# الجانب الثقافي

# الوقود ونظرية الاحتراق

تستخدم المحركات إما وقود سائل أو غازي وقد يحتوي الوقود المستخدم على الهيدروجين *(H)* والكربون *(C)* بالإضافة إلى عناصر أخرى بنسب قليلة مثل الكبريت *(S)* والأكسجين *(O)* والنيتروجين *(N)*والشوائب *(Ash)*الغير قابلة للاشتعال ونسبة من الرطوبة *(W)* وتقدر هذه المحتويات في الوقود كنسب مئوية بالنسبة للوزن.

ويعتبر البترول والفحم والغاز الطبيعي من أهم مصادر الوقود استخداما في العالم ويتوقع أن يستمر استخدامه لفترات زمنية بعيدة. ويختص البترول بمكانة خاصة حيث أن الوقود البترولي السائل *(ديزل – جازولين)* هو المستخدم في محركات الاحتراق الداخلي

# مصادر الوقود:

## ١ ـ الوقود من الفحم Coal:

يستخرج الفحم من باطن الأرض وهو أحد أهم مصادر توليد الطاقة. ولا يوجد للفحم تركيب ثابت فهو خليط من عدة مواد ويحتوي الفحم على قدر متغير من الكربون حيث تتراوح نسبة الكربون في الفحم الحجري ما بين – *50)* *90%)* وذلك تبعا لمكان الاستخراج ودرجة التفحم.

وعموما لم يحتفظ الفحم بأهميته كمصدر للطاقة في خلال القرن العشرين وذلك بعد اكتشاف البترول الذي أصبح أهم مصدر للطاقة في هذا العصر.

ويتكون الفحم في باطن الأرض نتيجة تفحم بقايا النباتات والأشجار المدفونة. ونظرا لأن عملية تحول النبات إلى فحم تحتاج إلى وقت طويل يقدر بملايين السنوات وظروف خاصة من ضغط ودرجة حرارة لا تتوافر سوى في باطن الأرض لذا يجب المحافظة على الكميات الموجودة من الفحم وترشيد الاستهلاك وعدم استنزافها.

ويستخدم الفحم كمصدر للطاقة في كثير من الصناعات وفي محطات توليد القدرة الكهربية. وتبلغ القيمة الحرارية للفحم *(28 J/kg)* ولكن هذة القيمة تختلف من نوع لآخر. ويدخل الفحم في كثير من المنافسات مع مصادر الطاقة الأخرى كالبترول والغاز الطبيعي والطاقة الشمسية والنووية. ومع ذلك يظل الفحم من أهم مصادر الطاقة المستخدمة في توليد القدرة الكهربية. هذا ويرى البعض أن حل مشكلة استخدام الفحم يمكن أن يتم عن طريق تحويله إلى وقود غازي أو سائل حتى يمكن أن يصمد في مواجهة المصادر الأخرى للطاقة. وفيما يلي عرض لعملية تحويل الفحم إلى وقود غازي أو سائل.

# أولا تحويل الفحم إلى وقود غازي

تعتبر طرق تحويل الفحم إلى وقود غازي متعدد الأغراض من أهم طرق تحويل الفحم إلى صور أخرى يسهل استعمالها كمصدر للطاقة. وهناك طريقتين لتحويل الفحم إلى وقود غازي:

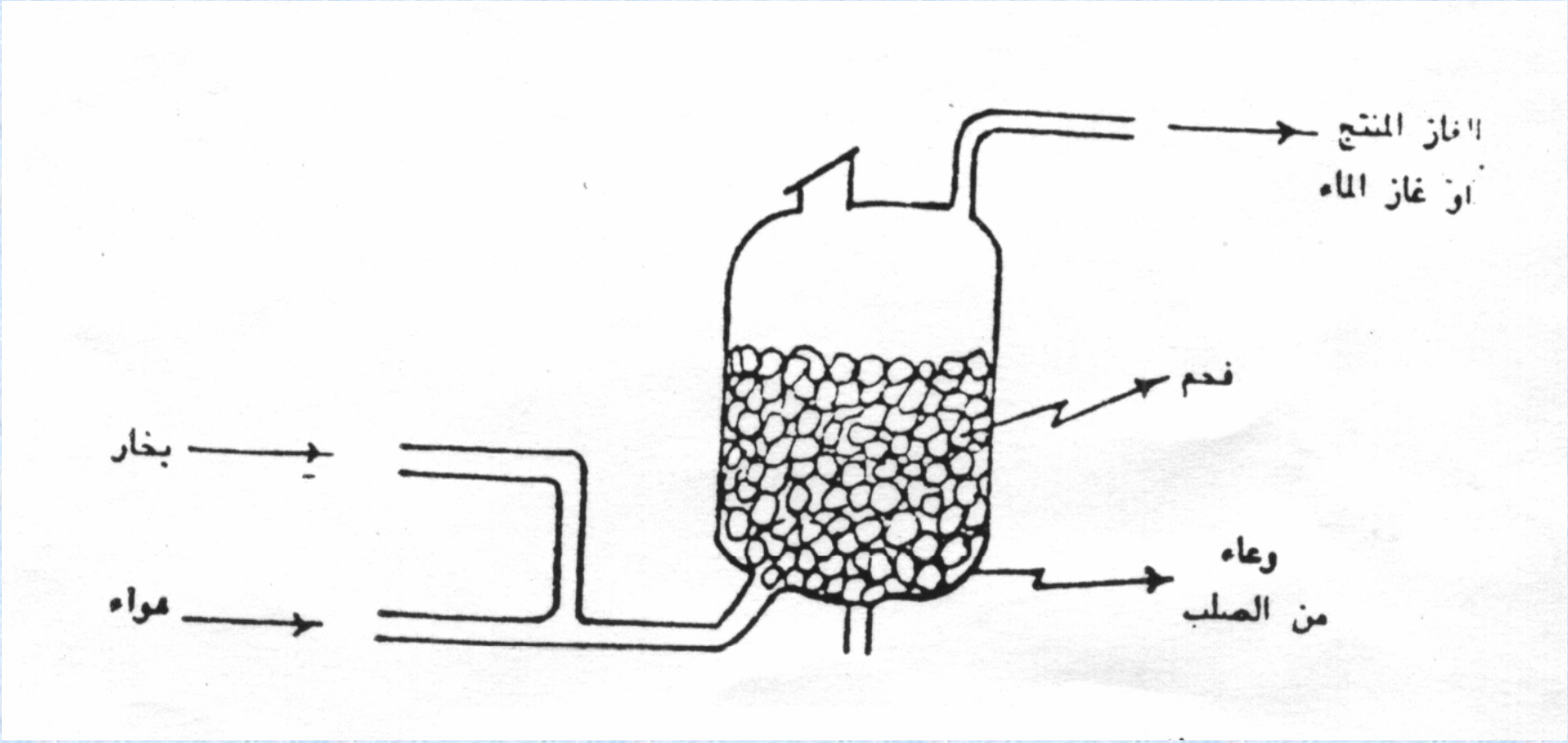
## أ-الغاز المنتج Producer Gas

يتكون الغاز المنتج عند إمرار تيار من الهواء المحمل بقدر صغير من بخار الماء فوق الفحم المسخن لدرجة حرارة عالية. ويحتوي الغاز المنتج على نحو 50% من وزنه من غاز النيتروجين. لذلك فإن القيمة الحرارية للغاز المنتج تكون منخفضة نسبيا نظرا لأن غاز النيتروجين لا يقبل الاشتعال

## ب- غاز الماء Water Gas

يعرف هذا الغاز أحيانا باسم *( الغاز الأزرق )* لأنه يشتعل بلهب أزرق. ويتكون غاز الماء عند إمرار تيار من بخار الماء المحمص خلال الفحم الساخن لدرجة حرارة تزيد عن *1200 oC*. ويتكون غاز الماء من خليط من غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وكلاهما يقبل الاشتعال لذلك فإن القيمة الحرارية لغاز الماء تزيد عن القيمة الحرارية للغاز المنتج بحوالي الضعف كما يحتوي غاز الماء على نسبة صغيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

# شكل (1): تحويل الفحم إلى الغاز المنتج أو غاز الماء



# ثانيا تحويل الفحم إلى غاز في باطن الأرض

تتلخص هذه الطريقة في تحويل الفحم إلى غاز وهو في باطن الأرض دون الحاجة إلى استخراجه بطرق التعدين المعروفة. وتوفر هذه الطريقة الكثير من التكاليف.

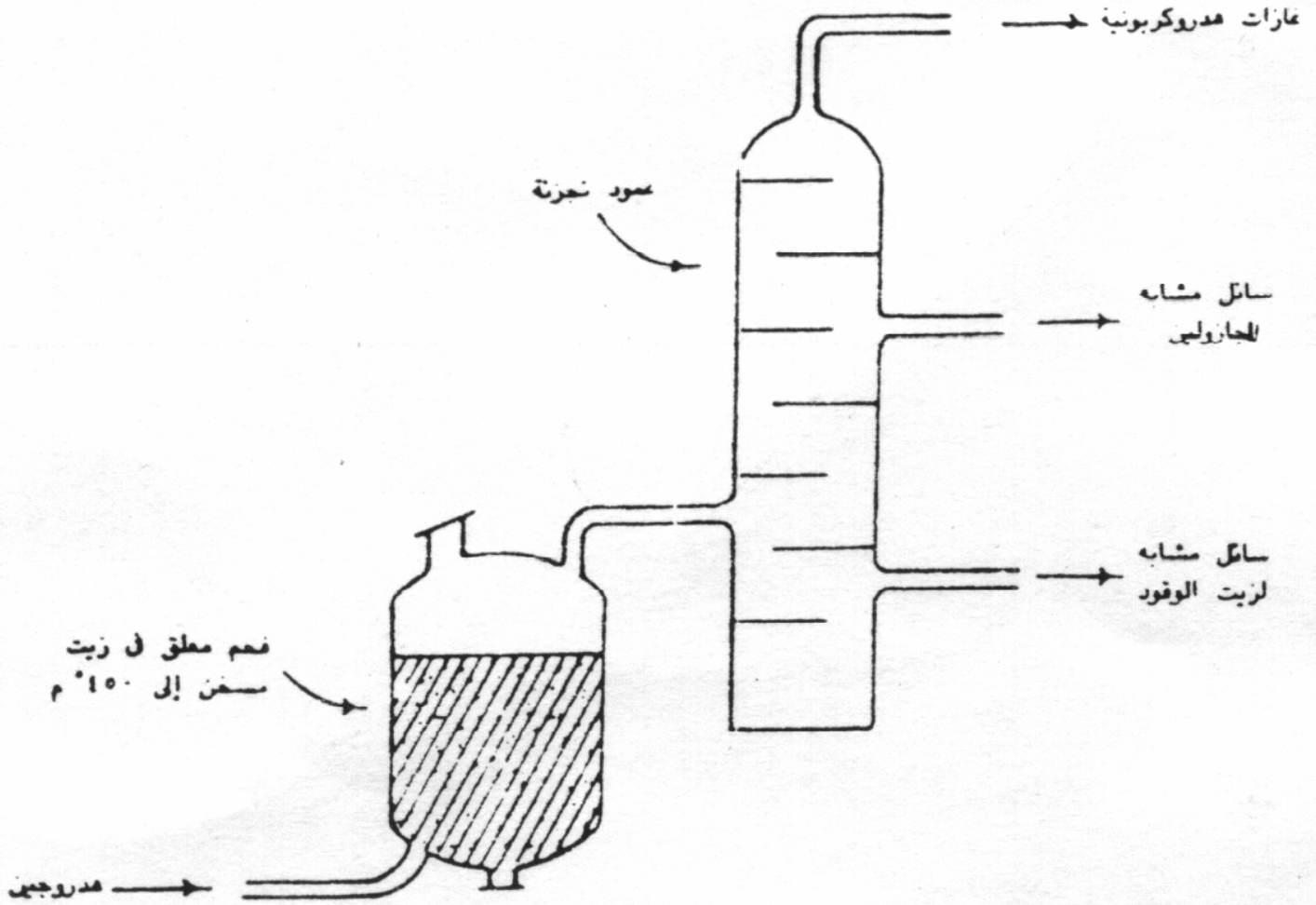
وتتلخص هذه الطريقة في حفر آبار مائلة تصل بين سطح الأرض وبين رواسب الفحم ثم يشعل الفحم ويدفع الهواء في مجموعة من الأنابيب إلى رواسب الفحم ويعاد مرة أخرى إلى سطح الأرض خلال مجموعة أخرى من الأنابيب حاملا معه غازات الفحم

وتعتبر هذه الطريقة الأكثر استخداما في استغلال رواسب الفحم خاصة التي توجد علىأعماق كبيرة أو تحت صخور صلبة أو حجمها غير إقتصادي أو من النوع متوسط الجودة حيث تكون تكاليف استخراجها أكبر بكثير من قيمتها الاقتصادية.

# ثالث تحويل الفحم إلى وقود سائل

وتعرف طريقة تحويل الفحم إلى وقود سائل باسم طريقة برجيوس للهدرجة ***"Bergius Hydrogenation process"*** نسبة إلى العالم الألماني برجيوس أول من فكر في هذه الطريقة وفيها يتم خلط مسحوق الفحم ببعض الزيوت الثقيلة ثم يضاف إلى هذا الخليط حافز مثل أملاح القصدير ويمرر فيه تيار من غاز الهيدروجين تحت ضغط معلوم وعند درجة حرارة ***450 oC*** وينتج من هذا سائل ثقيل يتم تجزئته إلى عدة سوائل مقطرة منها الجازولين وزيت الوقود وينتج كذلك بعض الغازات الهيدروكربونية وبعض المواد العضوية الأخرى مثل البنزين والإيثيلين والنفتالين.

# شكل (2): طريقة برجيوس لتحويل الفحم إلى وقود سائل



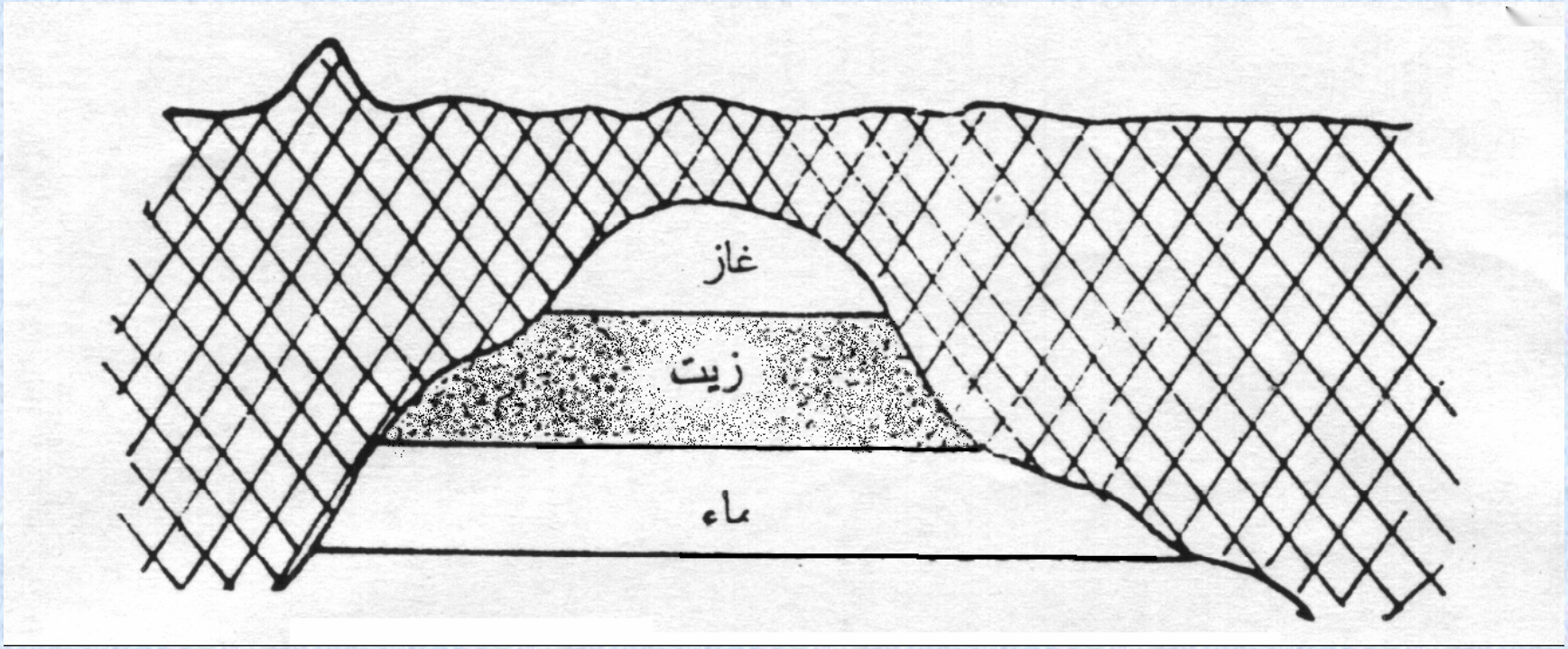
## ٢.- الوقود من البترول

يعتبر زيت البترول من أهم مصادر الطاقة وهو عبارة عن زيت أسود كثيف سريع الاشتعال ويتركب من خليط من المركبات العضوية التي تتكون أساسا من عنصري الكربون والهيدروجين وتعرف باسم الهيدروكربونات.
وتتراوح نسبة الهيدروكربونات في زيت البترول بين (50 – 98 %) ويحتوي زيت البترول كذلك على بعض المواد العضوية الأخرى التي تحتوي جزيئاتها على الأكسجين والنيتروجين والفسفور والكبريت.

ويوجد البترول تحت سطح الأرض في طبقات الصخور المسامية مثل الصخور الجيرية أو الحجر الرملي. وعندما تحيط الصخور الصلدة غير المسامية بهذه الطبقات يمنع تسرب الزيت ويتكون ما يعرف بالمكمن ويبقى الزيت مخزونا حتى يتم التوصل إليه عن طريق حفر الآبار. وعادة ما يتواجد زيت البترول في طبقة تتوسط طبقتين من الغاز الطبيعي في الأعلى والماء المالح في الأسفل.

وعند حفر بئر للوصول إلى المكمن فإن ضغط الغاز الموجود بالمكمن يؤدي إلى دفع الزيت من فوهة البئر بسرعة كبيرة في شكل نافورة قد يصل إرتفاعها إلى عشرات الأمتار فوق سطح الأرض.

# شكل (3): وجود البترول تحت سطح الأرض

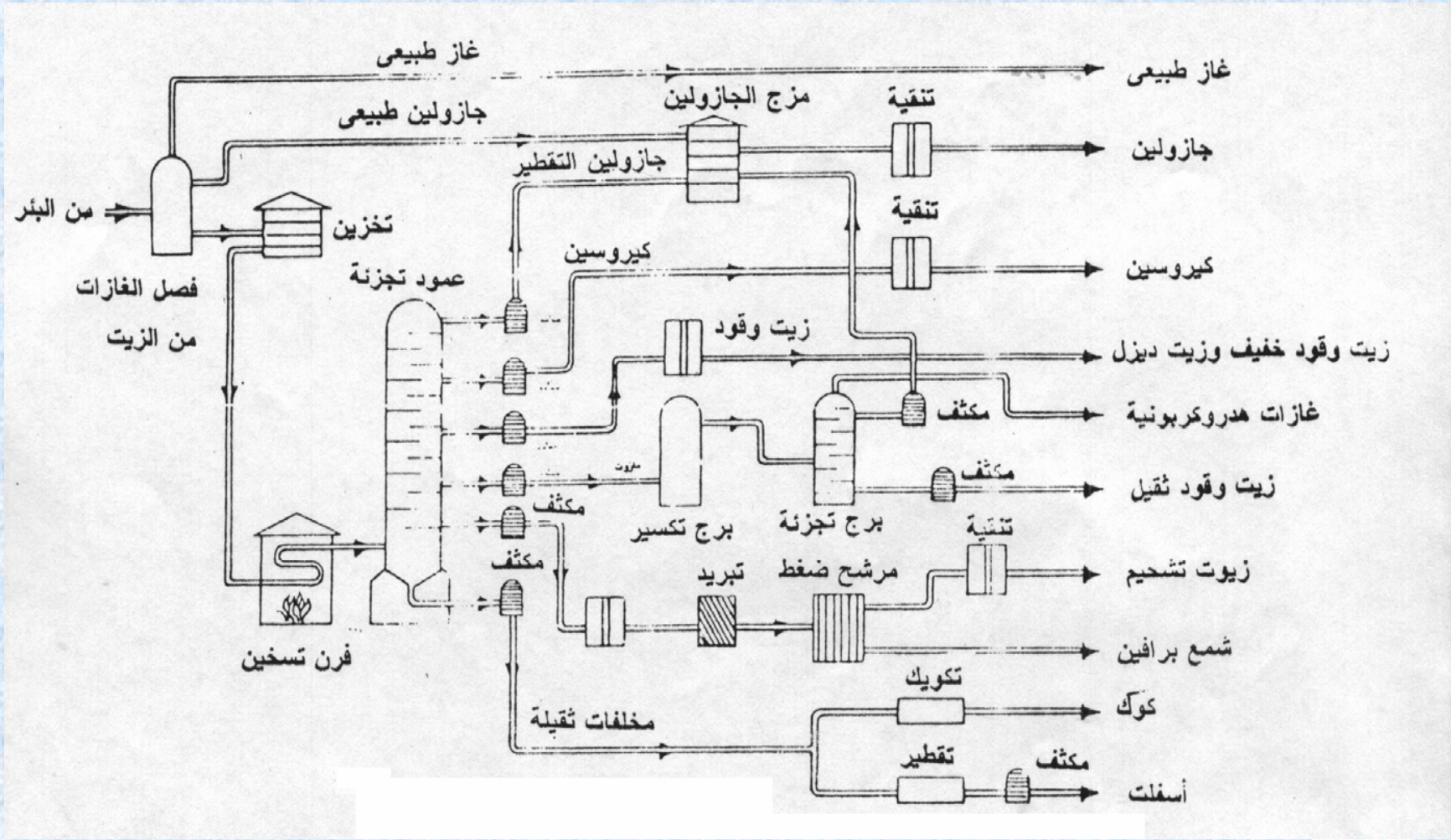


ومن الملاحظ أنه لا يمكن استخدام زيت البترول الخام بالصورة التي يخرج عليها من باطن الأرض ولكن يجب إجراء عملية فصل لمكونات الزيت الخام وتعرف هذه العملية بعملية التقطير والتكرير.

وتنقسم العملية الأساسية التي تتم في معامل التكرير إلى قسمين رئيسيين، *الأول* منها يتضمن عمليات التقطير والتجزئة أما *الثاني* فيشمل عمليات التكسير لتحويل المقطرات الثقيلة إلى خفيفة. عموما فإن عملية التقطير التجزيئي لزيت البترول تتم بصورة متصلة ومستمرة في معامل التكرير الحديثة وبذلك يمكن ضمان سهولة تكرير آلاف الأطنان من زيت البترول الخام في اليوم.

ويوضح الشكل *(4)* رسما تخطيطيا لعملية تكرير البترول حيث يتم تسخين الزيت الخام المراد تقطيرة بإمراره في أنابيب حلزونية داخل أفران خاصة فترتفع درجة حرارته إلى *(400 – 450 oC)* ثم يدفع هذا الزيت الساخن والذي أصبح في صورة خليط من السائل والبخار إلى الجزء السفلي من برج التجزئة فتتطاير أبخرة السوائل الخفيفة إلى قمة البرج وتتجمع السوائل الثقيلة في قاع البرج.

# شكل (4): عملية تكرير البترول



وبرج التجزئة يتكون من اسطوانة رأسية طويلة من المعدن يصل إرتفاعها إلى *(30m)* ويحتوى هذا البرج على العديد من الرفوف بها فتحات خاصة مصممة بحيث تسمح بمرور أبخرة المواد المتطايرة خلالها لتصل إلى الرفوف الأعلى بينما تتجمع السوائل المتكثفة على سطحها وتعود إلى الرفوف السفلى.

وعلي هذا الاساس ، فان ابخره الزيت الناتج في الجزء الاسفل من برج التجزئة ، تنفسم الي عدة اجزاء ، فالهيدروكربونات ذات السلاسل القصيرة والتي تكون درجة غليانها منخفضة تكون هي الاكثر تطايرا وتمر علي هيئة بخار صاعد الي قمة البرج علي حين تتكثف ابخره السوائل الهيدروكربونية الاقل تطايرا وتتجمع علي الرفوف في منتصف البرج بينما تتجمع السوائل ذات درجات الغليان المرتفعة من قاعدة البرج .

ويتضح من ذلك ان قمة برج التجزئة هي ابرد مكان فيه وتخرج منها ابخره المقطرات الخفيفه *(المتطايره)* التي لم تتكثف داخل البرج وبعد إن يتم تبريد هذه الابخره في مكثفات خاصة وتفصل منها الغازات تتحول الي سائل الجازولين وهو يتقطر عادة بين *(40–80 oC)*.

ويجمع الكيروسين من المنطقة التي تقع اسفل قمة البرج ثم تجمع زيوت الوقود من المنطقة الوسطي وتجمع الزيوت الثقيلة في الجزء الاسفل من البرج ويتم تقطير الزيوت الثقيلة فيما بعد تحت ضغط مخلخل حتي لا تتفحم بالحرارة وتفصل منها زيوت التشحيم وشمع البرافين

اما المخلفات الثقيلة التي تتبقي في قاع البرج فيتم سحبها وتعامل معاملة خاصة وينتج منها الاسفلت والبتومين والكوك وبالرغم من اختلاف تركيب زيوت البترول المستخرجة من مناطق مختلفة الا ان جميع هذة الزيوت الخام تخضع لعملية تكرير وتجزئة مماثلة وتفصل الي قطفات او اجزاء تستخدم في مختلف الاغراض وفيما يلي بعض النواتج الرئيسية التي يمكن الحصول عليها في اغلب عمليات تكرير البترول .

# أولا: أنواع الوقود الناتج من عملية تكرير زيت البترول الخام:

## ١ - الجازولين :

الجازولين هو الاسم المستعمل حاليا لبنزين السيارات وهو يعتبر من اهم نواتج تقطير زيت البترول فهو يستعمل وقود في محركات الاحتراق الداخلي ويزداد الطلب علية في كل مكان نظرا لانتشار استخدام السيارات في عمليات النقل وفي المواصلات ويمثل الجازولين نحو *(40 – 50 %)* من زيت البترول وهو ينتج اما بالتقطير المباشر للبترول الخام اما عن طريق بعض عمليات الاخري غير المباشرة مثل عمليات التكسير والبلمرة وغيرها .

ويتكون الجازولين من خليط من عدة هيدروكربونات تتكون جزيائتها من سلاسل فصيرة من الكربون ويترواح عدد ذرات الكربون في كل سلسلةمن خمس الي تسع ذرات او عشر ذرات ولا تزيد درجة غليانة في اغلب الحالات عن *(100 oC)*ويستهلك *(90 %)* من الجازولين المنتج علي المستوي العالمي في ادارة محركات السيارات والشاحنات والجرارات بينما القدر الباقي وهو لا يزيد عن *(10 %)* في ادارة محركات الطائرات وغيرها من الالات .

## ٢ ـ الكيروسين

يمثل الكيروسين الفطفة التالية التي تفصل بعد الجازولين في عملية التقطير التجزئي وحتي عام *(1909)* كان الكيروسين يمثل نحو *(33 %)* من مجموع مقطرات البترول وكان يستخدم في عمليات الاضاءة قبل استخدام الكهرباء ثم تناقصت الكميات المستخدمة منه تدريجيا حتي وصلت اليوم الي نحو *(3 %)* فقط واصبح يستخدم في بعض المجالات الطبية مثل عمليات التسخين او الطهو في المنازل وفي بعض الدول كما استعمل وقودا في الطائرات النافثة .

## ٣-زيت الديزل

يطلق هذا الاسم علي بعض المقطرات التي تزيد درجة غليانها قليلا علي الكيروسين وتستخدم هذة المقطرات في ادارة محركات الديزل المستخدمة في الشاحنات وفي السفن وفي القاطرات وكذلك في بعض محطات الكهرباء وقد ازداد الطلب علي زيت الديزل وتبلغ الكميات المنتجة حاليا من زيت الديزل مئات الملايين من البراميل كل عام .

يستخدم هذا الزيت في عمليات التسخين وفي الأفران وفي بعض الصناعات وهو يعتبر أحد المنتجات الهامة لصناعة البترول.

## ٥- زيت الوقود الثقيل:

## جدول (١): بعض خواص الوقود الناتج من عملية التكرير:

| الخصائص | بنزين | كيروسين | زيت ديزل | سولار |
|---|---|---|---|---|
| الـ ـ ـ وزن النوعي | 0.730 | 0.824 | 0.886 | 0.765 |
| % للكربون | 83.30 | 83.00 | 84.24 | 83.04 |
| % للهيدروجين | 14.457 | 12.40 | 11.94 | 11.58 |
| % للأكسجين | 1.070 | 1.600 | 1.920 | 2.820 |
| % للنيتروجين | 1.090 | 2.770 | 0.080 | 1.400 |
| % للكبريت | 0.080 | 0.280 | 0.820 | 1.160 |
| القيمـ ـ ـة الحرارية (k Cal/kg) | 11280 | 10900 | 10830 | 10840 |

# ثانيا: المنتجات البترولية الناتجة عن عملية التكرير

## ١. - زيوت التشحيم

تمثل هذه الزيوت نسبة صغيرة من منتجات البترول وتتصف هذه الزيوت بقدرتها العالية على الاحتمال ومقاومتها للأكسدة وتستخدم في تشحيم الأجزاء المتحركة في الآلات.

## ٢ـ الشحوم:

تختلف هذه المواد عن زيوت التشحيم فهي مواد شبه جامدة في درجات الحرارة العادية.
وتستخدم في تشحيم المحاور وأجزاء الآلات التي تدور بسرعات كبيرة وتتعرض لدرجات حرارة عالية والتي لا يصلح لها زيوت التشحيم.

## ٣- الشموع:

يعرف نوع الشمع الذي ينتج من تكرير البترول بشمع البرافين ويفصل عادة من زيوت التشحيم بعد تبريدها لدرجات حرارة منخفضة وتركها فترة حتى يتجمد ما بها من شمع.

## ٤ـ الأسفلت:

وهو عبارة عن الجزء الثقيل الذي يتخلف من عملية تقطير زيت البترول الخام ويستخدم في عمليات رصف الشوارع وعزل الأسقف والحوائط عن مصادر الرطوبة.

## ٥- كوك البترول:

ويستخدم كوك البترول كمصدر للحرارة في عمليات التسخين في الصناعة كما يستخدم كعامل إختزال في بعض الصناعات الفلزية وفي صنع كربيد الكالسيوم.

## ٦- السناج:

وهو عبارة عن دقائق متناهية في الصغر من الكربون وهو يحضر بحرق بعض غازات البترول حرقا غير كامل كما يحضر جزء كبير منه أثناء عملية التكسير.
ويستخدم السناج في صنع أحبار الطباعة وبعض أنواع الطلاء وصنع إطارات السيارات.

## ٧- الغازات:

يتصاعد كثير من الغازات أثناء عمليات تكرير زيت البترول خاصة خلال عملية التكسير. وتتكون هذه الغازات من غاز الهيدروجين والميثان والبروبان والبيتان والتي تعرف بالهيدروكربونات المشبعة كما تحتوي على قدر صغير من من بعض الغازات الغير مشبعة كالإيثيلين والبروبلين والبيوتلين.

وعادة ما يتم فصل الغازات الغير مشبعة من الخليط لاستخدامها في صنع أنواع متعددة من المواد الكيميائية المختلفة. أما الغازات البرافينية المشبعة كالبروبان والبيوتان فيتم إسالتها وتعبئتها في إسطوانات لاستخدامها كوقود في المنازل كما يمكن إضافتها إلى غاز الفحم لزيادة قيمته الحرارية.

## ٣.الوقود من الغاز الطبيعي Natural Gas:

لقد تم استخدام الغازات كمصدر للطاقة منذ زمن ليس بالقريب خاصة الغازات الناتجة من الفحم. وفي السنوات الأخيرة تم الاعتماد علية جزئيا في بعض عمليات التسخين بالاضافة لعمليات توليد الطاقة الكهربية لتميزه بسهولة النقل والاستخدام بالاضافة لارتفاع قيمته الحرارية.

ويستخرج الغاز الطبيعي من باطن الأرض بنفس طرق استخراج البترول والغاز النقي ليس له لون أو رائحة وصالح للاستخدام كوقود مباشرة دون معالجة. وعادة ما تضاف بعض المواد العضوية ذات رائحة مميزة إلى الغاز حتى يمكن الانتباه إلى أي تسرب يمكن أن يحدث في خطوط الأنابيب الناقلة وذلك بغرض تأمين استخدام الغاز.

ويتكون الغاز الطبيعي أساسا من غاز الميثان الذي تبلغ نسبته في الغاز الطبيعي حوالي *(93 %)* بجانب بعض الهيدروكربونات مثل الإيثان والبروبان والبيوتان والذان يمكن فصلهما وإسالتهما للاستخدام كوقود والذي يعرف بالبوتاجاز.

ويشغل الغاز الطبيعي المرتبة الثالثة كمصدر للطاقة بعد زيت البترول والفحم حيث تم استخدامه حديثا كمصدر للوقود النظيف في كثير من السيارات ووسائل النقل المختلفة بجانب استخدامه في صناعة الأسمدة.

# الخصائص العامة للوقود :

تتحدد صفات الوقود المستعمل في محركات الاحتراق الداخلي طبقا لما يحتويه من الكبريت والمواد الصمغية والرطوبة بالاضافة إلى درجة غليانه ودرجة اشتعاله وكثافته ولزوجته. وتزداد جودة الوقود كلما انخفض مقدار ما يحتويه من كبريت ومواد صمغية ورطوبة حيث أن وجود الكبريت يؤدي إلى تكوين حامض الكبريتيك بتفاعله مع الماء مما يؤدي إلى تآكل المواد المعدنية،

وإذا زادت كمية المواد الصمغية فإنها تترسب في أنابيب سحب الوقود أو مخلوط الهواء-الوقود مما يعوق عملية التغذية للمحركات، أما الرطوبة فإنها تعمل على صعوبة إدارة المحرك في الصباح نتيجة لتجمعها في أسفل خزان الوقود علاوة تجمدها في الأجزاء الباردة.

## ويجب أن يتوافر في الوقود الخصائص التالية:

١. سهولة إدارة المحرك في الظروف الجوية المختلفة
٢. ضمان الاحتراق التام في الوقت المحدد له بدون ترسيب كربون في غرف الاحتراق.
٣. يكون له خاصية تقليل التآكل والاحتكاك بين المكبس والاسطوانة
٤. في حالة الاحتراق التام يحتوى على أقل ما يمكن من الغازات الضارة.

وتؤثر هذه الخصائص بدرجة ملحوظة على كفاءة أداء المحرك وعمره الافتراضي وتقاس هذه الخصائص عن طريق بعض التجارب المعملية كالتالي:

## ١ -الوزن النوعي Specific gravity:

وهو وزن وحدة الحجوم من الوقود وهي تعتبر خاصية مميزة للوقود وتختلف قيمة الوزن النوعي باختلاف نوع الوقود كما هو موضح بالجدول السابق.

## ٢ ـ نقطة الوميض *Flash point*

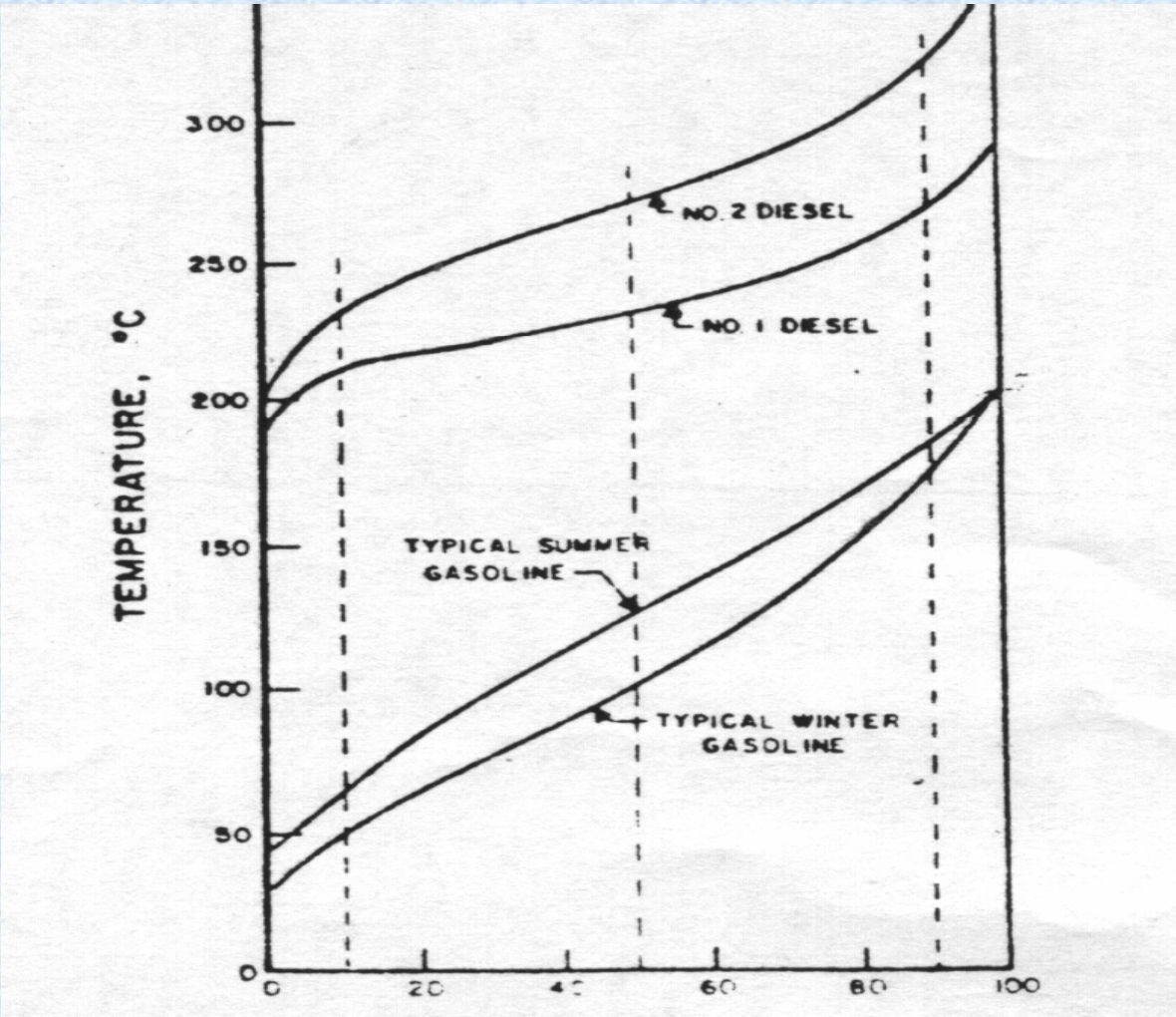
وهي درجة الحرارة التي يبدأ عندها زيت الوقود في التبخر بكمية قابلة للاحتراق بحيث يمكن أن تشتعل فجأة على صورة وميض إذا قرب منها لهب في وجود الهواء وهذه الدرجة تدل على مدى خطورة تخزين الوقود ويجب ألا تقل هذه الدرجة عن *(65 oC)*.

## ٣- التطاير *Volatility*

تعبر هذه الدرجة عن قابلية الوقود السائل للتحول إلى بخار وتقاس بدرجة الحرارة التي يتم عندها تكثيف *(90 %)*من مقدار معين من الوقود وعلى ذلك يكون الوقود أكثر تطايرا كلما انخفضت هذه الدرجة. يجب أن يكون الوقود ذو درجة تطاير مناسبة للظروف الجوية المحيطة بالمحرك، فإذا كان الوقود المستعمل صعب التطاير فإنه يؤدي إلى صعوبة بدء إدارة المحرك وعدم عمل المحرك بالصورة الطبيعية،

أما إذا كان سريع التطاير أو انخفضت درجة حرارة غليانه فإنه يكون على هيئة بخار في مسارات التغذية مما يؤدي إلى تقليل سريان الوقود إلى المحرك مما يسبب عطل بالمحرك وتوقفه عن العمل. والشكل (5)يوضح العلاقة بين نسبة تطاير البنزين والكيروسين والسولار وبين درجة الحرارة.

# شكل (5): العلاقة بين نسبة تطاير الوقود مع درجة الحرارة



## ٤- اللزوجة *Viscosity*:

وهي تعبر عن مقاومة الوقود للسريان داخل المواسير وتقاس بجهاز ***Redwood*** وتعادل عدد الثواني اللازمة لسريان كمية معينة من الوقود خلال ثقب صغير في أسفل الجهاز وتقل لزوجة السوائل بزيادة درجة حرارتها لذلك يلزم تسخين أنواع الوقود الثقيلة إلى درجة معينة بحيث نحصل على اللزوجة المناسبة ويجب ألا تقل عن حد معين لأنها تؤثر على شكل مخروط نافورة الوقود في محركات الديزل فيعطي الوقود الأقل لزوجة نافورة أقصر.

## ٥ـ نقطة التدفق Pour point:

وهي درجة الحرارة التي يبدأ عندها الوقود في التجمد وتدل على مدى ملاءمة الوقود للاستعمال في المحركات التي تعمل في الأجواء الباردة ولذا يلزم وسائل لتسخين صهاريج الوقود ومواسيرة.

## ٦ ـ نوعية الاشتعال *Ignition quality*

وهي تعبر عن مدى قابلية الوقود للاشتعال الذاتي داخل غرفة الاحتراق ولها تأثير على ظاهرتي الصفع ***Detonation*** والطرق ***Knocking***. وفي الظروف العادية يتم التفاعل الكيميائي بين الوقود والهواء *(الاحتراق)* في داخل اسطوانات المحرك في برهة قد تصل إلى جزء من ***100*** من الثانية أو جزء من ***1000*** من الثانية في المحركات السريعة الحركة. ويصحب هذا ارتفاع الضغط في الاسطوانات بدون صوت.

والوقود الجيد ذو الصفات الخاصة والذي يعمل على تقليل التصفيق هو الذي يحتوي على نسبة عالية من الأوكتان ***Octane number*** بالنسبة لمحركات البنزين أو يحتوى على نسبة عالية من الستان ***Cetane number*** بالنسبة لمحركات الديزل. وفي حالة استعمال وقود رديئ سوف يؤدي إلى سرعة إحتراق الوقود في لحظة زمنية صغيرة جدا ويصحب ذلك زيادة معدل إرتفاع الضغط مما يؤدي إلى حدوث صوت بالمحرك ويعرف بالصفع في محركات البنزين أما في محركات الديزل فيعرف بالطرق وهو ما يعرف بتصفيق المحرك. وهذا يؤدي إلى حدوث شروخ في أجزاء المحرك مع خفض قدرته مع خروج عادم أسود من ماسورة العادم.

## رقم الأوكتان Octane number:

يقدر رقم الأوكتان للوقود باستخدامه مع محرك قياسي *standard engine* يتكون من اسطوانة واحدة وفيه يمكن تغيير نسبة الكبس ونبدأ بتشغيل المحرك عند نسبة كبس معينة ثم نبدأ بزيادة نسبة الكبس تدريجيا إلى أن يحدث التصفيق بالمحرك ويثبت المحرك عند هذه النسبة وبعد ذلك نستبدل هذا الوقود بوقود آخر يحتوي على نسبة معينة من وقود الأيزوأكتان *Iso-Octane* والذي يمتاز بعدم إحداثة للتصفيق وباقي النسبة من وقود الهبتان *normal Heptane* والذي يعمل على إحداث التصفيق بالمحرك.

ويكرر العمل السابق بتغيير نسب الأيزوأكتان والهبتان إلى أن نحصل على نفس التصفيق الذي أعطاه الوقود وعندها يكون رقم الأوكتان هو نسبة الأيزوأكتان في الوقود. وعموما فإن نسبة رقم الأوكتان في البنزين تتراوح ما بين *(98 – 66)* ويستخدم الوقود ذو الدرجة العالية من الأوكتان مع المحركات ذات نسبة الكبس العالية.

## رقم الستان Cetane number:

ويحدد رقم الستان أيضا في محرك قياسي من اسطوانة واحدة من النوع الديزل ومجهز بحيث يمكن تسجيل الفترة الزمنية بين بداية رش الوقود وبداية الاحتراق، وكلما زادت هذه الفترة كلما أدى إلى حدوث التصفيق.

ويتم إجراء اختبار إحتراق الوقود بالمحرك وتسجل فترة تأخر الاشتعال ثم يستبدل الوقود المستخدم بآخر يحتوى على نسبة معينة من وقود الستان والذي يمتاز بصغر فترة تأخر الاشتعال مع نسبة من وقود الفافتيل والنفتالين والذي يحترق بصعوبة وتسجل فترة تأخر الاشتعال وتكرر نفس العملية مع تغيير نسبة الستان في الوقود حتى نحصل على نفس فترة التأخير في الاشتعال للوقود المراد تحديد رقم الستان له. ومعظم محركات الديزل يتراوح رقم الستان لها ما بين *(60 – 40)*.

## ٧ـ مقدار الرماد Ash content:

هو مقدار المواد الصلبة الموجودة في الوقود كبعض المواد المعدنية والسليكا والتي تسبب نحرا سريعا في بعض أجزاء المحرك ويعد الفانيديوم أخطر هذه المواد حيث أنه أثناء إحتراقه مع الوقود يترسب أكسيد الفانيديوم بنتا على الأسطح الحديدية مثل صمامات العادم أو ريش التربينة مما يحدث تعرجات في هذه الأسطح مما يسبب فقدا في الطاقة ويحدث ذلك عندما تزيد درجة الحرارة عن (630 oC) ويقاس هذا الرماد بحرق كمية معينة من الوقود حرقا كاملا ثم نحسب كمية الرماد المتخلف من الاحتراق بالنسبة للوزن الأصلي.

## ٨- مقدار الكبريت:

وجود الكبريت في الوقود غير مرغوب فيه لما له من آثار ضارة على المعادن إذ تتحد الغازات الناتجة عن احتراقه مع بخار الماء المتكثف الناتج عن احتراق هيدروجين الوقود ويتكون بذلك حامض الكبريتيك الذي يسبب تآكل الأجزاء وتزداد هذه الظاهرة عندما يعمل المحرك على الأحمال الجزئية وتنخفض درجة الحرارة.

## ٩ - الكربون المتخلف Carbon residue:

يعبر عن كمية المادة المتخلفة بعد تبخير كمية معينة من الوقود في إناء مغلق معزول عن الهواء ويدل ذلك على مدى قابلية الوقود لتكوين رواسب كربونية خاصة على الرشاشات وشنابر المكبس والبوابات وسطح غرفة الاحتراق ويؤدي إلى انخفاض كفاءة المحرك وتقليل عمره الافتراضي.

## ١٠ ـ القيمة الحرارية *Calorific value*

هي الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق وحدة واحدة من الوقود احتراقا كاملا مع وضع درجة الحرارة الابتدائية في الاعتبار وكمية الحرارة الناتجة من الاحتراق يمكن تقديرها بواسطة جهاز خاص يسمى بالمسعر الحراري ***Bomb Calera meter*** وفيه يتم احراق كمية صغيرة معلومة من الوقود احتراقا تاما وامتصاص حرارة الاحتراق الناتجة في كمية معلومة من الماء المحيط بالمسعر ومنها تقدر كمية حرارة الاحتراق الناتجة.

ويلاحظ أن نواتج الاحتراق يوجد بها بخار ماء وعند تكثيف هذا البخار بالجهاز سوف يضيف كمية من الحرارة إلى الماء المحيط بالمسعر الحراري ولهذا تعرف هذه الحرارة الناتجة من احتراق الوقود بالكمية الحرارية العليا ***(H. C V.)***

في محركات الاحتراق الداخلي حيث يخرج بخار الماء مع غازات العادم عند درجة الحرارة العالية دون الاستفادة من هذا القدر الحراري. وإذا أمكن *V* *لكمية الحرارية العليا تقدير قيمة (QH)* فإنه يمكن إيجاد كمية الحرارة التي تنتج بالمحركات عند احتراق الوقود والتي تعرف بالقيمة الحرارية الصغرى للوقود *(L. C. V.)* أو *(QL)* من العلاقة التالية:

**حيث:**

***QL*= القيمة الحرارية الصغرى للوقود *(kJ/kg)*.**

***QH*= القيمة الحرارية العليا للوقود *(kJ/kg)*.**

***r* = قيمة الحرارة الكامنة لتكثيف الماء *(kJ/kg)*.**

***H* = النسبة المئوية لكتلة الهيدروجين في الوقود *(على أساس كتلة)*.**

***W* = النسبة المئوية للرطوبة في الوقود *(على أساس كتلة)*.**

ويمكن إهمال نسبة الرطوبة بالوقود لصغر قيمتها وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة التالية:

$$QL = QH - 25\,(9H) = QH - 225\,H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

علاوة على ذلك يمكن تقدير القيمة الحرارية للوقود *(QL)* بمعرفة محتويات الوقود بالعلاقة التقريبية التالية والتي تعرف بمعادلة مندليف:

$$QL = 33.9\,(C) + 125.6\,(H) - 10.9\,(O - S) - 2.5\,(9H + W) \ldots\ldots\ldots$$

# احتراق الوقود Fuel Combustion

عند دراسة احتراق الوقود في الهواء فإن تركيب الوقود يكتب على الصورة *(Cn Hm Or)* على أساس أن المحتويات الأخرى ذات نسبة ضئيلة بالوقود. وعند الاحتراق فإن الهيدروجين يكون أشد تفاعلا مع الأكسجين مكونا بخار ماء بالإضافة إلى كمية من الحرارة نتيجة للتفاعل الكيميائي في المعادلة التالية:

$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O + heat$$

$$H_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow H_2O + heat$$

$$2kg\,(H_2) + 32/2\,kg\,(O_2) \rightarrow 18\,kg\,H_2O + 242000\,kJ$$

$$m\,kg\,(H_2) + (m/4)(32/2)\,kg\,(O_2) \rightarrow (m/2)(18)\,kg\,H_2O + (m/2)(242000)\,kJ$$

أما احتراق الكربون فيكون احتراق تام في حالة توافر الأكسجين اللازم على الصورة:

$$C + O2 \rightarrow C\ O2 + heat$$

$$12\ kg\ (C) + 32\ kg\ (O2) \rightarrow 44\ kg\ C\ O2 + 410000\ kJ$$

$$n\ kg\ (C) + (n/12)(32)\ kg\ (O2) \rightarrow (n/12)(44)\ kg\ C\ O2 + (n/12)(410000)\ kJ$$

وفي حالة الاحتراق الغير تام فإنه يعطي أول أكسيد الكربون:

$$C + 1/2\ O2 \rightarrow C\ O + heat$$

$$12\ kg\ (C) + 32/2\ kg\ (O2) \rightarrow 28\ kg\ C\ O + 124500\ kJ$$

$$n\ kg\ (C) + (n/12)(16)\ kg\ (O2) \rightarrow (n/12)(28)\ kg\ C\ O2 + (n/12)(124500)\ kJ$$

وإذا توافر جزء من الهواء فإن أول أكسيد الكربون سوف يتفاعل مع الأكسجين مكونا ثاني أكسيد الكربون

$$C\,O + 1/2\ O2 \rightarrow C\,O2 + heat$$

$$28\ kg\ (C\,O) + 32/2\ kg\ (O2) \rightarrow 44\ kg\ C\,O2 + 285000\ kJ$$

ويمكن كتابة المعادلة العامة لاحتراق الوقود احتراقا تاما على الصورة:

$$Cn\ Hm\ Or + [n+(m/4)+(r/2)]\ O2 \rightarrow n\ C\ O2 + m/2\ H2O$$

$$1k\ Mole\ Cn\ Hm\ Or + [n+(m/4)+(r/2)]k\ Mole\ O2 \rightarrow nk\ Mole\ C\ O2 + m/2k\ Mole\ H2O \quad \ldots\ldots(4)$$

# الـهواء اللازم لاحتراق الوقود:

يتطلب احتراق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي توفير كمية مناسبة من الهواء ليتم الاحتراق التام للوقود ولتقدير كمية الهواء النظرية لإتمام الاحتراق يتم حساب كمية الأكسجين من معادلات الاحتراق السابقة:

$$Mair = 8/3\ C + 8\ H - Or$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

$$Mair = (1/0.232)[\ (8/3)\ C + 8\ H - Or]\ kg\ air/kg\ fuel$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

حيث أن *(C, H, Or)* كتلة كل من الكربون والهيدروجين والأكسجين على الترتيب في *(1kg)* من الوقود. وكما هو معروف أن نسبة الأكسجين في الهواء الجوي *23.2 %* وباقي النسبة *(76.8 %)* من النيتروجين وذلك على أساس الوزن أما نسبة الأكسجين في الهواء الجوي كنسبة حجمية فهي تعادل *(21 %)*والنيتروجين *(79 %)*ومن هنا يمكن إيجاد كمية الهواء اللازمة للاحتراق النظري.

## مثال (١):

ما هي كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق التام لكل من وقود البنزين والسولار إذا كان وقود البنزين يحتوي على ***(85.5% C, 14.5% H2)*** ووقود السولار يحتوي على ***(86% C, 14% H2, 1% O2).***

## الحل

كمية الهواء اللازمة يمكن إيجادها من العلاقة:

$$Mair = (1/0.232)[ (8/3)\ C + 8\ H - Or]\ kg\ air/kg\ fuel$$

### أولا: وقود البنزين:

$$Mair = (1/0.232)[ (8/3)\ (0.855) + 8\ (0.145)] = 14.83\ kg\ air/kg\ fuel$$

:

## ثانيا: وقود الديزل:

$$Mair = (1/0.232)[ (8/3) (0.855) + 8 (0.145) – 0.01]= 14.41 \text{ kg air/kg fuel}$$

ويجب الملاحظة أن كمية الهواء الداخلة لاسطوانة المحرك تختلف عن كمية الهواء النظرية وتعرف النسبة بين كمية الهواء الفعلية ***(Maa)*** وكمية الهواء النظرية ***(Mat)***بمعامل زيادة نسبة الهواء ***(α)*** وهذه النسبة تعتمد على نوع المحرك وطريقة خلط الشحنة ونوع الوقود المستخدم بالإضافة إلى مدى تحميل المحرك من حيث السرعة والحمل وكذلك نوع جهاز الحاكم وهذه النسب يمكن توضيحها في الجدول التالي

| نوع المحرك | المعامل ($\alpha$) |
|---|---|
| محركات بنزين | 1.1 – 0.8 |
| محركات غازية | 1.3 – 1.1 |
| محركات الديزل البطيئة | 2.0 – 1.6 |
| محركات الديزل السريعة | 1.7 – 1.2 |

## أمثلة على عملية احتراق الوقود

### مثال (١):

أوجد النسبة المئوية لنواتج احتراق غاز الميثان ***CH4*** وذلك على أساس الحجم في الحالات التالية:

أ- $\alpha = 1$ ب- $\alpha = 1.2$ ج- $\alpha =$ $0.8$

حيث $\alpha$ معامل زيادة نسبة الهواء:

## الحل:

### a- For complet combustion (α = 1)

- $Cn\ Hm = CH4$
- $n=1,\ m=4,\ r=0$

$$CH4 + 2O2 + 7.6N2 \rightarrow CO2 + 2H2O + 7.6\ N2$$

$$A/F\ by\ Volume = (2+7.6)/1 = 9.6$$

$$A/F\ by\ Weight = (2x32 + 7.6x28)/(12 + 4x1) = 17.3$$

## *Exhaust analysis by volume:*

$$\% \text{ of } CO_2 = (1x\ 100) / (1 + 2 + 76) = 9.4\%$$

$$\% \text{ of } H_2O = (2 \times 100)/10.6 = 18.87\%$$

$$\% \text{ of } N_2 = (7.6 \times 100)/ 10.6 = 71.7\%$$

## *Exhaust analysis by weight:*

*Total weight of exhaust gases = 1(12 + 32) + 2(2 + 16) + 7.6(28)= 292.8*

*% of CO2 = (44x 100) / 292.8= 15%*

*% of H2O = (36 x 100)/292.8 = 12.3%*

*% of N2 = (212.8 x 100)/ 292.8 = 72%*

## *b- For (α = 1.2):*

$$CH4 + 2.4O2 + 9.12N2 \rightarrow CO2 + 2H2O + 9.12 N2 + 0.4O2$$

$$A/F \text{ by Volume} = (2.4+9.12)/1 = 11.52$$

$$A/F \text{ by Weight} = (2.4x32 + 9.12x28)/(12 + 4x1) = 20.76$$

***Exhaust analysis by volume:***

*Total numbers of moles for exhaust gases*

$$\% \text{ of } CO_2 = (1 \times 100) / 12.52 = 7.99\%$$

$$\% \text{ of } H_2O = (2 \times 100)/12.52 = 15.97\%$$

$$\% \text{ of } N_2 = (9.12 \times 100)/ 12.52 = 72.84\%$$

$$\% \text{ of } O_2 = (0.4 \times 100)/ 12.52 = 3.19\%$$

## c- For ($\alpha = 0.8$):

$$CH4 + 1.6O2 + 6.08N2 \rightarrow x\ CO2 + y\ H2O + 6.08\ N2 + z\ \ CO$$

من توازن الهيدروجين

$$y = 2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

من توازن الكربون

$$x + z = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

من توازن الأكسجين

$$x + 0.5\,y + 0.5\,z = 1.6 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

وبحل المعادلات الثلاثة السابقة ينتج أن

$$x = 0.2,\ \ y = 2,\ z = 0.8$$

فتصبح معادلة الاحتراق كالتالي:

$$CH4 + 1.6O2 + 6.08N2 \rightarrow 0.2\ CO2 + 2\ H2O + 6.08\ N2 + 0.8\ CO$$

$$A/F\ by\ Volume = (1.6+6.08)/1 = 7.68$$

$$A/F\ by\ Weight = (1.6x32 + 6.08x28)/(12 + 4x1) = 17.03$$

*Exhaust analysis by volume:*

*Total numbers of moles for exhaust gases:*

$$= 0.2 + 2 + 6.08 + 0.8 = 9.08\ moles$$

$$\% \text{ of } CO2 = (0.2 \times 100) / 9.08 = 22\%.$$

$$\% \text{ of } H2O = (2 \times 100)/9.08 = 22.03\ \%$$

$$\% \text{ of } N2 = (6.08 \times 100)/ 9.08 = 66.96\%$$

$$\% \text{ of } CO = (0.8 \times 100)/ 9.08 = 8.81\%$$

## مثال (٢):

عند حرق خليط من الوقود يحتوي على ***80 %*** بروبان ***C3H8*** و***20 %*** بيوتان ***C4H10*** بالحجم في زيادة من الهواء مقدارها $\alpha = 20\ \%$ احسب:

أ- نسبة الهواء إلى الوقود

ب- النسبة المئوية لنواتج الاحتراق

**الحل:**

**الصورة العامة لمعادلة الاحتراق:**

***a- The combustion equation for 80% propane:***

$$0.8C_3H_8+(0.8)(1.2)[3+(8/4)]O_2+(0.8)(1.2)(3.76)[3+(8/4)]\ N_2 \rightarrow (0.80)(3)CO_2+(0.8)(8/2)H_2O+(0.8)(1.2)(3.76)[3+(8/4)]\ N_2+(0.8)(0.2)\ [3+(8/4)]O_2$$

*then:*

$$0.8C_3H_8+(4.8)O_2+(18.048)N_2 \rightarrow (2.4)CO_2+(3.2)H_2O+(18.048)\ N_2+(0.8)O_2$$

## *b- The combustion equation for 20% butane:*

$$0.2C_4H_{10}+(0.2)(1.2)[3+(10/4)]O_2+(0.2)(1.2)(3.76)[3+(10/4)]N_2 \rightarrow (0.2)(4)CO_2+(0.2)(10/2)H_2O+(0.8)(1.2)(3.76)\ [3+(10/4)]N_2+\ (0.2)(0.2)[3+(10/4)]O_2$$

$$0.2C4H10+(2.56)O2+(5.8656)N2 \rightarrow$$
$$(0.8)CO2+H2O+(5.8656)\quad N2+(0.26)O2$$

**وبجمع المعادلتين السابقتين**

$$0.2C4H10+0.8C3H8+6.36O2+23.9N2 \rightarrow 3.2CO2+4$$
$$.2H2O+23.9N2+1.06O2$$

***Air-fuel ratio by weight:***

$$A/F = [(6.36)(32)+(23.9)(28)] /$$
$$[(0.2x4+0.8x3)(12)+(0.2x10+0.8x8)]=18.65$$

***Exhaust analysis by volume:***

## *Total numbers of moles for exhaust gases:*

$$= 3.2 + 4.2 + 23.9 + 1.06 = 32.36 \text{ moles}$$

$$\% \text{ of } CO_2 = (3.2 \times 100) / 32.36 = 9.88\%$$

$$\% \text{ of } H_2O = (4.2 \times 100)/32.36 = 12.98\%$$

$$\% \text{ of } N_2 = (23.9 \times 100)/ 32.36 = 73.86\%$$

$$\% \text{ of } O_2 = (1.06 \times 100)/ 32.36 = 3.28\%$$

**مثال (٣):**

عند حرق وقود يحتوي على ***86 %*** كربون و***14 %*** هيدروجين على أساس الوزن في زيادة من الهواء مقدارها $\alpha = 10\ \%$ احسب:

أ- نسبة الهواء إلى الوقود كوزن  ب- النسبة المئوية لنواتج الاحتراق كوزن

ج- كتلة كل ناتج من نواتج الاحتراق لكل واحد كجم من الوقود

## الحل:

$$(H/C) = (1m/12n) = 14/86 = 0.163$$

$$then\ m = 1.956\ n$$

الصورة العامة لمعادلة الاحتراق:

$$CnHm + 1.6379n\ O2 + 6.22402n\ N2 \rightarrow nCO2 + 0.978n\ H2\text{-}O + 6.22402n\ N2 + 0.1489n\ O2$$

## *Exhaust analysis by weight:*

$$\% \text{ of } CO_2 = (44n \times 100) / 240.64n = 18.3\%$$

$$\% \text{ of } H_2O = (17.604n \times 100)/240.64n = 7.327\%$$

$$\% \text{ of } N_2 = (174.272n \times 100)/240.64n = 72.4\%$$

$$\% \text{ of } O_2 = (4.7645n \times 100)/ 240.64n = 1.98\%$$

## كتلة كل ناتج من نواتج الاحتراق لكل كجم من الوقود:

$$CO2/F = 44n/13.956n = 3.153\ kg/kg\ fuel$$

$$H2O/F = 17.604n/13.956n = 1.2612\ kg/kg\ fuel$$

$$N2/F = 174.272n/13.956n = 12.48\ kg/kg\ fuel$$

$$O2/F = 4.7645n/13.956n = 0.3414\ kg/kg\ fuel$$

**مثال (٤):**

أوجد القيمة الحرارية للوقود ***(L. C. V.)*** بمعادلة مندلييف إذا كان الوقود يحتوي على ***86 %*** كربون و ***12.5 %*** هيدروجين و ***0.5 %*** أكسجين والباقي رماد.

## الحل:

### من معادلة مندلييف

$$QL = 33.9\,(C) + 125.6\,(H) - 10.9\,(O - S) - 2.5\,(9H + W)$$

$$= (33.9)(0.86)+(125.6)(0.125)-(10.9)(0.005)+(2.5)(1.125)$$

$$= 41.987\ MJ/kg.$$