تقييم خصائص ومضافات وقود المشتقات النفطية

د. محمد بن عتيق الدوسري
م. سعود بن عبدالعزيز الدريس

وقود المشتقات النفطية عبارة مزائج معقدة من المركبات الهيدروكربونية، ونسب قليلة من الشوائب، مثل: المركبات الكبريتية، والنيتروجينية، والأكسجينية، وهذه تختلف نوعيتها وكميتها بإختلاف النفط الخام الأساس وبإختلاف طرق تكريره.

إضافة لذلك توجد في وقود المشتقات النفطية مقادير ضئيلة جداً من عناصر فلزية كالحديد، والنيكل، والفاناديوم، وغيرها. يختلف التركيب الجزيئي للخواص الفيزيائية والكيميائية لمكونات الوقود من نفط إلى آخر.

لا تستطيع المشتقات النفطية الناتجة عن تقطير النفط الخام أن تفي بالغرض المطلوب لاستخدامها، بل لابد من تقييم خصائصها وتنقيتها واستخدام أنواعاً معينة من المضافات للحصول على خواص ومواصفات مناسبة للإستخدام. تتناسب طرق تقنية الوقود عادة مع الطبيعة الكيميائية للشوائب الموجودة فيه. تختلف نوعية تلك الشوائب وكميتها بإختلاف مجال درجات غليان المقطرات الناتجة عن تقطير النفط الخام.

ويجب أن يتمتع الوقود بخصائص تغطي مدى واسع من ظروف التشغيل، مثل: اختلاف أنظمة احتراق الوقود، ودرجات حرارة المحرك، ومضخات الوقود، وحفظ الوقود. كما يجب أن يغطي مناخات استخدام متنوعة.

يتناول هذا المقال تقييم خصائص ومضافات وقود المشتقات النفطية، وذلك كما يلي:

تقييم خصائص وقود المشتقات النفطية

تُقيَّم خصائص أو مواصفات وقود المشتقات النفطية مثل: الجازولين، ووقود الطائرات، والديزل، باتباع طرق قياسية وضعتها جمعيات وهيئات ومراكز أبحاث في الدول الصناعية المتقدمة مثل: نظام الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (ASTM)، ونظام المعهد البريطاني للبترول (IP) ونظام ألمانيا (TGL) و(DIN) ، ونظام روسيا (OST) ، ونظام فرنسا (AFNOR) وغيرها من الأنظمة، وتعد الأنظمة الأمريكية والألمانية والبريطانية الأكثر شيوعاً.

الجدير بالذكر أن خصائص الوقود ومواصفات وقود المشتقات النفطية ترتبط بتركيبه وأدائه، جدول (١)، ولكنها تختلف من دولة لأخرى بحسب النوع المستخدم، فعلى سبيل المثال تتطلب محركات الطائرات النفاثة وقوداً مختلفاً في خصائصه ومواصفاته عن جازولين الطائرات،

الخاصية	التأثير على الأداء	زمن مدى التأثير
نقطة الوميض	سلامة التعامل واستخدام الوقود ولاتعزى مباشرة لأداء المحرك.	---
ماء وترسبات التطايرية	مرشحات الوقود والحاقنات.	مدى طويل
اللزوجة	سهولة بدء تشغيل المحرك والدخان.	فوري
الرماد	تذرية بخ الوقود وتزييت نظام الوقود.	فوري ومدى طويل
	إعطاب نظام حقن الوقود وتسبب ترسبات في غرفة الاحتراق.	مدى طويل
الكبريت	انبعاث الجسيمات تآكل وتعرية الاسطوانة والترسبات.	فوري ومدى طويل
تآكل وتعرية شريط نحاسي	تآكل الأجزاء المعدنية.	مدى طويل
رقم السيتان	مقياس لنوعية الاشتعال ويؤثر على بدء تشغيل المحرك بالبرودة والاحتراق والانبعاثات.	فوري
رقم الاوكتان	مقياس لكفاءة احتراق الجازولين.	فوري
نقطة التعكر ونقطة الانسكاب	التشغيل عند درجات حرارة منخفضة.	فوري
المتبقي من الكربون	قابلية الوقود لتكوين الكربون	فوري
	ترسبات المحرك	مدى طويل
القيمة الحرارية (محتوى الطاقة)	اقتصادية الوقود	فوري
الكثافة	قيمة التسخين.	فوري
الثباتية	تكوين مواد غير قابلة للذوبان أثناء الاستخدام أو/والتخزين.	مدى طويل
التزييت	مضخة الوقود وأجزاء الحاقن.	مدى طويل
قابلية فصل الماء	إمكانية إنتاج وقود جاف.	---

● جدول (١) العلاقة بين خصائص الوقود والتركيب والأداء.

جدول (٢) ، ومن أهم الخصائص المستخدمة في تقييم وقود المشتقات النفطية مايلي:

● رقم الأوكتان

رقم الأوكتان (Octane Number) هو خاصية تحدد نوعية الجازولين الذي تستخدمه السيارات المستعملة حالياً في جميع بلدان العالم، وهو مقياس عددي يتم تحديده في المختبر بالمقارنة مع أنواع معروفة من المواد الهيدروكربونية. حيث تم إعطاء الهبتان العادي – هيدروكربون له خواص احتراق سيئة – الرقم صفر بينما تم إعطاء الآيزو أوكتان ذي خواص الإحتراق الجيدة الرقم مائة. وقد اختير هذان المركبان لأنهما أكثر المركبات الهيدروكربونية المتاحة استقراراً ونقاوة؛ ولأنهما الأنسب لمحركات الاختبار. فعند تعيين رقم الأوكتان لجازولين ما، فإنه يتم حرقه في آلة اختبار خاصة، ثم تتم مقارنة خواص احتراقه بالخواص المناظرة لحرق خلائط قياسية من الهبتان العادي و الآيزو أوكتان بنسب مختلفة، ويعرف رقم الأوكتان بأنه: "**النسبة الحجمية للآيزو أوكتان في خليط من الآيزو أوكتان والهبتان العادي الذي يعطي نفس خواص احتراق الجازولين عند قياسه في هذه الآلة**" ، فإذا كانت لعينة الجازولين نفس شدة الخبط (Knocking) لمزيج مكون من ٥٪ هبتان و ٩٥٪ آيزو أوكتان فإنه يقال إن هذه العينة لها رقم أوكتاني يساوي ٩٥ .

يعبر رقم الأوكتان عن كفاءة احتراق الجازولين في محرك السيارة، أي مدى قابليته لعدم إحداث فرقعة أو خبط بالمحرك، حيث تنتج هذه الفرقعة عن احتراق الجازولين بشكل سريع إلى درجة التفجر مما يقلل من القوة المحركة، ويتلف أجزاء المحرك إذا سمح له بالاستمرار. وعليه تتطلب عملية دفع السيارة وقيادتها احتراق الوقود بصورة بطيئة. ويرجع سبب حدوث الفرقعة أو الخبط إلى عدة أمور أهمها:

التركيب	ممتاز (TS-1)	عادي (TS-1)	عادي (T-1)
الحموض (حد أعلى).	٠,٧	٠,٧	٠,٧
عطريات (٪ وزناً).	٢٢	٢٢	٢٠
عدد اليود (جم/١٠٠).	٢,٥	٣,٥	٢,٠
كبريت، مجموع (٪ وزناً).	٠,٢٠	٠,٢٥	٠,١٠
كبريت، مركبتان (٪ وزناً).	٠,٠٠٣	٠,٠٥	--
التطايرية			
درجة الغليان الأولية (مْ).	١٥٠	١٥٠	١٥٠
قطفة ١٠٪ (مْ).	١٦٥	١٦٥	١٧٥
قطفة ٥٠٪ (مْ).	١٩٥	١٩٥	٢٢٥
قطفة ٩٠٪ (مْ).	٢٣٠	٢٣٠	٢٧٠
قطفة ٩٨٪ (مْ).	٢٥٠	٢٥٠	٢٨٠
نقطة الوميض (مْ) حد أدنى.	٢٨	٢٨	٣٠
الكثافة (كجم/م٣) حد أدنى.	٧٨٠	٧٧٥	٨٠٠
الأنسيابية			
نقطة التجمد (مْ).	-٦٠	-٦٠	-٦٠
اللزوجة (٢٠مْ) سنتي ستوك حد أدنى.	١,٣٠	١,٢٥	١,٥٠
اللزوجة (٤٠مْ) سنتي ستوك حد أدنى.	٨	٨	١٦
الاحتراق			
حرارة الاحتراق الدنيا (كيلوجول/كجم).	٤٣١٢٠	٤٢٩٠٠	٤٢٩٠٠
نقطة التدخين (حد أدنى)	٢٥	٢٥	٢٠
ترسبات (ملجم/١٠٠سم٣) حد أعلى.	١٨	١٨	٣٥
ملوثات			
محتوى الرماد (٪) حد أعلى	٠,٠٠٣	٠,٠٠٣	٠,٠٠٣
قواعد أحماض مذابة	--	--	--
أحماض نفثينية	--	--	--
أصماغ (ملجم/١٠٠سم٣) حد أعلى	٣	٥	٦

● **جدول (٢) مواصفات بعض أنواع كيروسين الطائرات.**

– فرط الإحماء (الحرارة الزائدة) للمزيج داخل الأسطوانة.

– سوء ضبط أو معايرة المغذي (الكربوريتور)؛ لأنه ينظم ويحدد نسبة الهواء الداخلة إلى الاسطوانة.

– وجود رواسب في رأس اسطوانة المحرك أو على كباسات المحرك.

– استعمال وقو د له رقم أوكتان منخفض لايناسب المحرك (السبب المباشر)، حيث يسبب الانفجار المبكر لمزيج الوقود الناتج من استخدام وقود ذي رقم أوكتان منخفض تكون ما يعرف بالجذور الحرة (Free Radicals) عند بداية الاشتعال، وهذه الجذور شديدة النشاط وتتفاعل بصورة انفجارية مسببة الخبط. ولتحاشي أثرها لابد من كبتها، أو التخلص منها في الوسط الذي تتكون فيه، ويتم ذلك بطرق متعددة من أهمها:

١– زيادة نسبة المركبات الهيدروكربونية المتفرعة والمغلقة في مزيج الوقود (الجازولين) المستخدم من خلال عمليات تحسين طرق التشغيل في المصافي،حيث تبدو هذه الطريقة أكثر تكلفة ولكنها أكثر أماناً.

٢– إضافة مواد كيميائية إلى الجازولين تعمل داخل المحرك على توليد جذور تستطيع أن تتفاعل مع الجذور الناتجة عن احتراق وقود ذي رقم أوكتان منخفض، ويمكن تحقيق ذلك من خلال إضافة مواد محسنة لرقم الأوكتان إلى أصناف الجازولين المختلفة.

وتعتبر إضافة ألكيلات الرصاص مثل: رباعي إيثيل الرصاص، ورباعي ميثيل الرصاص إلى الجازولين أنسب طريقة اقتصادية لتحسين رقم الأوكتان. فقد ثبت أن إضافتها بنسب صغيرة ترفع من رقم الأوكتان، وتحسن من كفاءة وانتظام احتراق الجازولين؛ وبالتالي تمنع حدوث ظاهرة الخبط في المحركات.

وبالرغم من المزايا العديدة لإضافة ألكيلات الرصاص إلى الجازولين؛ فإن الأبحاث المتعددة على مدى سنوات طويلة لمعرفة دور الرصاص المنبعث من عوادم السيارات على صحة الإنسان قد أكدت أن الضرر الناتج عن استخدام هذه المواد يفوق كثيراً الفوائد الناتجة عن استخدامها كإضافة لجازولين السيارات. فمركبات الرصاص بصفة عامة هي مواد كيميائية سامة جداً؛ ولذا فإن التعامل معها وتداولها يتطلب حذراً شديداً، كما أن تخزينها أو التخلص من انسكاباتها أو مخلفاتها يكون عادة مصحوباً بدرجة عالية من الخطورة. وقد وجد أن التركيز المنخفض من ألكيلات الرصاص في البخار يمكن أن يؤدي إلى أمراض شديدة تؤدي إلى العاهات المستديمة أو الوفاة.

وفي هذا الشأن توجد بدائل كثيرة لمثل هذه المضافات مثل الميثانول، والكحول، وبعض المركبات الأكسجينية. هذا وقد وجد

من خبرة الدول المتقدمة في هذا المجال: أن ثلاثي ميثيل بيوتيل إيثر (MTBE) هو أنسب البدائل، وهو مركب أكسجيني تعتمد طرق تصنيعه على التفاعل بين الآيزوبيوتلين والميثانول في الطور السائل بواسطة لدائن محفزة بالتبادل الأيوني – عبارة عن سلفنيات الاستارين مع فينيل البنزين الثنائين – عند درجات حرارة تتراوح مابين ٣٠ إلى ١٠٠مْ، وضغط جوي يتراوح بين ٧ إلى ١٤ . ويوضح جدول (٣) أهم خصائص جازولين ممتاز خال من الرصاص.

أما بالنسبة لعملية الخبط في محركات الطائرات، فإنها تتروح مابين منخفضة إلى مرتفعة. وتشبه مواد جازولين الطائرات في تصنيعها جازولين السيارات، حيث إنها تصنف تبعاً لقدرتها على منع الدق بالمقارنة مع الوقود القياسي (آيزوأوكتان مع كميات محددة من رباعي إيثيل الرصاص.

الخاصية والوحدة	المواصفات
الكثافة عند ١٥مْ (كجم/م٣)	٧٩٠ (حد أعلى) ٧٢٥ (حد أعلى)
التقطير (ASTM)	
١٠٪ (مْ)	٧٠ (حد أعلى)
٥٠٪ (مْ)	١١٥ (حد أعلى)
٩٠٪ (مْ)	١٨٠ (حد أعلى)
نقطة الغليان النهائية (مْ)	٢٠٤ (حد أعلى)
بقايا (٪ حجماً)	٢ (حد أعلى)
مجموعة الكبريت (٪ وزناً)	٠,١٠ (حد أعلى)
تآكل شريط النحاس ٣ساعات عند ٤٠مْ (كجم).	١ (حد أعلى)
ضغط بخار ريد	٠,٦٧ (حد أعلى)
فترةالتحريض ١٠٠مْ (كجم/م٢)	٢٤٠ (حد أعلى)
الأصماغ (ملجم/١٠٠مل)	٥ (حد أعلى)
رقم أوكتان البحث	٩١ (حد أعلى)
محتوى المنغنيز (جم/ليتر)	٠,٠١٣ (حد أعلى)
اللون (تجارياً)	أحمر
محتوى الصباغ (٪ وزناً)	٠,٠٠٠٨ (حد أعلى)
ماء وترسبات (حجماً)	٠,٠١ (حد أعلى)

● **جدول (٣) أهم خصائص جازولين ممتاز خالٍ من الرصاص.**

وتوجد طرق اختبار قياسية لتعيين رقم الأوكتان، فمثلاًعندما يقال إن رقم أوكتان جازولين الطائرات هو (١٤٥/١١٥) فإن هذا يعني: أن الجازولين بحد أدنى من الأوكتان مقداره ١١٥ عند اختباره تحت شروط منخفضة و١٤٥ تحت شروط وقود مرتفعة.

أدى التطور التقني لصناعة السيارات واستخدام نسبة انضغاط مرتفعة في محرك السيارات إلى ظهور ثلاثة أنواع من أرقام الأوكتان تختلف عن بعضها باختلاف ظروف التشغيل، وهي كما يلي :

* **رقم أوكتان البحث (Research Octane Number- RON):**

ويجري تحديد مقداره بواسطة فحص الجازولين في المختبر بتشغيل المحرك تحت ظروف القيادة السهلة في طرق ممهدة وبسرعات منخفضة، ويعد أكثر أرقام الأوكتان شيوعاً واستخداماً، ويزيد عن المائة في حالة جازولين الطائرات.

* **رقم أوكتان المحرك (Motor Octane Number -MON):**

ويجري تحديد مقداره بواسطة فحص الجازولين في المختبر بتشغيل المحرك تحت ظروف القيادة الشاقة في طرق غير ممهدة وبسرعات كبيرة.

يلعب كل من رقم أوكتان البحث ورقم أوكتان المحرك دوراً أساسياً في قياس احتراق وقود الجازولين، ويكون رقم أوكتان البحث عادة أكبر من رقم أوكتان المحرك لنفس الجازولين، ويسمى الفرق بينهما مدى حساسية الجازولين، أي يعبر عن مدى تغير خواص احتراق الجازولين بتغير ظروف القيادة.

* **رقم أوكتان الطرق (Road Octane Number):**

ويعبر عن أداء محرك السيارة أثناء سيرها على الطريق.

● رقم السيتان

يعبر رقم السيتان(Cetane Number) عن جودة وقود الديزل من ناحية قابليته للاشتعال الذاتي، أما فترة تأخير الاشتعال في مقياس رقم السيتان فتعبر عن سهولة إشعال الوقود والأداء الأفضل لمحرك الديزل، حيث من المعلوم أن الوقود الذي يدخل إلى اسطوانات المحرك (غرف الانفجار) لايحترق بسرعة فور دخوله إليها، بل هناك فترة زمنية بين عملية ضخ الوقود إلى الإسطوانة وعملية الاحتراق. وتسمى هذه الفترة زمن التأخير في عملية الاحتراق .

يعرف رقم السيتان لوقود الديزل بأنه: النسبة المئوية الحجمية لنظامي هكساديكان (سيتان) في خليط نظامي هكساديكان و١- ميثيل النفثالين، فعندما يحتوي وقود الديزل على ١٠٠٪ من السيتان فإنه يحترق بشكل جيد، ويساوي رقم السيتان في هذه الحالة ١٠٠، أما عندما يحتوي وقود الديزل على ١٠٠٪ من ١- ميثيل النفثالين ،فإن احتراقه يكون الأسوأ ويبلغ رقم السيتان حينئذ صفر .

يستخدم المركبان في عملية الاحتراق لقياس الزمن بين دخول الديزل إلى غرفة الانفجار واحتراقه، فعلى سبيل المثال، عندما نقول: إن رقم سيتان وقود ديزل (٤٠)، فإن هذا يعني أن هذا الوقود يعمل في المحرك كخليط مكون من ٤٠٪ نظامي هكسا ديكان و ٦٠٪ ١- ميثل النفثالين، وكلما ازداد رقم السيتان لوقود الديزل كانت عملية الاحتراق منتظمة والأداء أفضل، وعندما يكون منخفضاً يتم الاحتراق بصورة غير منتظمة.

تحتاج المحركات سريعة الدوران إلى ديزل ذي رقم سيتان لا يقل عن (٤٥)، أما المحركات متوسطة الدوران فتحتاج إلى ديزل ذي رقم سيتان في حدود (٣٥)، في حين تحتاج المحركات الثقيلة إلى ديزل ذي رقم سيتان يساوي (٢٥) تقريباً.

● قرينة السيتان

تعرف قرينة السيتان بعلاقة رياضية معقدة، وهي تفيد في تحديد رقم السيتان لوقود في حالة عدم توفر محرك أو كمية الوقود غير كافية لاختبار المحرك، وذلك بعد معرفة كثافة الوقود ودرجة حرارة تقطيره الوسطى. وتوجد طريقة قياسية تستخدم كثافة الوقود ودرجات حرارة تقطير عند ١٠٪ حجماً، ٥٠٪ حجماً و٩٠٪

حجماً من الوقود الذي تم الحصول عليه في العلاقة الرياضية المعقدة لتحديد رقم السيتان. وهناك طرق أخرى لتحديد قرينة السيتان تعتمد على الخواص الفيزيائية وطرق كروماتوغرافية وسبكتروسكوبية للوقود ولكنها لا تستخدم على نطاق واسع. وتفيد قرينة السيتان في إعطاء فكرة عن رقم السيتان، لوجود علاقة خطية بين رقم السيتان وقرينة الديزل.

● نقطة التعكر

نقطة التعكر هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها تعكر عينة من الوقود عند تبريدها تحت ظروف معينة. ويعود سبب التعكر إلى ترسب بعض البرافينات والمواد الأخرى عند تعرضها إلى درجة حرارة منخفضة. وتفيد هذه الخاصية في معرفة تأثير انخفاض درجة الحرارة على الوقود أثناء تخزينه أو نقله أو استخدامه.

● نقطة الانسكاب

نقطة الانسكاب هي درجة الحرارة التي توقف سيلان عينة من الوقود عند تبريدها تحت ظروف معينة. وتفيد هذه الخاصية في معرفة تأثير درجة الحرارة على الوقود أثناء تخزينة أو نقله أو استخدامه.

● المتبقي من الكربون

يفيد المتبقي من الكربون في معرفة كمية الكربون المترسبة بعد عملية الاحتراق.

● نقطة الوميض

نقطة الوميض هي أقل درجة حرارة تتصاعد عندها أبخرة من السائل تكفي لوصول تركيزها في الهواء إلى الحدود

الدنيا للانفجار بحيث ينفجر المزيج إذا تم تقريبه من اللهب.

● القيمة الحرارية

تفيد القيمة الحرارية (حرارة الاحتراق) في معرفة كمية الحرارة الصادرة عن الوقود ويعبر عنها، جدول (٤) بوحدتين هما :

* **القيمة الحرارية الوزنية :** وهي كمية الحرارة الناتجة عن الاحتراق التام لجرام واحد أو كيلو جرام واحد من الوقود عند الظروف القياسية، وتقدر بوحدة الحريرة أو كيلو حريرة.

* **القيمة الحرارية الحجمية:** وهي كمية الحرارة الناتجة عن احتراق ليتر واحد من الوقود احتراقاً كاملاً.

وهناك مستويان للقيمة الحرارية (الوزنية و الحجمية) هما:-

١- **القيمة الحرارية العليا:** وتعني محتوى الطاقة الاجمالي الناتج عن عملية احتراق الوقود وحرارة تكثف الماء الناتج عن الاحتراق.

٢- **القيمة الحرارية الدنيا:** وتعني محتوى الطاقة الصافي، وهي أقل من القيمة العليا؛ لأن الماء يبقى في الحالة الغازية. وبما أن المحركات تطرح الماء الناتج عن الاحتراق على هيئة بخار؛ فإن القيمة الحرارية الدنيا هي القيمة المناسبة التي يمكن أن تقارن بواسطتها أنواع الوقود.

عند التطرق إلى مواصفات كيروسين الطائرات يجب التنويه بأنه توجد علاقة بين القيمة الحرارية والكثافة التي تختلف باختلاف تكوين الوقود. فكلما ازدادت كثافة الوقود أمكن شحن كمية أكبر منه في خزان وقود الطائرات، وهذا يساعد على الطيران لفترات زمنية أطول.

نوع الوقود	القيمة الحرارية (كيلوحريرة/كجم)	
	العليا	الدنيا
جازولين	١١٢٥٠	١٠٥٠٠
كيروسين	١٠٧٥٠	١٠٢٠٠
ديزل	١٠٥٠٠	١٠٠٠٠
زيت الغاز	١٠٥٠٠	١٠٠٠٠

● جدول (٤) القيمة الحرارية العليا والدنيا لوقود بعض المشتقات النفطية.

من جانب آخر كلما كانت القيمة الحرارية أو حرارة الاحتراق أكبر، كان محتوى الطاقة المتحررة من احتراق وحدة الكتلة أو الحجم أكبر، مما يؤدي إلى زيادة سرعة الطيران وانخفاض كمية استهلاك الوقود.

● الرماد

يعرف رماد المنتجات النفطية بأنه الجزء المعدني المتبقي من هذه المنتجات بعد ترميدها بالحرق.

● نقطة الاشتعال

نقطة الاشتعال هي أقل درجة حرارة تصل عندها درجة تركيز الأبخرة إلى الحد الذي يجعل اللهب الناتج عن الانفجار يستمر في الوجود والاحتراق.

● نقطة الاشتعال الذاتي

نقطة الاشتعال الذاتي هي درجة الحرارة التي يشتعل عندها الوقود تلقائياً، ومن ذاته دون تقريب لهب أثناء عملية تسخين الوقود.

● اللزوجة

اللزوجة هي مقياس لمقاومة السائل للتدفق تحت ضغط ناشئ عن الجاذبية أو عن مصدر ميكانيكي. تتمتع السوائل رقيقة القوام مثل الماء أوالجازولين بلزوجات منخفضة، في حين تتمع السوائل غليظة القوام مثل زيوت المحركات بلزوجات مرتفعة. وترتفع لزوجة السائل بانخفاض درجة حرارته.

تؤثر لزوجة الوقود على انخفاض الضغط في أنابيب نظام الوقود، ففي حالة لزوجات مرتفعة ينتج عنها انخفاضات كبيرة في الضغط، وبالتالي يتطلب من مضخة الوقود أن تعمل بمجهود أكبر لإبقاء معدل تدفق الوقود ثابتاً. كما تؤثر اللزوجة أيضاً على أداء وحدة التحكم بنظام الوقود.

● التطايرية

التطايرية هي ميل الوقود للتبخر، وهي مهمة جداً؛ لأن الوقود يجب أن يتبخر قبل

حرقه، بالإضافة إلى ذلك فإن التطايرية المرتفعة للوقود؛ يمكن أن تؤدي إلى زيادة تبخره. وتعتمد التطايرية على خاصيتين فيزيائيتين هما: ضغط البخار ومنحنى التقطير، فالوقود الأكثر تطايراً يتمتع بضغط بخار أعلى وبدرجات حرارة تقطير أولية أقل.

● عدد البروم وعدد اليود

يعرف هذا الصطلح بأنه كمية البروم (أو اليود) التي تضاف للرابطة الثنائية في المركبات الهيدروكربونية غير المشبعة ويقدر بعدد جرامات الهالوجين لكل ١٠٠جرام من عينة الوقود. ويفيد هذا العدد في معرفة طبيعة المركبات غير المشبعة الموجودة في الوقود.

● قرينات الحموضة

تعرف قرينات الحموضة للأحماض العضوية وغير العضوية في عينة الوقود، بعدد المليجرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لتعديل الحموض الموجودة في جرام واحد من الوقود. وتشير قرينة الحموضة إلى دور الوقود في تآكل المعادن.

● الكثافة

تتراوح كثافة المشتقات النفطية المستخدمة كوقود ما بين (٠,٧٢-٠,٩)، فهي في الجازولين ما بين (٠,٧٢-٠,٨٧)، وفي وقود الطائرات (٠,٨-٠,٨٦)، وفي الديزل (٠,٨٤-٠,٩) وغيرها، وتقاس كثافة الوقود عادة بدرجات المعهد البترولي الأمريكي (API). وللكثافة علاقة بطبيعة المركبات الهيدروكربونية الموجودة في الوقود، لذلك فمن الممكن الاستدلال على

طبيعة الوقود إلى حد ما بمعرفة كثافته.

● محتوى الكبريت

يوجد الكبريت في الوقود على شكل مركبات مختلفة مثل الثيوفينات والكبريتيدات والمركبتانات وغيرها، ولهذه المركبات تأثير ضار على البيئة وعلى المحرك، فعلى سبيل المثال، تساعد المركبات الكبريتية على تآكل أجزاء المحرك، حيث يتجمع الماء الحتوي على ثاني أكسيد الكبريت الناتج عن الاحتراق في المحرك مسبباً تآكله. إضافة إلى ذلك تسبب المركبات الكبريتية الفعالة تآكلاً شديداً في وحدة الاحتراق في المحرك وفي خزانات حفظ ونقل الوقود.

● ضغط البخار

يعد ضغط البخار من خصائص الوقود الهامة، حيث يؤدي وجود كميات كبيرة من المركبات منخفضة درجة الغليان في الوقود إلى ارتفاع في ضغط بخاره ، وهذا يؤدي إلى فقده عند ضخه ونقله وتخزينه. ويؤدي انخفاض ضغط البخار عن حد معين إلى صعوبة تشغيل المحرك خاصة في الأجواء الباردة. ويقاس ضغط البخار عادة بطريقة ريد (Reid) عند درجة حرارة ٣٨مْ.

● عدد البريق

تقاس قابلية تشكل البقايا الكربونية بعدد البريق، ويقاس هذا العدد بإجراء تجارب احتراق بوجود خلية ضوئية، وذلك بمقارنة بريق الاحتراق مع البريق الحاصل عند حرق الأيزو أوكتان (ذي البريق المنخفض) وحرق التنزالين (ذي البريق المرتفع)، فكلما ارتفع عدد البريق كان تشكل البقايا الكربونية منخفضاً والعكس صحيح. وتعد هذه الخاصية من المواصفات الأساسية لكيروسين الطائرات.

● نقطة التدخين

تدل نقطة التدخين على قابلية احتراق الوقود، ويتم قياسها بنسبة الكربون المتوضع والدخان المتشكل وإشعاع اللهب، وتعتمد في ذلك على التركيب الكيميائي للوقود، حيث تمتاز المركبات البرافينية بخواص احتراق جيدة مقارنة بالمركبات العطرية، أما المركبات النفثينية فهي متوسطة في خصائصها وأقرب إلى البرافنية منها إلى العطرية. وتعد هذه الخاصية من المواصفات الأساسية لكيروسين الطائرات.

مضافات وقود المشتقات النفطية

تختلف أنواع وخواص الوقود بالإضافة إلى الشوائب الموجودة فيه باختلاف النفط الخام الأساس المنتج منه وطرق تصنيعه، ويؤدي وجود الشوائب في الوقود إلى اضطرابات أثناء الاستخدام والنقل والتخزين ومن أهم تلك الشوائب مايلي:

١- مركبات أوليفينية وحيدة وثنائية الرابطة المضاعفة، ومركبات نتروجينية وأكسجينية ، حيث يؤدي وجود مثل هذه المركبات في الوقود إلى عدم ثباتيته عند التخزين.

٢- برافينات صلبة لها تأثير سلبي على الوقود عند انخفاض درجة الحرارة أثناء الاستخدام والتخزين والنقل.

٣- مركبات أوليفينية وعطرية تؤدي إلى انخفاض عدد السيتان في الديزل على سبيل المثال.

٤- مركبات كبريتية وحموض نفثينية تؤدي إلى حدوث تآكل عند الاستخدام والتخزين. ويوضح الجدول (٥) متطلبات نظام الجمعية الأمريكية (ASTM) لثلاثة أنواع من زيوت وقود الديزل ذات الكبريت المنخفض.

وبناءً عليه، فإن وجود الشوائب المذكورة في معظم أنواع الوقود الناتجة عن عمليات تكرير النفط الخام تحتاج إلى عمليات تنقية، ومضافات تختلف باختلاف أنواع وكمية الشوائب الموجودة فيه، وذلك للحصول على وقود له مواصفات عالية من الجودة. فعلى سبيل المثال: يمكن التخلص من مركبات الكبريت والنيتروجين بالإضافة إلى الأكسجين، بواسطة التنقية بالهيدروجين، كما يمكن التخلص من المركبات الأوليفينية وحيدة وثنائية الرابطة المضاعفة بواسطة الهدرجة.

تستخدم مضافات وقود المشتقات النفطية لأغراض كثيرة ومتعددة فهي إما لتحسين أداء المحرك، أو لثباتية الوقود، أو لتداول الوقود، أو للتحكم في التلوث، ومن أهم هذه المضافات مايلي:

● مضافات أداء المحرك

تستخدم هذه المضافات لتحسين أداء المحرك، ومن أهمها ما يلي:

* **محسنات رقم السيتان :** وهي محسنات لاشتعال وقود الديزل حيث تعمل على خفض ضجيج الاحتراق والدخان، وتعد مادة نترات -٢- إيثيل الهكسيل (نترات الأوكتيل) من أكثر هذه الأنواع استخداماً.

ومن خصائص هذه المادة أنها غير ثابتة حرارياً، وتتفكك بسرعة عند درجات حرارة عالية في غرفة الاحتراق، حيث تساعد نواتج التفكك على بدء احتراق الوقود، مما يقلل من فترة تأخير الاشعال، مقارنة بالوقود الذي لا يحتوي على مثل هذه المادة. وتختلف الزيادة في رقم السيتان لتركيز ما من نترات الأوكتيل من وقود لآخر، وتكون هذه أكبر لوقود له رقم سيتان عال نسبياً. وتستخدم هذه المادة بتركيز يتراوح ما بين ٠,٠٥٪ إلى ٠,٤٪ وزناً حيث تزيد رقم سيتان الوقود بمقدار (٣-٨)، كما

الخاصية	كبريت منخفض 1-D	كبريت منخفض 2-D	4-D
نقطة الوميض، حد أدنى(مْ) .	٣٨	٥٢	٥٥
ماء ورواسب أقصى (٪حجم).	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٥
درجة حرارة التقطير (٩٠٪ حجماً) حد أقصى (مْ)	٢٨٨	٣٣٨	--
اللزوجة الكينماتيكية (سنتي ستوك)، ٤٠ مْ.			
(حد أدنى)	١,٣	١,٩	٥,٥
(حد أعلى)	٢,٤	٤,١	٢,٤
الرماد (٪ وزناً)، حد أعلى.	٠,٠١	٠,٠١	٠,١
محتوى الكبريت (٪ وزناً)	٠,٠٥	٠,٠٥	٢
عدد السيتان، حد أدنى.	٤٠	٤٠	٣٠
قرينة السيتان، حد أدنى.	٤٠	٤٠	–
العطرية (٪ حجماً) حد أعلى.	٣٥	٣٥	–
المتبقي من الكربون – متبقي تقطير- (١٠٪ وزناً)، حد أعلى.	٠,١٥	٠,٣٥	–

● جدول (٥) متطلبات (ASTM-D975) لثلاثة أنواع من زيوت وقود الديزل.

أدخل حديثاً فوق أكسيد ثنائي ثالثي البيوتيل تجارياً كمحسن لرقم السيتان.

تعمل نترات أيضاً الألكيل الأخرى والنترات وبعض مركبات النتروزو على تحسين رقم السيتان، ولكنها لا تستخدم في الوقت الحاضر على مستوى تجاري.

* **مضافات تنظيف الحاقن:** وتعمل على إزالة الترسبات المتشكلة بواسطة الوقود وزيت علبة الكرنك (Crank case) على سطح فوهة الحاقنات. ويتنوع مدى تكوين الترسبات بإختلاف نوع وتصميم المحرك، وتركيب الوقود، وتركيب مادة التزييت، وظروف التشغيل. لذا فإن مضافات تنظيف بوليمرية عديمة الرماد يمكن أن تنظف ترسبات حاقن الوقود، وتحافظ على نظافة الحاقنة، وتستخدم المضافات المنظفة – تتركب من مجموعة قطبية ترتبط بالمواد المترسبة ومن مجموعة غير قطبية تذاب في الوقود – بتركيز يتراوح ما بين ٥٠ إلى ٣٠٠ جزء من مليون.

* **مضافات التزييت:** وتستخدم مع وقود الديزل المعالج بالهيدروجين تحت ظروف قاسية والذي له قابلية تزييت ضعيفة. وكذلك مع أنواع الوقود الأخرى وتحتوي هذه المضافات على مجموعة قطبية تنجذب إلى سطح المعدن مكونة طبقة سطحية رقيقة، فتعمل كمادة تزييت فاصلة عند تماس سطحين معدنين مع بعضهما. ومن الأنواع الشائعة المستخدمة أحماض دسمة بنسبة ١٠–٥٠جزء من مليون، واسترات بنسبة ٥٠–٢٥٠ جزء من مليون.

* **مثبطات الدخان:** وتستخدم لخفض نسبة انبعاث الدخان الأسود الناتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود، وهي عبارة عن محفزات عضو معدنية يدخل في تركيبها الحديد والسيريوم والبلاتين.

● مضافات التعامل مع الوقود

من أهم هذه المضافات مايلي:

* **مانعات للرغوة:** وتضاف لمنع تشكل الرغوة أثناء ضخ الوقود في الخزان، وأغلب هذه المضافات عبارة عن مركبات سيليكون عضوية تستخدم بتراكيز تصل إلى ١٠ جزء من مليون.

* **مانعات التجمد:** وتستخدم لمنع تجمد الماء الحر الموجود بكمية قليلة جداً في الوقود والذي يؤدي إلى انسداد أنابيب الوقود أو المرشحات. ومن هذه المضافات أغوال بوزن جزيئي منخفض مثل الأيزوبروبانول، وتضاف لجميع أنواع الوقود مثل جازولين السيارات والطائرات والديزل.

* **مضافات تشغيل عند درجات حرارة منخفضة:** وتستخدم لخفض نقطة انسكاب الوقود أو نقطة التعكر أو خواص تدفق الوقود في الطقس البارد. ومعظم هذه المضافات عبارة عن مركبات بوليمرية تتداخل مع بلورات الشمع التي تتكون في الديزل عندما يبرد إلى درجة حرارة أقل من نقطة التعكر.

* **مثبتات الوقود:** وتعمل على علاج عدم ثباتية الوقود الناتجة عن تكوين الأصماغ والتي يمكن أن تؤدي إلى تكوين ترسبات في الحاقنات، أو جسيمات تؤدي إلى انسداد مرشحات الوقود أو نظام حقن الوقود. ويعتمد استخدام هذه المضافات على نوعية مصدر الوقود مثل نوعية الزيت الخام، وعمليات التكرير وغيرها.

* **مانعات الأكسدة:** وتعمل على عدم أكسدة الوقود الناتج عن عمليات تكرير النفط الخام على أوليفينات أي مركبات غير مشبعة تتأكسد أثناء التخزين وبشكل مركبات غير مرغوب بها. وتعد الأكسدة أحد عوامل عدم ثباتية الوقود، والتي فيها يهاجم الأكسجين الموجود في كمية صغيرة من الهواء المذاب في المركبات الفعالة في الوقود، وتجري تفاعلات متسلسلة معقدة. وفي هذه الحالة يعمل مانع الأكسدة على تثبيط هذه التفاعلات، ومنع تشكل مركبات فوق الأكاسيد. ومن أهم مانعات الأكسدة المستخدمة مركبات فينولية وأمينية مثل فينيلين ثنائي آمين والتي تستخدم بتركيز ١٠–٨٠ جزء من مليون.

* **مثبتات الرقم الهيدروجيني:** حيث تعد التفاعلات الحمضية والقاعدية أحد العوامل الأخرى لعدم ثباتية الوقود، يمكن استخدام أنواع معينة من المثبتات لمنع حدوث مثل هذه التفاعلات. ومن أمثلة هذه المثبتات: أمينات قاعدية قوية تستخدم بتراكيز تتراوح مابين ٥٠–١٥٠ جزء من مليون، حيث تتفاعل مع مركبات ذات صفة حامضية ضعيفة، وتكوِّن منتجات تبقى مذابة في الوقود، ولكن دون أن تتفاعل مع أي من مكوناته.

* **مثبطات المعادن:** وتعمل على ربط المعادن الذائبة بكميات صغيرة جداً – مثل النحاس والحديد – التي تساهم في عدم ثباتية الوقود عن طريق تسريع التفاعلات، وتوجد هذه المثبطات عادة بتركيز يتراوح ما بين ١٥–١٠٠ جزء من مليون.

* **مانعات التآكل:** وتعمل على منع التآكل حيث إن معظم أنابيب البترول والخزانات مصنوعة من الفولاذ؛ مما يؤدي إلى تكوين الصدأ بوجود الماء. ومع مرور الزمن فإن الصدأ يعمل على احداث مسامات في جدران الأنابيب مما يسبب في تسرب الوقود منها، كما يتلوث الوقود بجسيمات الصدأ التي قد تعمل على انسداد مرشحات الوقود وتزيد من تعرية المضخة والحاقن. إضافة إلى ذلك ينتج التآكل عادة بسبب وجود مركبات الكبريت في الوقود؛ التي تحترق مكونة غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يتفاعل بدوره مع بخار الماء الناتج عن الاحتراق مكوناً حمض الكبريتيك الذي يتأكسد كلياً أو جزئياً مكوناً حمض الكبريت، حيث يؤدي كلا الحمضين المتشكلين إلى تآكل الحديد والفولاذ؛ وبالتالي إلى عطب أجزاء المحرك مع مرور الزمن. لذا فإن إضافة مركبات ترتبط بجدار سطح المعدن؛ لتشكل واقياً يمنع وصول عوامل التآكل يعد أمراً حيوياً . وتستخدم هذه المركبات بتراكيز تتراوح بين ٥–١٥ جزء من مليون.

* **الأصباغ:** وتستخدم لتمييز آصناف الوقود.

* **مضافات الناقلية الكهربائية:** وتعرف أيضاً مضافات مبددة للشحنات الكهربائية الساكنة أو مضافات محسنات الناقلية الكهربائية.

* **مبيدات حيوية (Biocides):** وهي عبارة عن مواد مثل الديكوكابورينان (Diocaborinanes) تضاف للوقود للقضاء على بعض الجراثيم اللاهوائية التي تقوم بإختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين بتآكل النحاس والفضة. كما تسبب تشكل الأوحال والطلاءات العطرية والمنتجات الثانوية الأكالة تآكلاً لخزان الوقود. لذا يضاف لبعض أنواع الوقود وخاصة وقود الطائرات.