات حيث إن الزيادة تؤدي إلى ارتفاع حرارة الشحم بسرعة.

4- ينبغي انتقاء الشحم المناسب للحرارة السائدة في المنطقة التي يوضع فيها، حيث إن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انفصال الزيت عن الصابون، وغالباً ما يهرب الزيت ويتبقى الصابون وهي مادة تتصف بقدرة تزييت متدنية مما يتسبب في تلف المسند.

ونبين هنا بعض المواصفات العددية لشحم:

نوع الشحم Valvoline/Lithium EP grease

مواصفات الشحم:

- القوام NLGI : 2

-الصابون : ليثيوم 12 - هيدروكسي ستيرات

- عمق الاختراق حسب ASTM عند درجة حرارة 77⁰ ف : 280

- نقطة الانصهار الدنيا حسب ASTM ⁰ ف : 350

- الزيت المعدني المستعمل في الشحم :

اللزوجة عند درجة حرارة 40⁰ م ، سنتي ستوكس : 92,8

اللزوجة عند درجة حرارة 100⁰ م ، سنتي ستوكس : 9,9

دليل اللزوجة : 82

نقطة الانصباب العظمى ⁰ م : -23

- الحمولة المقبولة الدنيا حسب تيمكن، باوند : 40

- خواص الشحم: ناعم، كالزبدة، نابذ للماء، فيه إضافات ضد التأكسد، ضد الصدأ، وللضغط العالي.

4-6- تخزين وتداول الزيوت والشحوم Storage and handling of oil

and grease :

للحصول على أفضل النتائج من استعمال مواد التزييت ينبغي إلى جانب اختيار الزيت أو الشحم المناسب أن تتخذ الاحتياطات التي تحول دون إفساد

صلاحيته، بالتلوث أو غير ذلك من الآثار السيئة التي تنتج عن سوء المناولة والتخزين، وعن عدم استخدام الأدوات والمعدات اللازمة لذلك بكفاءة تامة.

6-4-1 - استلام البراميل:

تصل البراميل إلى المكان المراد بإحدى وسيلتين، الأولى: بعربات السكك الحديدية. والثانية: بالناقلات النهرية. وتراعي الشركة المسوقة للمنتجات النفطية عند نقلها للبراميل رصها بطريقة صحيحة، تحفظها من التلف كما تحفظ لها العلامات والبيانات المميزة للصنف واضحة على البراميل، وتضمن سهولة استلامها وسلامتها.

1 - رص البراميل في عربات السكك الحديدية:

توضع البراميل رأسياً في طبقة واحدة إلا أنه يراعى في حالة عربات السكك الحديدية تدعيمها بمساند خشبية فيما بينها أثناء النقل.

2 - رص البراميل في الناقلات النهرية:

ترص البراميل في وضع أفقي وتوضع حواجز خشبية للوقاية بين كل طبقة وأخرى، وهذه الحواجز تسهل تحريك براميل الطبقة العلوية إلى مكان رصها وتجعل من الممكن أن يقوم بذلك رجل واحد. فإذا وضعت هذه الحواجز الخشبية ووضعت كذلك أقدام خشبية لتثبيت البراميل ومنع حركتها الأفقية فإن ذلك يضمن ثبات الحمولة وسلامتها دون خطر على اتزان الناقلة أثناء سيرها. وفي المعتاد لا تزيد طبقات الرص على أربع ويراعى عدم وضع أية بضائع أخرى فوقها. أما إذا لم تتيسر الوسائل لإتباع هذه الطريقة فيمكن وضع البراميل رأسياً على أن توضع حواجز بين كل طبقتين.

3 - تفريغ عربات السكك الحديدية:

يحتاج إنزال البراميل إلى معدات وأدوات خاصة قد تكون غاية في البساطة ولكن تصميمها مع ذلك يحتاج إلى عناية. وأبسط هذه المعدات المدرج البسيط وهو

منحدر خشبي أو معدني يمكن زحلقة البراميل عليه.
وتوجد معدات تشغيل آلية يمكن استخدامها في عمليات الإنزال والتحميل مثل
المدارج الميكانيكية والروافع المتحركة التي صنعت خصيصاً لهذا الغرض، وكذلك
عربات الونش ذات الشوكة وغير ذلك من الوسائل التي تستطيع القيام بعدة أعمال
مختلفة.

وإذا كانت البراميل ستنتقل مسافة غير قصيرة داخل المخزن فلا بد من وجود
قضبان حديدية لدحرجتها عليها، على أن يكون البعد بين القضيبين حوالي 40 سم،
لكي يقع طوقا البرميل بينهما أثناء دحرجته، وثمة طريقة أخرى لنقل البراميل يدوياً
وهي استعمال شريط متحرك توضع عليه البراميل في وضع رأسي.

4- تفريغ الناقلات النهرية:

هنا لا بد من توخي العناية عند اختيار الأدوات التي تستعمل في رفع البراميل
وإنزالها. ومن الأنواع المستعملة في ذلك الخطاف ذو السلسلة أو الحبل، الذي
يحتوي على أزواج من السلاسل أو الحبال لكل منها خطاف. يوضع الخطاف
تحت حافة البرميل من كل ناحية بحيث يمكن رفع البرميل وهو بالوضع الأفقي
ويحتاج هذا النوع إلى عناية خاصة وحذر عند المناولة لئلا تتلف البراميل
وبالأخص حوافها، لأن البراميل لا ترفع بوضع ثابت منتظم بل تكون عرضة
للاصطدام ببعضها بعضاً عند رفعها. ولذلك تستخدم طريقة تكون فيها السلاسل
متباعدة.

6-4-2- مناولة البراميل:

1- المناولة بواسطة العمال:

يبلغ وزن برميل الزيت أو الشحم الكبير حوالي 205 كيلو جرام ولذلك فإن مثل
هذه البراميل يكون من الصعب على العمال مناولتها، وكثيراً ما يسقطونها على
الأرض من مكان مرتفع أو يلقون بها على جنوبها إذا كانت في وضع رأسي،

وأرادوا وضعها أفقياً أو يتركونها تتدحرج وحدها على المنحدر أو يدحرجونها على سطح غير مستو. وقد ينتج عن هذا الإهمال محو العلامات والكتابة المميزة للصنف على البراميل (مما يجعل من الصعب معرفة محتويات البراميل دون فتحها) أو إحداث انبعاجات في جدار البراميل أو ثقوب أو تفكك الدسر. ولذلك ينبغي دائماً تجنب الأخطاء التالية:

- إلقاء البراميل: من مكان مرتفع إلى مكان منخفض في حالة استعمال إطارات المطاط أو غيرها من وسائل الوقاية. فإن إلقاء البراميل بهذه الطريقة قد يتسبب في إصابات للعمال أيضاً فضلاً عن إتلاف البراميل نفسها.
- درجة البراميل دون وقاية: ومما يقلل من التلف أن تمد قضبان خشبية أوحديدية لتدحرج البراميل عليها إذا كانت الأرض غير مستوية ولم تتيسر وسيلة أخرى لنقل البراميل.
- الدرجة الحرة: يجب ألا يترك البرميل يتدحرج وحده على المنحدرات وخاصة إذا كان مليئاً، وقد تتسبب شدة سرعته في اصطدامه بأشياء أخرى مما يتلفه ويتلفها كما قد يؤدي إلى إصابات للأفراد.

2- عربات الونش:

وهي من أفضل وسائل مناولة العبوات ويمكن استعمالها في مناولة البراميل مهما كانت طريقة تخزينها أو حفظها وخاصة إذا كانت كمية الزيوت المطلوب مناولتها كبيرة نسبياً. ومن مزاياها إمكان استخدامها أيضاً في النقل داخل المستودع أو المصنع.

3- الفرشة الخشبية:

وتستعمل لوضع البراميل وينبغي أن تكون متينة شديدة الاحتمال. والفرشة الخشبية لا تكلف كثيراً وهي تستعمل بكثرة ولكنها قابلة للبلى والتآكل لكثرة وضع البراميل المعبأة عليها. وقد تستعمل فرشة من الحديد وقد تفضل الفرشة المصنوعة

من سبيكة الألمنيوم. وتبلغ مساحة الفرشة المناسبة لوضع 4 براميل 110×110 سنتيمتر.

6-4-3- تخزين الزيوت والشحوم:

6-4-3-1- ظروف التخزين وطرقه:

إن أفضل الطرق لتخزين عبوات مواد التزييت هي وضعها داخل مكان مغطى لحمايتها من الظروف الجوية بشرط أن تكون درجة حرارة المكان معتدلة. إن التخزين الداخلي أمر ضروري عند تخزين بعض مواد التزييت وبعض الشحوم، التي تفسدها الحرارة الشديدة أو البرد القارس على وجه الخصوص، وأيضاً عند تخزين زيوت المحولات الكهربائية ووحدات التبريد (الثلاجات) لأن هذه الزيوت شديدة الحساسية للرطوبة.

ومن الحالات التي تستلزم تخزيناً داخلياً العبوات مهما كان حجمها إذا كانت قد فتحت وسحب من محتوياتها، ويزداد الضرر إذا جرى تفريغ العبوات في العراء لاحتمال تكثف الرطوبة في داخلها إذا تركت بعد فتحها وهي غير ملبئة.

أما البراميل الكبيرة التي لم تفتح فإنها أشد مقاومة للعوامل الجوية ولكنها إذا أهملت وطالت مدة تخزينها فستضعف مقاومتها ولذلك يستحسن تخزينها داخلياً إذا وجد مكان كاف. على أن تخزين البراميل الكبيرة في العراء لمدة محدودة لا يضر مادامت هناك احتياطات لحمايتها من التعرض المباشر للعوامل الجوية إلا إذا كانت محتويات البرميل مما تتأثر بالتقلبات الجوية.

وعند التخزين الداخلي لا يهم وضع البرميل سواء أكان رأسياً أم أفقياً ولكن إذا كان التخزين في العراء فيجب الاحتياط ضد احتمال التفتيس.

أما البراميل التي تحتوي على شحوم فيجب أن تكون موضوعة في وضع رأسي دائماً لأن برميل الشحم له فوهة واسعة في أعلاه وقد يؤدي سوء المناولة إلى إحداث ضرر بغطائها مما قد يترتب عليه تسرب الشحم منها -وبالأخص الأنواع

الليونة- إذا وضعت في وضع أفقي. كما أن احتمال نزيف الشحم (أي انفصال الزيت عن الصابون) قد يزداد عند وضع البراميل أفقياً، رغم أن أنواع الشحم الحديثة يستبعد حدوث مثل هذا الانفصال فيها مهما طالت المدة إلا إذا تعرضت لدرجة حرارة عالية.

6-4-3-2- وقاية البراميل في التخزين الخارجي:

إن أي برميل معبأ بالزيت يكون عرضة لتغيرات درجة الحرارة، وخاصة ما بين حرارة الليل وحرارة النهار، إذا وضع في العراء ويؤدي تغير درجة الحرارة إلى تغير الضغط الداخلي في البرميل نتيجة لتمدد المحتويات وتقلصها وذلك لتمدد وتقلص الهواء الموجود في الفراغ، (ويسمى ذلك بتنفس البراميل) ويؤدي هذا التنفس إلى تسرب الرطوبة إلى داخل البرميل وخاصة إذا كانت قمة البرميل مبنلة.

على أن من الممكن تلافي أي احتمال لحدوث هذا التنفس بوضع البراميل في وضع أفقي بحيث تكون السدادة أسفل مستوى الزيت. وقد لا تسمح الظروف دائماً بوضع البراميل في وضع أفقي ويمكن في هذه الحالات وضعها في وضع رأسي مع إمالتها قليلاً بحيث تكون السدادتان في وضع لا يتيح تجمع ماء المطر حول أي منهما. ولذلك فإن التخزين الخارجي إذا كان مستديماً يستلزم وجود مظلة مفتوحة من أحد جوانبها أو سقف واق.

أما الاحتياط الذي ينبغي اتخاذه لكل برميل على حده بالأ يترك في الخارج مدة طويلة فهو ضروري لأن طول تعرض البرميل للتقلبات الجوية وما يترتب عليها من تغير الضغط داخل البرميل قد يؤدي إلى إضعاف الدسر أو الأختام وتسرب الرطوبة نتيجة للتنفس، وكذلك انطماس العلامات المميزة.

6-4-3-3-تخزين الزيوت في صهاريج:

وهي طريقة تكلف كثيراً وخصوصاً إذا كانت هذه الصهاريج داخلية أي في داخل مبنى وليست في العراء ولكن المزايا والفوائد كثيرة. وتصلح هذه الطريقة عندما ترد الزيوت أصلاً في براميل.

1- مزايا التخزين في صهاريج:

- توفير الحيز الداخلي: إذا كانت المساحة المخصصة للتخزين لا تتسع للبراميل بل للصهاريج.

ففي حالة تخزين براميل موضوعة على فرشاة في رصات ارتفاع كل منها ثلاث طبقات فإن الطاقة التخزينية حينئذ تعادل 30 إلى 35 جالون إنكليزي لكل قدم مربع تحت (الرصاة) في حين يكون ارتفاعها حوالي 10 أقدام. وفي حالة التخزين في رفوف (الوضع الأفقي) بارتفاع أربعة براميل فإن الطاقة التخزينية تكون حوالي 25 جالون إنكليزي لكل قدم تحت الرف ويكون الارتفاع الكلي حوالي 11 قدماً. أما في حالة التخزين في صهاريج مربعة الشكل عمقه 8 أقدام فستكون الطاقة التخزينية حوالي 50 جالون إنكليزي لكل قدم مربع تحت الصهريج. كما لا يفوتنا حساب المساحة التي تترك خالية سواء في حالة الرص والرفوف أو في حالة الصهاريج لتيسير المناولة وتشغيل المهمات الإضافية مثل مضخات السحب من الصهاريج.

- الوفرة في عمليات التشغيل: تزيد تكاليف المناولة في حالة التخزين في براميل عنها في حالة التخزين في صهاريج

- تسليم الزيوت أكثر اقتصادية: لأن إنشاء صهاريج التخزين يقلل إلى حد كبير من عدد البراميل المتداولة، كما ينطبق هذا حتى إذا كانت الزيوت ترد في براميل ثم تفرغ في الصهاريج. لأن هذه الطريقة تتيح التخلص من البراميل الفارغة بسرعة ولا تستدعي تخزين براميل معبأة بالزيت. ويمكن بهذا الاستفادة

من ثمن البراميل الفارغة الذي يفرج عنه في تغطية بعض نفقات إنشاء الصهاريح، كما أن إنشاء الصهاريح يعد استثماراً أفضل لرأس المال.

2- صهاريح التخزين:

قد تكون الصهاريح الخارجية أسطوانية أو مكعبة أو على شكل متوازي مستطيلات ويتوقف ذلك على تصميم بناء المخزن.

وينبغي تجنب طلاء داخل الصهريح بمادة من المواد التي يمكن أن تفسدها، كما يحتاج الأمر في بعض البلاد إلى تسخين الزيت لكي يسخن بسهولة إذا كان الجو بارداً.

ويراعى أن تكون فتحة الملاء في الصهريح مناسبة لطريقة التعبئة، ويستحسن أن تكون فتحة الملاء نائثة قليلاً عن السطح العلوي للصهريح وذلك لمنع دخول الشوائب أو الأتربة التي توجد على السطح.

ولما كانت فتحات الصهريح محكمة الغلق فسيحتاج الصهريح إلى فتحة تنفيس ولا مانع من وضع أنبوبة مفتوحة من طرفها ومتصلة بالصهريح من أعلاه بشرط أن تكون نهايتها منحنية إلى أسفل ويغطي طرفها بشبكة من السلك. وإذا كان يخشى على الزيت من التلوث بالرطوبة -كما في حالة زيوت المحولات والثلاجات- فيركب في فتحة التنفيس مجفف (جهاز تجفيف).

ويراعى أن تكون فتحة السحب في موضع يعلو قليلاً عن أدنى نقطة في قاع الصهريح لكي يخرج الزيت المسحوب خالياً مما قد يتجمع في القاع من ماء أو رواسب. ويكون الصهريح مزوداً أيضاً بفتحة للتصفية في أدنى نقطة من القاع حيث تتجمع الرواسب والماء.

3- تعبئة صهاريح التخزين:

ينقل الزيت في عربات صهريح مزودة بمضخة أو أكثر لتفريغ الزيت والمهم هنا أن يكون وصول العربة إلى نقطة التفريغ سهلاً. وينبغي تصميم صهاريح

التخزين بحيث يكون من الممكن ملؤها من البراميل إذا حدث لأي ظرف أن توقف التوريد بالعربات.

ويستعمل لذلك قضيبان من الصلب يمتدان فوق الصهريج بحيث يمكن درجة البراميل عليهما إلى فوهة الملاء. ويجب مراعاة أقصى العناية للمحافظة على نظافة الزيت والحيلولة دون وصول أية شوائب إليه أو امتزاج نوع من الزيت بنوع آخر فإن مثل هذا الامتزاج قد يؤدي إلى ضرر كبير كما يجب المحافظة على نظافة الأقماع وكل الأدوات المستعملة في التعبئة.

6-5- التوزيع والصرف Distribution and Disbursement:

ونعني بكلمة (التوزيع) سحب الزيت أو الشحم من المخزن الرئيسي ونقله إلى نقطة قريبة من موضع الاستعمال. وثمة احتمالات وإمكانات كثيرة لتحسين الطريقة التي يتم بها التوزيع، ومن العوامل التي تؤثر في هذا التخطيط:

- كميات الزيوت المستعملة ونوعها.

- المسافات بين المخزن الرئيسي وبين مواضع الاستعمال.

- الطاقة التخزينية.

6-5-1 طرق الصرف:

1. الصرف من المخزن الرئيسي:

في المؤسسات الصغيرة يمكن إجراء عملية الصرف كلها من المخزن المركزي فتنقل كل كمية من الزيت أو الشحم إلى موضع استعمالها.

2. استعمال المخازن الفرعية:

يمكن أن ينقل الصرف إلى مخازن فرعية (صهاريج صغيرة أو براميل) ويتم الصرف منها.

3. استعمال عربات التزيت:

وتعدّ عربة التزيت بمثابة مخزن فرعي متنقل وعادة ما تكون العربة مزودة بصهاريج ومضخات يدوية أو كهربائية.

4. الضخ من المخزن مباشرة:

وفي بعض الحالات يستحسن توزيع بعض أنواع الزيت بضخها من المخزن مباشرة وخاصة إذا كانت الكمية اللازمة كبيرة وكان السحب من المخزن مستمراً أو يكاد يكون كذلك.

5. سحب الزيت من البراميل:

أما في حالة البراميل فإنه يمكن سحب الزيت من البراميل بتفريغ كافة البراميل في صهريج عام أو باستعمال مضخة وصنبور. وتوجد أنواع مختلفة من المضخات صالحة للاستعمال في البراميل أو الصهاريج الصغيرة، بعضها يدوي وبعضها يدار بالكهرباء ويمكن تركيب عدادات عليها.

ويجب المحافظة على نظافة المضخات والأدوات الأخرى وتنظيف المضخة عند نقلها من برميل إلى آخر يحتوي على نوع مختلف من الزيت، أما إذا كانت الزيوت من النوع الحساس للتلوث فيستحسن تخصيص مضخة لكل نوع من الزيت. ويمكن تركيب مضخة توزيع في برميل واستخدامه كصهريج خدمة نقال. وتوجد لهذا الغرض حوامل ذات عجلات يمكن أن يوضع عليها مثل هذا البرميل لنقله إلى موضع الاستعمال.

6-5-2- توزيع الشحوم:

الشحوم ذات القوام اللين والمتوسط يمكن ضخها بالمضخات وهي الطريقة السليمة التي ينبغي اتباعها لأنها تقي من التلوث. يمكن في هذه الحالة تركيب المضخة في أعلى البراميل ويفرغ الشحم في مسدسات التشحيم أو في أوعية صغيرة

أخرى كما يمكن أن يستعمل البرميل نفسه كخزان نقال يفرغ منه الشحم مباشرة في الخزانات الثابتة التي تخدم مجموعات التشحيم. أما إذا كانت الشحوم صلبة نوعاً ما فيجب استعمال غطاء هابط على سطح الشحم المتبقي من البراميل.

أما عند استعمال المجرفة في إخراج الشحم الأقرب إلى الصلابة فينبغي اتخاذ احتياطات مشددة لمنع تلوث الشحم بالأتربة التي تؤدي إلى إتلاف الآلات وخصوصاً الكراسي لأنها حساسة جداً ضد المواد الخادشة. ومن هذه الاحتياطات تنظيف سطح البرميل قبل نزع غطائه ثم إعادة الغطاء إلى مكانه بمجرد إخراج الكمية المطلوبة. ويفضل المجارف المعدنية على الخشبية لأن الثانية قد تتخلف عنها بعض الشظايا الخشبية في الشحم.

وتخصص مجرفة مستقلة لكل برميل حتى لا تختلط أنواع الشحم المختلفة ويجب المحافظة على نظافة المجارف.

6-6- قواعد الأمن الصناعي Industrial security rules :

تتبع قواعد الأمن الصناعي التالية عند مناولة الزيوت:

- يجب استعمال القفازات والملابس الكتيمة وألبسة الوقاية الأخرى مادام ذلك ممكناً.

- يجب غسل الأيدي والمناطق الأخرى من الجسم التي تعرضت للزيت بعد انتهاء العمل مباشرة باستعمال الصابون أو أي منظف آخر مناسب، وفي كل أحوال الغسيل يجب عدم استعمال البنزين أو المازوت أو المواد المشابهة.

- يجب أن تغسل الأيدي قبل تناول الطعام أو الشراب في فترات الراحة لتفادي سمية الزيت وآثاره الأخرى.

- يجب أن يخصص للعمال المشتغلين بالزيت أماكن خاصة لتبديل ثيابهم، كما يتعين أن تغسل ثياب العمل في أوقات متقاربة.

- يمكن استعمال الكريمات التي تعيد حيوية الجلد بعد الغسيل وينصح بها خصوصاً للعمال كبار السن لأن جلدهم لا يسترد حيويته بالمعدل نفسه لدى الشباب.

- يجب أن يسعف فوراً الشخص المصاب بجرح أو خدش.
- يجب أن يعالج أي مرض جلدي فوراً بعناية كبيرة وكذلك الاضطرابات الفيزيولوجية الأخرى.





دليل المصطلحات العلمية

انكليزي - عربي

-A-

Absolute	مطلق
Temperature	درجة الحرارة المطلقة
Pressure	الضغط المطلق
Acetone	أستون
Acidity	الحامضية، الحمضية
Additives	الإضافات
Adsorption	الإمتزاز
Chemical Adsorption	الإمتزاز الكيميائي
Physical Adsorption	الإمتزاز الفيزيائي
Air-Fuel Ratio	نسبة الهواء للوقود
Air Pollution	تلوث الهواء
Alcohol	الغول
Analysis	تحليل
Aniline	الأنيلين
Aniline Point	نقطة الأنيلين

Anti-Knock Compounds

المركبات المضادة للطرق

API Gravity

الكثافة وفق سلم معهد النفط الأمريكي

Aromatics

العطريات

Ash

الرماد

Asphalt

الإسفلت

ASTM

الجمعية الأميركية لاختبارات المواد

Atmosphere

الجو، البيئة

Atom

ذرة

Atomic structure

البنية الذرية

Auto-ignition

الاحتراق الذاتي،الالتهاب

Auto-ignition Temperature

درجة حرارة الالتهاب (الاحتراق الذاتي)

Aviation

الطيران

Aviation Fuel

وقود الطيران

-B-

Barium

الباريوم

Bearing

مضجع

Ball Bearing

المدرجة الكروية

Benzene(Gasoline)

البنزين

Bitumen

البيتومين

Bomb Calorimeter	المسعر ذو القنبلة
BTU British Thermal Unit	الوحدة الحرارية البريطانية
Burning	احتراق
Butane	البوتان

-C-

Calcium	الكالسيوم - الكلس
Calorific Value	القيمة الحرارية
Higher (Gross) Calorific Value	القيمة الحرارية العليا (الإجمالية)
Lower (Net) Calorific Value	القيمة الحرارية الدنيا (الصافية)
Calorimeter	المسعر الحراري
Carbon	الفحم، الكربون
Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
Carbon Residue	البقايا الفحمية
Cetane	السيتان
Cetane Index	دليل السيتان
Cetane Number	العدد السيتاني
Cloud Point	نقطة الضباب
Combustion	احتراق

Combustion Chamber	حجرة الاحتراق
Compression	انضغاط
Consistency (of Grease)	قوام أو مظهر المادة الشحمية
Corrosion	تآكل
Crude	خام
Crude Oil	الزيت الخام
Crude Petroleum	البتروول الخام
-D-	
Density	الكثافة
Deposits	التوضعات، الترسبات
Detonation	الطرق
Diagram	مخطط
Dielectric Strength	متانة العزل الكهربائية
Diesel Engine	محرك الديزل
Diesel Index	دليل أو مميز الديزل
Distillation	تقطير
Distillation Curve	منحني التقطير
Vacuum Distillation	التقطير الفراغي
Drop Point	نقطة السقوط

Dynamic Viscosity

اللزوجة المطلقة أو الديناميكية

-E-

Engine

محرك

Gas Engine

محرك غازي

Petrol Engine

محرك بنزيني

Diesel Engine

محرك ديزل

Equilibrium

تكافؤ، توازن

Evaporation

تبخر

Existent Gum

الصمغيات المتواجدة

Exhaust Gases

غازات الإفلات

-F-

Flame

اللهب

Flash Point

نقطة الوميض

Close cup Flash Point

نقطة الوميض المغلقة

Open cup Flash Point

نقطة الوميض المفتوحة

Friction

احتكاك

Freezing Point

نقطة التجمد

Fuel

وقود

Fuel Oil

زيت الوقود (الفيول)

-G-

Gas	الغاز
Carbureted Water Gas	غاز الماء المكربن
Coal Gas	غاز الفحم
Blue Gas	الغاز الأزرق
Liquefied Petroleum Gases	غازات النفط المميعة
Natural Gas	الغاز الطبيعي
Refinery Oil Gas	غازات زيت التكرير
Sewage Gas	غاز المجارير
Gasoline	الغازولين (البنزين التجاري)
Automotive Gasoline	بنزين السيارات
Unleaded Gasoline	البنزين الخالي من الرصاص
Unleaded Premium Gasoline	البنزين الممتاز الخالي من الرصاص
Unleaded Regular Gasoline	البنزين العادي الخالي من الرصاص
Gas Oil	زيت الغاز (المازوت)
Greases	الشحوم
Gums	الصمغ

-H-

Heat	حرارة
------	-------

Heating تسخين

Heating Value القيمة الحرارية

Higher (Total) H.V. القيمة الحرارية العليا (الإجمالية)

Lower (Nett) H.V. القيمة الحرارية الدنيا (الصافية)

Heptane الهبتان

Humidity الرطوبة

Relative Humidity الرطوبة النسبية

Hydrocarbons الفحوم الهيدروجينية

Hydrometer مقياس الكثافة

-I-

Ignition اشتعال

Indicator الدليل

Injection حقن

Fuel Injection حقن الوقود

Inorganic Acidity الحامضية المعدنية (اللاعضوية)

IP Standards النظم القياسية لمعهد النفط

-J-

Jet فالة، نافورة

Jet Fuel الوقود النفاث

-K-

Kerosene (Paraffin)

الكيروسين (زيت الكاز)

Knock

الطرق

Fuel Knock

طرق الوقود

Kinematic Viscosity

اللزوجة الحركية (الكينماتيكية)

-L-

Lead

رصاص

Tetra Ethyl Lead(TEL)

رابع إيثيل الرصاص

Tetra Methyl Lead(TML)

رابع ميثيل الرصاص

Liquefied Petroleum Gases(LPG)

غازات النفط المميعة (السائلة)

Lithium

الليثيوم

Lubricants

مواد التزليق

Lubricating

التزليق

Lubricating Forms

أنماط التزليق

Lubricating Oils

زيوت التزليق

Lubrication

التزليق

Boundary Lubrication

التزليق الغشائي

Hydrodynamic Lubrication

تزليق المائع الجاري

Hydrostatic Lubrication

تزييق المائع الراكد

Liquid Lubrication

التزييق المائع

-M-

Motor Method

طريقة المحرك

Multigrade Oil

زيت متعدد الدرجات

-N-

National Lubricating Grease Institute

المعهد القومي لشحوم التزييق الأميركي

(NLGI)

Natural Gasoline

البنزين الطبيعي

Neutralization Value

الرقم المحايد

Nitrogen

الآزوت (النروجين)

Nitrogen Oxides

أكاسيد الآزوت

Nozzle

فوهة

Calibrated Nozzle

فوهة معايرة

-O-

Octane

الأوكتان

Octane Number

العدد الأوكتاني

Oil

زيت

White Oils

الزيوت البيضاء

Oil Separation	انفصال الزيت
Olefins	الأوليفينات
Organic Acidity	الحامضية العضوية
Orsat Analyzer (Apparatus)	جهاز تحليل أورسات
Oxidation	أكسدة، تأكسد
Oxidation Stability	الاستقرار (الممانعة) للتأكسد
Oxidation Tests	اختبارات الأكسدة
-P-	
Paraffins	البرافينات
Petroleum	البتروول
Pour Point	نقطة الانصباب
Pressure	ضغط
Reid Vapor Pressure	ضغط أبخرة ريد
Propane	البروبان
-R-	
Radiation	إشعاع
Radicals	جذور
Rate	معدل
Redwood Viscometer	جهاز ريدوود لقياس اللزوجة

Refining	تصفية، تكرير
Residual	متبقي
Road Testing	الاختبارات الميدانية
Roughness	خشونة
-S-	
Salt	ملح
Saturates	المواد المشبعة
Saybolt Viscometer	جهاز سيبولت لقياس اللزوجة
Shear Stress	إجهادات القص
Sediment	رسوبيات
Sensitivity	حساسية
Sewage Gas	غاز المجارير
Smoke Point	نقطة الدخان
Sodium	الصوديوم
Solvents	المذيبات
Solvent Dewaxing	إزالة الشمع بالمذيبات
Solvent Extractior	الاستخلاص بالمذيبات
Spark	الشرارة
Specific	نوعي

Specific Gravity	الوزن النوعي
Specifications	المواصفات
Stoichimetric Mixture	الخليط المثالي
Storage	تخزين
Sulfur	الكبريت
-T-	
Tar	القطران
Temperature	درجة الحرارة
Thermal	حراري
Toluene	التولوين
-V-	
Value	قيمة
Vapor	بخار
Viscometer	مقياس اللزوجة
Capillary Viscometer	قياس اللزوجة بواسطة الأنابيب الشعرية
Engler Viscometer	جهاز إنكلر لقياس اللزوجة
Redwood Viscometer	جهاز ريدوود لقياس اللزوجة
Saybolt Viscometer	جهاز سيبولت لقياس اللزوجة
Viscosity	اللزوجة

Absolute or Dynamic Viscosity

اللزوجة المطلقة

Kinematic Viscosity

اللزوجة الحركية

Viscosity Index

دليل اللزوجة

Volume

حجم

-W-

Water Content

المحتويات المائية

Wax

الشمع

Wear

الاهتراء



المراجع

REFERENCES

1- المراجع العربية

- 1- برسكوريكوف ف. درابكين أ.، 1987-كيمياء البترول والغاز الطبيعي. دار مير، موسكو (باللغة العربية).
- 2- الجاجة هيثم، 1981-نقل وتخزين النفط والغاز. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة البعث.
- 3- الحاج إبراهيم حسان و غاتا عدنان جميل، 1982-هندسة تكرير البترول - القسم الأول والقسم الثاني مع ملحق. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة البعث.
- 4- دراسات حول المنتجات البترولية-شركة مصر للبترول- جمهورية مصر العربية.
- 5- دراسات الوكالة الدولية للطاقة-2007.
- 6- سالم أبو بكر صديق، 1989-تكريرالبترول، التكنولوجيا المعاصرة . دار الثقافة، الدوحة.
- 7- السمان محمد صبحي و بوعلي هيثم، الوقود والزيوت والشحوم والسوائل الأخرى المستخدمة في محركات الاحتراق الداخلي. أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.
- 8- شققي محمود، 1986-دليل التزيت. سلسلة الأبحاث والدراسات /4/، مؤسسة الإسكان العسكرية.
- 9- صبح علي، 1993-الوقود والزيوت والشحوم. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة دمشق.

- 10-صبح علي و سلام تائر وآخرون، 2012-محركات الاحتراق الداخلي -
الجزء الأول والجزء الثاني. مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة
دمشق.
- 11-العمر أحمد فيصل، 1990-محركات الاحتراق الداخلي، الجزء الثاني.
الطبعة الثانية، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب.
- 12-كلاس ماهر، 2013-تحديد العمر الاستثماري للزيت السوري المعدني
المستخدم في محرك بنزيني يعمل على الغاز الطبيعي المضغوط. رسالة
أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية بإشراف الدكتور
تائر سلام ، جامعة دمشق
- 13-مجلة المهندس العربي، الأعداد:
161/2009؛ 167/2010؛ 168؛ و 171/2011.
- 14-المنصور حاتم، 2000-وقود وزيت وشحوم. مديرية الكتب والمطبوعات
الجامعية، جامعة حلب.
- 15-مواصفات المنتجات النفطية العيارية المستمدة من قبل هيئة المواصفات
والمقاييس العربية السورية.

- 16- ALLINSON J. P., 1973-Criteris for Quality of Petroleum Products, England.
- 17- Annual Book of "ASTM" Standards, Section 5, 1996-Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels.
- 18-BADESHTOVA K. M., and ATHERS, 1989-Topleva ; Smazotshnee Materyale;Tekhnetsheskee Jedkoste,Moscow.
- 19- BAHRAM EGHBALL, 1985-Natural Gas as a Vehicular Fuel. SAE 841159.
- 20- DONALD J., SHIRLEY E., Lubrication Engineering, Automotive engine oil condition monitoring, September, 1994.
- 21- DORER C.J., 1985-Gasoline and Diesel Fuel Additives for Performance / Distributions/ Quality, SAE 841211.
- 22- GONTSHAROV B., MORZIN L., 1973-Topleva; Smazka ; Vada, Moscow.
- 23- LAPETZ J., and ATHERS, 1995-Ford's1996 Crown Victoria Dedicated Natural Gas Vehicle, SAE Paper 952743.
- 24- LISS W., 1995-Fuel Issues for Gas Engines and NGV ,Gas Research Institute Publication.

- 25- MARION L. SMITH, KARL W. STINSON, 1952-Fuel and Combustion, McGraw-Hill Book Company.
- 26- MASON D. M., EAKIN B. E., 1961-Calculation of Heating Value and Specific Gravity of Fuel Gases, Institute of Gas Technology. Research No.32.
- 27- O'CONNOR J. J., BOYD J., AVALLONE E. A., 1968-Standard Handbook of Lubrication Engineering, McGraw-Hill Book Company.

اللجنة العلمية:

أ.د. علي صبح
أ.د. طارق الخاير
أ.م.د. محمد سعيد السابق

المدقق اللغوي:

د. منى طعمة

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات