الباب الخامس
وقود الديزل وأنواع أخري من الوقود

البـــاب الخامـــس

وقود الديزل وأنواع أخري من الوقود

وقـــود الديـــــزل :

لقد كانت ماكنة الديزل الأولي التي ساعدت علي إشـــاعة اســـتعمال وقود الديزل كبديل للفحم مصممة أصلاً لحرق الفحم كمصدر للطاقة . إذ أن مسحوق الكاربون العالق في الهواء والذي استخدم كوقود في ماكنة الـــديزل في بداية الأمر يكون خليطاً قابلاً للاشتعال بمجرد زيادة الضغط أو تعريض الخليط إلي لهب أو شرارة كهربائية .

ولم يكتب النجاح لهذه الماكنة إذ قد تعرضت إلي انفجار وقد اضطر مخترعها إلي استبدال مسحوق الكاربون بوقود الديزل وفي هذا النـــوع مـــن مكائن الديزل يسحب الهواء إلي داخل الاسطوانة ويضغط إلي مـــا يقـــارب 3445×10^3 نيوتن / م^2 ويكون هذا الانضغاط مصحوباً بارتفاع عال في درجات الحرارة إلي ما يقارب 540 م ° .

وعند اكتمال مرحلة الانضغاط يضخ وقـــود الـــديزل علـــي شـــكل قطرات صغيرة حيث تلامس الهواء الحـــار وتبـــدأ فـــي الاحتـــراق وهـــذا بدوره يرفع كل مـــن درجـــة الحـــرارة والـــضغط ويعجـــل فـــي حركـــة ضربة المكبس السفلي .

وتعتبر سرعة ماكنة الديزل من العوامـــل الرئيـــسية التـــي تحـــدد نوعية الوقود الملائم للاحتـــراق . ويمكـــن تـــصنيف هـــذه المكـــائن إلـــي بطيئة ومعتدلة وعالية السرعة . فالمكائن البطيئة والتي تتـــراوح ســـرعتها

من 100 إلي 500 دورة في الدقيقة الواحدة تستعمل في المكائن الكبيرة الواقفة أو الوحدات البحرية .

كما وان مكائن الديزل المعتدلة السرعة والتي تتراوح سرعتها من 500 إلي 1500 تستعمل في المولدات الكهربائية والمضخات والتراكتورات والمجرفات الأولية .

بينما تستخدم المكائن السريعة والتي تتراوح سرعتها من 1500 إلي 2000 أو أكثر في الحافلات الكبيرة والطائرات . ويكون هذا النوع من المكائن ذا قدرة وزن أقل بكثير من تلك المستعملة في المكائن القديمة .

مراحل الاحتراق :

تنقسم عملية احتراق الوقود في مكائن الديزل إلي أربعة مراحل :-

أولاً : تضخ قطرات الوقود في الهواء الساخن جداً حيث تمتص هذه القطرات الحرارة وتتحول من الحالة السائلة إلي الحالة الغازية .

ثانياً : تحترق هذه الأبخرة المتطايرة وتزيد من درجة الحرارة والضغط داخل الاسطوانة .

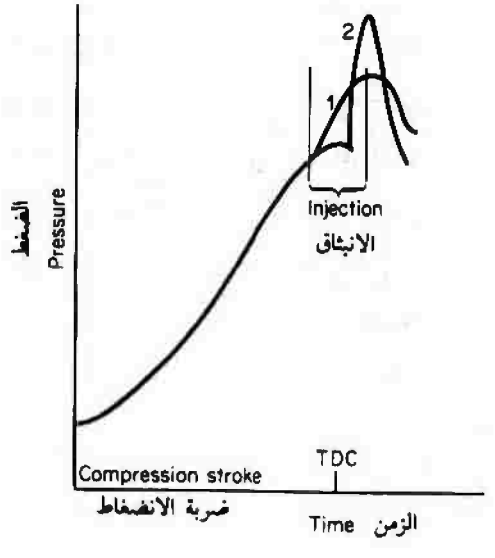
ثالثاً : تحترق قطرات الوقود التي لا تزال تتدفق داخل الاسطوانة وتكون لهيباً يزيد من ضغط الغازات التي تدفع المكبس إلي نهاية الضربة السفلي .

رابعاً: ينقطع ضخ الوقود إلي داخل الاسطوانة وتستمر القطرات غير المتبخرة أو الدهن الملامس إلي سطح الاسطوانة الداخلي عادة بوجود الترسبات الكاربونية ويستغرق اكمال هذه الخطوات وقتاً صغيراً إذ لا يتعدي الجزء الصغير من الثانية .

كما يجب أن تكون فترة تسخين قطرات الوقود لحين حدوث الاحتراق قصيرة في الديزل السريعة إذ أن فترة ضخ الوقود يجب أن تستغرق فترة قصيرة جداً لان القرقعة غالباً ما تحدث في مكائن الديزل بسبب الاشعال المؤخر **(Retarded Ignition)** .

أي عندما تكون فترة تسخين قطرات الوقود طويلة تؤدي إلي تجمع رذاذ من الوقود داخل الاسطوانة وتكون نسبة المواد البترولية في المزيج عالية مكونة خليطاً قابلاً للأنفجار .

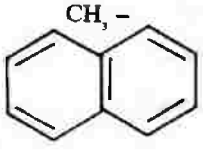
وتكون عملية الاحتراق الجيدة بعد انتهاء فترة ضخ الوقود مصحوبة عادة بارتفاع منتظم في الضغط إلي درجة قصوي . وهذا يتطلب فترة تأخر **(Delay period)** قصيرة واحتراق منتظم . وكما موضح في منحنيات الضغط التي تمثل الفرق بين احتراق ذو فترة تأخر قصيرة وطويلة **(Short-and long-delay period)** موضحة في الشكل التالي :



وتعتمد فترة التأخر **(Delay period)** علي عدة عوامل منها تصميم الماكنة ، نوعية المحقنة **(Injector)** حجم قطرات الوقود وطريقة مزج قطرات الوقود مع الهواء كلياً تؤثر علي فترة التأخر ولكن العامل الرئيسي والمهم هو المواصفات الكيمياوية لوقود الديزل .

العدد السيتاني : (Cetane Number) :

يتم تحديد جودة وقود الديزل بطريقة مماثلة لتلك التي استعملت لتصنيف جازولين السيارات ، حيث تتألف الوقود القياسية المستعملة لتحديد العدد السيتاني من السيتان القياسي **($C_{16}H_{34}$ normal Cetane)** والفامثيل نفتالين **(∝ - methyl naphthalene)** .



وتشير الكلمة ألفا إلي أن مجموعة المثيل تكون مرتبطة إلي قمة احدي الحلقات المندمجة والسيتان هو عبارة عن سلسلة اليكان مستقيمة . ويعتبر هذا النوع من الهيدروكاربونات من أحسن أنواع وقود الديزل المنتجة تجارياً ولذلك أعطي عدداً سيتانياً مساوياً إلي 100 .

وتكون المركبات الحلقية بصورة عامة ، والمركبات العطرية بصورة خاصة ، وقود ديزل رديء النوعية . فالفا مثيل نفثالين مثال علي ذلك أعطي عدداً سيتانياً مساوياً إلي صفر

وتمثل نسبة السيتان في خليط من السيتان والفاميثيل نفثالين ذات طبيعة احتراق مشابهة للوقود المجري عليه الفحص بالعدد السيتاني لذلك الوقود .

وتتطلب المكائن العالية السرعة وقود ذو عدد سيتاني 50 أو أكثر بينما تشتغل المكائن المعتدلة السرعة علي وقود ذي عدد سيتاني 45 . وتستعمل المكائن البطيئة وقوداً ذا عدد سيتاني بحدود 25 .

ومن الملاحظ أن اختيار وقود الديزل يتم وفق مواصفات كيميائية مخالفة لتلك المواصفات اللازمة والضرورية للجازولين . إذ تتميز جودة الجازولين بعدم الاشتعال عند الزيادة في الضغط الحاصل داخل الاسطوانة .

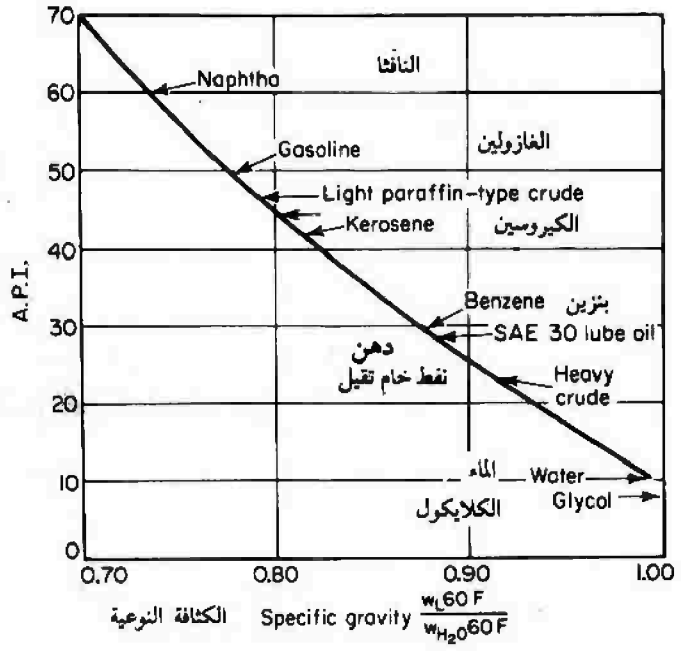
ولكن الخاصية المفضلة في وقود الديزل هي قابليته السريعة علي الاشتعال عند ارتفاع الضغط . فمثلاً العدد السيتاني لمادة ايسواوكتان **(iso octane)** الذي يعتبر من أحسن أنواع الجازولين هو 22 . بينما الهيبتان القياسي **(n-heptane)** ذو العدد الاوكتاني صفر يكون ذا عدد سيتاني 64 .

<u>دليل الديزل : (Diesel Index) :</u>

يرمز دليل الديزل إلي القيمة العددية التي توضح جودة وقود الديزل ويحسب عادة من معرفة أحد خواص الوقود الفيزيائية وهي الكثافة وخاصة كيميائية أخري تدعي العدد الانيليني **(API gravity and Anilne number)** .

وتقاس عادة الكثافة بمقياس **API** المستعملة من قبل معهد البترول الأمريكي **(American Petroleum Institute)** . تبلغ كثافة الماء بدرجة حرارة 60 ف 10 درجة بمقياس **API** وتقل هذه الدرجة للسوائل الأكثر كثافة من الماء .

والعلاقة بين الكثافة المقاسة بـ **API** والكثافة النوعية موضحة في الشكل التالي ، كذلك يشير هذا الشكل إلي مواقع المنتجات البترولية المختلفة.



ويشير العدد الانيليني إلي درجة الحرارة التي عندها تصبح حجوم متساوية من الانيلين – مركب عضوي NH_3– ، والمشتق البترولي ، غير ذائبة في بعضها البعض . لذلك فإن نقطة الانيلين تتناسب مع الكميات العطرية في المشتق البترولي . ويعرف دليل الديزل بما يلي :-

$$\text{دليل الديزل} = \frac{\text{نقطة الانيلين} \times \text{الكثافة (API)}}{100}$$

وكلما يزيد العدد السيتاني كلما تتحسن نوعية الوقود . ويزيد العدد السيتاني عادة بمقدار ثلاث وحدات عن دليل الديزل .

درجة الاشتعال ، نقطة الوميض ، نقطة الاحتراق :

من بين الخواص المهمة التي يجب قياسها لتحديد جودة الوقود هي درجة الاشتعال التلقائي ، نقطة الوميض ونقطة الاحتراق . وبغية الزيادة من

سرعة احتراق الوقود ، يجب أن تكون درجة اشتعال الوقود أقل بكثير من درجة حرارة الهواء المضغوط داخل الاسطوانة .

وترتبط درجة الاشتعال التلقائي **(Spontaneous Ignition Temperature)** ارتباطاً وثيقاً بمواصفات الوقود الكيميائية والفيزيائية . كما أن درجة اشتعال الوقود المقاسة مختبرياً تختلف عادة عن تلك التي يشتعل عندها الوقود داخل الاسطوانة نظراً لعوامل عديدة منها :

1- وجود الترسبات داخل الاسطوانة
2- مادة صنع جدران الاسطوانة وطبيعتها الفيزيائية
3- تركيز البخار
4- الضغط الكلي داخل الاسطوانة

ومن بين التجارب المختبرية التي صممت بحيث تكون ظروفها متقاربة لما يحدث حقيقة داخل الاسطوانة هي طريقة الانضغاط الادياباتي لمزيج من الهواء والبخار في اسطوانة حديدية حيث يتم الاشتعال .

وقد أجريت هذه التجربة علي العديد من المواد وكانت درجة اشتعال الهكسان 366م° ودرجة اشتعال الهيبتان (والذي يمثل نوعاً جيداً من وقود الديزل) 330 م° ودرجة اشتعال البنزين العطري (ذو عدد سيتاني 10-) هي 420م° . أما الجازولين يعطي قيم تتراوح بين 353 م° و 367 م° .

ويتم الحصول علي نقطة الوميض بواسطة الزيادة التدريجية في درجة حرارة المنتوج البترولي داخل قدح الوميض القياسي حتي تتجمع كمية معينة من البخار كافية لتكوين وميض عند مرور لهب فوق فوهة القدح .

وتعتبر درجة الحرارة التي تحدث عندها هذه الظاهرة بنقطة وميض المنتوج البترولي . وتشير بصورة غير مباشرة إلي مقدار المواد المتطـــايرة والموجودة داخل السائل . وتستخدم عادة كمؤشر لتجنب مخاطر الحرائق عند خزن ونقل المشتقات البترولية .

وجهاز نقطة الوميض الاتومـــاتيكي حيـــث تـــتم الـــسيطرة علـــي التـــسخين الكهربـــائي فـــي هـــذا الجهـــاز بواســـطة ترمـــومتر مقاومـــة **(Resistance Thermometer)** مغمور في العينة تحت الفحص . ويـــنظم معدل التسخين اوتوماتيكياً بحيث لا يزيد عـــن $\frac{60°م}{دقيقة}$ خـــلال 28م° الأخيرة . ويتم إمرار لهب فوق فوهة القدم كل ستة ثواني .

وعند حدوث نقطة الوميض ، يغير لهب الوميض من مواسعة المكثف الدائري **(Capacitance of a circular condenser)** وهذا بـــدوره يقـــدح الثايراترون **(Trigger rhyration tube)** والمرحل **(Relay)** الذي يقطـــع مصدر الحرارة . ومن ثم تسجل درجة الحـــرارة علـــي جهـــاز التـــسجيل **(Recorder)** في نفس اللحظة .

وتختلف نقطة الاحتراق من نقطة الوميض إذ تمثل درجة الحـــرارة التي عندها يكون ضغط بخار السائل أو مقدار الأبخرة المتصاعدة من جراء التسخين كافية لديمومة احتراق الوقود .

محسنـــــات وقـــود الديـــــزل :

ويمكن تحسين خواص وقود الـــديزل بإضـــافة بعـــض المركبـــات الكيميائية الخاصة مثل نترات الاثيـــل **(Ethyl Nitrate)** ونتريـــت الاثيـــل **(Ethyl- Nitrite)** ونترات الامونيوم .

وتستعمل أنواع عديدة أخري من المواد المضافة ولأغراض مختلفة . فمثلاً تستخدم مركبات مانعة التفاعل الكيميائي **(Inhibitor)** لتأخير أو منع تكوين الصمغ الراتنجي ، وجزيئات البولي هيدروكاربونات الكبيرة لمنع حدوث تغييرات كبيرة في خواص الوقود الفيزيائية مع ارتفاع درجات الحرارة .

كذلك تستخدم بعض المواد المحسنة الاخري التي تقلل من حدة الشد السطحي والتي بدورها تسهل من عملية انشطار القطرات الكبيرة وتسفر عن تكون رذاذ صغير متجانس .

نقطة الادخان : Smoke point :

يعتبر تكون الدخان للمنتجات البترولية عند الاحتراق عاملاً مهماً إذ انه يساعد علي تجمع الترسبات الكاربونية ، السخام **(Soot)** . وتحرير الغازات المستهلكة القذرة **(Dirty cxhaust Fumes)** .

وقد أشارت البحوث إلي أن حدة التدخين للمواد الهيدروكاربونية تتزايد تدريجياً في السلاسل التالية كما يلي : الكانات الاعتيادية **(n-alkanes)** < الايسوالكانات **Iso-alkanes** < الكينات الحلقية < المركبات العطرية **Aematios** .

كما تختلف حدة تدخين المركبات البرافينية الحلقية من بعضها البعض ويصعب تحديد مكانها بين السلاسل الاخري إذ أن قابلية التدخين تعتمد علي حجم وتركيب الجزيئات .

وقد عرفت نقطة الادخان كأقصى ارتفاع للهب مقاساً بالملليمترات وعنده يحترق الوقود بدون تولد دخان داخل المصباح القياسي المصباح القياسي يستعمل لتحديد نقطة الادخان

وبغية قياس نقطة الادخان ، تشبع الفتيلة أولاً بالمادة البترولية المراد فحصها ومن ثم تثبت الفتيلة في مكانها داخل المصباح ، يوضع 20 مل من العينة داخل الوعاء **(R)** ويعاد ربطه إلي الجهاز وتشعل الفتيلة وتنظم بحيث يصبح طول اللهب 1سم .

يترك المصباح مستمراً علي الاحتراق لمدة خمس دقائق وترفع الفتيلة تدريجياً بواسطة القرص **(S)** حتي يكون اللهب مصحوباً بانبعاث دخان ومن ثم تخفض الفتيلة حتي يختفي الدخان كلياً .

يقاس ارتفاع اللهب عند هذه النقطة براءة التدريج علي المدخنة بالملمترات . تعاد العملية أعلاه ثلاث مرات ويمثل معدل القراءات إلي اقرب مليمتر نقطة الادخان . والجدول التالي يبين نقاط الادخان لبعض المواد الكيمياوية المختلفة .

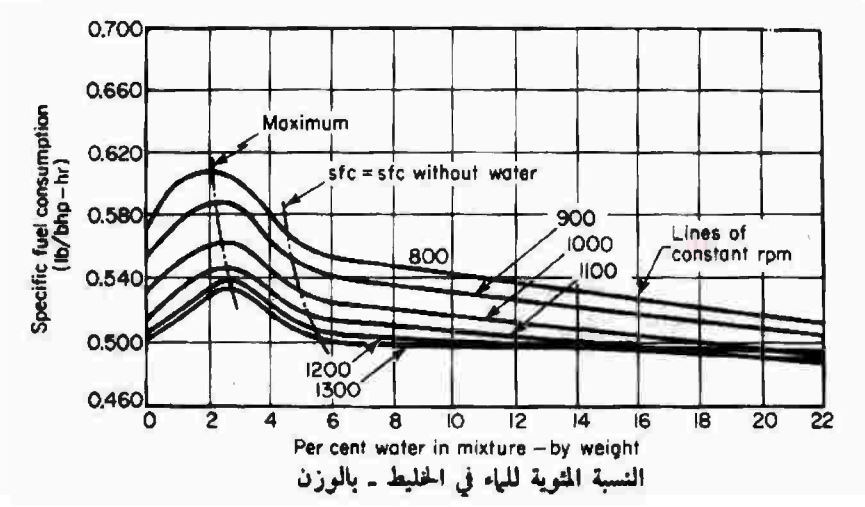
نقطة الادخان إلي بعض المركبات

الهيكسان الاعتيادي	**144**	**الهيكسان الحلقي**	**117**
الاوكتان الاعتيادي	**147**	**بنزين**	**8**
4,2,2 تراي مثيل بنتان	**86**	**توليين**	**6**
I – هيكسيون	**88**	**بيرازايليين**	**5**
I- اوكتين	**99**	**ثايوفينول**	**5**
هيكسيل ميركبتان	**102**	**فينيل سلفايد**	**4**
هيكسل سيلفايد	**114**	**انيلين**	**15**

وتستخدم العديد من المركبات الكيميائية التي تقلل من وحدة الادخان . وهي عبارة عن مركبات عضوية معدنية وذات صيغة كيميائية FeR_2 ، حيث أن الرمز (R) يمثل جذر بنتاداين الحلقي (**Cyclic pentadiene**) . وان إضافة 0.1 بالمائة من المركب أعلاه يحول اللهب المصحوب بالسخام الكثيف إلي لهب خال من الدخان .

ولقد اكتشف الباحثون أن وجود الماء علي شكل مستحلب مع وقود الديزل قد يساعد علي تقليل الدخان المصاحب للاحتراق ويقلل من حدة الترسبات الكاربونية داخل الماكنة .

فقد أشارت البحوث إلي أن وجود الماء بنسبة 5% أو أقل أدت إلي زيادة مقدار الوقود المستهلك للقوة الحصانية الواحدة إلا أن زيادة الماء فوق هذه النسبة أدي إلي زيادة الكفاءة الحرارية .



إذ قد بلغت الزيادة القصوي في الكفاءة الحرارية 9.7% للوقود الذي يحتوي علي 22.5% من الماء . والشكل التالي يبين العلاقة

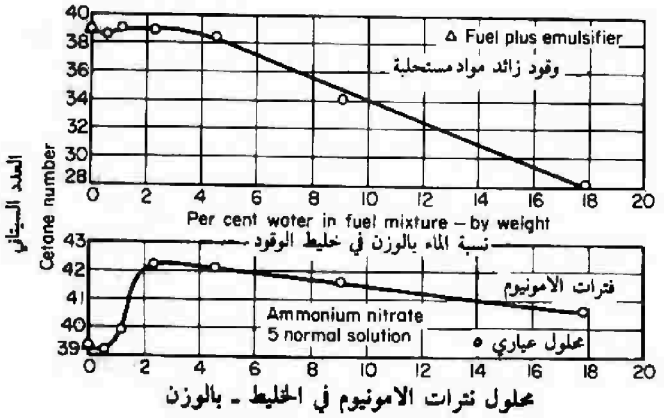
بين استهلاك الوقود النوعي ونسبة الماء المئوية الموجود علي شكل مستحلب داخل الوقود .

وعند إضافة محلول نترات الامونيوم بدلاً من الماء إلي وقود الديزل تسير عملية الاحتراق بانتظام وتكون غير مصحوبة بالقرقعة التي غالباً ما تحدث عند حرق وقود الديزل وحده .

إن هذا يشير إلي حدوث زيادة في العدد السيتاني . وإضافة إلي ذلك ، تكون السرع التي تتراوح بين 100 إلي 1200 دورة بالدقيقة مصحوبة بزيادة في الكفاءة الحرارية . الشكل (6.9) يوضح تأثير مستحلب نترات الامونيوم علي العدد السيتاني لوقود الديزل .

البترول الأبيض : (Kerosene) :

ويطلق الاصطلاح البترول الأبيض أو زيت الفحم علي ناتج التقطير للبترول الخام بين 175 إلي 1200م° . وذات كثافة تتراوح من 43 إلي 45 درجة علي مقياس **API** . يجب أن يكون الكيروسين خال من المركبات العطرية والمركبات الهيدروكاربونية الغير مشبعة والمركبات الحاوية علي الكبريت .



محلول نترات الامونيوم في الخليط - بالوزن

لأن وجود مثل هذه المركبات يزيد من حدة الأدخنة المتطايرة ، ولتحديد نسبة المركبات الهيدروكاربونية الغير مشبعة في الكيروسين يفضل إنتاجه بطريقة التقطير الاعتيادي للبترول الخام علي طريقة التكسير الحراري للمشتقات البترولية .

كما أن البترول الأبيض المنتج من بترول خام من أصل برافيني يكون ذو نقاوة عالية مقارنة بذلك المنتج من أصل عطري . وتجري العديد من التفاعلات الكيميائية علي الكيروسين الحاوي علي مواد عطرية ومركبات هيدروكاربونية غير مشبعة قبل استعماله كوقود للطبخ والتدفئة .

وفي الماضي كانت عملية التحلية تنحصر بمعاملة البترول الأبيض بحامض الكبريتيك المركز لإزالة المركبات العطرية والمواد الهيدروكاربونية الغير مشبعة .إلا أن هذه الطريقة تسفر عن خسارة كبيرة بالمواد الكيميائية والمواد البترولية وأصبحت غير عملية من الناحية الاقتصادية في الوقت الحاضر .

ولقد استبدلت الطريقة أعلاه بطريقة أخري تسمي طريقة الليديلينو **Eldeleneau process** تتضمن هذه الطريقة معاملة البترول الأبيض مع ثاني اوكسيد الكبريت السائل **Liquid So_2** في درجة حرارة منخفضة تتراوح من 12-م إلي 10-م وتحت درجة عالية من الضغط لمنع تبخر ثاني اوكسيد الكبريت .

وأثناء عملية المزج تذوب المركبات العطرية والمركبات الحاوية علي الكبريت في سائل ثاني أوكسيد الكبريت ومن ثم تفصل عن المذيب بعملية التقطير ، وفي نهاية العملية يعامل البترول الأبيض المنقي قبل عرضه إلي الأسواق بمحلول هيدروكسيد الصوديوم .

ومن الطرق الحديثة المتبعة لتحلية البترول الأبيض هي طريقة الهدرجة والتي تتضمن معاملة البترول الأبيض بغاز الهيدروجين تحت عوامل مساعدة من الكوبالت – موليبدينوم **Cobalt-Molybdenum** وظروف معينة من الضغط والحرارة .

وفي هذه الظروف تتفاعل المركبات الحاوية علي عناصر الكبريت أو النتروجين مع غاز الهيدروجين مكونة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S والامونيا NH_3 علي التوالي . كما أن معظم السلاسل الغير مشبعة تتفاعل مع الهيدروجين مكونة سلاسل الالكان **Alkanes** .

وبذلك يصبح الكيروسين ذو نقاوة وجودة عالية لأغراض التسخين والاستعمالات الاخري . ولقد كان استعمال البترول الأبيض قليلاً ومقتصراً في بداية الأمر لأغراض التسخين فقط . إلا انه بعد اكتشاف الطائرات النفاثة فقد ازداد معدل استهلاك الكيروسين كوقود لمثل هذا النوع من المكائن بعد إجراء بعض التعاملات الكيميائية والفيزيائية عليه .

إن وقود الطائرات والمسمي بـــ **Aircraft Turbine Kerosene** يكون ذو نقاوة عالية جداً إذ أن درجة الانجماد لا تزيد علي 50 لمنع تكون البلورات الصلبة التي تؤدي إلي انسداد أنابيب توصيل الوقود .

ومن الخواص المهمة لوقود الطائرات **ATK** هو درجة اللزوجة ، درجة الانجماد ، والقابلية علي التبخر والجدول التالي أدناه يبين المواصفات الكيمياوية والفيزيائية لوقود الطائرات .

مواصفات وقود الطائرات ATK

الكثافة بمقياس API	40
نقطة الوميض	41 م° الحد الأدني
المقطر 10% بالحجم	170 م°
نقطة الغليان النهائية	275 م°
اللون بطريقة السيبوليت	25 الحد الأدني
الكبريت	30 جزء بالمليون
الكشف Doctor test	سالب
قيمة التفحم Char Value	$\frac{10 \text{ ملجم}}{\text{كجم}}$ الحد الأعلي
المواد الصمغية	$\frac{6 \text{ ملجم}}{100 \text{ مل}}$ الحد الأعلي
نقطة الادخان	25 ملم الحد الأدني
نقطة الانجماد	50-م° الحد الأعلي
الحامضية الغير عضوية	لا توجد

وقـــود الصواريـــخ : (Rocket Fuels) :

يشمل وقود الصواريخ مواد اعتيادية مثل الجازولين والكيروسين ، ويكون معدل احتراق الوقود في الصواريخ عال جداً مقارنة

باستهلاك الطائرات النفاثة والتوربينات الغازية ويكون مصحوباً بارتفاع عال في درجات الحرارة .

فدرجة الحرارة في موتور الصاروخ **(Rocket Motor)** تتراوح بين 2760 إلي 3310 م° ، بينما تتراوح درجة حرارة ماكنة الطائرات النفاثة بـ 975 م .

ويتم الحصول علي هذا المعدل السريع من الاحتراق بواسطة استعمال الأوكسجين السائل أو بعض المواد المؤكسدة القوية مثل 95 إلي 100 بالمائة بيروكسيد الهيدروجين وحامض النتريك المدخن **Fuming Nitric Acid** كما قد تم تجربة الأوزون ، الفلور ، الكلورترايفلورايد كمواد مؤكسدة قوية .

وعلي سبيل المثال فإن الصاروخ الألماني **V-2 Missile** والذي استعمل في الحرب العالمية الثانية قد زود بالوقود المكون من ثلاثة وربع طن من الكحول ومن ستة وثلاثة أرباع طن من الأوكسجين السائل . ويولد معدل احتراق الوقود دفها **Thrust** كاف لرفع الصاروخ البالغ طوله 14م إلي ارتفاع 195 كم .

تصنيف وقود الصواريخ : Classification of Rocket Fuels :

تصنف وقود الصواريخ بكمية تسمي الدفع النوعي . ويعرف الدفع النوعي بمقدار الدفع بالباونات لكل باوند وقود في الدقيقة الواحدة . ويكون وقود الصاروخ الجيد ذو دفع نوعي مساوياً 250

والجدول التالي أدناه يبين الدفع النوعي لبعض الوقود المختلفة والعوامل المؤكسدة القوية .

الدفع النوعي لبعض الوقود المختلفة والعوامل المؤكسدة القوية

الوقود	المادة المؤكسدة	الدفع النوعي
$C_2H_5 - OH$	$1.5\ O_2$	242
$C_2H_5\ OH$	$4H_2\ O_2$ (%99)	230
JP_4	$2.2\ O_2$	248
NH_3	$1.3\ O_2$	250
JP_4	2.3 (%70 O_2 , %30 O_3)	253
	1.9 (% 100 O_3)	266
JP_4	$2.6\ F_2$	265
$NH_2\ NH_2$	$0.63\ O_3$	277
NH_3	$2.6\ F_2$	288
$B_2\ H_6$	$5.0\ F_2$	291
$CH_3\ OH$	$2.3\ F_2$	296
$NH_2\ NH_2$	$1.98\ F_2$	298
H_2	$8.1\ O_2$	511

وقــود الصواريــخ الصلــب :

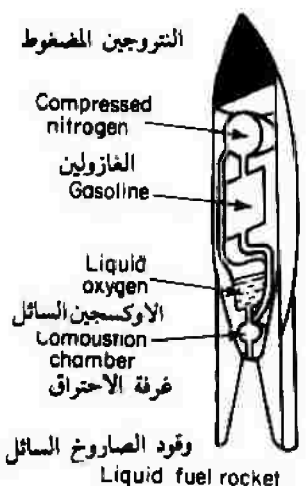
إن مصدر قوة الــدفع فــي الــصواريخ المــستعملة فــي الألعــاب النارية هو الغازات الساخنة والناجمــة عــن احتــراق مــسحوق البــارود الــصلب . وان معظــم الــصواريخ القاذفــة الــصغيرة مثــل صــواريخ الطــائرات بحجــم 7 ســم تحــرق خليطــاً مــن نايتروكلــسيرين والنايتروسليلوز **Nitroglycerine – nitrocellulose** .

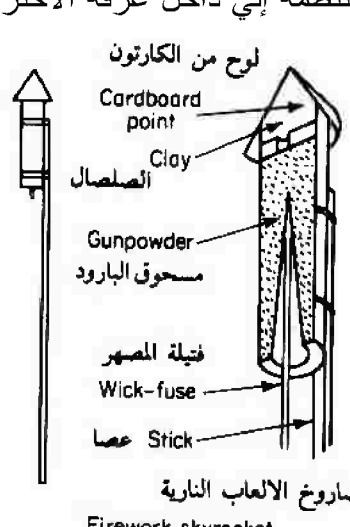
كما قد أثبتت التجارب إمكانية استعمال ثايكول **Thiokel** ، هيدرازين **hydrazine** بورايد معينــة **Certain Borides** ، ومختلــف البــوليمرات **Polymers** كوقود صلب بعد اختيار العامل المؤكسد المناسب .

ورغم إمكانية تنظيم احتراق الوقود الصلب بتحديد مكونات وشــكل وحجم حبيباته ، لا تزال عملية السيطرة علي احتراه معقدة مقارنــة بتنظــيم احتراق الوقود السائل .

وقــود الصواريــخ السائــل :

الشكل التالي يمثل مخططاً توضيحياً لصاروخ يحرق الوقود السائل إذ أن النتروجين المضغوط أو أي عنصر خامل آخر يــدفع الوقــود بكميــات منتظمة إلي داخل غرفة الاحتراق .





ويتم رفع درجة حرارة الوقود الـــداخل ودرجـــة حـــرارة موتـــور الصاروخ بمبادلات حرارية ملائمة الشكل التالي يوضح الـــصاروخ أطلـــس والذي استخدم لدفع **Friendship 7** إلي مداره مستخدماً سائلاً هيدروكاربونياً مع سائل الأوكسجين .

يعتبر الهيدروجين وقوداً مثالياً من حيث مقدار تحرر الحرارة للباوند الواحد إلا انه يتطلب ضغطاً عالياً لتحويله إلي سائل ويجب أن يكون الخزان بمثابة معينة لتحمل هذا الضغط العالي .

" الأسئلـــــــة "

1- عرف العدد السيتاني .

2- كيف يمكن تقصير فترة التأخر .

3- ما هو دليل الديزل وما هو فحواه ؟

4- من بين المركبات التالية حدد المركب الذي يسفر حرقه عن تولد اكبر كمية من الدخان C_6H_{12} , C_6H_{14} , C_6H_6 .

5- اذكر ثلاث سنات إلي وقود الديزل .

6- ما هو الفرق بين نقطة الوميض ، نقطة الاحتراق ، ونقطة الاشتعال .

7- وقود الهيـــدروجين مـــع الفلـــورين يكـــون ذو دفـــع نـــوعي 350 . بين مساوئ ومحاسن هذا الوقود مقارنة مع وقود خلـــيط الفلـــورين – هايدروكاربون