



الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة

التحكم في ظاهرة الصفع في محركات السيارات الحديثة المشحونة بشكل قسري

Control of the Knock Phenomenon in the Supercharged Modern Automotive Engines

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الميكانيكية
(دكتوراه في هندسة الآليات والمحركات)

إعداد الطالب المهندس
محمد قتيبة الشعراوي

المشرف المشارك
الدكتور ثامر سلام

المشرف العلمي
الأستاذ الدكتور مسلم طعمة

العام الدراسي: 2022-2021

صفحة قرار الحكم

دققت هذه الرسالة عنوان الرسالة:

"التحكم في ظاهرة الصفع في محركات السيارات المشحونة بشكل قسري "

وأجيزت يوم.....الواقع في/...../..... من قبل السادة أعضاء لجنة الحكم التالية
أسمائهم:

الاسم	المرتبة العلمية	الصفة عضوا أو مشرفا	التوقيع

أجريت التعديلات، وأصبحت الرسالة صالحة لمنح درجة الدكتوراه في هندسة السيارات والآليات.

تصريح خطي

انا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والأطروحة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتني بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصا أو مضمونا خارج إطار الجامعة (من دور النشر أو مكنتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).

2. أنه لا يوجد جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو أية معهد تعليمي أو خارج الجمهورية العربية السورية.

الاسم والتوقيع

كلمة شكر:

إلى سورية الوطن أولاً وآخرها

إلى جامعة دمشق

إلى كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

إلى قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة

إلى أساتذتي الدكاترة الكرام

إلى زملائي المهندسين

إلى عائلتي الكريمة

أهدي هذا البحث

الملخص

يتضمن هذا البحث المنهجية التجريبية والمخبرية المتبعة لدراسة التحكم بالصفع في المحركات العاملة على البنزين والمزودة بالشحن التوربيني، نفذت التجارب في مخبر الآليات والمحركات في قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق على محرك نوع رينو طراز F4R سعة CC2000، مزود بشحن توربيني يعمل على وقود البنزين.

تمت التجارب وفق الآتي:

تشغيل المحرك وتحميله على دعسات جزئية ثم رسم منحني الاستطاعة والعزم ومنحني استهلاك الوقود وتحديد النقاط التي حدث عندها الصفع ثم إجراء دراسة إحصائية لنتائج التجربة بواسطة برنامج SPSS الإحصائي والوصول لعلاقة تربط ظهور الصفع مع مؤشرات عمل المحرك ومؤشرات الشحنة الداخلة له.

إعادة التجربة السابقة باستخدام خليط الميثانول مع الماء، انعكس ذلك إيجابياً على عمل المحرك عند سرعات الدوران المنخفضة والأحمال المتوسطة والعالية أما عند سرعات الدوران العالية والدعسات الجزئية الكبيرة كان التأثير إيجابياً على الحد من الصفع وسلبياً على العزم الناتج من المحرك.

كما تم إجراء دراسة اقتصادية واستثمارية للنظام المدروس.

الكلمات المفتاحية: محركات الشحن التوربيني، تصغير المحركات، خليط الميثانول مع الماء، التحكم بالصفع.

فهرس المحتويات Table of Content

رقم الصفحة	العنوان
e	الملخص
1	مقدمة البحث
	الفصل الأول: الدراسات المرجعية
7	1-1- الدراسة بعنوان الاحتراق غير المنتظم: تطوره ومعايرته في المحركات فائقة الشحن القسري.
7	1-1-1- الملخص
7	1-1-2- الاحتراق المنتظم وغير المنتظم
9	1-1-3- اتجاهات التطوير في المحركات
13	1-1-4- الصعوبات عند التطبيق على المركبات وحلولها
17	1-1-5- الخلاصة
18	2-1- دراسة بعنوان: تحليل الاشتعال المسبق في محركات البنزين المشحونة قسريا المزودة بنظام الحقن المباشر
18	1-2-1- المقدمة
18	2-2-1- نظام عمل: BMW Twin Power Turbo
19	1-2-3- تصنيف ظاهرة الاحتراق غير المنتظم لمحركات البنزين DI بشاحن توربيني
20	1-2-4- مصادر الاشتعال المسبق في محركات البنزين DI بشاحن توربيني
25	1-2-5- الملخص والاستنتاجات
26	3-1- الدراسة بعنوان: الصفع والاحتراق غير المنتظم في محركات الشحن التوربيني عالية الأداء شركة مرسيدس AMG
26	1-3-1- مقدمة
27	2-3-1- المحرك المدمج عالي الأداء: M133
28	3-3-1- سلوك الصفع
32	4-3-1- الاشتعال المسبق
36	5-3-1- الخلاصة
36	4-1- دراسة بعنوان: مساهمة في فهم ظاهرة الاشتعال المسبق بشكل أفضل في محركات الاحتراق الداخلي عالية الشحن مع الحقن المباشر للوقود باستخدام تقنيات التشخيص البصري
36	1-4-1- مقدمة

37	1-4-2- مواصفات محرك الاختبار
37	1-4-3- طريقة اجراء الاختبار
38	1-4-4- الخلاصة والنتائج
38	1-5- دراسة بعنوان: منهج جديد لتحديد بداية حدوث الصفع
38	1-5-1- اجراء الدراسة
39	1-5-2- النتائج
40	1-6- دراسة بعنوان: الكشف عن الصفع بالاعتماد على تحليل الانبعاثات الصوتية للمحرك.
40	1-6-1- المقدمة
40	1-6-2- طريقة الإجراء التجريبي
42	1-6-3- النتائج
44	1-7- الدراسة بعنوان: تقليل شدة الصفع لمحركات الإشعال بالشرارة عن طريق التقسيم الطبقي لدرجة الحرارة داخل الأسطوانة
44	1-7-1- مقدمة
44	1-7-2- الإجراء التجريبي
46	1-7-3- الاستنتاجات
47	1-8- دراسة بعنوان: تقليل الاشتعال الذاتي إلى الحد الأدنى لتحقيق الكفاءة المثلى في محركات الأداء العالي التي تشتعل بالشرارة
47	1-8-1- مقدمة
47	1-8-2- تصميم ومواصفات محرك الاختبار
47	1-8-3- النتائج
48	1-9- الدراسة النقدية للدراسة المرجعية
48	1-9-1- الإيجابيات
49	1-9-2- وجه نظر الباحث بالدراسات المرجعية وسلبياتها
الفصل الثاني: عملية الاحتراق في محركات البنزين المشحونة	
52	2-1- مقدمه
52	2-2- عملية الاحتراق الطبيعي في المحرك
52	2-3- عملية الاحتراق غير الطبيعي في المحرك
52	2-3-1- ظاهرة الصفع
53	2-3-1-1- أنواع الصفع
54	2-3-1-2- معيار الصفع

55	2-3-2- الاشتعال المسبق
55	2-3-2-1- مراحل الاشتعال المسبق
57	2-3-2-2- طرق تلافي الاشتعال المسبق
58	2-4- العوامل المؤثرة على عملية الاحتراق غير الطبيعي
58	2-4-1- تأثير نسبة الانضغاط ε
59	2-4-2- الشحن التوربيني
59	2-4-3- درجة حرارة مياه التبريد
59	2-4-4- درجة حرارة جدران الاسطوانة وغرفة الاحتراق
60	2-4-5- درجة حرارة الشحنة والضغط في مجمع السحب
61	2-4-6- الحمل على المحرك
61	2-4-7- سرعة دوران المحرك
61	2-4-8- تأثير زاوية تسبيق الإشعال
62	2-4-9- تأثير نسبة الهواء للوقود
63	2-4-10- تأثير رطوبة الهواء
64	2-4-11- تأثير رقم الأوكتان للوقود
64	2-4-12- تأثير درجة اضطراب المزيج وتشكيل الخليط
64	2-4-13- تأثير شكل غرفة الاحتراق والأبعاد الهندسية لها
الفصل الثالث: تصغير حجم المحركات	
68	3-1 مقدمة
72	3-2 حدود تصغير حجم المحرك والمشاكل التي تواجهه
72	3-3 كفاءة القيادة واستهلاك الوقود في ظل ظروف القيادة الحقيقية
74	3-4 دورات اختبار جديدة وقوانين لتحديد الانبعاثات والانبعاثات الحقيقية عند القيادة
75	3-5 الخلاصة والنتائج
الفصل الرابع: الشحن القسري	
78	4-1 مقدمة
78	4-2 ميزات التشحيم في محركات البنزين
78	4-2-1- زيادة الاستطاعة
78	4-2-2- زيادة المردود الميكانيكي
78	4-2-3- انخفاض استهلاك الوقود
79	4-3 مبدأ عمل الشاحن التوربيني

80	4-4- أجزاء وحدة الشحن التوربيني
81	4-5- الأبعاد الهندسية للشاحن التوربيني
81	4-5-1- تحديد مقاييس عجلات التوربين والضغوط (TRIM)
83	4-5-2- حجرة التوربين والضغوط والنسبة A/R
84	4-6- قراءة رمز الشاحن التوربيني
84	4-7- عيوب التشحيم
87	4-8- وحدات الشحن التوربيني الحديثة
87	4-8-1- التحكم بضغط غازات العادم
89	4-8-2- تصميم وحدة الشحن التوربيني الحديثة
92	4-9- الأنظمة المساعدة للشحن التوربيني وطرق تلافي عيوب الشحن ومشكلاته.
95	4-10- الأنظمة المستخدمة في تحسين استجابة الشاحن التوربيني عند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك
96	4-11- مخطط الضغوط
97	4-11-1- تعاريف ومناطق مخطط الضغوط
99	4-12- الاختيار الأمثل للشاحن التوربيني
99	4-13- مؤشرات ومعطيات الشحن في المحرك المشحون
99	4-13-1- الاستطاعة الاسمية للمحرك
99	4-13-2- ضياعات الضغط عند مدخل ومخرج الضغوط
100	4-13-3- الاستهلاك النوعي للوقود (BSFC)
100	4-13-4- حساب الضغط المطلق للحصول على استطاعة معينة الموافق لقيمة معينة لتدفق الهواء
101	4-13-5- أمثلة تطبيقية للاختيار الأمثل لأبعاد الشاحن التوربيني
الفصل الخامس: الطرق المتبعة لتحليل وتوصيف الصفح والتنبؤ بظهوره	
106	5-1- استخدام التشخيص البصري في المحركات عالية الشحن للكشف عن الصفح وتوصيفه
106	5-1-1- مقدمة
106	5-1-2- طريقة التشخيص البصري
107	5-1-3- مزايا التشخيص البصري الثنائي
108	5-1-4- مصادر تشكيل الاشتعال المسبق باستخدام التشخيص البصري
111	5-2- استخدام الذكاء الاصطناعي والتعديل الذاتي لخوارزمية وحدة التحكم (ECU) لتحسين التنبؤ بالصفح

111	5-2-1- مقدمة
112	5-2-2- مبدأ عمل طريقة القيمة المرجعية
113	5-2-3- الطرق الجديدة في الكشف عن الصفع
115	5-2-4- ميزات طريقة الذكاء الاصطناعي
الفصل السادس: أثر الأنظمة المساعدة بمحركات الشحن التوربيني في الحد من كثافة الصفع	
118	6-1- مقدمة
118	6-2- الإجراءات المتبعة في محركات الأداء العالي للحد من كثافة الصفع والاشتعال الذاتي
120	6-2-1- التأثير على العوامل الرئيسية للحد من الصفع
122	6-2-2- الإجراءات العملية على المحركات
123	6-2-3- تبريد معادن جسم المحرك ورأس الأسطوانات
124	6-2-4- نسبة الانضغاط الممكنة
125	6-2-5- التحكم بدرجة حرارة هواء الشحن
128	6-2-6- تأثير تبريد غازات العادم المرجعة EGR
131	6-3- المحركات متغيرة نسبة الانضغاط للتحكم والحد من الصفع
132	6-3-1- مبدأ عمل المحرك متغير نسبة الانضغاط
132	6-3-2- أجزاء نظام تغيير نسبة الانضغاط بالمحرك
134	6-3-3- أسباب تغيير نسبة الانضغاط
136	6-3-4- استثمار هذا النظام
136	6-4- دورة أتكينسون الحرارية بالمحرك
137	6-4-1- مزايا دورة أتكينسون الحرارية ومساوئها
138	6-4-2- طرق الحصول على دورة أتكينسون الحرارية بمحركات الاحتراق الداخلي
138	6-5- توظيف الصفع والاستفادة منه في عملية الاحتراق في المحرك
138	6-5-1- محرك مازدا نوع سكاي أكتيف
140	6-5-2- مبدأ عمل المحرك
142	6-5-3- مبدأ عمل المحرك على شحنة فقيرة جدا بالوقود
143	6-5-4- التحكم بتوقيت الإشعال في هذا المحرك
143	6-6- الوقود ومركباته ومتطلباته
145	6-6-1- تأثير الوقود على الصفع والاشتعال المسبق والصفع الأعظمي
147	6-6-2- الآثار المترتبة على الوقود
149	6-7- نظام حقن الماء + الميثانول في المحرك

149	6-7-1- أجزاء نظام الحقن
150	6-7-2- مبدأ عمل النظام
150	6-7-3- آلية تأثير خليط الميثانول مع الماء
151	6-3-4- النتائج
152	6-8- نظام BMW لحقن الماء للحصول على استطاعة إضافية 51 حصان
152	6-8-1- أجزاء النظام
153	6-8-2- مبدأ عمل النظام
154	6-8-3- الميزات من استخدام هذا النظام
154	6-8-4- استثمار هذا النظام
الفصل السابع: مؤشرات عمل المحرك ومنحنيات الأداء له	
157	7-1- مقدمة
157	7-2- مؤشرات عمل المحرك والنقاط المميزة له
157	7-2-1- خصائص المحرك الهندسية للمحركات الترددية
159	7-2-2- العزم والاستطاعة الفرملية
159	7-2-3- العمل الناتج من الدورة الحرارية
160	7-2-4- المردود الميكانيكي
161	7-2-5- متوسط الضغط الفعال
161	7-2-6- متوسط الاستهلاك النوعي للوقود وكفاءة المحرك الحرارية
161	7-2-7- نسبة الهواء للوقود
161	7-2-8- المردود الحجمي
162	7-2-9- الوزن النوعي والحجم النوعي للمحرك
162	7-2-10- معاملات تصحيح من أجل الكفاءة الحجمية والاستطاعة
163	7-2-11- الانبعاثات النوعية ومؤشر الانبعاثات وقياساتها
163	7-2-12- العلاقة بين بارامترات أداء المحرك
164	7-2-13- تصميم المحرك وبيانات الأداء له
165	7-3- منحنيات أداء المحركات
166	7-3-1- منحنيات السرعة لمحركات البنزين
166	7-3-2- منحنيات السرعة الحدية لمحرك البنزين
الفصل الثامن: الأجهزة والمواد المستخدمة في البحث	
168	8-1- مقدمة

168	8-2- محرك بنزين بشحن توربيني
169	8-3- جهاز الدينوموتر
169	8-3-1 وحدة الدينوموتر الأساسي
170	8-3-2 لوحة التحكم واطهار المعلومات والبيانات
170	8-3-3 إطار منفصل يحمل الأجزاء
171	8-4- وحدة التحكم القابلة للبرمجة
171	8-4-1 التعريف ببرنامج وحدة التحكم الالكتروني
174	8-4-2 مخططات التوصيل الكهربائي لوحدة التحكم القابلة للبرمجة (wiring diagrams)
176	8-5- حساس الصفع مع راسم الإشارة
177	8-6- نظام حقن خليط الميثانول مع الماء
178	8-7- مواصفات الميثانول المستخدم بالتجارب
178	8-8- مواصفات الوقود المستخدم في التجربة
الفصل التاسع: الجزء العملي	
180	9-1- مقدمة
182	9-2- مراحل الإجراء التجريبي
183	9-3- المرحلة الأولى
202	9-3-1 مناقشة النتائج من النقاط المسجلة عند كافة الدعسات الجزئية ومن المخططات الناتجة عنها
203	9-3-2- رسم المخططات لكل الدعسات الجزئية على برنامج Excel
206	9-4- المرحلة الثانية الدراسة الإحصائية للنتائج السابقة
206	9-4-1 توضيح بعض المصطلحات الإحصائية
207	9-4-2 نتائج التحليل الإحصائي
213	9-5- المرحلة الثالثة: استخدام المعادلة الرياضية كثافة الصفع ($K_{perminute}$) بدلالة السرعة والعزم ومقدار الدعسة المستنتجة بالبرنامج SPSS في الحصول على مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع
216	9-6 المرحلة الرابعة: إضافة خليط الميثانول عند نقاط تشغيل المحرك التي تعمل على كثافة صفع عالية عند دعسة 100% فقط، عند عدة نسب من خليط الميثانول والماء

217	9-7- المرحلة الخامسة رسم مخططات نتائج تجربة خليط الميثانول مع الماء من الجداول على برنامج Excel
221	9-8- المرحلة السادسة: دراسة اقتصادية واستثمارية للنظام السابق
221	9-8-1- تكلفة إضافة النظام السابق واستثماره
221	9-8-2- مقارنة العزم والاستطاعة للمحرك مع الاستهلاك النوعي للوقود وكفاءة المحرك الحرارية والاستهلاك النوعي لخليط الميثانول مع الماء ومقارنته مع الطرق الأخرى المتبعة للحد من الصفع
222	9-8-3- كفاءة النظام السابق وإمكانية تركيبه وموثوقية عمله من حيث متطلبات الصيانة
222	9-9- المرحلة السابعة
223	9-9-1- مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية
223	9-9-2- نتائج البحث
223	9-9-3- التوصيات والمقترحات
224	9-9-4- الخاتمة
227	المراجع
232	Abstract

فهرس الأشكال List of Figure

رقم الصفحة	عنوان الشكل
1	الشكل (1) قيم انبعاثات CO ₂ الجديدة من أجل السيارات المصنعة من الأعوام 2020 حتى 2025
2	الشكل (2) مقارنة بين محرك بتغذية طبيعية سعة 2لتر ومحرك بشحن توربيني سعة 1.2لتر
3	الشكل (3) تحليل لاستهلاك الوقود المتوقع من تصغير المحرك بالاعتماد على المفايد الحرارية
8	الشكل (1-1) مخطط الاحتراق المنتظم وغير المنتظم. "الصنع الأعظمي" وهو نتيجة الاشتعال المسبق الذي لا يمكن السيطرة عليه
8	الشكل (2-1) الاشتعال الذاتي تحت تأثير التفاعلات وحالة تشغيل المحرك
9	الشكل (3-1) أنواع الاحتراق غير المنتظم وظهورها في خريطة السرعة والحمل
10	الشكل (4-1): تأثير توقيت حقن الوقود على LSPI
11	الشكل (5-1): تأثير توقيت الحقن على كل من LSPI وBMEP
11	الشكل (6-1): LSPI ضبط حقن الوقود عن طريق تحليل اللهب لتقليل مخاطر الاشتعال المسبق المرتبط بالرواسب وبقايا الوقود، ويتم إجراء تشخيصات اللهب باستخدام مستشعرات شمعات الإشعال المصنوعة من الألياف البصرية متعددة القنوات.
12	الشكل (7-1) أهم الرواسب وأسباب نشوئها ونظرة عامة على المصادر المحتملة لظاهرة الاشتعال
13	الشكل (8-1) تأثير جودة الوقود على غرفة الاحتراق والمحفر وشمعات الإشعال الشق الأيسر من الصور الوقود المستخدم في الصين أما في الشق الأيمن الوقود المستخدم في دول الاتحاد الأوروبي
14	الشكل (9-1): أجزاء ومعدات القياس
15	الشكل (10-1): تصنيف 3 فئات من دورات الاشتعال المسبق.
16	الشكل (11-1): آلية حقن الوقود: يخفض إغناء الشحنة بالوقود الخاص بالأسطوانة درجة حرارة الشحنة ويمنع دورات الاشتعال المسبق اللاحقة من الحدوث
17	الشكل (12-1): إحصائيات اختبار الاشتعال المسبق
19	الشكل (13-1): مكونات تقنية BMW Twin Power Turbo لمحركات البنزين
20	الشكل (14-1): الاحتراق غير المنتظم في محرك البنزين DI بشاحن توربيني

21	الشكل (15-1): مصادر الاشتعال المسبق في محركات البنزين DI المزودة بشاحن توربيني
21	الشكل (16-1): مكونات المحرك المدروس
22	الشكل (17-1): تأثير النفخ لأبخرة زيت المحرك عن طريق نظام تهوية علبة المرافق على عمليات الاشتعال المسبق
23	الشكل (18-1): تأخر الإشعال لكل من وقود البنزين والطور السائل للأبخرة الزيت وزيت المحرك
23	الشكل (19-1): الوصول البصري إلى غرفة الاحتراق للتنظير عالي السرعة
24	الشكل (20-1): رواسب منفصلة عن جدار غرفة الاحتراق
24	الشكل (21-1) الجسم المتوهج المحمول في بداية شوط الانضغاط لدورة تحتوي على اشتعال مسبق
25	شكل (22-1): جسيمات متوهجة محمولة في الهواء أثناء شوط الانضغاط تشعل الشحنة مسبقاً
27	الشكل (23-1): بيانات المحرك الأساسية M133
28	الشكل (24-1): مجموعة FEV - الاستطاعات النوعية لمحركات الاحتراق (FEV)
29	الشكل (25-1): كفاءات الحمل الكامل لـ $8.6 / 7.8 / 7.0$ ε على التوالي
30	الشكل (26-1): الضغط الخلفي لغاز العادم قبل التحسينات وبعدها
31	الشكل (27-1): توزيع درجات حرارة السطح لرأس الاسطوانة
32	الشكل (28-1): تأخير لحظة إعطاء الشرارة في الحمولة الكاملة لـ RON 98 و 95 و 91
33	الشكل (29-1): منحنى العزم والاستطاعة لمحرك M133
34	الشكل (30-1): انخفاض الضغط (مجمع السحب - مجمع العادم)
37	الشكل (31-1): البيانات الفنية لمحرك 1.6 لتر SIDI
37	الشكل (32-1): دعم الكاميرا و تحليل الإجهاد
39	الشكل (33-1): خصائص شدة الضوء للألياف البصرية
41	الشكل (34-1) مخطط الطريقة التجريبية
41	الشكل (35-1) مواقع الحساسات على منصة اختبار المحرك
42	الشكل (36-1) إشارات حساس ضغط الاسطوانة وحساسات مقاييس الاهتزاز
45	الشكل (37-1) الأجهزة التجريبية
46	شكل (38-1) توزيع درجة الحرارة داخل الاسطوانة عن طريق الحساب العددي
47	الشكل (39-1) التفاصيل الأساسية لمحرك MAHLE المقلص الحجم.

52	الشكل (1-2) عملية الاحتراق الطبيعي بالمحرك
52	الشكل (2-2) انتشار موجات اللهب الطبيعية والتصادمية في غرفة احتراق محرك بنزين عند ظهور الصفع
54	الشكل (3-2) الاشتعال المسبق
55	الشكل (4-2) مراحل تشكل الصفع الخفيف
55	الشكل (5-2) تشكل بؤر الاحتراق قبل لحظة إعطاء الشرارة
56	الشكل (6-2) b- مخطط الضغط للاحتراق الطبيعي والصفع الخفيف والصفع الأعظمي a- نقاط عمل المحرك التي يحدث عندها الاشتعال المسبق والصفع الخفيف
57	الشكل (7-2) المنطقة الأعلى كفاءة من حيث استهلاك الوقود النوعي التي يعمل عندها المحرك
58	الشكل (8-2) نوع الزيت المستخدم في محركات الشحن التوربيني
58	الشكل (9-2) تأثير نسبة الانضغاط على عملية الاحتراق في المحرك
62	الشكل (10-2) تأثير زاوية تسبيق الإشعال على منحنى الضغط في المحرك
63	الشكل (11-2) تأثير نسبة الهواء للوقود
65	الشكل (12-2) يبين غرفة احتراق موشورية
65	الشكل (13-2) رسم بياني يبين تأثير جميع العوامل السابقة على ظاهرة الصفع
69	الشكل (1-3) تحسين استهلاك الوقود في دورة القيادة الأوروبية الجديدة من خلال تصغير حجم المحرك
72	الشكل (2-3) المشاكل التي تواجه تصغير المحركات
73	الشكل (3-3) شاحن توربيني Twin Scroll وعمود التشغيل مع تدفق الكتلة
74	شكل (4-3) منطقة عمل المحرك المشحون دون الحاجة لإغناء الشحنة بالوقود
75	الشكل (5-3) دورات الاختبار المنصوص عليها قانوناً والحمولات الممكنة في خريطة تشغيل المحرك
79	الشكل (1-4) مقارنة لمحرك مزود بشاحن توربيني ومحرك طبيعي بدون شحن
80	الشكل (2-4) أجزاء دائرة الشحن التوربيني
81	الشكل رقم (3-4) المكونات الأساسية لوحدة الشحن التوربيني
82	الشكل (5-4) مسارات دخول الهواء بالنسبة للتوربين والضامط
83	الشكل (6-4) توضيح النسبة A/R
84	الشكل (7-4) منحنيات الاستجابة لمحرك بتغذية طبيعية ومحرك مشحون والمنحني المثالي لاستجابة المحرك

85	الشكل (4-8) الفرق بين منحنيات العزم لمحرك السحب الطبيعي ومحرك مشحون
86	الشكل (4-9) الفرق في منحنى العزم الناتج عند تركيب شاحن بمقاسات صغيرة وعند تركيب شاحن بمقاسات كبيرة على نفس المحرك
87	شكل (4-10-أ) التحكم بضغط غازات العادم عن طريق بوابة الشاحن
88	شكل (4-10-ب) التحكم بضغط غازات العادم بواسطة التوربين متغير الأبعاد الهندسية
88	شكل (4-10-ج) التحكم بضغط غازات العادم بواسطة الجلبة المتغيرة الموضع
89	شكل (4-10) الفرق في استجابة الشاحن المزود بمحامل كروية ومزود بمحامل دائمة العوم
90	الشكل (4-11) شاحن توربيني ثنائي المجرى تم جمع الأسطوانة الثانية والثالثة وتوجيهها إلى المجرى الكبير والأسطوانة الأولى والرابعة إلى المجرى الصغير
90	الشكل (4-12) النسبة a/r المتغيرة
91	شكل (4-13) المنحني الأصفر لشاحن متغير المجرى والأحمر لشاحن صغير والأزرق لشاحن كبير
91	الشكل (4-14) آلية عمل الشاحن المتغير المجرى.
92	الشكل (4-15) مقارنة لمجمع عادم قصير وتداخل غازات العادم مع بعضها ومجمع عادم طويل يعمل بنظام الكسح الفعال وتأثيره الإيجابي على أداء المحرك
93	الشكل (4-16) دارة تبريد غازات العادم المرجعة للمحرك
93	الشكل (4-17) التأثير الإيجابي على أداء المحرك باستخدام نظام تبريد غازات العادم المرجعة
94	الشكل (4-18) توضع الشاحن التوربيني على المحرك
94	الشكل (4-19) غطاء الأسطوانات وتوضع مجمع العادم داخله
95	الشكل (4-20) نظام الضغط الديناميكي لغازات العادم
97	الشكل (4-21) مخطط الضاغط
103	الشكل رقم (4-22) مخطط عمل الضاغط (GT2860RS)
103	الشكل (4-23) مخطط عمل الشاحن (GT3076R)
107	الشكل (5-1): رأس الاسطوانة، عرض اتجاهات الرؤية على الاسطوانة
107	الشكل (5-2): عملية اشتعال مسبق نموذجية، وأثرها على منحنى الضغط
108	الشكل (5-3): مزايا الوصول البصري الثنائي للكشف عن الاشتعال المسبق
108	الشكل (5-4): دورة الاحتراق النموذجية عند التحميل الكامل
109	الشكل (5-5): نشوء الجزئيات المتوهجة

109	الشكل (5-6): الجسيمات المتوهجة كمصدر متعدد للاشتعال المسبق
110	الشكل (5-7): دورة الاحتراق اللاحقة بدون اشتعال مسبق، مباشرة بعد دورة مع الاشتعال المسبق
111	الشكل (5-8): سلسلة الاشتعال المتقطع
113	الشكل (5-9): مثال لتحليل التردد الزمني
114	الشكل (5-10) الجودة التي يمكن تحقيقها للنماذج المختلفة عن طريق رسم تخطيطي حول العوامل المحددة الحاسمة لاكتشاف الصفع.
115	الشكل (5-11): التكيف الذاتي مع عتبة الكشف عن الصفع
115	الشكل (5-12): الرسم البياني لارتباط مختلف طرق الكشف عن الصفع التي تم فحصها بسرعات مختلفة للمحرك
119	الشكل (6-1): اتجاهات نسبة الانضغاط لمحركات البنزين خلال القرن الماضي
119	الشكل (6-2): نقاط التشغيل لمركبة بوزن 1600 كجم لأنماط القيادة المختلفة على طرق مختلفة
120	الشكل (6-3): العوامل العملية الرئيسية الثلاثة التي تؤثر على الاشتعال الذاتي
120	الشكل (6-4): تصنيف الأوكتان المتاح في المملكة المتحدة خلال القرن الماضي
122	الشكل (6-5) المقطع العرضي لغرفة الاحتراق
122	الشكل (6-6): خصائص مجرى التدفق العالي ومجرى التدفق المنخفض والمتوسط
123	الشكل (6-7): ممرات سائل تبريد رأس الاسطوانة
123	الشكل (6-8) درجات حرارة معدن الاسطوانة
125	الشكل (6-9): تأثير نسبة الانضغاط على تأخير الإشعال للحد من الصفع وكفاءة المحرك
126	الشكل (6-10): مخطط تبريد هواء الشحن المتتالي
126	شكل (6-11) تصميم مبرد هواء الشحن المتتالي
126	الشكل (6-12): مخطط التبريد الفرعي لهواء الشحن الذي يعمل بواسطة غاز التبريد
127	الشكل (6-13): تصميم وحدة التبريد الفرعي للهواء
127	الشكل (6-14): تأثير درجة حرارة هواء الشحن لتأخير الإشعال للحد من الصفع وكفاءة المحرك
129	الشكل (6-15): مجموعة متكاملة لصمامات ومبرد EGR
129	الشكل (6-16): دائرة ضغط عالي (يسار) وضغط منخفض (يمين) لل EGR
130	الشكل (6-17): تأثير LP و HP لنظام EGR على حد الصفع و BSFC

131	شكل (6-18) محرك انفجرتي متغير نسب الانضغاط ومزود بشاحن توربيني
132	الشكل (6-19) نسبة الانضغاط للمحرك متغير نسبة الانضغاط
133	شكل (6-20) المحرك التوافقي
133	شكل (6-21) عامود التحكم
134	شكل (6-22) الأجزاء الأربعة لميكانيزم تغيير نسبة الانضغاط بالمحرك
135	شكل (6-23) انعدام القوى الجانبية في محرك متغير نسب الانضغاط
137	الشكل (6-24) نسبة الانضغاط ونسبة التمدد
138	الشكل (6-25) نسبة التمدد أكبر من نسبة الانضغاط.
139	شكل رقم (6-26) محرك مازدا نوع سكاي أكتيف
139	شكل (6-27) قائمة ال EPA لأفضل السيارات اقتصادية وأقلها انبعاثاً لغازات العادم
140	شكل رقم (6-28) الخليط الفقير داخل الأسطوانة أثناء شوط الانضغاط
140	شكل (6-29) المنطقة التي يعمل بها نظام التحكم بالاحتراق الذاتي للمحرك
141	شكل (6-30) (ازدياد كفاءة المحرك مع زيادة نسبة الانضغاط)
142	الشكل (6-31) انخفاض انبعاثات NOX وانخفاض الطاقة الحرارية الضائعة
142	شكل (6-32) صمام السحب يكسب حركة دورانية
143	شكل (6-33) التحكم بذروة الضغط الأعظمي للاحتراق عن طريق تسبيق وتأخير الاشعال بواسطة حساس الضغط ووحدة التحكم الإلكترونية.
146	الشكل (6-34) الضغط مقابل درجة حرارة الغاز غير المحترق في اختبارات RON و MON.
147	الشكل (6-35) العلاقة العكسية بين تصنيف الاشتعال المسبق وسرعة الاحتراق الرقائقي
149	شكل (6-36) دارة تركيب الشحن التوربيني مع نظام حقن خليط الماء والميثانول على المحرك
150	شكل (6-37) محرك مزود بنظام حقن ماء مع ميثانول وآخر بدون النظام
151	شكل (6-38) جزيئات الماء الكيميائية
151	شكل (6-39) جزيئات الميثانول الكيميائية
152	الشكل (6-40) مقارنة الاستطاعة لمحرك مزود بنظام حقن ميثانول مع ماء باللون الأحمر وآخر بدون النظام باللون الأزرق.
152	الشكل (6-41) مخطط نظام حقن الماء
153	شكل (6-42) مراحل جريان هواء الشحن من الشاحن إلى المحرك
154	الشكل (6-43) تموضع حواقي الماء على مجمع السحب

157	الشكل (7-1) هندسة الأسطوانة، المكبس، ذراع التوصيل.
158	الشكل (7-2) سرعة المكبس اللحظية / متوسط سرعة المكبس زاوية الكرنك، كدالة لزاوية الكرنك $R = 3.5$.
159	الشكل (7-3) رسم تخطيطي لمبدأ تشغيل الدينامومتر
159	شكل (7-4) أمثلة على مخططات p-V
166	الشكل (7-5) منحنيات السرعة الحدية لمحركات البنزين
168	الشكل (8-1) المحرك المستخدم لاختبار البحث
169	شكل (8-2) قاعدة اختبار المحرك
169	الشكل (8-3) وحدة الدينامومتر الهيدروليكي
170	شكل (8-5) لوحة التحكم وإظهار
171	شكل (8-7) وحدة التحكم الإلكترونية القابلة للبرمجة
172	شكل (8-8) واجهة برنامج ال ECU
172	شكل (8-9) قراءة الملفات من وحدة التحكم الإلكترونية
173	الشكل (8-10) دارات التحكم في الخرج
173	الشكل (8-11-أ) محلل أداء المحرك
177	شكل (8-12-ب) محلل أداء المحرك وفقاً لنسبة خليط الهواء والوقود مع سرعة دوران المحرك والضغط مع مجمع السحب
174	شكل (8-13) توصيل وحدة التحكم الإلكترونية
175	(8-14) المخطط الكهربائي لحساسات القدر والتزامن العاملة بالتحريض
175	شكل (8-15) توصيل دائرة المخارج المساعدة
176	الشكل (8-18) حساس الصفع وتوضعه على جسم المحرك
177	الشكل (8-19) راسم الإشارة
177	الشكل (8-20) المضخة المستخدمة لضخ خليط الميثانول مع الماء
177	الشكل (8-21) خزان خليط الميثانول
177	الشكل (8-22) حاقن خليط الميثانول مع الماء
180	شكل (9-1) تركيب المحرك وتجهيزه بوحدة تحكم إلكترونية قابلة للبرمجة
180	شكل (9-2) تركيب وتوصيل أجهزة قراءة وتحليل غازات العادم
181	شكل (9-3-أ) طريقة توصيل وحدة التحكم القابلة للبرمجة مع وحدة التحكم الرئيسية للمحرك
181	الشكل (9-3-ب) برمجة وحدة التحكم على نظام عمل المحرك

181	شكل (4-9) تركيب حساس درجة حرارة هواء الشحن
181	الشكل (5-9) تركيب حاقن خليط الميثانول مع الماء
181	شكل (6-9) يبين كيفية توصيل نظام الحقن
181	الشكل (7-9) كيفية برمجة مجال عمل حاقن الميثانول
182	الشكل (8-9) تركيب راسم الإشارة وتوصيله مع حساس الصفع وتموضعه أثناء التجارب
185	شكل (9-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 3%
185	شكل (10-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 3%
187	شكل (10-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 5%
187	شكل (11-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 5%
189	شكل (12-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 10%
189	شكل (13-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 10%
191	شكل (14-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 20%
191	شكل (15-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 20%
193	شكل (16-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 30%
193	شكل (17-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 30%
195	شكل (18-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 40%
195	شكل (19-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم والدوران لدعسة 40%
197	شكل (20-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 60%
197	شكل (21-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم والدوران لدعسة 60%
198	شكل (22-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 80%
199	شكل (23-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 80%
201	شكل (24-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 100%
202	شكل (25-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 100%

204	شكل (9-26) مخطط العزم مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية
205	شكل (9-27) مخطط الاستطاعة مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية
205	شكل (9-28) مخطط استهلاك الوقود لكافة الدعسات الجزئية مع سرعة الدوران
206	الشكل (9-30) كثافة الصفح بالنسبة المئوية K_{cycle} (%) مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية
206	الشكل (9-31) البرنامج الاحصائي المتخصص spss
209	الشكل (9-32) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة الموقعة من المعادلة
210	الشكل (9-33) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة الموقعة من المعادلة
212	الشكل (9-34) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة الموقعة
214	الشكل (9-35) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفح لدعسة 20%
214	الشكل (9-36) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفح لدعسة 60%
215	شكل (9-37) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفح لدعسة 100%
215	شكل (9-38) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفح لنقاط سرعة دوران وعزم مقترحة عند دعسة 75%
218	الشكل (9-39) العزم مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعسة 100%
219	الشكل (9-40) الاستطاعة مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعسة 100%
219	الشكل (9-41) الاستهلاك الساعي للوقود مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعسة 100%
220	الشكل (9-43) كثافة الصفح K (%) مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعسة 100%.

List of Tables فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول
43	الجدول (1-1): الزاوية المثلى [CA ° a Tdc] (الضغط مقارنة بحساس الاهتزاز المركزي مقارنة بالميكروفون المتعدد)
45	الجدول (2-1) الشروط التجريبية
45	الجدول (3-1) الإعدادات التجريبية لدرجة حرارة الجدار على الأسطوانة
50	الجدول (4-1) ملخص الدراسات المرجعية المستخدمة المتعلقة بموضوع البحث
66	الجدول رقم (1-2) يبين تأثير مختلف العوامل على ظاهرة الصفع
86	الجدول (1-4) المدة الزمنية اللازمة للانتظار قبل إيقاف عمل المحرك
106	الجدول (1-5): البيانات الفنية للنظام البصري
149	الجدول (3-6) خصائص المقاومة للصفع لأنواع مختلفة من الوقود
165	الجدول (1-7) بعض القيم النموذجية لعدة تصاميم من المحركات
184	جدول (1-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 3%
186	جدول (2-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 5%
188	جدول (3-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 10%
190	جدول (4-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 20%
192	جدول (5-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 30%
194	جدول (6-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 40%
196	جدول (7-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 60%
201	جدول (9-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 100%
207	جدول (10-9) توضيح بعض المصطلحات الإحصائية
208	جدول (11-9) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفع ($K_{perminute}$) بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعة
208	جدول (12-9) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفع بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعة
209	الجدول (13-9) قوة الرياضي لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط ومقدار الدعة
210	الجدول (14-9) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعة

211	يبين الجدول (9-15) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفح ($K_{perminute}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعة
211	الجدول (9-16) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفح ($K_{perminute}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعة
213	جدول (8-17) مقارنة القيم الناتجة مع القيم المقيسة من التجربة وذلك عند دعة 80%
216	الجدول (9-18) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول 50% ل 50% ماء عند دعة 100%
217	الجدول (9-19) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول 67% ل 33% ماء
217	الجدول (9-20) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول 90% ل 10% ماء

فهرس الاختصارات والمصطلحات Glossary of Abbreviations and Terms

الاختصار	المصطلح	الترجمة
A/C	Air Conditioning	مكيف الهواء
Aki	anti- knock index	رقم مقاومة الصفح المرجعي للوقود
ATDC	after Top Dead Centre	بعد النقطة الميتة العليا
BDC	Bottom dead centre	النقطة الميتة السفلى
BTDC	Before top dead centre	قبل النقطة الميتة العليا
BMEP	Brake Mean Effective Pressure	متوسط الضغط الفعال
BMTS	Bosch-MAHLE Turbo Systems	نظام الشحن التوربيني لشركة بوش وميهل
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption	استهلاك الوقود النوعي
CAS	Charge Air Subcooler	المبرد الفرعي لهواء الشحن
CFD	Computational Fluid Dynamics	ديناميك السوائل الحاسوبية
CAHU	Combustion air handling unit	وحدة معالجة هواء الاحتراق
CPS	Cam profile switching	مفتاح تبديل شكل الكامرة
Ca	crank angle	زاوية عامود المرفق
CR	Compression Ratio	نسبة الانضغاط

DCVCP	Dual continuously-variable camshaft phasing	عامود الكامات ثنائي المرحلة المتغير باستمرار
DF	Downsizing factor	معامل تصغير المحرك
DI	Direct injection	حقن مباشر
EAT	Exhaust after treatment	غازات العادم بعد المعالجة
EPAS	U.S. Environmental Protection Agency	وكالة حماية البيئة الأمريكية
EGR	Exhaust gas recirculation	تدوير غازات العادم
ECU	electronic control unit	وحدة تحكم المحرك
EGRC	EGR Cooler	مبرد غازات العادم
FEV	is a company leader in design and development of advanced gasoline, diesel and hybrid powertrains and vehicle systems	شركة متخصصة بتطوير محركات البنزين والديزل والمحركات الهجينة وأنظمة التحكم في السيارات
GDI	Gasoline Direct Injection	الحقن المباشر للبنزين
HT	High Temperature	حرارة عالية
IEM	Integrated exhaust manifold	مجمع العادم المدمج
IMEP	Indicated mean effective pressure	متوسط الضغط الفعال النظري
JLR	Jaguar Land Rover	شركة جاكور ولاندروفر
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition	نظام الاشتعال بضغط الشحنة المتجانس
ICE	internal combustion engine	محرك احتراق داخلي
IICAC	Integrated Indirect Charge Air Cooler	مبرد هواء الشحن المباشر المدمج
ISAC	Indicated Specific Air Consumption	استهلاك الهواء النوعي النظري
IVC	Inlet Valve Closing point	نقطة إغلاق صمام السحب
KLSA	Knock-limited spark advance	زاوية تسبيق الاشتعال الموافقة للحد من الصفع
KI	Knock Index	الصفع المرجعي
LSPI	Low speed pre-ignition	الاشتعال المسبق عند السرعة المنخفضة
Livc	Late intake valve closure	تأخير إغلاق صمام العادم
LT	Low Temperature	حرارة منخفضة

MOP	Maximum opening point	نقطة الفتح الأعظمية
MFB	Mass Fraction Burned	الكتلة الجزيئية المحترقة
MON	Motor Octane Number	رقم اوكتان المحرك
NA	Naturally aspirated	محرك غير مشحون
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	الإدارة الوطنية للسلامة على الطرقات السريعة
NEDC	New European Drive Cycle	دورة القيادة الأوروبية الجديدة
Pi	pre- ignition	اشتعال المسبق
Pfi	Port fuel injection	حقن الوقود بمجمع السحب
Prf	primary reference fuel	الوقود الأساسي المرجعي
PCV	Positive crankcase ventilation	نظام أبخرة الزيت الموجب لعلبة المرفق
RCEM	Rapid Combustion and Expansion Machine	آلة الاحتراق والتمدد السريعة
RON	Research Octane number	رقم اوكتان الوقود البحثي
SI	Spark ignition	الاشتعال بالشرارة
SPCCI	Spark Controlled Compression Ignition	التحكم بالشرارة لنظام الاشتعال بالضغط
TDC	Top Dead Center	النقطة الميتة العليا
UB	Ultra Boost for Economy	اقتصادية الشحن الفائق
VGT	variable geometric turbine	توربين متغير الأبعاد الهندسية
WCEM	Water-cooled exhaust manifold	التبريد المائي لمجمع العادم
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles	دورات اختبار المركبات الخفيفة المنسقة في جميع أنحاء العالم

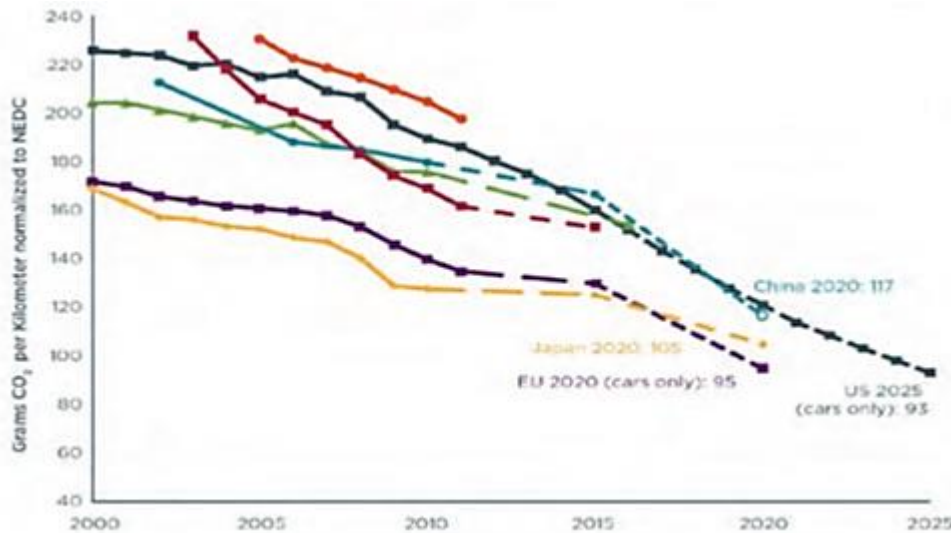
مقدمة البحث

أ- مقدمة

يميل الاتجاه العام للبحوث الهادفة لتطوير صناعة المحركات إلى إنتاج محركات صغيرة الحجم والكتلة، كبيرة الاستطاعة، عالية الاقتصادية، نظيفة بيئياً وذات عمر استثماري طويل، وضياعات حرارية أقل. ونظراً لأهمية الموضوع ولتصدر الأبحاث المتعلقة بعالم محركات الاحتراق الداخلي وللارتفاع الكبير في أسعار المشتقات النفطية بالتالي نقدم هذا البحث وهو دراسة لاستنتاج الطرق المختلفة التي نستطيع بها زيادة قدرة المحرك في مختلف الظروف دون حدوث ظاهرة الصفع.

في عام 2012 منظمة الحماية البيئية الأمريكية (EPA) ومؤسسة المواصلات والطرق (NHTSA) وضعت قاعدة مشتركة ومعايير جديدة لاستهلاك الوقود في السيارات من أجل حماية البيئة من ملوثات وسائل النقل، هذه المعايير تنطبق على سيارات الركاب الصغيرة والشاحنات الصغيرة التي ستصنع من عام 2012 لعام 2025. هذه المعايير تتطلب أن يكون معدل استهلاك الوقود ما يعادل 34.1 ميل للغالون الواحد (MPG) وذلك في السيارات المصنعة في عام 2016، أما في سيارات المصنعة في عام 2025 يجب أن يصل معدل استهلاك الوقود ل ما يعادل 50 ميل للغالون الواحد (MPG) أي أن هذه المعايير تتطلب تحسناً في معدل استهلاك الوقود بنسبة 4.1 % سنوياً [37].

يبين الشكل (1) القوانين والمعايير لغاية عام 2025 من أجل الحد من انبعاثات CO₂ في السيارات السياحية حيث.



الشكل (1) قيم انبعاثات CO₂ الجديدة من أجل السيارات المصنعة من الأعوام 2020 حتى 2025 [38]

ب- أهمية البحث

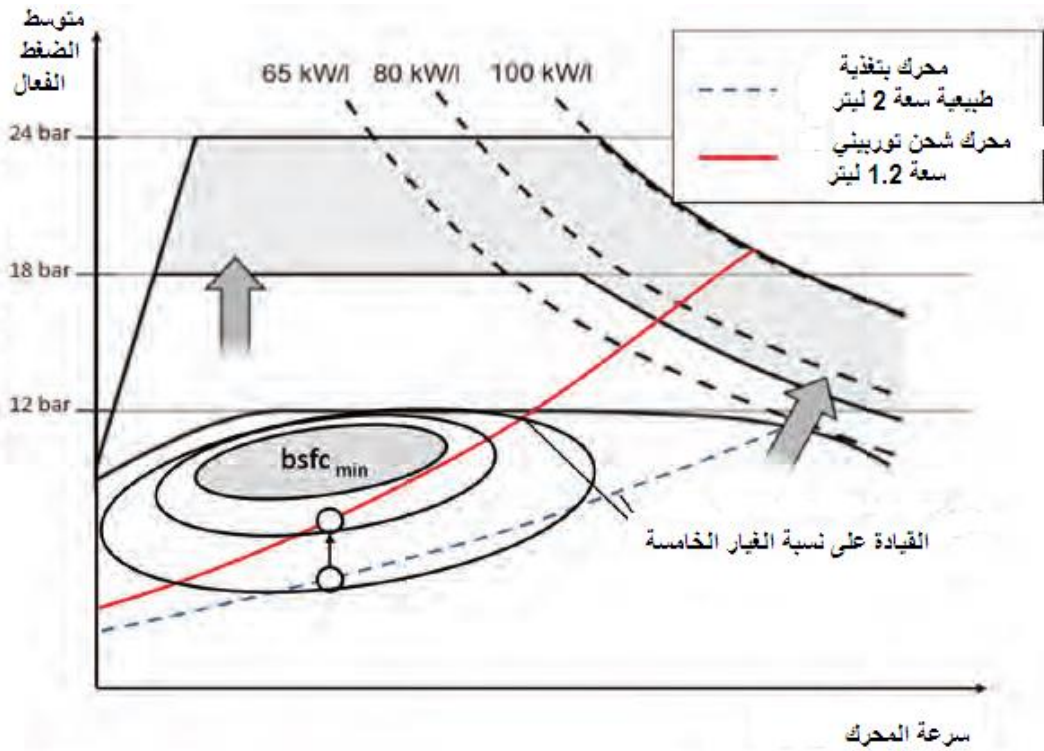
تأتي أهمية هذا البحث من دراسة كفاءة أنظمة معينة مساعدة للحد من الصفع للوصول لأفضل مؤشرات لعمل المحرك وذلك لزيادة إمكانية استخدام الشحن التوربيني على السيارات. حيث توجه مصنعوا السيارات باتجاه خفض استهلاك الوقود في التصميمات الجديدة للمحركات

فكان الحل الأمثل لذلك هو تصغير المحركات ومعنى كلمة تصغير المحرك هو خفض سعة المحرك وأبعاده وخفض عدد أسطواناته، دون التأثير على الاستطاعة والأداء الناتج منه.

- الفوائد والأسباب لتصغير حجم المحرك:

- 1- الحجم الصغير للأجزاء المتحركة ضمن المحرك.
- 2- احتكاك أقل مقارنة مع المحركات الكبيرة.
- 3- ضياعات أقل في المحرك.
- 4- توافق عمل المحرك مع جميع نقاط وظروف التشغيل المختلفة من الأحمال الصغيرة إلى الأحمال الكبيرة وسرعات الدوران المختلفة.
- 5- استهلاك وقود منخفض ومردود عالي للمحرك.

من الشكل (2) نلاحظ أن متوسط الضغط الفعال لمحرك شحن توربيني أعلى منه لمحرك بتغذية طبيعية ونلاحظ اقتراب منحنى استطاعة المحرك من المنطقة (bsfc min) التي يكون فيها استهلاك الوقود أفضل ما يمكن.

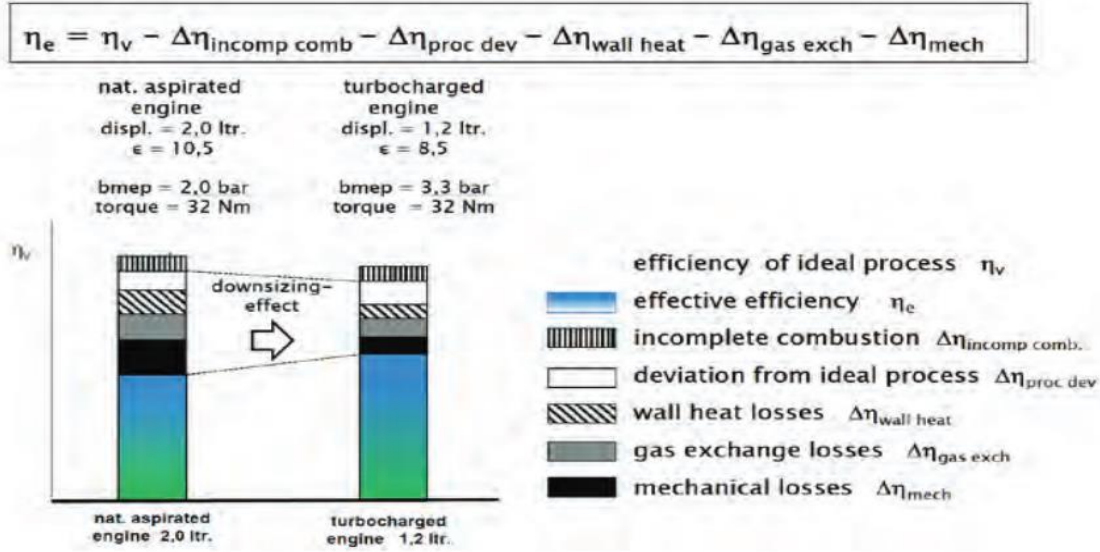


الشكل (2) مقارنة بين محرك بتغذية طبيعية سعة 2 لتر ومحرك شحن توربيني سعة 1.2 لتر [39]

عند تركيب الشحن التوربيني على المحرك يرتفع الضغط داخل الأسطوانة من الضغط الجوي إلى ما يعادل 0,5 إلى 0,7 من الضغط الجوي وبالتالي لدينا ما يعادل 50% من الأوكسجين الإضافي داخل المحرك فيمكننا من حقن كمية وقود إضافية وبالتالي احتراق أكبر، مما يولد 50% قدرة إضافية للمحرك [37].

يبين الشكل (3) مقارنة بين محرك شحن توربيني مزود بحقن مباشر بمتوسط ضغط فعال 3.3 بار سعة 1.2 لتر ومحرك بتغذية طبيعية بمتوسط ضغط فعال 2 بار كلا المحركين يعملان على عزم 32 نيوتن متر.

نلاحظ ارتفاع المردود الكلي الفعال لمحرك الشحن التوربيني ويفسر ذلك بانخفاض الضياعات الحرارية والميكانيكية فيه مقارنة مع المحرك بتغذية طبيعية.



الشكل (3) تحليل لاستهلاك الوقود المتوقع من تصغير المحرك بالاعتماد على المفاهيم الحرارية [39]

يعود السبب في ارتفاع المردود الكلي للمحرك المشحون توربيني لما يلي:

- انخفاض الضياعات الناتجة من التبادل الغازي بالاستفادة من غازات العادم لإدارة الشاحن التوربيني.
 - انخفاض الضياعات الحرارية الناتجة من جدران أسطوانة المحرك نتيجة لتصغير حجم المحرك.
 - انخفاض الضياعات الميكانيكية نتيجة لانخفاض كتلة الأجزاء المتحركة الناتج عن تصغير حجم المحرك.
- نتيجة لذلك تصغير حجم المحرك وتركيب شحن توربيني عليه يعطي أفضلية 25% بالنسبة لاستهلاك الوقود عن المحركات بتغذية طبيعية.

ج- الهدف من البحث

من أهم المشاكل في تركيب الشحن التوربيني وتصغير المحرك هو الاحتراق غير الطبيعي وحدث الصفع والاشتعال المبكر ونظراً لأهمية التغلب على الصفع والحد منه وما ينعكس ذلك إيجابياً على المحرك، قد تم وضع هذا البحث العملي لدراسة سبل التحكم به والحد من ظهوره. وبالتالي الحصول على كفاءة أكبر واقتصادية أعلى وعلى نقاط عمل وتحميل عالية على مخطط استطاعة وعزم المحرك تتناسب مع ظروف القيادة المختلفة.

د- منهجية البحث

أولاً: الدراسة النظرية

1- دراسة عملية الاحتراق في محرك البنزين المشحون توربيني والعوامل والبارامترات المؤثرة فيها وانعكاسها على أداء المحرك.

2- دراسة الشحن التوربيني وتصغير حجم المحرك لزيادة فاعليته.

3- دراسة الطرق المتبعة لتحليل وتوصيف ظهور الصفع في المحرك.

4- دراسة الأنظمة المساعدة في محركات الشحن التوربيني للحد من كثافة الصفع من حيث طريقة عملها وتأثيرها وميزاتها والمقارنة بينها.

5- دراسة مؤشرات عمل المحرك النوعية ومنحنيات الأداء له.

ثانيا: الجانب العملي

1- إجراء اختبارات على محرك بشحن توربيني ومزود بوحدة تحكم أساسية مع مراقبة النقاط التي تظهر عندها حادثة الصفع مثل: الحمل وسرعة الدوران ودرجات حرارة ماء التبريد وهواء الشحن وضغط الشحن.

2- إيجاد منحنى العزم والاستطاعة ومنحنى الاستهلاك النوعي للوقود عند دعسات جزئية للمحرك وعند الدعسة الكاملة.

3- إجراء الاختبارات السابقة نفسها ولكن باستخدام وحدة تحكم قابلة للبرمجة ونظام حقن خليط من الميثانول والماء بضغط 10 بار في مجمع السحب لتبريد الهواء الداخل للمحرك تقوم هذه الوحدة بالتحكم بنظام حقن خليط الميثانول والماء وإغناء الشحنة بالوقود للتغلب على الصفع في النقاط التي ظهر بها بالتجربة الأولى.

4- إيجاد منحنى العزم والاستطاعة ومنحنى الاستهلاك النوعي عند نفس الدعسات الجزئية السابقة وعند الدعسة الكاملة.

5- إيجاد قاعدة بيانات من التجارب السابقة للتوصل لعلاقة تربط ظهور الصفع مع مؤشرات عمل المحرك ومؤشرات الشحنة الداخلة له.

6- مناقشة النتائج وتقييم كفاءة المؤشرات التي تم التعديل عليها من الناحية الاقتصادية والاستثمارية.

ثالثا: النتائج والتوصيات والمقترحات

هـ - فصول الأطروحة

قسمت هذه الأطروحة إلى تسعة فصول كما يلي:

الفصل الأول: الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث، والدراسات السابقة التي اتبعت أساليب متعددة في الوصول لهدف البحث.

الفصل الثاني: يتناول دراسة عملية الاحتراق.

الفصل الثالث: تصغير حجم المحرك.

الفصل الرابع: الشحن القسري.

الفصل الخامس: الطرق المتبعة لتحليل وتصنيف الصفع والتنبؤ بظهوره.

الفصل السادس: أثر الأنظمة المساعدة بمحركات الشحن في الحد من كثافة الصفع.

الفصل السابع: مؤشرات عمل المحرك ومنحنيات الأداء له.

الفصل الثامن: الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث.

الفصل التاسع: الجزء العملي.

هـ - الخاتمة

تمَّ طرح الأفكار المهمة لهذه الدراسة ضمن هذا الفصل وعرض أهميتها والهدف منها، وتمَّ ذكر منهجية الدراسة بشكل مختصر، وعُرض أيضاً عناوين الفصول ضمن الأطروحة، وفي الختام نرجو أن يكون هذا البحث ذو هدفٍ نافعٍ، وأن يكون ذو بصمة في عالم البحث العلمي.

الفصل الأول الدراسات المرجعية

Reference Studies

الفصل الأول: الدراسات المرجعية

1-1- الدراسة بعنوان الاحتراق غير المنتظم: تطوره ومعايرته في المحركات فائقة الشحن القسري.

Thomas Dobes, Alois Hirsch, Paul Kapus, Mario Ninaus, Martin Ogris, Harald Philipp, Ernst Winklhofer Irregular combustion: development and calibration of highly boosted SI engines (2012)

1-1-1- الملخص

تتميز محركات الإشعال بالشرارة المشحونة بخصائص عزوم دوران مناسبة لظروف العمل، إلا أن خطر الاشتعال المسبق مع حدوث الاحتراق غير المنتظم يفرض قيوداً صارمة على تشغيل المحرك وقيادة السيارة. درجات الحرارة ومكونات التفاعل الكيميائي ووسائطه للشحنة ومخلفات الاحتراق والوقت المتاح لإنشاء التفاعلات الكيميائية للاحتراق داخل الأسطوانة تعد من الأسباب الرئيسية لحدوث الاشتعال المسبق أو عدم حدوثه. هذا يفرض مهاماً مزدوجة للتطوير في المحركات والمركبات:

- تطوير نظام الاحتراق: إيجاد تدابير للتقليل والحد من مخاطر الاشتعال المسبق.
 - في المركبات: تحديد ظروف العمل التي يحدث عندها الاشتعال المسبق وتفعيل الضوابط من أجل منع تصعيد الاحتراق غير المنتظم المحفوف بالمخاطر بحيث لا تؤثر هذه الضوابط على قدرة السيارة أثناء القيادة.
- تم استخدام محركات فائقة الشحن القسري في هذه الدراسة لمناقشة التحليل المنهجي لأحداث الاحتراق المسبق. وتم تطبيق إجراءات وطرق محددة لتحديد الأسباب الجذرية التي تحكم الإشعال والاحتراق غير المنتظمين في المحرك أثناء الحملات العالية.

تم إدراج عدة نصائح للتركيز على تطوير تبريد مكونات الشحنة ومجموعة تبادل الغازات وطريقة تكوين الخليط وعلى التدابير التي تؤثر على زيت المحرك ودارة التزييت واستخدام وظائف تشخيص المحرك لتحديد حدوث الاشتعال المسبق ويتبع هذا التحديد تكييف لمؤشرات حقن الوقود لقمع حدوث حالات الاشتعال المسبق المحتملة.

1-1-2- الاحتراق المنتظم وغير المنتظم

في وضع الاحتراق المنتظم، يبدأ إشعال الشحنة داخل الأسطوانة بواسطة شرارة شمعة الإشعال، ويتم انتشار جبهة اللهب بشكل طبيعي ومتدرج، ويتم انتقال الحرارة من أسطح غرفة الاحتراق.

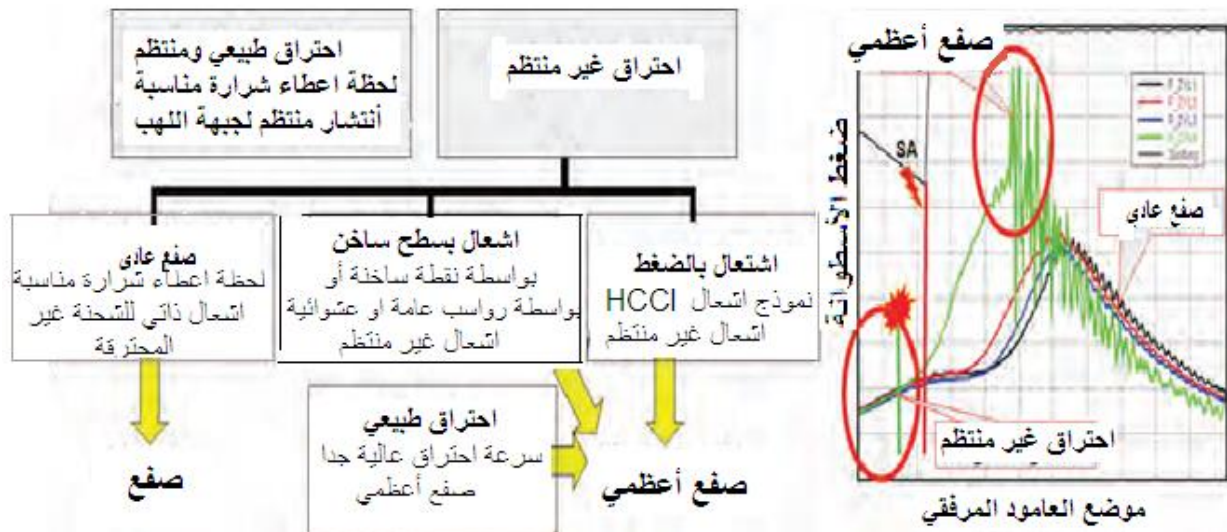
إن التسخين بالضغط الناتج عن احتراق الشحنة وارتفاع ضغطها قد يؤدي إلى اشتعال ذاتي غير متحكم فيه يظهر هذا بعد الإشعال المنتظم في مناطق الشحنة غير المحترقة يبين الشكل (1-1) الاحتراق غير المنتظم والاحتراق المنتظم.

في ظروف الحرارة العالية، قد يحدث الاشتعال الذاتي نتيجة للتفاعلات الحرارية الكيميائية قبل لحظة إعطاء الشرارة في التوقيت المناسب.

يمكن أن ينتج عن هذا الاشتعال المسبق ضغوط عالية جداً للأسطوانة وينتج عنه تلف ميكانيكي لمكونات غرفة الاحتراق.

توجد مجموعة من الأسباب التي تؤدي إلى الاشتعال المسبق:

- في المحركات فانقة الشحن القسري تكون الشحنة مضاعفة أو حتى ثلاثة أضعاف ما يتم حرقه مقارنة بمحرك يعمل بسحب الهواء بشكل طبيعي وبالتالي فإن أسطح الغرفة تحت تأثير كبير لارتفاع الضغط والحرارة.
 - يمكن أن يؤدي حقن المزيد من الوقود إلى تكوين المزيد من رواسب الوقود أو زيت المحرك أو بقايا الاحتراق.
 - قد يتاح وقت كافٍ لبدء تفاعلات كيميائية حرارية قبل لحظة إشعال الشرارة، خاصة عند سرعة المحرك المنخفضة.
 - يمكن أن يسهم تذبذب الغاز المتبقي في حدوث الاشتعال المسبق.
 - قد لا تمر بقايا الاحتراق من خلال صمامات العادم، وتبقى داخل الاسطوانة وتؤدي إلى اشتعال الشحنة الجديدة.
- تؤدي هذه الأسباب الرئيسية إلى فئات نموذجية من الاحتراق غير المنتظم، يبين الشكل (1-1)، آثار ضغط الأسطوانة التي تحدد الاشتعال المسبق و "الصفع الأعظمي" على عكس الإشعال بالشرارة المنتظم.
- يبين الشكل (2-1) علاقة أرهينيوس البسيطة لتأثير الزمن على الترابط الوظيفي للخصائص الكيميائية ودرجات الحرارة والمقاييس الزمنية.



الشكل (1-1) مخطط الاحتراق المنتظم وغير المنتظم. "الصفع الأعظمي" وهو نتيجة الاشتعال المسبق الذي لا يمكن السيطرة عليه

$$\tau = A * p^{-n} * e^{\frac{B}{T}}$$

$$\int_{t_{IVC}}^{t_{IVC}+t_{SOC}} \frac{1}{\tau(s)} ds = 1$$

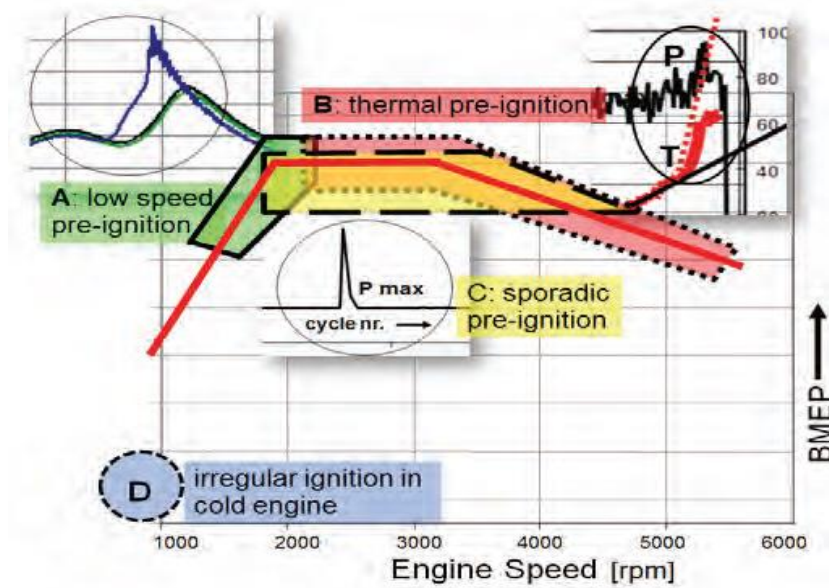
Parameters of influence on igniting a mixture:
 A, B, n: chemical features
 p, T: engine operation: boost, load
 $t_{SOC} \sim$ time to establish thermochemical chain reaction
 t_{IVC} intake valve closure time
 τ : ignition delay time

الشكل (2-1) الاشتعال الذاتي تحت تأثير التفاعلات وحالة تشغيل المحرك

3-1-1- اتجاهات التطوير في المحركات

1-3-1-1- تشخيص الاحتراق غير المنتظم وتحليله

في مخطط سرعة وحمل المحرك، يوجد عدة حالات للاحتراق غير المنتظم، يبين الشكل (3-1) ملخص من تصنيفات عديد من الأبحاث والدراسات للاشتعال غير المنتظم يتم تشخيص الاحتراق عن طريق تطبيق تقنيات القياس على المحركات أو المركبات في ظل ظروف تشغيل عالية الأحمال وتسجيل البيانات لتحديد الأسباب الرئيسية للاشتعال المسبق. وتتبع بتحليل النتائج لتحديد أفضل الإجراءات لتحسين أداء المحرك.



الشكل (3-1) أنواع الاحتراق غير المنتظم وظهورها في خريطة السرعة والحمل.

A: LSPI - اشتعال مسبق عند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك.

B: اشتعال مسبق حراري.

C: اشتعال مسبق متقطع.

D: الاشتعال بواسطة بقايا وقود من الدورات السابقة في بداية التشغيل على البارد.

1-3-1-2- تصنيف الاشتعال غير المنتظم

أ- الاشتعال المسبق عند سرعة منخفضة وحمولة عالية LSPI

البارامترات الرئيسية هي درجة حرارة أسطح غرفة الاحتراق والشحنة وسائل التبريد والرواسب والوقت المتاح لإنشاء التفاعلات الحرارية الكيميائية.

عند العمل على سرعة منخفضة للمحرك وعند التحميل العالي له سيؤدي ذلك لحدوث احتراق LSPI.

لوحظ تحسن عند خفض درجة الحرارة، وتجنب تكوين الترسبات وبقايا من الوقود وزيت دارة التزييت.

عند تحليل ظروف عمل المحرك، يجب الأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

1. تأثير حقن الوقود:

أ. هل الاشتعال المسبق متعلق ببارامترات حقن الوقود؟

2. الاشتعال الحراري بواسطة الأسطح الساخنة:

أ. هل الاشتعال المسبق موجود في مناطق معينة من غرفة الاحتراق؟

ب. هل هي تحت تأثير التبريد؟

3. تأثير الغازات المتبقية:

أ. توقيت الصمامات

ب. الاختلافات والتذبذبات في سرعة الشاحن التوربيني

4. تأثير زيت دارة التزييت

أ. الطبقة الزيتية لبطانة الاسطوانة

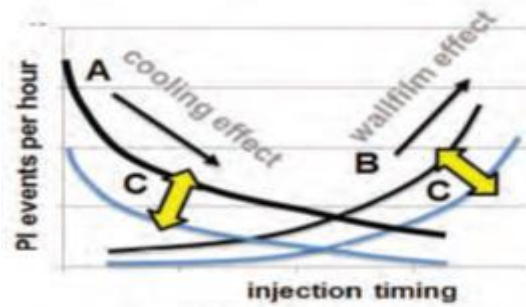
ب. وظائف تهوية علبة المرفق، النفخ، الصمامات.

- تأثير زمن وتوقيت الحقن على الاشتعال المسبق

حواقي الوقود في محركات الحقن المباشر تؤثر على تبريد الشحنة، وتشكيل الرواسب، وفي الحقن المتأخر جدًا، تؤثر على تشكيل طبقات الشحنة.

تُظهر الاختبارات العديدة في محركات الحقن المباشر GDI المجهزة بحواقي تتموضع بشكل جانبي أو في المركز تقليل الميلان لحدوث الاشتعال المسبق كما هو موضح في الشكل (1-4)

من الشكل السابق نلاحظ أن الحقن المتأخر يقلل من مخاطر الاشتعال المسبق عن طريق تأثيرات التبريد للشحنة، ولكنه أيضًا يؤدي إلى زيادة التلامس مع الجدار وتشكيل الرواسب في حال كان توقيت الحقن متأخرًا جدًا مما يزيد من مخاطر الرواسب المؤدية للاشتعال المسبق.



الشكل (1-4): تأثير توقيت حقن الوقود على LSPI

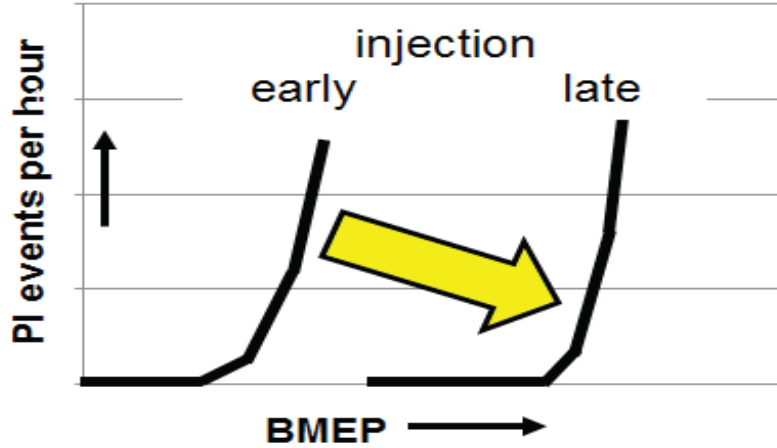
A: التبريد بالوقود المحقون

B: تكوين الرواسب من الوقود المحقون - وملامسة الجدار (تشكل طبقة رقيقة من الوقود على جدار

الأسطوانة) مما يؤدي لاشتعال مسبق لاحق C: تأثير الحاقن

هناك ارتباط كبير بين توقيت الحقن وحدوث الاشتعال المسبق.

باستخدام التوقيت المناسب للحقن تم تحسين متوسط الضغط الفعال حيث ازداد الضغط عن الحدود التي يحدث عندها الاشتعال المسبق، بشرط أن يتم استخدام الحقن المتأخر. يوضح الشكل (5-1) الاستجابة نموذجية لـ BMEP لمثل هذا الاختلاف في توقيت الحقن.

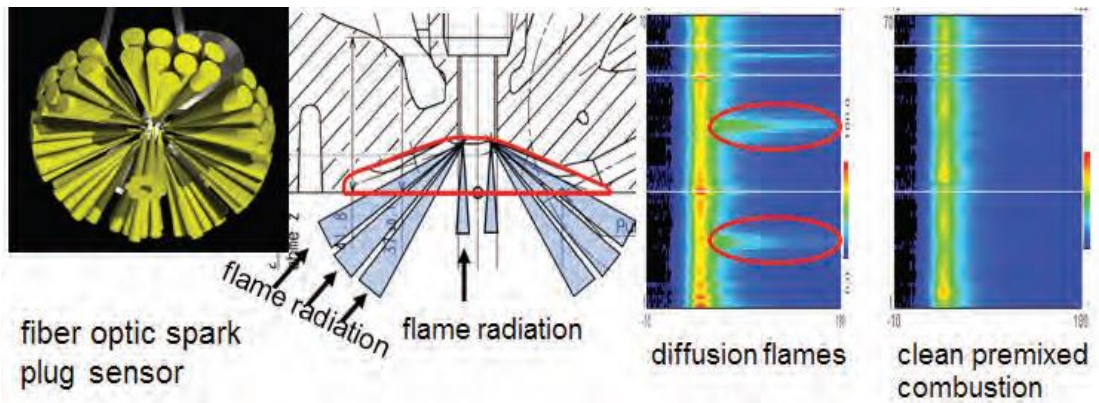


الشكل (5-1): تأثير توقيت الحقن على كل من BMEP و LSPI.

يتم الاختيار الدقيق لبارامترات حقن الوقود لمواجهة مخاطر تكوين الترسبات والاشتعال الكيميائي الحراري الناجم عن الترسبات.

يتم تشخيص تفاعل جدار الرش باستخدام تقنيات تحليل اللهب، يتم تحديد الاحتراق المنتشر عن طريق مستشعرات شمعات الإشعاع المصنوعة من الألياف الضوئية.

يظهر في الشكل (6-1) تكوين حساس متعدد القنوات عالي الدقة مع مقارنة أنماط اللهب النموذجية مع لهب مختلط مسبقًا.



الشكل (6-1): LSPI ضبط حقن الوقود عن طريق تحليل اللهب لتقليل مخاطر الاشتعال المسبق المرتبط بالرواسب وبقياء الوقود، ويتم إجراء تشخيصات اللهب باستخدام مستشعرات شمعات الإشعاع المصنوعة من الألياف البصرية متعددة القنوات.

ب- الاشتعال الحراري

نفس الآلية التي تؤدي إلى الاشتعال عند السرعات المنخفضة (LSPI) تكون نشطة جداً في سرعات المحرك المتوسطة أو العالية عند تفاعل مخروط الحقن مع رواسب دارة التزيت أو بقايا الوقود وغازات الاحتراق من دورات سابقة (نقاط ساخنة).

تعد درجة الحرارة العامل الأكثر أهمية في العلاقات الحركية الأساسية وتفاعلات الاحتراق كما في الشكل (1-2) وتتطلب اهتماماً خاصاً لتقليل مخاطر اشتعال النقاط الساخنة.

يتم اختبار سلوك درجات الحرارة وفقاً لسرعة المحرك والحمل وتغيرات بارامترات الإشعال. يبدأ الاشتعال المسبق من خلال عمليات تسجيل للأحمال والدورات التي يحدث صفع عنيف بها ويتم تحديد مواقع الإشعال للنقاط الساخنة باستخدام مستشعرات شمعات الإشعال الموضحة في الشكل (1-6). ثم يتم تحليل إشعال النقاط الساخنة وإحصاءاتها وتسجيل النتائج لتحسين نقل الحرارة.

ج- الاشتعال المتقطع

تعد الرواسب المتراكمة على أسطح غرفة الاحتراق أو منافذ السحب والطرء خطراً كبيراً للاشتعال المسبق، طالما كانت الرواسب على اتصال وثيق بالأسطح الداخلية للمحرك.

هنالك حالات تؤدي إلى بقايا من عمليات احتراق سابقة يتم تسخينها في شوط الاحتراق في حال لم تخرج عبر صمامات العادم تعمل كمصدر اشتعال ساخن للدورة التالية.

نظراً لأن تكوين الرواسب وانفصالها يصعب التحكم فيه أثناء تشغيل المحرك، فإن تشخيص مثل هذه الأحداث المنفرقة يتطلب إجراءات قياس محددة، وهي تشمل تسجيل البيانات باستمرار في الوقت الحقيقي أثناء حدوثها والتحليل والتخزين الآلي للبيانات لساعات طويلة من اختبارات المحرك.

يبين الشكل (1-7) أهم الرواسب وأسباب نشوئها ونظرة عامة على المصادر المحتملة لظاهرة الاشتعال المسبق ومن بارامترات المحرك الهامة المؤثرة هي كثافة الشحن، والتجانس وخصائص الوقود، وتصميم غرفة الاحتراق، وخصائص الوقود ودرجات الحرارة.



الشكل (1-7) أهم الرواسب وأسباب نشوئها ونظرة عامة على المصادر المحتملة للظاهرة

د- الاحتراق غير المنتظم عند بدء تشغيل المحرك

عند التشغيل على البارد، خاصة عند بداية تشغيل المحرك، يمكن أن يؤدي إغناء الشحنة الزائد بالوقود وسرعة الاحتراق المنخفضة إلى حدوث احتراق مستمر خلال شوط العادم وشوط السحب ويؤدي هذا إلى اشتعال الشحنة الجديدة للدورة اللاحقة وينتج عنه ذروات ضغط عالية ودورات حرارية غير محترقة.

1-1-4- الصعوبات عند التطبيق على المركبات وحلولها

عندما يحدث الاشتعال المسبق في السيارة، يمكن لمهندسي المعايير للمحرك الوصول إلى بارامترات التشغيل المسببة له ومنع نقاط التشغيل الخطرة، أو الاستجابة لمثل هذه النقاط عن طريق التحكم الفوري في المشغلات المناسبة.

تشمل مهام مهندسي المعايير الكشف عن الاشتعال المسبق ودورات الاحتراق غير المنتظم وتعريف بارامترات المشغلات للاستجابة السريعة لمنع حدوث وتصعيد هذه الدورات.

1-1-4-1- طريقة التحليل والمعايرة والاختبارات

أظهر تحليل البيانات في مشروع اختبار أسطول معين أن المركبات كانت عرضة للاشتعال المسبق، وأن التحديد المستند إلى وحدة التحكم الإلكترونية كان خاطئاً، لذلك كان لابد من إيجاد تدابير لتحسين أداء هذه المركبات بشكل أكبر.

أ- طريقة القياس بواسطة عناصر وأجزاء وتجهيزات المحرك

يتم التعامل مع سلوك السيارة والمحرك من خلال معدات تشخيص الاحتراق المجهزة بها المركبة مسبقاً من الشركة المصنعة، وتتيح وحدات التشخيص "المستقلة" هذه الحصول على البيانات لمدة طويلة في أثناء القيادة العادية. يتم تقييم البيانات المسجلة وتحديد نوعية الظواهر ويتم اتخاذ إجراءات للتقليل من هذه الأحداث من قبل وحدة التحكم الإلكترونية.

يمكن تحديد حالات الاحتراق بشكل عام من بعض مكونات المحرك كما هو واضح في الشكل (1-8) تأثير واضح لجودة الوقود على غرفة الاحتراق والمحفز وشمعات الإشعال.



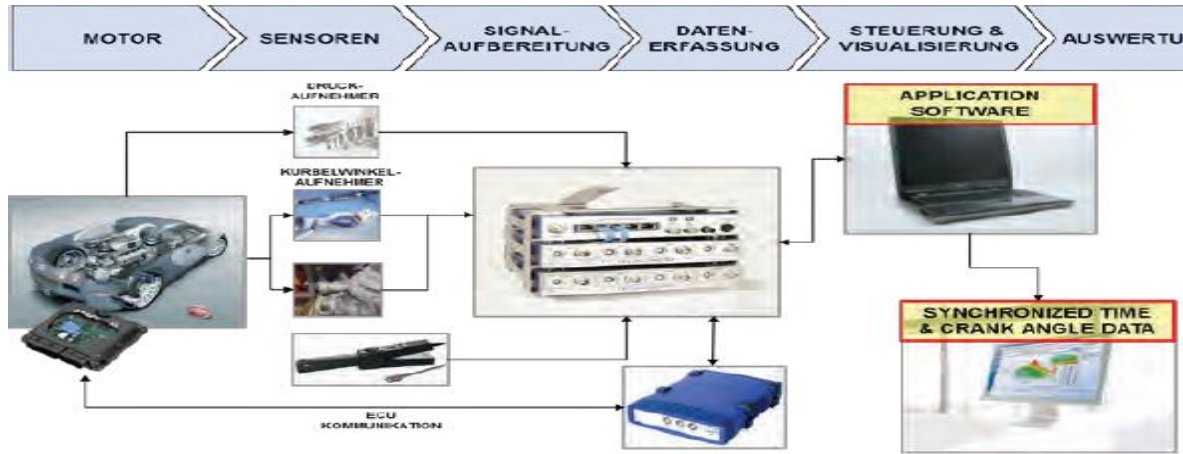
الشكل (1-8) تأثير جودة الوقود على غرفة الاحتراق والمحفز وشمعات الإشعال الشق الأيسر من الصور الوقود المستخدم في الصين أما في الشق الأيمن الوقود المستخدم في دول الاتحاد الأوروبي

ب- الإجراءات على منصة الاختبار السيارة

تم تجهيز المحرك بأجهزة استشعار ضغط وشمعات الإشعال الضوئية لتوفير بيانات مرجعية للاحتراق ويتم تغيير زيت المحرك لكل دورة اختبار.

نظام ال ECU ونظام تشخيص عمليات الاحتراق كانت متصلة عبر OHI - "نظام أجهزة مفتوح" يوفر تكوين النظام هذا تسجيل البيانات بشكل متزامن في كل من وحدة التحكم الإلكترونية ونظام تشخيص الاحتراق.

تقوم وحدة التحكم الإلكترونية الرئيسية بتوليد نقاط التشغيل للحصول على البيانات. وتم إعداد الأجهزة على النحو الوارد في الشكل (1-9) لمقارنة تشخيصات الإشعال لوحدة التحكم الإلكترونية مع بيانات ضغط الاحتراق.



الشكل (1-9): أجزاء ومعدات القياس

ج- طريقة اجراء الاختبار على المنصة

تم إجراء الاختبار عند درجة حرارة المحرك العادية (90°C) وعند التبريد القسري لهواء الشحن (30°C) مع تجريب مجموعة متنوعة من أنواع الوقود.

تم تحديد الاشتعال المسبق عن طريق متغيرات ECU ذات الصلة وبواسطة حساس ضغط الأسطوانة كما تم تسجيلها وتقييمها في نظام تشخيص الاحتراق.

أعقب كل عملية "اكتشاف اشتعال مسبق" البدء بالتسجيل والحصول على البيانات.

د- إجراءات الاختبارات على السيارة

تم اجراء الاختبار على السيارات في وضعين محددين للاختبار.

الوضع 1: 60% لا حمل دوران حر، 30% داخل المدينة، 10% خارج المدينة.

الوضع 2: 70% طرقات سريعة، 30% طرق جبلية.

تم تقييم تأثير الوقود من تحليل عينات الوقود المستخدم مع الأخذ بالحسبان استخدام مواد واطافات محسنة له.

بعد الانتهاء من الاختبارات تم تحليل الزيت وفحص المحرك باستخدام منظار داخلي.

1-1-4-2- طريقة تقييم البيانات

تنشأ أحداث LSPI والاشتعال الحراري المسبق مع صفع قوي ويمكن أن تتجرف الدورات اللاحقة إلى ضغط أكثر خطورة تعرض أجزاء المحرك لخطر التلف والتضرر.

يجب تصنيف هذه الدورات فيما يتعلق بمستويات الضغط عند TDC.

يحدد الشكل (1-10) ثلاث فئات ذات أنماط ضغط عالية -متوسطة - معتدلة



الشكل (1-10): تصنيف 3 فئات من دورات الاشتعال المسبق.

توفر مجموعة بيانات تشخيص الاحتراق ووحدة التحكم الإلكترونية إحصاءات عن:

- عدد دورات الاشتعال المسبق.

- فئة الاشتعال المسبق:

• الكشف الصحيح

• كشف خاطئ

• كشف مفقود

1-1-4-3- تحسين معايرة السيارة

يتم تحسين المعايرة عن طريق:

1. تحديد دورات الاحتراق الحاوية على أحداث الاشتعال المسبق.

2. رد فعل في الوقت المناسب لمنع المزيد من التصعيد للاشتعال المسبق.

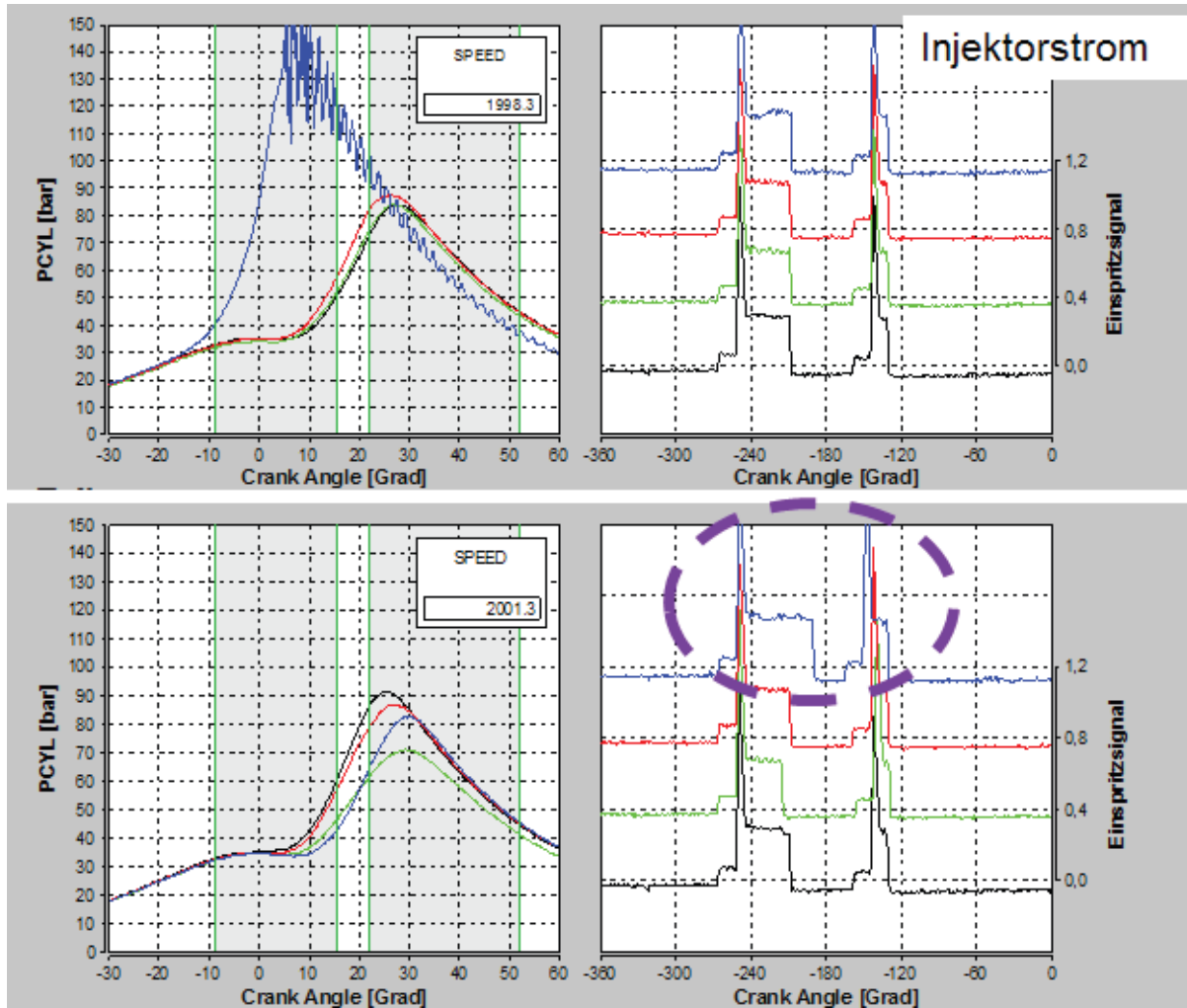
3. إيجاد تدابير للحد من سلبية رد الفعل لتجنب تقلبات عزم الدوران كما هو الحال مع استراتيجيات قطع حقن الوقود.

يتم إنجاز المهمة 3 من خلال استجابة حاقن وقود الأسطوانة ويتبع تحديد حدث الاشتعال المسبق إغناء الشحنة بالوقود في الدورات اللاحقة، يبين الشكل (1-11). آلية حقن الوقود وتأثيره على ضغط الأسطوانة.

إن هذا الإجراء هو الأنسب لتجنب تقلبات عزم الدوران مقارنة بما يحدث مع استراتيجية قطع حقن الوقود.

تتضمن بارامترات الاستجابة الصحيحة درجة إغناء الشحنة بالوقود وعدد دورات الإغناء.

ويتم تقييم أفضل معايير الحقن المناسبة باستخدام تقنيات تحليل اللهب الواردة في الشكل (6-1).



الشكل (11-1): آلية حقن الوقود: يخفض إغناء الشحنة بالوقود الخاص بالأسطوانة درجة حرارة الشحنة ويمنع دورات الاشتعال المسبق اللاحقة من الحدوث

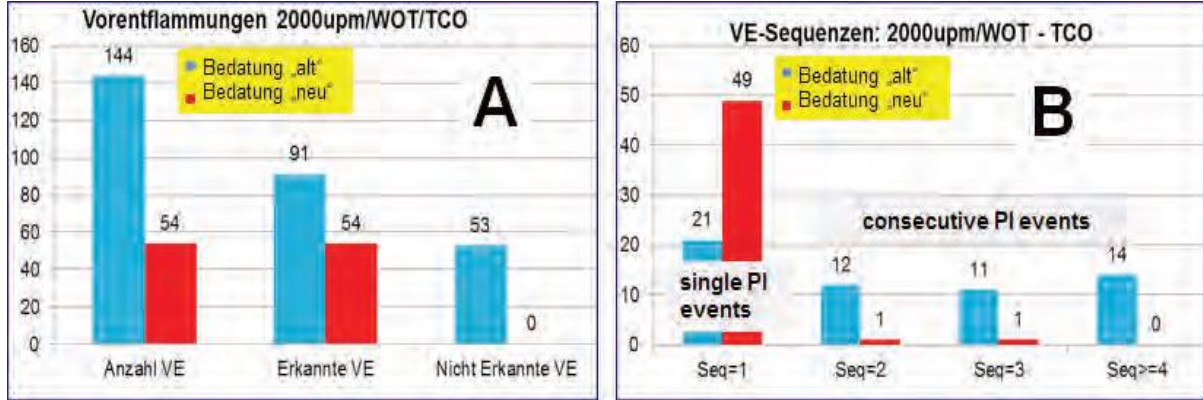
1-1-4-4- نتائج الاختبار على السيارة

أدى تكيف خوارزميات وحدة التحكم الإلكترونية لتقييم ضغط الاحتراق المرتبط بالاشتعال المسبق إلى تحسين معدلات تحديد دورات الاحتراق غير المنتظم بشكل كبير.

يقدم الشكل (12-1) أمثلة إحصائية مع البيانات التي تم تقييمها باستخدام إعدادات البارامترات "القديمة" و"الجديدة".

يوضح اختبار نموذجي في الشكل (12-1) (A) أن 30٪ من أحداث الاشتعال المسبق لم يتم اكتشافها باستخدام إعدادات البارامترات "القديمة". أما عند تطبيق إعدادات البارامترات "الجديدة" على الاختبار السابق تم تجنب حالات فشل التعريف هذه.

بمجرد تحديد الاشتعال المسبق، تستجيب وحدة التحكم الإلكترونية بإغناء الشحنة بالوقود للأسطوانة ذات الصلة. تُظهر حالة الاختبار الواردة في الشكل (12-1) (B) انخفاضاً أفضل بـ 10 أضعاف في أحداث الاشتعال المسبق المتسلسل.



الشكل (12-1): إحصائيات اختبار الاشتعال المسبق

A: جودة الكشف: الطريقة "الجديدة" تظهر جودة الكشف بنسبة 100%. حيث كان المرجع الأساسي للقياس هو ضغط الأسطوانة.

B: جودة الكشف والاستجابة: الأسلوب "الجديد" ينتج عنه انخفاض كبير في دورات الاشتعال المسبق المتسلسل.

1-5-1- الخلاصة

- لقد ثبت أن إغناء الشحنة الانتقائي بالوقود للأسطوانة طريقة ناجحة في الاستجابة للحد من الاشتعال المسبق عبر وظائف وحدة التحكم الإلكترونية، ويوفر انخفاضاً كبيراً في دورات الاشتعال المسبق الثانوية، مع الحفاظ على عزم دوران المحرك المطلوب لقيادة جيدة.
- الشرط الأساسي لاستجابة حقن الوقود هذه هو الاكتشاف والتعرف الموثوق به لدورات الاشتعال المسبق.
- تبين أن الوظائف المحسنة لخوارزميات وحدة التحكم الإلكترونية تحقق هذه المهمة.
- يتم دعم تطوير أجهزة المحرك المقاومة للاشتعال المسبق بتحليل ميزات اللهب عن طريق مستشعرات شمعات الإشعال المصنوعة من الألياف الضوئية.

1-2- دارة بعنوان: تحليل الاشتعال المسبق في محركات البنزين المشحونة قسريا المزودة بنظام الحقن المباشر

Erik Schünemann, Andreas Witt, Markus Selder, Christian Schwarz
Pre-ignition analysis on a turbocharged gasoline engine with direct injection (2013)

1-2-1- المقدمة

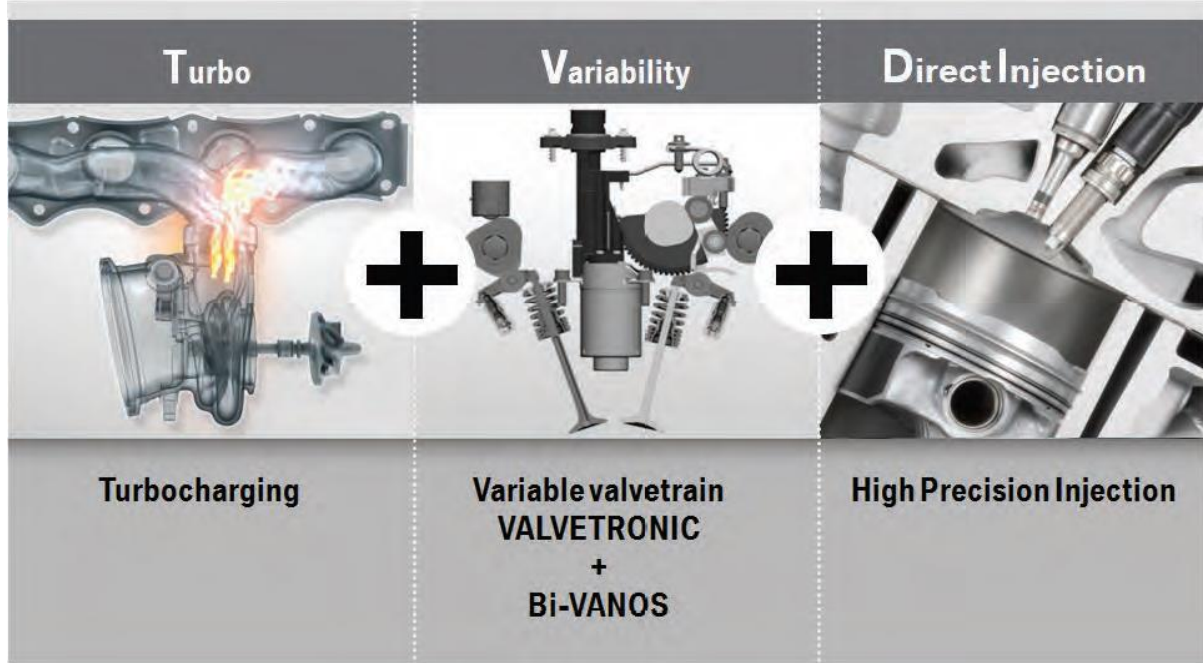
يعد تطوير محركات الاحتراق الداخلي، جزءاً رئيسياً من استراتيجية شركة BMW. تحتوي تقنية BMW Twin Power Turbo على شاحن توربيني، ونظام صمامات متغير بالكامل مع نظام VALVETRONIC و Bi-VANOS، وحقن مباشر للوقود، إلى جانب التخفيض الكبير في استهلاك الوقود بغض النظر عن جودة الوقود المتوفرة محلياً. كما يسمح استخدام تقنية BMW Twin Power Turbo بالامتثال لجميع قوانين انبعاثات غازات العادم الحالية في جميع أنحاء العالم. يمكن تحقيق تحسينات إضافية من خلال زيادة رفع عزم الدوران والاستطاعة النوعية وزيادة نسبة الانضغاط في الوقت نفسه. إن حدوث ظواهر احتراق غير منتظمة عند الأحمال العالية للمحرك مثل الاشتعال المسبق والصفع تعد القيود الحالية لوقف إتمام المتطلبات السابقة. أظهر تحليل الاشتعال المسبق أن أبخرة الزيت المحتوية على زيت المحرك وكذلك الرواسب / الجزيئات الساخنة داخل غرفة الاحتراق أثناء شوط الانضغاط هي مصادر مهمة للاشتعال المسبق. بالتالي فإن أفضل كفاءة تكون عند فصل نظام تهوية علبة المرافق وكذلك منع تكون الرواسب. يتم تحليل الاشتعال المسبق تحليلاً دقيقاً عن طريق قياس الضغط داخل الأسطوانة وتطبيق تقنيات القياس البصري (التتظير عالي السرعة). تتطلب القوانين والتشريعات في أسواق السيارات العالمية أيضاً مزيداً من تخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والملوثات.

على النقيض من ذلك، يرغب العميل في المزيد من ديناميكيات القيادة والراحة والأمان. النهج الاستراتيجي لمجموعة BMW لحل هذا التعارض في الأهداف هو برنامج BMW Efficient Dynamics. إلى جانب الإجراءات التي تنطوي على الديناميكا الهوائية وتقليل الوزن وإدارة الطاقة لذلك فإن التطوير الإضافي لمحرك الاحتراق، سيحظى بأكثر حصة من مجموعة BMW.

1-2-2- نظام عمل: BMW Twin Power Turbo

تستخدم مجموعة تقنيات BMW Twin Power Turbo في المحركات الحالية لمجموعة BMW وسيتم استخدامها أيضاً في الأجيال القادمة من المحركات. بالنسبة لمحركات البنزين، يتكون من العناصر كما في الشكل (1-13):

- الشحن التوربيني
- نظام صمامات متغير بالكامل مع VALVETRONIC و Bi-VANOS
- حقن وقود مباشر عالي الدقة



الشكل (13-1): مكونات تقنية BMW Twin Power Turbo لمحركات البنزين

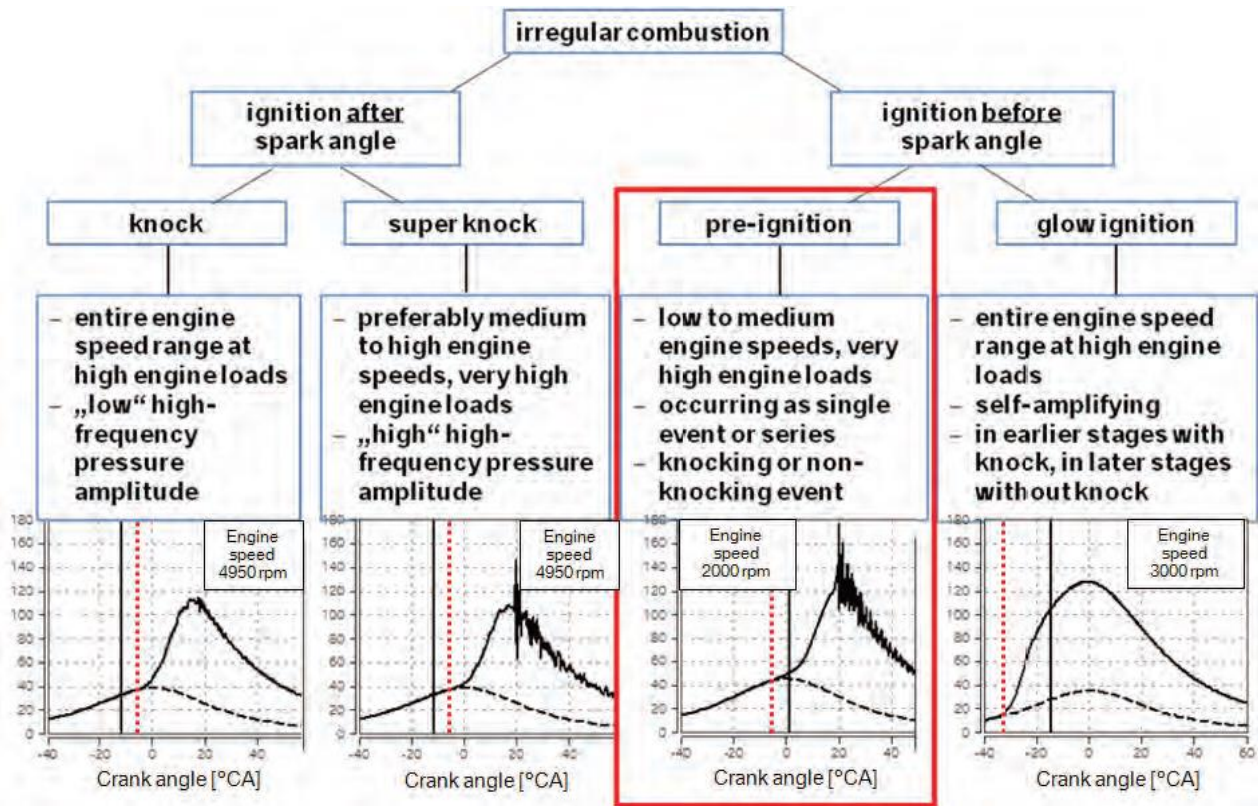
يوفر الجمع بين الشحن التوربيني مع VALVETRONIC و Bi-VANOS و High Precision DI عزم دوران عالياً وقوة مقترنة بمزايا استجابة كبيرة مقارنة بمحركات البنزين ذات الشاحن التوربيني DI بصمام خانق عادي لمجمع السحب. تضمن ضغوط الحقن التي تصل إلى 200 بار تكوين مخروط حقن ممتاز، إن تدفق الوقود من كل ثقب فردي في الحاقن متعدد الفتحات يحقق تجانساً جيداً للخليط وتقليل كمية الوقود التي تبتل الجدران. بالاستفادة من متغيرات Valve train من VALVETRONIC و Bi-VANOS تتيح مزايا استهلاك وقود منخفضة في نطاقات واسعة من خريطة عمل المحرك المميزة وتوفر التدابير الإضافية التي تزيد من مستوى حركة الشحنة على منحنى رفع الصمام بالكامل استقرار الاحتراق الضروري عند الأحمال المنخفضة وكذلك الاحتراق السريع والكامل في نطاق الحمل العالي. وينتج عن هذا استهلاك وقود منخفض مقارنة بالمحركات الأخرى المنافسة.

1-2-3- تصنيف ظاهرة الاحتراق غير المنتظم لمحركات البنزين DI بشاحن توربيني

نظراً لاستهلاك الوقود المنخفض يمكن ان يؤمن المحرك نسب ضغط عالية نسبياً يمكن تحقيقها باستخدام مجموعة تقنيات BMW Twin Power Turbo.

تصل محركات البنزين BMW Twin Power Turbo الحالية إلى عزم دوران نوعي يزيد عن 200 نيوتن متر / لتر واستطاعة نوعية تزيد عن 100 كيلو واط / لتر مع الحفاظ على نسبة ضغط $CR = 9.5$. ومع ذلك، يمكن الوصول إلى إمكانات إضافية فيما يتعلق بزيادة كل من أحمال المحرك النوعية وكفاءة المحرك، وذلك لحد معين من نسبة الانضغاط.

عند زيادة النسبة عن حد معين يؤدي ذلك لحدوث احتراق غير منتظم كما في الشكل (14-1). يمكن تقسيم هذه الظواهر إلى احتراق غير منتظم يبدأ بعد إعطاء الشرارة العادية أو قبلها. عادةً ما يرتبط الاحتراق غير المنتظم مع الإشعال بعد إعطاء الشرارة العادية بالصفع وعندما يكون قبل الشرارة تظهر إما صفعاً عادياً أو صفعاً عظيماً. في حالة حدوث اشتعال قبل إعطاء الشرارة العادية، يمكن تصنيفه إلى اشتعال توهج أو اشتعال مسبق.

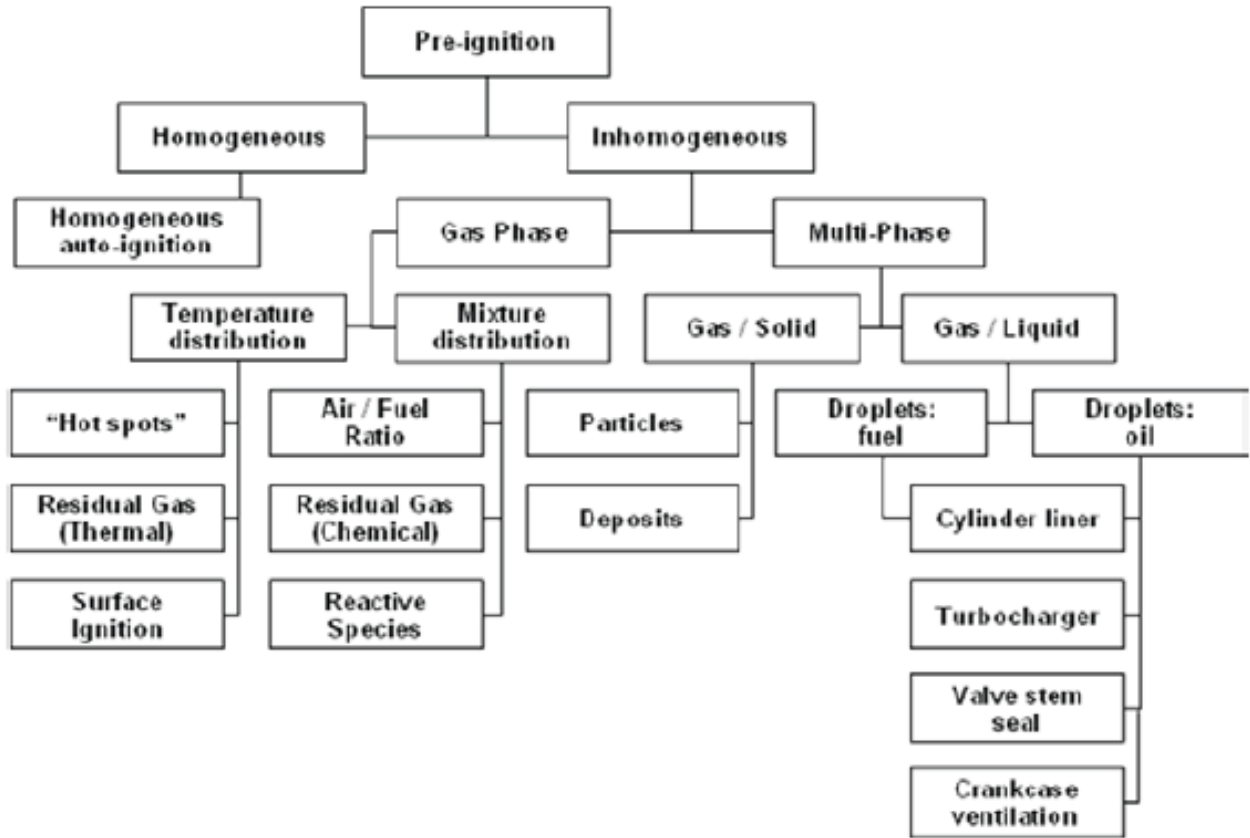


الشكل (14-1): الاحتراق غير المنتظم في محرك البنزين DI بشاحن توربيني

1-2-4- مصادر الاشتعال المسبق في محركات البنزين DI بشاحن توربيني

الاشتعال المسبق هو موضوع عديد من الدراسات الحديثة، يمكن تصنيفها كما هو موضح في الشكل (15-1) نظراً للتعقيد الكبير لظاهرة الاشتعال المسبق، تركز هذه المقالة على دراسة مصدرين محتملين للاشتعال المسبق:

- تأثير النفخ لأبخرة زيت المحرك عن طريق نظام تهوية علبة المرافق.
- تأثير الرواسب وبقايا الوقود.



الشكل (15-1): مصادر الاشتعال المسبق في محركات البنزين DI المزودة بشاحن توربيني

يوضح الشكل (16-1) مواصفات المحرك الذي تم اختباره وأجزائه. يتميز محرك Twin Power Turbo متعدد الأسطوانات بإزاحة 0.5 لتر / أسطوانة، وموضع حاقن DI مركزي مع ترتيب عرضي للحواقن وشمعات الإشعال وتتوضع الحواقن على جانب مجرى السحب أما شمعات الإشعال فتتوضع على جانب مجرى الطرد.

Engine Data	
Bore	84 mm
Stroke	90.1 mm
Compression ratio	10.0
Fuel injection system	DI, multihole injector, central position, 200 bar
Valvetrain	Bi-VANOS, VALVETRONIC
Ignition system	Pencil coil, air-gap spark plug, M12
Turbocharger	Single-Turbo, Twin-Scroll

الشكل (16-1): مكونات المحرك المدروس

1-4-2-1- تأثير النفخ لأبخرة زيت المحرك عن طريق نظام تهوية علبة المرافق على الاشتعال المسبق

تم تجهيز المحرك بفلتر إضافي في مسار هواء الشحن قبل صمام الخانق، المهمة الرئيسية لهذا المرشح الإضافي هي الترشيح الفعال لقطرات الزيت عند الضغط المنخفض. جهاز نظام تهوية علبة المرافق بمسار أول للأبخرة "منخفض الحمولة" لعملية السحب الطبيعي، ويتم إدخال الأبخرة بعد فصل الطور السائل في منافذ السحب. ومسار ثانٍ "عالي الحمولة" للتشغيل بالشاحن التوربيني، حيث يتم إدخال الأبخرة بعد فصل الطور السائل في مدخل الضاغط. تم إجراء جميع قياسات الاشتعال المسبق في نقطة تشغيل ثابتة عالية الحمولة لمدة عدة ساعات في ظل ظروف حدية محددة.

قبل بدء كل مرحلة اختبار، تكون درجة حرارة المحرك ثابتة ومستقرة ويتم تغيير الزيت عند كل دورة اختبار. تم الكشف عن الاشتعال المسبق عن طريق قياس ضغط الأسطوانة من خلال مقارنة بداية الاحتراق بلحظة إعطاء الإشعال بالشرارة.

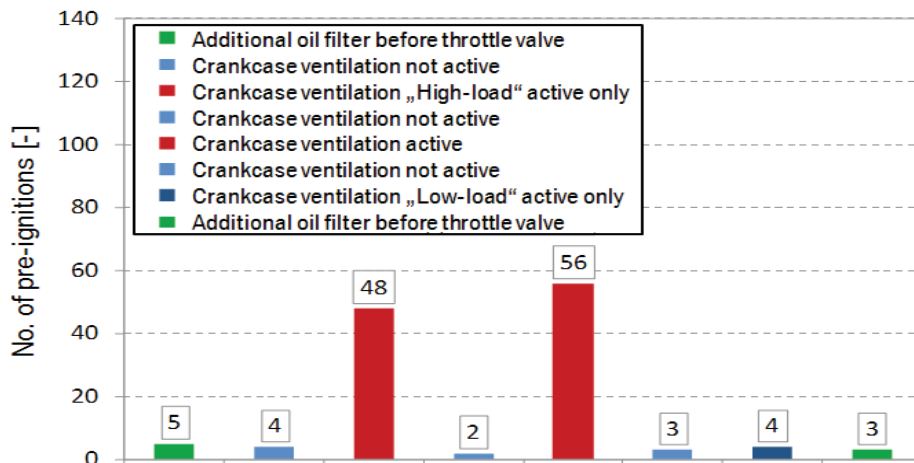
يلخص الشكل (1-17) النتائج. تم ملاحظة زيادة كبيرة في الاشتعال المسبق عندما يكون المسار "عالي الحمل" لنظام تهوية علبة المرافق أو نظام تهوية علبة المرافق الكامل نشطاً، أي عند إعادة إدخال الأبخرة مرة أخرى في المحرك.

أما في نظام تهوية علبة المرافق غير النشط، فإن الأبخرة لا يتم إعادتها إلى المحرك ويقوم الفلتر الإضافي بسد الطور السائل، بالتالي سجل عدد قليل جداً من الاشتعال المسبق.

يؤدي هذا إلى استنتاج مفاده أن:

تحتوي المرحلة السائلة من الأبخرة على مكونات تفرض حدوث الاشتعال المسبق حيث طور الغاز المتدفق لم يتم حظره بواسطة المرشح الإضافي.

أظهر التحليل الكيميائي لمرحلة الغاز المتدفق عدم وجود مكونات حرجية وبالتالي أكد هذه الملاحظة.

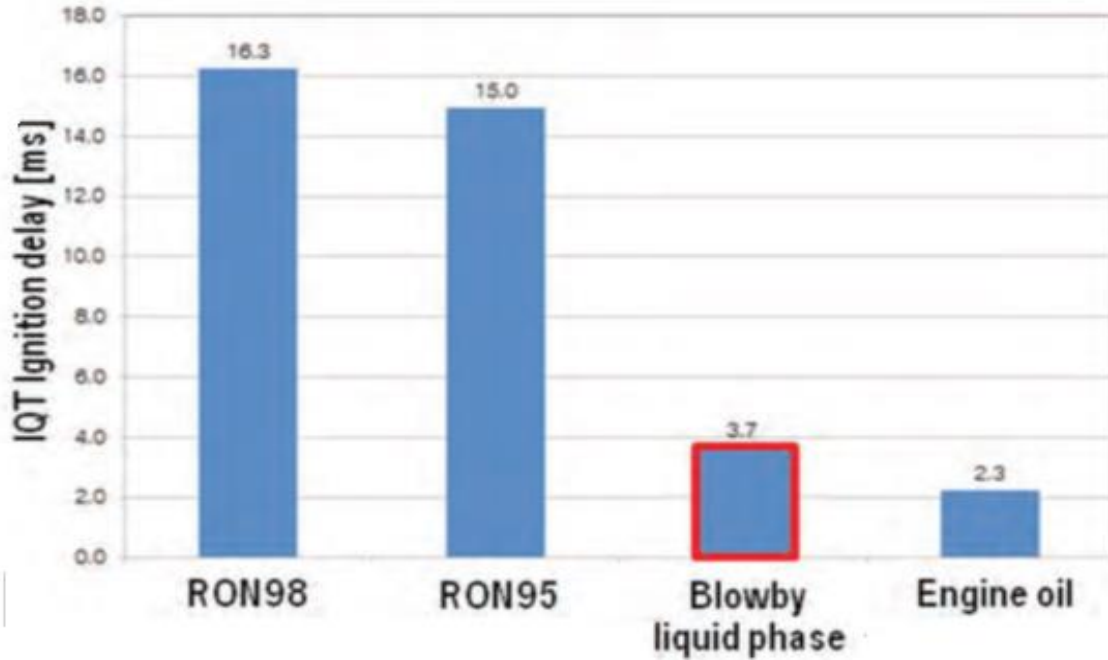


الشكل (1-17): تأثير النفخ لأبخرة زيت المحرك عن طريق نظام تهوية علبة المرافق على عمليات الاشتعال المسبق

أن مصدر الاشتعال المسبق هو الطور السائل، تم إجراء قياسات تأخير الإشعال بعدة خصائص للبنزين مع الأبخرة بالطور السائل.

المرحلة الأولى مع زيت المحرك الأصلي، والمرحلة الثانية مع الأبخرة بطورها السائل.

تم تقصير فترات تأخر الإشعال بمعامل يزيد عن 3 بين المرحلتين السابقتين الشكل (18-1)

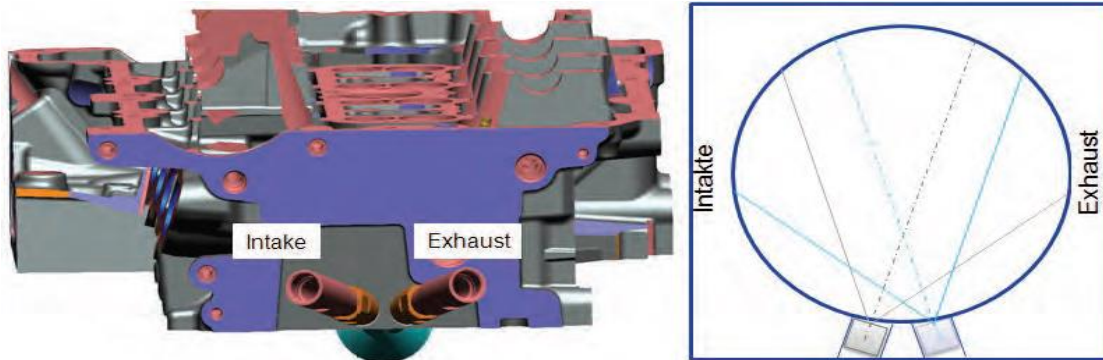


الشكل (18-1): تأخر الإشعال لكل من وقود البنزين والطور السائل لأبخرة الزيت وزيت المحرك

1-2-4-2- تأثير الرواسب على الاشتعال المسبق

من أجل فحص الدور المحتمل للرواسب مصدراً للاشتعال المسبق، تم تجهيز المحرك المذكور أعلاه بمدخل بصري لتطبيق التنظير عالي السرعة على أسطوانة واحدة الشكل (19-1) تم استخدام فتحتين للوصول بالمنظار وإضاءة غرفة الاحتراق وكذلك الوقود المحقون. تمت مزامنة القياسات بالمنظار ومؤشر ضغط الاسطوانة.

تمت كتابة جميع البيانات حيث تحتوي على ما يقرب من 50 دورة قبل الاشتعال المسبق عندما تم الكشف عنه بواسطة نظام الإشارة و 50 دورة بعد دورة الاشتعال المسبق وتم حفظ الدورة المعنية.



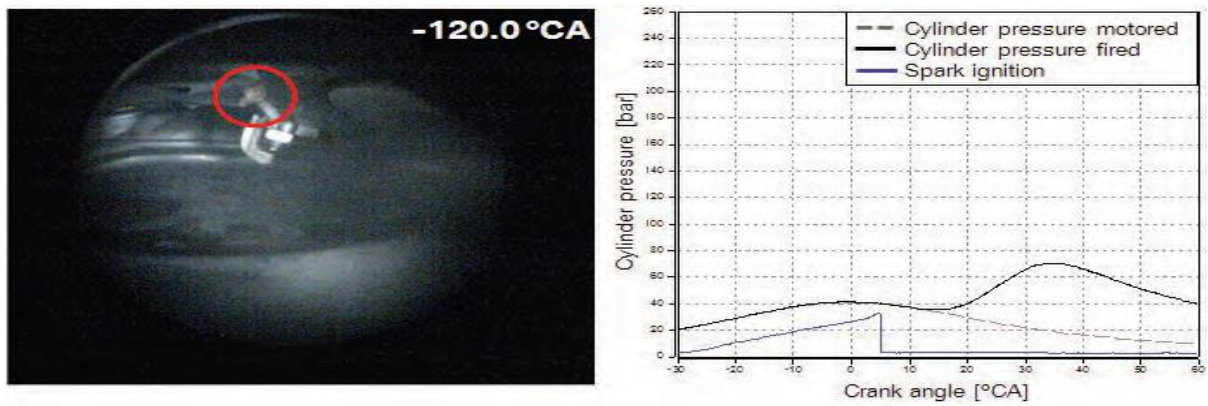
الشكل (19-1): الوصول البصري إلى غرفة الاحتراق للتنظير عالي السرعة

يوضح الشكل (1-20) أنه يتم فصل الرواسب عن جدران غرفة الاحتراق بواسطة حركة الهواء الداخل أثناء شوط الانضغاط.

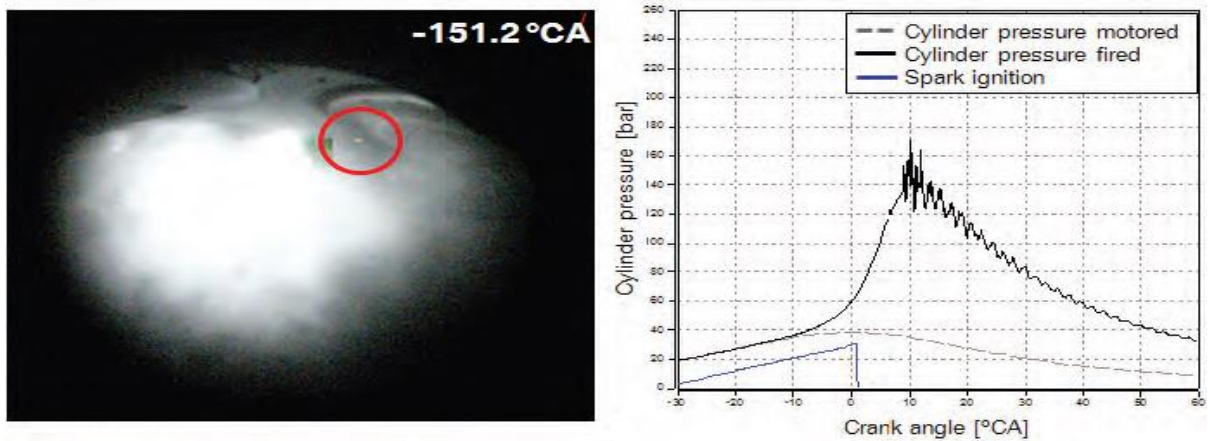
ومن المتوقع حدوث عملية مماثلة أيضًا على أسطح منافذ السحب وصمامات السحب، ويمكن أيضًا أن ينتج فصل الرواسب عن الأسطح من الاهتزازات الناتجة عن الاحتراق.

تصبح الرواسب المنفصلة محمولة بالهواء كجسيمات ويمكن أن تشارك في عملية الاحتراق، إذا لم يتم خروج هذه الجسيمات بالكامل بنهاية عملية الاحتراق وتجاوز صمام العادم، فيجب أن تكون مرئية على أنها انبعاث للضوء، أي جزيئات متوهجة في الدورة التالية ويمكن أن تكون مصدر الاشتعال المسبق.

يوضح الشكل (1-21) مثل هذا الجسيم المتوهج المحمول في بداية شوط الانضغاط لدورة تحتوي على اشتعال مسبق. في هذه الصورة أيضًا يوجد مخروط رذاذ حقن الوقود.



الشكل (1-20): رواسب منفصلة عن جدار غرفة الاحتراق

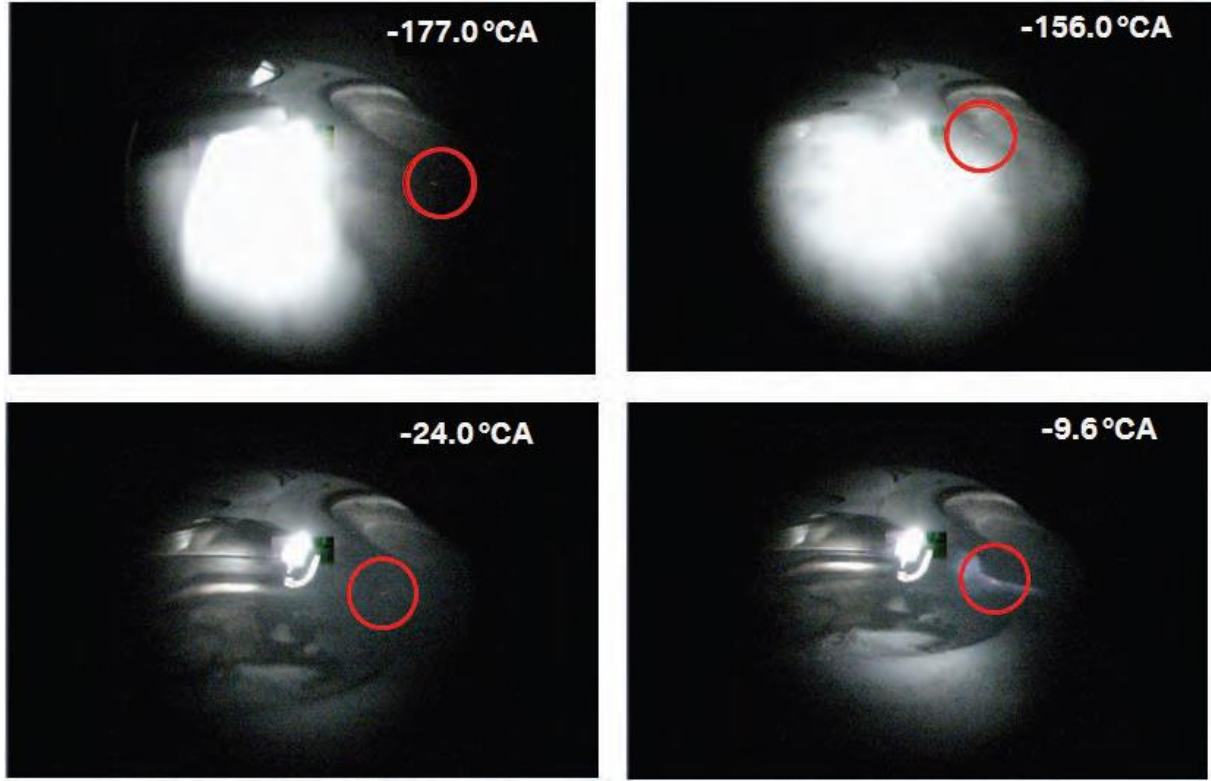


الشكل (1-21) الجسيم المتوهج المحمول في بداية شوط الانضغاط لدورة تحتوي على اشتعال مسبق

يوضح الشكل (1-22) مثالاً أكثر تفصيلاً. في بداية شوط الانضغاط (177°CA BTDC) مع رذاذ الوقود، يكون الجسيم المتوهج المحمول بالهواء مرئياً لأول مرة في هذه الدورة.

وهو موجود أيضًا في المرحلة اللاحقة من الضغط عند (156° و 24° و 9.6°BTDC) ويمكن رؤية مقدمة اللهب الممزوجة مسبقًا بالقرب من الجسيم، مما يؤدي إلى اشتعال الشحنة المضغوطة مسبقًا قبل لحظة إعطاء الشرارة العادية.

وتجدر الإشارة إلى أنه بالنسبة لتكوين وظروف عمل المحرك الذي تم فحصه، فإن ما يقرب من 40 إلى 50 في المائة من الاشتعال المسبق المكتشف كان مرتبطاً بجزيئات متوهجة مرئية في شوط الانضغاط. وبالتالي، فإن منع تكوين الرواسب هو أحد المفاتيح لتقليل مخاطر الاشتعال المسبق.



شكل (22-1): جسيمات متوهجة محمولة في الهواء أثناء شوط الانضغاط تشعل الشحنة مسبقاً

1-2-5- الملخص والاستنتاجات

يعد الجمع بين الشحن التوربيني ونظام الصمامات المتغير مع VALVETRONIC + Bi-VANOS والحقن المباشر عالي الدقة هو التقنية المفضلة لمحركات البنزين الحالية والمستقبلية لمجموعة BMW. توفر محركات البنزين BMW Twin Power Turbo انخفاضاً كبيراً في استهلاك الوقود إضافة إلى ديناميكيات القيادة النموذجية من BMW وتلتزم في نفس الوقت بأكثر قوانين الانبعاثات وتشريعاتها صرامة والعمل مع خصائص الوقود المختلفة في جميع أنحاء العالم. يمكن تحقيق تحسينات إضافية من خلال زيادة عزم الدوران والاستطاعة، وعن طريق زيادة نسبة الانضغاط. لذلك، من الضروري فهم القيود الحالية الناتجة عن حدوث ظاهرة الاحتراق غير المنتظم، مثل الاشتعال المسبق. أظهر تحليل الاشتعال المسبق أن الأبخرة المحتوية على زيت المحرك الذي يتم تغذيته في المحرك إضافة إلى الرواسب والجزيئات الساخنة هي مصادر مهمة للاشتعال المسبق، بالتالي فإن أفضل كفاءة تكمن في فصل نظام تهوية علبة المرافق وكذلك منع تكون الرواسب. يتم دعم تحليل الإشعال دعماً كبيراً من خلال معرفة ضغط الأسطوانة وتطبيق تقنيات القياس البصري والتنظير عالي السرعة.

1-3- الدارسة بعنوان: الصفع والاحتراق غير المنتظم في محركات الشحن التوربيني عالية الأداء

شركة مرسيدس AMG

Benjamin Kraus, Sebastian Wolf, Jürgen Fischer **Knock and irregular combustion –challenges for the new turbocharged, High performance four-cylinder AMG engine (2016)**

1-3-1- مقدمة

يحدد طراز AMG A-Class الجديد "A45 AMG" بمحركه عالي الأداء سعة 2.0 لتر معايير جديدة في الأداء والكفاءة.

يحتوي المحرك M133، وهو محرك رباعي الأسطوانات مثبت بشكل مستعرض، على أساس هندسي من محرك M270 المعروف من مرسيدس بنز.

تم أخذ المكونات المهمة مثل نظام الحقن بالضغط العالي مع الوضع المركزي للحاقن ورأس الأسطوانات ونظام القيادة الإضافي الكامل من محرك السلسلة الأصلية.

لتحقيق الأداء العالي المطلوب، كان من الضروري إجراء تعديلات عميقة للمحرك الأساسي، مثل علبة المرفق الجديدة الكاملة المطورة ودارة التبريد. كما كان لابد من إعادة تركيب أنظمة المداخل والمخارج الخاصة بالتبادل الغازي.

يمثل "A45 AMG" بداية حقبة جديدة من المحركات عالية الأداء من AMG. استنادًا إلى مجموعة أدوات البناء المعيارية من مرسيدس لعائلة M270 / 274، يبلغ استطاعة محرك M133

265 كيلو واط (360 حصانًا) سعة 2 لتر وتبلغ كفاءة استهلاك الوقود 6.9 لترًا فقط لمسافة 100 كيلومتر.

تعد الاستطاعة النوعية التي تبلغ 133 كيلو واط / لتر معيارًا جديدًا للمحركات التي يتم إنتاجها بكميات كبيرة وهي ضمن نطاق محركات السباق.

يجب أن يكون سلوك الصفع مضبوطًا بدقة شديدة للتحكم في هذا المستوى العالي من الشحن التوربيني في المحرك، إضافة إلى أي احتراق غير منتظم يجب تجنبه قدر الإمكان.

في الجزء الأول من المقال، تم شرح صعوبات التحكم في الصفع التقليدي في هذا المحرك. وتم تحليل التأثيرات المحددة لنسبة الانضغاط والضغط الخلفي لغازات العادم ودرجة حرارة غرفة الاحتراق وجودة الوقود وتأثيرها على الحد من الصفع.

يشرح الجزء الثاني حالتين مهمتين من التشغيل للمحرك عالي الشحن التوربيني مع احتمال حدوث اشتعال مسبق. إحدى مراحل التصنيف هي حالة عزم الدوران المنخفض ذات الحالة المستقرة التي تم تحليلها على نطاق واسع. وتم عرض العوامل المؤثرة عليها مثل الكسح والضغط الخلفي وتبريد هواء الشحن وتدرج الضغط فوق المدخل والمخرج ونسبة الانضغاط بالتفصيل.

مرحلة التشغيل الأخرى هي عملية الحمل الكامل الديناميكي العالي جدًا وتحدث أثناء تسارع السيارة مع تغير عزم الدوران بسبب تبديل التروس. ضمن هذا التغيير الديناميكي لسرعة المحرك وحمل المحرك، يمكن أن تحدث عمليات احتراق غير منتظمة في ظل هذه الظروف.

1-3-2- المحرك المدمج عالي الأداء M133

تعد أهداف محرك Mercedes-AMG M133 الجديد، صعوبة التحقيق بسبب الامتثال لتوجيهات Euro 6، وإدخال المحرك في NCCG الصغيرة ("الجيل الجديد للسيارة المدمجة"). يعتمد M133 على M270، وهو محرك إنتاج سيارات مرسيدس-بنز المدمجة. ولكي يكون قادرًا على تقديم زيادة كبيرة في الاستطاعة يجب تكييف عدد من المكونات المهمة للمحرك. أعيد تصميم علبة المرفق بحيث أصبحت مصنوعة بالكامل من الألمنيوم وتم تعديل هيكل المحرك للسماح بزيادة ضغط الأسطوانة بمقدار 150 بار.

تحتوي دارة التبريد الأصلية على عدة مكونات وتم تحسين دارة التبريد غير المباشر للهواء المشحون لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة، خاصة في نطاقات درجات الحرارة المنخفضة. وتم تعديل تبريد المكابس وعلبة المرافق والصمامات ورأس الأسطوانة لتكون قادرة على الحد من الصفع قدر الإمكان لمنع إجهادات أجزاء المحرك. أعيد تصميم أعمدة الكامات لصمامات السحب والعامد للحصول على أقصى عزم دوران للمحرك يبلغ 450 نيوتن متر وخرج أقصى للاستطاعة يبلغ 265 كيلو وات شكل (1-23)

وتم تجهيز نظام الوقود بمضخة ضغط عالي رباعية لتزويد الوقود المحقون بكمية تصل إلى 150 ملغ / شوط. تم تصميم فتحات السحب لأدنى حد من فقدان الضغط وشمل ذلك نظام سحب قصير وكاتم لتبديد صوت السحب وتم تطوير التصميم الأمثل لمشعب غاز العادم مع شاحن توربيني مزدوج المجرى. استخدم في نظام العادم والمحفز المقاطع العرضية الكبيرة لتقليل الضغط الخلفي وتوفير تبادل فعال لغاز العادم.

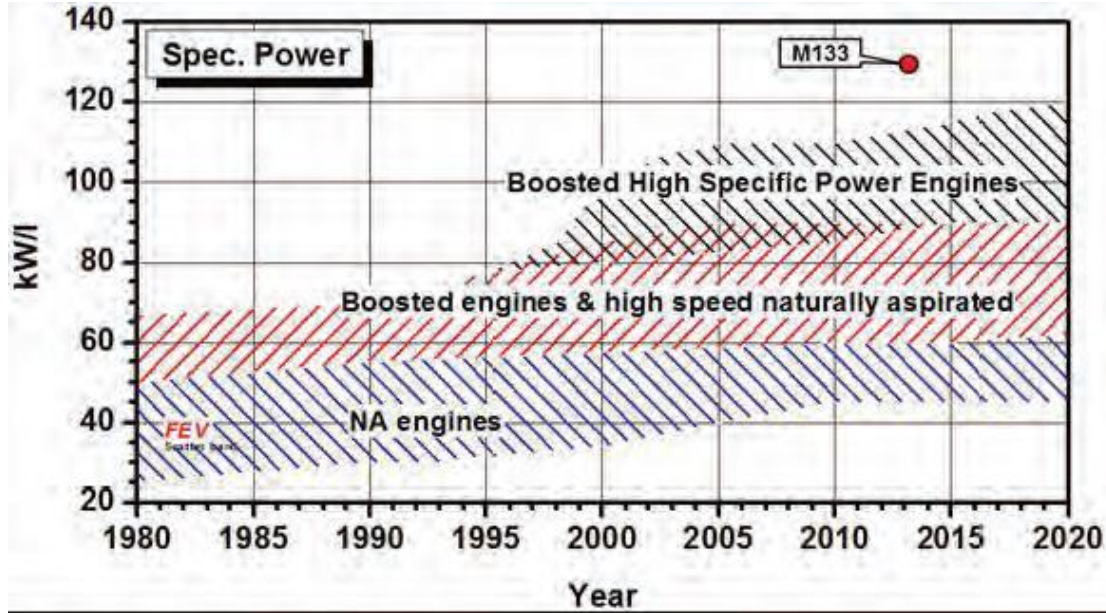
Attribute	Data	Unit
Engine model	M133	
Engine layout	R4	
Displacement	1991	cm ³
Bore	83	mm
Stroke	92	mm
Cylinder distance	90	mm
Rated Power	265	kW
@ engine speed	6000	1/min
Rated torque	450	Nm
@ engine speed	2250 - 5000	1/min
Maximum engine speed	6700	1/min
Compression ratio	8,6	
Valves per cylinder	4	
Maximum boost pressure (relative)	1,8	bar
Weight (DIN 70020-GZ)	147,8	kg
Fuel type	RON98	



الشكل (1-23): بيانات المحرك الأساسية M133

يُعد المحرك M133 معياراً قياسيًّا لعام 2016 باستطاعة نوعية تبلغ 133 كيلو وات / لتر ويمثل حداثة كاملة بين محركات الإنتاج المتسلسلة.

يتضح هذا اتضاحاً مثيراً للإعجاب من خلال نظرة سريعة على مجموعة FEV. فقد تجاوز النطاق بشكل كبير من عام 2016 المحددة لمعدل الاستطاعات النوعية لمحركات البنزين الشكل (24-1).



الشكل (24-1): مجموعة FEV - الاستطاعات النوعية لمحركات الاحتراق

1-3-3-3- سلوك الصفع

العوامل الرئيسية التي تؤثر على سلوك الصفع للمحرك هي:

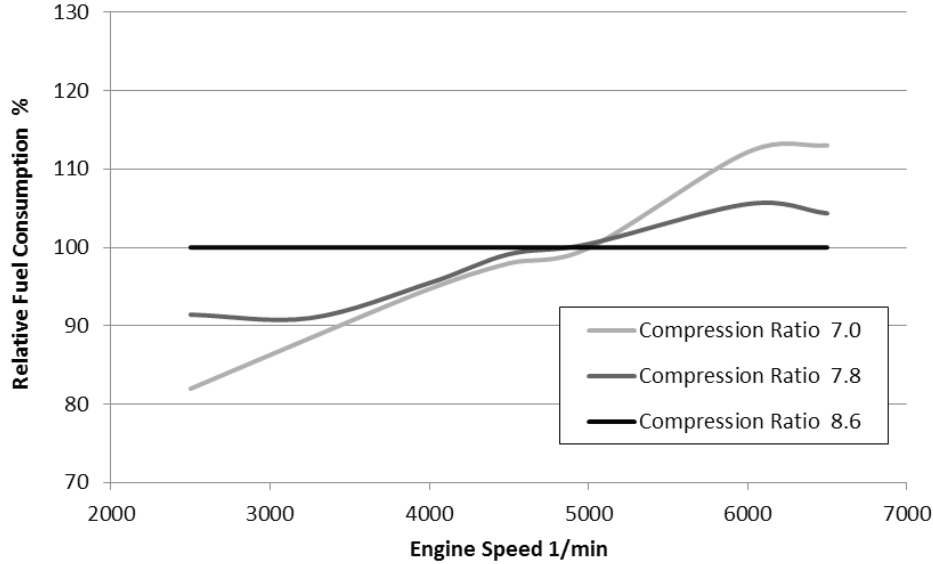
- نسبة الانضغاط
- الضغط الراجع لغاز العادم وتبادل الغازات
- درجة حرارة غرفة الاحتراق
- جودة الوقود
- ضغط الشحن للهواء
- توقيت الصمامات ودرجة خلط الهواء بالوقود
- حركة الشحن
- قطرات الزيت في غرفة الاحتراق

1-3-3-1- نسبة الانضغاط

تؤثر نسبة الانضغاط إلى حد كبير على سلوك الصفع للمحرك، نسب الانضغاط العالية تعطي أفضل كفاءة ممكنة لعمليات التشغيل عند التحميل الجزئي.

في الوقت نفسه، تكون نسبة الانضغاط محدودة عند حالات التحميل الكامل. ومع ذلك، أثبتت التجربة أن نسب الانضغاط المنخفضة أيضاً في عملية التحميل الجزئي محدودة.

يمكن تفسير ذلك نتيجة للتبادل الغازي غير المناسب وانخفاض كفاءة الدورة الإجمالية. عامةً، يؤدي تقليل نسبة الانضغاط أيضاً إلى تقليل درجة الحرارة النهائية لشوط الضغط، والتي بدورها تقيد الحد من الصفع. سرعة المحرك لها تأثير كبير على الظواهر الموصوفة أعلاه، لذلك تم تعديل إعدادات المحرك للحصول على أقصى ظروف تشغيل فعالة للاستطاعة والكفاءة المتاحة المقابلة بين الشكل (1-25) ذلك.



الشكل (1-25): كفاءات الحمل الكامل لـ $\epsilon = 8.6 / 7.8 / 7.0$ على التوالي

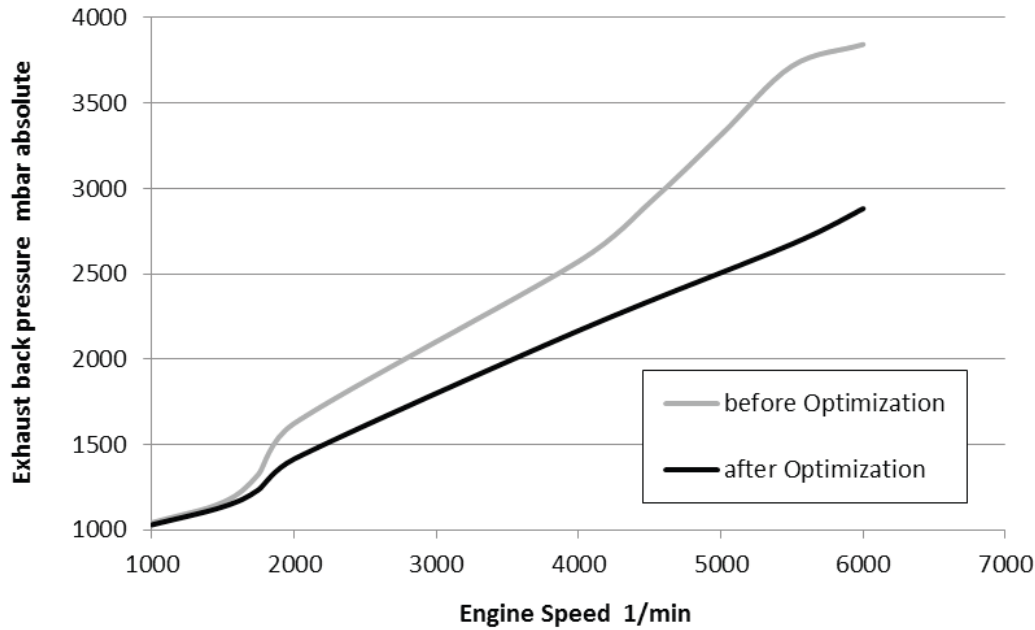
تم الوصول إلى أفضل كفاءة تحميل كاملة عند نسبة انضغاط تبلغ $\epsilon = 8.6$. النسب المنخفضة للانضغاط تسمح بتسبيق أكبر للحظة إعطاء الشرارة لسرعات المحرك في حدود 5000 إلى 6000 دورة في الدقيقة. ومع ذلك، لم ينتج عن ذلك كفاءة احتراق أفضل نظراً لارتفاع نسبة غازات العادم المتبقية.

أما في نطاق سرعة المحرك من 2500 إلى 4500 دورة في الدقيقة، نسب الانضغاط المنخفضة تحقق كفاءة عالية في هذه الظروف، يمكن تغيير حد الصفع. مع نسبة ضغط تبلغ 8.6، يتمتع المحرك M133 بأفضل كفاءة تحميل جزئية ممكنة ويحقق في الوقت نفسه استهلاكاً للوقود يبلغ 350 جم / كيلو وات ساعة في حالة التحميل الكامل. لذلك تم اعتماد نسبة الانضغاط هذه في سلسلة الإنتاج.

1-3-2- الضغط الراجع لغازات العادم

يعد التقليل من إعادة تدوير غاز العادم الداخلي إجراءً مهماً لتعزيز الحد من الصفع يتطلب هذا إعادة التصميم الميكانيكي لأعمدة الكامات إضافة إلى إعادة ضبط توقيت الصمام. الضغط الراجع لغاز العادم نفسه له أيضاً تأثير كبير على هامش الصفع. تمت إعادة تصميم نظام العادم بنظام عادم أحادي التدفق بالإضافة إلى محفز ترادفي (5.66) بوصة.

حقق نظام العادم بشكله الكامل مستوى ضغط خلفي أقل من 500 ملي بار. للحصول على كفاءة الشحن المطلوبة، تم تحسين الشاحن التوربيني ثنائي المجرى مصحوباً بالمشعب منفصل التدفق، وتم اجراء عمليات المعايرة وتحديد المقاطع العرضية للحصول على أقصى خرج للطاقة وأفضل استجابة ممكنة في نفس الوقت. أدت جميع التعديلات مجتمعة إلى خفض الضغط الراجع إلى قيمة مطلقة قدرها 2.8 بار، وهو عامل مساهم مهم في الاستطاعة النوعية العالية الشكل (1-26).



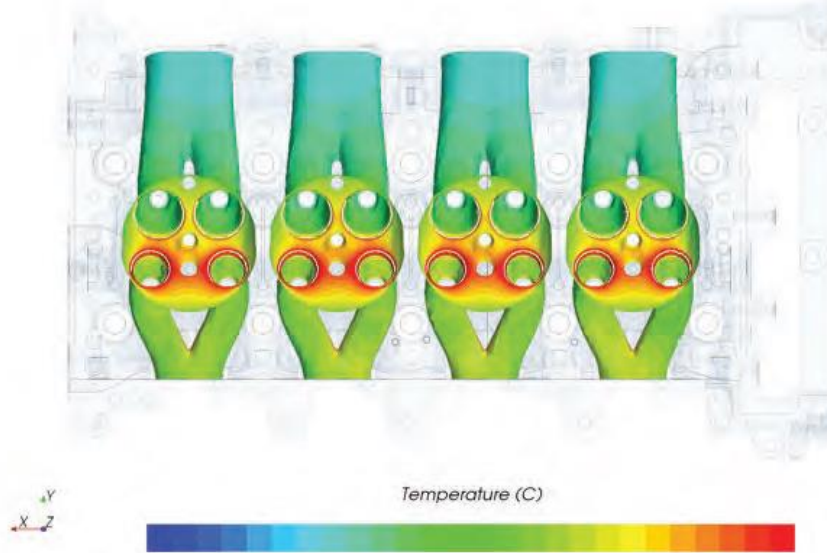
الشكل (1-26): الضغط الخلفي لغاز العادم قبل التحسينات وبعدها

1-3-3-3- درجة حرارة غرفة الاحتراق

لتقليل قابلية الصفع يجب تخفيض درجات حرارة الأسطوانة قبل الاحتراق وأثناءه. تدعم عملية الاحتراق المباشر نظام بيزو للحقن المباشر وتؤمن استراتيجية الحقن هذه الانخفاض المطلوب في درجة الحرارة. يعمل نظام تبريد الهواء المائي الفعال على خفض درجة حرارة هواء الشحن. حتى في حالة التشغيل بالحمل الكامل، يمكن الحصول على أقصى درجة حرارة لمدخل هواء الشحن لا تزيد عن 25 كلفن عن درجة حرارة الهواء الجوي المحيط. تعد درجات حرارة سطح الأسطوانة المبردة عاملاً رئيسياً يسهم في تقليل حدوث الصفع. بسبب هذا التأثير الكبير، كان التصميم الجيد لدارة التبريد حول الأسطوانة عاملاً مهماً في عملية التطوير. يوضح الشكل (1-27) نتائج عملية التصميم. الغلاف المائي المعاد تصميمه وتحسين تبديد الحرارة أدى إلى توزيع أمثل لدرجة الحرارة في رأس الأسطوانة، تؤدي إجراءات التبريد هذه إلى انخفاض درجة حرارة غرفة الاحتراق.

يسهم الموضع المختار لصمامات السحب والعامد والحاقن وشمعة الإشعال أيضاً في التوزيع المفيد لدرجات الحرارة.

تحدث أشد درجات الحرارة داخل الأسطوانة عند صمامات العامد وحول شمعة الإشعال وذلك بسبب إشعال خليط الهواء والوقود في هذه المنطقة بينما يصل سطح الأسطوانة في المناطق البعيدة عن موقع الشرارة إلى درجات حرارة أقل بكثير. لا يتوقع حدوث الصفع في هذه المناطق.



الشكل (1-27): توزيع درجات حرارة السطح لرأس الاسطوانة

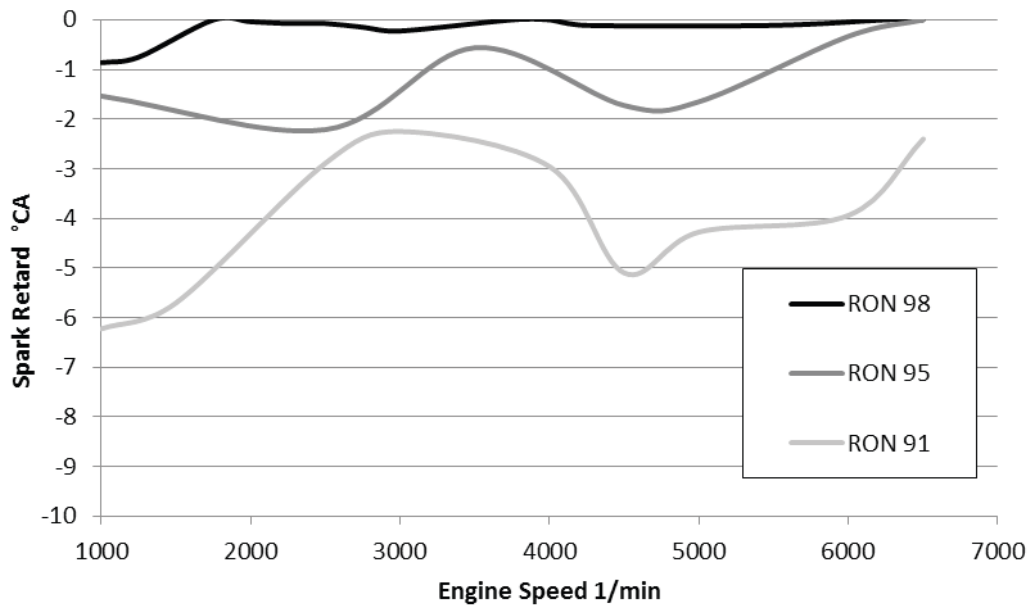
1-3-3-4- جودة الوقود والتحكم في الصفع

يعمل محرك M133 بشكل أفضل على البنزين الخالي من الرصاص (RON 98). تم اختبار الوقود الذي يحتوي على نسبة منخفضة من RON والتحقق من صحة عمل المحرك فيما يتعلق بالتحكم في الصفع وظهوره. حيث تم اختبار جميع أنواع الوقود العادية وصولاً إلى RON 91. تم استخدام حساسين للتحكم في الصفع، تم تركيبها بين الاسطوانة 1 و 2 وبين الاسطوانة 3 و 4، يتم ترشيح إشارات الحساسات بواسطة مرشح منع التشويش وبعد ذلك يتم تضخيمها وتحويلها إلى إشارات رقمية. نفذت الخطوات في معالجة الإشارات باستخدام مرشحات مبرمجة محددة.

يمكن المعايرة بشكل مستقل وتخزين الاشارات لكل أسطوانة أيضاً. يمكن لوظيفة التحكم في الصفع ضبط حدوده لكل نقطة تشغيل ثابتة عن طريق التحكم في التغذية الأمامية التي تستخدم بيانات خرائط المحرك المخزنة كامتداد لخوارزمية التعلم التكيفي في وحدة التحكم الإلكترونية. يمكن لهذه الوظيفة تحليل حالات حدوث الصفع ومعالجتها لأي انحراف عن نقاط عمل المحرك الأصلية وخرائط التحميل وعلى هذا النحو يمكنه إنشاء خرائط جديدة تحتوي على قيم معدلة لهامش صفع معين عند نقاط عمل معينة لهذا المحرك.

من الشكل (1-28) أن وقود RON المنخفض له أكبر تأثير على الصفح M133 في عملية التحميل الكامل وتأخير الإشعال يتسبب في انخفاض كفاءة الاحتراق، والذي يمكن تعويضه جزئياً فقط عن طريق زيادة ضغط هواء الشحن.

وظيفة التحكم الثانية في وحدة التحكم الإلكترونية يمكنها تحديد أنواع وقود الـ RON المنخفضة بناءً على خريطة البيانات هذه، يمكن تغيير وتعديل خريطة توقيت الإشعال على الرغم من أن تأخير الإشعال ونظام تبادل الغازات المصمم جيداً ونسبة الانضغاط البالغة 8.6 يوفران أداءً مقبولاً لوقود RON91. يبلغ عزم الدوران الأقصى 450 نيوتن متر عند 3500 دورة في الدقيقة وحوالي 90٪ من الاستطاعة الأسمية عند استخدام وقود RON91.



الشكل (1-28): تأخير لحظة إعطاء الشرارة في الحمولة الكاملة لـ RON 98 و 95 و 91

4-3-1- الاشتعال المسبق

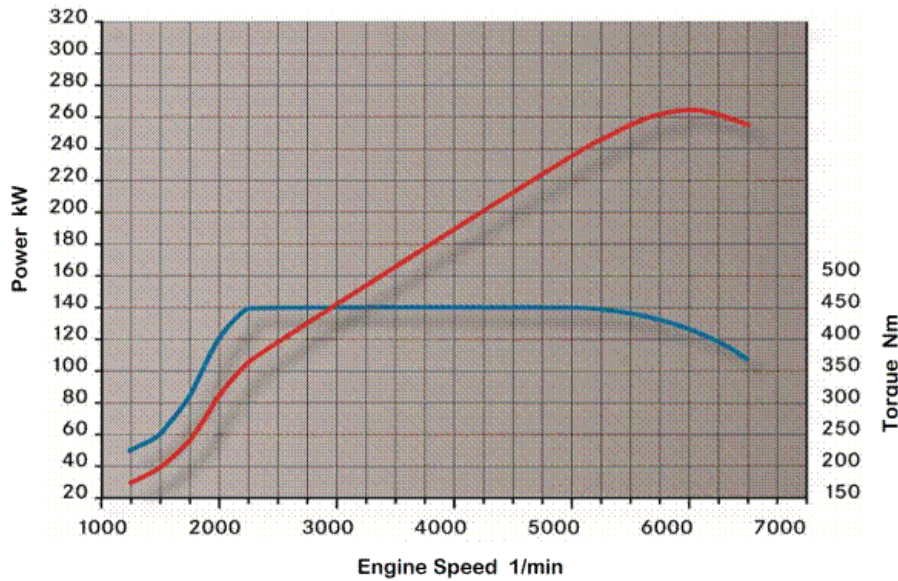
تقلل الإجراءات المتبعة في اكتشاف حدوث الصفح والتحكم فيه الأضرار السلبية الناتجة عنه إلى حد كبير في حالة حدوث صفح.

تؤدي أحداث الاشتعال المسبق إلى أضرار جسيمة، حيث هو احتراق غير منتظم، يحدث عادة نتيجة لدرجات ضغط شديدة بالإضافة إلى ارتفاع سريع في درجة الحرارة.

يمكن أن يؤدي هذا إلى أضرار كبيرة للمكبس والصمامات وشمعات الإشعال وتلف لاحق للمكونات الأخرى. يزداد احتمال حدوث الاشتعال المسبق مع ارتفاع ضغوط الشحن. كما أن للتخطيط الحراري للمحرك تأثيراً واضحاً على عمليات الاشتعال المسبق.

1-4-3-1- الحالة المستقرة للاشتعال المسبق

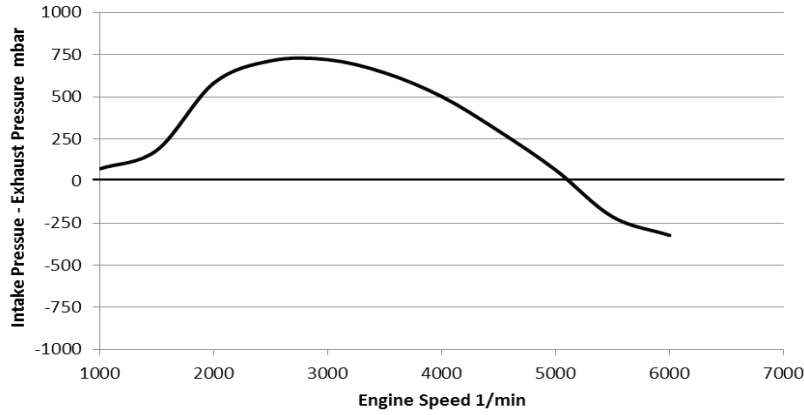
بالنسبة للمحركات المشحونة بشاحن توربيني، فإن أكثر ظروف التشغيل حساسية لحدوث الاشتعال المسبق هي منطقة عزم الدوران المتوسطة والعالية عند سرعات الدوران المنخفضة. عند النطاق الأدنى لسرعة المحرك مع عزم دوران مرتفع، ينتج عنه سرعة صغيرة لحركة الشحنة ومستوى اضطراب منخفض وفقاً لذلك. زمن عملية اكتمال احتراق خليط الهواء والوقود يكون أكبر. كما يؤدي ارتفاع ضغط الشحن إلى ارتفاع ضغط الأسطوانة ويميل غاز العادم إلى الركود عند مدخل التوربين، مما يتسبب في زيادة الضغط الخلفي ويؤدي إلى نسب عالية متبقية من غاز العادم. كل هذه العوامل تسهم اسهماً سلبياً في توفير الشروط الحدية المطلوبة للاشتعال المسبق. الاختيار المناسب لنسبة الانضغاط عند عملية التحميل الكامل، يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة أثناء شوط الانضغاط، مما يؤدي إلى حساسية أقل للاشتعال التلقائي الناجم عن الجزيئات أو بقايا الزيت. كما أن التصميم الأمثل لمفهوم الشحن التوربيني عالي الأداء يحقق أيضاً تأثيراً إيجابياً على حدوث الاشتعال المسبق على الرغم من أن تصميم الشاحن التوربيني أحادي المرحلة مناسب للحصول على أقصى مدى للاستطاعة، حيث يمكن الحصول على أقصى عزم دوران يبلغ 450 نيوتن متر بدءاً من سرعة محرك تبلغ 2250 دورة في الدقيقة وبالتالي يتم تجنب الاشتعال المسبق، الذي يقل عن 2000 دورة في الدقيقة الشكل (1-29).



الشكل (1-29): منحنى العزم والاستطاعة لمحرك M133

الشحن التوربيني عالي الأداء يسهم في انخفاض الضغط الخلفي على كامل نطاق سرعة المحرك. كما يسهم التصميم الأمثل للمقاطع العرضية للسحب والعادم في هذا الانخفاض في الضغط. حتى سرعة المحرك التي تبلغ حوالي 5000 دورة في الدقيقة، يكون ضغط السحب أعلى من ضغط مشعب العادم.

هذا يسهم بشكل إيجابي في الشحن الأمثل وانخفاض الغاز المتبقي في الأسطوانة الشكل (1-30).



الشكل (1-30): انخفاض الضغط (مجمع السحب - مجمع العادم)

يفيد تبريد هواء الشحن الفعال بتخفيض درجات الحرارة داخل الأسطوانة ويساهم أيضًا في خصائص استجابة الشاحن التوربيني المناسبة. يوفر حاقن البيزو واستراتيجية الحقن المتعدد تحضير خليط جيد وتجنب ترطيب جدار الأسطوانة بالوقود وتخفيف بقايا الزيت.

تسهم هذه الترتيبات في الحد من حالات الاشتعال المسبق وبالتالي ضمان التشغيل الآمن. تم اختبار المحرك بشكل مكثف للتأكد من متانته على منصات الاختبار وسيارات الاختبار. نجح المحرك في الاستمرار واجتياز جميع الاختبارات التطبيقية.

1-3-4-2- الحالة غير المستقرة للاشتعال المسبق

لا يحدث الاشتعال المسبق والحالات الخطرة له في ظروف ثابتة ويمكن أن تكون ناجمة عن عمليات ديناميكية وعابرة غير مستقرة.

إشارات تخفيض عزم الدوران القادمة من وحدة التحكم الإلكترونية لصندوق التروس أو وحدة التحكم الإلكترونية لنظام ال ABS / ESP تسبب حملاً حرارياً مرتفعاً بسبب السلوك الديناميكي العالي للمحرك.

خلال هذا الإجراء ينتج عن ذلك قياسات غير صحيحة وكمية خاطئة من إمداد الوقود لذلك تم تجهيز المحرك M133 بنظام قطع الوقود لأسطوانات المحرك لظروف التحميل العالية.

إذا كانت الشروط لمثل هذه العملية تطبق على إمدادات الوقود على سبيل المثال يتم قطع اثنتين من الأسطوانات الأربعة وبالتالي لا توفر هذه الأسطوانات أي خرج طاقة.

ولوحظت زيادة في الاشتعال المسبق غير المنتظم أثناء هذه الظروف المتطلبة تقليل عزم الدوران المطلوب بالاشتراك مع قطع الوقود.

كما تؤدي عملية تغيير التروس إلى تدرجات عالية لسرعة المحرك (تصل إلى 15.000 دورة في الدقيقة / ثانية) إضافة إلى طلب عزم الدوران المنخفض.

تتطلب هذا الإجراءات الديناميكية أيضاً بيانات دقيقة جداً ترسل لوحدة التحكم من أجل أن تحسب الوحدة توقيت الحقن والإشعال الصحيح.

1-3-4-3- منع حدوث الاشتعال المسبق

يحتوي برنامج M133 ECU على وظيفة الكشف عن الاشتعال المسبق. تقوم هذه الوظيفة بتحليل إشارات حساس الصفع في إطار زمني معين قبل وقت طويل من حدوث عمليات صفع فعلية. يمكن الكشف عن أحداث الاشتعال المسبق من خلال مستوى صوتها القوي عالي التردد، تتيح وظائف الكشف هذه، خاصة عند عمليات الحالة المستقرة، بدء الإجراءات المضادة.

تعتمد الإجراءات المضادة المناسبة على الإشارة المقاسة والسمة المشتقة للحدث المتوقع. يمكن لهذه التدابير في كثير من الحالات منع تلف المحرك، التدابير المضادة هي تخفيض الحمل المؤقت أو قطع الوقود عن الأسطوانة.

أما في عمليات الحالة غير المستقرة للاشتعال المسبق لا تكفي هذه الإجراءات التفاعلية. في حالة شبه ثابتة ومستقرة تكون عمليات الاحتراق خارج نطاق عزم الدوران الحرج وعادة ما تكون أحداث الاحتراق اللاحقة غير منتظمة بطبيعتها.

تم تنفيذ هذا النظام ب "طريقة تحليل احتمالية حدوث الاشتعال المسبق" التي تم تطويرها خصيصاً لـ M133. الطريقة تتضمن نهجين.

نهج أول يزيد من سرعة انتشار اللهب.

النهج الثاني التكيف مع تسلسل الإشعال.

أظهرت الأبحاث أن احتمال الاشتعال المسبق أثناء قطع الوقود عن الأسطوانة يتناقص إذا احتوت الأسطوانات المشتعلة على خليط غني من الوقود والهواء، حيث تزيد نسبة الوقود من سرعة انتشار اللهب وتم الوصول إلى أكبر سرعة احتراق عند لا ما 0.90 ويتم عندها تقليل حدوث الاشتعال المسبق بنسبة 80%.

الطريقة الثانية، تسلسل الإشعال المعدل، تقلل من عواقب الاحتراق المتأخر. إذا تم الكشف عن احتراق متأخر، تغيير وحدة التحكم الإلكترونية إلى استراتيجية خاصة لقطع الوقود عن الأسطوانة.

لهذه الاستراتيجية، تستخدم الأسطوانات المقطوعة نمطاً خاصاً. يضمن هذا النمط أن الأسطوانة التي تحتوي على حدث الاحتراق المتأخر لا يتبعه اشتعال مسبق.

حقق كلا النهجين مجتمعين انخفاضاً كبيراً في الاشتعال المسبق وعمليات الحالة غير المستقرة للاشتعال المسبق. لذلك يمكن للمحرك أن يعمل جيداً ضمن حدود تصميم التحميل بغض النظر عن ظروف التشغيل.

1-3-5- الخلاصة

مع طراز A45 AMG الجديد، بدأت مرسيدس-AMG حقبة جديدة في قطاع المحركات المدمجة عالية الأداء. يعتمد محرك AMG الجديد، M133، على محرك مرسيدس بنز المعياري من سلسلة محركات M270 / M274.

على الرغم من إزاحته التي تبلغ 2 لتر فقط، فإن المحرك يحقق قوة 265 كيلوواط (360 حصاناً) عند استهلاك وقود يبلغ 6.9 لتر / 100 كم فقط (دورة القيادة الأوروبية الجديدة). مع استطاعة حجمية نوعية تبلغ 133 كيلو وات / لتر.

يعمل المحرك في مجال عمل محركات السباق وهو معيار جديد لمحركات الإنتاج كبيرة الحجم كما يُظهر الطراز M133 الجديد بوضوح أنه يمكن التحكم في الصفع والاشتعال المسبق بنجاح حتى بالنسبة للمحركات عالية الشحن التوربيني.

يعد مزيج من نسبة الانضغاط المختارة المناسبة، وتبريد فعال للشحنة، وضغط خلفي منخفض ودرجة حرارة منخفضة لغرفة الاحتراق العوامل المساهمة في مقاومة للصفع.

بالفهم العميق للتفاعل بين جزء الغاز المتبقي وضغط الأسطوانة ودرجة الحرارة وتوقيت الحقن واستهلاك الزيت واضطراب الهواء تم التحكم بشكل مثالي في هامش الصفع. وتعد هذه التدابير هي المؤثرة بشكل إيجابي على الصفع وتفيد أيضاً في منع الاشتعال المسبق المستقر.

بالنسبة للاشتعال المسبق للحالة غير المستقرة، خاصة في حمل المحرك الأعلى ونطاق السرعة، تم الكشف عنه من خلال التحليل الشامل لدورات الاحتراق الفردية.

وبناءً على نتائج هذا التحليل، يمكن تنفيذ الإجراءات المضادة المناسبة في مجال استراتيجيات الحقن والإشعال. من خلال التصميم الممتاز يُظهر M133 كثافة طاقة عالية جداً، ويؤكد أنه من الممكن تحقيق محرك عالي الأداء ومتين وسريع الاستجابة في وقت واحد، وتم تحقيق ذلك من خلال معايرة دقيقة وتحسين ظروف التحميل الكامل وتلبية جميع المتطلبات.

أصبح AMG M133 المحرك الجديد القياسي الثوري في قطاع السيارات الرياضية المدمجة.

1-4-4- دارة بعنوان: مساهمة في فهم ظاهرة الاشتعال المسبق بشكل أفضل في محركات الاحتراق

الداخلي عالية الشحن مع الحقن المباشر للوقود باستخدام تقنيات التشخيص البصري

Arndt Döhler, Stefan Pritze **A contribution to better understanding the pre-ignition phenomenon in highly charged internal combustion engines with direct fuel injection (2011)**

1-4-4-1- مقدمة

في شركة جنرال موتورز، تم إجراء مشاريع بحثية أساسية تركز على حدوث SPI (الاشتعال المسبق العشوائي). تتيح هذا الدراسة تحليل عملية الاحتراق على نطاق واسع ودقة زمنية عالية. في هذه الدراسة تم تقديم الدليل على أن قطرة الزيت / الوقود لا تسبب بداية الاشتعال المسبق وتشير الملاحظات أنه بسبب نقص الأكسجين، يتم منع الاحتراق الكامل لهذه القطرات. نتيجة لذلك، تبقى الجزيئات المتوهجة في غرفة الاحتراق والتي يمكن أن تسبب إشعاعاً مسبقاً في دورة الاحتراق اللاحقة.

بناءً على هذه النتائج، يمكن تحسين الفرضية حول مؤشر SPI الناتج عن القطييرات، ويسمح بإعطاء تفسير معقول للتسلسل المنقطع غير المفهوم حتى الآن لعمليات الاشتعال المسبق.

1-4-2- مواصفات محرك الاختبار

يوضح الشكل (1-31) المواصفات الرئيسية لمحرك SIDI سعة 1.6 لتر (الحقن المباشر بشرارة) المستخدم في الاختبارات.



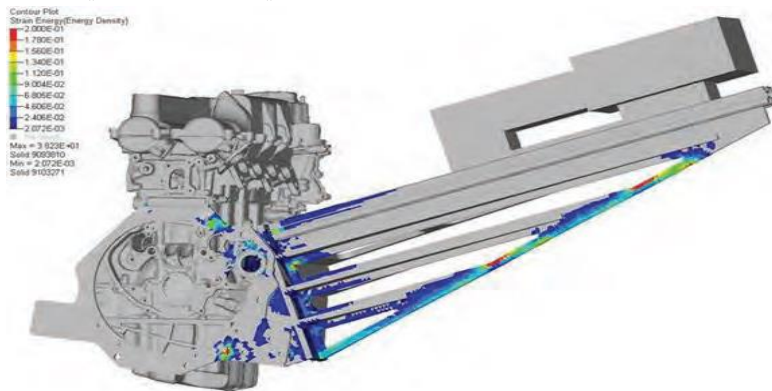
Torque = 280Nm@1650-4250rpm
Power = 125kW@4250rpm
BMEP = 22bar
Displ. = 1598cm³
Bore = 79.0mm
Stroke = 81.5mm
CR = 10.5:1
Valve diameter Ex/In = 27.5/30.9mm
Opening Duration Ex/In = 186/191°CA
MOP Ex/In = -125/80°CA
Central mounted multihole injector

الشكل (1-31) البيانات الفنية لمحرك 1.6 لتر SIDI،

1-4-3- طريقة إجراء الاختبار

تعتمد هذه التجارب على استخدام نظام كاميرات لمراقبة أحداث عمليات الاشتعال المسبق ونظرًا لأن المسار البصري الذي يتكون من bore scope ومكثف الضوء والكاميرا يبلغ طوله مترًا واحدًا تقريبًا، فإن الدعم الصلب لهذه المكونات أمر بالغ الأهمية.

بناءً على النظام الموصوف، تم تركيب منفذ بصري ثالث على جانب غرفة الاحتراق. خضع دعم الكاميرا لتحليل شامل لضمان الصلابة وأقل تشوه، كما في الشكل (1-32) تصميم الدعم لتحقيق تردد طبيعي من الدرجة الأولى أقل من 60 هرتز نظرًا لأن السرعة المستهدفة لاختبارات كانت حوالي 2000 دورة في الدقيقة.



الشكل (1-32): دعم الكاميرا و تحليل الإجهاد

بناءً على الخبرة المكتسبة من المشاريع السابقة المذكورة، تم تحسين تصميم نافذة غرفة الاحتراق. أصبحت النافذة الآن قادرة على تحمل أحداث متعددة للاشتعال المسبق مع تحمل ذروة ضغوط احتراق تزيد عن 300 بار

1-4-4- الخلاصة والنتائج

استناداً إلى تصوير الفيديو الذي تم إجراؤه والاختبارات التجريبية التي تم إجراؤها في شركة جنرال موتورز، تم استنتاج الفرضيات التالية لحدوث عمليات الاشتعال المسبق بسبب قطرات الزيت / الوقود:

1. يتم تحفيز الاشتعال المسبق الأولي بواسطة قطرات الزيت / الوقود التي يتم طردها عشوائياً من الشقوق العلوية للمكبس. يتم هذه الجسيمات بواسطة اللهب الأمامي للاحتراق المنتظم وتحترق بلهب منتشر. يبقى الجسيم ساخنًا عند استخدام كامل الأكسجين. في حالة عدم خروج الجسيم من غرفة الاحتراق في شوط العادم، يتم الحفاظ على حرارة هذا الجسيم أثناء شوط السحب وتبعاً لحجمه يتجاوز العتبة الحرجة ويقوم بنقل الحرارة إلى الشحنة الجديدة.

مع توفر الأكسجين أثناء شوط السحب التالي، تستمر التفاعلات الحرارية المتوقفة وأثناء شوط الضغط يتم تسخين الجسيم أكثر.

2. في حالة اكتساب الجسيم درجة حرارة كافية من خلال غرفة الاحتراق ووصوله إلى مناطق ذات ظروف ديناميكية حرارية حرجية، فإنه سيشتعل خليط الهواء والوقود المحيط به، اعتماداً على طاقة الجسيم وكذلك على بارامترات الشحنة الجديدة تتغير الحالة الديناميكية الحرارية للشحنة يمكن أن يحدث هذا بشكل كبير قبل توقيت الشرارة العادية، أو بالقرب منها أو حتى بعد ذلك.

3. بعد هذا الاشتعال المسبق الأولي، يتم دفع سلسلة من عمليات الاشتعال المسبق بواسطة جزيئات يتم طردها من أسطح غرفة الاحتراق ومجموعة من الهيدروكربونات التي يتم طردها من الشقوق. تستمر السلسلة ما دامت الجسيمات ذات الحجم الكافي ودرجة الحرارة محاصرة ضمن غرفة الاحتراق.

1-5- دراسة بعنوان: منهج جديد لتحديد بداية حدوث الصفع

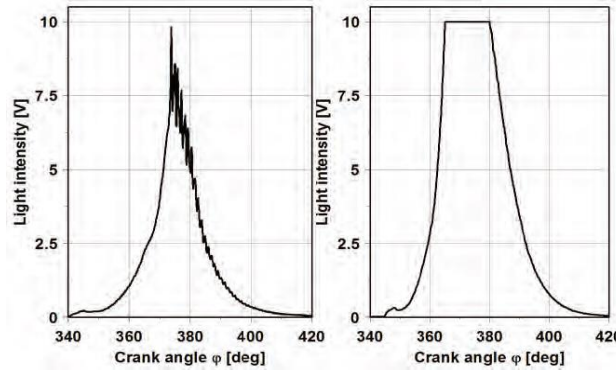
Sebastian Ohler **New approach to the determination of knock onset (2013)**

1-5-1- اجراء الدراسة

يتم تقييم نتائج الطريقة الجديدة بالتجارب على محرك بحث أحادي الأسطوانة رباعي الدورات باستخدام شمعة احتراق مجهزة بألياف ضوئية.

حيث يتم تحديد بداية الصفع من خلال خصائص شدة الضوء لكابل الألياف البصرية المتصل بمحرك الاختبار كما في الشكل (1-33).

من خلال تغيير نسبة الانضغاط ونقطة الإشعال واستخدام الوقود بأرقام أوكتان مختلفة، يوجد ارتباط خطي عند قيم الصفع المختلفة وبين بداية الصفع التي يحددها معيار الصفع (معدل إطلاق الحرارة الصافي) المقدم والمقاس بواسطة تقنية القياس البصري.



الشكل (1-33): خصائص شدة الضوء للألياف البصرية

تم تطوير الطريقة التحليلية لتحديد بداية الصفع باستخدام محرك بنزين رباعي الأشواط أحادي الأسطوانة مع نسبة ضغط متغيرة.

يتم الحصول على مؤشر ضغط الأسطوانة باستخدام مستشعر ضغط الأسطوانة الذي يتم وضعه في رأس الأسطوانة على حدود غرفة الاحتراق ويتم تسجيل إشارات الضغط المقابلة كتابع لزاوية الكرنك. تم تركيب إنكودر لزاوية الدوران للعمود المرفقي على وحدة الاختبار بدقة قراءة لكل خطوة تعادل 0.1 درجة من زاوية العمود المرفقي.

في سياق هذا البحث، تم إجراء حسابات انتقال الحرارة باستخدام البارامترات التالية لمحرك الاختبار المدروس:

$$Test\ engine: n = 1.32$$

$$Start = 300\ ^\circ CA$$

$$End = 500\ ^\circ CA$$

1-5-2- النتائج

تم تقديم نهج جديد لتحديد بداية الصفع. تعتمد هذه الطريقة على تحليل صافي معدل إطلاق الحرارة مقارنةً بإشارة ضغط الأسطوانة المفلترة، التي تم تسجيلها بدقة 0.1 درجة لعمود المرفق. لتحديد الاحتراق الحادي على الصفع وبدايته، ويتم ذلك من خلال تقييم تدرج منحنى صافي معدل إطلاق الحرارة. باستخدام الاختبار التجريبي وشمعات الاشتعال المجهزة بقياس الألياف الضوئية، تم تحديد كل من موقع الصفع وبدايته باستخدام طريقة مستقلة ثانية.

أدت مقارنة النتائج مع بعضها إلى علاقة خطية باعتماد نتائج القياسات الضوئية وتحليل معدل إطلاق الحرارة الصافي على بداية حدوث الصفع.

1-6- دراسة بعنوان: الكشف عن الصفع بالاعتماد على تحليل الانبعاثات الصوتية للمحرك.

Filippo Cavanna, Nicola Garagnani, Riccardo Lanzoni, Stefano Sgatti, Massimo Zanutti **Knock detection strategies based on engine acoustic emission analysis (2013)**

1-6-1- المقدمة

تبحث شركة Magneti Marelli في فرصة استخراج أكبر قدر ممكن من المعلومات من الإشارة الصوتية التي تحصل عليها وحدة التحكم الإلكترونية عبر الميكروفون، حيث يمكن مراقبة كل من عملية الاحتراق وحالة المحرك من خلال معالجة البيانات الصوتية في الوقت المناسب والفعلية وعن طريق ذلك يتم:

1- التحكم بالصفع.

2- يمكننا الكشف عن حالات فقدان الإشعال أو حالات الاحتراق غير المنتظم وفقدان تغذية الوقود.

3- التعرف على عمل آلية إغلاق الصمام وميكانيزمات عملها.

4- معرفة سرعة المحرك والشاحن التوربيني وتقييمها.

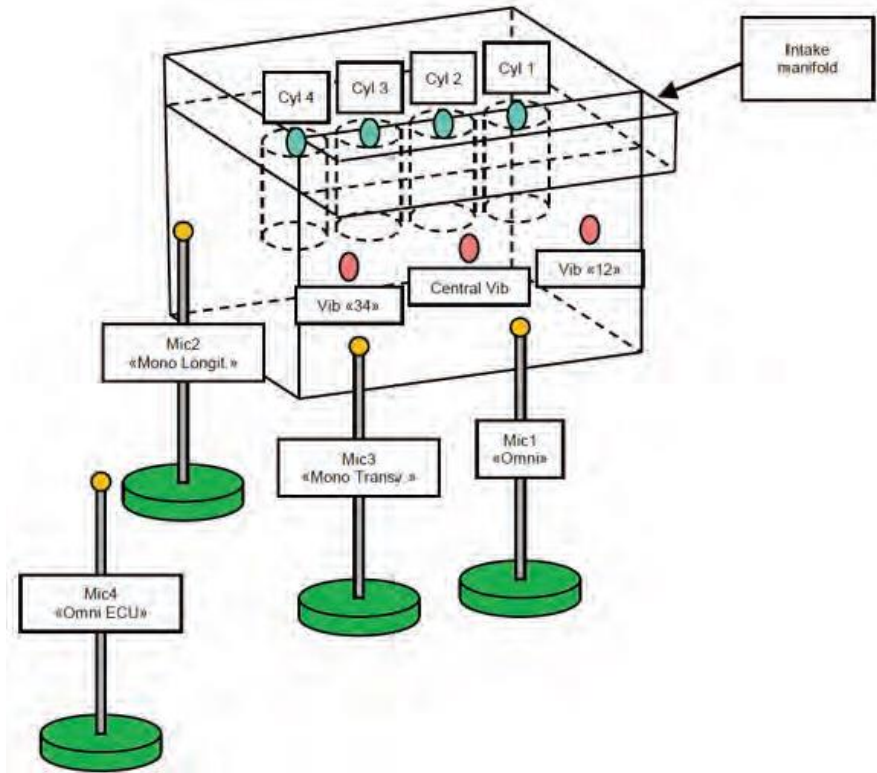
5- معدل ارتفاع الضغط داخل الأسطوانة، وتعريف خصائص الوقود المستخدم، وما إلى ذلك.

قد اختبرت عدة من الشركات الصناعية والبحثية استخدام التحليل الصوتي الاهتزازي للأهداف التشخيصية وأظهرت كيف يمكن تطبيق هذه التقنية بسهولة لمنع الأعطال واكتشافها بدقة حتى داخل التركيبات المعقدة للغاية. تم في هذه الدراسة إجراء مقارنة بين "الحقيقة"، أي الإشارة القادمة من مستشعر الضغط المثبت مباشرة في الأسطوانة، ومعلومات الحساسات التي أعيد بناؤها، وهي قادمة من مجموعة من أجهزة قياس التسارع والاهتزازات والأصوات المثبتة على محرك الاختبار.

وتم الأخذ في عين الاعتبار: نوع المستشعر المستخدم وموقعه، وبنية الخوارزمية المعتمدة للكشف عن الصفع ومعلومات المعايرة مع نقطة العمل المحددة التي كنا نعمل فيها.

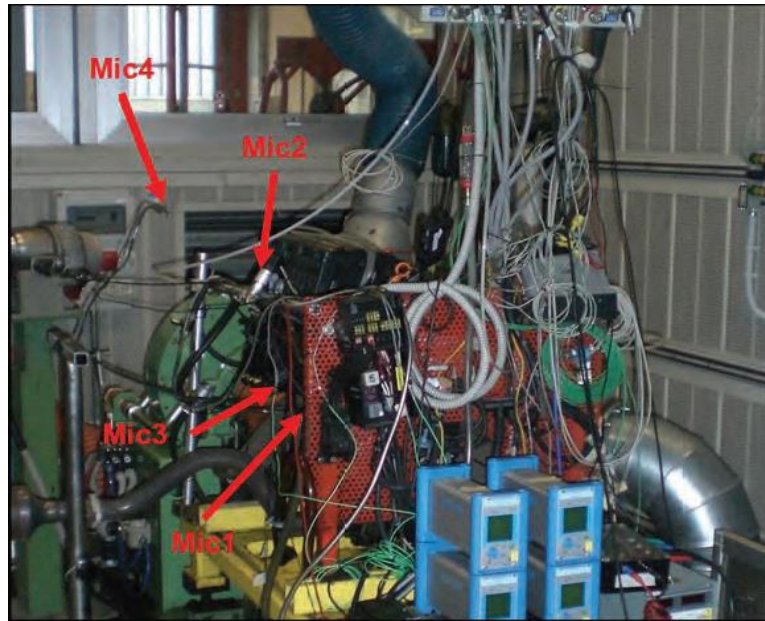
1-6-2- طريقة الإجراء التجريبي

أخذنا في الاعتبار محرك 1.4 لتر بنزين PFI، مزود بأجهزة استشعار مخصصة موضحة في الشكل (1-34)



الشكل (34-1): مخطط الطريقة التجريبية

الشكل (35-1) يعطي فهم أفضل لمواقع الحساسات على منصة اختبار المحرك:



الشكل (35-1) مواقع الحساسات على منصة اختبار المحرك

أخذنا في الاعتبار اختلاف نقاط السرعة وأكثر النقاط إثارة للاهتمام والتي يمكن أن يحدث عندها الصفع كانت:

1. سرعة المحرك: 2000 دورة في الدقيقة، مقدار الدعسة: 0.7
2. سرعة المحرك: 2000 دورة في الدقيقة، حالة الحمولة الكاملة
3. سرعة المحرك: 3000 دورة في الدقيقة، مقدار الدعسة: 0.7

4. سرعة المحرك: 3000 دورة في الدقيقة، حالة الحمولة الكاملة
5. سرعة المحرك: 3500 دورة في الدقيقة، مقدار الدعسة: 0.8
6. سرعة المحرك: 3500 دورة في الدقيقة، حالة الحمولة الكاملة
7. سرعة المحرك: 4000 دورة في الدقيقة، مقدار الدعسة: 0.8
8. سرعة المحرك: 4000 دورة في الدقيقة، حالة الحمولة الكاملة
9. سرعة المحرك: 5000 دورة في الدقيقة، حالة الحمولة الكاملة

هناك عدة أنواع لتقدير مستوى الصفح -من خلال إشارات تم الحصول عليها من أجهزة استشعار وحساسات مختلفة -وتم أخذ مجموع اثنين منها في عين الاعتبار لأنها مفيدة جدًا للدراسة.

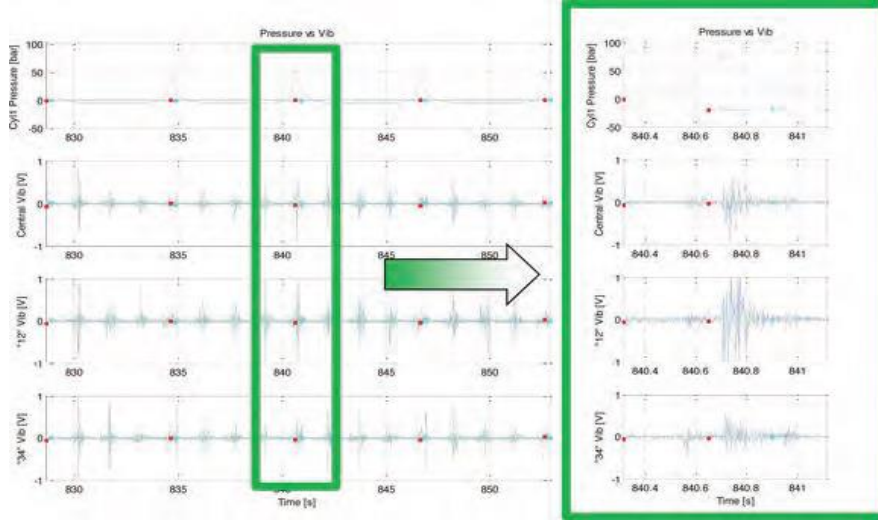
$$MAPO = \max(|signal_{BP_filt}|)_{\alpha_1}^{\alpha_2}$$

$$SUM = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} |signal_{BP_filt}| d\alpha$$

تمثل MAPO السعة القصوى للقيمة المطلقة لإشارة تمرير النطاق المفلترة، والتي تمثل منطقة صفح محددة. يمثل SUM طاقة الإشارة المرتبطة بنطاق التردد المعطى، مع الأخذ في الاعتبار فقط جزءاً زاوياً من الإشارة حول منطقة الصفح النموذجي

1-6-3- النتائج

ظاهرة الصفح هي أكثر وضوحاً كلما كان مقياس الاهتزاز أقرب إلى الاسطوانة الشكل (1-36).



الشكل (1-36): إشارات حساس ضغط الاسطوانة وحساسات مقياس الاهتزاز

أفضل تردد وزاوية تصحيح للإشارة يجب مراعاتها لكل إشارة في نقاط عمل المحرك المختلفة، عن طريق اعتماد خوارزمية تصحيح رقمية لأن الزاوية المثلى للإشارة الصوتية متأخرة كثيرًا بالنسبة إلى مقياس التسارع.

		Intake efficiency		
		0.7	0.8	FL
Engine speed	2000	Pressure: 30...50 Central Vib: 30...60 Omni Mic: 50...130	—	Pressure: 35...55 Central Vib: 30...60 Omni Mic: 70...120
	3000	Pressure: 30...60 Central Vib: 30...50 Omni Mic: 50...150	—	Pressure: 30...55 Central Vib: 30...40 Omni Mic: 80...160
	3500	—	Pressure: 45...100 Central Vib: 40...60 Omni Mic: 40...180	Pressure: 25...120 Central Vib: 30...60 Omni Mic: 80...180
	4000	—	Pressure: 20...65 Central Vib: 20...30 Omni Mic: 50...170	Pressure: 10...70 Central Vib: -30...30 Omni Mic: 60...170
	5000	—	—	Pressure: 45...105 Central Vib: 40...50 Omni Mic: 120...170

الجدول (1-1): الزاوية المثلى [CA ° a Tdc] (الضغط مقارنة بحساس الاهتزاز المركزي مقارنة بالميكروفون المتعدد)

مستوى الارتباط الذي تم الحصول عليه بين جميع المؤشرات المدروسة المحسوبة لإشارة الضغط وتلك القادمة من الميكروفونات يمكن مقارنتها تمامًا مع المستوى المقابل الذي تم تحقيقه مع الأخذ في الاعتبار نتيجة مقاييس التسارع.

النتائج بعد اعتماد خوارزمية التصحيح مشجعة للغاية: فأن هذه الخوارزمية تسمح بالحصول على مؤشر صوتي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بتذبذب الضغط داخل الأسطوانة، الناتج عن الصفع.

كم أن حمل وحدة المعالجة المركزية الإضافي الذي يجب أخذه في الاعتبار من أجل الدمج النهائي لخوارزمية مماثلة في بنية وحدة التحكم في المحرك يكاد لا يذكر.

1-7- الدارسة بعنوان: تقليل شدة الصفع لمحركات الإشعال بالشرارة عن طريق التقسيم الطبقي لدرجة الحرارة داخل الأسطوانة

Yasuo Moriyoshi, Tatsuya Kuboyama, Taku Kondo, Hiroshi Sono **Reduction in knocking intensity of an SI engine by in-Cylinder temperature stratification** (2014)

1-7-1- مقدمة

إن المشكلة الكبيرة للصفع هي الأضرار الجسيمة الناتجة والمؤثرة على مكونات المحرك مثل المكبس والصمامات بسبب تذبذب الضغط الكبير، وبالتالي فإن الهدف من هذا النظام هو قمع تذبذب الضغط القوي، حتى لو حدث اشتعال ذاتي.

تم اختبار تأثير توزيع درجة الحرارة المكانية لخليط داخل الأسطوانة على شدة الصفع باستخدام آلة ضغط وتمدد سريع (RCM) rapid compression and expansion machine.

تظهر نتائج النظام السابق أن التحكم في شدة الصفع يمكن تحقيقه من خلال التحكم في درجة الحرارة المكانية للخليط غير المحترق في توقيت بداية الاشتعال الذاتي.

1-7-2- الإجراء التجريبي

يتألف الجهاز التجريبي من:

ثمانية مسارات مائية تجري عمودياً حول بطانة الأسطوانة، كما هو موضح في الجدول (1-3). كل مسار مستقل عن الآخر، لذلك يمكن ضبط درجات حرارة مختلفة للماء.

يتم تحضير الماء البارد نسبياً والماء الساخن باستخدام خزانين، يتم إرسال خليط الوقود والهواء المحضر على الفور إلى أسفل الأسطوانة بواسطة صمام كهرومغناطيسي.

يتم قياس إزاحة المكبس باستخدام مستشعر الليزر مثبت في رأس الأسطوانة بالقرب من شمعة الإشعال نوع (Kistler 6052C) كما يوجد مستشعران لضغط الأسطوانة أيضاً.

تم أخذ عينات بيانات الضغط في 1 ميكرو ثانية بينما تم أخذ عينات البيانات الأخرى في 10 ميكرو ثانية.

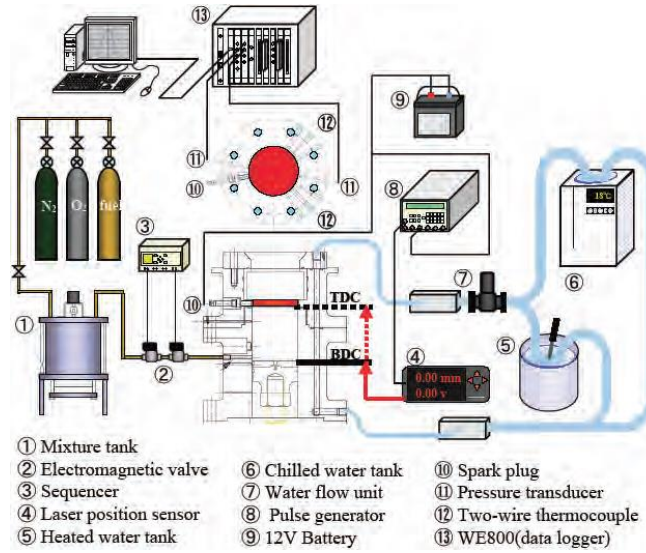
يبين الجدول (1-2) الخصائص التجريبية حيث:

نسبة الانضغاط 9.1 واستخدم nbutane وقوداً له رقم أوكتان مماثل للبنزين ونقطة غليانه مناسبة للإعداد التجريبي.

تم تعيين نسبة خليط الهواء والوقود للنسبة المثالية وتم ضبط ضغط السحب على 90 كيلو باسكال، أقل قليلاً من الضغط الجوي.

تم ضبط درجات حرارة جدار غرفة الاحتراق والأسطوانة كما هو موضح في الجدول (1-3).

تم قياس كل درجة حرارة عند 2 مم من الداخل من جدار الاسطوانة باستخدام زوجين من حساسات الحرارة وتم ضبط متوسط درجة الحرارة على 65 °C.



الشكل (1-37) الأجهزة التجريبية

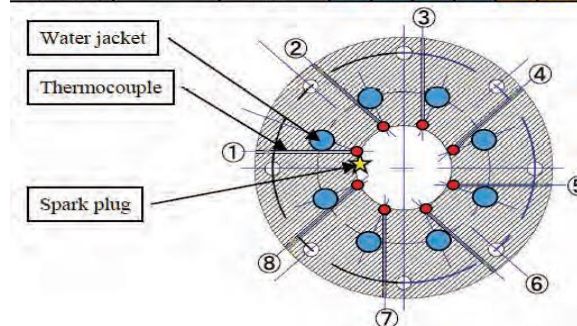
Bore x stroke	Φ 80.4×95 mm
Compression ratio	9.1
Fuel (RON, Boiling point)	n-butane (94, -0.5C)
Initial intake pressure (at BDC)	90 kPa
Spark timing	20, 30 deg. BTDC
Temperature of mixture	303 K
Fuel/air equivalence ratio	1.0

الجدول (1-2) الشروط التجريبية

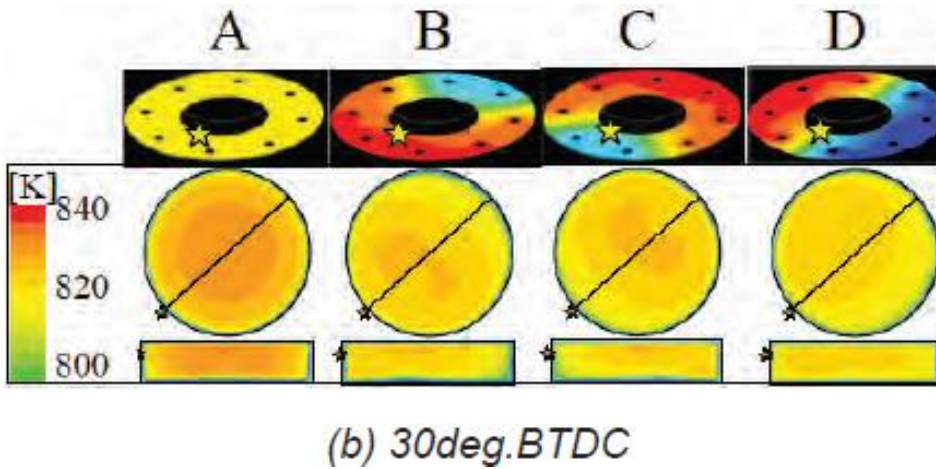
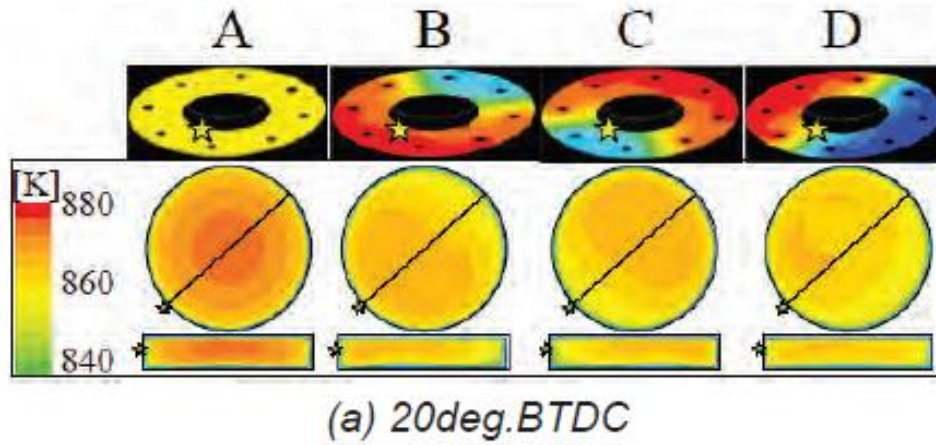
يوضح الشكل (1-38) التوزيعات المسجلة لدرجة حرارة الشحنة داخل الأسطوانة على المستوى الأوسط عند (20° و 30° BTDC) حيث يتم حسابها باستخدام برنامج محاكاة.

النجمة تشير إلى موضع شمعة الإشعال. في التجارب، تم استبدال رأس الأسطوانة بنافذة كوارتز لتصوير الظاهرة.

Pattern	T _{max} -T _{min} difference	Wall temp. average[°C]	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
A(65-65)	0	65.0	65	65	65	65	65	65	65	65
B(79-44)	35	65.2	78	75	64	44	44	63	74	79
C(44-79)	35	65.3	44	63	74	79	79	75	64	44
D(48-81)	33	64.9	57	48	48	56	73	81	81	75



الجدول (1-3) الإعدادات التجريبية لدرجة حرارة الجدار على الأسطوانة



شكل (38-1) توزيع درجة الحرارة داخل الاسطوانة عن طريق الحساب العددي

1-7-3- الاستنتاجات

(1) تم إجراء بعض التعديلات على RCEM (آلة الضغط والتوسيع السريع) للتمكن من التقسيم الطبقي الحراري داخل الأسطوانة باستخدام ثماني مسارات مياه تبريد جانبية داخل الأسطوانة وأيضاً لشحن الخليط سريعاً في موضع BDC.

(2) أجريت اختبارات الاحتراق مع الطبقات الحرارية باستخدام n-بيوتان وقوداً. نتيجة لذلك، فإن جعل التقسيم الطبقي الحراري في الاتجاه الجانبي عمودياً على اتجاه انتشار اللهب يقلل بشكل كبير من الصفع.

(3) بعد أن تم إجراء التصوير تبين انه عادة ما يحدث الاشتعال الذاتي في منطقة الغاز النهائي غير المحترق ويتم ضغط الخليط غير المحترق مع ارتفاع الضغط ودرجة الحرارة، مما يؤدي إلى تذبذب قوي في الضغط.

1-8- دارسة بعنوان: تقليل الاشتعال الذاتي إلى الحد الأدنى لتحقيق الكفاءة المثلى في محركات الأداء العالي التي تشتعل بالشرارة

Paul Freeland, Marco Warth, Bernd Mahr **Minimising autoignition for optimum efficiency in high specific output spark ignited engines (2016)**

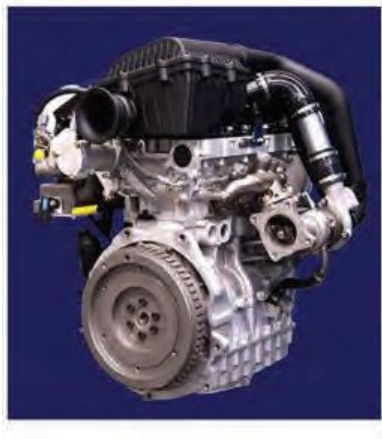
1-8-1- مقدمة

يركز هذا البحث على أمثلة مختارة من نهج شركة MAHLE، مأخوذة من أعمال التطوير التي تم إجراؤها باستخدام محركها ثلاثي الأسطوانات سعة 1.2 لتر، لبيان فعالية التقنيات المتكاملة في توفير المرونة المثلى لمنع الاشتعال الذاتي.

والتطورات المستقبلية في مجال مجموعات نقل الحركة والتي ستكون مطلوبة لضمان الحفاظ على كفاءة تشغيل المحرك مع زيادة الاستطاعة النوعية له.

1-8-2- تصميم ومواصفات المحرك الاختبار

يبين الشكل (1-39) ملخص لمواصفات المحرك

	Configuration	In Line 3
	Swept Volume [l]	1.2
	Bore [mm]	83
	Stroke [mm]	73.9
	Compression Ratio*	9.3
	Turbocharger	BMTS
	Peak Power [kW]	120 (from 5000 min ⁻¹)
	Specific Power [kW/l]	100
	Peak Torque [Nm]	287 (1600-4000 min ⁻¹)
	BMEP [bar]	30
	Engine Management	MAHLE Flexible ECU (MFE)
	Injector	Central GDI (7-hole)
	Spark-Plug	Central M10
	Engine Weight [kg]	125

* Initial design specification

الشكل (1-39): التفاصيل الأساسية لمحرك MAHLE

1-8-3- النتائج

إن تقليص حجم المحركات يحتاج إلى عديد من المتطلبات:

1- خفض درجة حرارة الشحنة الداخلة للمحرك وزيادة سرعة جبهة اللهب عند سرعات الدوران البطيئة للمحرك وتصميم فعال لنظام تبريد لغطاء الأسطوانات وتصميم فعال لغرفة الاحتراق.

2- بتحقيق الشروط السابقة يمكن الوصول إلى نسبة انضغاط 12:1 ومتوسط ضغط فعال 30 bar واستطاعة Kw/L 100

3- تخفيض درجة حرارة هواء الشحنة الداخلة للمحرك له تأثير كبير على المحرك عند عمله على سرعات الدوران العالية عندما تكون فترة الاحتراق صغيرة جداً.

4- تبريد غازات العادم المرجعة يخفض الميل لظهور الصفع.

5- تصمم حجرة الاحتراق ليكون زمن الاحتراق أصغر ما يمكن عند سرعات الدوران المنخفضة.

1-9- الدراسة النقدية للدراسة المرجعية

1-9-1- الإيجابيات

تم استخدام محركات مشحونة قسرياً في هذه الدراسات لمناقشة وتحليل أحداث الاحتراق المسبق وتطبيق إجراءات وطرق عديدة لتحديد الأسباب الجذرية التي تحكم الإشعال والاحتراق غير المنتظمين في المحرك أثناء عمله.

- تم معالجة الصفع بإغناء الشحنة الانتقائي بالوقود وهي طريقة ناجحة في الاستجابة للحد من الاشتعال المسبق وتوفر انخفاضاً كبيراً في دورات الاشتعال المسبق الثانوية، مع الحفاظ على عزم دوران المحرك المطلوب لقيادة جيدة.

- تبين أن الوظائف المحسنة لخوارزميات وحدة التحكم الإلكترونية تحقق هذه المهمة.
- أظهر تحليل الاشتعال المسبق أن أبخرة الزيت المحتوية على زيت المحرك وكذلك الرواسب / الجزيئات الساخنة داخل غرفة الاحتراق أثناء شوط الانضغاط هي مصادر مهمة للاشتعال المسبق.
- يعيد الجمع بين الشحن التوربيني ونظام الصمامات المتغير مع VALVETRONIC + Bi-VANOS والحقن المباشر عالي الدقة التقنية المفضلة لمحركات البنزين الحالية والمستقبلية لمجموعة BMW توفر محركات البنزين BMW Twin Power Turbo انخفاضاً كبيراً في استهلاك الوقود.

- بدأت مرسيدس-AMG حقبة جديدة في قطاع المحركات المدمجة عالية الأداء.

محرك مرسيدس يحقق قوة 265 كيلوواط (360 حصاناً) عند استهلاك وقود يبلغ 6.9 لتر / 100 كم مع استطاعة حجمية نوعية تبلغ 133 كيلو وات / لتر، يعد مزيج من نسبة الانضغاط المختارة المناسبة، وتبريد فعال للشحنة، وضغط خلفي منخفض ودرجة حرارة منخفضة لغرفة الاحتراق العوامل المساهمة في مقاومة للصفع.

بالفهم العميق للتفاعل بين جزيئات الغاز المتبقي وضغط الأسطوانة ودرجة الحرارة وتوقيت الحقن واستهلاك الزيت واضطراب الهواء تم التحكم بشكل مثالي في هامش الصفع، وتعد هذه التدابير هي المؤثرة بشكل إيجابي على الصفع.

- بتصميم فعال لنظام التبريد لغطاء الأسطوانات وتصميم فعال لغرفة الاحتراق يتم خفض درجة حرارة الشحنة الداخلة للمحرك.

- عند عمل المحرك على سرعات الدوران العالية تكون فترة الاحتراق صغيرة جداً وتخفيض درجة حرارة هواء الشحنة الداخلة للمحرك له تأثير كبير على ذلك.
- تبريد غازات العادم المرجعة يخفض الميل لظهور الصفع.

1-9-2-وجه نظر الباحث بالدراسات المرجعية وسلبياتها:

شملت هذه الدراسات أحداث الصفع وأسباب ظهوره وتصنيفاته المختلفة وكانت الفائدة منها بطريقة الإجراء التجريبي لها وطريقة تسجيل وتخزين نقاط عمل المحرك التي يحدث عندها الصفع وتحليل النتائج.

اختلفت طرق معالجة الصفع والحد منه من دراسة لأخرى بعض الدراسات أوجدت حلول للحد من الصفع غير مكلفة ولا تحتاج لتجهيزات إضافية مثل إغناء الشحنة بالوقود ولكنها غير مجدية اقتصاديا أثناء التشغيل وتأثيرها سلبي على انبعاثات غازات العادم حيث تتطلب القوانين والتشريعات في أسواق السيارات العالمية مزيداً من تخفيض في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والملوثات.

بعض الدراسات أوجدت حلول ذو تكلفة عالية وعملائية أقل وذلك بسبب إضافة أنظمة وتجهيزات أخرى على المحرك تمتاز هذه الإضافات بتحسين مردود المحرك وكفاءته ولكنها ذو تكلفة عالية وتزيد من احتمال حدوث أعطال ومشاكل في المحرك.

يهدف البحث الحالي للحد من الصفع والتخلص منه بإيجاد حلول تكون مجدية اقتصاديا وذات تأثير إيجابي على المحرك وتحسن من مردوده، لذلك سيتم تحليل ظهور الصفع في المحرك وإيجاد نقاط العمل التي يحدث عندها الصفع ودراسة تأثير حقن خليط الميثانول مع الماء في مجمع السحب على الحد من الصفع.

يبين الجدول (4-1) ملخص الدراسات المرجعية المستخدمة والمتعلقة بموضوع البحث.

جدول (4-1) ملخص الدراسات المرجعية المستخدمة المتعلقة بموضوع البحث									
رقم الدراسة	(1-1)	(2-1)	(3-1)	(4-1)	(5-1)	(6-1)	(7-1)	(8-1)	
نسبة الباحثين	Dobes, Hirsch Kapus, Ninaus Ogris, Ernst	Schünnemann Witt, Selder Schwarz	Kraus, Wolf Fischer	Döhler Pritze	Ohler	Garagnani Cavanna, Zanotti	Moriyoshi Kuboyama Kondo, Sono	Freeland Warth Mahr	
علم النشر	2012	2013	2016	2011	2013	2013	2014	2017	
طريقة الكشف عن الصفع	عن طريق تشخيص الالتهاب باستخدام مستشعرات شمعات الإشعاع المصنوعة من الألياف البصرية	بالوصول البصري عالي السرعة لغرفة الاحتراق	تحليل إشارات حساس الصفع	بالوصول البصري عالي السرعة لغرفة الاحتراق	شدة الضوء للكثافة البصرية وإشارة ضغط الأسطوانة	تحليل الإنبعاثات الصوتية للمحرك	مستشعرات للضغط مثبتة في رأس الأسطوانة	تحليل إشارات حساس الصفع	
طريقة إجراء الدراسة والاختبارات	عن طريق تسجيل البيانات المتزامن مع حدوث الاحتراق غير المنتظم لكل من وحدة التحكم الإلكترونية ونظام قياس الاحتراق	عن طريق تسجيل البيانات المتزامن مع حدوث الاحتراق غير المنتظم وتحليل أبخرة الزيت	تسجيل البيانات المتزامن مع حدوث الاحتراق غير المنتظم لكل من وحدة التحكم الإلكترونية وإشارات حساس الصفع	بتحليل ومراقبة الصور المسجلة من نظام الوصول البصري	الطريقة التحليلية لربط إشارة ضغط الأسطوانة مع معدل إطلاق الحرارة الصافي	تم الاختبار عند أكثر النقاط احتمالاً لحدوث الصفع	بإستخدام آلة ضغط وتمدد سريع ومجموعة من التجهيزات الخاصة	عن طريق تسجيل البيانات المتزامن مع حدوث الاحتراق غير المنتظم	
ظهور الصفع عند أي نقاط تشغيل في المحرك	أ- عند سرعة منخفضة وحولة عالية ب- إشعال حراري ج- إشعال متقطع د- عند بدء التشغيل	السرعات المنخفضة والمتوسطة عند الأحمال الكبيرة وظهورها إما بشكل مفرد أو كسلسلة	أ- حالة مستقرة للإشعاع المسبق ب- حالة غير مستقرة للإشعاع المسبق	السرعات المنخفضة والمتوسطة عند الأحمال الكبيرة	سرعة منخفضة وحولة عالية إشعال حراري إشعال متقطع د- عند بدء التشغيل	-	بشكل قصري عن طريق تغيير مؤثرات عمل المحرك	أ- عند سرعة منخفضة وحولة عالية ب- إشعال حراري ج- إشعال متقطع د- عند بدء التشغيل	
نسب الظهور	أسباب لها علاقة ببارامترات حقن الوقود بسلوجات الحرارة المرتفعة ج- تأثير زيت دارة التزييت ووظائف تنوية عتبة المرفق د- تأثير الغازات المتبقية وسرعة الاحتراق	عن طريق تأثير لأبخرة الزيت من نظام التهوية لعلبة المرفق وعن طريق رواسب متصلة من جدار غرفة الاحتراق	أ- الحالة المستقرة: مناطق عزوم اللوران العالية مع سرعات دوران منخفضة للمحرك ب- الحالة غير المستقرة: عمليات ديناميكية عالية	منع الاحتراق الكامل لقطرات الزيت وبسبب نقص الأوكسجين قُبقي لنوات لاحقة لتسبب حدوث الإشعاع المسبق	-	-	درجات الحرارة والضغط العالية	أسباب لها علاقة ببارامترات الوقود بسلوجات الحرارة ج- تأثير رواسب ج- تأثير الزيت والوقود د- تأثير الغازات المتبقية وسرعة الاحتراق	
طرق التلافي	الإختبار الدقيق لبارامترات الحقن والوقود لمواجهة مخاطر تكون الترسبات والإشعاع الكيميائي الناتج عن الترسبات	الجمع بين أنظمة تحكم مختلفة لغسل نظام تنوية عتبة المرفق ومنع تكون الرواسب	بمعالجة الغازات المتبقية وضغط ونسبة الانضغاط المناسبة وتبريد فعال	-	-	-	فقد تذبذب الضغط الناتج من الإشعاع المسبق والتحكم المكثف لدرجة حرارة الخليط	خفض درجات الحرارة تبريد غازات العادم المرجعة الالتهاب	

الفصل الثاني
عملية الاحتراق في محركات
البنزين المشحونة

*Combustion process in
supercharged gasoline
engines*

الفصل الثاني: عملية الاحتراق في محركات البنزين المشحونة

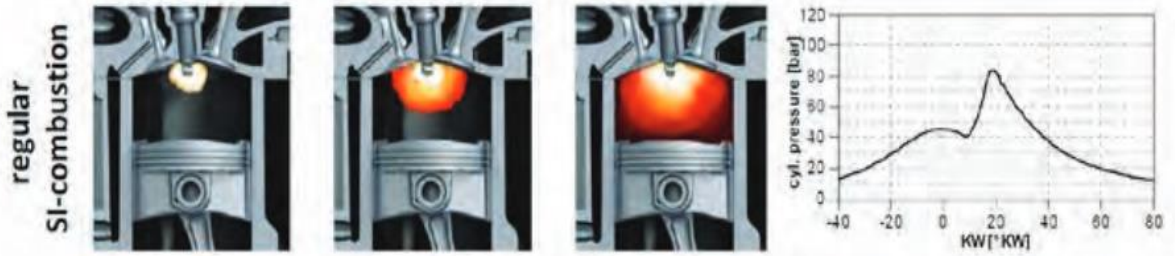
1-2- مقدمه

يهدف هذا الفصل لدراسة الاحتراق غير الطبيعي (الاشتعال المسبق-والصفع) من أجل تحديد أنواعه والعوامل المؤثرة عليه وإيجاد السبل والطرق الهامة للحد منه ولأنه يسبب ضرراً كبيراً لأجزاء المحرك ويؤدي إلى زيادة الإجهادات الميكانيكية والحرارية في أجزاء المحرك مثل عامود المرفق وأذرع التوصيل وصمامات الدخول والخروج وخاصةً المكابس فيتعرض المكبس لكسور في مجاري توضع حلقات إحكام الضغط والتزييت.

2-2- عملية الاحتراق الطبيعي في المحرك [14]

يوضح الشكل (1-2) انتشار موجة اللهب عندما تكون عملية الاحتراق طبيعية وهي تقسم إلى ثلاث فترات:

- I. الفترة الزمنية اللازمة لتشكل البؤر الأولية لتفاعلات الاحتراق (الأكسدة).
- II. الفترة الزمنية اللازمة لانتشار جبهة اللهب (بؤر التفاعل) لتغطي كامل غرفة الاحتراق.
- III. الفترة الزمنية اللازمة لإتمام تفاعلات الأكسدة الناتجة عن انتشار جبهة اللهب.



الشكل (1-2) عملية الاحتراق الطبيعي بالمحرك

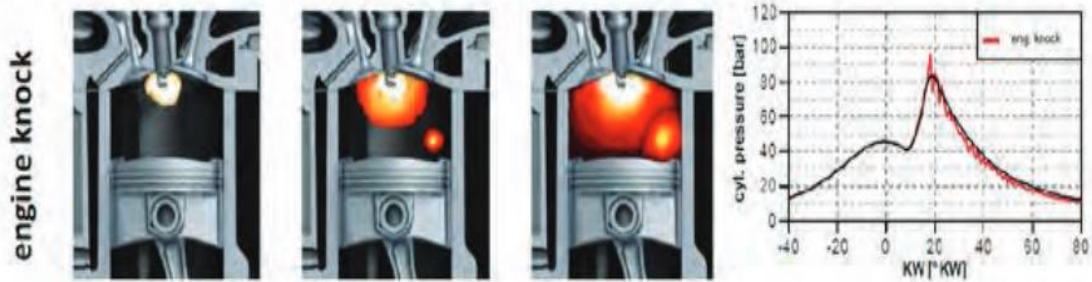
2-3- عملية الاحتراق غير الطبيعي في المحرك [14]

تختلف أنواع الاحتراق غير الطبيعي باختلاف العوامل المسببة وأهم الأنواع وأكثرها شيوعاً:

1-3-2- ظاهرة الصفع [14]

عندما تكون عملية الاحتراق طبيعية في محركات البنزين، تبدأ الشحنة بالإشعال عند أقطاب شمعة الاحتراق وينتشر اللهب تدريجياً ليغطي غرفة الاحتراق بكاملها شكل (1-2).

ولكن عندما تتعرض الشحنة إلى درجات حرارة وضغوط عالية قبل احتراقها، فإن الاحتراق يمكن أن يصبح غير طبيعي، ويظهر ما يسمى الصفع الشكل (2-2)



الشكل (2-2) انتشار موجات اللهب الطبيعية والتصادمية في غرفة احتراق محرك بنزين عند ظهور الصفع

تؤدي هذه العملية لاحتراق غير طبيعي وتعطي منحني ضغط غير مثالي للمحرك وهذا النوع من الصفع يعد غير ضار لأجزاء المحرك ولكن يجب تجنبه والتخلص منه عند حدوثه اما بالنسبة للاشتعال المسبق من الممكن أن يسبب تلفاً كبيراً لأجزاء المحرك، ويحدث هذا النوع من الاحتراق غير المنتظم في المحركات الحديثة ولا يحدث في القديمة.

يحدث في المحركات الحديثة لأنها تسعى دائماً لأن تكون ذات كفاءة أكبر ومردود اعلى وللحصول على ذلك يتم تصغير حجم المحرك وإضافة شحن توربيني عليه واستخدام الحقن المباشر. وتمتاز هذه المحركات بنسب انضغاط عالية وبالتالي درجة حرارة وضغط عال مما يسبب ظهور الصفع الأعظمي.

وهناك نظريتان تعالج هذه الناحية:

الأولى: النظرية الكيميائية:

إن الاحتراق البطيء يبدأ خلال شوط الانضغاط وتتشكل مركبات فوق أكسيديه $CH_3(OH)$. تتعرض هذه المركبات للضغط نتيجة عملية الاحتراق الطبيعية فتتفكك وتحترق بعنف شديد مؤدية إلى ظهور موجة ضغط قوية تصطدم بالجدران.

الثانية: النظرية الميكانيكية:

نواتج الاحتراق تتمدد وتقوم بضغط الخليط الذي لم يحترق فترتفع درجة حرارته حتى يلتهب من تلقاء نفسه ويشكل موجات ضغط عالية.

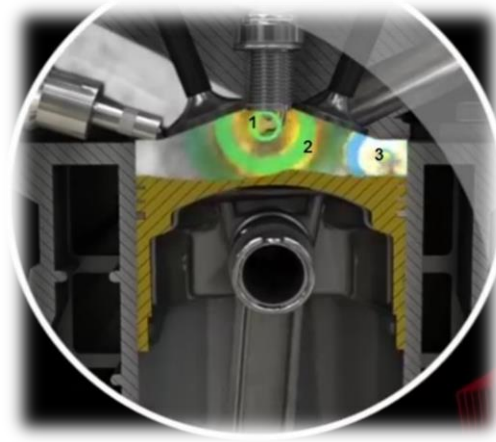
من المعلوم أن الشحنة تتعرض للضغط (خلال شوط الضغط) قبيل إعطائها الشرارة، مما يؤدي إلى ازدياد درجة حرارتها وضغطها وإلى ظهور جزيئات نشطة من الأوكسجين والوقود تتفاعل فيما بينها. وبعد بدء الإشعال تزداد هذه الجزيئات النشطة، ويؤدي انتشار موجة اللهب (جبهة اللهب) إلى ضغط الشحنة غير المحترقة بنسبة 7 - 8 أضعاف الضغط في نهاية شوط الضغط، وارتفاع درجة حرارتها ارتفاعاً كبيراً. وبمجرد وصول تركيز هذه العناصر النشطة إلى حد معين تشتعل هذه الشحنة بسرعة كبيرة، ويرافق هذا الاشتعال ارتفاع حاد وسريع لدرجة الحرارة والضغط، مما يؤدي إلى ظهور ما يسمى موجة الصفع.

2-1-3-1- أنواع الصفع

أ- الصفع الخفيف light knock [14]

يحدث الصفع الخفيف بعد لحظة إعطاء الشرارة في شوط القدرة نتيجة لموجات الضغط الناتجة عن انتشار جبهة اللهب ليرتفع الضغط ودرجة الحرارة مؤدية لاشتعال جزء من الخليط قبل وصول جبهة اللهب له وتؤدي هذه العملية للاحتراق غير طبيعي وتعطي منحني ضغط غير مثالي للمحرك وهذا النوع من الصفع يعد غير ضار لأجزاء المحرك ولكن يجب تجنبه والتخلص منه عند حدوثه.

ولا يلاحظ فيه أي صوت غريب ضمن المحرك ويمكن تجنبه بتعديل خليط الهواء للوقود أو بتبديل زمن إعطاء الشرارة، يمثل الشكل (2-3) مراحل تشكل الصفع الخفيف.



الشكل (2-3) مراحل تشكل الصفع الخفيف

1- إعطاء الشرارة، 2- انتشار جبهة اللهب 3- بؤرة لتشكل الصفع.

ب- الصفع عند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك [14]

يحدث عند الأحمال الكبيرة (الدعسة الكاملة لصمام الخانق) وعند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك مثل بداية الانطلاق من حالة التوقف للسيارة مع دعسة كاملة للوقود أو أثناء التجاوز على الطرقات السريعة على نسب تخفيض قليلة لعبة السرعة وهي تمثل نقاط لعمل المحرك تكون عند حمل عال وسرعة دوران منخفضة مما يؤدي لحدوث وهو بدوره يؤدي لحدوث الصفع الأعظمي والذي يشكل ضرراً كبيراً على أجزاء المحرك.

2-1-3-2- معيار الصفع [9][3]

يعتمد مقياس الصفع على أن كمية الشحنة غير المحترقة التي تسبب الصفع تحتاج إلى طاقة لكي تحترق وتسبب الصفع، وهي تأخذ هذه الطاقة من الشحنة المحترقة أثناء انتشار اللهب عند الزمن (t). تعطى علاقة الصفع بآنتالبيات محددة:

$$K_C(t) = \frac{\Delta h_0 \cdot m_u(t) / V_{cyl}(t)}{LHV \cdot m_{fuel,0} / V_{cyl,bdc}}$$

حيث:

Δh_0 : أنتالبي يحدده عملية احتراق الخليط الجديد للهواء والوقود

m_u : كتلة الغاز غير المحترق عند الزمن (kg)t

V_{cyl} : حجم أسطوانة المحرك عند الزمن (m³)t

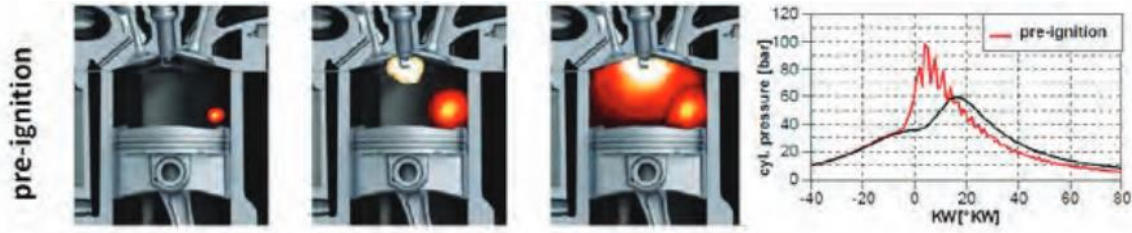
LHV : درجة الحرارة الدنيا للوقود (K°)

m_{fuel} : كتلة الوقود عند بداية الاحتراق (kg)

$V_{cyl,bdc}$: حجم الأسطوانة عند النقطة الميتة السفلى (m³)

2-3-2- الاشتعال المسبق [14]

يجب عدم الخلط بين ظاهرة الصفع وظاهرة الاحتراق المبكر، فظاهرة الاشتعال المسبق تشبه ما يحدث عند إعطاء الشرارة بزاوية تسبيق إشعال كبيرة. شكل (2-4). يقصد بالاشتعال المبكر ظهور بؤر اشتعال قبل إعطاء الشرارة عن طريق الشمعة نتيجة لسخونة أجزاء غرفة الاحتراق أو لتشكل ترسبات كربونية على سطح المكبس أو غطاء الأسطوانات، يحدث الاشتعال المبكر عندما يعمل المحرك بأحمال كبيرة وسرعات دوران عالية.



الشكل (2-4) الاشتعال المسبق

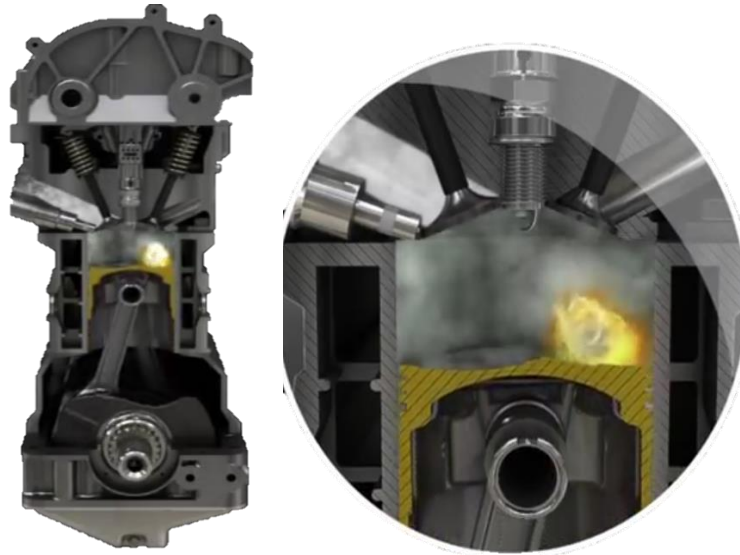
2-3-2-1- مراحل الاشتعال المسبق [14]

تتم عملية الاشتعال المسبق وفق المراحل التالية :

1- اشتعال مبكر (بؤر احتراق) قبل لحظة إعطاء الشرارة أي إن العملية تحدث بشروط الانضغاط، حيث لا يوجد أضرار إلى هذه اللحظة.

وأسباب هذه البؤر إما أن تكون بقايا من زيت المحرك أو رواسب كربونية ذات درجات حرارة عالية.

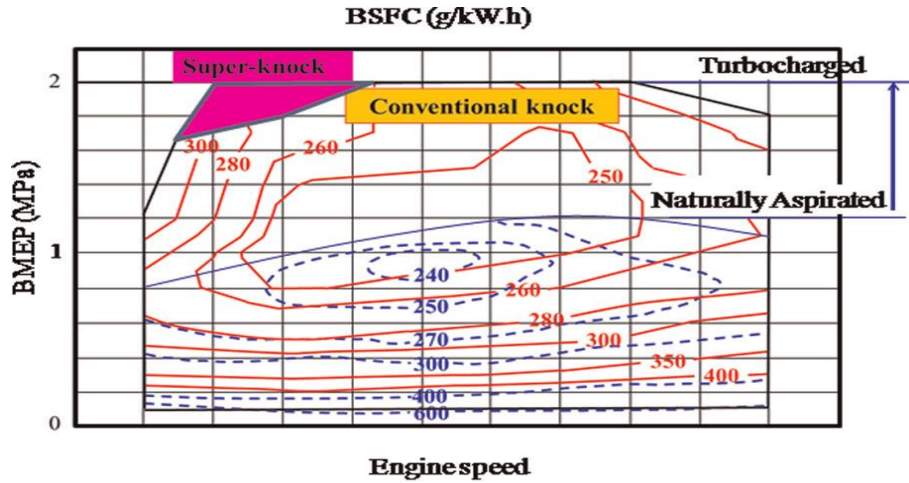
الشكل (2-5)



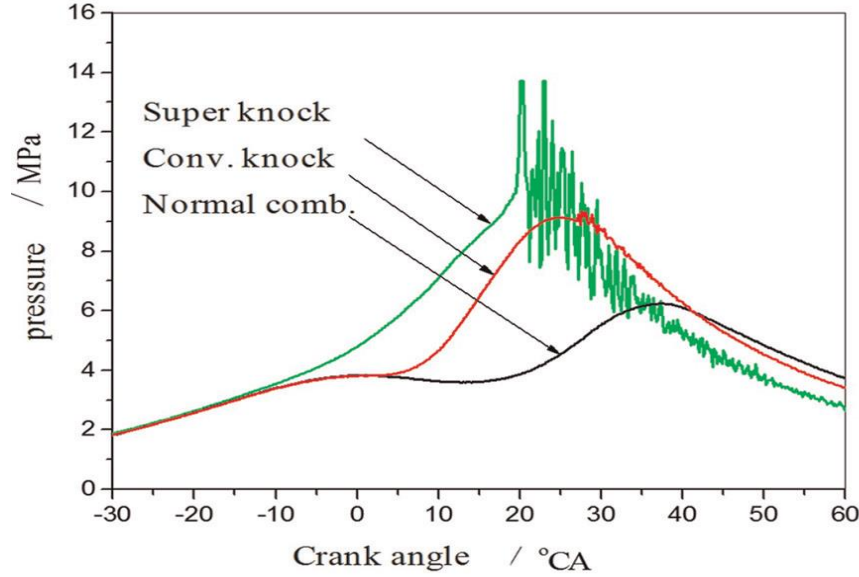
الشكل (2-5) تشكل بؤر الاحتراق قبل لحظة إعطاء الشرارة

2- في هذه البؤر تبدأ جبهات اللهب بالانتشار والتوسع وبالتالي يستمر الضغط ضمن الأسطوانة بالارتفاع ونتيجة لزيادة الضغط والحرارة تزداد هذه البؤر مؤدية إلى احتراق الشحنة كاملةً وهذا ما يدعى بالاشتعال المسبق ويحدث كل ذلك قبل لحظة إعطاء الشرارة، أي لا يمكننا التحكم بمكان ذروة الضغط الأعظمي لعملية الاحتراق بالنسبة إلى النقطة الميتة العليا.

حدوث الاشتعال المسبق عند شوط الانضغاط يؤدي لارتطام معاكس لجبهة اللهب مع المكبس أثناء صعوده باتجاه النقطة الميتة العليا وبالتالي إما أن تحدث ذروة ضغط أعظمية أو غير منتظمة على مخطط الضغط للمحرك أو حدوث كسر لأحد أجزاء المحرك مثل مكابس المحرك أو ذراع التوصيل. يبين الشكل (b-6-1) مخطط الضغط للاحتراق الطبيعي والصفع الخفيف والصفع الأعظم، (a-6-1) نقاط عمل المحرك التي يحدث عندها الاشتعال المسبق والصفع الخفيف يلاحظ من المخطط أن المحركات بتغذية طبيعية لا تتعرض للاشتعال المسبق.



(a)



(b)

الشكل (6-2) b -مخطط الضغط للاحتراق الطبيعي والصفع الخفيف والصفع الأعظمي

a -نقاط عمل المحرك التي يحدث عندها الاشتعال المسبق والصفع الخفيف

تعتمد درجة التأثير الضار على أجزاء المحرك للاشتعال المسبق على زمن حدوثه فكلما كان أبكر ازداد تأثيره الضار على المحرك.

2-2-3-2 طرق تلافي الاشتعال المسبق

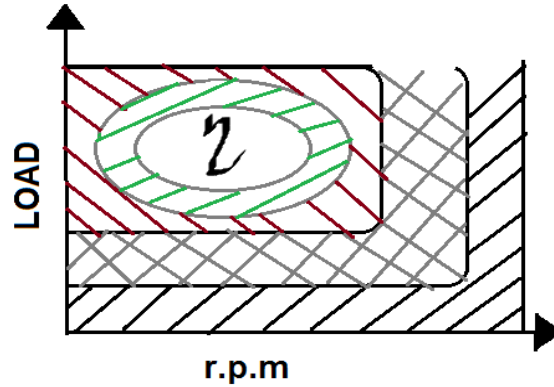
لأن الاشتعال المسبق يحدث عند سرعات الدوران المنخفضة والأحمال الكبيرة للمحرك (دعسة كاملة للوقود) يمكن تلافيه بالابتعاد عن هذه النقاط التي يحدث عندها.

تعتمد المحركات العصرية على نظام الدعسة الالكترونية أي بالإمكان التحكم بمقدار زاوية فتح الدعسة بتقليل مقدار فتح الدعسة عند سرعات الدوران المنخفضة وهو ما تقوم به معظم الشركات المصنعة للسيارات بتخفيف مقدار فتح الدعسة الكترونياً لمنع حدوث الصفع.

ولكنه حل غير مجد اقتصادياً بالنظر إلى مخطط استهلاك الوقود للمحرك نجد أن أكثر منطقة كفاءة لعمل المحرك هي المنطقة (η) وهي تقابل نقاط عمل المحرك عند سرعات الدوران المنخفضة والأحمال العالية وهذه المنطقة هي التي تسعى جميع الشركات على تشغيل المحرك عندها من أجل زيادة الكفاءة والمردود ولذلك يجب إيجاد حل أفضل للتغلب على هذه الظاهرة.

يمثل الشكل (2-7) المنطقة الأعلى كفاءة في استهلاك الوقود النوعي (BSFC) التي يعمل عندها المحرك.

$$BSFC = \text{MAX POWER} / \text{LESS FUEL}$$



الشكل (2-7) المنطقة الأعلى كفاءة من حيث استهلاك الوقود النوعي التي يعمل عندها المحرك

من الأسباب المؤدية لحدوث الاشتعال المسبق هو تركيب زيت المحرك، هناك عدة طرق يمكن لزيت المحرك وأبخرته الدخول منها إلى الأسطوانة:

1- أدلة صمامات السحب والطرود للمحرك.

2- نظام تهوية حجرة العامود المرفقي للمحرك PCV.

3- من البقايا على جدران الأسطوانة من عملية التزيت.

وبالتالي دخول الزيت وأبخرته لأسطوانة المحرك واختلاطها مع الشحنة، حيث تعد أبخرة الزيت والوقود المتسربة إلى حجرة الاحتراق مركبات ذات قابلية عالية للاشتعال.

هذه المركبات تتضغط وتشتعل عندما يصل الضغط والحرارة داخل حجرة المحرك إلى مستوى معين، وبالتالي تصدر حرارة وطاقة تسبب احتراق الخليط قبل أوانه وتسبب الاشتعال المسبق في المحرك.

تركيب الزيت الداخل إلى الأسطوانة له تأثير كبير على حدوث الصفع الأعظمي.

لذلك قام المعهد العالي الأمريكي للنفط بدراسة زيت بمواصفات جديدة API SN+ تم اختبار هذا الزيت مع ظاهرة الاشتعال المسبق على المحركات وأدى لانخفاضها بشكل كبير جداً.

السبب الرئيسي لحدوث الصفع باستخدام الزيت العادي هو وجود الكالسيوم ضمن تركيبه وهو يستخدم كمنظف لأجزاء المحرك لإزالة الرواسب والأوساخ من أجزاء المحرك، حيث تحل به ثم تنقى عند مرور الزيت ضمن مرشح الزيت باستبدال الكالسيوم بالمغنيزيوم انخفض الاشتعال المسبق كثيراً.

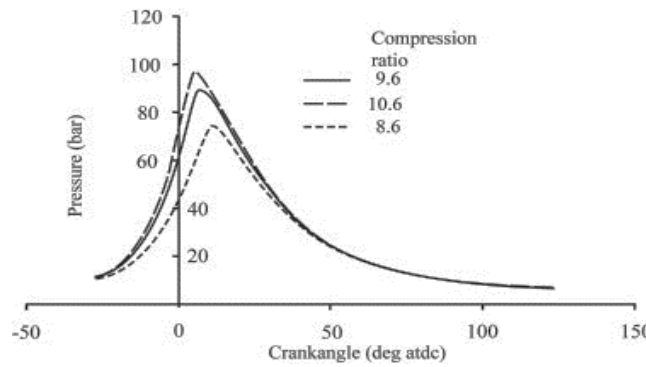
2-4- العوامل المؤثرة على عملية الاحتراق غير الطبيعي

درجة حرارة الشحنة في نهاية شوط الانضغاط وفترة الإشعال هما العاملان الرئيسيان اللذان يحددان إذا ما كان الصفع سيحدث أم لا.

2-4-1- تأثير نسبة الانضغاط ϵ [1][3][4]

تؤدي زيادة نسبة الانضغاط في محركات البنزين إلى زيادة درجة الحرارة والضغط لحظة إعطاء الشرارة للشحنة، مما يؤدي إلى اختصار فترة الإشعال وتسارع عملية الاحتراق، وبالنسبة تحسين أداء المحرك. كما يؤدي ذلك إلى اختيار زاوية تسبيق إشعال صغيرة.

زيادة نسبة الانضغاط يزيد من خطر حدوث الصفع أو الاحتراق المبكر للشحنة بسبب زيادة درجة الحرارة والضغط في نهاية شوط الانضغاط، الشكل (2-9) يبين تأثير نسبة الانضغاط على عملية الاحتراق في المحرك.



الشكل (2-9) تأثير نسبة الانضغاط على عملية الاحتراق في المحرك

- حساب مؤشرات عملية الانضغاط [1]

من معادلة البوليتروب:

$$P_c = P_a \cdot \epsilon^{n-1}$$

الحرارة في نهاية عملية الانضغاط:

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n-1}$$

حيث:

P_c : الضغط في نهاية شوط الانضغاط، P_a : الضغط في بداية شوط الانضغاط

T_c : الحرارة في نهاية شوط الانضغاط، T_a : الحرارة في بداية شوط الانضغاط

ϵ : نسبة الانضغاط، n : مؤشر بوليتروب الانضغاط تتراوح قيمته (0.5-1.5)

2-4-2- الشحن التوربيني [4]

عملية الشحن التوربيني تزيد أيضا من الحرارة والضغط وتزيد كثافة الشحنة وبالتالي يزيد من إمكانية حدوث الصفع

2-4-3- درجة حرارة مياه التبريد [4]

تتخفض فترة الإشعال عند ارتفاع درجة حرارة مياه التبريد، أما عند انخفاض حرارة التبريد تحدث زيادة فترة الإشعال وهذا يزيد من حدوث ظاهرة الصفع

2-4-4- درجة حرارة جدران الاسطوانة وغرفة الاحتراق [11]

درجة الحرارة في نهاية شوط الاحتراق تعتمد على تصميم غرفة الاحتراق. إن شمعات الإشعال وصمامات الطرد تعد من الأجزاء الساخنة في غرفة الاحتراق وأي خلل في درجة الحرارة المسموح بها لهذه الأجزاء يؤدي إلى حدوث ظاهرة الصفع.

- معامل انتقال الحرارة في جدران الاسطوانة [3]

تتم عملية تبريد محركات الاحتراق الداخلي أثناء العمل وتكون حرارة جدران اسطوانة المحرك أقل بكثير من درجة حرارة غازات الاحتراق وتؤثر سرعة دوران المحرك على هذا الفرق في درجة الحرارة وبالتالي على معامل انتقال الحرارة في جدران الاسطوانة.

تعطى علاقة معامل انتقال الحرارة وفق [3] بالعلاقة:

$$h_c(t) = 3.26 \times B^{-0.2} \times p(t)^{0.8} \times T(t)^{-0.55} \times w(t)^{0.8}$$

حيث:

h_c : معامل انتقال الحرارة في جدران الاسطوانة

B : شوط الاسطوانة (m)

P : الضغط في الزمن t (N/m^2)

T : درجة الحرارة في الزمن ($^{\circ}K$)

W : معدل السرعة الوسطية للغاز داخل اسطوانة المحرك (m/s)

W تعطى بالعلاقة [3]:

$$W(t) = C_1 \cdot \dot{S}_p + C_2 \cdot \frac{V_d(t) \cdot T_0}{P_0 \cdot V_0} (p(t) - p_m(t))$$

$\dot{S}_p$: سرعة المكبس (m/s)

V_d : الحجم عند الزمن t (m^3)

T_0, P_0, V_0 : درجة الحرارة والضغط والحجم عند بداية الانضغاط ($^{\circ}K$) (N/m^2) (m^3)

$p(t)$: الضغط عند الزمن t (N/m^2)

p_m : الضغط بدون عملية احتراق (ضغط المحرك) عند الزمن t (N/m^2)

C_1, C_2 ثوابت حيث:

$C_1 = 2.28$ $C_2 = 0$ أثناء عملية الانضغاط و 2, 3, 4 أثناء عملية الاحتراق والتمدد

2-4-5- درجة حرارة الشحنة والضغط في مجمع السحب [1]

إن زيادة حرارة الشحنة ضمن مجال معين تؤدي إلى تبخر الوقود ويحصل التجانس، وتتنخفض كثافة الشحنة ويتغير الضغط وبذلك تقلل من قابلية الصفع، كما تعمل على رفع درجة حرارة الأجزاء التي لم تحترق. أما عند استخدام الشحن التوربيني يجب أن لا ترتفع درجة حرارة الهواء المشحون عن حد معين لذلك يركب مبرد بعد الضاغط ليقوم بتبريد الهواء الداخل للأسطوانة. تعطى الحرارة في مقطع الخروج من الضاغط بالعلاقة:

$$T_k' = T_0 \pi_k^{\frac{n-1}{n}}$$

حيث:

T_k' : حرارة الهواء في مقطع الخروج من الضاغط (K°).

T_0 : حرارة الهواء الجوي على المدخل (K°).

π_k : نسبة الشحن

n : مؤشر بوليتروب الانضغاط في الضاغط ويساوي 1.4 - 2

$$\pi_k = \frac{P_k'}{P_0}$$

P_k' : الضغط عند مقطع الخروج من الضاغط.

P_0 : الضغط الجوي على مدخل الضاغط.

ويمكن حساب T_k' من المعادلة:

$$T_k = T_0 \left[1 + \left(\pi_k^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_k} \right]$$

η_k : المردود الأديباتي للضاغط ويساوي 0.65 - 0.85

وفي حال وجود مبرد للهواء تكون قيمة الحرارة ما يلي:

$$T_k = T_k' - \Delta T_0$$

حيث:

ΔT_0 : فقدان الحرارة في المبرد.

T_a : درجة حرارة الشحنة في نهاية السحب.

نفترض أن درجة حرارة الشحنة تزداد بمقدار ΔT من جدران الأسطوانة الساخنة، نحصل على:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma \xi T_r}{1 + \gamma}$$

الضغط في مقطع الخروج من الضاغط يساوي:

$$P_k' = P_k + \Delta P_0 + \Delta P_\tau$$

حيث:

ΔP_0 : الهدر في مبرد الهواء (عند وجوده)

ΔP_τ : الهدر في مجرى الدخول إلى الاسطوانة.

2-4-6- الحمل على المحرك [4]

بزيادة الحمل على المحرك يفتح صمام الخانق مما يؤدي إلى دخول كمية كبيرة من الشحنة تؤدي إلى زيادة كثافة الشحنة غير المحترقة في نهاية شوط الانضغاط وبالتالي زيادة حرارتها وزيادة فترة الإشعال فيزيد ذلك من إمكانية حدوث الصفع بالأخص عند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك.

2-4-7- سرعة دوران المحرك [6] [1]

بازدياد سرعة دوران المحرك تزداد السرعة الوسطية للمكبس مما يؤدي إلى ازدياد اضطراب الشحنة وهذا يؤول بدوره إلى زيادة سرعة الاحتراق. بزيادة سرعة الاحتراق تختصر الفترة الزمنية التي تستغرقها عملية الاحتراق كلها مقاسة بالثواني. مما يخفف إمكانية حدوث ظاهرة الصفع.

إذا افترضنا فترة الإشعال مقاسة بدرجات دوران عمود المرفق. فعلى الرغم من اختصار فترة الإشعال (مقاسة بالثواني). فإن هذه الفترة تزداد مقاسة بدرجات دوران عمود المرفق. ويعود ذلك إلى أن معدل زيادة سرعة المكبس، نتيجة لزيادة سرعة الدوران، يكون أكبر من معدل زيادة سرعة الاحتراق.

للتعويض عن زيادة فترة الإشعال مع زيادة سرعة المحرك يلجأ عادة إلى زيادة زاوية تسبيق الإشعال مع ازدياد السرعة. ويتم ذلك بواسطة منظم زاوية تسبيق الإشعال، الذي يركب على موزع الشرارة. يتأثر هذا المنظم بسرعة دوران المحرك بحيث يزيد زاوية تسبيق الإشعال مع زيادة سرعة المحرك.

2-4-8- تأثير زاوية تسبيق الإشعال [3] [1]

ويقصد به تأثير زاوية تسبيق الإشعال على الاحتراق "Ignition Advance" فإذا كانت الزاوية كبيرة، فذلك يؤدي إلى اطالة فترة المرحلة الأولى "تأخير الإشعال" والذي يبدأ قبل النقطة الميتة العليا، ويساعد في زيادة الضغط أيضا مما يؤدي إلى إمكانية حدوث الصفع.

أما إذا كان تسبيق الإشعال صغيراً "تأخير الإشعال-المرحلة الأولى" فإن ذلك يؤدي إلى حدوث عملية الاحتراق بعد النقطة الميتة العليا بكثير مما يقلل من الفائدة المرجوة من انتشار الحرارة "انخفاض المردود واستطاعة المحرك" ويخفف إمكانية حدوث الصفع.

يبين الشكل (2-10) تأثير زاوية تسبيق الإشعال على منحنى الضغط في المحرك.

ولقد دلت التجارب على أن بلوغ أفضل النتائج يتحقق عندما تستطيع زاوية تسبيق الإشعال تأمين شروط يكون فيها الضغط لحظة وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا مساوياً لنصف قيمة الزيادة في الضغط الناتج من جراء حدوث الاحتراق الطبيعي في المحرك.

وتستغرق الفترة الآتية الذكر 75% من الزمن الذي ينقضي بعد إعطاء الشرارة وحتى بلوغ الضغط قيمته العظمى. يمكن حساب زاوية تسبيق الإشعال المثلى كما يلي:

$$\theta = \frac{6,75.360.n.L}{60.W} = 4.5 \frac{nL}{W}$$

حيث:

θ : زاوية تسببق الإشعال المثلى ($^\circ$)، n : سرعة دوران المحرك (r/s)، L : المسافة التي تفصل شمعة الاحتراق عن أبعد نقطة في الحجرة (m)، W : سرعة الاحتراق (m/s)
ونرى من هذه العلاقة أن زاوية التسببق يجب أن تزداد بزيادة سرعة وأبعاد المحرك.

-تعطى سرعة انتشار اللهب بالعلاقة التالية [10]

إن سرعة اللهب تختلف ضمن مجال كبير لتغيير درجات الحرارة والضغط، يمكن أن تحدد القيمة الفعلية لسرعة انتشار اللهب تقريباً لأن سرعة انتشار جبهة لهب مرجعية وفق العلاقة التالية:

$$S_L(t) = S_L^0 \cdot \left(\frac{T_u(t)}{T_{ref}} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{p(t)}{p_{ref}} \right)^\beta \cdot (1 - 2.1 \cdot f)$$

حيث:

S_L : سرعة انتشار اللهب (m/s)

S_L^0 : سرعة انتشار اللهب المرجعية (m/s)

T_u, p : درجة الحرارة والضغط للغازات غير المحترقة عند الزمن t ($^\circ K$) (N/m^2)

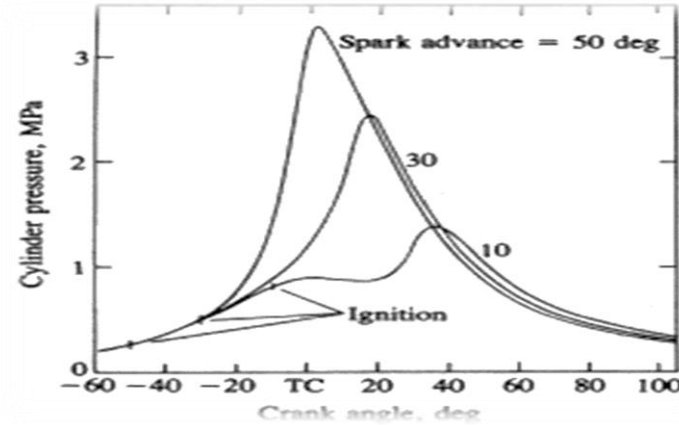
p_{ref}, T_{ref} : درجة حرارة وضغط مرجعية، $T_{ref} = 298K$ ، $p_{ref} = 1(kg/cm^2)$

f : مقدار الاحتكاك بين جزيئات الغاز

$\emptyset$: معامل فائض الهواء

$$\alpha = 2.18 - 0.8(\emptyset - 1)$$

$$\beta = -0.16 + 0.22(\emptyset - 1)$$



الشكل (10-2) تأثير زاوية تسببق الإشعال على منحنى الضغط في المحرك

2-4-9- تأثير نسبة الهواء للوقود [11] [5] [1]

العامل المهم في نسبة الهواء والوقود هو الزمن اللازم لعملية الاحتراق أو فترة الإشعال عندما يكون خليط الهواء والوقود أغنى بنسبة 10% من القيمة المثالية، فترة الإشعال سوف تكون أقل ما يمكن وسرعة انتشار اللهب ستكون بالقيمة العظمى لها.

نلاحظ مما سبق أن:

الخليط الغني بالوقود يؤثر بشكل كبير على الحد من ظاهرة الصفع وذلك بسبب انخفاض درجة الحرارة والضغط لأن ذرات الوقود الباردة تمتص الحرارة من الشحنة وتؤدي أيضاً لخفض فترة الإشعال. تعتمد سرعة التفاعلات الكيميائية على تركيب الشحنة الذي يعبر عنه بمعامل فائض الهواء (α).

يكون إشعال الشحنة المتجانسة ممكناً في مجال معين لمعامل فائض الهواء بين α_{min} و α_{max} تسمى α_{min} بحد التركيز الأعلى لانتشار اللهب أي إن الإشعال لا يمكن أن يبدأ إذا كانت $\alpha_{min} > \alpha$.

وتسمى α_{max} بحد التركيز الأدنى لانتشار اللهب، أي أن الإشعال لا يمكن أن يبدأ إذا كانت $\alpha_{max} < \alpha$.

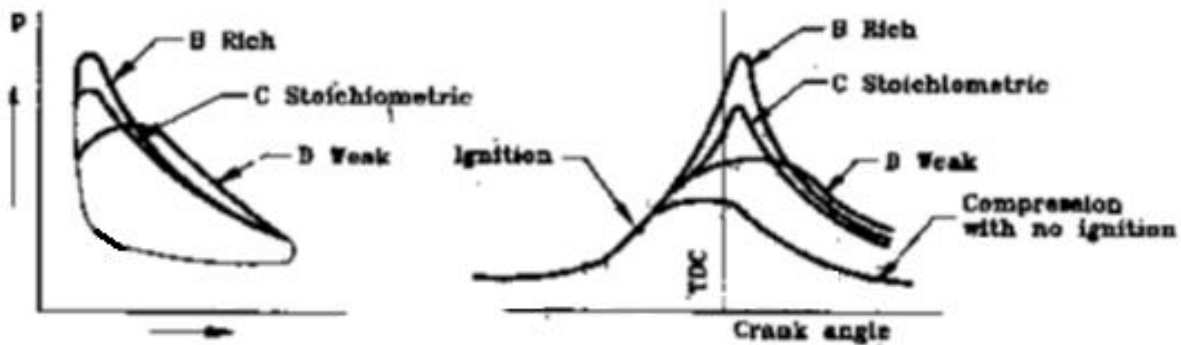
قيمة α_{min} (0.3-0.5) و α_{max} (1.2-1.3%) في محركات البنزين.

يتم تغيير كمية الشحنة الواصلة إلى اسطوانة محرك البنزين عن طريق صمام التحكم مع تغيير في تركيب هذه الشحنة في مجال ضيق ($0.85 \leq \alpha \leq 1.15$) تبعاً لنقاط تشغيل المحرك، عندما تكون α في المجال (0.9-0.85) تختصر فترة الإشعال، كما تزداد سرعة الاحتراق في المرحلة الأساسية.

وباختيار زاوية تسبيق إشعال (ϕ_{ign}) مناسبة، تتم عملية الاحتراق قرب النقطة الميتة العليا وتبلغ استطاعة المحرك قيمتها العظمى، على الرغم من عدم اكتمال عملية الاحتراق وازدياد استهلاك الوقود.

وعندما تصبح α أكبر من 0.9 تزداد فترة الإشعال ويؤدي ذلك إلى ازدياد فترة الاحتراق، ويؤدي هذا إلى انخفاض استطاعة المحرك. تبلغ اقتصادية المحرك قيمتها العظمى عندما تكون α في المجال (1.15-1.05) على الرغم من أن عملية الاحتراق تتم بسرعة بطيئة نوعاً ما.

يبين الشكل (2-11) تأثير نسبة الهواء والوقود على عملية الاحتراق في المحرك



الشكل (2-11) تأثير نسبة الهواء للوقود

2-4-10- تأثير رطوبة الهواء [12] [4]

بزيادة رطوبة الهواء الجوي ينقص الميلان لحدوث الصفع ويخفض درجة حرارة الشحنة وهو ما يشابه حالة حقن خليط الميثانول مع الماء، فوجود بخار الماء في الشحنة الداخلة يزيد من رطوبة الهواء ويخفض من درجة حرارة الشحنة الداخلة.

2-4-11- تأثير رقم الأوكتان للوقود [1]

تقدر مقاومة الصفع لوقود البنزين برقم الأوكتان.

عند اختبار خليط من الإيزوأوكتان والهيبتان العادي، يظهر الصفع عند نسب انضغاط معينة تبعاً للنسب الحجمية لكل من الوقودين في الخليط.

ولإيجاد رقم الأوكتان لوقود تجاري معين، نغير نسبة الانضغاط أثناء عمل المحرك على هذا الوقود، حتى ظهور بوابر الصفع، ومن ثم نقارن النتيجة بنتائج اختبار الخلط العيارية.

ويُعرف رقم الأوكتان لوقود تجاري بأنه النسبة الحجمية (المئوية) للإيزوأوكتان والهيبتان العادي عندما تكون قابلية الصفع للخليط العياري والوقود التجاري متطابقة، فمثلاً إذا تطابقت قابلية الصفع للوقود التجاري والخليط الذي يحتوي 70% من الإيزوأوكتان و 30% من الهيبتان العادي، فنقول عند ذلك إن رقم الأوكتان لهذا الوقود التجاري هو 70.

لزيادة رقم أوكتان البنزين يضاف إليه سائل إيتيلي وهيدروكربونات عطرية، تراوح كمية السائل الإيتيلي المضاف بين 0.5-1 سم³ لكل 1 كغ بنزين.

2-4-12- تأثير درجة اضطراب المزيج وتشكيل الخليط [1] [4]

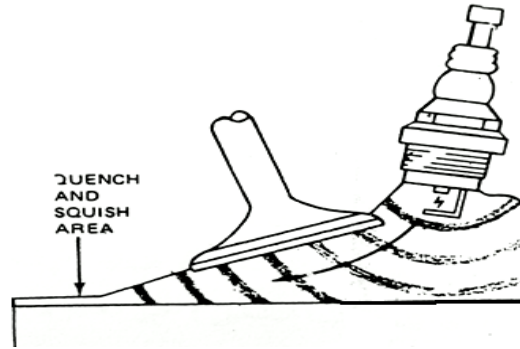
بزيادة درجة اضطراب المزيج تزداد سرعة انتشار اللهب وبالتالي تتخفض امكانية ظهور حادثة الصفع. يعتمد اضطراب الشحنة على تصميم مجمع السحب وعلى شكل غرفة الاحتراق وعلى آلية تشكل الخليط.

يتشكل الخليط عند اختلاط الوقود بالهواء. وتتعلق عملية الإشعال بنسب الوقود والهواء في الخليط (معامل فائض الهواء) ويتجانس الخليط وبسرعة تشكيله ومكانه والزمن المتاح له. ويسمى الخليط متجانساً عندما يوجد حول جزيئات الوقود جزيئات مساوية من الهواء ويكون الخليط غير متجانس (ثنائي الأطوار) عندما يوجد بعض الوقود بشكل قطرات أو طبقات في الهواء. تحدث عملية الخلط نتيجة تداخل جزئي بين بخار الوقود والهواء من خلال السطح الفاصل بينهما، أو بواسطة التيار المضطرب. ويحصل التجانس بسرعة كلما تقاربت حجوم الغازات المخلوطة. وتبلغ فترة تشكيل الخليط من 0.0005 - 0.06 ثانية في المحركات الحديثة. وتسرع عملية التداخل إما بزيادة حرارة الهواء أو الوقود، وإما بزيادة سطوح التجانس بينهما. ويتم ذلك بتجزئة تيارات الهواء والوقود، وتنظيم الاضطراب فيما بينهما. ويمكن تسريع تبخر البنزين بزيادة سطح التبخر بمئات المرات، وتذير الوقود إلى قطرات دقيقة (100-300 ميكرون).

2-4-13- تأثير شكل غرفة الاحتراق والأبعاد الهندسية لها [1]

يتم عادة اختيار شكل غرفة الاحتراق في محركات البنزين بحيث تقلل من إمكان حدوث الصفع، وذلك باختيار غرف احتراق تكون فيها سطوح التبريد كبيرة نسبياً في المناطق النائية عن شمعة الاحتراق، حيث يحتمل حدوث بداية الصفع. يعمل هذا على تخفيض درجة حرارة الشحنة في تلك المناطق. وذلك لأن نسبة سطح التبريد إلى حجم الشحنة في هذه المنطقة كبيرة، ويعني هذا أن معدل انتقال الحرارة من الشحنة إلى وسط التبريد عبر هذه السطوح سيعادل معدل

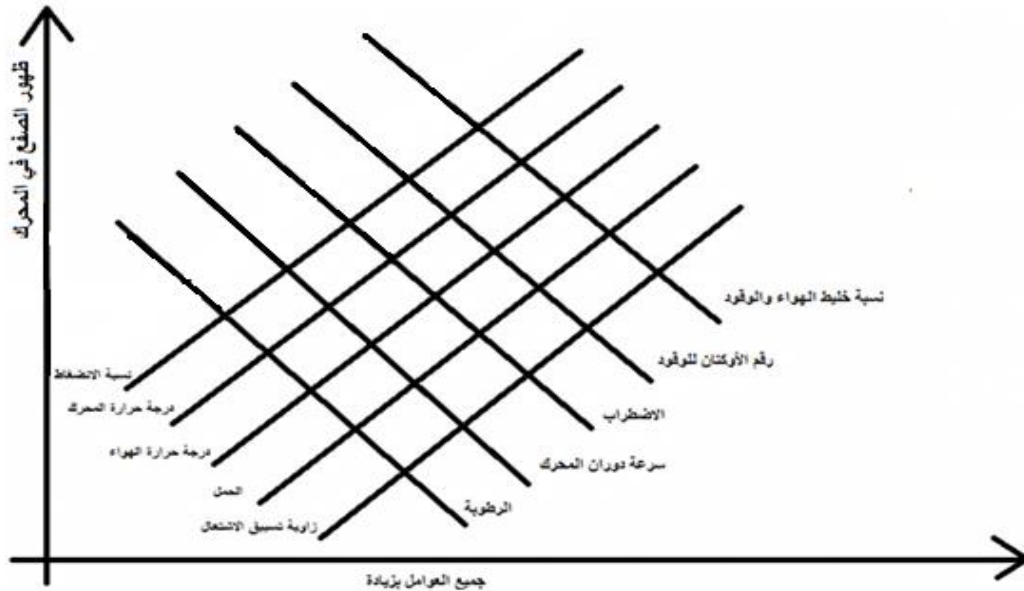
اكتساب الشحنة (في هذه المنطقة) للحرارة من جبهة اللهب، مما يؤدي إلى عدم احتراقها قبل وصول جبهة اللهب، ويمنع بذلك حدوث الصفع.



الشكل (12-2) يبين غرفة احتراق موشورية

موقع شمعة الاحتراق: يتم اختيار هذا الموقع لتصل جبهة اللهب إلى المناطق التي يحتمل حدوث الصفع فيها بأقصر فترة زمنية ممكنة.

موقع صمام الطرد: يوضع صمام الطرد في مكان قريب من شمعة الإشعال ليكون بعيداً عن منطقة الحرارة العالية لكي تبقى درجة حرارته ضمن الحدود المسموح بها وإلا سيساعد على حدوث ظاهرة الصفع
الشكل (13-2) رسم بياني يبين تأثير جميع العوامل السابقة على ظاهرة الصفع
والجدول رقم (1-2) أيضاً.



الشكل (13-2) رسم بياني يبين تأثير جميع العوامل السابقة على ظاهرة الصفع [11]

إمكانية التحكم والتغيير بشكل مستمر	العمل الذي يجب اتخاذه من أجل تخفيض الصفح	التأثير الرئيسي على الشحنة غير المحترقة	الزيادة في المتغيرات
لا	تخفيض	زيادة الضغط والحرارة	نسبة الانضغاط
نعم	تخفيض	زيادة الضغط	كتلة الشحنة الداخلة
بعض الحالات	تخفيض	زيادة الحرارة	درجة حرارة الشحنة
بشكل عادي	تخفيض	زيادة الحرارة	درجة حرارة غرفة الاحتراق
في بعض الحالات	تأخير	زيادة الضغط والحرارة	تسبيق الإشعال
في بعض الحالات	جعله غني جداً	زيادة الضغط والحرارة	نسبة الهواء للوقود
عند سرعات دوران عدة للمحرك	زيادة	يخفض فترة تأخر الإشعال	سرعة دوران المحرك
نعم	زيادة	يخفض فترة تأخر الإشعال	سرعة دوران المحرك
لا	تخفيض	زيادة فترة تأخر الإشعال	المسافة التي تقطعها جهة اللهب

الجدول رقم (1-2) يبين تأثير مختلف العوامل على ظاهرة الصفح: [11]

الفصل الثالث

تصغير حجم المحركات

Engine Downsizing

الفصل الثالث: تصغير حجم المحركات

1-3 مقدمة

أصبح تصغير حجم المحرك راسخًا في صناعة السيارات فهو يوفر حلاً ميسور التكلفة لتقليل ثاني أكسيد الكربون في العادم وتحسين في استهلاك الوقود.

ويوفر أيضًا قابلية قيادة محسّنة من محركات البنزين عند عزوم دوران عالية وسرعات دوران منخفضة والذي بدوره يسمح بنقاط تشغيل للمحرك عند سرعات الدوران المنخفضة.

بالنسبة إلى شركات تصنيع السيارات، هناك عدة عوامل تجذبها لاستراتيجية تصغير حجم المحرك، إن كلفة إنتاج محركات البنزين أقل مقارنة بإنتاج محركات الديزل (خاصة عندما يتم تضمين تكاليف المعالجة (EAT) بعد نظام العادم)، وهناك مكاسب كبيرة في الكفاءة في مثل هذه المحركات التي يتم تصنيعها باعتبار الضياعات الكبيرة لمحركات التنفس الطبيعي، وأن متابعة الإنتاج في معامل المحركات لا يستلزم الاستثمار في خطوط إنتاج جديدة (علي سبيل المثال كما هو مطلوب من خلال التحول إلى المركبات الكهربائية أو التي تعمل بخلايا الوقود).

تتبع مزايا تصغير حجم محرك الإشعال بالشرارة من تغيير نقاط التشغيل التي يستخدمها المحرك في خريطته لأي عزم معين، ويكون الخانق مفتوحًا على نطاق أوسع، مما يؤدي إلى تقليل خسائر التبادل الغازي وفي الوقت نفسه ترداد الكفاءة الميكانيكية، ويتم تعريفها [34] على أنها:

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{\bar{P}_{\text{brake}}}{\bar{P}_{\text{ind}}}$$

حيث:

η_{mech} : هي الكفاءة الميكانيكية

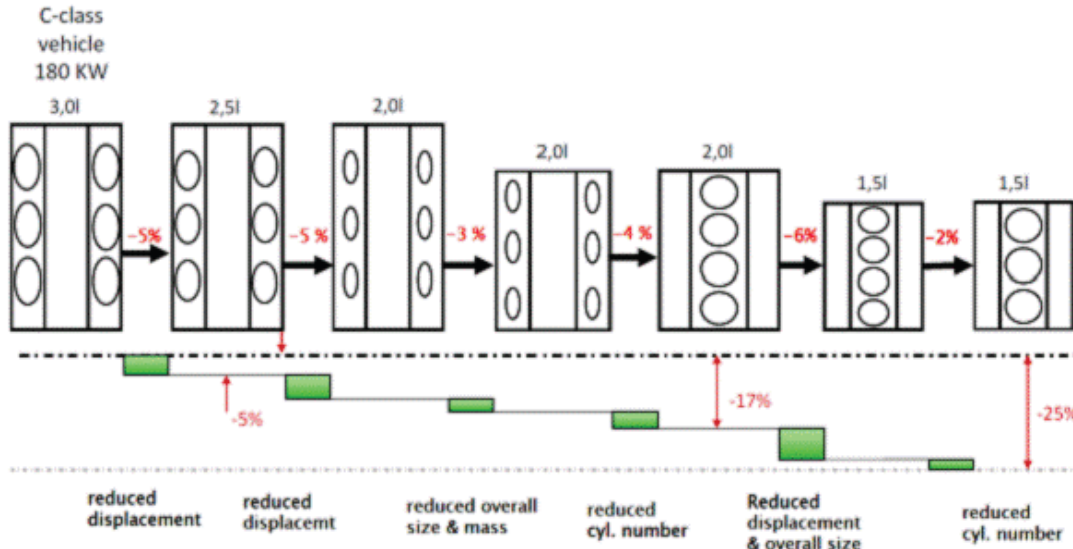
P_{brake} : هي الاستطاعة الفرملية المأخوذة من الضغط الفعال الفعلي (BMEP).

P_{ind} : هي الاستطاعة النظرية المأخوذة من الضغط الفعال النظري (IMEP).

تتحسن الضياعات الحرارية أيضًا في حالة تصغير الحجم وإلغاء الأسطوانات من المحرك بالأخص في المحركات التي يكون فيها توضع الأسطوانات على شكل حرف V مقارنة بالمحركات التي تكون على خط واحد وهناك وفورات كبيرة في المواد وتكاليف التصنيع، أيضًا.

تصل المحركات السيارات التي تم تصغير حجمها إلى استهلاك وقود أفضل بنسبة 25٪ مقارنة بالمحركات الكبيرة.

ينطبق هذا على السيارات من الفئة C وفقاً لـ [36]، أي سيارات الركاب من الطبقة المتوسطة، على سبيل المثال أودي A4 و BMW 3series و Mercedes C-class وجميع السيارات التي يتم فيها استبدال محرك SI سداسي الأسطوانات بمحرك بشحن توربيني عالي مكون من ثلاث أسطوانات في عدة خطوات الشكل (1-3).



الشكل (1-3): تحسين استهلاك الوقود في دورة القيادة الأوروبية الجديدة من خلال تصغير حجم المحرك

يتم تقدير المزايا والإمكانيات العملية لكفاءة الوقود بشكل واقعي من خلال القيم الحقيقية والواقعية للكفاءة الحجمية والميكانيكية.

تُظهر هذه النتائج أن الإزاحة المنخفضة وعدد الأسطوانات الأقل، مفيدان بفضل تقليل الأسطح المتحاكة مع بعضها.

يمكن الحصول على أداء محرك مصغر الحجم مساوٍ من خلال تطبيق تقنيات الشحن التوربيني الحديثة. لا يمكن تحقيق سرعة الاستجابة نفسها الذي يكون عادةً في المحرك غير المشحون وبالتالي تمت إدراج أنظمة تشتمل على أكثر من شاحن توربيني أو مجموعة من الشحن التوربيني والشحن الفائق.

في الوقت الحاضر، يستخدم مجموعة نقل حركة مطورة مع المحرك المصغر بشاحن توربيني الشاحن فردي.

تم اعتماد هذه المفاهيم على نطاق واسع بسبب مزاياها في والتكاليف والتعقيد.

إضافةً لأداء القيادة المقنع ويمكن أن تتنافس مع المحركات غير المشحونة بفضل عزم الدوران العالي حيث تعوض المحركات المصغرة الحجم، الاستجابة المفقودة أثناء تغييرات الحمل الديناميكي من خلال الارتفاع المتأخر ولكن الأكثر حدة لعزم الدوران.

يعطي ذلك إرضاء أكبر للسائق أثناء القيادة كما يؤكد ما سبق من خلال أرقام المبيعات الحالية للسيارات المزودة بمحركات مصغرة.

كما يمكن تحسين كفاءة استهلاك الوقود في دورة القيادة الأوروبية الجديدة من خلال انخفاض سرعة المحرك (ما يسمى بالسرعة المنخفضة)، الذي يتحقق من خلال نسبة التروس.

إن العدد المتزايد من النسب في ناقل الحركة الأوتوماتيكي الجديد، والقدرة على توفير مجال كبير للعزم والسرعة، يحسن من استهلاك وقود السيارة. بالنسبة لأي استطاعة خرج من المحرك. ويؤدي اختيار نسبة أعلى وسرعة أخفض للمحرك إلى نقلها إلى أحمال أعلى بسرعات منخفضة، وينخفض الاحتكاك عامةً، مما يؤدي إلى زيادة الكفاءة الميكانيكية وتحسينها. في الوقت نفسه، تساهم أدوات التحكم الإلكترونية في توليد قدرة ممتازة على القيادة، خاصةً إذا كان من الممكن تحسين ضياعات الاحتكاك الديناميكي الهوائي ومجموعة القيادة. تم تعريف "عامل التصغير" لهذه المحركات هنا على أنه [35]:

$$DF = \frac{V_{Swept_{NA}} - V_{Swept_{Downsized}}}{V_{Swept_{NA}}}$$

حيث DF: عامل التصغير.

$V_{NASwept}$: حجم محرك يستنشق بشكل طبيعي باستطاعة خرج معينة.

$V_{SweptDownsized}$: حجم المحرك المصغر (الحجم البديل لمحرك مماثل كبير الحجم) وله نفس استطاعة خرج المحرك غير المشحون.

كمثال على ذلك في المركبات الفاخرة، الهدف الأساسي هو إعادة إنتاج منحنيات القوة وعزم الدوران لمحرك Jaguar Land Rover V8 بسعة 5.0 لترات AJ133 بسحب هواء لطبيعي (بدون شحن توربيني) من محرك مشحونًا بالضغط بسعة قصوى 2.0 لتر.

حيث ينتج محرك AJ133 NA [34]:

515 نيوتن متر @ 3500 دورة في الدقيقة.

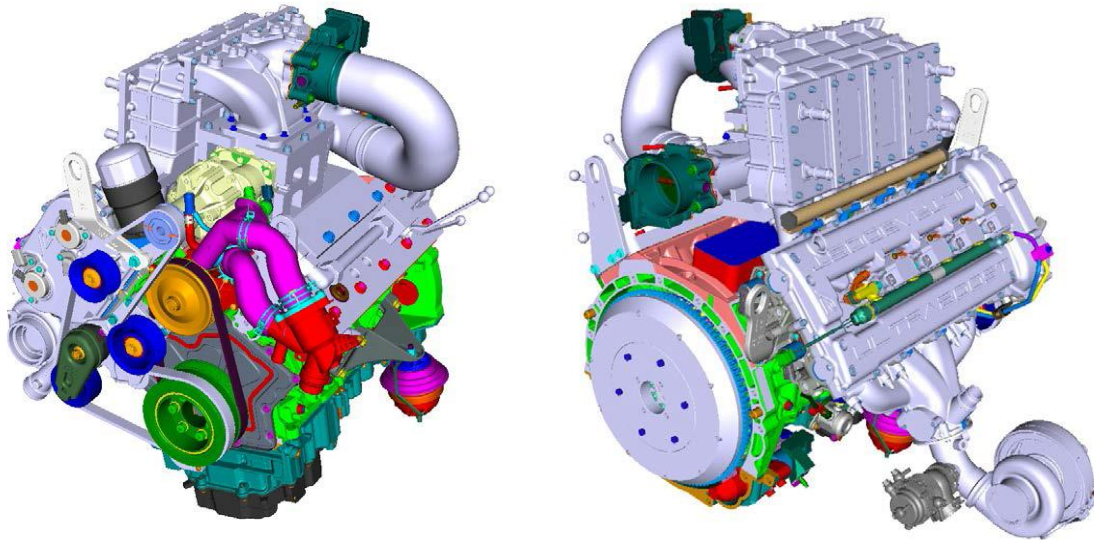
400 نيوتن متر @ 1000 دورة في الدقيقة

283 كيلواط (380 حصانًا) @ 6500 دورة في الدقيقة.

باعتداد DF بنسبة 60% من محرك مشحون توربينيًا بسعة قصوى 2.0 لتر، يكون تحقيق أهداف BMEP اللاحقة للمحرك المشحون صعبة للغاية، حيث يجب تحقيق الحد الأدنى 32.4 بار من BMEP لتحقيق ذروة العزم عند 3500 دورة بالدقيقة، و 25.1 بار من BMEP لتحقيق العزم عند 1000 دورة في الدقيقة. يبين الجدول (1-3) مواصفات المحرك المشحون البديل لمحرك ذو سعة 5 لترات:

General architecture	4-cylinder in-line Four valves per cylinder
Construction	All-aluminium AJ133 cylinder block converted to single-bank operation with the A Bank (right-hand side) Siamesed liner pack to facilitate reduced bore diameter Dedicated cylinder head
Bore	83 mm
Stroke	92 mm
Swept volume	1991 cc
Firing order	1-3-4-2
Combustion system	Pent-roof combustion chamber with asymmetric central direct injection and spark plug High-tumble intake ports Auxiliary port-fuel injection Secondary spark plug position possible in the under-intake-port location
Compression ratio	9.0:1
Valve gear	Chain-driven double overhead camshafts with fast-acting dual continuously-variable camshaft phasers (DCVCP) Cam profile switching (CPS) tappets used on inlet and exhaust
Charging system	Low-pressure stage: Garrett GT30 turbocharger with separate wastegate Inter-stage off-engine charge air cooler High-pressure stage: clutched Eaton R410 supercharger with overall 5.6:1 drive ratio (later changed to 5.9:1 - see text) Engine-mounted water-cooled charge air cooler Supercharger bypass
EGR system	Off-engine low-pressure loop configuration
Engine management system	Lotus 'Euro 8' ECU

الجدول (1-3) مواصفات المحرك المشحون البديل لمحرك ذو سعة الـ 5 ليترات



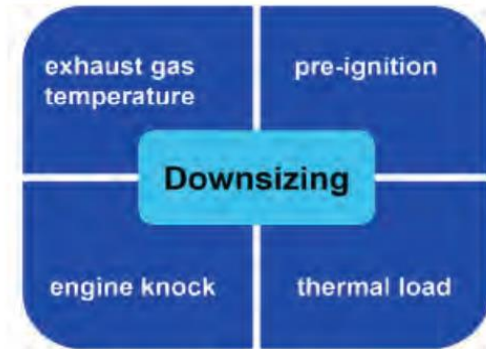
صور CAD لمحرك

2-3- حدود تصغير حجم المحرك والمشاكل التي تواجهه [37]

من أهم المشاكل التي تواجه تصغير المحركات هي:

- الاحتراق غير المنتظم في المحرك.
- الحمل الحراري والميكانيكي الكبير على أجزاء المحرك.
- درجة الحرارة العالية لغازات العادم.
- استثمار المحرك ومعدل استهلاك الوقود أثناء عمل المحرك في الظروف الحقيقية.

يبين الشكل (2-3) المشاكل التي تواجه تصغير المحركات



الشكل (2-3) المشاكل التي تواجه تصغير المحركات

عند تركيب الشحن التوربيني وتصغير المحرك يزداد احتمال حدوث الاحتراق غير الطبيعي وحدث الصفع والاشتعال المبكر.

أثناء شوط الانضغاط تكون درجة الحرارة والضغط كبير جدا كنتيجة لذلك تشتعل الشحنة تلقائيا مما يسبب الاحتراق غير المنتظم في المحرك والضار له.

تقوم الشركات المصنعة للسيارات بعدة إجراءات للتغلب على هذه المشكلة:

- 1- تأخير لحظة إعطاء الشرارة يعطي نتائج إيجابية لكن يقلل من كفاءة المحرك ويقلل من الاستطاعة.
- 2- تقليل نسبة الانضغاط يؤدي إلى تقليل كفاءة المحرك والاستطاعة.
- 3- زيادة نسبة خليط الهواء والوقود يخفض الصفع ولكنه ينعكس سلبيا على استهلاك الوقود.

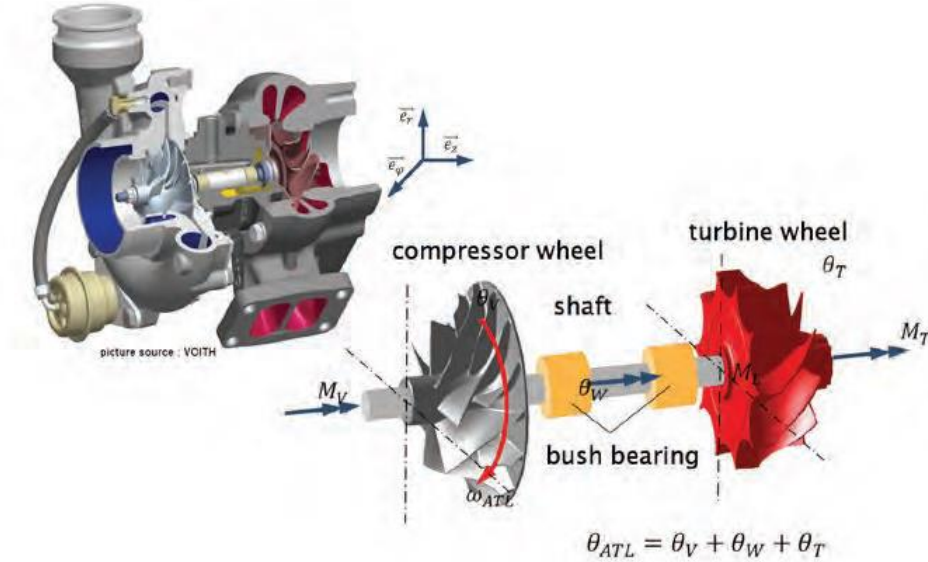
3-3- كفاءة القيادة واستهلاك الوقود في ظل ظروف القيادة الحقيقية [37]

يتطلب المحرك العالي الأداء تدفقا كبيرا للشحنة، والتي يجب نقلها إلى غرفة الاحتراق وإخراجها. يستلزم ذلك أنظمة الشحن التي يمكنها توفير هذه التدفقات الكبيرة.

من الشائع استخدام نظام شاحن توربيني واحد، إن مبدأ الشحن هذا لا يمكن أن يلي مخطط التبادل الغازي ومتطلبات عزم الدوران في كل نقاط التحميل في ظل ظروف القيادة الحقيقية.

يجب استغلال نظام الشحن التوربيني بكامل طاقته، بحيث يكون تأثير كل أسطوانة مفردة في ترتيب الإشعال على الشاحن التوربيني ويجب منع حدوث تفاعل غير ملائم بين الأسطوانات المفردة.

يؤمن الشاحن التوربيني Twin Scroll مع حاجز التدفق خيارًا مناسبًا خاصةً للمحركات الأكثر شيوعًا ذات الأربع أو الست أسطوانات. كما تؤمن أنظمة الشحن الحديثة هذا الغرض وسنتحدث عنها في فصل لاحق. يتم تحديد الاستجابة الديناميكية بشكل إضافي وعلى وجه الخصوص بواسطة تدفق الشحنة اللازمة وحجم الشاحن التوربيني الشكل (3-3).

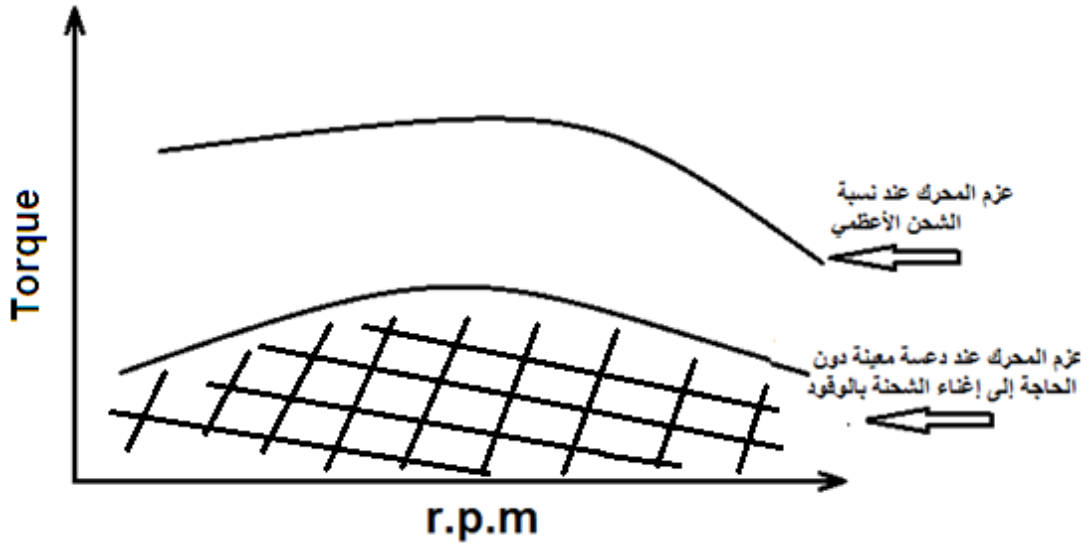


الشكل (3-3) شاحن توربيني Twin Scroll وعمود التشغيل مع تدفق الكتلة

هناك مسألة أخرى تتعلق بعزم الدوران عند السرعة المنخفضة للمحرك. يجب أن يوفر حجم الشاحن التوربيني ضغطًا كافيًا للهواء المشحون بمتوسط ضغوط فعالة تبلغ 25 بارًا وأكثر حتى مع انخفاض تدفق كتلة العادم. الشاحن التوربيني بتوربين صغير يعمل بكفاءة عند السرعة المنخفضة للمحرك. يعمل تصغير قطر التوربين على تحسين الخصائص عند عزم الدوران المنخفض والاستجابة الديناميكية، ولكنه يقلل من تدفقات الكتلة عند عزوم كبيرة وسرعات الدوران العالية ويرتفع الضغط الخلفي للعادم، مما قد يؤدي إلى زيادة هائلة في غازات العادم المتبقية، غالبًا ما يكون هذا هو سبب ظاهرة الاحتراق غير المنتظم. كإجراء مضاد، من الممكن العمل بمزيج غني للوقود وتبريد خليط الوقود والهواء بواسطة المحتوى الحراري للتبخير من البنزين السائل في غرفة الاحتراق واستخدام تأثير التبريد لتقليل الإجهاد الحراري لصمامات العادم والشاحن التوربيني أثناء الحمل العالي. على الرغم من أن هذا فعال، إلا أنه ليس فعالًا بالنسبة لاستهلاك الوقود.

الهدف الرئيسي من زيادة نسبة خليط الهواء والوقود هو التغلب على درجات الحرارة العالية داخل الأسطوانة. نسبة خليط الهواء للوقود المثالية هي 1:14.7 لكن عند العمل على نسب شحن عالية وأحمال كبيرة للمحرك يتم تخفيض نسبة خليط الهواء إلى الوقود إلى 1:11 وتقوم ذرات الوقود عند تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية بامتصاص حرارة الشحنة وحرارة أسطوانة المحرك وبالتالي يتم تجنب حدوث الصفع والحصول على

استطاعة أعلى من المحرك باستخدام الطريقة السابقة ولكنها تقلل أيضا من كفاءة المحرك وبالنظر إلى شكل (4-3) نجد أن:



شكل (4-3) منطقة عمل المحرك المشحون دون الحاجة لإغناء الشحنة بالوقود

المنطقة التي تقع تحت المنحني المظلل هي منطقة عمل المحرك دون الحاجة لإغناء الشحنة بالوقود وتعد صغيرة نسبياً.

أما المنطقة أعلى هذا المنحني فهي تحتاج إلى إغناء الشحنة بالوقود أي الحصول على استطاعة بالتالي استهلاك عال للوقود.

هذا ما يسمى بالفجوة بين استهلاك الوقود النظري والحقيقي أثناء الحملات والتسارع والتشغيل عدم التطابق هذا يخفف ثقة الزبائن ولا يحقق طلب السلطات التشريعية بالنسبة لانبعاثات غازات العادم.

لذلك تقوم الشركات الصانعة بإيجاد حلول من أجل التغلب على مشكلة الصفع بالمحرك المشحون والحصول على مردود أفضل مثل:

استخدام الحقن المباشر والحقن في مجمع السحب معاً، المحركات متغيرة نسبة الانضغاط. تبريد غازات العادم المرجعة للمحرك، نظام كسح فعال لغازات العادم.

4-3- دورات اختبار جديدة وقوانين لتحديد الانبعاثات والانبعاثات الحقيقية عند القيادة (RDE) [37]

يتم قياس استهلاك الوقود للسيارات، المعتمدة في الاتحاد الأوروبي، وفقاً لدورة القيادة الأوروبية الجديدة (NEDC).

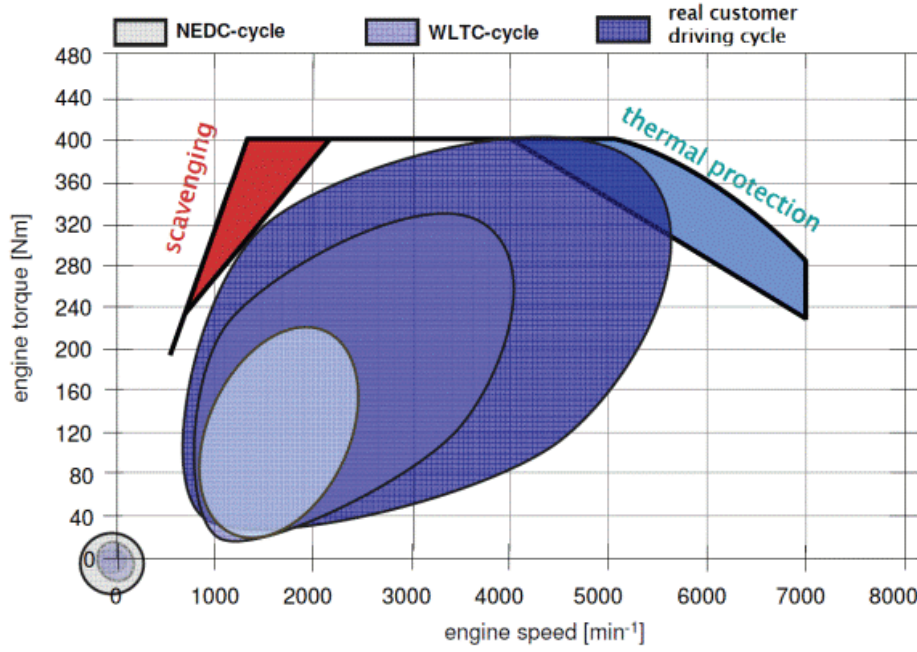
محركات SI التي طبقت مفهوم تصغير الحجم تصل إلى قيم منخفضة في هذه الدورة ولا يمكن أن تصل لقيم أعلى منها.

في الوقت الحالي، يقوم المجلس التشريعي بتعديل دورات الانبعاثات بشكل كبير في أوروبا وفي أجزاء واسعة من العالم.

ستقدم السلطات التنظيمية في البلدان المعنية اختبارات جديدة، على سبيل المثال WLTC Worldwide-Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)

الشكل (3-5) نتيجة الدورات الجديدة، ينتقل طيف الحمل في خريطة تشغيل المحرك إلى منطقة أكثر كفاءة مع بقاء قطاعات لم يتم تغطيتها بعد.

هناك حاجة جزئياً للانحراف عن العملية المثلى، بسبب مخاطر الصفع. تتضمن هذه الإجراءات اغناء الشحنة أو تغيير زاوية الإشعال، والتي تتميز بظروف أكثر ديناميكية والحصول على تسارع كبير.



الشكل (3-5): دورات الاختبار المنصوص عليها قانوناً والحمولات الممكنة في خريطة تشغيل المحرك

تركز السلطات التنظيمية في أوروبا والولايات المتحدة على الانبعاثات عند التحميل الكامل في أثناء أوضاع التشغيل الديناميكية القاسية.

يتعين على مصنعي السيارات في كلا السوقين إثبات أنهم لا يتجاوزون الاغناء المحدود لحماية مكونات المحرك، وتأثيرات التبريد الداخلي وتجنب الاشتعال المسبق. حيث يجب تضمين الانبعاثات الناتجة عن ظروف القيادة الحقيقية للزبون في عملية الموافقة الأوروبية لعام 2017.

تنشأ مشكلات خاصة من التغييرات المذكورة أعلاه، والتي تقيد بشكل كبير زيادة إنتاج المحركات المقلصة الحجم المشحونة.

فأن الالتزام بالقانون والأداء والموثوقية في نفس الوقت يزداد صعوبة.

من غير الممكن الخروج عن المزيج المتكافئ لتحقيق الدورات السابقة وهو أمر ضروري لمعالجة عمليات الاحتراق غير المنتظم بشكل مثالي.

3-5- الخلاصة والنتائج

تصغير حجم المحرك أو بمعنى آخر تحسين الاستطاعة النوعية لمحركات الاحتراق الداخلي لأسلوب التشغيل هو الاختيار الأفضل لتحسين استهلاك الوقود وتخفيضه.

هناك مشكلتان حاليتان تؤديان إلى انخفاض معدلات نمو الاستطاعة النوعية لمحرك SI على عكس معدلات النمو المعتادة على مدى السنوات الخمس الماضية:

من ناحية ما يلزم للتحكم في نقاط التشغيل التي لها صلة بالانبعاثات.

من ناحية أخرى، تمثل خصائص القيادة الخاصة بالسائق في مجال استهلاك الوقود المنخفض.

تم الوصول حاليًا إلى استطاعة نوعية تبلغ 100 كيلو واط / لتر، يتطلب لهذه المحركات تحكم فعال في عملية الاحتراق خاصة عند التحميل الكامل والتسارع الديناميكي.

لا يزال هذا يمثل تحديًا كبيرًا ولكن لا تزال هناك حاجة ماسة إلى حلول عملية.

تحظى مفاهيم تصغير الحجم المعتدلة بقبول متزايد ومع ذلك، لا يزال هناك عدد كبير من القضايا غير المحلولة المتعلقة بالرفع والاشتعال المسبق.

لحل هذه المشكلات يجب تحسين وظائف التحكم في المحرك وتعزيز موثوقيتها. وزيادة في نسبة الانضغاط أو العمل على نسبة انضغاط متغيرة، والتي تمت مناقشتها منذ عقود.

يجب أن يضمن تطوير عملية الاحتراق ووظائف التحكم في المحرك تطبيق الموثوقية وحماية المكونات ضد الإجهاد الحراري والميكانيكي والكفاءة القصوى للمحرك.

الفصل الرابع

الشحن القسري

supercharging

الفصل الرابع: الشحن القسري

4-1- مقدمة

الشحن القسري (supercharged) يقسم الى نوعين الشحن الميكانيكي (mechanical charging) والشحن التوربيني (turbocharging) في هذه الأطروحة سنتطرق للشحن التوربيني فقط لأنه الأكثر انتشاراً ويحسن من مردود واقتصادية وأداء المحرك، دون الحاجة إلى أي زيادة في أبعاده ووزنه، ويقلل من الانبعاثات الضارة الصادرة عنه، وذلك من خلال تحسين عملية الاحتراق، كما يؤدي إلى تعويض نقص الأوكسجين في المرتفعات العالية. ولأقت فكرة التشحن رواجاً واسعاً في المصانع المنتجة، نظراً لأن الأدوات والأجهزة الخاصة المستخدمة في مختلف المراحل الإنتاجية هي ذاتها في حالة تصنيع محركات مماثلة، يهدف هذا البحث لإعطاء فكرة موسعة عن الشحن التوربيني وتأثيره على أداء المحرك من حيث الاستطاعة والعزم الأعظمي الممكن الوصول لها وعند سرعات الدوران الموافقة لها وبالتالي تأثيرها على حدوث الصفع وذلك بسبب اختلاف الحملات العالية للمحرك مع اختلاف سرعات الدوران الموافقة لها حسب الأبعاد الهندسية للشاحن التوربيني المستخدم في المحرك.

4-2- ميزات التشحن في محركات البنزين [2]

4-2-1- زيادة الاستطاعة

تزداد الاستطاعة بعد إدخال التشحن نظراً للزيادة في كمية الهواء الوزنية الداخلة إلى الأسطوانة، ويمكن الحصول على زيادة تقدر بحوالي (35-50 %) من متوسط الضغط الفعال بسهولة. عندما يستخدم التشحن معوضاً عن انخفاض كثافة هواء السحب في المحركات والتي تكون فيها قيمة المردود الحجمي منخفضة فإن زيادة الاستطاعة تتفوق على الزيادة التي تطرأ على المردود الحجمي بحوالي 1.3 مرة. مثلاً إن زيادة المردود الحجمي من 70 % حتى 90 % أي بحوالي 20 % يؤدي إلى زيادة في قيمة الاستطاعة بحوالي 37 %.

4-2-2- زيادة المردود الميكانيك

إن الزيادة التي تطرأ على ضياعات الاحتكاك بسبب وجود المشحن وخاصة فيما إذا كان المشحن يحصل على الطاقة اللازمة لتشغيله من غازات العادم أقل بكثير من الزيادة في الاستطاعة الناتجة بعد إدخال التشحن، وكنتيجه لما تقدم يزداد المردود الميكانيكي بعد تطبيق التشحن على المحرك.

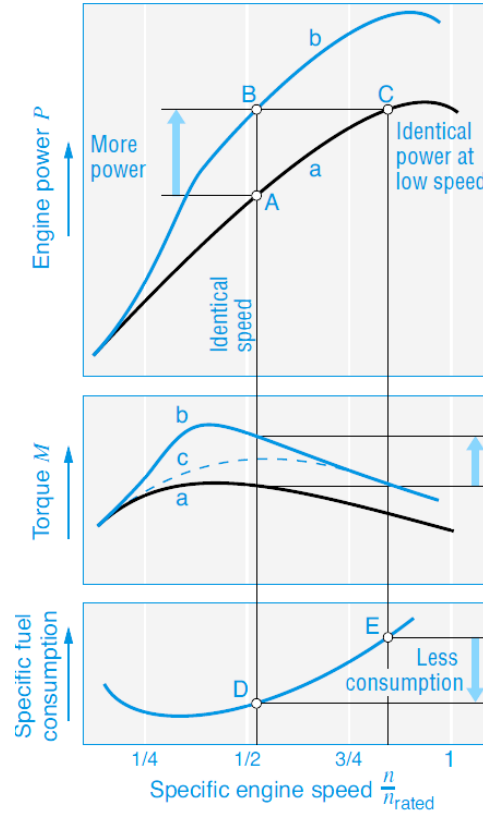
4-2-3- انخفاض استهلاك الوقود

ينخفض الاستهلاك النوعي للوقود نظراً لتوفر الظروف الملائمة للاحتراق من حيث تحسين كل من عملية تشكيل الخليط، وزيادة شدة الحركة المضطربة إضافة إلى زيادة المردود الميكانيكي بعد إدخال التشحن. مثلاً إن تأثير التشحن على استهلاك الوقود يلاحظ من الحد الأدنى لاستهلاك الوقود المساوي:

164 g/hp.h في حالة المحرك دون تشحن

150 g/hp.h عند استخدام التشحن على الرغم من أن الاستطاعة قد تضاعفت تقريباً.

يبين الشكل (4-1) مقارنة لمحرك مزود بشاحن توربيني ومحرك طبيعي بدون شحن [32].



منحنيات العزم والأستطاعة واستهلاك الوقود لمحرك
بشحن توربيني مقارنة مع محرك طبيعي بدون شحن

الشكل (1-4) مقارنة لمحرك مزود بشاحن توربيني الممثل بالمنحنى B
محرك طبيعي بدون شحن الممثل بالمنحنى A

4-3- مبدأ عمل الشاحن التوربيني [2]

إذا اعتبرنا العلاقة العامة لاستطاعة المحرك الفعالة الأسمية مقاسة ب (kw):

$$N_{enom} = \frac{1}{30\tau} P_{enom} iV_h n_{nom}$$

نجد أنه لزيادة الاستطاعة يجب التأثير على متوسط الضغط الفعال الاسمي (P_{enom}) وسعة المحرك (iV_h) والسرعة الاسمية (n_{nom}) وعدد أشواط المحرك (τ). إذا استثنينا استعمال محرك ثنائي الأشواط كوسيلة لزيادة الاستطاعة النوعية للمحرك تبقى لدينا العوامل التالية:

$$P_{enom}, iV_h, n_{nom}$$

لبحث إمكانية زيادة قيمة P_{enom} نعود إلى العلاقة التالية:

$$P_e = \frac{H_I \eta_i}{I_{th} \alpha} \eta_v \eta_M \rho_0 \left(\frac{N}{M^2} \right)$$

من هذه العلاقة نرى أنه لزيادة P_{enom} يجب زيادة قيم العوامل الأربعة :

$$\eta_v, \eta_M, \eta_i, \rho_0$$

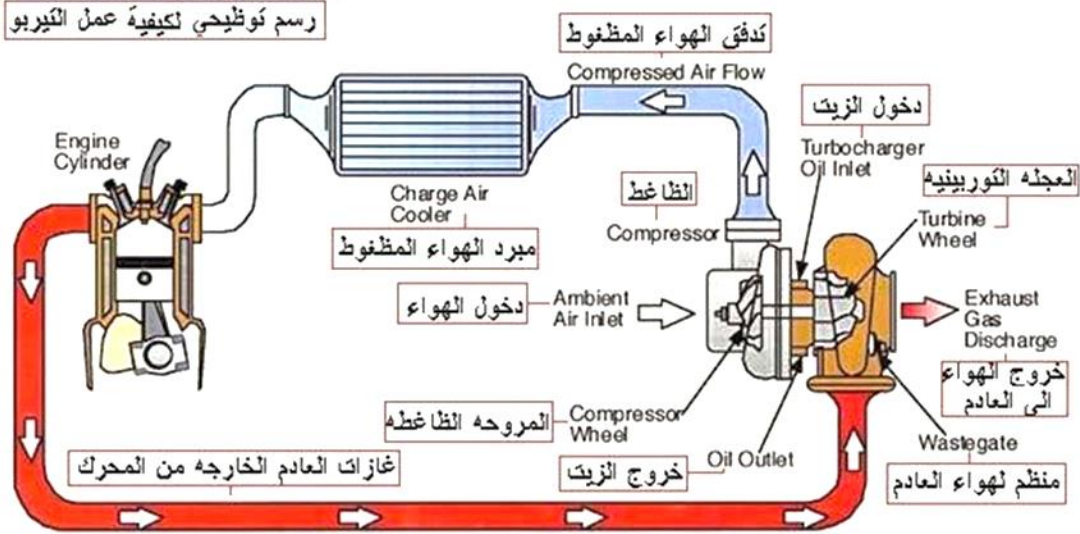
مجتمعة أو على انفراد، تعد القيم الثلاث الأولى للمحركات العصرية عالية بما فيه الكفاية، وإمكانية زيادتها زيادة ملحوظة محدودة جداً.

- تبقى معنا إذا كثافة الشحنة عند مدخل مجموعة السحب (ρ_0) والتي يمكن زيادتها بدرجة كبيرة إلى ρ_k . لرفع كثافة الشحنة إلى ρ_k يتم بواسطة ضاغط يدار إما بواسطة المحرك أو بشكل مستقل.
- وتقوم غازات العادم الخارجة من المحرك بإدارة عجلة التوربين والتي بدورها تقوم بإدارة عجلة الضاغط لأنها مثبتة على نفس المحور، والتي تسحب الهواء من الضغط الجوي المحيط وترفعه لقيمة ضغط ρ_k ، ويوجه الهواء المضغوط عبر المبرد ومجمع السحب إلى أسطوانات المحرك.
- أجزاء دائرة الشحن على المحرك

الشكل رقم (2-4) يوضح أجزاء دائرة الشحن التوربيني.

How a turbocharger works

رسم توضيحي لكيفية عمل التوربو



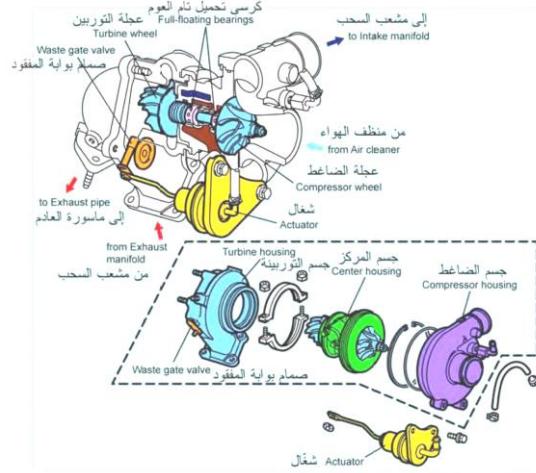
الشكل (2-4) أجزاء دائرة الشحن التوربيني

تتألف دائرة الشحن التوربيني من الأجزاء التالية:

- وحدة الشحن التوربيني.
- المبرد.
- مجمع السحب.
- صمام الخانق.
- توصيلات.
- مجمع الطرد.
- بوابة تصريف الضغط الزائد.
- نظام التحكم الإلكتروني لتنظيم عمل وحدة الشحن التوربيني.

4-4- أجزاء وحدة الشحن التوربيني [29]

يبين الشكل (3-4) المكونات الأساسية لوحدة الشحن التوربيني



الشكل رقم (3-4) المكونات الأساسية لوحدة الشحن التوربيني [5]

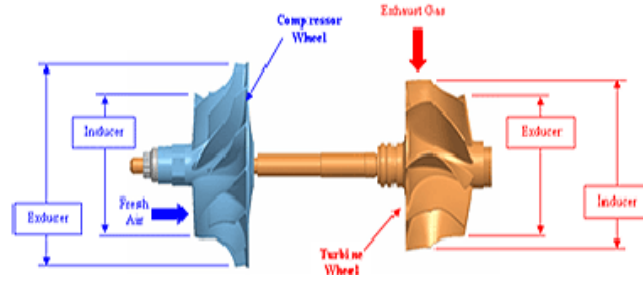
- مركز الجسم
- مروحة التوربين
- حجرة التوربين
- عمود التوصيل
- كراسي التحميل
- عنفة الضاغط
- حجرة الضاغط
- مدخل الهواء المسحوب
- مدخل غازات العادم
- مخرج الهواء المضغوط
- مخرج غازات العادم
- بوابة العادم Waste gate

4-5- الأبعاد الهندسية للشاحن التوربيني [30]

4-5-1- تحديد مقاييس عجلات التوربين والضاغط (TRIM)

التريم (TRIM) مصطلح يستخدم لوصف التوربين والضاغط، ورياضياً يربط بين القطر الذي يدخل منه الهواء والقطر الذي يخرج منه الهواء لكل من عجلتي التوربين والضاغط. وهي قيمة واحدة في الشاحن نفسه لكل من عجلة التوربين وعجلة الضاغط.

وتبعاً للديناميكية الهوائية ومسارات دخول الهواء وخروجه فإن القطر الذي يدخل منه الهواء هو القطر الكبير بالنسبة للتوربين والصغير بالنسبة للضاغط، أما القطر الذي يخرج منه الهواء هو القطر الصغير بالنسبة للتوربين والكبير بالنسبة للضاغط، يوضح الشكل (4-5) مسارات دخول الهواء بالنسبة للتوربين والضاغط.



الشكل رقم (5-4) مسارات دخول الهواء بالنسبة للتوربين والضاغط

يعطى التريم بالعلاقة التالية:

$$TRIM = \left(\frac{Inducer}{Exducer} \right)^2 * 100$$

Inducer هو القطر الذي يدخل منه الهواء.

Exducer هو القطر الذي يخرج منه الهواء.

إن قياس قطر كل من عجلة الضاغط والتوربين يؤثر في أداء المحرك من خلال كمية تدفق الهواء، فإذا كان تريم عجلة الضاغط أو التوربين كبيراً سيكون تدفقه أكبر من عجلة ذات تريم أقل، ليس بالضرورة أن يكون التدفق كبيراً إذا كان تريم العجلة كبيراً؛ باعتبار وجود عدة عوامل تؤثر على الشحن. أو بصيغة أخرى يمكن القول أن:

$$TRIM = \left(\frac{\text{القطر الذي يدخل الهواء منه}}{\text{القطر الذي يخرج الهواء منه}} \right)^2 * 100$$

مثال 1: شاحن توربيني نوع GT2871R يحتوي على عجلة ضاغط قطرها الكبير **71.0mm** وقطرها الصغير **53.1mm** ما هو تريم هذه الشاحن؟

$$TRIM = \left(\frac{Inducer}{Exducer} \right)^2 * 100$$

$$TRIM = \left(\frac{53.1}{71.0} \right)^2 * 100$$

$$TRIM = 56$$

مثال 2: شاحن توربيني GT2871R يحتوي على عجلة ضاغط قطرها الكبير **71.0mm** وتريم 48. ما هو بعد عجلة مدخل الهواء (Inducer)؟

$$TRIM = \left(\frac{Inducer}{Exducer} \right)^2 * 100$$

$$Inducer^2 = Exducer^2 * \left(\frac{TRIM}{100} \right)$$

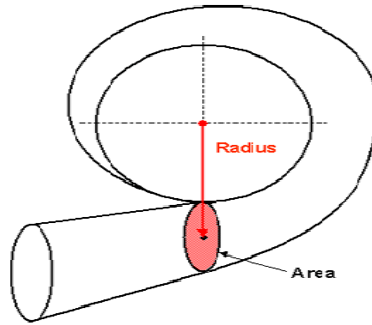
$$Inducer = Exducer \sqrt{\frac{TRIM}{100}}$$

$$\text{Inducer} = 71.0 \sqrt{\frac{48}{100}}$$

$$\text{Inducer} = 49.2 \text{ mm}$$

4-5-2- حجرة التوربين والضغوط والنسبة $\frac{A}{R}$ [30]

هي نسبة (مساحة مقطع / نصف القطر الواصل بين المحور ومركز المقطع) وهذه النسبة تشكل سمة هندسية لكل من حجرة الضاغط والتوربين. كما هو مبين في الشكل (4-6).



الشكل (4-6) توضيح النسبة $\frac{A}{R}$.

النسبة $\frac{A}{R}$ لها تأثيرات مختلفة على أداء الضاغط والتوربين، بالنسبة للضاغط فهو غير حساس نسبياً للتغيرات في هذه النسبة أي إن تأثيرها على أداء الضاغط يعد أمراً ثانوياً، أما بالنسبة للتوربين فإن أدائه يتأثر بشكل كبير بتغير النسبة $\frac{A}{R}$ ، وتستخدم لضبط سعة التدفق للتوربين فكلما كانت أصغر تزداد سرعة غاز العادم الداخل إلى عجلة التوربين مما يزيد قدرة التوربين عند السرعات المنخفضة وبالتالي يزيد ضغط الشحنة وسرعتها في الضاغط.

وعند استخدام قيم أكبر للنسبة $\frac{A}{R}$ تنخفض سرعة غازات العادم فتتأخر الشحنة ويقل الضغط وبالتالي قوة أفضل للمحرك عند السرعات العالية.

مثال 3:

محركان متطابقان كل منهما L3.5 يعملان باستخدام شاحن توربيني GT30R الفرق الوحيد بين المحركين الاثنين هو حجرة التوربين A/R :

المحرك 1 له حجرة توربين مع $A/R=0.63$

المحرك 2 له حجرة توربين مع $A/R=1.06$

ما الفرق بين أداء كل من الشاحنين؟

- المحرك 1: لديه النسبة A/R صغيرة وبالتالي يزداد الضغط عند سرعات الدوران المنخفضة، هذا الشاحن مرغوب به للحصول على استجابة سريعة عند عدد دورات منخفض.

- المحرك 2: النسبة A/R ذات قيمة أكبر، أي إن مساحة الحجرة أكبر ويمكن للتوربين أن يؤمن أداءً عالياً للمحرك عند سرعة دوران عالية، هذا الشاحن غير مرغوب به عند العمل على سرعات دوران منخفضة.

4-6- قراءة رمز الشاحن التوربيني [28]

مثال:

كود الشاحن PT6266 76TRIM .82 A/R

1- يدل الحرفان الأوليان من الرمز على اسم الشركة المصنعة.

PT: PRECISION TURBO

GT: GARRETT TURBO

VF: IHI TURBO

2- تدل الأرقام الأربعة التالية على قطر دخول الهواء للتوربين وقطر خروج الهواء في الضاغط. الرقمين

الأوليين للتوربين والرقمين الآخرين للضاغط.

62 MM TURBINE INDUCER

66 MM COMPRESSOR EXDUCER

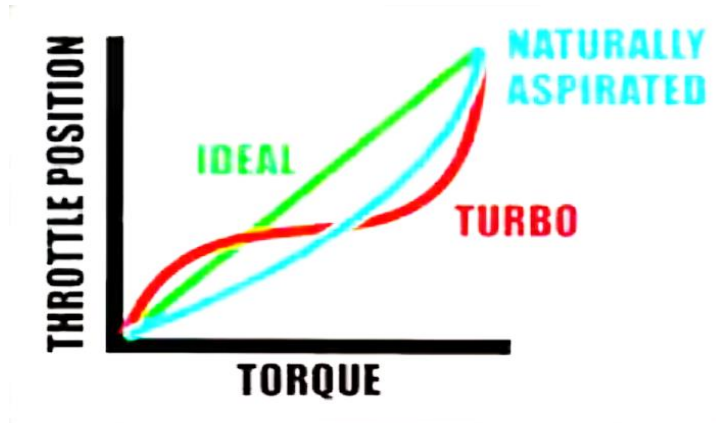
3- TRIM76 تدل على نسبة القطر الذي يدخل منه الهواء على نسبة القطر الذي يخرج منه الهواء.

قيمة النسبة $\frac{A}{R}$ هي 0.82

4-7- عيوب التشحين

-مقدار استجابة المحرك لدعسة الوقود

يمتاز محرك السحب الطبيعي باستجابة أسرع من المحرك المشحون لدعسة الوقود، العلاقة المثالية بين دعسة السائق ومنحني العزم الناتج من المحرك تكون خطية، يبين الشكل (4-7) منحنيات الاستجابة لمحرك بتغذية طبيعية ومحرك مشحون والمنحني المثالي لاستجابة المحرك



الشكل (4-7) منحنيات الاستجابة لمحرك بتغذية طبيعية ومحرك مشحون والمنحني المثالي لاستجابة المحرك

المنحني المثالي هو أن يعطي مقدار دعسة السائق العزم المطلوب له من المحرك وهو المنحني باللون الأخضر في الشكل (4-7)

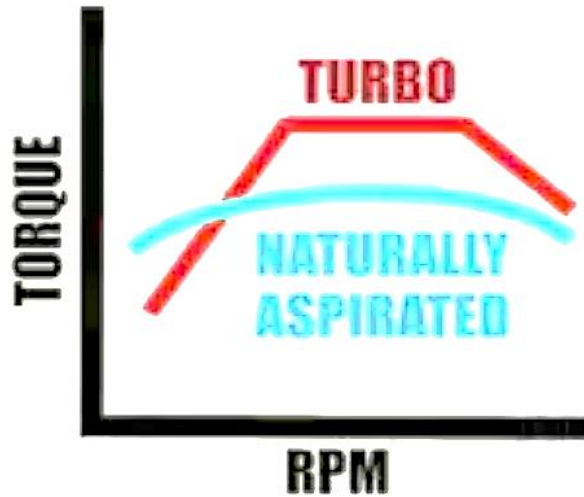
المنحني باللون الأزرق هو لمحرك السحب الطبيعي وهو أقرب ما يكون للمنحني المثالي المنحني.

باللون الأحمر منحنى لمحرك شحن توربيني نلاحظ تأخر بالاستجابة لدعسة السائق للعزم الناتج من المحرك والسبب هو الزمن اللازم لكي يدور التوربين ويقوم الضاغط بضغط الشحنة إلى مجمع السحب ثم تحدث الاستجابة للمحرك.

- منحنى العزم للمحرك المشحون

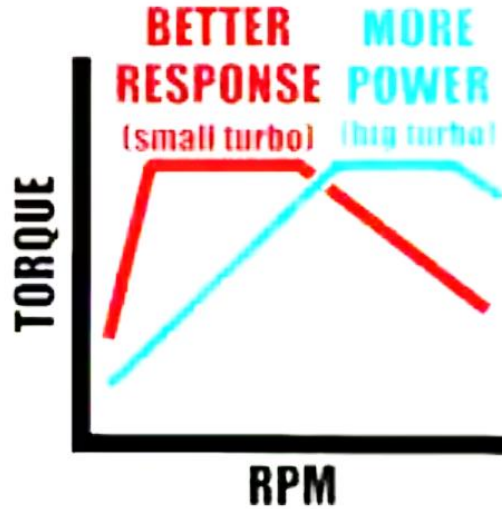
يمتاز محرك السحب الطبيعي بمنحنى عزم شبه مستقيم ومتدرج للوصول للذروة الأعظمية له أي يعطي العزم المطلوب على جميع سرعات عمل المحرك.

المحرك المشحون يمتاز باستقامة طويلة على العزم الأقصى له لكن انخفاض العزم في بداية المنحنى وفي نهايته يؤثر سلباً على أداء المحرك، ففي بداية المنحنى وعند سرعات الدوران المنخفضة يجب الانتظار لحين دوران الضاغط ورفع ضغط الشحنة ثم الحصول على العزم المطلوب وفي السرعات العالية يؤدي وجود الشاحن إلى تدهور عملية كسح غازات العادم من المحرك وانخفاض أدائه على السرعات العالية أيضاً يبين الشكل (4-8) الفرق بين منحنيات العزم لمحرك السحب الطبيعي ومحرك مشحون.



الشكل (4-8) الفرق بين منحنيات العزم لمحرك السحب الطبيعي ومحرك مشحون

تؤثر مقاسات الشاحن التوربيني على أداء المحرك في الاستجابة وشكل منحنى العزم الناتج من المحرك يبين الشكل (4-9) الفرق في منحنى العزم الناتج عند تركيب شاحن بمقاسات صغير وعند تركيب شاحن بمقاسات كبيرة على المحرك نفسه.



الشكل (4-9) الفرق في منحنى العزم الناتج عند تركيب شاحن بمقاسات صغيرة وعند تركيب شاحن بمقاسات كبيرة على نفس المحرك

من الشكل نلاحظ للحصول على استجابة عالية عند سرعات الدوران المنخفضة نحتاج شاحن بمقاسات صغيرة أما عند سرعات الدوران العالية نحتاج شاحن بمقاسات كبيرة.

ومن عيوب التشحيم أيضا

انتظار المحرك للوصول إلى درجة حرارة التشغيل المثالية عند الحاجة للعمل على أحمال وسرعات متوسطة وعالية لأن كراسي التحميل للشاحن التوربيني لا تزيت بشكل جيد نتيجة للزوجة الزيت العالية أثناء التشغيل على البارد.

عند القيادة بسرعات عالية أو القيادة لمسافات طويلة يجب الانتظار لمدة زمنية معينة قبل إيقاف عمل المحرك فعند عمل المحرك على سرعات وأحمال عالية يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الشاحن حيث يبرد ويزيت بشكل دائم أثناء عمل المحرك.

فعند توقف المحرك بشكل مفاجئ تتوقف دارة التزييت والتبريد عن العمل مما يؤدي إلى احتراق كمية الزيت الموجودة ضمن الشاحن التوربيني والتصاقها على كراسي تحميل الشاحن وبالتالي تلفها. يبين الجدول (4-1) المدة الزمنية اللازمة للانتظار قبل إيقاف عمل المحرك.

حالة القيادة	زمن الانتظار
قيادة عادية بالمدينة	لا يحتاج زمن انتظار
سرعة 80 كلم	20 ثانية
سرعة 100 كلم	دقيقة
مرتفعات جبلية وسرعة 100 كم وما فوق	دقيقتين

الجدول (4-1) المدة الزمنية اللازمة للانتظار قبل إيقاف عمل المحرك

ضرورة استخدام وقود ذي رقم أوكتاني عال من أجل الحد من احتمالية حدوث الصفع بالتالي تضرر أجزاء المحرك وتعرضها للتلف، فعند استخدام وقود ذي رقم أوكتاني منخفض يتم تأخير لحظة إعطاء الشرارة أو إغناء

الشحنة بالوقود أو تخفيض ضغط الشحن التوربيني تنعكس جميع النقاط السابقة سلباً على أداء المحرك في الاستطاعة واستهلاك الوقود.

- كفاءة التشغيل والتكلفة

لا يعني هذا أن محرك الشحن التوربيني أقل عملائية من المحرك بنظام السحب الطبيعي لكن تكلفة تصنيعه أكبر لكي يكون بكفاءة تشغيل عالية ولأن جميع أجزاء المحرك المشحون تتعرض لأحمال ميكانيكية وحرارية كبيرة جداً فعندما يكون ضغط التشحيم مساوياً لـ 1.2 بار يكون ضغط الاحتراق مساوي لضعف ضغط الاحتراق في محرك السحب الطبيعي، بالتالي يجب أن تصنع أجزائه بمتانة عالية بالتالي كلفة أكبر من محرك السحب الطبيعي.

4-8- وحدات الشحن التوربيني الحديثة

4-8-1- التحكم بضغط غازات العادم [32]

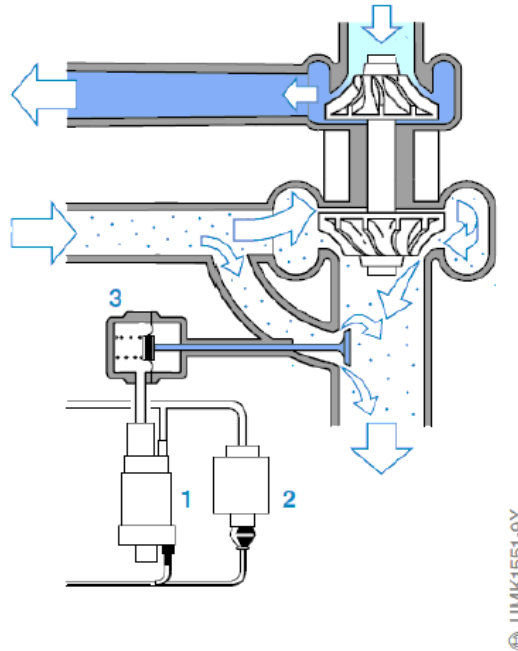
يجب على المحرك توليد عزم دوران عال حتى عند سرعات الدوران المنخفضة لذلك تصمم وحدات الشحن على أساس تدفق منخفض لغازات العادم مثل دوران المحرك على 1800r.p.m عند الحمل الكامل. لمنع تشكيل حمولة كبيرة على المحرك ناتجة من الشاحن عند التدفق الكبير لغازات العادم أو تضرر الشاحن من هذا الضغط يجب التحكم به حيث هناك ثلاث طرائق:

بوابة الشاحن لتحويل مجرى الغازات عن التوربين.

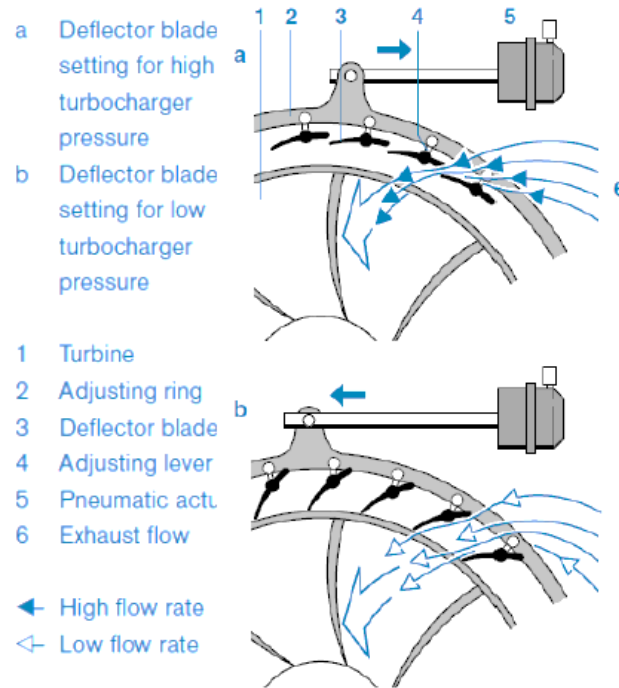
التوربين متغير الأبعاد الهندسية.

التوربين متغير تموضع الجلبة.

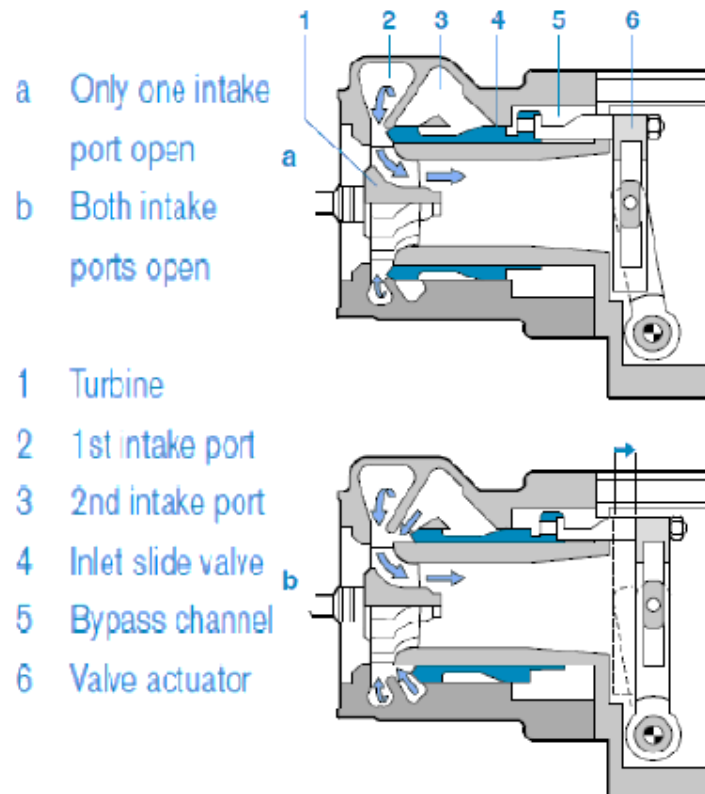
يبين الشكل (4-أ-ب-ج) طرق التحكم بضغط غازات العادم [32]



شكل (4-أ) التحكم بضغط غازات العادم عن طريق بوابة الشاحن (westgate) رقم 3 التي تعمل بواسطة منظم ضغط الشحن (pressure regulator) رقم 1



شكل (4-ب) التحكم بضغط غازات العادم بواسطة التوربين متغير الأبعاد الهندسية [32]



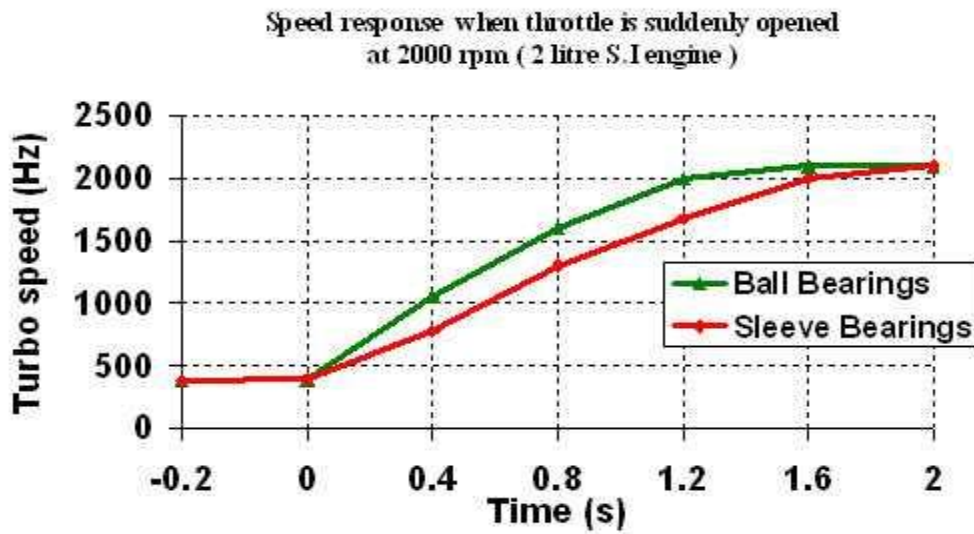
شكل (4-ج) التحكم بضغط غازات العادم بواسطة الجلبة المتغيرة الموضع [32]

4-8-2- تصميم وحدة الشحن التوربيني الحديثة

1- استخدام المحامل الكروية عوضاً عن المحامل دائمة العوم

تمتاز المحامل الكروية عن المحامل دائمة العوم في الشواحن الحديثة بانخفاض الاحتكاك بينها وبين محور الشاحن بالتالي تكون سرعة استجابة الشاحن التوربيني أكبر هذا لا يعني أنا الشاحن المزود بالمحامل الكروية يصل لسرعة دوران أعلى من الشاحن العادي من أجل الحصول على ضغط الشحن بل يتم الحصول عليه بسرعة أكبر أي يمتاز بسرعة الاستجابة وسرعة الوصول إلى ذروة العزم الأعظمي للمحرك، تصل سرعة دوران الشاحن تقريباً إلى 165000 r.p.m

يبين الشكل (4-10) الفرق في استجابة الشاحن المزود بمحامل كروية ومزود بمحامل دائمة العوم



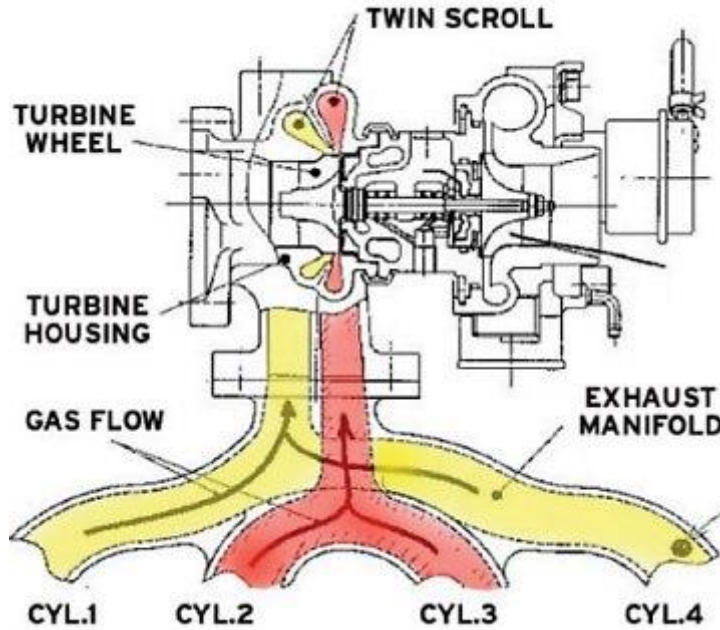
الشكل (4-10) الفرق في استجابة الشاحن المزود بمحامل كروية ومزود بمحامل دائمة العوم

2- الشاحن التوربيني ثنائي المجرى

في هذا النوع من الشواحن التوربينية يتم تقسيم مشعب غازات العادم ويتم تجميع مخارج عادم المحرك إلى مخرجين يغذيان الشاحن ويتم تجميع الأسطوانات الأولى مع الرابعة والثانية مع الثالثة وحسب ترتيب الإشعال يتم التجميع تجمع الأسطوانات الأولى مع الرابعة إلى مجرى والثالثة والثانية إلى المجرى الآخر يعود السبب في ذلك: للمساعدة على عملية كسح غازات العادم وعدم تأثير شوط الطرد للأسطوانات المتجاورة فيما بينها ففي المحركات التي لا تعتمد هذا النظام يؤدي الضغط المرتفع لغازات العادم لأسطوانة عندما تكون في شوط الطرد للدخول إلى أسطوانة مجاورة عندما تكون في نهاية شوط الطرد.

للمساعدة على تحسين استجابة الشاحن التوربيني وبالتالي تحسن استجابة المحرك على سرعات الدوران المنخفضة، يختلف قياس مجاري الشاحن التوربيني ومكان تأثيرها على التوربين بحيث يوجه عادم الأسطوانة الثانية والثالثة إلى المجرى لكبير لأن ضغط غازات العادم يكون قريباً من التوربين ومرتفعاً، بينما توجه غازات العادم من الأسطوانة الرابعة والأولى إلى المجرى الصغير لأن ضغط غازات العادم لها يكون أبعد من الأسطوانة الثانية والثالثة بالتالي تحسن استجابة المحرك على سرعات الدوران المنخفضة والعالية ، يبين الشكل (4-11)

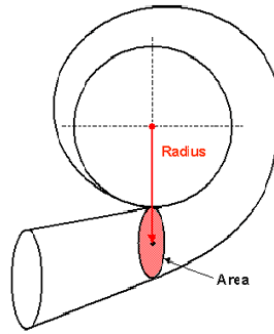
شاحناً توربينياً ثنائي المجرى تم جمع الأسطوانة الثانية والثالثة وتوجيهها إلى المجرى الكبير والأسطوانة الأولى والرابعة إلى المجرى الصغير.



الشكل (4-11) شاحن توربيني ثنائي المجرى تم جمع الأسطوانة الثانية والثالثة وتوجيهها إلى المجرى الكبير والأسطوانة الأولى والرابعة إلى المجرى الصغير

3- الشاحن التوربين ثنائي المجرى المتغير

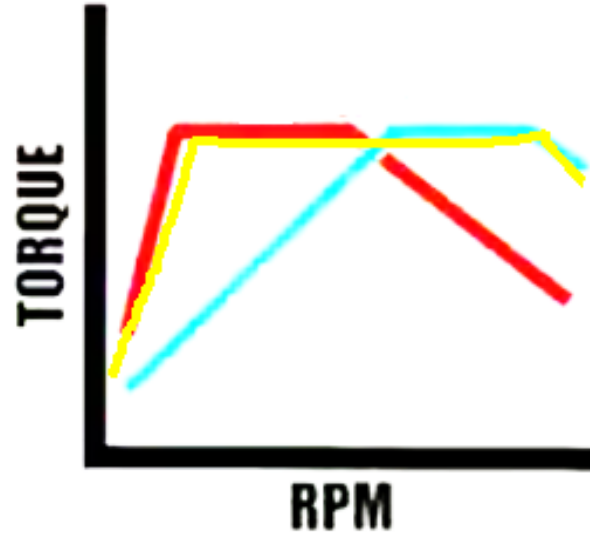
النسبة A/R هي نسبة (مساحة مقطع مدخل الضاغط / نصف القطر الواصل بين محور التوربين ومركز المقطع).



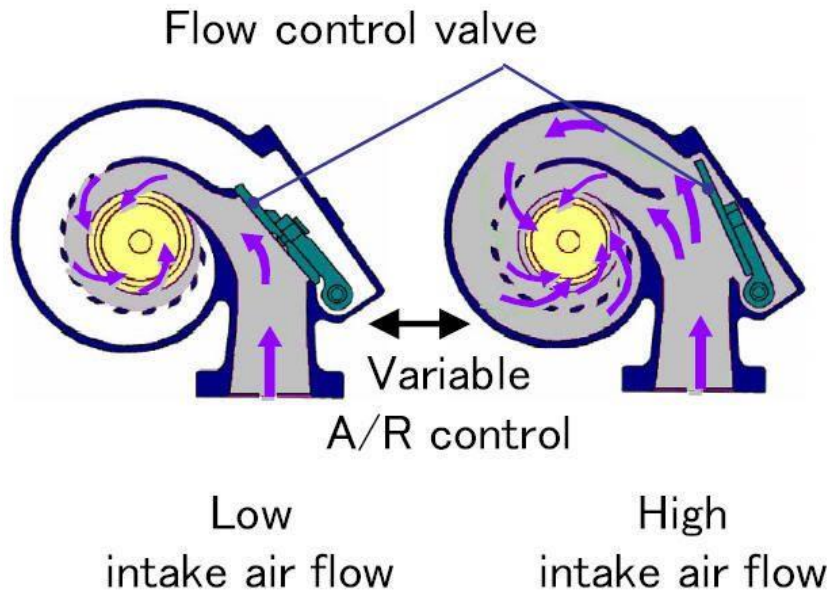
الشكل (4-12) النسبة a/r المتغيرة

إن أداء الشاحن يتأثر بشكل كبير بتغير النسبة A/R ، وتستخدم لضبط سعة التدفق للتوربين فكلما كانت أصغر تزداد سرعة غاز العادم الداخل إلى عجلة التوربين مما يزيد قوة التوربين عند السرعات المنخفضة وبالتالي يزيد ضغط الشحنة وسرعتها. وعند استخدام قيم أكبر للنسبة A/R تنخفض سرعة غاز العادم فتتأخر الشحنة ويقل الضغط وبالتالي يؤمن قوة أفضل للمحرك عند السرعات العالية.

يمتاز الشاحن التوربيني متغير المجرى بأنه يعطي ميزات عمل الشاحن التوربيني الصغير والكبير في أن واحد عن طريق تغير نسبة الـ A/R. يبين الشكل (4-13) منحنى الأداء لمحرك بشاحن متغير المجرى الممثل بالمنحنى ذي اللون الأصفر ويبين الشكل (4-14) آلية عمل الشاحن المتغير المجرى.



شكل (4-13) المنحنى الأصفر لشاحن متغير المجرى والأحمر لشاحن صغير والأزرق لشاحن كبير



الشكل (4-14) آلية عمل الشاحن المتغير المجرى.

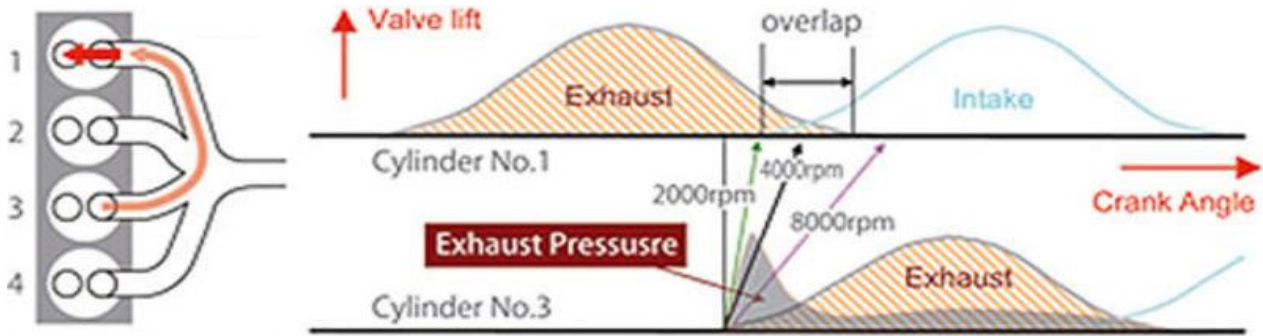
4-9- الأنظمة المساعدة للشحن التوربيني وطرق تلافي عيوب الشحن ومشكلاته.

1- نظام الكسح الفعال لغازات العادم في محركات الشحن التوربيني

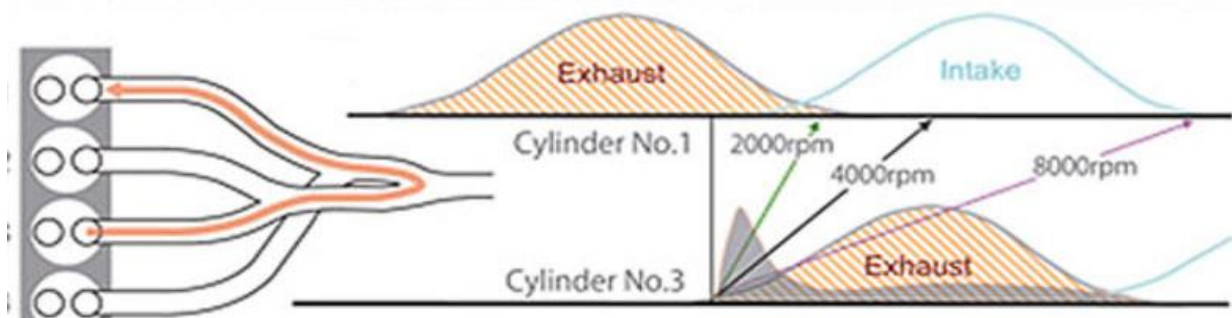
في المحرك رباعي الأسطوانات التقليدي المشحون قسرياً وعندما يكون ترتيب الاشعال 1-3-4-2 ويكون مجمع العادم قصيراً يؤدي ذلك لتداخل غازات العادم لأسطوانات المحرك.

مثلاً بعد شوط الاحتراق في الأسطوانة الأولى يأتي شوط الاحتراق في الأسطوانة الثالثة في هذه الحالة يفتح صمام العادم للأسطوانة الثالثة ويكون صمام العادم للأسطوانة الأولى في نهاية الإغلاق بالتالي ضغط غازات العادم للأسطوانة الثالثة يكون مرتفعاً ويؤثر على الجزء المتبقي من غازات العادم في الأسطوانة الأولى ويمنعها من الخروج من الأسطوانة، وبالتالي عند بقاء هذا الجزء من غازات العادم المرتفعة درجة الحرارة، يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأسطوانة وزيادة احتمال حدوث الصفع يتم التخلص من هذه المشكلة بتصميم مجمع سحب ذي مجاري طويلة وفصل الأسطوانات المتتالية الاشتعال عن بعضها.

يبين الشكل (4-15) مقارنة مجمع عادم قصير وتداخل غازات العادم مع بعضها ومجمع عادم طويل يعمل بنظام الكسح الفعال وتأثيره الإيجابي على أداء المحرك.



نظام عادم قصير وتداخل غازات العادم مع بعضها



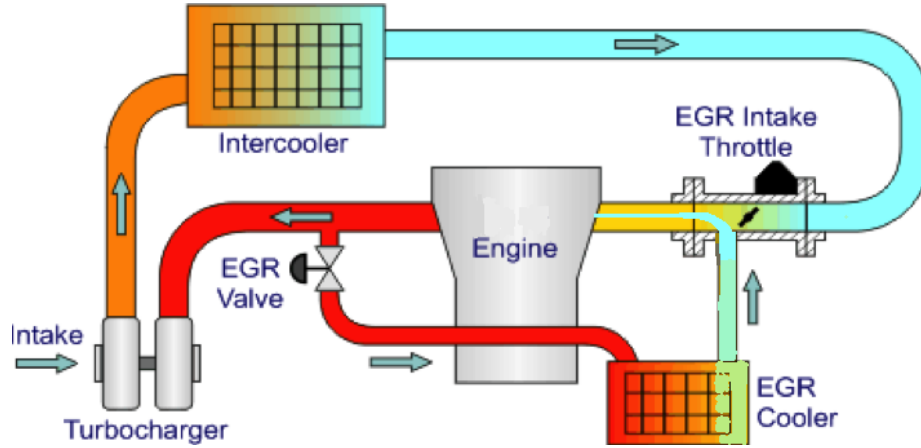
نظام عادم طويل ونظام كسح فعال لغازات العادم

الشكل (4-15) مقارنة لمجمع عادم قصير وتداخل غازات العادم مع بعضها ومجمع عادم طويل يعمل بنظام الكسح الفعال وتأثيره الإيجابي على أداء المحرك

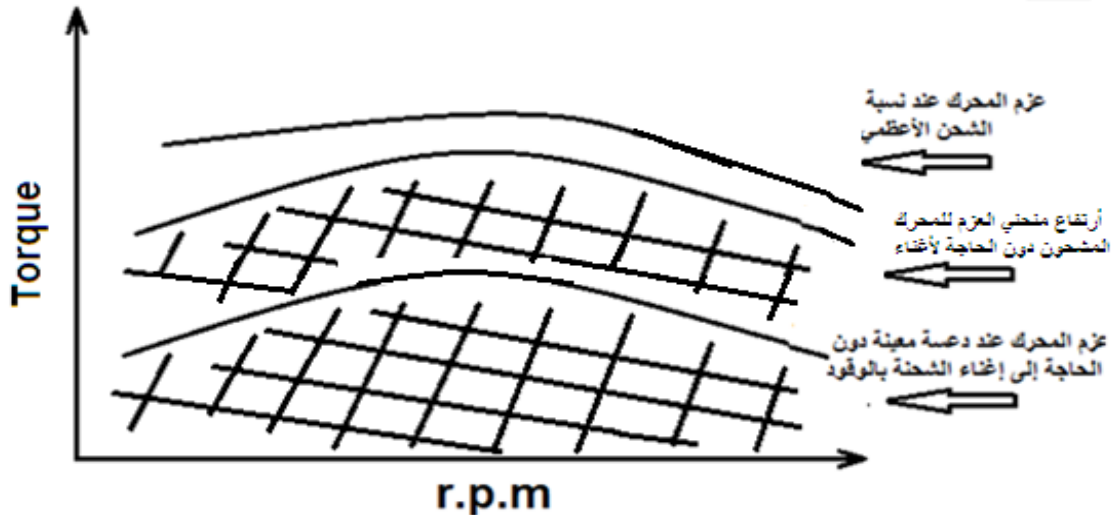
2- تبريد غازات العادم المرجعة

بالنظر إلى الشكل (4-16) عند خروج غازات العادم إلى الشاحن التوربيني يفتح صمام غازات العادم المرجعة ويسمح بمرور جزء منها إلى مبرد غازات العادم المرجعة الذي يعتمد نظام تبريد ماء هواء ثم تعبر هذه الغازات إلى مجمع السحب تكون هذه الغازات مبردة وهي غازات خاملة غير قابلة للاشتعال بالتالي دخول هذه الغازات الخاملة إلى الأسطوانة مع الشحنة الجديدة يخفض درجة حرارة الاحتراق داخل المحرك بالتالي يمكن رفع ضغط الشحن والعمل على أحمال عالية دون القلق من حدوث الصفع ودون الحاجة لإغناء الشحنة بالوقود بالتالي الحصول على أداء عال للمحرك من ناحية الاستطاعة واستهلاك الوقود .

وبين الشكل (4-17) التأثير الإيجابي على أداء المحرك باستخدام نظام تبريد غازات العادم المرجعة



الشكل (4-16) دائرة تبريد غازات العادم المرجعة للمحرك



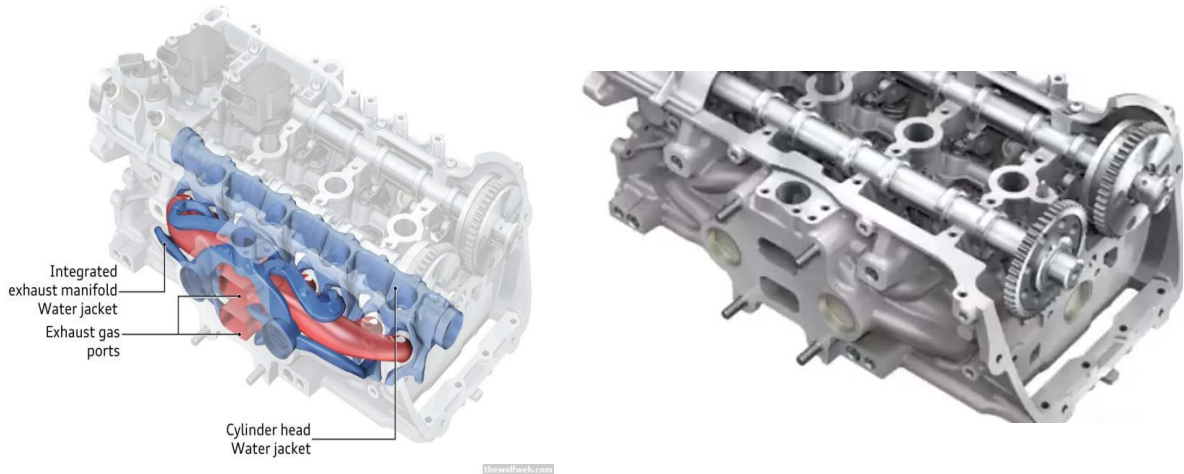
الشكل (4-17) التأثير الإيجابي على أداء المحرك باستخدام نظام تبريد غازات العادم المرجعة

3-التبريد المائي لمجمع العادم

في هذا النظام يتوضع الشاحن التوربيني على مسافة قريبة جداً من رأس الأسطوانات من أجل تأمين عملية التبريد المائي له يبين الشكل (4-18) توضع الشاحن التوربيني على المحرك. ويبين الشكل (4-19) غطاء الأسطوانات وتوضع مجمع العادم داخله.



الشكل (4-18) توضع الشاحن التوربيني على المحرك



الشكل (4-19) غطاء الأسطوانات وتوضع مجمع العادم داخله

يعمل هذا النظام بحيث تخرج غازات العادم إلى مجمع العادم الذي يتوضع بشكل كامل داخل غطاء الأسطوانات ويكون محاطاً بقميص مائي يقوم بتبريد هذا المجمع ثم تخرج هذه الغازات منه إلى الشاحن التوربيني، يعود السبب في تطبيق النظام السابق إلى:

في حالة التشغيل على البارد يساعد توضع مجمع العادم داخل القميص المائي إلى وصول المحرك إلى حرارة التشغيل المثالية بسرعة عالية جداً بالتالي تزداد كفاءة عمل المحرك ويعطي إمكانية للعمل على أحمال كبيرة للمحرك دون الحاجة للانتظار لمدة زمنية طويلة لحين وصول المحرك إلى حرارة التشغيل كما في المحركات الأخرى.

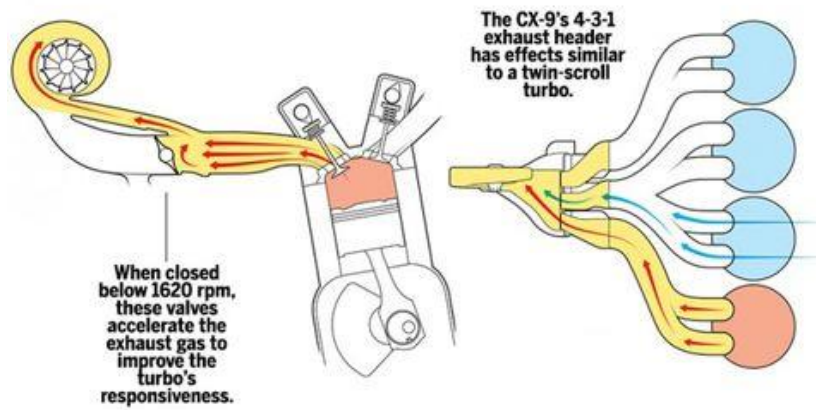
يساعد هذا النظام أيضا على تبريد محفز غازات العادم عند العمل على الأحمال العالية التي تؤدي إلى الارتفاع الكبير لدرجة حرارة غازات العادم بالتالي تلف المحفز فتتخفض درجة حرارة غازات العادم من لحظة خروجها من الأسطوانة إلى وصولها للشاحن التوربيني بمقدار 160°C .

يوفر النظام السابق نسبة استهلاك للوقود أقل بنسبة 20% مقارنة مع المحركات المشحونة الأخرى.

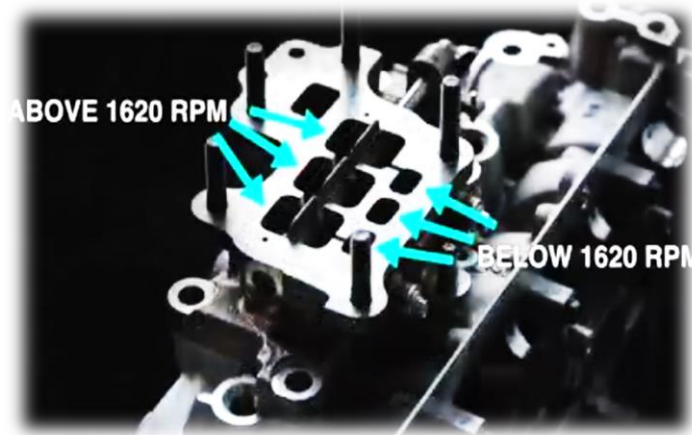
4-10- الأنظمة المستخدمة في تحسين استجابة الشاحن التوربيني عند سرعات الدوران المنخفضة للمحرك

- نظام الضغط الديناميكي لغازات العادم

يعتمد هذا النظام على ثلاث عناصر رئيسية، أولا أن يكون مجمع غازات العادم أقصر ما يمكن وذلك لتحسين استجابة الشاحن على السرعات المنخفضة، ثانيا جمع مخارج الأسطوانات مع بعضها كما في نظام الكسح الفعال ثالثا استخدام صمام يقوم بتغيير حجم فتحات خروج غازات العادم.



الشكل (4-20) نظام الضغط الديناميكي لغازات العادم



الشكل (4-20) نظام الضغط الديناميكي لغازات العادم

يعتمد مبدأ عمل الصمام عند عمل المحرك على سرعة دوران أقل من 1620 r.p.m تكون كمية غازات العادم قليلة وتكون سرعتها منخفضة بالتالي يغلق الصمام ويجبر غازات العادم على المرور ضمن مجرى ضيق وصغير

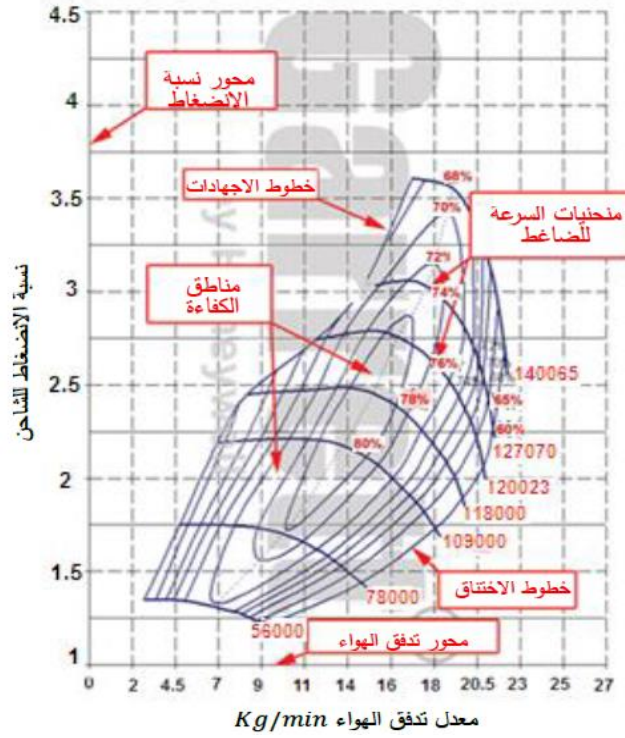
بالتالي سوف يزيد من سرعة غازات العادم بحيث تزيد تأثيرها على شفرات التوربين وإدارتها بزمان أقل عند عمل المحرك على سرعات الدوران المنخفضة بالتالي تحسن زمن استجابة الشاحن. عند عمل المحرك على سرعة دوران أعلى من 1620 r.p.m يفتح الصمام ويسمح بمرور غازات العادم وتدفقها من المجرى الكبير وخروجها بشكل كامل.

- نظام تأخير الشرارة لتحسين استجابة الشاحن التوربيني

يعتمد مبدأ عمل هذا النظام عندما يغلق صمام دعسة الوقود يبدأ نظام تأخير الشرارة بالعمل في المحركات التقليدية تعطى الشرارة قبل وصول المكبس للنقطة الميتة العليا بعدة درجات وفقا لسرعة دوران المحرك أما عند اعتماد نظام تأخير الشرارة يتم تأخير الشرارة بشكل كبير حيث يتم إعطائها بعد وصول المكبس للنقطة الميتة حالة الدوران وجاهزية للاستجابة لدعسة السائق. يعمل هذا النظام عندما تكون دعسة الوقود مغلقة أي تأخير الشرارة في هذه الحالة لا يؤثر على أداء المحرك، عند الضغط على دعسة الوقود يعود نظام إعطاء الشرارة إلى الوضع الطبيعي. يعتمد مقدار تأثير هذا النظام على الشاحن على: مقدار الزاوية التي يتم إعطاء الشرارة فيها بعد وصول المكبس إلى النقطة الميتة العليا. مقدار إغناء الشحنة بالوقود عند العمل على هذا النظام. مقدار الفتح الجزئي لدعسة الوقود في حالة الإغلاق.

4-11- مخطط الضاغط [30]

مخطط الضاغط هو الرسم البياني الذي يصف خصائص أداء الضاغط، بما في ذلك الكفاءة، التدفق، القدرة على زيادة ضغط الشحنة، وسرعة التوربين. ويساعد مخطط الضاغط في إيجاد الضاغط المناسب الذي يحقق الشروط المطلوبة. الشكل (4-21) يمثل مخطط أداء ضاغط نموذجي:



الشكل (4-21) مخطط الضاغط

4-11-1- تعاريف ومناطق مخطط الضاغط [30]

يحتوي مخطط الضاغط على محورين المحور الأفقي معدل تدفق الهواء، والمحور الشاقولي نسبة الانضغاط للضاغط.

كما يحتوي على منحنيات السرعة وخطوط الاختناق وخطوط الاجهادات الزائدة النبضية، ومنطقة الكفاءة.

نسبة انضغاط الشاحن

يرفع الضاغط ضغط الشحنة من الضغط الجوي P_{c1} ويوجهها إلى اسطوانات المحرك بضغط P_{c2} ، فتكون نسبة الضغط في الضاغط هي نسبة ضغط الشحنة عند مدخل الضاغط إلى ضغطها عند خروجها منه، أي:

$$\pi_c = \frac{P_{c2}}{P_{c1}}$$

من المهم استخدام وحدات الضغط المطلق لكل من P_{c1} و P_{c2} .

يجب أن تكون نسبة الضغط عالية مع العلم أنها إذا كانت عالية جداً قد يتعرض المحرك إلى مشاكل خطيرة، وانخفاضها يؤدي إلى انخفاض استطاعة المحرك.

هناك عدة عوامل مؤثرة على نسبة الضغط مثل خواص الوقود المستخدم ونسبة الانضغاط للمحرك ودرجة حرارة الشحنة وتصميم غرفة الاحتراق.

معدل التدفق الإجمالي للهواء

معدل التدفق هو كتلة الهواء المتدفق عبر الضاغط إلى المحرك خلال فترة معينة من الزمن ويقاس بوحدة (g/min) فيزيائياً، يكفي تقدير معدل التدفق لاختيار التوربين المناسب.

يمكن تحويل معدل التدفق الحجمي لتدفق إجمالي عن طريق ضربه بكثافة الهواء علماً أن كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر هي $1.2 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

$$Wa = N_e * \frac{A}{F} * \frac{BSFC}{60}$$

حيث:

Wa : تدفق الهواء الفعلي (g/min)

N_e : استطاعة الحذافة (watt)

$\frac{A}{F}$: نسبة الهواء للوقود

$BSFC$: الاستهلاك النوعي للوقود (g/kw.h)

60: للتحويل إلى دقائق

خط الإجهادات الزائدة النبضية:

الإجهادات الزائدة النبضية هي الحدود اليسرى من مخطط الضاغط. العملية على اليسار توضح عدم استقرار التدفق. واستمرار العملية في هذه المنطقة يمكن أن يؤدي إلى اهتراء الضاغط قبل أوانه بسبب التحميل الثقيل الناتج من ارتفاع الضغط المفرط.

خط الإجهادات يظهر في إحدى الحالتين:

إما في حال كان مقياس الضاغط كبيراً جداً مما يؤدي إلى ارتفاع الضغط وهي الحالة الأكثر خطورة أو عندما يغلق صمام الخائق بسرعة بوجه الضغط الناشئ من الضاغط. حيث يظهر هذا الخط لأن تدفق الكتلة ينقص بشدة وتكون عجلة الضاغط مستمرة بالدوران مما يولد ضغطاً زائداً، وهذا بدوره يقود نقطة التشغيل بعيداً عن مخطط الضاغط أقرب إلى خط الإجهادات في هذه الحالة عادة يتم استخدام صمامات أو مجاري جانبية لإخراج الضغط الزائد للحفاظ على الضاغط خارج خط الإجهادات.

خط الاختناق

يقع على الجانب اليميني من مخطط الضاغط، بالنسبة للمخطط، خط الاختناق عادة يعرف بالنقطة التي تنهار عندها الفعالية أو تنخفض دون 58% إضافة إلى الانهيار السريع لفعالية الضاغط فيما يلي هذه النقطة، وتصبح سرعة التوربين تقترب أو تفوق الحد الممكن، إذا كان التشغيل على حدود خطوط الاختناق فمن الضروري وجود ضاغط أكبر.

خطوط سرعة التوربين

هي خطوط لسرعة التوربين الثابتة وهي خطوط قريبة جداً من بعضها، عند زيادة سرعة التوربين تزداد نسبة الضغط ويزداد معدل التدفق.

مناطق الفعالية

هي مناطق متحدة المركز على مخطط الضاغط تمثل كفاءة الضاغط في أي لحظة، أصغر منطقة بالقرب من مركز الخريطة هي الأعلى فعالية وكفاءة.

4-12- الاختيار الأمثل للشاحن التوربيني

يتم حساب معدل تدفق الهواء وضغط الشاحن التوربيني اللازم للحصول على الاستطاعة المطلوبة من المحرك. من المعلومات السابقة سيتم تحديد ضاغط الشاحن التوربيني المناسب، ويتم أيضاً معرفة مقاسات حواقي الوقود المستخدمة ومضخة ومنظم حقن الوقود.

4-13- مؤشرات ومعطيات الشحن في المحرك المشحون [30]

4-13-1- الاستطاعة الاسمية للمحرك

العلاقة الأساسية التي أسهمت في التوصل إلى مبدأ عمل الشواحن القسرية، استطاعة المحرك الاسمية:

$$N_e = \frac{1}{30\tau} \cdot i \cdot v_h \cdot P_e \cdot n$$

P_e : الضغط الفعال الاسمي.

$i \cdot v_h$: سعة المحرك.

i : عدد الاسطوانات و v_h سعة الاسطوانة الواحدة.

n : السرعة الاسمية.

τ : عدد أشواط المحرك.

4-13-2- ضياعات الضغط عند مدخل ومخرج الضاغط

لتحديد قيمة الضغط عند مدخل الضاغط يجب طرح مقدار الضغط الضائع من الضغط المحيط وفق العلاقة:

$$P_{c1} = P_{amb} - \Delta P_1$$

P_{c1} : ضغط الشحنة عند مدخل الضاغط.

P_{amb} : ضغط الهواء المحيط.

ΔP_1 : الضغط الضائع عبر أنابيب تنقية الهواء.

لتحديد قيمة الضغط عند مخرج الضاغط تخرج الشحنة من الضاغط بضغط مقداره P_{c2} ثم تدخل إلى مبرد الهواء وتخرج منه مباشرة إلى مشعب السحب ولكن بضغط مطلق P_{map} أقل من ضغطها عند خروجها من

الضاغط: $P_{map} < P_{c2}$

$$\Delta P_2 = P_{c2} - P_{map}$$

ΔP_2 : الضغط الضائع بين الضاغط ومشعب السحب.

P_{map} : الضغط المطلق عند المشعب.

P_{c2} : ضغط الشحنة عند مخرج الضاغط.

4-13-3- الاستهلاك النوعي للوقود ($BSFC$) [3]:

وهو معدل استهلاك الوقود اللازم لتوليد كل حصان، القيم العامة للـ $BSFC$ لمحركات البنزين تتراوح بين $(\frac{g}{kW \cdot h})$ 304 – 365 وأعلى من ذلك.

$$BSFC = \frac{G}{N_e}$$

حيث:

G : معدل استهلاك الوقود غرام لكل ثانية (g/s)

N_e : الاستطاعة وتقاس بالواط (KW).

$$N_e = T \cdot \omega$$

ω : السرعة الزاوية للمحرك (rad/s)

T : عزم المحرك (N·m)

تقاس واحدة الاستهلاك النوعي للوقود ب غرام لكل كيلو واط ساعي ($g/(kW \cdot h)$)

4-13-4- حساب الضغط المطلق للحصول على استطاعة معينة الموافق لقيمة معينة لتدفق الهواء

$$P_{mapreq} = \frac{Wa * R * (Tm)}{\eta_v * \frac{n}{2} * V * I}$$

حيث:

P_{mapreq} : الضغط المطلق عند المشعب والمفروض للحصول على استطاعة معينة. ($N \setminus m^2$)

Wa : تدفق الهواء الفعلي (kg/min)

Tm : درجة الحرارة المأخوذة (K)

η_v : الكفاءة الحجمية

n : سرعة المحرك (RPM)

$V \cdot i$: حجم الازاحة للمحرك (m^3)

R : ثابت الغازات النوعي للهواء ويساوي 286.058 ($J \setminus Kg \cdot K$)

الكفاءة الحجمية للمحرك η_v : تقدر تقريبا بنسبة 95% إلى 99% في المحركات الحديثة التي تستخدم أربع صمامات لعملية التبادل الغازي في الأسطوانة الواحدة. وتقدر بنسبة 88% إلى 92% في حال المحركات التي تستخدم صمامين لعملية التبادل الغازي.

حرارة مجمع السحب Tm : تقدر حرارة مجمع السحب في حال وجود مبرد هواء لدارة الشاحن التوربيني 37 – 60 °C وفي حال عدم وجوده تتراوح بين 80 – 150 °C

لمعرفة حجم الشاحن التوربيني المناسب للاستطاعة المطلوبة يجب تحديد ما يلي

1- الاستطاعة المطلوب الوصول لها.

2- حجم المحرك.

3- سرعة الدوران الاسمية.

4- الظروف الجوية المحيطة (الضغط الجوي - ودرجة حرارة الجو).

4-13-5 أمثلة تطبيقية للاختيار الأمثل لأبعاد الشاحن التوربيني

مثال (1):

الاستطاعة المراد الحصول عليها 400 حصان بخاري نسبة الهواء للوقود 12.

ومعدل استهلاك الوقود $\frac{g}{kW \cdot h}$ 334 وذلك لمحركين بالمعطيات التالية:

$V.i$	n	η_v	Tm
2 L	7200	%92	327.4K
5 L	6000	%85	327.4K

1- حساب معدل تدفق الهواء: بالتعويض في علاقة معدل تدفق الهواء:

$$Wa = N_e * \frac{A}{F} * \frac{BSFC}{60}$$

$$Wa = 298 * 12 * \frac{334}{60} = 19906.4 \left(\frac{g}{min} \right)$$

2- حساب الضغط اللازم في مجمع السحب لتحقيق الاستطاعة المطلوبة لمحرك ساعة 2 لتر:

بالتعويض في علاقة:

$$P_{mapreq} = \frac{Wa * R * (Tm)}{\eta_v * \frac{n}{2} * V * I}$$

$$P_{mapreq} = \frac{19.9 * 286.058 * (327.4)}{0.92 * \frac{7200}{2} * 0.002}$$

$$P_{mapreq} = 281615.87 \text{ pa} = 2.8 \text{ Bar}$$

الضغط المقاس = الضغط الناتج - الضغط الجوي

$$2.8 - 0.98 = 1.82 \text{ bar}$$

حساب الضغط اللازم في مجمع السحب لتحقيق الاستطاعة المطلوبة لمحرك ساعة 5.7 لتر:

بالتعويض في علاقة:

$$P_{mapreq} = \frac{Wa * R * (Tm)}{\eta_v * \frac{n}{2} * V * I}$$

$$P_{mapreq} = \frac{19.9 * 286.058 * (327.59)}{0.85 * \frac{6000}{2} * 0.005}$$

$$P_{mapreq} = 146260.69 \text{ pa} = 1.46 \text{ Bar}$$

الضغط المقاس = الضغط الناتج - الضغط الجوي

$$1.46 - 0.98 = 0.48 \text{ bar}$$

يوضح هذا المثال من أجل الوصول إلى الاستطاعة المطلوبة البالغة 400 حصان، يتطلب المحرك الأكبر حجمًا ضغطاً أقل في مجمع السحب، ويحتاج كلا المحركين إلى 19.9 كيلوغرام / دقيقة من تدفق الهواء. وبالتالي يكون لهذا تأثير كبير على اختيار الضاغط الصحيح. وفقاً لتدفق الهواء وضغط مجمع السحب، الخطوة التالية هي تحديد مقدار ضياعات الضغط بين الضاغط ومجمع السحب، وتقدر الضياعات اعتماداً على معدل التدفق، وخصائص مبرد الهواء المشحون، وحجم الأنابيب، وعدد / جودة الانحناءات، وتصميم صمام الخانق وشكل مجمع السحب، وما إلى ذلك، يمكن تقدير انخفاض الضغط بين الضاغط ومجمع السحب بـ 0.15 bar بأسوأ الظروف.

حساب الضغط بعد إضافة الضياعات لمحرك 2 لتر:

$$P_{c2} = P_{map} + \Delta P_2$$

$$P_{c2} = 1.82 + 0.15 = 1.97 \text{ bar}$$

حساب الضغط بعد إضافة الضياعات لمحرك 5 لتر:

$$P_{c2} = P_{map} + \Delta P_2$$

$$P_{c2} = 0.48 + 0.15 = 0.63 \text{ bar}$$

3- حساب الضغط عند مدخل الضاغط:

هو الضغط الجوي عند سطح البحر مطروحاً منه ضياعات السحب.

$$P_{c1} = P_{amb} - \Delta P_1$$

$$P_{c1} = 0.98 - 0.06 = 0.92 \text{ bar}$$

وتكون الضياعات مساوية لـ $\Delta P_1 = 0.06 \text{ bar}$ نتيجة الضياعات الهواء في فلتر الهواء والأنابيب.

4- حساب نسبة الانضغاط:

$$\pi_c = \frac{P_{c2}}{P_{c1}}$$

لمحرك 2 لتر:

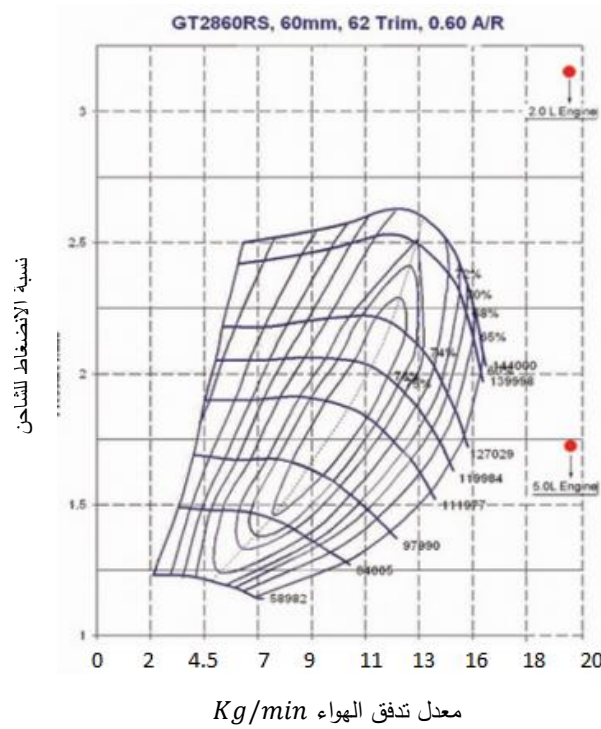
$$\pi_c = \frac{2.9}{0.92} = 3.15$$

لمحرك 5 لتر:

$$\pi_c = \frac{1.63}{0.92} = 1.66$$

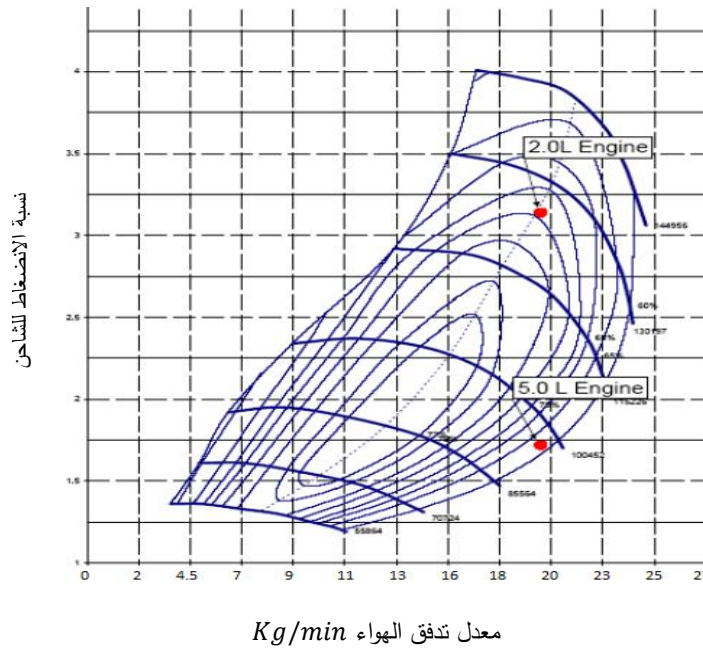
وبهذا يصبح لدينا المعطيات الكافية لتحديد نقطة التشغيل على مخطط الضاغط التوربيني.

من مخطط الضاغط التوربيني نوع (GT2860RS) يتمتع هذا الضاغط التوربيني بقياس عجلة ضاغط 60 مم وتريم 62 ونسبة $\frac{A}{R}$ ، حيث يبين الشكل رقم (15) مخطط عمله.



الشكل رقم (22-4) مخطط عمل الضاغط (GT2860RS) [30]

نلاحظ أن الضاغط صغير جداً بالنسبة للمحركين، لأن النقطتين تقعان يمين مخطط الضاغط التوربيني وبعيداً عن خط الاختناق، بالتالي الشاحن ليس الاختيار المناسب لأي المحركين بتجربة شاحن توربيني آخر، وهو الشاحن (GT3076R) حيث يبين الشكل رقم (23-4) مخطط عمله.



الشكل رقم (23-4) مخطط عمل الشاحن (GT3076R) [30]

نلاحظ أن الشاحن التوربيني (GT3076R) أفضل بكثير لأن كلا النقطتين تقعان داخل مخطط الشاحن التوربيني.

بالنسبة لمحرك الـ 2 لتر: تتواجد نقطة التشغيل في منطقة عالية الفاعلية من المخطط، ولكن نظراً لقربها من منتصف المخطط سيكون هناك مشكلة عند دوران المحرك على دورات منخفضة لأن النقطة ستكون قريبة من خط الاجهادات أو فوقه.

أما على سرعة الدوران العالية سنحصل على ذروة الطاقة، وهو مناسب لمجال عمل المحركات المستخدمة في السباقات، أما محركات الاستعمال اليومي فيفضل استخدام شاحن توربيني مختلف.

بالنسبة لمحرك الـ 5 لتر: يبدو أن نقطة التشغيل في نطاق ممتاز جداً لتطبيقات الاستخدام اليومي، والعمل على سرعات المحرك المنخفضة حيث تقع في منطقة كفاءة على الخريطة، وهامش كبير للبقاء بعيداً عن خطوط الاجهادات الزائدة.

وهو غير مناسب عند عمل المحرك على سرعات دوران عالية بسبب قرب نقطة التشغيل من خطوط الاختناق. وبهذا نحتاج إلى ضاغط أكبر لمحرك الـ 5.0 لتر مع العلم أن هذا الشاحن مناسب لمحرك 2.0 لتر.

الفصل الخامس

الطرق المتبعة لتحليل وتوصيف
الصفع والتنبؤ بظهوره

*Methods used to analyze,
characterize and predict
the appearance of knock*

الفصل الخامس: الطرق المتبعة لتحليل وتوصيف الصفح والتنبؤ بظهوره

5-1- استخدام التشخيص البصري في المحركات عالية الشحن للكشف عن الصفح وتوصيفه

5-1-1- مقدمة

من خلال تقنيات القياس البصري التي نمت على مدار عدة سنوات تم التركيز على استخدام نظامين للتنظير الداخلي المتزامن.

من خلال تقنيات القياس البصري تبين أن الزيت المصاحب للشحنة الداخلة للأسطوانة (إطلاق قطرات الزيت / الوقود) يعد العامل المساعد على حدوث الاشتعال المسبق. نظرًا للمكونات شديدة الاشتعال، تؤدي هذه القطرات إلى الاشتعال المسبق في ظل الظروف الديناميكية الحرارية الحرجة.

5-1-2- طريقة التشخيص البصري [15]

أدت الاختبارات المستمرة في أحداث الاشتعال المسبق إلى استنتاج مفاده أن كاميرا واحدة عالية السرعة ليست كافية للحصول على معلومات عميقة لتحليل الاحتراق العشوائي. لذلك، يجب استخدام نظامي تنظير متزامن. يتيح نظام التنظير المتزامن رؤية كبيرة في غرفة الاحتراق. ويعطي تحليلًا عالي الدقة لعملية الاحتراق. يبين الجدول (5-1) المكونات الرئيسية للنظام البصري.

Combustion chamber window	Material	Sapphire
	Shape	Planar
Boroscope (Storz)	Outer Diameter	7 mm
	Observation Cone (nominal / real)	67° / ≈58°
	Viewing Direction	Straight
	Cooling	Air Cooled
Lighting – Xenon Type (Storz)	Outer Diameter of Light Dispensing Stick	7 mm
	Light Field Cone	60°
	Lighting Direction	Straight
	Cold light Source	300 W
Image Intensifier (Lambert)	Spectral Response	< 200 – 800 nm
	Output Diameter	25 mm / 18 mm
	Resolution on Output (with 1:1 Relay Lens)	25 l/mm
High Speed Camera (Vision Research)	Resolution	640 x 640
	Color	None
	Acquisition Rate	12000 fps
	Crank Angle Resolution	1 °CA @ 2000 rpm
	Exposure Time	80μs @ 2000rpm

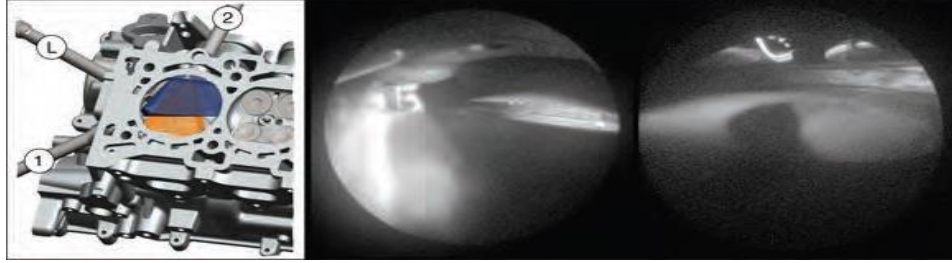
الجدول (5-1): البيانات الفنية للنظام البصري

يتم حماية قضيب تشتيت الضوء من غازات الاحتراق لتجنب اشتعال التوهج أو الاشتعال المسبق الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة له. جميع المكونات الضوئية قابلة للتبديل، أي يمكن استخدام كل مداخل غرفة الاحتراق للإضاءة أو التسجيل.

إضافة إلى مدخلي الكاميرات من جانب دولاب الحذافة للمحرك هناك مدخل ثالث على جانب مدخل السحب من غرفة الاحتراق (انظر الشكل 5-1، على اليسار).

الكاميرا الأولى تأخذ صوراً من صمام العادم الأيسر إلى صمام السحب الأيمن. تم وضع الكاميرا الثانية بين صمامات السحب لإتاحة رؤية مباشرة إلى جانب العادم في غرفة الاحتراق. ويوضح الشكل (5-1) (الوسط واليمين) مجال الرؤية المحقق من خلال مناظير الباروسكوب داخل غرفة الاحتراق.

يحتوي كل نظام كاميرا على مخزن مؤقت يتم تحديثه دائماً بالصور المأخوذة، بالتالي يمكن تسجيل عمليات الاحتراق قبل الاشتعال المسبق وبعده.

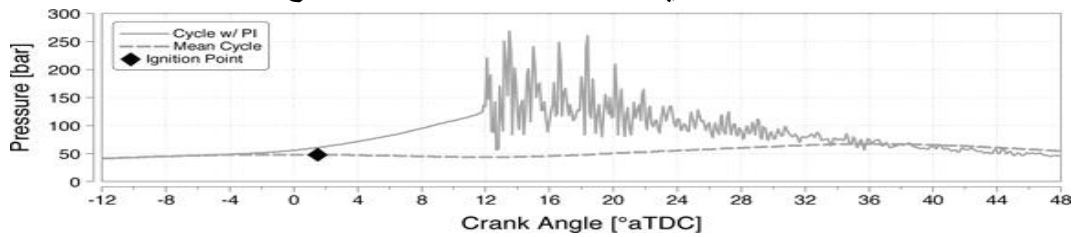


الشكل (5-1): رأس الاسطوانة، عرض اتجاهات الرؤية على الاسطوانة

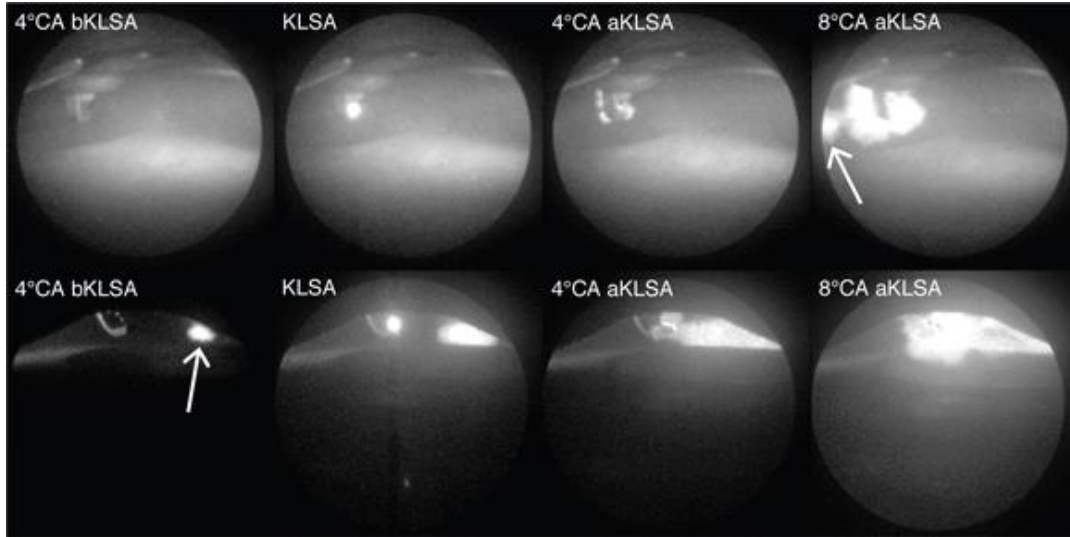
(على اليسار: موضع الوصول البصري - L = الضوء، 1 = المشهد الأول، 2 = المشهد الثاني المركز: المشهد 1 من صمام العادم الأيسر إلى صمامات السحب؛ اليمين: المشهد 2 من المدخل إلى جانب العادم)

5-1-3- مزاي التشخيص البصري الثنائي [15]

أثبتت التشخيص البصري الثنائي جدارته بشكل كبير وتم عرض سلسلة من الصور المأخوذة من الاشتعال المسبق الموضح في الشكل (5-2) الممثل لأثره على منحنى الضغط ومقارنتها بالصور المأخوذة من خلال كلا الكاميرتين في الشكل (5-3) من خلال المشهد 1 على جانب دولاب الحذافة (الصف العلوي)، يمكن رؤية الاشتعال المسبق لأول مرة عند 8 درجات CA. بالمقارنة، يسمح المشهد 2 على جانب السحب (الصف السفلي) باكتشاف الاشتعال المسبق نفسه عند 4 ° أي 12 ° CA اشعال أبكر مقارنةً مع الكاميرا 1.



الشكل (5-2) عملية اشتعال مسبق نموذجية، وأثرها على منحنى الضغط



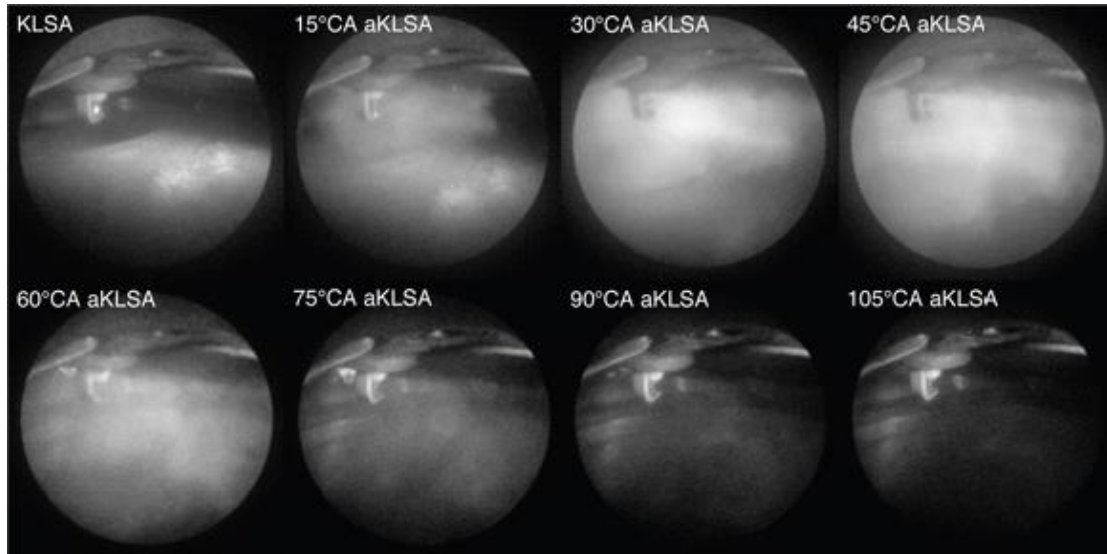
الشكل (3-5): مزايا الوصول البصري الثنائي للكشف عن الاشتعال المسبق

الصف العلوي: منظر 1 من صمام العادم الأيسر إلى صمامات السحب

الصف السفلي: منظر 2 من صمام المدخل إلى جانب صمام العادم

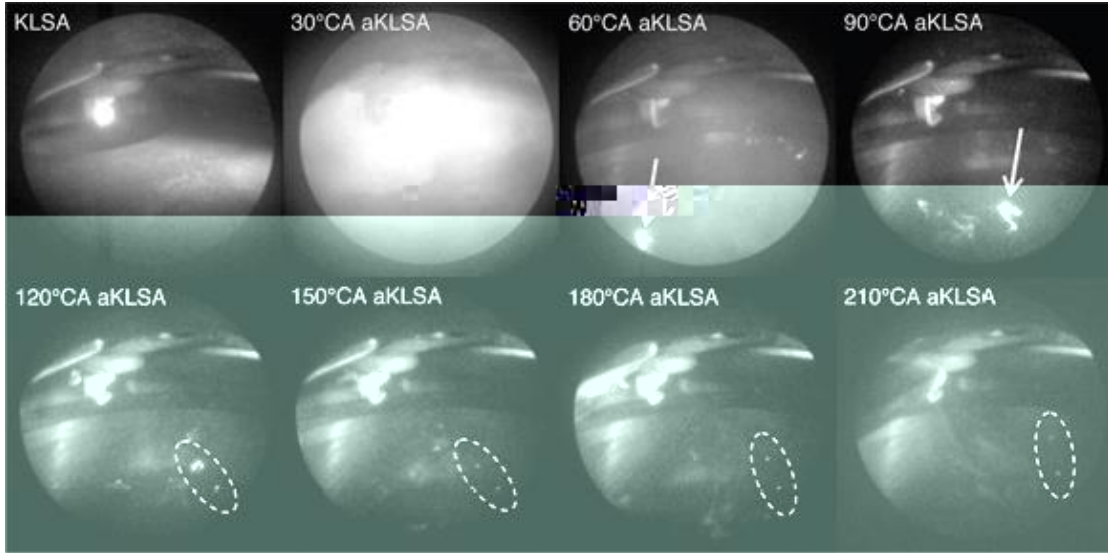
5-1-4- مصادر تشكيل الاشتعال المسبق باستخدام التشخيص البصري [15]

يضمن المزيج المتجانس التهاباً مستقرًا واحترافًا قويًا وأعدادًا منخفضة من الجسيمات. يوضح الشكل (4-5) دورة الاحتراق هذه عند التحميل الكامل.



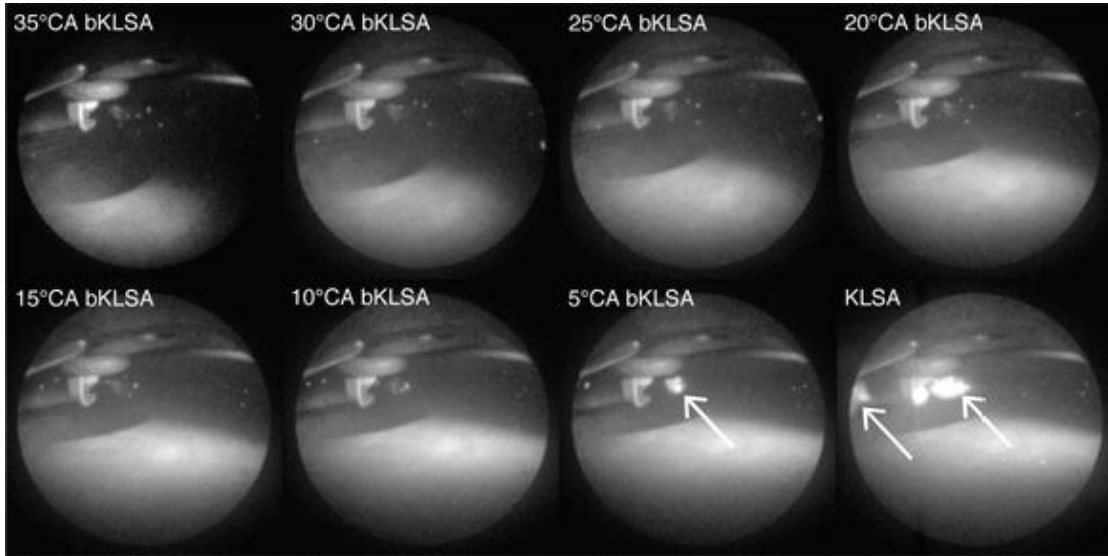
الشكل (4-5): دورة الاحتراق النموذجية عند التحميل الكامل

يوضح الشكل (5-5) كتلة مشتعلة منتشرة تخلق جزيئات متوهجة. يمكن ملاحظة هذه الجسيمات في الصور الموضحة عند 60°C الذي يكون بعد نهاية الاحتراق (90% MFB) عند 38°C a TDC تستمر في التوهج أثناء شوط التمدد والعادم وبدلاً من طردها إلى العادم يمكن أن تبقى في غرفة الاحتراق.



الشكل (5-5): نشوء الجزيئات المتوهجة

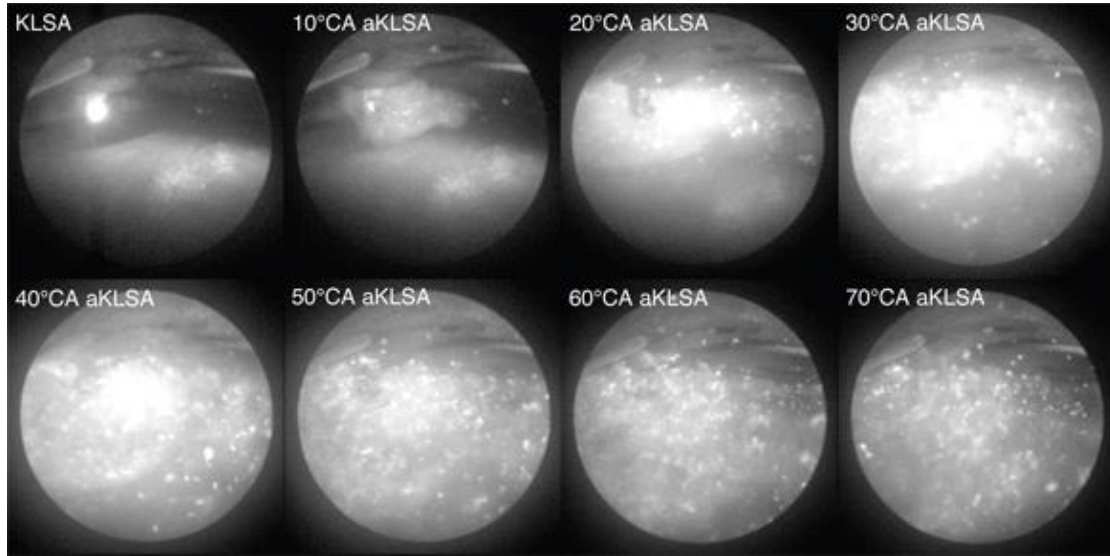
يوضح الشكل (5-6) مثل هذا الاشتعال المسبق الناجم عن الجسيمات المتوهجة. يبدأ الاشتعال الأول في حوالي 5 درجات قبل نقطة الاشتعال المعاييرة. بعد ذلك بوقت قصير، يشعل الجسيم الثاني الشحنة في اتجاه مختلف الموقع ويحدث ذلك أيضا قبل إعطاء الشرارة.



الشكل (5-6): الجسيمات المتوهجة كمصدر متعدد للاشتعال المسبق

إن حدوث الصفح يؤدي إلى تنظيف غرفة الاحتراق ويؤدي إلى إزالة الهيدروكربونات المتراكمة في الشقوق وكذلك حرق وإزالة الرواسب من الأسطح بسبب تذبذبات الضغط العالي ودرجات الحرارة المتزايدة. مع حدوث الاشتعال المسبق الشديد يصبح هذا التأثير أقوى، فتبدأ أحداث الاشتعال المسبق الشديدة كما هو موضح في الشكل (5-6) قبل نقطة الاشتعال المعاييرة بوقت طويل. تمتلئ غرفة الاحتراق عند صمام العادم على الكثير من الرواسب التي يتم طردها من الأسطح بعد مثل هذه العملية السابقة. وتبقى كمية كبيرة في غرفة الاحتراق أثناء التبادل الغازي التالي.

بعد الإشعال المنتظم بالشرارة، يتم حبس هذه الجسيمات بواسطة مقدمة اللهب وتبدأ في التوهج بسبب حرارة الاحتراق كما هو موضح في الشكل (5-7).



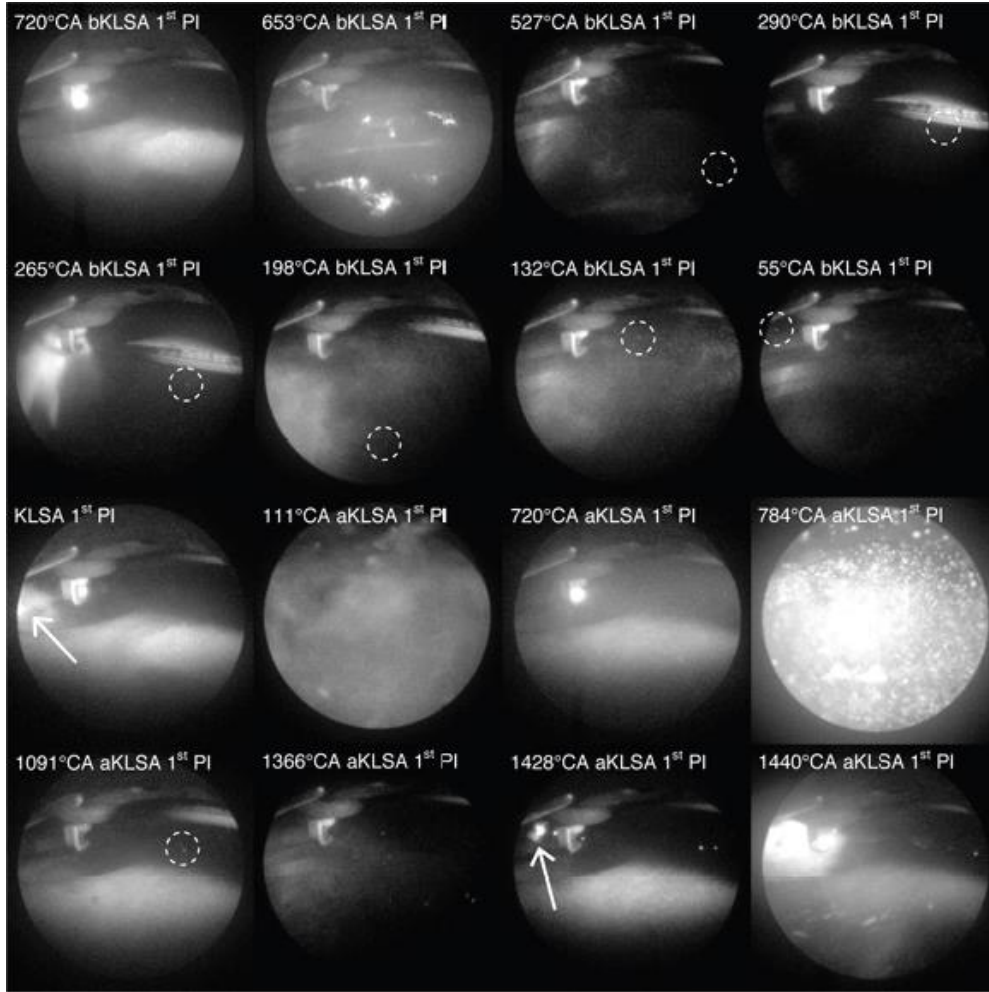
الشكل (5-7): دورة الاحتراق اللاحقة بدون اشتعال مسبق، مباشرة بعد دورة مع الاشتعال المسبق

ومرة أخرى يمكن احتجاز عدد من هذه الجسيمات في غرفة الاحتراق عند إغلاق صمام السحب اللاحق. يمكن لجسيم كبير بما يكفي الحفاظ على درجة الحرارة ويتم تسخينه بشكل أكبر من خلال التفاعلات الطاردة للحرارة للهيدروكربونات غير المحترقة التي لا تزال محتواه في بيئة الأكسجين الجديدة أن يحفز الاشتعال المسبق مرة أخرى.

تفكيك مصدر الإشعال وعملية الاشتعال المسبق ذي الصلة في الدورات المتتالية يوفر تفسيراً للطبيعة المتقطعة له.

يوضح الشكل (5-8) مثل هذه السلسلة من دورات الاحتراق. بدءاً من لحظة الشرارة للدورة العادية، يتم تكوين الجزيئات المتوهجة من كتل مشتعلة منتشرة (الصف الأول). وتحافظ على توهجها أثناء شوط السحب التالي وحقن الوقود (الصف الثاني). يتم إحداث أول اشتعال مسبق قبل وقت قصير من لحظة إعطاء الشرارة المعاييرة (الصف الثالث، الصورة الأولى، السهم في الجانب الأيسر).

كما يوجد رواسب ولكنها جزيئات غير متوهجة من الاشتعال المسبق الأول (الصف الثالث، الصورة الثانية) مما أدى إلى الاحتراق المنتظم اللاحق لكمية هائلة من الجسيمات المتوهجة (الصف الثالث، الصورة الرابعة). جزء من هذه الجسيمات محاصر في غرفة الاحتراق ويعمل مصدراً للاشتعال في الدورة التالية كما هو موضح في الصف الرابع من تسلسل الصورة



الشكل (5-8): سلسلة الاشتعال المنقطع

5-2- استخدام الذكاء الاصطناعي والتعديل الذاتي لخوارزمية وحدة التحكم (ECU) لتحسين التنبؤ

بالصفح

5-2-1- مقدمة

يتم تحديد ظواهر الاحتراق غير الطبيعية في محركات البنزين عن طريق إعادة بناء القيم الفيزيائية، التي لا يمكن الكشف عنها مباشرة .

لذلك يتم الجمع بين الذكاء الاصطناعي والتعرف على الأنماط والإحصائيات في هذا المنهج لخلق أساس خوارزميات وحدة التحكم الكهربائية المهمة (ECU) .

تتأثر قواعد البيانات لوحدة التحكم ببيانات متفاوتة للغاية لذلك تم العمل على البيانات ذات التباين العالي . كما يتم الأخذ بعين الاعتبار القياسات المعيارية من مختلف المحركات لضمان قابلية التعميم العالية للنموذج وقابلية المقارنة بنتائج وحدات التحكم الإلكترونية.

تم تحقيق زيادة ملحوظة ضد التداخلات والتشويش في البيانات مما يؤدي إلى تحسين الجودة وتقليل جهد وضع المعايير باستخدام هذا النموذج.

المطالب الاقتصادية والبيئية المتزايدة باستمرار التي يتم إجراؤها على محركات الاحتراق الحديثة، خاصة فيما يتعلق بتحسين معايير الكفاءة وأداء الانبعاثات تتطلب تطويراً جديداً ومتواصلاً للمكونات والأساليب والوظائف. ينتج عنه زيادة التعقيد والآثار الجانبية فيما بينها، مما يتطلب معالجة مستمرة كافية للمعايرة. بالنسبة للكشف عن الصفح التي تعتمد على حساس الصفح الذي يعتمد على الاهتزازات المؤثرة على البنية الهيكلية له، تتأثر إشارته سلباً بسبب زيادة عدد التداخلات الميكانيكية والكهربائية على الحساس. عادة ما يكون سبب هذه الاضطرابات نتيجة أجزاء مكونات المحرك والاستراتيجيات الجديدة لتشكيل الخليط وعملية الاحتراق. توفر طريقة القيمة المرجعية الحالية للكشف عن الصفح، خاصة عندما تستند إلى استراتيجية المرشح المتعدد، حلاً لذلك، على الرغم من زيادة جهد المعايرة مقارنة باستراتيجية المرشح الفردي.

5-2-2- مبدأ عمل طريقة القيمة المرجعية [16]

أثبتت قيمة إشارة حساس ضغط الأسطوانة التي تمت تصفيتها أنها القيمة الأكثر دقة وأفضل مؤشر لتقييم حدوث وشدة الصفح. تُستخدم هذه القيمة للتحقق من جودة اكتشاف الصفح ولمقارنة استراتيجيات الكشف المختلفة عنه. حتى الآن، لم يكن حساس الضغط قادراً على إثبات نفسه لتطبيقه وتركيبه على السيارات بالإنتاج التجاري، بسبب التكاليف المرتفعة نسبياً له وعمر الخدمة القصير.

تستخدم طريقة القيمة المرجعية حالياً بالإنتاج التجاري للكشف عن الصفح، تعتمد اعتماداً فردياً لكل أسطوانة على تكامل إشارة الضوضاء المنقولة من الحساس (IKR) والتي تمت معالجتها بواحد أو أكثر من مرشحات ممر الموجة القابلة للتعديل، حيث يتم تسجيل إشارة الحساس في فترة زمنية محدودة بعد الإشعال (البداية والطول). ينقسم هذا التكامل إلى قيمة متوسطة محدثة بشكل دائم يشار إليها بالمستوى المرجعي (RKR) والتي تستند إلى (IKR) تتم مقارنة النتيجة مع عتبة كشف الصفح (KEK) القابلة للضبط وعندما يتم الوصول إلى العتبة يتم اكتشاف حدوث الصفح.

من ناحية أخرى، التأثير المستمر للتشويش يسبب زيادة في المستوى المرجعي، يؤدي إلى عدم اكتشاف عمليات الاحتراق الحاوية على الصفح بشكل كامل.

يساعد تحديد البارامترات بدقة وفلترتها، ومعايرة عتبة حدوث الصفح KEK، أثناء عملية الاختبار في تقليل تأثير التداخل والتشويش.

تحدث زيادة الضوضاء والتشويش المزعج بسبب أنظمة المحرك الحديثة، مثل أعمدة الكامات ذي التوقيت المتغير، وحقق الوقود المتعدد، ومفاهيم الوقود الثنائي، وتصغير الحجم للمحرك، والعدد المتزايد باستمرار من مكونات المحرك الميكانيكية والكهربائية، بالتوازي مع الاتجاهات الفنية والاعتبارات الاقتصادية التي تؤدي إلى توفير التكاليف، ويتم تقليل عدد حساسات الصفح إلى الحد الأدنى وهذا عادة ما يضعف جودة إشارة تلك الأسطوانات الموجودة بعيداً عن الحساس.

الاستراتيجيات المتبعة للتغلب على المشاكل السابقة تؤدي إلى زيادة تعقيد النموذج والوظيفة لبرنامج وحدة التحكم الإلكترونية.

5-2-3- الطرق الجديدة في الكشف عن الصفح [16]

بالنسبة لاستراتيجية الكشف عن الصفح الموجهة نحو المستقبل، على أساس إشارة الضوضاء المحمولة على الهيكل، تعمل مجموعة المعايير المتخصصة للكشف عن الصفح والتحكم به في شركة Robert Bosch GmbH في الوقت الحالي على تطوير نهج بديل يعتمد على أساليب الذكاء الاصطناعي ويعد الإحصاء جوهر هذا الإجراء من خلال تحليل الانحدار.

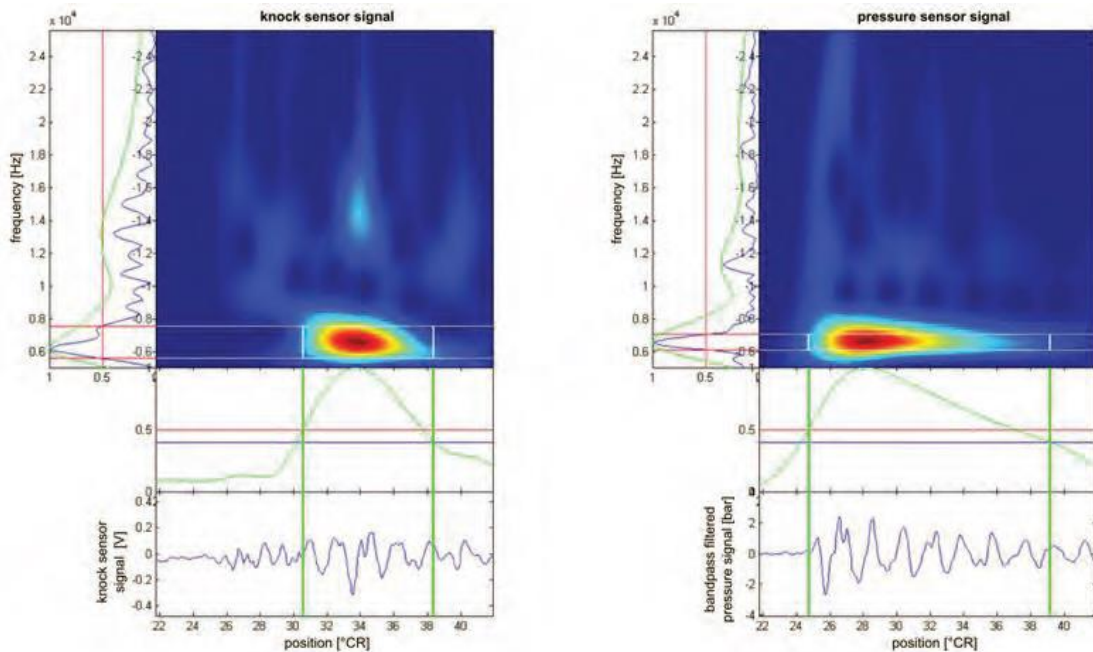
5-2-3-1- معالجة الإشارات وتقييمها

يتم معالجة الإشارة لتقييم الاحتراق فيما يتعلق بكثافة الصفح. يعتمد ذلك على جزئين، على جودة النموذج اللازمة وعلى قدرة الحوسبة المتاحة.

نتيجة لأداء وحدات التحكم الحالية، فإن قدرة الحوسبة هي العامل المحدد الحاسم، حيث تعتبر أفضل جودة ممكنة للنموذج شرطاً أساسياً ويمكن تحقيقها بوحدات التحكم الحديثة.

يتم إجراء تحليل مفصل لإشارة مستشعر الصفح وإشارة مستشعر الضغط في مجال الوقت والتردد لاستخراج الميزات التي تحدد خصائص الصفح. في هذه العملية، يتم تحديد الموقع الدقيق في نطاقات الوقت والتردد، فتعرض الإشارة المفيدة لأقل قدر ممكن من التداخل. وبالتالي، يتم الحصول على السمات المميزة التي يمكن من خلالها تحديد شدة الصفح.

يوضح الشكل (5-9) رسماً توضيحياً للتحليلات الموصوفة المطبقة على إشارة مستشعر الصفح (يسار) وإشارة مستشعر الضغط (يمين).



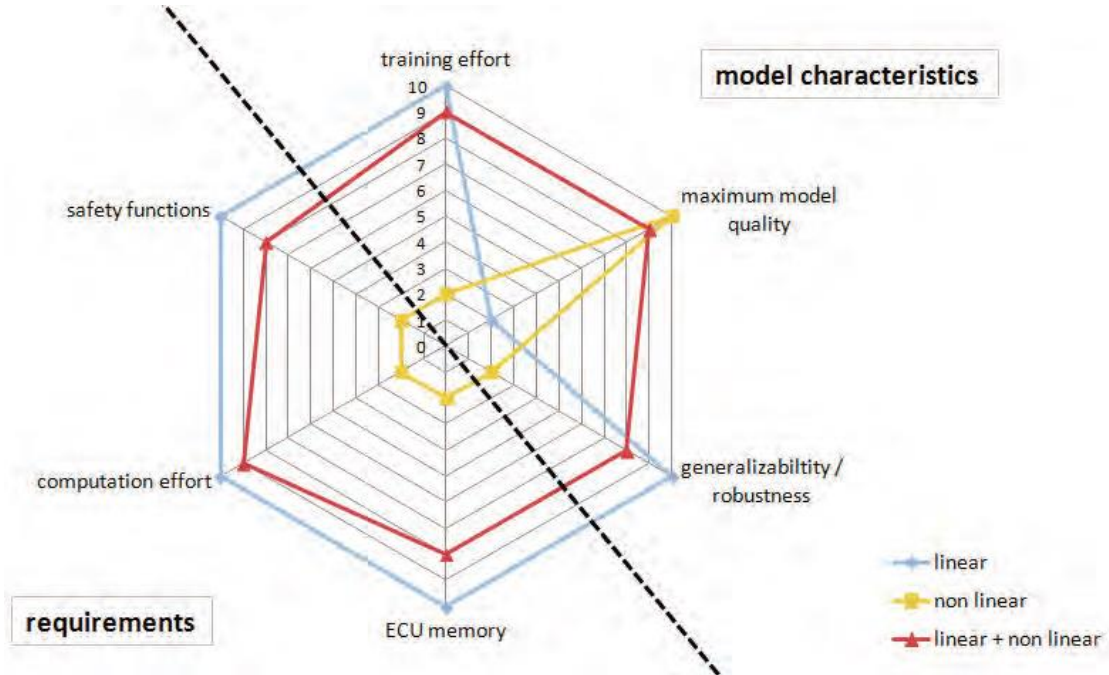
الشكل (5-9): مثال لتحليل التردد الزمني

يتمثل جوهر هذا التقييم في عرض تحليل التردد الزمني بواسطة مخطط الرسم البياني، ويشير اللون الأزرق إلى المنخفض والأحمر إلى الكثافة العالية.

في الأسفل مباشرة، يتم توضيح توزيع الطاقة بمرور الوقت لكل نطاق تردد على حدة. أسفل هذا الرسم البياني، يتم رسم الإشارات ذات الصلة مع زاوية الكرنك. في حالة حساس الصفح، تم عرض إشارة المستشعر المقاسة. في حالة حساس الضغط، تم عرض الإشارة التي تمت معالجتها عن طريق التصفية.

5-2-3-2- مقارنة بين النماذج المختلفة لتحديد شدة الصفح

لتحديد شدة الصفح، على أساس الميزات التي تم الحصول عليها أثناء معالجة الإشارة، يتم استخدام نموذج الانحدار حسب نقطة التشغيل. يتيح الجمع بين جزء النموذج الخطي وغير الخطي تقليل الجهد الحسابي لتخفيض كثافة الصفح، وزيادة المتانة والقدرة على التعميم مقارنة بالنموذج غير الخطي البحت. يوفر هذا النموذج المشترك ميزة إضافية تتمثل في إمكانية إعادة إنتاج سلوك نظام أكثر تعقيداً وبالتالي يمكن تحقيق جودة نموذج أعلى مقارنة بالنموذج الخطي البحت. يوضح الشكل (5-10) الجودة التي يمكن تحقيقها للنماذج المختلفة بشكل تخطيطي عن طريق رسم تخطيطي حول العوامل المحددة الحاسمة لاكتشاف الصفح. يتراوح تصنيف كل معيار من صفر يشير إلى جهد عالٍ أو جودة رديئة حتى عشرة وهو ما يمثل الحد الأدنى من الجهد أو أقصى قدر من الجودة. تُظهر المنطقة المُحاطة بكل من النماذج الثلاثة المصوّرة التصنيف الإجمالي للطرز.



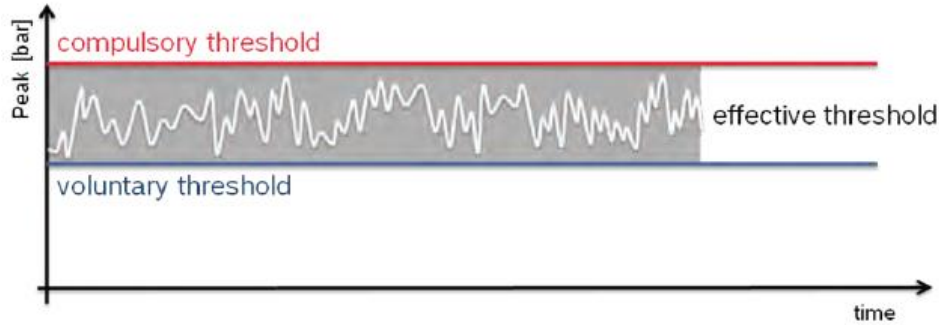
الشكل (5-10) الجودة التي يمكن تحقيقها للنماذج المختلفة عن طريق رسم تخطيطي حول العوامل المحددة الحاسمة لاكتشاف الصفح.

5-2-3-3- آلية العمل وطريقة التطبيق

يتم حساب تقييم الإشارة ونموذج الانحدار، على أساس البارامترات التي تم تحديدها في عملية الاختبار، القيمة الناتجة من هذا الحساب الذروة تكون بناءً على إشارة الضوضاء التي يحملها هيكل حساس الصفح، حيث تعمل لاحقاً كأساس لتقييم الاحتراق الحاوي على الصفح.

يتم اتباع استراتيجيتين مختلفتين للكشف عند اكتشاف الاحتراق الحاوي على الصفح، وكلاهما يعتمد على العتبة لقيمة الذروة لإشارة ضغط الأسطوانة التي تمت تصفيتها، ومقارنتها بالسمة المميزة الرئيسية لعتبة الكشف، وهي محددة بدقة اعتماداً على نقاط التشغيل الحاوية على الصفح.

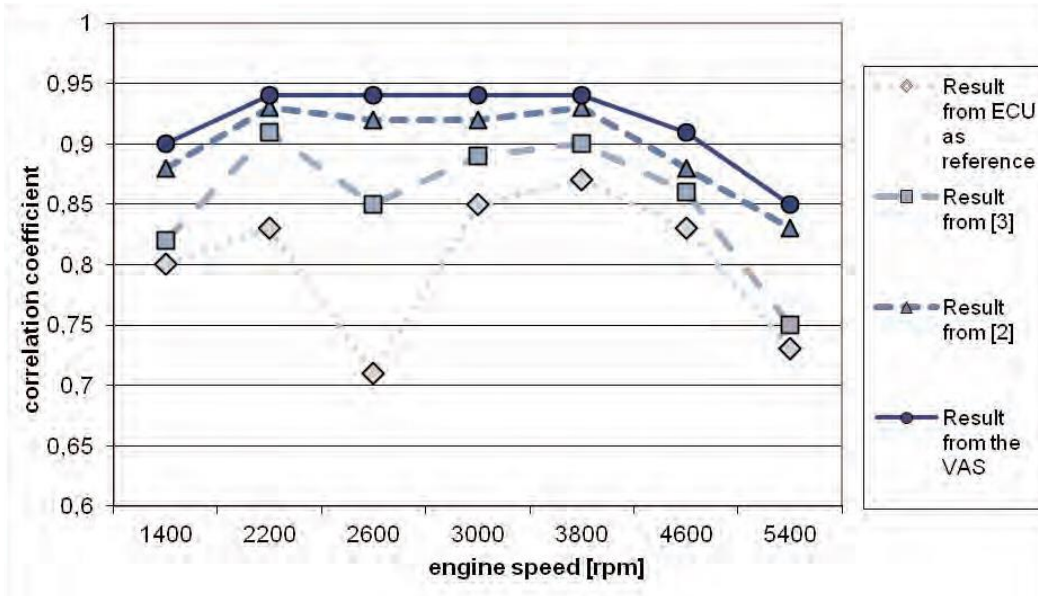
المرحلة الثانية، تتكيف عتبة الكشف مع الاعتماد على الذات ضمن حدود معينة تعتمد على نقطة التشغيل وسلوك المحرك، مما يسمح باكتشاف صفح أكثر حساسية. يوضح الشكل (5-11) كيف يمكن أن تختلف العتبة الفعالة ضمن العتبتين المحددتين عند تطبيق مرحلة الكشف الثانية في ظل ظروف الحالة المستقرة.



الشكل (5-11): التكيف الذاتي مع عتبة الكشف عن الصفح

5-2-4- ميزات طريقة الذكاء الاصطناعي [16]

يُظهر ناتج النموذج المدمج، المعطى كـ VAS، ارتباطاً محسناً للكشف عن الصفح الشكل (5-12).



الشكل (5-12): الرسم البياني لارتباط طرق الكشف عن الصفح التي تم فحصها بسرعات مختلفة للمحرك

بمقارنة ناتج النموذج الخطي والنموذج المدمج في نقاط تشغيل مختلفة، يتوضح أن جزء النموذج غير الخطي الإضافي يقلل الانحرافات، مما يؤدي إلى جودة نموذج أعلى. بسبب التداخلات والتشويش، يميل اكتشاف الصفح إلى عمليات الكشف الخاطئة، والتي يمكن تقليلها بجهود المعايرة.

يمكن تقليل تأثير التدخلات بالشكل المناسب، من خلال الجمع بين النموذج الخطي وغير الخطي، يتم تحقيق ارتباط جيد بين الذروة المحسوبة والذروة المقاسة، مما يؤدي بدوره إلى زيادة الجودة الإجمالية لاكتشاف الصفح. النتائج التي تم الحصول عليها بالطريقة الجديدة، مقارنةً بالطرق القديمة المستخدمة، تتميز بجودة متزايدة للكشف عن الصفح وسلوك أكثر قوة فيما يتعلق بالتدخلات والتشويش غير المعروف. بالمقارنة مع أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا، فإن الجمع بين النموذج الخطي وغير الخطي يحافظ بشكل كبير على المزيد من الموارد، التي يمكن تطبيقها على وحدة التحكم الإلكترونية. بالإضافة إلى هذه الميزة الأساسية، هذه الاستراتيجية الجديدة ينتج عنه رسم خرائط لخصائص الصفح الأكثر قدرة حيث يتم تحقيق نموذج أكثر قوة وزيادة جودة الكشف عن الصفح. إن الجمع بين التقييم لإشارة الضوضاء المحمولة على الهيكل، وإشارة ضغط الأسطوانة، واستراتيجية التدريب "التعديل الذاتي" التي يتم تعديلها وفقاً للمتطلبات العامة لاكتشاف الصفح، تحقق هذه النتائج إمكانيات هذه الاستراتيجية للاستخدام في وحدات التحكم الإلكترونية في المستقبل.

الفصل السادس

أثر الأنظمة المساعدة بمحركات
الشحن التوربيني في الحد من
كثافة الصفع

*The role of auxiliary
systems with
turbocharged engines to
reduce knocking intensity*

الفصل السادس: أثر الأنظمة المساعدة بمحركات الشحن التوربيني في الحد من كثافة الصفع

6-1 مقدمة

منذ بداية تطوير المحركات التي تشتعل بالشرارة، أدت الحاجة إلى تجنب الاشتعال الذاتي إلى الحد من نسبة الانضغاط وضغط الشحن التوربيني الذي يمكن استخدامه، وبالتالي تقييد كفاءة المحرك ومستويات الأداء المحددة التي يمكن تحقيقها بشكل فعال.

تميل الاتجاهات الحالية لتصغير حجم المحركات وزيادة مستويات الاستطاعة النوعية وعزم الدوران من ناحية، وزيادة قوة عمل المحرك المستقر وثباته عند التحميل الأعلى من ناحية أخرى.

تعني هذه العوامل أن أكبر نسبة من القيادة على أرض الواقع تكون داخل مناطق خريطة التشغيل التي تقيدها مراحل الاحتراق الحاوية على الصفع.

كما أن الجمع بين ضغوط الشحن العالية وتأخير الإشعال زاد بشكل كبير من الميل للاشتعال المسبق عند سرعات المحرك المنخفضة.

نتيجة لهذه التأثيرات، أصبحت كفاءة استهلاك الوقود في المركبات حساسة بشكل متزايد للحد من حدوث الصفع، كما أن تخفيض نسبة الهواء للوقود يؤدي للميل إلى الاشتعال التلقائي وهو أمرًا أساسيًا لتقديم تحسينات في استهلاك الوقود أثناء القيادة الفعلية.

وبالتالي، فإن الحاجة إلى تطوير طرق لتقليل الاشتعال الذاتي أو حتى القضاء عليه أمر بالغ الأهمية، لتحقيق تقليل استهلاك الوقود وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون للجيل القادم من المحركات.

في هذا الصدد، فقد ثبت أن الاهتمام الدقيق بالتفاصيل في مرحلة التصميم من عدة إجراءات يمكننا ذلك من استخدام نسب انضغاط عالية حتى عند مستويات خرج طاقة عالية جدًا تصل إلى 100 كيلو واط / لتر أو أكثر. علاوة على ذلك، عند الجمع بين الكسح الجيد، وتبريد هواء الشحن المتقدم وتبريد ممتاز لرأس الأسطوانة وتبريد EGR يحقق ذلك إمكانية زيادة نسب الانضغاط بشكل أكبر، ومن المتوقع أن تستمر نسب الانضغاط لمحركات البنزين في الارتفاع، حتى مع المحركات عالية الشحن.

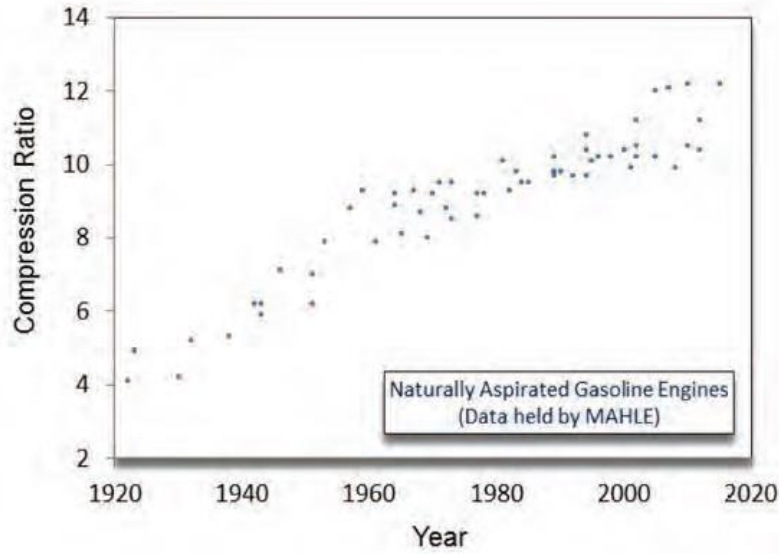
لذلك لابد من إيجاد حلول للمشاكل السابقة سيتم في هذا الفصل عرض مجموعة من الأنظمة والطرق المساعدة للحد من كثافة الصفع والتحكم به

6-2- الإجراءات المتبعة في محركات الأداء العالي للحد من كثافة الصفع والاشتعال الذاتي [19]

للتغلب على مشاكل الاحتراق غير المنتظم، يتم اتباع أسلوب منهجي وشامل للتقليل من الصفع بالتفاعل بين أنظمة المحرك في هذا الصدد.

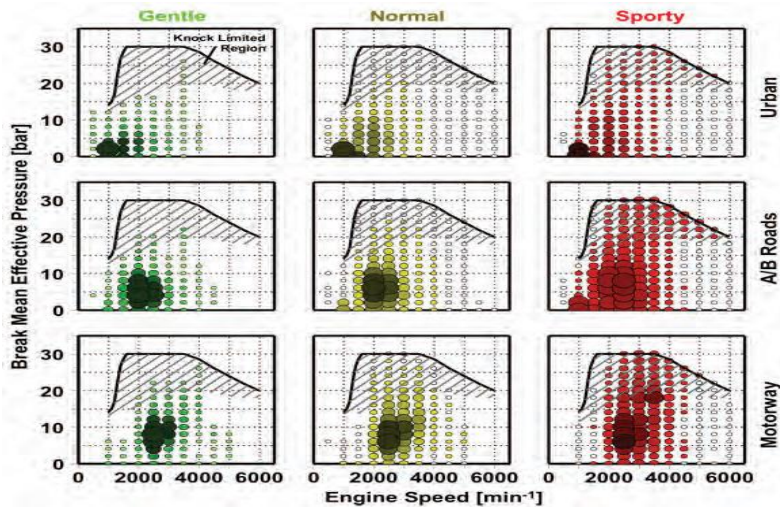
بمرور الوقت، أدت التطورات في تقنية الاحتراق وتبريد المحرك، جنبًا إلى جنب مع التطورات في تكنولوجيا الوقود إلى زيادة مطردة في نسب الانضغاط التي يمكن استخدامها. ومع ذلك، من الناحية العملية، لا تزال نسب انضغاط محركات الإنتاج أقل بكثير من القيمة المثلى التجريبية التي تبلغ حوالي

1:16 إلى 1:17 [3] يبين الشكل (6-1) تطور نسبة الانضغاط.



الشكل (6-1): اتجاهات نسبة الانضغاط لمحركات البنزين خلال القرن الماضي

توضح دراسة حديثة [27] اتجاهات نقاط التشغيل للمحركات الحديثة المصغرة لأنماط القيادة المختلفة على أنواع مختلفة من الطرقات استناداً إلى عينة كبيرة من سجلات القيادة. يتم عرض هذه البيانات في الشكل (6-2)، حيث تبين أنه، حتى في ظل القيادة "اللطيفة"، تعمل المحركات المصغرة ضمن مناطق نطاق الحمل والسرعة حيث يتم تقليل كفاءة المحرك بسبب الحد من الصفع.



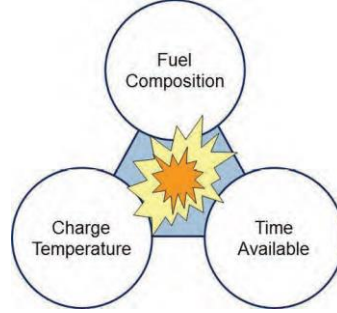
الشكل (6-2): نقاط التشغيل لمركبة بوزن 1600 كجم لأنماط القيادة المختلفة على طرقات مختلفة

هذا يعني أن حساسية استهلاك الوقود المسموح به أثناء القيادة الحقيقية أصبحت مهمة من حيث إيجاد حلول غير اغناء الشحن بالوقود للحد من الصفع، وتحقيق محركات بانبعاثات منخفضة لثاني أكسيد الكربون.

6-2-1- التأثير على العوامل الرئيسية للحد من الصفح [19]

يعد حدوث الاشتعال الذاتي للشحنة النهائية داخل محركات IC عملية معقدة تتضمن تفاعلات بين جوانب كل من أجهزة المحرك وخصائص الوقود المستخدم. ومع ذلك، يمكن تبسيطها بشكل أساسي لتكون مرتبطة بثلاثة عوامل رئيسية الشكل (3-6).

يتم تقليل الميل إلى الاشتعال الذاتي داخل المحرك بالتأثير على واحدًا أو أكثر من هذه العوامل.

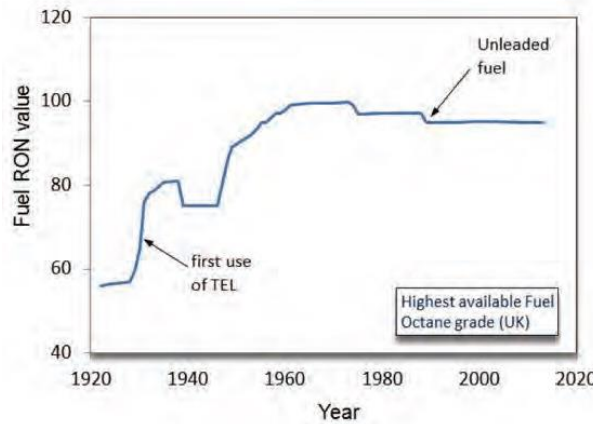


الشكل (3-6): العوامل العملية الرئيسية الثلاثة التي تؤثر على الاشتعال الذاتي

6-2-1-1- الوقود [19]

على الرغم من أن الوقود في معظم أنحاء العالم يخضع لقواعد معيارية مشرعة، (مثل EN228 لوقود البنزين في أوروبا) من الناحية العملية، فإن هذه المعايير واسعة نسبيًا ولا تزال تسمح ببيع نطاقات واسعة من الخلطات. عادة ما تكون المركبات الكيميائية المتاحة التي تزيد من مقاومة الصفح (مثل المركبات العطرية والإثيرات والكحول) مكلفة نسبيًا، ومن المحتمل أن تكون ضارة ومن المسلم به مساوئ الإضافات وذلك بزيادة التكلفة لرفع تصنيف الأوكتان للبنزين.

لهذه الأسباب، ظل تصنيف الأوكتان للوقود الشكل (4-6) مستقرًا إلى حد ما على مدار الأربعين عامًا الماضية، ويركز مصنعو المحركات حاليًا جهودهم على جعل أداء المحركات إلى المستوى المطلوب مع الوقود المتاح في كل من الأسواق التي يجب أن يكونوا فيها.



الشكل (4-6): تصنيف الأوكتان المتاح في المملكة المتحدة خلال القرن الماضي

ومع ذلك، مع زيادة الطلب على المحركات للعمل بمستويات شحن متزايدة دون المساس بنسب الانضغاط وكفاءة التحميل الجزئي، هناك بالتأكيد رغبة بأنواع الوقود ذات تصنيف أوكتان أعلى. عند استخدام خلطات الكحول كمكونات معززة للأوكتان في البنزين، فإن تأثير تبريد الشحنة الناتج عن الحرارة الكامنة العالية للتبخر يعطي خصائص إضافية مضادة للصفح، يصبح هذا التأثير أكثر وضوحاً عند استخدام هذه الأنواع من الوقود في محركات GDI، ويتم تطبيق تأثير التبريد لتأخير الوقود مباشرة داخل أسطوانات المحرك.

6-2-1-2- درجة حرارة الشحن [19]

عامة، يزداد معدل التفاعلات الكيميائية مع زيادة درجة الحرارة، وهذا ينطبق بالتأكيد على التفاعلات المتفرعة المتسلسلة التي تشكل الأنواع الوسيطة التي تؤدي إلى الاشتعال الذاتي. تؤدي الزيادة في درجة حرارة الشحن قبل الاحتراق إلى تقليل الوقت اللازم لاستكمال هذه التفاعلات، ويزيد من احتمالية وجود الظروف المطلوبة للاشتعال الذاتي في الخليط غير المحترق قبل أن تتقدم مقدمة اللهب العادية لإكمالها.

في هذا الصدد، فإن أي إجراء يقلل من درجة حرارة الخليط غير المحترق المتبقي سيقول من الميل إلى الصفح. يمكن تطبيق هذه الإجراءات على الشحنة الواردة قبل بدء الاحتراق، مثل تخفيض انتقال الحرارة لهواء الشحن من أسطح مجاري السحب، أو من خلال التبريد الفعال للشحنة وأيضاً تدابير يمكن تطبيقها لتقليل انتقال الحرارة للشحنة داخل الأسطوانة نفسها، مثل التبريد الأفضل للأسطح المعدنية، وتقليل كمية الغازات الساخنة المتبقية من الدورة السابقة، وإدخال مبرد الغازات المرجعة (بسبب السعة الحرارية العالية النوعية، وانخفاض درجات حرارة اللهب أثناء الاحتراق) و زيادة سرعات المحرك، يقلل الوقت الذي يبقى فيه الغاز متلامساً مع الأسطح المعدنية الساخنة قبل مرور لهب الاحتراق.

6-3-1-2- الوقت المتاح لعملية الاحتراق [19]

ان التفاعلات الكيميائية التي تحدث عند ضغط خليط الوقود والهواء وتسخينه تتطلب وقتاً محدداً لحدوثها وإتمامها، فكلما كانت عملية الاحتراق أسرع، قل الوقت المتاح لإكمال التفاعلات المسبقة المطلوبة، وقل احتمال الاشتعال الذاتي.

هذا يعني أن أي تأثيرات تسرع الاحتراق وتقلل الوقت الذي يستغرقه اللهب لاجتياز غرفة الاحتراق ستقلل أيضاً من ميل الاشتعال الذاتي.

تشمل التدابير المتاحة للمساعدة في هذا الصدد زيادة حركة الشحن في وقت الإشعال، وتقليل قطر التجاويف، وإنشاء شكل غرفة احتراق بشكل هندسي معين، وحتى استخدام مخاليط احتراق أسرع (مثل التي يتم إجراؤها عن طريق إدخال الهيدروجين في الشحنة).

تكون المحركات عالية السرعة عموماً أكثر تحملاً للصفح من المحركات المصممة لمنح طاقة قصوى بسرعات منخفضة، على الرغم من أن المحركات عالية السرعة مطلوبة للعمل بسرعات منخفضة، حيث تصمم أعمدة الكامات لتحقيق الكفاءة الحجمية المنخفضة.

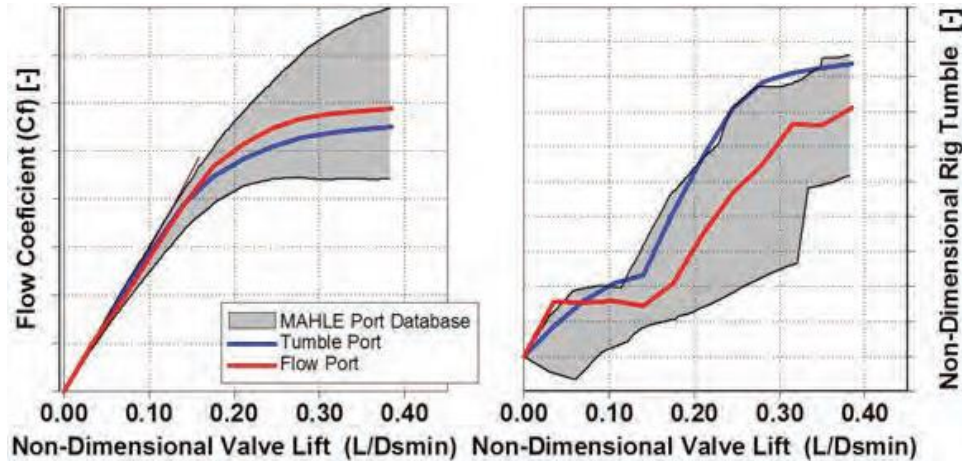
6-2-2- الإجراء العملية على المحركات [19]

منذ البداية، تم أخذ جميع العوامل المذكورة في الاعتبار عند تصميم المحرك. لإعطاء غرفة الاحتراق نسبة انضغاط أكبر وأقصر مسار للهب، تم أخذ قطر الأسطوانة إلى الشوط في الاعتبار. تم تصميم حجم الصمامات المطلوب، وأبعاد الحاقن المركزي ومكان شمعة الاحتراق، وإعطاء رأس الأسطوانة أفضل قدرة تبريد، هذه المتطلبات أدت إلى قطر أسطوانة أكبر وتم تخفيض مسافة الشوط الأساسية وفقاً لذلك. صممت غرفة الاحتراق بحيث تكون مضغوطة بأربعة صمامات والتي من شأنها زيادة في نسب الانضغاط دون إعطاء مسار لهب ضيق للغاية. في الشكل (5-6) يظهر مقطع عرضي لهذا التصميم.



الشكل (5-6) المقطع العرضي لغرفة الاحتراق

تم تصميم نوعين من مجاري السحب - أحدهما لإعطاء معدلات تدفق منخفضة ومتوسطة ("المجرى المنخفض")، والثاني يستخدم مع زيادة معدلات التدفق تظهر خصائص التدفق لهذه المنافذ في الشكل (6-6).



الشكل (6-6): خصائص مجرى التدفق العالي ومجرى التدفق المنخفض والمتوسط

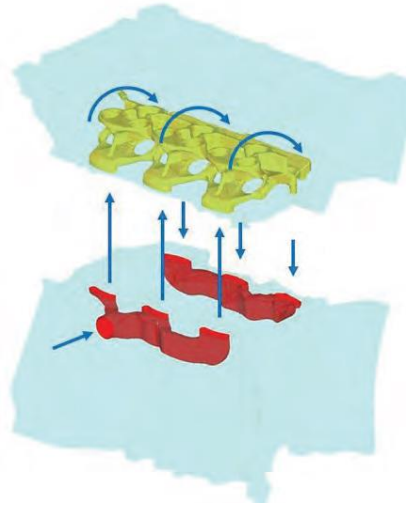
6-2-3- تبريد معادن جسم المحرك ورأس الأسطوانات [19]

فيما يتعلق بتبريد درجات حرارة المعدن، تم تصميم نظام منفصل يغذي دارتين منفصلتين لتبريد المحرك -واحدة لكتلة الأسطوانة والأخرى للرأس.

تم ترتيب الدارة الخاصة بالرأس في نمط "التدفق العرضي"، ويدخل سائل التبريد على الجانب الأيسر من الكتلة ويغذي ثلاثة ممرات يتم بدورها تغذية رأس الأسطوانة أسفل منافذ العادم.

تم إعطاء اهتمام خاص للتدفق حول مقاعد وموجهات صمام العادم، وغرفة الاحتراق لضمان سرعات تدفق جيدة في هذه المناطق.

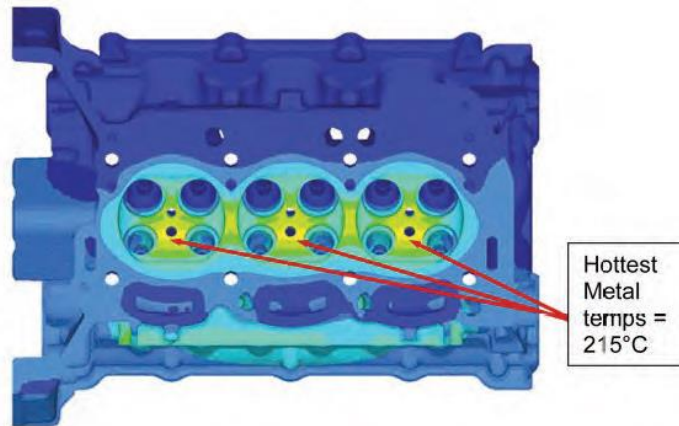
يبين الشكل (6-7) ممرات سائل تبريد رأس الأسطوانة.



الشكل (6-7): ممرات سائل تبريد رأس الاسطوانة

نتج عن هذا تبريد رأس الأسطوانة تبريداً ممتازاً لأهم أجزاء غرفة الاحتراق وصمامات العادم وشمعة الاحتراق. وقد أتاح ذلك التحكم انخفاضاً في درجات القصوى لحرارة المعدن بشكل ملحوظ، على الرغم من الاستطاعة النوعية العالية للمحرك.

يوضح الشكل (6-8) توزيع درجات حرارة المعدن المقاسة في رأس الأسطوانة.



الشكل (6-8) درجات حرارة معدن الاسطوانة

كانت الفوائد الإجمالية لمقاييس التصميم هذه مقاومة جيدة جداً للصفح في تصميم المحرك الأساسي، وكفاءة ممتازة في استهلاك الوقود عند التحميل الكامل.

ويحقق قيم BSFC منخفضة تصل إلى 265 غ / كيلو وات في الساعة عند 30 بار BMEP، و 285 غ/كيلوواط ساعة عند استطاعة نوعية لثريه تبلغ 100 كيلوواط / لتر.

6-2-4- نسبة الانضغاط الممكنة [19]

نسبة الانضغاط للمحرك عند تحقيق هدف الاستطاعة القصوى البالغ 120 كيلو وات تصل إلى 12.2: 1، عند استخدام وقود فئة RON95.

يبين الشكل (6-9) النتائج التي تم الحصول عليها لثلاث نسب ضغط مختلفة مع المحرك.

في العمود الأيسر زاوية الكرنك التي يكون عندها 50% من كتلة الشحنة المحترقة (50% MFB).

يمكن عد كفاءة المحرك على أنها بدأت في التعرض للانخفاض بمجرد أن تتأخر نقطة (50% MFB) إلى أكثر من 12 درجة ATDC (تظهر هذه القيمة على شكل خط أزرق سميك منقطع).

عند CR 10.2، يمكن ملاحظة أن مرحلة الاحتراق عند أحمال المحرك الأكبر من 10 بار BMEP عند 1000 rev / min، و 15 بار BMEP أعلى من 2500 rev / min، يكون فيها أكثر مراحل الاحتراق تأخراً بين 1500 rev / min و 2000 rev / min، وتكون نقطة (50% MFB) أكثر بقليل من 30 درجة ATDC.

عند زيادة نسبة الانضغاط لتصبح CR 12.2، فإن الميل إلى الصفح يتطلب طور الاحتراق مزيد من التأخير، بحيث يكون نقطة (50% MFB) 34 ° درجة ATDC.

ومع ذلك، فإن هذه القيم ليست غريبة باعتبارها تابعة لمحركات المشحونة، وهي ملحوظة عند أخذ مستويات BMEP الفعلية ونسب الانضغاط المعنية في الاعتبار.

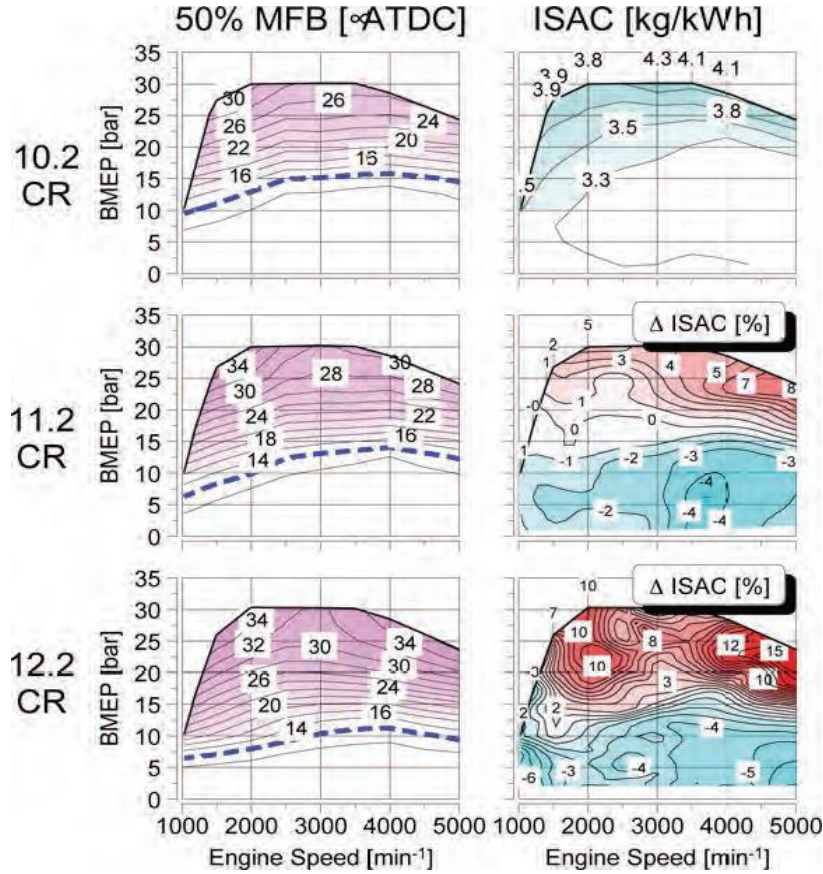
في العمود الأيمن، تم تحقيق الاستهلاك المحدد للهواء (ISAC) عند CR 10.2، ويتم عرض التغير في هذه القيمة لنسبتي الانضغاط الآخرين.

يتم حساب هذه القيم من إجمالي IMEP (أي المنطقة داخل حلقة "الضغط العالي" فقط) وبالتالي تعطي قياساً مباشراً لكفاءة عمليات إضافة الحرارة والتمدد، دون تأثيرات الاحتكاك أو أعمال التبادل الغازي. يمكن ملاحظة أنه عندما يكون الاحتراق التدريجي أكثر تأخراً، أصبحت قيم ISAC أكبر (مما يشير إلى كفاءة أسوأ).

مع زيادة نسبة الانضغاط من 10.2 إلى 12.2، شوهدت فوائد تصل إلى 5% في ISAC في منطقة التحميل الجزئي وتم تحسين كفاءة الدورة.

عند التحميل الكامل حيث يجب أن يتأخر الاحتراق بشكل أكبر بسبب الصفح، أصبحت قيم ISAC أسوأ، بنسبة تتراوح بين 2 إلى 8 % عند CR 11.2.

وبين 7 و 15 % عند CR12.2 لأن نسب الانضغاط الأعلى تتطلب تأخير مراحل احتراق أكثر من المستوى الأمثل بسبب الصفح، وتأثير ذلك على كفاءة المحرك كان صغيراً بشكل مدهش في هذه الحالة، وأن هدف الاستطاعة القصوى الأصلي من الممكن تحقيقه عند نسبة ضغط أعلى دون احتراق غير منتظم.



الشكل (9-6): تأثير نسبة الانضغاط على تأخير الإشعال للحد من الصفح وكفاءة المحرك

6-2-5- التحكم بدرجة حرارة هواء الشحن [19]

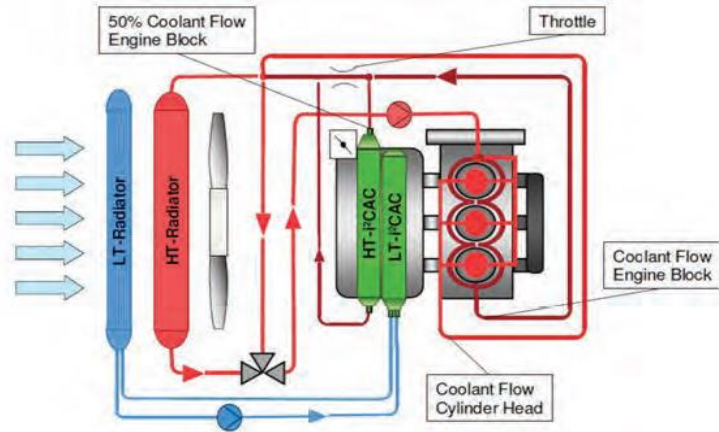
إن خفض درجة حرارة الهواء قبل دخوله الأسطوانة له ميزتان في تقليل ميل المحرك للصفح.

- أولاً، يتمثل التأثير المباشر لدرجات حرارة مبرد الشحن في خفض درجة حرارة الهواء عند دخوله إلى الأسطوانات، وبالتالي درجة حرارة الخليط المتبقي غير المحترق في نهاية عملية الاحتراق.
- ثانياً، تكون الشحنة المبردة أكثر كثافة، وبالتالي يتم تخفيض الضغط المطلوب من الشاحن لكتلة شحن معينة. ينتج عنه عمل أقل لتوربين الشاحن وتخفيض في ضغط غازات العادم ما قبل التوربين، وبالتالي تقليل كتلة الغاز المتبقي في الأسطوانة، مما يوفر المزيد من الفوائد في تقليل الميل إلى الصفح.

تم تصميم نظامين لتقليل درجات حرارة الهواء المشحون قدر الإمكان.

النظام الأول، المسمى بمبرد هواء الشحن المتسلسل، يشتمل على مبردين مرتبين في سلسلة تدفق الهواء الداخل (مبادل حراري هواء ماء) تقليدي يستخدم مبرد لإعطاء تخفيض مبدئي في درجة حرارة الشحن ومتصل مع (مبادل

حراري ماء هواء) لاحق مع مبرد خاص به حلقة تعمل عند درجة حرارة منخفضة لتقليل درجة حرارة الشحن بشكل أكبر. يبين الشكل (10-6) هذا النظام



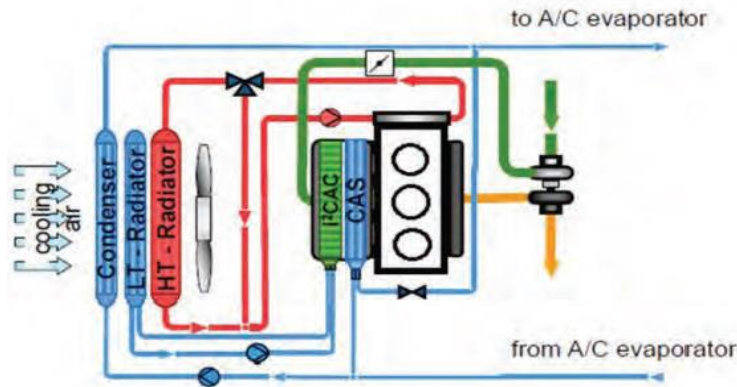
الشكل (10-6): مخطط تبريد هواء الشحن المتتالي

تم تصميم مجموعة مجاري السحب كما هو موضح في الشكل (11-6)



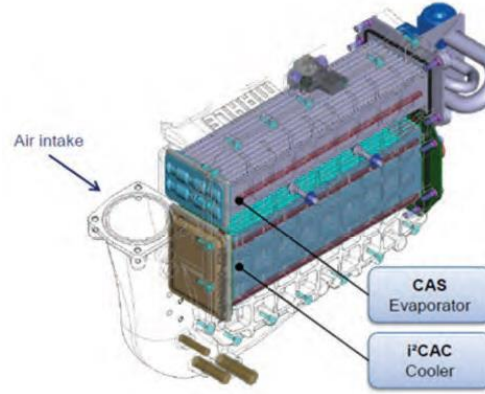
شكل (11-6) تصميم مبرد هواء الشحن المتتالي

باستخدام هذا النظام، من الممكن تحقيق درجات حرارة هواء الشحن حوالي 30 °C (باعتبار درجة حرارة الهواء المحيطة 25 °C)، أي قريبة جداً من تلك التي تم الحصول عليها في المحركات غير المشحونة. لتوسيع قدرة التبريد بشكل أكبر، تم تصميم وحدة تبريد فرعي للهواء المشحون، والتي تضم مبردا يعمل بواسطة غاز التبريد. يظهر الشكل (12-6) هذا النظام.



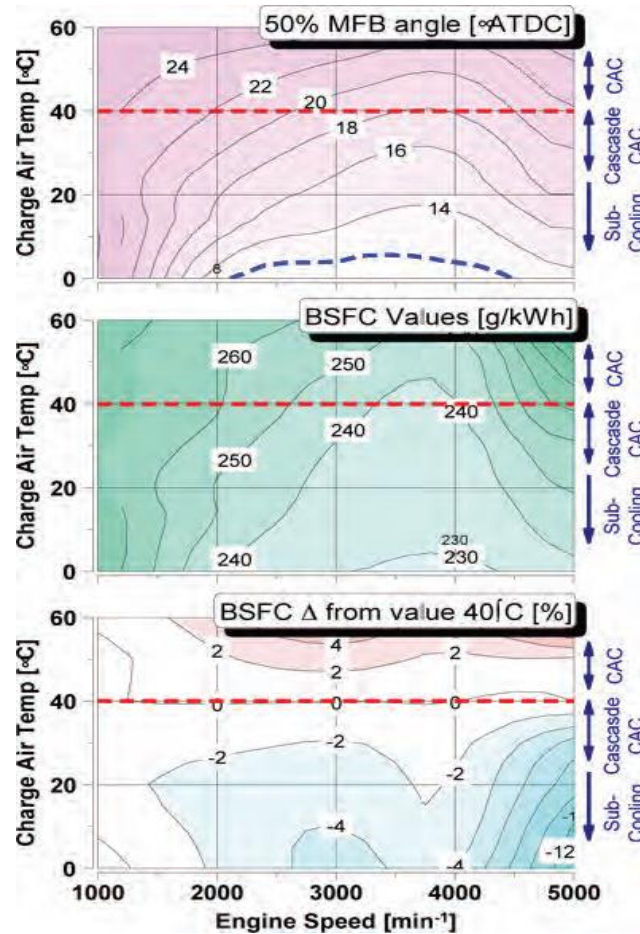
الشكل (12-6): مخطط التبريد الفرعي للهواء الشحن الذي يعمل بواسطة غاز التبريد

صمم هذا النظام للاستفادة من السعة الزائدة من دائرة تكييف هواء السيارة. ومع ذلك، يمكن استخدام دائرة تبريد مخصصة إذا كان التطبيق لا يضمن التكلفة الزائدة والتعقيد. يتم عرض الوحدة المصممة في الشكل (6-13):



الشكل (6-13): تصميم وحدة التبريد الفرعي للهواء

تم تلخيص نتائج هذه الانظمة في الشكل (6-14) أدناه، موضحاً سرعة المحرك المرسومة على المحور X، ودرجة حرارة شحن الحمولة الكاملة على المحور Y.



الشكل (6-14): تأثير درجة حرارة هواء الشحن لتأخير الإشعال للحد من الصفح وكفاءة المحرك

مبرد هواء الشحن المدمج الأصلي قادرًا على الحفاظ على درجات حرارة 40 °C في التشغيل العادي، ويتم تمييز هذا المستوى بالخط الأحمر المنقطع.

يوضح الرسم التخطيطي العلوي زاوية تأخير الشرارة (50% MFB).

يوضح الرسم التخطيطي الأوسط قيم BSFC المقابلة.

يوضح الرسم البياني في الأسفل النسبة المئوية للاختلاف في BSFC عن تلك التي تم الحصول عليها عند 40 °C، عند سرعات مختلفة للمحرك.

عند سرعات المحرك المنخفضة (أقل من حوالي 2000 دورة / دقيقة) يكون تأثير درجة حرارة الشحن على حد الصفح و BSFC ضئيلاً تقريباً.

• أولاً في السرعات المنخفضة هناك (من الناحية النسبية) مزيد من الوقت للشحنة الداخلة لالتقاط الحرارة من صمامات ومنافذ الدخول، وجدران الاسطوانة، وإشعاعات الحرارة من المراحل الأولى من عملية الاحتراق. لذلك درجات حرارة الشحنة النهائية الناتجة لا يتم تخفيضها بشكل مباشر بما يتناسب مع انخفاض درجة حرارة الشحن.

أي هناك علاقة بين درجة الحرارة الكاملة في غرفة الاحتراق ودرجة حرارة الشحنة النهائي في ظل هذه الظروف. • ثانياً، يُفترض أنه عند هذه السرعات، يكون الوقت المطلوب لإكمال تفاعلات الاحتراق مناسباً لنمو الصفح وإحداث، بصرف النظر إلى حد ما عن درجات حرارة الشحنة النهائية الفعلية. مع زيادة سرعة المحرك، أصبح التدرج في مراحل الاحتراق أكثر سرعة، وأصبحت الحساسية المتوقعة للصفح بتأثيرها بدرجة حرارة الشحن بالظهور.

في هذه المنطقة، أدى انخفاض درجة حرارة الشحن بمقدار 10 °C إلى تقديم لحظة مرحلة الاحتراق بزوايا كرنك 2 درجة تقريباً، مما أدى إلى تحسن بنسبة 2% تقريباً من BSFC.

في سرعات المحرك العالية، تصبح حساسية الاحتراق لدرجة حرارة الهواء أكبر، نتيجة لتقليل الوقت الذي يبقى به خليط الشحن في الأسطوانة قبل الاحتراق.

أدت عملية الاحتراق مع تأخير زاوية الإشعال إلى خفض درجات حرارة غاز العادم، والقليل من إغناء الوقود للحفاظ على التشغيل الآمن.

6-2-6- تأثير تبريد غازات العادم المرجعة EGR [19]

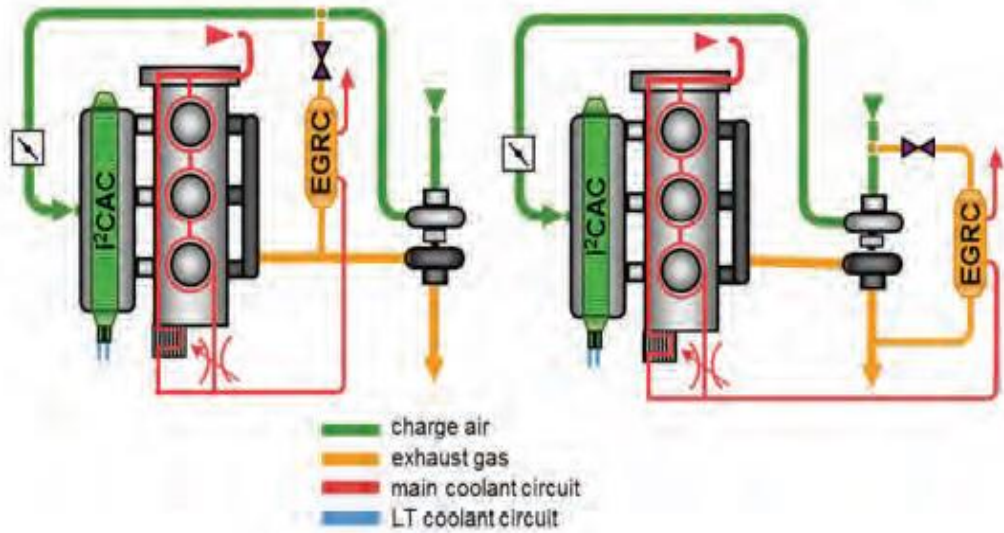
إن الغازات الساخنة المتبقية تؤثر سلباً بوضوح على الصفح، لذلك يتم تبريد غازات العادم قبل إعادة إدخالها إلى أسطوانة المحرك، بالتالي درجة الحرارة المنخفضة لجزيئات غاز العادم يكون لها تأثير مفيد عن طريق تقليل درجات حرارة الاحتراق، وتخفيض الميل للصفح.

من أجل التحكم في غاز العادم وتبريده، يلزم وجود مبردات EGR محددة وصمامات EGR مبردة. لهذا الغرض، تم تصميم مجموعة صمام ومبرد EGR مدمج كما هو موضح في الشكل (6-15)



الشكل (6-15): مجموعة متكاملة لصمامات ومبرد EGR

يوجد نوعان من دارات تبريد EGR: دائرة الضغط المنخفض ويتم أخذ غازات العادم من أسفل مجرى التوربين (إما قبل المحفز أو بعده) وتغذيتها في تيار المدخل في الجزء العلوي من الضاغط، ودائرة الضغط العالي حيث يتم أخذ غازات العادم من قبل التوربين وإدخالها في مجمع المدخل. تظهر هذه الدارات في الشكل (6-16):



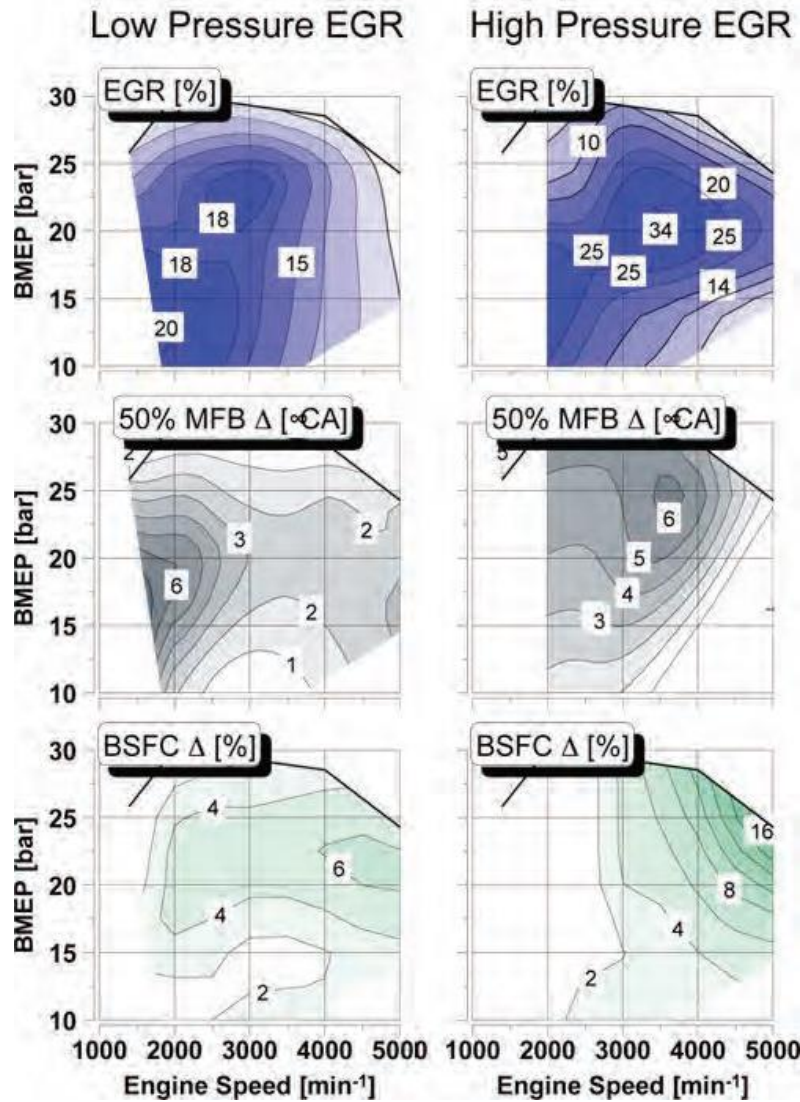
الشكل (6-16): دائرة ضغط عالي (يسار) و ضغط منخفض (يمين)

تتمثل مزايا دائرة الضغط المنخفض في أن غاز العادم يكون ممزوجاً جيداً بهواء الإدخال، وأن منتجات الاحتراق تتفاعل بشكل كامل وبالتالي تكون أكثر خمولاً، ولكن العيوب هي أن فرق الضغط يكون منخفضاً لدفع غاز العادم في تيار المدخل وبالتالي نسبة أقل من EGR المدخل بهذه الطريقة. أيضاً، يجب أن يستوعب الضاغط تدفق غاز العادم الإضافي، وبالتالي يتم وضع متطلبات إضافية على نظام الشحن.

أما دائرة الضغط العالي، بالمقارنة، يكون فرق ضغط أكبر خاصة عند السرعات العالية، ويمكن إدخال كميات أكبر بكثير من غاز العادم.

ولا تتأثر سعة الضاغط بالحاجة إلى التعامل مع غاز العادم الخامل. يلزم مزيد من الاهتمام لضمان توزيع غاز العادم بشكل جيد بين الأسطوانات، وهناك احتمال أن بعض الجزيئات غاز العادم لا تتفاعل بشكل كامل، وقد تؤثر في التسبب في الصفح، أو الاشتعال المسبق. غالبًا ما يكون فرق الضغط عند سرعات المحرك المنخفضة سالبًا (ويتجاوز ضغط السحب الضغط للعادم ما قبل التوربين) لذلك يمنع EGR من العودة ويجب استخدام مضخة EGR في هذه الحالة.

تم تلخيص نتائج لهذه الأنظمة في الشكل (6-17)، الذي يوضح مقدار EGR المقدم مع كل نظام، والفرق في زاوية المعطاة (50% MFB) من الحالة التي لا تحتوي على EGR، والتخفيض المقابل في BSFC.



الشكل (6-17): تأثير HP و LP لنظام EGR على حد الصفح و BSFC

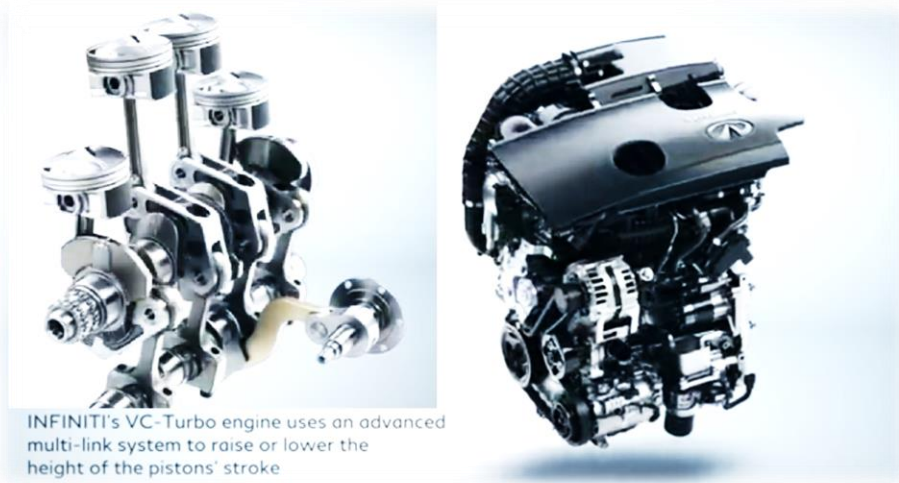
الفرق في معدلات EGR المتاحة مع النظامين واضح، خاصة في سرعات المحرك العالية، النظام ذو الضغط المنخفض قادر على إدخال ما يصل إلى 20% من EGR الخارجي، ويقدم أفضل معدلات التدفق عند سرعات المحرك المنخفضة نسبياً.

دائرة الضغط العالي قادرة على إدخال ما يصل إلى 35% من EGR خارجي عند السرعات العالية، زادت القدرة على تدفق EGR عند الحمل بسبب الزيادة في ضغط كتلة السحب التي تعارض التدفق. في هذا النظام، قلل EGR الميل للصفح بنسبة من 20% إلى 30% بحيث يمكن تسبيق مراحل الاحتراق بحوالي 5 إلى 6 درجات من عامود الكرنك.

أدى ذلك إلى تحسن في BSFC عالي الحمل بحوالي 4% إلى 8%. عند السرعات العالية للمحرك. كان لزيادة السعة الحرارية النوعية لغاز العادم المبرد، جنباً إلى جنب مع تسبيق مراحل الاحتراق، تأثير مباشر إضافي على تقليل درجات حرارة غاز العادم، وبالتالي تقليل كمية الوقود الزائد المطلوبة لتخفيض درجة حرارة الشحنة وبالتالي تم تحقيق مزيد من التخفيضات في استهلاك الوقود.

6-3- المحركات متغيرة نسبة الانضغاط للتحكم والحد من الصفح [22]

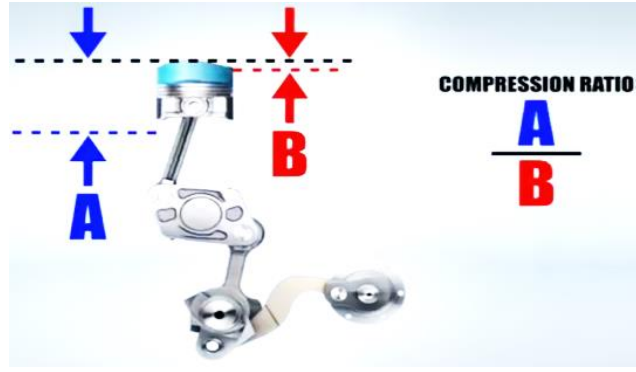
قامت شركة انفينتي بتصميم وصناعة محرك متغير نسب الانضغاط وهو اول محرك متغير نسبة الانضغاط يدخل الانتاج التجاري ويركب على سيارة سياحية شكل (6-18).



شكل (6-18) محرك انفينتي متغير نسب الانضغاط ومزود بشاحن توربيني يعتمد على ميكانيزم متعدد الوصلات للتحكم بارتفاع المكبس وبالتالي التحكم بنسبة الانضغاط

في هذا المحرك يوجد عدد من الأفكار الجديدة اكثرها وضوحا هو تغير نسبة الانضغاط، تقنية خطوط الاسطوانة الداخلية الملساء، وآلية التوازن في هذا النوع وميزاتها، ومردود هذا المحرك.

نسبة الانضغاط موضحة بالشكل (6-19)



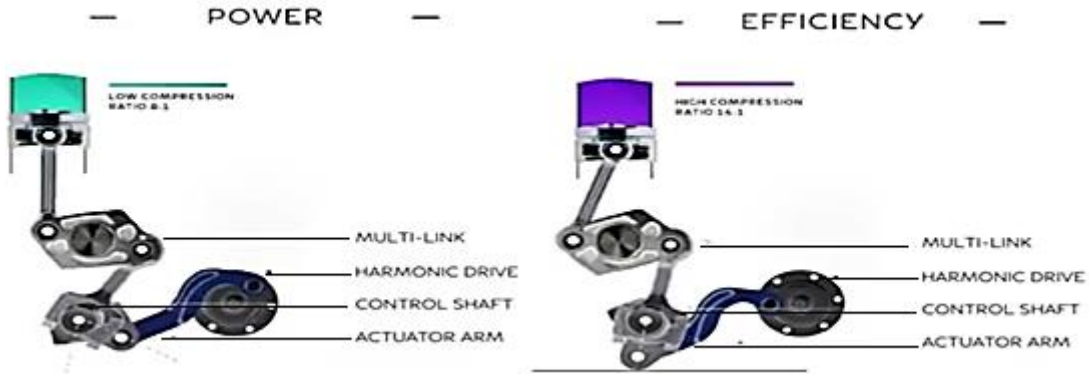
الشكل (19-6) نسبة الانضغاط هي مقدار الحجم الكلي للمحرك A على حجم غرفة الاحتراق B

هي نسبة الحجم الكلي للأسطوانة على حجم حجرة الاحتراق وتعد نسبة الانضغاط من أكثر العوامل التي تؤثر على كفاءة المحرك ومردوده.

هذا النوع من المحركات يستطيع ان يعطي استطاعة مساوية لمحرك ذي حجم أكبر وعدد اسطوانات أكثر ويستطيع ان يعطي عزوماً مساوية تقريباً لعزم محركات الديزل ويتميز ايضاً بانبعاثات قليلة لغازات العادم وفق المعايير والأنظمة العالمية.

6-3-1- مبدأ عمل المحرك متغير نسبة الانضغاط [22]

المحرك يعتمد نفس مبدأ المحرك العادية في الأشواط الأربعة السحب والانضغاط والاحتراق والعادم مع ميزة إضافية هي تغيير نسبة الانضغاط إما لتحقيق أفضل استطاعة للمحرك أو لتحقيق أفضل مصروف للوقود توضح الأشكال التالية الوضعيات لعمل المحرك.

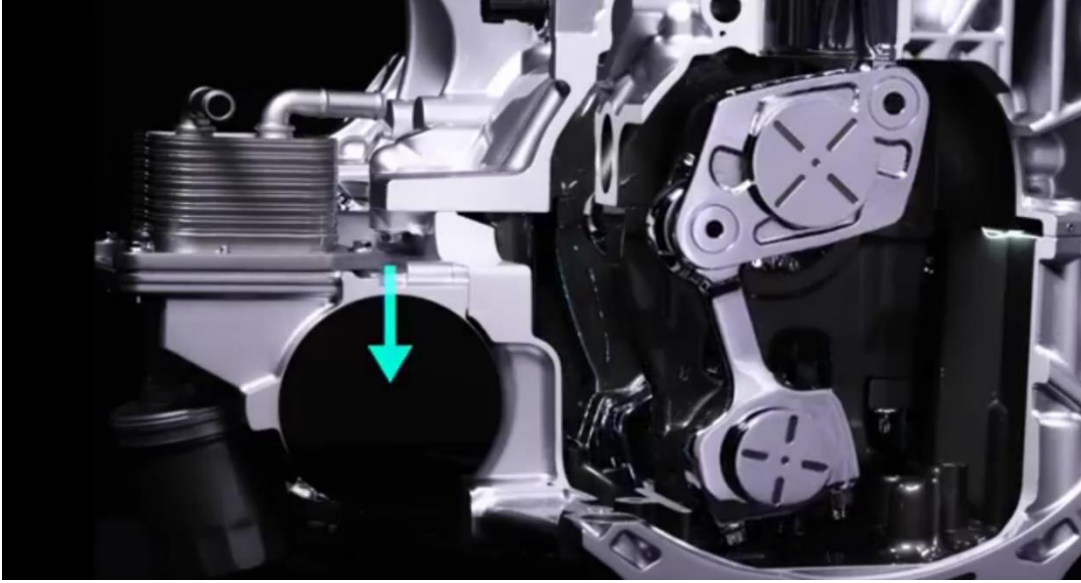


وضعية الاستطاعة نسبة الانضغاط 8:1

وضعية الاقتصادية نسبة الانضغاط 14:1

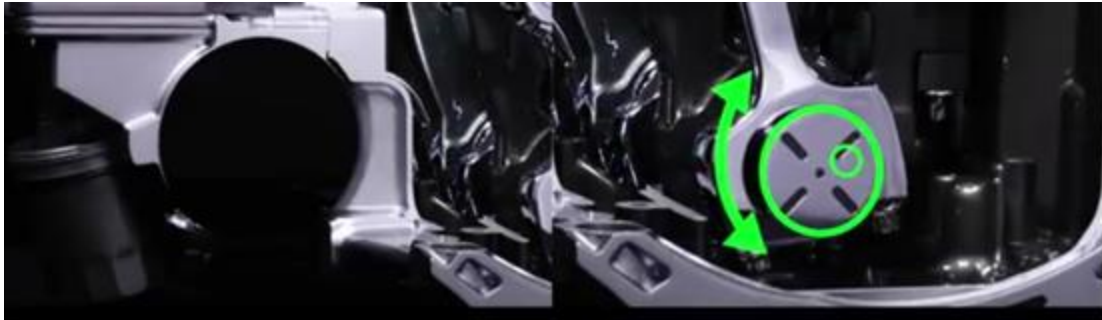
6-3-2- أجزاء نظام تغيير نسبة الانضغاط بالمحرك [22]

المحرك التوافقي (هرمونك درايف) هو نوع من انواع المحركات الخطوية عبارة عن محرك كهربائي يقوم بإعطاء زاوية دوران للذراع المشغل شكل رقم (20-6)



شكل (6-20) المحرك التوافقي

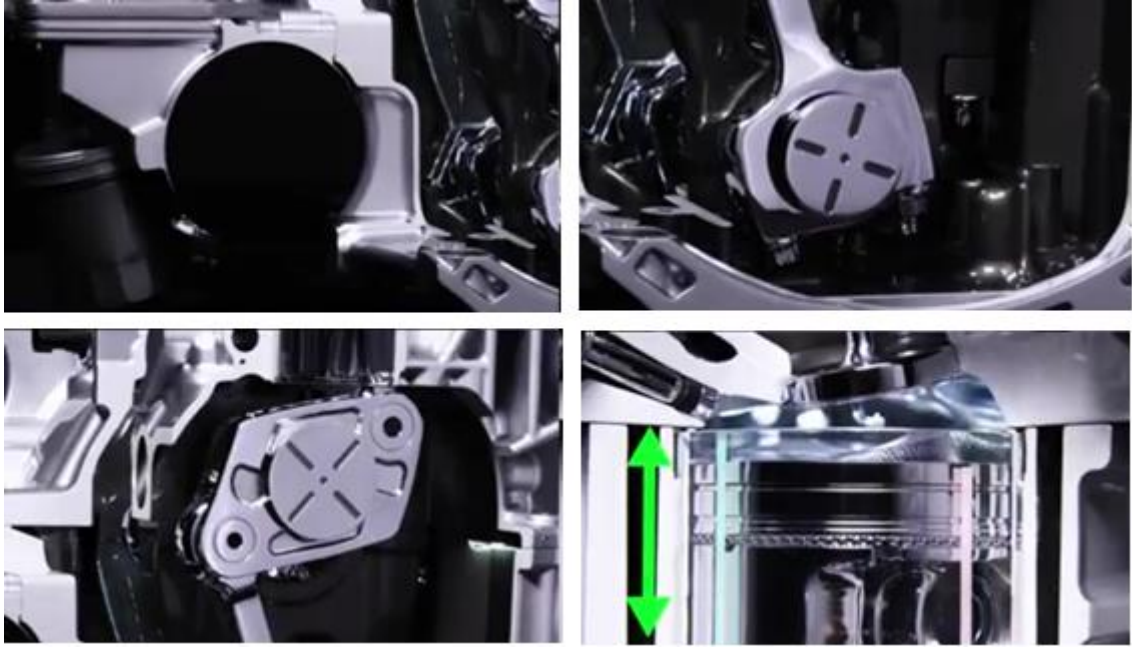
2- عندما يقوم الذراع المشغل بالدوران بزاوية معينة يقوم بإدارة عامود التحكم وهو عامود مشابه لعامود الكامات الذي يجبر بدوره ذراع التوصيل السفلي على التحرك اما للأعلى او للأسفل حسب جهة الدوران التابعة له شكل (6-21)



شكل (6-21) عامود التحكم

3- ذراع التوصيل السفلي: تقوم ذراع التوصيل السفلي بتغيير زاوية ذراع التوصيل متعدد النقاط التي تتصل مع مكبس المحرك بواسطة ذراع التوصيل العلوي.

4- ذراع التوصيل المتعددة النقاط: عند تغيير زاوية ذراع التوصيل متعددة النقاط تؤدي إلى تحرك ذراع التوصيل العلوي بالتالي تسبب تحرك المكبس اما للأعلى او للأسفل وتغير نسبة الانضغاط شكل (6-22).



شكل (6-22) الأجزاء الأربعة لميكانيكيزم تغيير نسبة الانضغاط بالمحرك

5- مثال على ذلك: في حال كان المحرك يعمل بوضعية الاستطاعة العالية لتفعيل الوضعية الاقتصادية يقوم المحرك التوافقي بالدوران نحو اليسار وبالتالي يجبر ذراع التوصيل السفلي بالتحرك نحو الأسفل بالتالي ذراع التوصيل متعدد النقاط يقوم بالدوران نحو اليمين مسببا حركة ذراع التوصيل العلوي باتجاه الأعلى فيتتحرك المكبس باتجاه غطاء الاسطوانة مما ينقص حجم حجرة الاحتراق فتزداد نسبة الانضغاط.

6-3-3 أسباب تغيير نسبة الانضغاط [22]

- السبب الرئيسي لتغير نسبة الانضغاط في المحرك بدايةً عند العمل بوضعية الاستطاعة القصوى للمحرك يتم اعتماد نسبة الانضغاط 8:1 وذلك لان المحرك مزود بشاحن توربيني يزيد من كمية الشحنة الداخلة للمحرك وبالتالي نحصل على استطاعة أكبر.

- عند إدخال كمية إضافية من الشحنة يزيد احتمال حدوث الصفع بالمحرك بسبب زيادة الضغط ودرجة الحرارة بنهاية شوط الانضغاط، يعد الصفع بالمحرك خطيراً جداً ويؤدي إلى تدمير أجزائه. باستخدام نسبة انضغاط منخفضة يقلل ذلك من حدوث هذه الظاهرة فعند عمل المحرك على استطاعة 270 حصاناً يتم تخفيض نسبة الانضغاط والتحكم بالضغط الأعظمي للشاحن التوربيني.

- يتم تغيير نسبة الانضغاط بين 8:1 إلى 12:1 بزمن قدره 1.2 ثانية.

- عند عمل المحرك على الوضع الاقتصادي عامة كلما زادت نسبة الانضغاط كلما كان المردود الحراري أفضل للمحرك بالتالي تزداد اقتصادية المحرك، فعند عمل المحرك على الأحمال الخفيفة الدوران الحر أثناء المسير على الطرقات السريعة يتم العمل على وضعية نسبة الانضغاط العالية من أجل تحقيق أفضل اقتصادية للمحرك.

- هذا النوع من المحركات يعمل على دورة اتكنسون الحرارية بدلاً من العمل على الدورة الحرارية التقليدية للمحرك دون الحاجة إلى تغيير توقيت الصمامات ودون أن تؤثر سلباً على استطاعة المحرك.

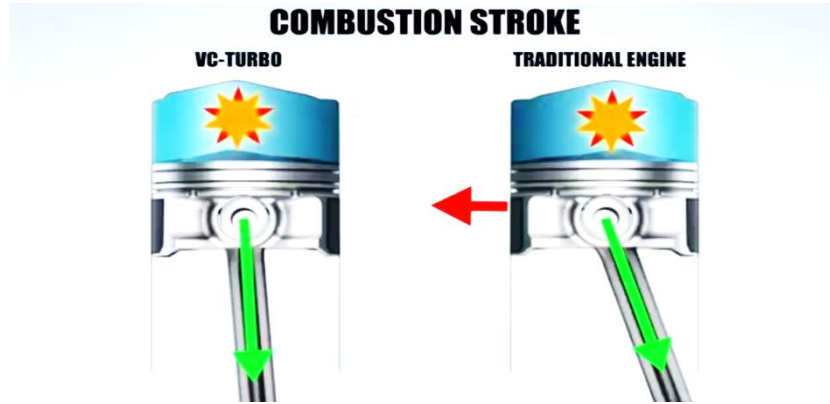
دورة اتكنسون في المحرك التقليدي تعتمد على إبقاء صمام السحب مفتوحاً لمدة متغيرة في شوط الانضغاط بالتالي جزء من خليط الهواء والوقود يدفع إلى خارج الأسطوانة مؤدياً إلى تحسن نسبة التمدد، عند تحرك المكبس إلى الأسفل بالتالي تصبح نسبة التمدد أكبر من نسبة الانضغاط عند تحرك المكبس إلى الأعلى فتسمح هذه الدورة للمحرك بإعطاء أكبر كمية من العمل ناتجة عن عملية الاحتراق ولكن تؤثر سلباً على استطاعة المحرك.

- يستطيع هذا المحرك العمل على أي نسبة انضغاط بنسب 8:1 إلى 14:1 وليس النسبتان فقط يتم اختيار نسبة الانضغاط المثالية أوتوماتيكياً التي تتناسب حمل وسرعة دوران المحرك (نقطة عمل المحرك).

- إضافةً لما سبق فإن هذا النوع من المحركات له ميزات إضافية، المحركات العادية التقليدية غير متوازنة بالنسبة للقوى من الدرجة الثانية، يعود السبب في ذلك إلى تصميم العمود المرفقي في المحرك من أجل موازنة هذه القوى يستخدم أعمدة توازن لموازنة المحرك بالتالي إضافة تعقيد واستهلاك إضافي للوقود.

أما في هذا النوع من المحركات فإنه لا يحتوي على أعمدة توازن لأن تصميم مجموعة العمود المرفقي لا تسبب توليد قوى من الدرجة الثانية في المكبس يعمل هذا المحرك دون اهتزاز ويتوازن إضافة للميزة الرائعة فيه بتغيير نسبة الانضغاط.

- القوى الجانبية للمكبس في هذا النوع من المحركات تكون معدومة تقريباً مقارنةً بالمحرك التقليدي حيث يتعرض المكبس لقوى جانبية كبيرة ويعود السبب في ذلك للزاوية الكبيرة لذراع التوصيل أثناء الدوران على العمود المرفقي. كما في الشكل (6-23).



شكل (6-23) انعدام القوى الجانبية في محرك متغير نسب الانضغاط

أما في هذا المحرك فإن ذراع التوصيل تبقى تقريباً عمودية أثناء حركة المكبس باتجاه الأعلى والأسفل بالتالي تكون القوى الجانبية معدومة تقريباً بالتالي احتكاك أقل بين المكبس والأسطوانة مما يحسن المردود الميكانيكي.

- خطوط الأسطوانة ذات لمعة قوية وعاكسة يدعى هذا النوع الغطاء العاكس وهو ناتج من تقنية تدعى حقن البلازما تعطي هذه التقنية نعومة عالية لأسطوانات المكبس مما تقلل الاحتكاك ويحسن أداء المحرك.

- يستخدم المحرك الحقن المباشر + الحقن في مجمع السحب، فعند الأحمال الصغيرة يستخدم المحرك نظام الحقن في المجمع وعند الأحمال المتوسطة يستخدم النظامين معاً أما في الأحمال العالية فيستخدم نظام الحقن المباشر فقط.

استخدام هذه التقنية للحقن المباشر والحقن في مجمع السحب يعطي أفضل نتائج لعملية الاحتراق ويساعد على بقاء صمامات السحب والطرء نظيفة، الذي يؤمن متطلبات المحرك بشكل دقيق لكمية الحقن وتوقيته.

6-3-4- استثمار هذا النظام [22]

- جميع الوصلات الميكانيكية تحت المكبس تبدو معقدة نوعا ما وهذا التعقيد يمكن ان يؤدي إلى حدوث بعض المشاكل لكن شركة نيسان قامت بتجريب هذا المحرك بشكل واسع وكبير بعد القيام بمئات التجارب على نماذج ومحركات تجريبية.

قامت الشركة بتجريب المحرك على سيارة قطعت مسافة 3 مليون كيلو متر ما يعادل 30000 ساعة عمل، وتم تجريب المحرك بعدد من المناطق مختلفة المناخ بالتالي فان هذا المحرك يتمتع بتصميم ذي متانة وعملانية عالية.

- المحرك يتمتع بنظام اعدام قصير بحيث تصل غازات العادم إلى الشاحن التوربيني بأقل مسافة مما يساعد على سرعة استجابة الشاحن ويساعد على وصول الخزان المحفز لغازات العادم لدرجة حرارة مثالية بسرعة.

- الارتفاع الإجمالي للمحرك مساوي لارتفاع محرك رباعي الأسطوانات تقليدي بالرغم من الوصلات الميكانيكية والميكانيزم المتعلقة بتغير نسبة الانضغاط.

- يعمل هذا المحرك على وقود برقم اوكتاني عادي أي لا يحتاج إلى وقود برقم اوكتاني عال.

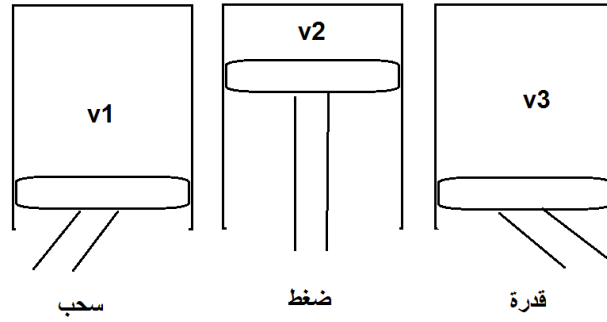
- تم تزويد سيارة إنفينيتي QX45 موديل 2019 بهذا النوع من المحركات.

6-4- دورة أتكينسون الحرارية بالمحرك [24]

تتميز محركات دورة Atkinson بنسبة تمدد أكبر، وبالتالي كفاءة حرارية أعلى، وهي أكثر ملائمة لمحركات الشحن التوربيني وللمركبات الهجينة التي تعمل بالوقود والكهرباء من محركات دورة أوتو التقليدية. يمكن تحقيق نسبة تمدد أكبر في محرك دورة Atkinson عن طريق تخفيض نسبة الانضغاط. من الممكن اعتماد استراتيجية إغلاق صمام السحب المتأخر (LIVC) Late Intake Valve Closure لتقليل نسبة الانضغاط الفعالة مما يساعد بتجنب الصفح، لكن عملية (LIVC) تقلل من الإزاحة الفعالة للمحرك وبالتالي تقلل من كثافة الطاقة المنتجة من المحرك.

بتعريف كل من نسبة الانضغاط ونسبة التمدد من الشكل (6-24) نجد أن نسبة الانضغاط هي نسبة حجم

V1 على حجم V2 أما نسبة التمدد هي حجم V3 على حجم V2



$$cr = \frac{v_1}{v_2} \quad ER = \frac{v_3}{v_2}$$

$$cr = ER$$

الشكل (24-6) نسبة الانضغاط ونسبة التمدد

حيث:

Cr: نسبة الانضغاط في المحرك.

ER: نسبة التمدد بعد عملية الاحتراق.

في المحرك التقليدي، نسبة الانضغاط مساوية لنسبة التمدد ونلاحظ عند شوط العمل وعند وصول المكبس إلى النقطة الميتة السفلى يبقى ضغط الغازات مرتفع داخل أسطوانة المحرك، ثم يفتح صمام العادم وبالتالي يخرج هذا الضغط مع غازات العادم.

هذا الضغط يعد طاقة ضائعة من الممكن الاستفادة منها في تحريك المكبس مسافة أطول في اتجاه النقطة الميتة السفلى وبالتالي الحصول على طاقة إضافية وتخفيض غازات العادم المتبقية تعتمد دورة أتكينسون على مبدأ أن يكون شوط الانضغاط أصغر من شوط التمدد (العمل).

6-4-1- مزايا دورة أتكينسون الحرارية ومساوئ [24]

المزايا

1- تعمل المحركات التقليدية للسيارات في نطاق الحمولة الجزئية. يعد استخدام صمام الخانق مريحاً ومرناً بشكل خاص لتنظيم الهواء النقي في الأسطوانة. على الرغم من ذلك، فإن صمام الخانق يخلق ضغطاً سلبياً كبيراً في مجمع المدخل، مما يؤدي إلى فقد كبير للهواء في صمام المدخل.

لقد ثبت أن دورة Atkinson وسيلة قيمة لتحسين الاقتصاد في استهلاك الوقود عند التحميل الجزئي من خلال التحكم في حمل المحرك وتقليل خسائر التبادل الغازي، حيث يمكن توفير 15% إلى 20% من استهلاك الوقود.

2- هذه الدورة مناسبة للمركبات الهجينة حيث أن المحرك الكهربائي يعوض فقدان الطاقة عند السرعة المنخفضة.

3- دورة أوتو لديها نسبة ضغط أقل من نسبة التمدد لدورة أتكينسون. لذلك، يتمتع محرك Atkinson بكفاءة أعلى.

المساوي

1- يستهلك محرك دورة Atkinson وقودًا أقل ولكنه يولد طاقة أقل أيضًا.

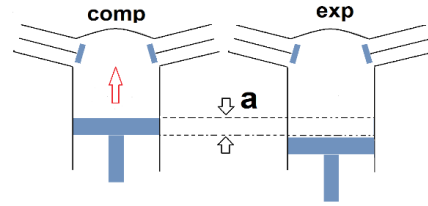
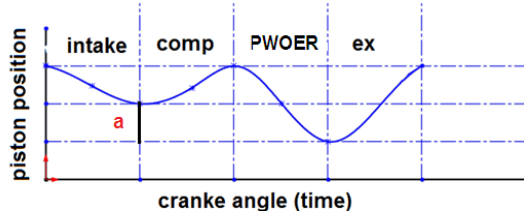
2- هذه الدورة لديها نسبة انضغاط أقل.

6-4-2- طرق الحصول على دورة أتكنسون الحرارية بمحركات الاحتراق الداخلي [24]

من الممكن الحصول على نسبة تمدد أكبر من نسبة الانضغاط بطريقتين:

الطريقة الأولى: بتأخير إغلاق صمام السحب وبالتالي نسبة تمدد أكبر من نسبة الانضغاط وهذا يعني زيادة المردود إلا أن ذلك يؤثر سلبًا على استطاعة المحرك ويعطي عدد أحصنة أقل للمحرك.

الطريقة الثانية: اعتماد ميكانيزمي العامود المرفقي لمحرك متغير نسبة الانضغاط نلاحظ من الشكل (6-25) أن المسافة a هي الفرق بين المسافة التي يقطعها المكبس في شوط السحب والمسافة التي يقطعها في شوط القدرة وبالتالي تكون نسبة التمدد أكبر من نسبة الانضغاط ويعود السبب في ذلك على تصميم ميكانيزمي العامود المرفقي لمحرك متغير نسبة الانضغاط.



الشكل (6-25) المسافة a هي الفرق بين المسافة التي يقطعها المكبس في شوط السحب والمسافة التي يقطعها في شوط القدرة وبالتالي تكون نسبة التمدد أكبر من نسبة الانضغاط.

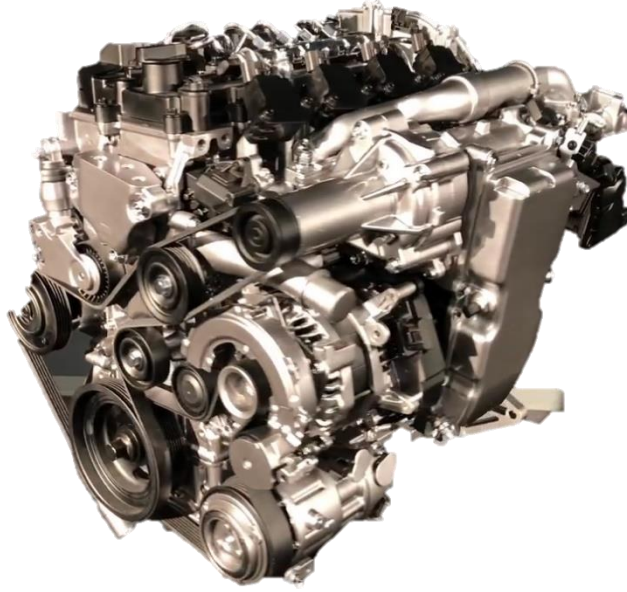
طريقة أخرى لزيادة كفاءة المحرك استخدام "دورة ميلر" من خلال استخدام IVC مبكرًا أو متأخرًا يسمح بإبقاء نسبة الانضغاط الفعالة للمحرك عند مستوى يمكن التحكم فيه، بينما يمكن زيادة نسبة التمدد من أجل استخراج المزيد من العمل المفيد.

أظهرت هذه الطريقة فوائد كبيرة فيما يتعلق بكفاءة الحمولة الكاملة، على الرغم من أنها تضع المزيد من المتطلبات على نظام التشحيم.

6-5- توظيف الصفح والاستفادة منه في عملية الاحتراق في المحرك [23]

6-5-1- محرك مازدا نوع سكاى أكتيف [23]

قامت شركة مازدا بإنفاق الكثير من المال والوقت على تطوير هذا النوع من محركات الاحتراق الداخلي مع العلم أن معظم الشركات الأخرى تتجه باتجاه المحركات الكهربائية وتحسين أدائها من أجل اعتمادها على سياراتها شكل رقم (6-26).



شكل رقم (6-26) محرك مازدا نوع سكاى أكتيف

انطلقت شركة مازدا من مبدأ أنه يمكن الاستفادة بشكل أكبر من محرك الاحتراق الداخلي وتحسين مردوده وبالفعل قد اثبتت ذلك خلال الخمس سنوات الأخيرة فتصدرت شركة مازدا قائمة الـ EPAS لأفضل السيارات اقتصادية في مصروف الوقود شكل رقم (6-27) كما تصدرت أيضاً أقل نسبة لانبعاثات غازات العادم لثنائي أوكسيد الكربون.

STATUS OF MAZDA'S FUEL ECONOMY

MY 2013-2016 Manufacturer Adjusted Fuel Economy and Adjusted Co₂ Emissions

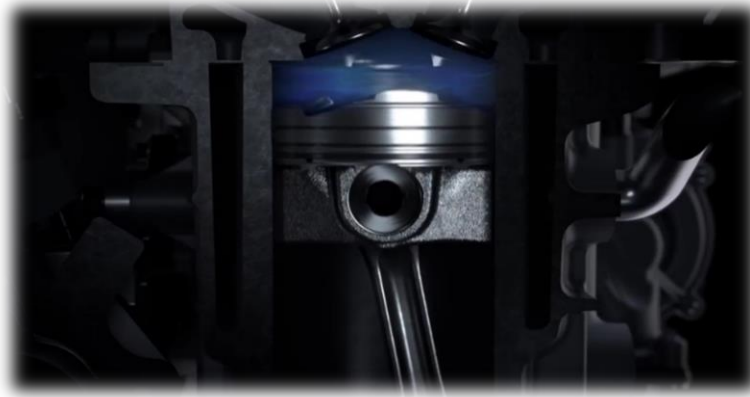
MANUFACTURER	2013		2014			CHANGE FROM MY 2013 (MPG)	2015	
	ADJ. FUEL ECONOMY (MPG)	CO ₂ (g/mi)	ADJ. FUEL ECONOMY (MPG)	CHANGE FROM MY 2013 (MPG)	CO ₂ (g/mi)		ADJ. FUEL ECONOMY (MPG)	CO ₂ (g/mi)
Mazda	28.1	316	29.4	1.3	302	-14	30.1	295
Subaru	26.7	322	27.6	0.9	321	-11	28.2	309
Hyundai	29.1	305	27.5	-1.6	323	18	27.4	325
Honda	27.4	324	27.3	-0.1	326	2	28.9	307
Nissan	26.6	332	27	0.4	329	-3	28.3	312
BMW	24.5	364	26.4	1.9	338	-26	26.6	335
Kia	27.4	324	25.9	-1.5	343	19	26.1	341
Toyota	25.3	352	25.6	0.4	347	-5	25.4	350
Mercedes Benz	22.3	401	23.2	0.9	385	-16	23.7	375
Ford	22.3	397	22.8	0.5	389	-8	23.5	378
GM	22.1	401	22.8	0.7	390	-11	21.9	406
Fiat-Chrysler	20.9	425	20.8	-0.1	428	3	21.8	409
ALL	24.3	366	24.3	0	366	0	24.7	360

Mazda has been ranked **No. 1 in corporate average fuel economy** in the EPA's Annual Fuel Economy Trend Reports **for the last five years** (Model years 2012-2016)

شكل (6-27) قائمة الـ EPA لأفضل السيارات اقتصادية وأقلها انبعاثاً لغازات العادم

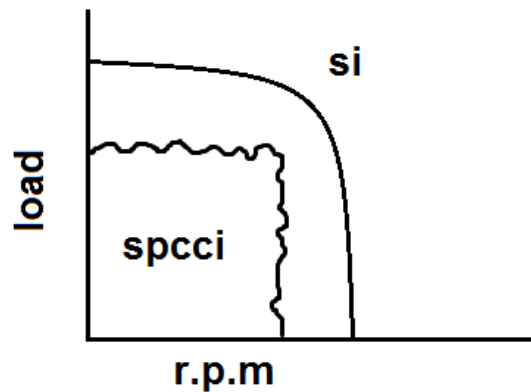
6-5-2- مبدأ عمل المحرك [23]

- يعتمد أساساً على الاستفادة من ظاهرة الصفح التي تحدث أثناء عملية الاحتراق غير الطبيعي للمحرك وتوجيهها لتصبح مفيدة ومثابة لعملية الاحتراق في محرك الديزل ولكن مع إبقاء استخدام شمعة الاحتراق.
- عند دخول مزيج الوقود والهواء وأثناء شوط الانضغاط يصل الضغط إلى أكبر قيمة بحيث لا يتعرض الخليط للاشتعال الذاتي ويكون الخليط فقير جداً بنسبة 1:37 الشكل (6-28) عند الوصول إلى هذه النقطة من الضغط ودرجة الحرارة تقوم شمعة الاشعال بإعطاء الشرارة فيبدأ الاحتراق على شكل كرة من اللهب تتوسع مما يزيد قيمة الضغط ضمن حجرة الاحتراق فنتشكل بؤر احتراق في الجزء الباقي من الشحنة غير المحترقة بواسطة الاحتراق الذاتي لها فتتحرق معا وبسرعة عالية جداً وتصبح عملية الاحتراق مثابة لعملية الاحتراق في محرك الديزل.



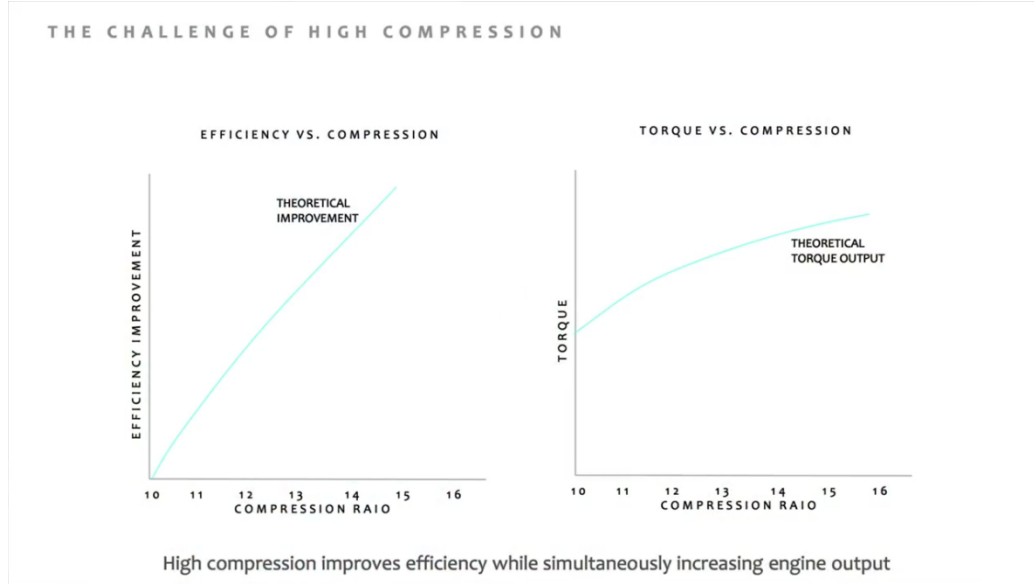
شكل رقم (6-28) الخليط الفقير داخل الأسطوانة أثناء شوط الانضغاط

- لا يمكن العمل دائماً في هذا الوضع من الاحتراق في المحرك، يوضح المنحني نقاط العمل في الوضع السابق خارج حدود المنطقة SPCCI يعمل المحرك مثل المحركات التقليدية، ولكن على نظام دورة اتكنسون من أجل الحصول على اقتصادية أفضل، كما في الشكل (6-29)



شكل (6-29) المنطقة التي يعمل بها نظام التحكم بالاحتراق الذاتي للمحرك

- نسبة الانضغاط في محرك مازدا 16:1 وهي نسبة انضغاط عالية جدا بالنسبة لمحرك يعمل على وقود البنزين يبين الشكل رقم (6-30) الآثار الإيجابية للمحرك عند رفع نسبة الانضغاط (ازدياد كفاءة المحرك مع زيادة نسبة الانضغاط)، ازدياد عزم الخرج من المحرك مع زيادة نسبة الانضغاط.

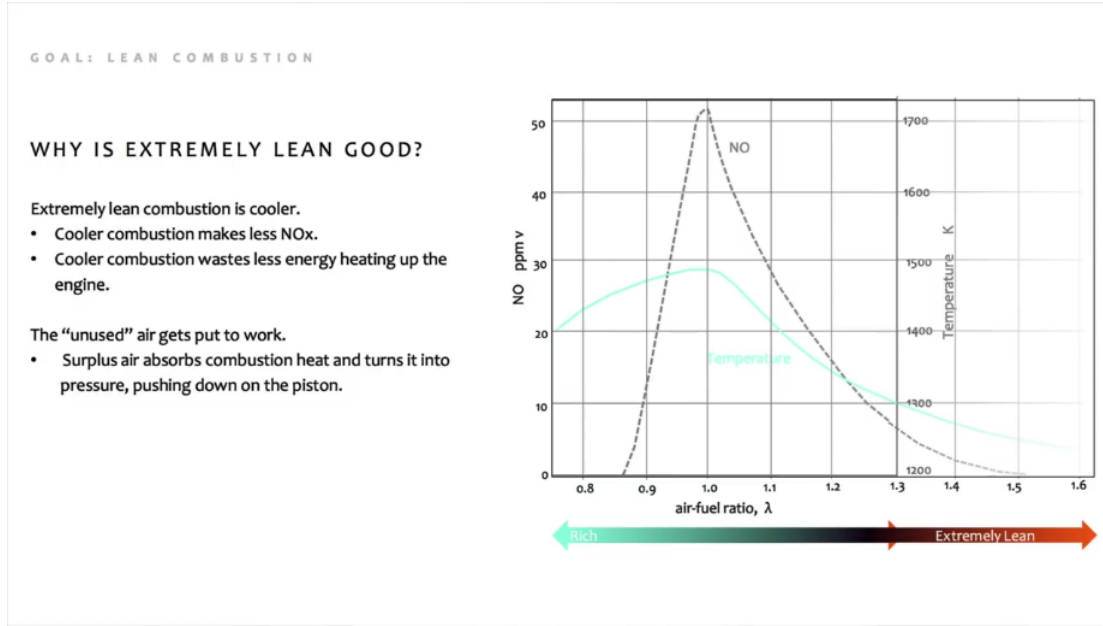


شكل (6-30) (ازدياد كفاءة المحرك مع زيادة نسبة الانضغاط)

تعد هذه النسبة هي الأعلى بين نسب الانضغاط في محركات السيارات.

- يعمل هذا المحرك على وقود ذي رقم أوكتاني 80 على الرغم من نسبة الانضغاط العالية له وذلك لأنه يعتمد على حدوث الصفح أثناء عملية الاحتراق بحيث يتم التحكم بهذه الظاهرة لذلك يعد الوقود ذو الرقم الاوكتاني المنخفض مرغوباً به للعمل مع هذا المحرك.

- من جهة أخرى تكون الشحنة فقيرة بالوقود والهدف من ذلك انه عند احتراق الشحنة الفقيرة بالوقود تنخفض درجة حرارة الاحتراق العظمى وبالتالي تنخفض انبعاثات NOX وتنخفض الطاقة الحرارية الضائعة وبالتالي مردود أعلى وأفضل للمحرك شكل (6-31)

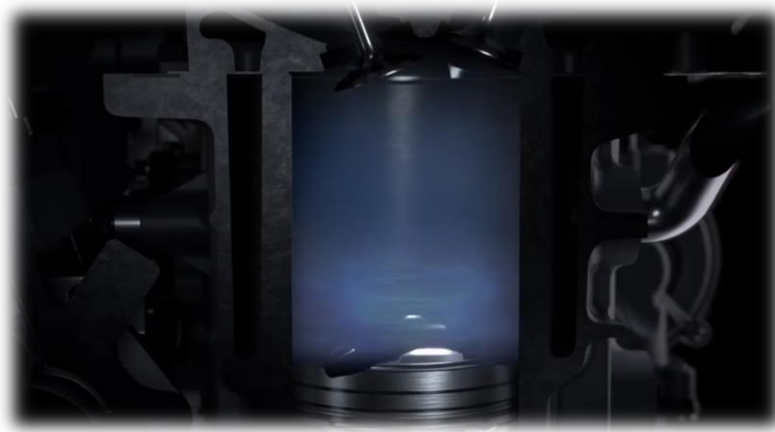


الشكل (31-6) انخفاض انبعاثات NOX وانخفاض الطاقة الحرارية الضائعة

6-5-3- مبدأ عمل المحرك على شحنة فقيرة جداً بالوقود [23]

عندما تكون الشحنة فقيرة بالوقود تكون سرعة الاحتراق بطيئة ومن الممكن ألا تكون كاملة، للتغلب على هذه المشكلة قامت شركة مازدا بالخطوات التالية:

1- عند دخول الهواء من صمام السحب يكتسب حركة دورانية شكل (6-32) ويتم حقن جزء من الوقود بحيث تصبح نسبة 1:37 عند بداية توجه المكبس للأعلى يتم حقن جزء آخر من الوقود أثناء صعود المكبس للأعلى بجانب شمعة الاحتراق بحيث تكون نسبة 1:29 أي أنها أعلى بالوقود من المناطق الأخرى من أسطوانة المحرك بحيث تساعد على التحكم بالإشعال وتشكيل عملية احتراق مشابهة لعملية الاحتراق في محركات الديزل.



شكل (6-32) صمام السحب يكسب حركة دورانية

2- استخدام شحن إضافي يدعى الشاحن الفقير وسبب التسمية لأنه لا يستخدم من أجل تحسين الأداء وزيادة الاستطاعة والهدف الرئيسي منه هو التحكم بكمية الهواء الداخلة إلى المحرك وذلك من أجل تشكيل الخليط الفقير جداً 1:37.

الفائدة من هذه الشحنة الفقيرة جدا هو :

تقليل الطاقة الحرارية الضائعة بشكل كبير وذلك نتيجة انخفاض درجة حرارة الاحتراق وتقليل انبعاث أكاسيد الأزوت NOX.

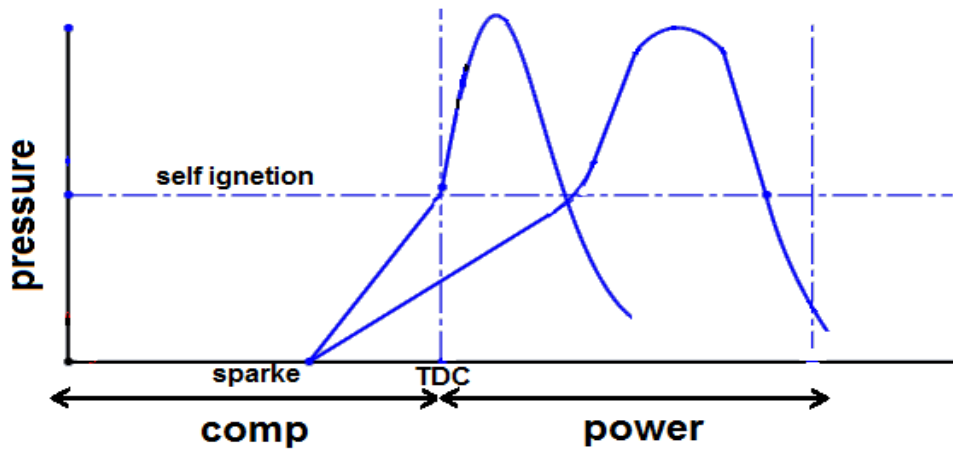
وجود هواء إضافي يؤدي إلى ارتفاع حرارته أثناء عملية الاحتراق وتحوله إلى ضغط يساعد المكبس بالتحرك نحو الأسفل مما يضاعف التأثير الإيجابي على زيادة ضغط الاحتراق. وبالتالي ازدياد مردود المحرك وكفاءته بشكل كبير دون الحاجة إلى كمية وقود إضافية

محرك بنزين عادي	يحتاج زمن طويل لعملية الاحتراق
محرك ديزل	عملية الاحتراق تكون بشكل حالي وفوري
محرك SPCCI	مشابه للديزل، كفاءة ومردود أفضل لعملية الاحتراق

6-5-4- التحكم بتوقيت الإشعال في هذا المحرك [23]

يوجد حساس ضغط بجانب شمعة الإشعال يتحسس الذروة الأعظمية لضغط الاحتراق، تقوم وحدة التحكم بمقارنة الذروة وابتعادها عن النقطة الميتة العليا بحيث ان هذه الذروة يجب أن تكون أقرب ما يمكن إلى النقطة الميتة العليا (تختلف سرعة الاحتراق تبعاً للظروف الخارجية المحيطة بالمحرك من رطوبة ودرجة حرارة الهواء الجوي والضغط)، في حال كانت الذروة بعيدة عن النقطة الميتة العليا يتم زيادة زاوية تسبيق الإشعال بدرجة أكبر بحيث تصبح أقرب ما يمكن للنقطة الميتة العليا.

يبين شكل (6-33) التحكم بذروة الضغط الأعظمي للاحتراق عن طريق تسبيق وتأخير الإشعال بواسطة حساس الضغط ووحدة التحكم الإلكترونية.



شكل (6-33) التحكم بذروة الضغط الأعظمي للاحتراق عن طريق تسبيق وتأخير الإشعال بواسطة حساس الضغط ووحدة التحكم الإلكترونية.

6-6- الوقود ومركباته ومتطلباته [25]

يمكن أن يؤثر تكوين الوقود وخصائص الوقود على أداء محرك SI وانبعاثاته وفي معظم البلدان تضمن مواصفات الوقود أن هذه الخصائص ضمن النطاق المقبول.

عامةً، يجب أن يبدأ المحرك بالعمل بشكل موثوق به عند التشغيل على البارد، وأن يصل لدرجة حرارة التشغيل بسرعة، وأن يعمل بسلاسة وكفاءة قدر الإمكان، ويوفر طاقة كافية ويولد انبعاثات منخفضة. يجب أن يؤمن الوقود عمل المحرك على فترات طويلة من الاستخدام ويجب ألا يكون له آثار جانبية قد تضر بالمحرك.

على سبيل المثال، يجب ألا يؤدي إلى التآكل المفرط أو تلويث أو تآكل نظام الوقود أو الإضرار بأنظمة المعالجة اللاحقة أو التسبب في تكوين رواسب ضارة.

يتم تصنيع البنزين لمحركات SI عن طريق مزج مكونات من عمليات تكرير النفط مثل الإيثانول، والتي تكون مطلوبة للاستخدام بموجب اللوائح ويمكن أن يتم إنتاجها من مصادر حيوية.

يمكن إضافة الكحوليات الأعلى (مثل البروبانول والبيوتانول، التي من الناحية المثالية مشتقة ببيولوجياً) لأنها تعمل كمذيبات مشتركة مع الماء لمنع فصل طور الوقود عند وجود الرطوبة. يمكن أيضاً إضافة الميثانول -في بعض الأحيان إذا كانت التكلفة أقل.

يحتوي الوقود أيضاً على الأرجح على إضافات البنزين والتي عادة ما تكون بتركيزات أقل بكثير من 1% من حيث الحجم.

يحتوي البنزين على أكثر من 100 مكون يمكن تحديده والمكونات الرئيسية للبنزين النموذجي موضحة في الجدول (1-6).

الجدول (1-6) التركيب الحجمي النموذجي للبنزين (%، مع تحديد بعض المكونات الفردية.

n-alkanes (C_nH_{2n+2})	9	n-Butane	4.3
		n-Pentane	1.9
		n-Hexane	1.5
		other n-alkanes	1.3
iso-alkanes (C_nH_{2n+2})	43	2-Methylpentane	14.3
		Isopentane	5.8
		3-Methylpentane	4.1
		Isooctane	3.5
		2-Methylhexane + 2,3-Dimethylpentane	3.5
		2,3-Dimethylbutane	3.3
		other iso-alkanes	8.5
aromatics	34	Xylene ($C_6H_5.2CH_3$)	10.2
		Toluene ($C_6H_5.CH_3$)	8.0
		1,2,4-Trimethylbenzene ($C_6H_5.3CH_3$)	2.6
		Ethylbenzene ($C_6H_5.C_2H_5$)	2.2
		m-Ethyltoluene ($C_6H_5.CH_3.C_2H_5$)	1.7
		other aromatics	9.3
alkenes (C_nH_{2n})	11	2-Methylbut-2-ene	1.9
		Pent-2-ene	1.5
		other alkenes	7.6
cyclo-alkanes (C_nH_{2n})	3		

الجدول (1-6) التركيب الحجمي النموذجي للبنزين (%)

6-6-1- تأثير الوقود على الصفع والاشتعال المسبق والصفع الأعظمي

6-6-1-1- جودة مقاومة الوقود للصفع [25]

تعد جودة الوقود المضادة للصفع، على النحو المحدد من قبل RON (Research Octane Number) و MON (Motor Octane Number)، ذات أهمية كبيرة (نظرًا لأن الوقود منخفض الأوكتان يحد من الكفاءة الحرارية لمحركات الاحتراق الداخلي). مع سعي مصممي المحركات إلى تحقيق كفاءة أعلى، ستزداد مطالبهم للحصول على جودة أعلى للوقود المضاد للصفع.

يعرف RON (Research Octane Number) بأنه:

النوع الأكثر شيوعًا لتصنيف الأوكتان في جميع أنحاء العالم هو رقم الأوكتان البحثي (RON). يتم تحديد RON عن طريق تشغيل محرك اختبار بالوقود مع نسبة ضغط متغيرة تحت ظروف يمكن التحكم بها، ومقارنة النتائج مع تلك الخاصة بمزيج الأيزو أوكتان و n-هيبتان. يتم تغيير نسبة الانضغاط أثناء الاختبار لتحدي ميل الوقود لمنع حدوث الصفع، حيث زيادة نسبة الانضغاط ستزيد من الصفع.

ويعرف MON (Motor Octane Number) بأنه:

نوع آخر من تصنيف الأوكتان، يدعى رقم أوكتان المحرك (MON)، يتم تحديده عند 900 دورة في الدقيقة بسرعة المحرك بدلاً من 600 دورة في الدقيقة. — RON يستخدم اختبار MON محرك اختبار مشابهًا لذلك المستخدم في اختبار RON، ولكن مع خليط وقود مُسخن مسبقًا، وسرعة أعلى للمحرك، وتوقيت اشتعال متغير لزيادة الضغط على حدوث الصفع للوقود.

اعتمادًا على تكوين الوقود، سيكون رقم MON أقل بحوالي 8 إلى 12 من رقم أوكتان RON، لكن لا يوجد رابط مباشر بين RON و MON.

عادة يوضع مواصفات البنزين على المضخة في محطات التعبئة لكل من RON كحد أدنى و MON كحد أدنى.

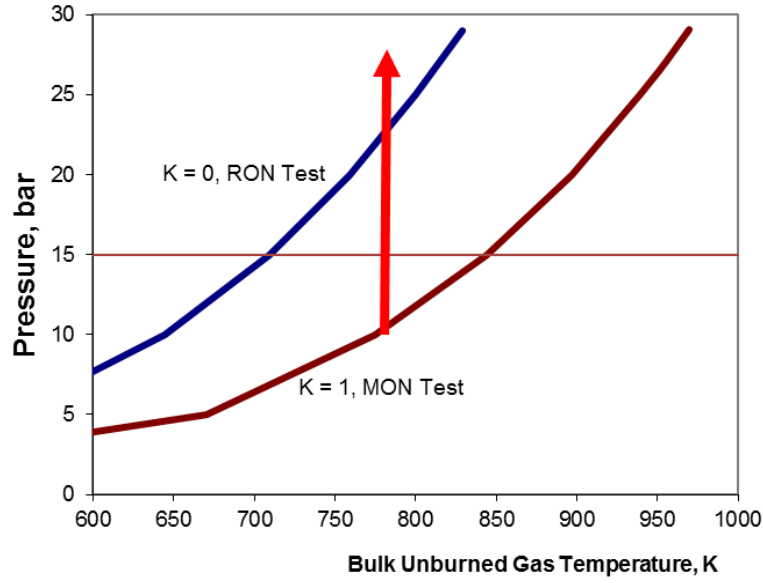
Anti-Knock Index (AKI) ويعرف على أنه $(Ron+Mon) / 2$:

في معظم البلدان في أوروبا (أيضًا في أستراليا وباكستان ونيوزيلندا)، يكون تصنيف الأوكتان "الرئيسي" المعروف على المضخة هو RON، ولكن في كندا والولايات المتحدة والبرازيل وبعض البلدان الأخرى، يكون الرقم الرئيسي متوسط RON و MON، ويسمى مؤشر

Anti-Knock (AKI)، وغالبًا ما يتم كتابته على المضخات كـ $(R + M) / 2$.

يبين الشكل (6-34) الفرق بين RON و MON.

من المهم أيضًا فهم الأهمية النسبية لـ RON و MON وكيف أن المحركات الحديثة لها ظروف تشغيل مختلفة جدًا عن تلك الخاصة باختباري RON و MON، بحيث يتم تعيين مواصفات الوقود بشكل مناسب.



الشكل (34-6) الضغط مقابل درجة حرارة الغاز غير المحترق في اختبارات RON و MON.

تطورت محركات SI على طول اتجاه السهم مع زيادة الكفاءة وكثافة الطاقة خلال القرن الماضي. يوضح الشكل (34-6) تغير الضغط (P) مع درجة حرارة الغاز غير المحترق (T) في ظروف اختبار RON و MON.

يتم تحديد مسار P / T الموضح في الشكل (34-6) الذي يتبعه الغاز النهائي أثناء عمل المحرك من خلال تصميم المحرك وظروف التشغيل. بحيث يتطابق الوقود مع PRF (primary reference fuel) لرقم أوكتان معين يتم تحديده.

6-6-1-2- الصفع والاشتعال المسبق [25]

الاشتعال المسبق والصفع أحد مجالات الاهتمام الرئيسية في الخمسينيات من القرن الماضي وازداد الاهتمام به من جديد مع الاتجاه المتزايد لتقليص الحجم والشحن التوربيني.

في مرحلة الاشتعال المسبق يرتفع الضغط ودرجة حرارة الغاز النهائي بسرعة أكبر مقارنةً بتوقيت الشرارة العادي بسبب بداية مبكرة للاحتراق، يمكن أن يؤدي هذا إلى صفع شديد للغاية، توصف باسم "superknock" أو "megaknock"، قد تصل شدة صفع 10 ميجا باسكال أو أكثر إذا حدث الاشتعال الذاتي في الغاز النهائي عند ضغط ودرجة حرارة مرتفعين.

يجب إكمال ثلاثة روابط في سلسلة الاحتمالات من أجل الحصول على الصفع الشديد للغاية.

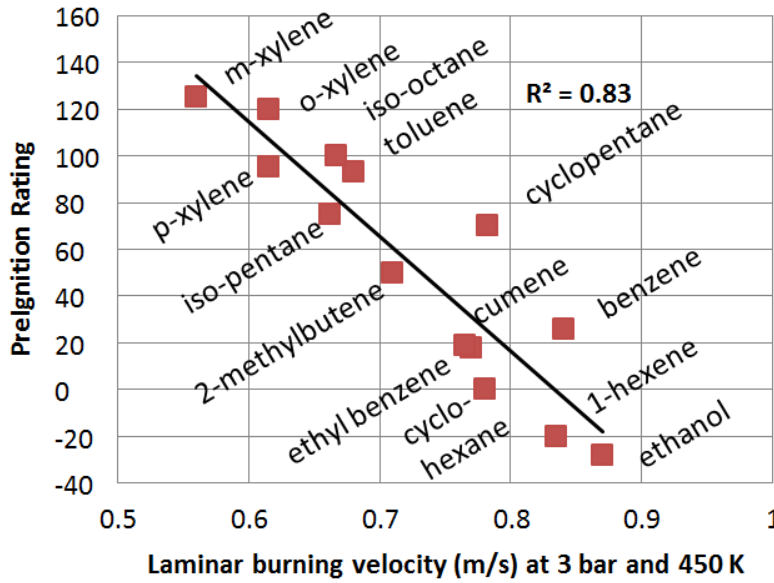
1. يبدأ اللهب المضطرب أثناء شوط الانضغاط ليساعد على الاشتعال المسبق، ولكن لا يمكن أن يحدث هذا البدء عن طريق الاشتعال الذاتي لخليط الوقود والهواء لأن درجات الحرارة والضغط منخفضة للغاية.
- أي إن احتمال الاشتعال المسبق لا يعتمد على RON و MON. أولاً، بل يعتمد على "بقعة ساخنة" محلية.
- يمكن أن تكون النقطة الساخنة من الأسطح الساخنة، على سبيل المثال طرف شمعة الإشعال أو صمام العادم.

في محركات DISI الحديثة، الاشتعال الأولي يبدأ أساساً عن طريق احتراق قطرات الزيت والوقود، وتتم تفاعلات الاشتعال الذاتي بمساعدة بعض التفاعلات التحفيزية التي تسببها إضافات زيوت المحرك المعدنية (خاصة الكالسيوم) حيث تؤدي إلى احتراق هذه القطيرات أثناء تبخرها واختلاطها بالأكسجين. تعتمد هذه العملية العشوائية على تصميم المحرك (تصميم المكابس وحلقات الاحتكام)، وظروف التشغيل، وخصائص مواد التزييت والوقود.

2. إن تشكيل بقعة ساخنة لا يضمن إنشاء شعلة ذاتية الدعم.

بسبب النقاط الساخنة ينمو اللهب الرقائقي إلى الحجم الحرج من أجل أن يصبح ذاتي الدعم. تم إجراء الاختبارات باستخدام بقعة ساخنة صناعية عيّنتها قيمة تصنيف ما قبل الاشتعال من 100 للأيزو أوكتان وصفر للهكسان الحلقي، ومن التجارب تبين أنه لم يكن هناك أي ارتباط مع RON أو MON. أي إن عملية الاشتعال المسبق يمكن أن تحدث، بغض النظر إذا كان الوقود مقاوماً للصفح وبملاك مقاومة عالية للاشتعال الذاتي

يبين الشكل (6-35) العلاقة العكسية بين مقاومة الاشتعال المسبق وسرعة الاحتراق الرقائقي.



الشكل (6-35) العلاقة العكسية بين تصنيف الاشتعال المسبق وسرعة الاحتراق الرقائقي

تفسر نبضات الضغط المرتفعة جداً المرتبطة بالصفح بأنها ناتجة من خلال تطور عمليات الصفح المتتالية. يعتمد احتمال حدوث الصفح على حجم البقعة الساخنة في الغاز النهائي، وتدرج درجة الحرارة وأيضاً على مقاومة الاشتعال الذاتي للوقود. تقل احتمالية حدوث الصفح مع زيادة مقاومة الاشتعال الذاتي للوقود.

6-6-2- الآثار المترتبة على الوقود [25]

سنحصل على كفاءات أعلى في محركات SI من خلال وقود RON و MON عالي. ستساعد هذه الأنواع من الوقود أيضاً في التخفيف من الصفح والاشتعال المسبق وستقلل من الأضرار على المحرك حتى في حال حدوثها.

مواصفات الوقود التي تفترض أن يكون ال MON مرتفع للحصول على جودة عالية لمقاومة حدوث الصفع ليس من الضروري أن تتوافق مع متطلبات محركات SI الحديثة والمستقبلية. يتزايد الطلب على مكونات الوقود ذات الجودة العالية المضادة للصفع مثل الإيثانول والميثانول والبيوتانول و MTBE و diisobutylene.

6-6-3- عناصر بديلة وإضافات لمقاومة الصفع والاشتعال المسبق [25]

تبين دراسات أنه بالنسبة للحقن المباشر للإيثانول، فإن التأثير الأكبر لقمع الصفع ليس مقاومة الاشتعال الذاتية للإيثانول، بل هي حرارة التبخر الكامنة العالية وهو مطابق بالنسبة للكحوليات الأخرى. تم سرد خصائص مختلف الهيدروكربونات / الوقود البديل في الجدول (6-3).

على الرغم من أن بعض هذه المركبات تحتوي على أرقام أوكتان أعلى من البنزين، إلا أن بعضها له تأثير أكبر بكثير على مقاومة الصفع بسبب تأثيرها على درجة حرارة شحنة الأسطوانة، بعض هذه المواد المضافة (الكحوليات) لها تأثير مماثل في درجة حرارة الشحن.

تتمتع الكحوليات بخصائص مثالية للاستخدام مع الحقن المباشر، حيث تمتاز بالتبريد التبخري بالنسبة لدرجة الحرارة والتي تكون أكبر بمقدار ثلاث مرات من تغير درجة الحرارة مقارنةً مع الحقن المباشر للبنزين. بالنسبة للإيثانول، فإن التغير في درجة الحرارة هو أكبر بمقدار أربع مرات من البنزين، وبالنسبة للميثانول يكون التغير أكبر بحوالي تسع مرات.

يوضح الجدول (6-2) أيضاً نسبة حرارة التبخر إلى حرارة الاحتراق، وهي دلالة لدرجة تأثيرها المحتملة عند استخدامها كعوامل مضادة للاحتراق غير المنتظم.

يدل المؤشر الأخير، ΔT_{air} ، إلى انخفاض درجة حرارة الهواء لخليط متكافئ بنسبة 100% تم اجراء تجارب لحساب جزء طاقة الميثانول المطلوب لتجنب الصفع، وقد تم تحديد أنه يقارب نصف كمية الإيثانول.

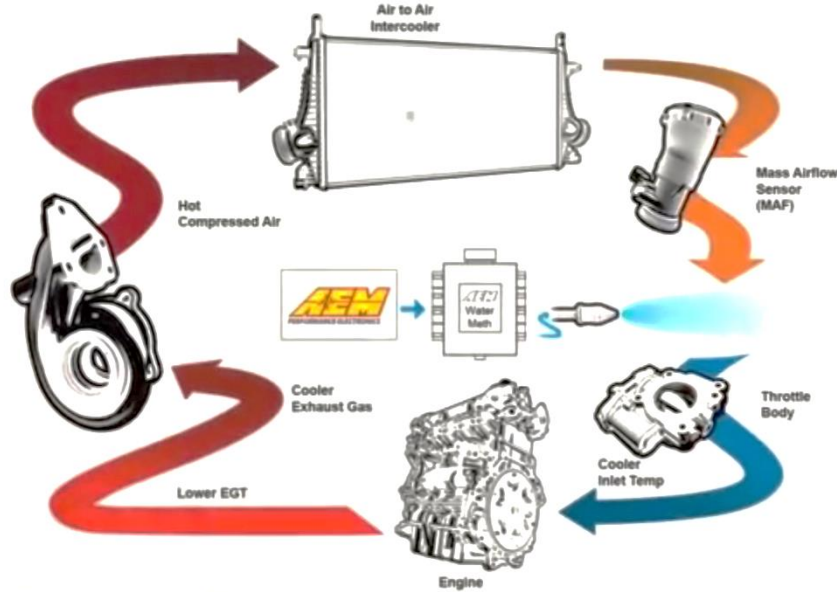
على الرغم من تعظيم تأثيره بشكل واضح عن طريق استخدام الميثانول، إلا أن هناك اعتبارات أخرى (بما في ذلك السمية) يعطي أفضلية لصالح الإيثانول.

Fuel type	RON	MON	(R+M)/2	Net heat of Combustion MJ/kg	Latent heat of vaporization MJ/kg	Vaporization energy/ heat of combustion	Stoic air/fuel ratio	Equiv. Latent heat of vaporization MJ/kg air	ΔT air K
Gasoline				42.8	0.30	0.007	14.6	0.020	-28
Ethyl t-Butyl Ether	118	102	110	36.3	0.31	0.009	12.1	0.026	-35
t-Amyl Methyl Ether	111	98	105	36.3	0.32	0.009	12.1	0.027	-36
Toluene	111	95	103	40.5	0.36	0.009	13.5	0.027	-37
Methyl t-Butyl Ether	116	103	110	35.2	0.32	0.009	11.7	0.028	-37
Diisopropyl Ether	110	97	103	38.2	0.34	0.009	12.1	0.028	-39
t-Butyl Alcohol	103	91	97	32.9	0.60	0.018	11.1	0.054	-74
Isopropanol	118	98	108	30.4	0.74	0.024	10.4	0.071	-97
Methanol with cosolvent	114	96	105	26.5	0.88	0.033	8.8	0.100	-137
Ethanol	129	102	115	26.7	0.91	0.034	9	0.102	-138
Methanol	133	105	119	20.0	1.16	0.058	6.4	0.181	-246

الجدول (2-6) خصائص المقاومة للصفح لأنواع مختلفة من الوقود [25]

6-7- نظام حقن الماء + الميثانول في المحرك [26]

يستخدم حقن الماء مع الميثانول في المحركات لزيادة قدرتها وأدائها ويستخدم في محركات الشحن التوربيني ويوضح الشكل (6-36) دارة نظام حقن خليط الماء والميثانول على المحرك.



شكل (6-36) دارة تركيب الشحن التوربيني مع نظام حقن خليط الماء والميثانول على المحرك

6-7-1- أجزاء نظام الحقن [26]

يتألف من:

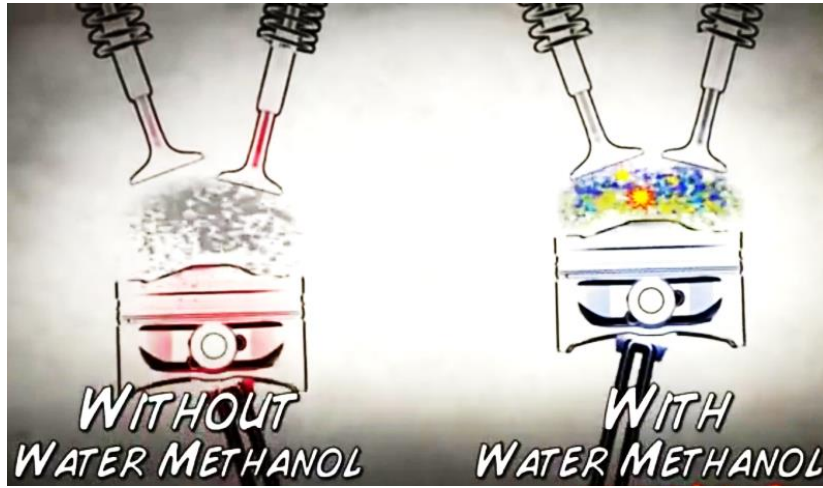
خزان يحتوي الميثانول مع الماء بنسب مختلفة مختارة مسبقاً، مضخة، حاقن، ووحدة تحكم إلكترونية، يركب الحاقن بعد مبرد الهواء لكيلا يتكاثف بخار الماء على جدران مبرد الهواء أثناء مروره عبر مبرد الهواء وبالتالي يتحول إلى ماء.

6-7-2- مبدأ عمل النظام [26]

يدخل الهواء من مصفاة الهواء إلى الشاحن التوربيني ثم إلى مبرد الهواء ثم إلى جسم صمام الخانق (الدعسة) ثم إلى أسطوانة المحرك عبر صمام الدخول بعد عملية الاحتراق تخرج الغازات من مجموعة العادم عبر التوربين ثم إلى العادم ثم إلى الوسط الخارجي. في حال استخدام نظام حقن الماء مع الميثانول تتم إضافته على مجموعة السحب كما هو موضح في الشكل (6-36) يتم حقن الخليط في مجرى الهواء بعد مبرد هواء الشحن وقبل مجمع السحب (دعسة الوقود).

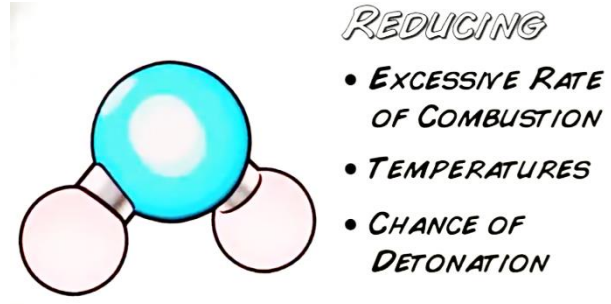
6-7-3- آلية تأثير خليط الميثانول مع الماء [26]

الهدف الرئيسي للنظام هو تبخر الخليط حيث يتم حقن خليط الميثانول والماء وعند حقن الخليط تتحول قطرات الماء إلى بخار وهي تحتاج كمية كبيرة من الطاقة فتقوم بامتصاص كمية كبيرة من حرارة هواء الشحن ثم يتجه الخليط إلى أسطوانة ويحقن كمية كبيرة من الوقود إما بالمجمع أو داخل الأسطوانة شكل (6-37).



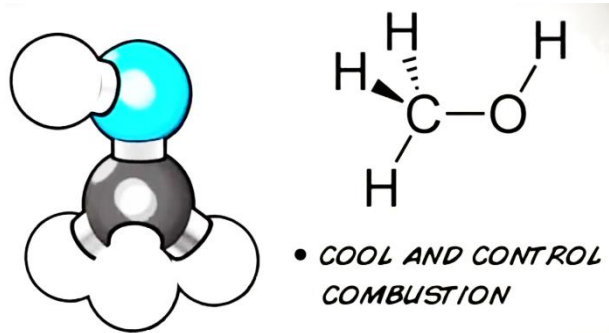
شكل (6-37) محرك مزود بنظام حقن ماء مع ميثانول وآخر بدون النظام

حيث أصبح الخليط ذي درجة حرارة هواء منخفضة أي أنه أكثر كثافة وبالتالي يحتوي كمية أكبر من الاوكسجين وبالتالي يمكن حرق كمية أكبر من الوقود والحصول على المزيد من الاستطاعة. الميزة الإضافية لتخفيض درجة حرارة هواء الخليط أنها تزيد من مقاومته لحدوث الصفح ضمن المحرك ويمتاز الميثانول بأنه قابل للاحتراق ويزيد من الرقم الاوكتاني للوقود أي يعزز أيضا مقاومة الخليط للصفح. بالنتيجة عند زيادة الرقم الأوكتاني للوقود يمكننا ذلك من إعطاء زاوية تسبيق إضافية لإشعال وحقن كمية أكبر من الوقود ورفع نسبة الانضغاط بالمحرك وبالتالي رفع استطاعة المحرك وكفاءته ومردوده. يستخدم الماء في هذا النظام شكل (6-38) لأنه يتطلب طاقة كبيرة لتحويله من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية حيث يحقن بضغط 1-9 بار من خلال حاقن يمتلك فتحات صغيرة جدا تساعد على تحويله إلى الحالة الغازية وتبخره.



شكل (38-6) جزيئات الماء الكيميائية

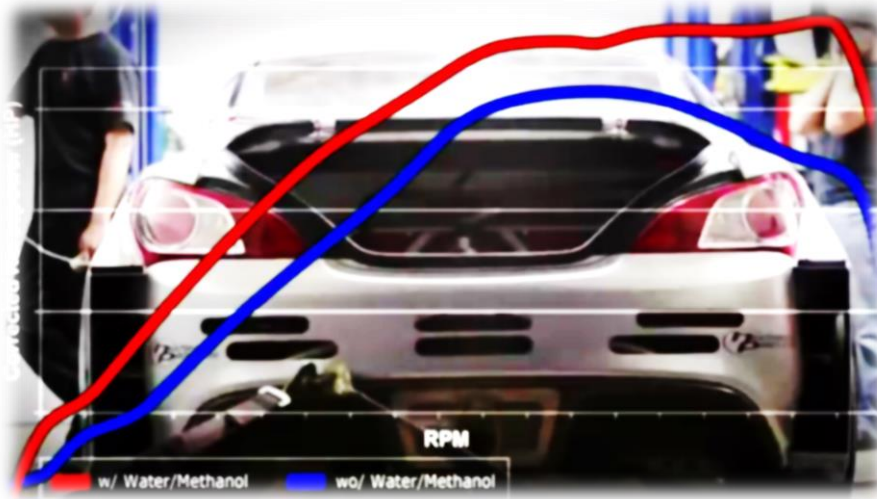
يستخدم الميثانول في هذا النظام لأنه قابل للاحتراق وقابل للذوبان مع الماء شكل (39-6) ففي حال استخدام الماء فقط وهو غير قابل للاشتعال ويأخذ من حجم الخليط ويقلل من طاقة الاحتراق داخله.



شكل (39-6) جزيئات الميثانول الكيميائية

6-3-4- النتائج

إن خليط الماء مع الميثانول يزيد من استطاعة المحرك بطريقة إضافية فعند تحول الماء إلى بخار داخل حجرة الاحتراق فإن هذا البخار يتمدد وبالتالي يزيد من الضغط الناتج من عملية الاحتراق فيزيد عزم واستطاعة المحرك بالإضافة إلى أنه يقوم بعملية تنظيف لأجزاء المحرك مثل المكابس وصمام العادم. وبالتالي هنالك العديد من الفوائد لاستخدام خليط الماء مع الميثانول حيث يعتبر نظام تبريد للخليط ذي كفاءة عالية جدا ومحسن لخواص الوقود وهو بسيط وغير معقد ويمكن استثماره بسهولة حيث يخفض درجة حرارة الهواء الداخلة ويقلل من احتمال حدوث الصفح.



الشكل (40-6) مقارنة الاستطاعة لمحرك مزود بنظام حقن ميثانول مع ماء باللون الأحمر وآخر بدون النظام باللون الأزرق.

6-8- نظام BMW لحقن الماء للحصول على استطاعة إضافية 51 حصان [27]

يستخدم هذا النظام في سيارة M4 BMW وهي تعتبر من الموديلات القليلة جدا التي تستخدم نظام حقن الماء. يبين الشكل (41-6) مخطط هذا النظام وهو يركب على محرك سعة 3 ليتر 6 أسطوانات على نسق واحد ومزود بشاحن توربيني.

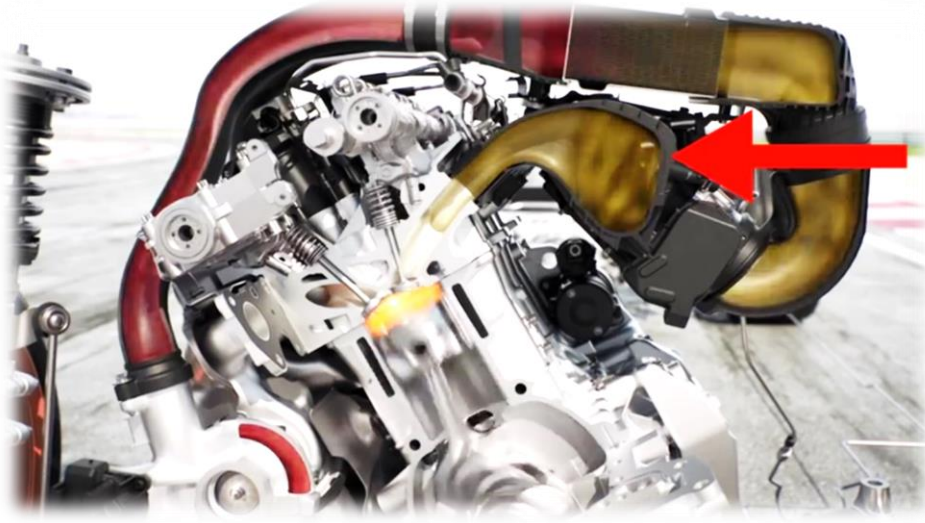


الشكل (41-6) مخطط نظام حقن الماء

6-8-1- أجزاء النظام [27]

شاحن توربيني، يدخل الهواء من فلتر الهواء ثم إلى الشاحن (التوربيني) يقوم الشاحن بضغط الهواء فترتفع درجة حرارته قليلا يتجه الهواء إلى المبرد الذي يعتمد نظام تبريد (هواء ماء) تتم عملية تبريد الهواء بواسطة الماء ثم يبرد الماء بواسطة مبرد خارجي تنخفض درجة حرارة الهواء بعد مروره بالمبرد ثم تدخل إلى المحرك عبر مجمع السحب الشكل (42-6).

كلما كانت درجة حرارة الهواء الداخلة إلى المحرك أقل كلما خفض ذلك من احتمال حدوث الصفع وزاد من استطاعة المحرك وكثافة الشحنة داخله.



شكل (6-42) مراحل جريان هواء الشحن من الشاحن إلى المحرك

يعتبر نظام تبريد الهواء بواسطة مبرد هواء ماء فعال للغاية حيث يستطيع تخفيض درجة حرارة الهواء من 160 °C قبل دخوله إلى المبرد ل 70 °C بعد خروجه من المبرد.

6-8-2- مبدأ عمل النظام [27]

عند العمل على سرعات دوران عالية بالتالي عدد أكبر لأشواط القدرة خلال نفس واحدة الزمن مما يزيد من ارتفاع درجة الحرارة بالمحرك وعند زيادة الأحمال على المحرك والعمل على أقصى استطاعة للمحرك وأعلى نسبة تشحيم مقدمة من الشواحن التوربينية يزداد احتمال حدوث الصفع في المحرك ولمنع هذه المشاكل من الحدوث قامت شركة بي أم دبليو بوضع نظام حقن الماء.

عند عمل المحرك على سرعات دوران أكبر من 5000 دورة في الدقيقة ونسبة تشحيم عالية يبدأ نظام حقن الماء بالعمل.

تبدأ المضخة المركبة على الخزان الذي يتسع لـ 5 ليترات ماء ويركب في مؤخرة السيارة بعيد عن المحرك تبدأ بضخ الماء بثلاث حواقن تتركب على مجمع السحب كما في الشكل (6-43).



الشكل (6-43) تموضع حواقي الماء على مجمع السحب

يبلغ ضغط المضخة تقريبا 45 PSI، يساعد الماء المحقون بمجمع السحب بتخفيض درجة حرارة الهواء بمقدار 25°C أي عند خروجها بدرجة 70°C من المبرد باتجاه مجمع السحب بعد حقن الماء تنخفض لتصبح 45°C قبل دخولها إلى المحرك يستخدم الماء بسبب ميزة التبخر التي يتمتع بها عند تحوله من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية ويمتص الطاقة الحرارية مما يسبب انخفاض درجة حرارة الهواء وبالتالي ينخفض احتمال حدوث الصفع في المحرك.

6-8-3- الميزات من استخدام هذا النظام [27]

1- تقليل احتمال حدوث الصفع في المحرك وبالتالي إمكانية زيادة نسبة التشحيم حيث تم رفع قيمة الشحن من 17.2 PSI إلى 21.6 PSI وزادت الاستطاعة من 444 HP إلى 500 HP فقط باستخدام النظام السابق.

2- زيادة كثافة الشحنة وبالتالي زيادة كمية الأوكسجين وإمكانية حقن كمية أكبر من الوقود مما يزيد من استطاعة المحرك.

3- من ميزات هذا النظام أيضا تخفيض الحمل الحراري على العديد من أجزاء المحرك.

مثل المكبس وصمام العادم والخزان المحفز لغازات العادم وعجلة التوربين وذلك نتيجة انخفاض درجة حرارة الاحتراق الأعظمية.

6-8-4- استثمار هذا النظام [27]

اعتمدت شركة بي ام دبليو خزان سعة 5 لتر من الماء بحيث تكفي هذه الكمية عند القيادة على سرعات وأحمال كبيرة مقدار يتناسب مع سعة خزان الوقود أي عند إعادة ملء خزان السيارة بالوقود يجب أن يتم إعادة ملئ خزان الماء (في حالات التشغيل الخاصة).

يستخدم هذا النظام فقط عن سرعات دوران 5000 دورة في الدقيقة وعند أحمال عالية أي عند القيادة بالظروف العادية لا يستخدم هذا النظام ولذلك وسطيا كل 6 مرات إعادة ملء خزان الوقود في السيارة يحتاج خزان الماء لإعادة ملء.

في حال كانت درجة الحرارة 0°C لا يعمل هذا النظام أبداً ويبدأ العمل عند درجة حرارة أعلى من 1°C . لمنع تجمد الماء داخل الأنابيب تقوم المضخة بعملية معاكسة وهي سحب الماء من الأنابيب وإعادة ضخه إلى الخزان.

في حال عدم وجود الماء ضمن الخزان يعمل المحرك اوتوماتيكيا على نسبة تشحيم PSI 17.1 وباستطاعة HP 444.

الفصل السابع

مؤشرات عمل المحرك
ومنحنيات الأداء له

*Engine operating
parameters and
performance
curves*

الفصل السابع: مؤشرات عمل المحرك ومنحنيات الأداء له

7-1-1 مقدمة

يهتم هذا الفصل في المقام الأول بالأداء والكفاءة وتم ضعه من أجل إعطاء لمحة عن طريقة الحصول على منحنيات الأداء للمحرك والعوامل المهمة التي تؤثر على أدائه ومن أجل إعطاء نهج وأسلوب لتحليل نتائج الإجراء التجريبي.

في الإجراء التجريبي سيتم رسم منحنيات العزم والاستطاعة والصفع واستهلاك الوقود وسيتم تحديد العوامل المؤثرة على منحنيات الصفع في المحرك.

هناك العديد من العوامل يجب أن تأخذ بعين الاعتبار عند تصميم المحرك أو عند اختيار المحرك من قبل المستخدم من هذه العناصر.

1- أداء المحرك في مجال تشغيله أو (حالات عمل المحرك).

2- استهلاك الوقود ضمن مجال تشغيله وتكلفة الوقود المستخدم له.

3- الضجيج الناتج عن المحرك وانبعاثاته ضمن مجال تشغيله (حالات العمل).

4- تكلفة إنتاج المحرك وصناعته.

5- كفاءة عمل المحرك وموثوقيته من حيث متطلبات الصيانة اللازمة ومدى تأثيرها على عمل المحرك وتكلفة تشغيله.

تتحكم هذه العوامل في إجمالي تكاليف تشغيل المحرك وعادةً ما يكون الاعتبار الأساسي للمستخدم وما إذا كان المحرك مطابقاً لشروط التشغيل والانبعاثات البيئية.

يتم تحديد أداء المحرك بدقة أكبر من خلال:

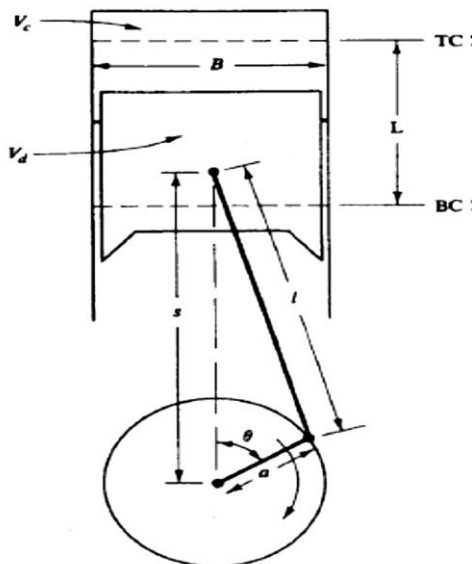
1. القوة القصوى (أو عزم الدوران الأقصى) عند أي سرعة يكون نطاق تشغيل المحرك المفيد

2. مدى السرعة والقوة اللذين يكون تشغيل المحرك فيه مناسباً لحالات عمله.

7-2-2 مؤشرات عمل المحرك والنقاط المميزة له

7-2-1- خصائص المحرك الهندسية للمحركات الترددية [3]

تحدد البارامترات التالية الأبعاد الهندسية الأساسية للمحرك الترددي (انظر الشكل 7-1):



الشكل (7-1) هندسة الأسطوانة، المكبس، ذراع التوصيل.

والعمود المرفقي حيث:

B = قطر الأسطوانة.

L = الشوط.

l = طول ذراع التوصيل.

a = نصف قطر العمود المرفقي.

θ = زاوية العمود المرفقي.

V_c = حجم غرفة الاحتراق.

V_d = الحجم المزاح على طول الشوط.

- نسبة الانضغاط

$$r_c = \frac{\text{maximum cylinder volume}}{\text{minimum cylinder volume}} = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

- نسبة قطر الأسطوانة إلى شوط المكبس

$$R_{bs} = \frac{B}{L}$$

- نسبة طول ذراع التوصيل إلى نصف قطر العمود المرفقي

$$R = \frac{l}{a}$$

- الشوط = 2 نصف قطر العمود المرفقي

$$L = 2a$$

- متوسط سرعة المكبس

$$\bar{S}_p = 2LN$$

حيث:

N: هي سرعة دوران العمود المرفقي.

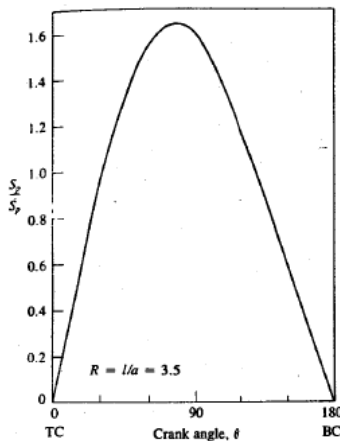
$\bar{S}_p$: متوسط سرعة المكبس هام من أجل تقييم أداء المحرك أكثر من سرعة العمود المرفقي فيما يخص عمليات التبادل الغازي.

على سبيل المثال، سرعات تدفق الغاز في المدخل ومخرج الأسطوانة تكون مقاسة مع S. يتم الحصول على سرعة المكبس اللحظية S من:

$$S_p = \frac{ds}{dt}$$

تكون سرعة المكبس صفرًا في بداية الشوط، وتصل إلى أقصى حد بالقرب من منتصف الشوط، وتتناقص إلى الصفر في نهاية الشوط.

يوضح الشكل (2-7) كيف يختلف S عبر الشوط لنسبة $R = 3.5$.

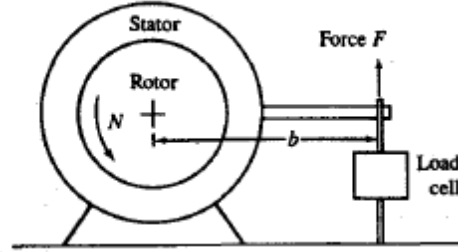


الشكل (2-7) سرعة المكبس اللحظية / متوسط سرعة المكبس
زاوية العمود المرفقي، كدالة لزاوية العمود المرفقي لـ $R = 3.5$.

7-2-2- العزم والاستطاعة الفرملية [3]

باستخدام الترميز في الشكل (7-3)، حيث عزم الدوران الذي يبذله المحرك هو T :

$$T = Fb$$



الشكل (7-3) رسم تخطيطي لمبدأ تشغيل الدينامومتر

P : القوة التي يوفرها المحرك ويمتصها الدينامومتر وهي ناتج عزم الدوران والسرعة الزاوية:

$$P = 2\pi NT$$

N : هي سرعة دوران العمود المرفقي. في وحدات النظام الدولي:

$$P(\text{kW}) = 2\pi N(\text{rev/s})T(\text{N} \cdot \text{m}) \times 10^{-3}$$

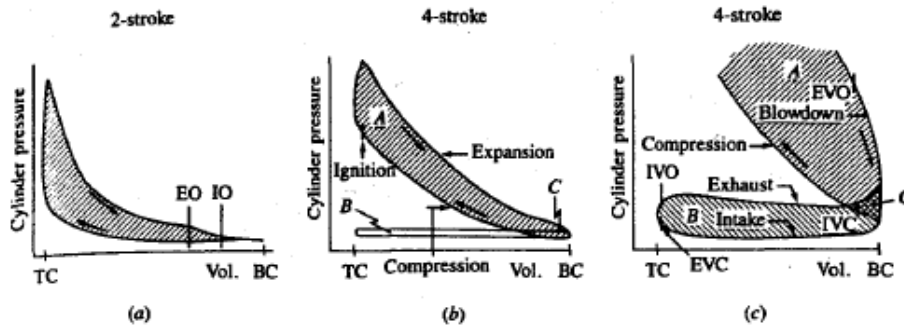
العزم: هو قدرة المحرك للقيام بالعمل.

الاستطاعة: مقدار كمية العمل المنفذة.

7-2-3- العمل الناتج من الدورة الحرارية [3]

يمكن استخدام بيانات الضغط والحجم للغاز في الأسطوانة على مدار دورة تشغيل المحرك لحساب العمل المنقول من الغاز إلى المكبس.

في الشكل (7-4) العمل الناتج من دورة (لكل أسطوانة) المرفقة في الرسم التخطيطي:



شكل (7-4) أمثلة على مخططات p-V

(a): محرك ثنائي الأشواط. (b): محرك دورة رباعي الأشواط.

(c): محرك إشعال شرارة ذو دورة رباعية الأشواط عند أشواط العادم والسحب (حلقة التبادل الغازي) عند التحميل الجزئي.

العمل هو المنطقة المهيشرة المرفقة في الرسم التخطيطي: يتم الحصول على $W_{c,i}$ (لكل أسطوانة) من خلال التكامل حول المنحنى للحصول على مساحة المنطقة المرفقة في الرسم التخطيطي:

$$W_{c,i} = \oint p \, dV$$

إجمالي العمل المشار إليه لكل دورة (Gross): العمل الذي يتم تسليمه إلى المكبس عبر شوط الضغط وشوط التمدد فقط.

صافي العمل المشار إليه لكل دورة (Net): العمل الذي يتم تسليمه إلى المكبس عبر أشواط المحرك كاملة لدورة رباعية الأشواط.

7-2-4- المردود الميكانيكي [3]

يتم استخدام جزء إضافي للتغلب على احتكاك المحامل والمكابس والمكونات الميكانيكية الأخرى للمحرك، ولتشغيل ملحقات المحرك. تجميع كل متطلبات الطاقة هذه معاً وتسمى قوة الاحتكاك P_f .

$$P_{ig} = P_b + P_f$$

تسمى نسبة الاستطاعة الفعلية (الفعلية) P_b التي يوفرها المحرك إلى الاستطاعة النظرية P_{ig} بالمردود الميكانيكي η_m :

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{ig}}$$

القيم النموذجية لمحرك السيارات الحديث على دعة وقود كاملة 90 % وعند سرعات أقل من 30 إلى 40 دورة / ثانية (1800 ~ 0 دورة / دقيقة)، وتنخفض إلى 75 % عند السرعة القصوى للمحرك.

7-2-5- متوسط الضغط الفعال [3]

يعرف متوسط الضغط البياني (bmep) بنسبة عمل الدورة الفعلية إلى حجم الأسطوانة الفعال، ويساوي بالقيمة ضغطاً افتراضياً ثابتاً يؤثر في سطح المكبس باستمرار خلال تغير حجم الشحنة من V_{min} إلى V_{max} بحيث يولد عمل الدورة نفسه.

يقاس متوسط الضغط البياني عملياً بوساطة جهاز، يركب على المحرك في فتحة خاصة تصله بجوف الأسطوانة، حيث يقيس الضغط في الأسطوانة باستمرار خلال الأشواط الأربعة للمكبس.

ويعمل هذا الجهاز على رسم المنحني البياني للدورة بمحاور $(P-\phi)$ ويبين هذا المنحني العلاقة بين الضغط داخل الأسطوانة وزاوية دوران العمود المرفقي (وضع المكبس).

يمكن الانتقال من الرسم البياني للدورة بمحاور $(P-\phi)$ إلى محاور $P-V$.

تقاس مساحة هذه الدورة بوساطة جهاز خاص ثم تقسم هذه المساحة على الحجم الفعال (V_d) وبذلك يتم حساب:

$$Bmep = \frac{P n_R}{V_d N}$$

n_R : هو عدد دورات الكرنك لكل شوط قدرة (اثان لمحركات رباعية الأشواط ؛ و واحدة لمحركات ثنائية الأشواط).

$$B_{mep}(kPa) = \frac{P(kW)n_R \times 10^3}{V_d(dm^3)N(rev/s)}$$

$$B_{mep}(lb/in^2) = \frac{P(hp)n_R \times 396,000}{V_d(in^3)N(rev/min)}$$

7-2-6- متوسط الاستهلاك النوعي للوقود وكفاءة المحرك الحرارية [3]:

في اختبارات المحرك، يتم قياس استهلاك الوقود كتدفق كتلة m_f (معدل التدفق خلال وحدة زمنية). البارامتر الأكثر فائدة هي استهلاك الوقود النوعي (bsfc) وهو معدل تدفق الوقود لكل واحدة استطاعة خرج من المحرك. وهو يقيس مدى كفاءة المحرك في استخدام الوقود المقدم لإنتاج العمل

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

$$bsfc(g/kW \cdot h) = \frac{\dot{m}_f(g/h)}{P(kW)} = 608.3 \text{ sfc}(lbm/hp \cdot h)$$

بالنسبة لمحركات (SI)، تبلغ أفضل القيم النموذجية لاستهلاك الوقود النوعي حوالي 270 (g/kW. h).
- كفاءة المحرك الحرارية تم إعطاء مقياس "كفاءة" المحرك، وهو كفاءة تحويل الوقود η_f والذي يعطى بالعلاقة:

$$\eta_f = \frac{W_c}{\dot{m}_f Q_{HV}} = \frac{(P n_R / N)}{(\dot{m}_f n_R / N) Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}}$$

where m_f is the mass of fuel inducted per cycle. Substitution for $P/\dot{m}_f$ gives

$$\eta_f = \frac{1}{sfc Q_{HV}}$$

القيم الحرارية لأنواع الوقود الهيدروكربوني التجارية المستخدمة في المحركات في حدود 42 إلى 44 ميغا جول / كغ.

7-2-7- نسبة الهواء للوقود [3]

عند اختبار المحرك، يتم قياس كلاً من معدل تدفق كتلة الهواء m_a ومعدل تدفق كتلة الوقود m_f بشكل طبيعي. نسبة معدلات التدفق هذه مفيدة في تحديد ظروف تشغيل المحرك:

$$\text{Air/fuel ratio } (A/F) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

نطاق التشغيل العادي لمحرك SI تقليدي يستخدم وقود البنزين $12 \leq A/F \leq 18$

7-2-8- المردود الحجمي [3]

تستخدم الكفاءة الحجمية فقط مع المحركات ذات الدورة الرباعية الأشواط والتي لها عملية سحب مميزة. يتم تعريفها على أنها معدل تدفق الهواء إلى نظام السحب مقسوماً على معدل إزاحة الحجم بواسطة المكبس:

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_a}{\rho_{a,i} V_d N}$$

حيث $\rho_{a,i}$ هي كثافة الهواء الداخل.

هناك تعريف مكافئ للكفاءة الحجمية هو:

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_{a,i} V_d}$$

حيث: m_a هي كتلة الهواء التي يتم إدخالها في الأسطوانة في كل دورة.

يمكن أن تؤخذ كثافة الهواء عند المدخل إما على أنها كثافة هواء الغلاف الجوي (في هذه الحالة، تقيس η_v أداء السحب لنظام الإدخال بأكمله) أو يمكن اعتبارها كثافة الهواء في مشعب المدخل (في هذه الحالة η_v ، يقيس أداء السحب عند المدخل والصمام فقط). تتراوح القيم القصوى النموذجية لـ η_v ، لمحركات السحب الطبيعي، من 80 إلى 90 بالمائة.

7-2-9- الوزن النوعي والحجم النوعي للمحرك [3]

مؤشران مفيدان لمقارنة هذه السمات من محرك لآخر وهما:

$$\text{Specific weight} = \frac{\text{engine weight}}{\text{rated power}}$$

$$\text{Specific volume} = \frac{\text{engine volume}}{\text{rated power}}$$

لكي تكون هذه البارامترات مفيدة في مقارنات المحرك، يجب تعريف مكونات والمواد المساعدة التي يتضمنها المحرك الذي تتم عملية المقارنة به. تشير هذه البارامترات إلى فعالية وكفاءة المحرك (نجاح تصميمه وجودة المواد المصنوع منها والدارات المكونة للمحرك).

7-2-10- معاملات تصحيح من أجل الكفاءة الحجمية والاستطاعة [3]

يؤثر كل من الضغط والرطوبة ودرجة حرارة الهواء المحيط الذي يتم إدخاله إلى المحرك، عند سرعة معينة، على معدل تدفق كتلة الهواء واستطاعة الخرج.

تُستخدم عوامل التصحيح لضبط القيم المقاسة وقيم الكفاءة الحجمية لظروف الغلاف الجوي القياسية لتوفير أساس أكثر دقة للمقارنات بين المحركات.

الظروف المحيطة القياسية النموذجية المستخدمة هي:

Dry air pressure	Water vapour pressure	Temperature
736.6 mmHg 29.00 inHg	9.65 mmHg 0.38 inHg	29.4°C 85°F

7-2-11- الانبعاثات النوعية ومؤشر الانبعاثات وقياساتها [3]

مستويات انبعاثات أكاسيد النيتروجين (أكسيد النيتريك، NO، وثاني أكسيد النيتروجين، NO₂، يتم تجميعها عادةً معاً على أنها NO_x) وأول أكسيد الكربون (CO)، والهيدروكربونات غير المحترقة (HC)، والجسيمات هي خصائص تشغيلية مهمة للمحرك.

في غازات عادم المحرك تقاس عادةً بالأجزاء لكل مليون أو بنسبة مئوية من حيث الحجم (والذي يتوافق مع جزء المول مضروباً في 10³ أو في 10⁶، على التوالي).

$$s_{NO_x} = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{P} \quad s_{HC} = \frac{\dot{m}_{HC}}{P}$$

$$s_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}}{P} \quad s_{Part} = \frac{\dot{m}_{part}}{P}$$

μg/J, g/kW·h, g/hp·h

يمكن تحديد الانبعاثات النوعية. بالوحدات شائعة الاستخدام هي بدلاً من ذلك، يمكن ضبط معدلات الانبعاث من خلال معدل تدفق الوقود. يستخدم مؤشر الانبعاث (EI) بشكل شائع:

$$EI_{NO_x} = \frac{\dot{m}_{NO_x}(g/s)}{\dot{m}_f(kg/s)}$$

7-2-12- العلاقة بين بارامترات أداء المحرك [3]

تتضح أهمية البارامترات المحددة في الفقرات من (6) إلى (9) لأداء المحرك عندما يتم التعبير عن هذه البارامترات القدرة وعزم الدوران والضغط الفعال بواسطة علاقة واحدة تربطها مع بعضها لتعطي استطاعة المحرك. من تعريف قوة المحرك، والضغط الفعال، وكفاءة تحويل الوقود، ونسبة خليط الوقود والكفاءة الحجمية، يمكن تطوير العلاقات التالية بين بارامترات المحرك للحصول على استطاعة P:

$$P = \frac{\eta_f m_a N Q_{HV}(F/A)}{n_R}$$

بالنسبة لمحركات الدورة رباعية الأشواط، باعتبار الكفاءة الحجمية:

$$P = \frac{\eta_f \eta_v N V_d Q_{HV} \rho_{a,i}(F/A)}{2}$$

لعزم الدوران T:

$$T = \frac{\eta_f \eta_v V_d Q_{HV} \rho_{a,i}(F/A)}{4\pi}$$

للضغط الفعال:

$$mep = \eta_f \eta_v Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)$$

يمكن نسب الاستطاعة لمساحة المكبس، والتي تسمى غالبًا الاستطاعة النوعية، وتعد مقياسًا لنجاح تصميم المحرك في استخدام مساحة المكبس المتاحة بغض النظر عن حجم الأسطوانة الاستطاعة النوعية هي:

$$\frac{P}{A_p} = \frac{\eta_f \eta_v N L Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{2}$$

يمكن إدخال متوسط سرعة المكبس:

$$\frac{P}{A_p} = \frac{\eta_f \eta_v \bar{S}_p Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{4}$$

بالتالي فإن الاستطاعة النوعية تتناسب طرديًا مع ناتج متوسط الضغط الفعال وسرعة الكباس المتوسطة.

توضح هذه العلاقات الأهمية المباشرة لأداء المحرك لما يلي:

1. كفاءة عالية في تحويل الوقود.
2. كفاءة حجمية عالية.
3. زيادة خرج استطاعة لحجم محرك ثابت عن طريق زيادة كثافة الهواء الداخل.
4. أقصى نسبة وقود يمكن حرقها بشكل مفيد في المحرك.
5. ارتفاع متوسط سرعة المكبس.

7-2-13 - تصميم المحرك وبيانات الأداء له [3]

يصمم المحرك عادةً إلى أعلى استطاعة يتوقع المصنعون عندها الحصول على اقتصادية مرضية وموثوقية ومتانة في ظل ظروف الخدمة.

القياسات التالية، في نقاط التشغيل المشار إليها، تعد بالغة الأهمية:

1. سرعة المكبس. يقيس النجاح في التعامل مع الأحمال بسبب قوى العطالة للأجزاء، ومقاومة تدفق الهواء، واحتكاك المحرك.

متوسط الضغط الفعال الفرمل، في المحركات التي تستنشق بشكل طبيعي، لا يقتصر bmep على تحديد الإجهاد. بل يعكس ناتج الكفاءة الحجمية (القدرة على إدخال الهواء)، ونسبة الهواء للوقود (فعالية استخدام الهواء في الاحتراق)، وكفاءة تحويل الوقود.

في المحركات فائقة الشحن، يشير bmep إلى الدرجة النجاح في التعامل مع ضغوط الغاز العالية والتحميل الحراري.

الاستطاعة لكل وحدة مساحة من المكبس، يقيس الفعالية التي يتم بها استخدام مساحة منطقة المكبس، بغض النظر عن حجم الأسطوانة.

الوزن النوعي، يشير إلى الاقتصادية النسبية مع المواد المصنع منها المحرك.

الحجم النوعي، يشير إلى الفعالية النسبية التي تم بها استخدام حجم إزاحة المحرك.

2. عند جميع السرعات وعند جميع مجالات استخدام المحرك بكامل دعة الوقود أو بأقصى إمداد للوقود في المحرك:

متوسط الضغط الفعال الفرمل. يقيس القدرة على الحصول على تدفق الهواء المرتفع واستخدامه بفعالية على كامل نطاق مجال العمل.

3 - في جميع مجالات التشغيل المفيدة للمحرك ولا سيما في الأنظمة التي يتم فيها تشغيل المحرك لفترات طويلة: يأخذ بعين الاعتبار استهلاك الوقود النوعي الفرمل أو كفاءة تحويل الوقود. والانبعثات النوعية الفرملية. يوضح الجدول (1-7) بعض القيم النموذجية لعدة تصاميم من المحركات:

	Operating cycle	Compression ratio	Bore, m	Stroke/bore	Rated maximum			Weight/power ratio, kg/kW	Approx. best bsfc, g/kW · h
					Speed, rev/min	bmepp, atm	Power per unit volume kW/dm ³		
<i>Spark-ignition engines:</i>									
Small (e.g., motorcycles)	2S,4S	6-11	0.05-0.085	1.2-0.9	4500-7500	4-10	20-60	5.5-2.5	350
Passenger cars	4S	8-10	0.07-0.1	1.1-0.9	4500-6500	7-10	20-50	4-2	270
Trucks	4S	7-9	0.09-0.13	1.2-0.7	3600-5000	6.5-7	25-30	6.5-2.5	300
Large gas engines	2S,4S	8-12	0.22-0.45	1.1-1.4	300-900	6.8-12	3-7	23-35	200
Wankel engines	4S	≈ 9	0.57 dm ³ per chamber		6000-8000	9.5-10.5	35-45	1.6-0.9	300
<i>Diesel engines:</i>									
Passenger cars	4S	17-23	0.075-0.1	1.2-0.9	4000-5000	5-7.5	18-22	5-2.5	250
Trucks (NA)	4S	16-22	0.1-0.15	1.3-0.8	2100-4000	6-9	15-22	7-4	210
Trucks (TC)	4S	14-20	0.1-0.15	1.3-0.8	2100-4000	12-18	18-26	7-3.5	200
Locomotive, industrial, marine	4S,2S	12-18	0.15-0.4	1.1-1.3	425-1800	7-23	5-20	6-18	190
Large engines, marine and stationary	2S	10-12	0.4-1	1.2-3	110-400	9-17	2-8	12-50	180

الجدول (1-7) بعض القيم النموذجية لعدة تصاميم من المحركات

3-7-3- منحنيات أداء المحركات

7-3-1- منحنيات السرعة لمحركات البنزين [2]

تسمى المنحنيات التي تمثل تغير العوامل الفعالة للدورة مع تغير سرعة دوران المحرك لوضع ثابت لآلية التحكم بمنحنيات السرعة.

نعرف سرعات الدوران المميزة:

n_{min} - السرعة الدنيا التي يمكن أن يعمل المحرك عندها وهو محمل بشكل مستقر.

n_{Te} - السرعة التي يبلغ عندها العزم الفعال قيمته العظمى $T_{e max}$.

n_{ge} - السرعة التي يكون استهلاك الوقود النوعي عندها أقل ما يمكن $g_{e min}$.

n_{nom} - السرعة التي تبلغ استطاعة المحرك عندها قيمتها الاسمية $N_{e nom}$.

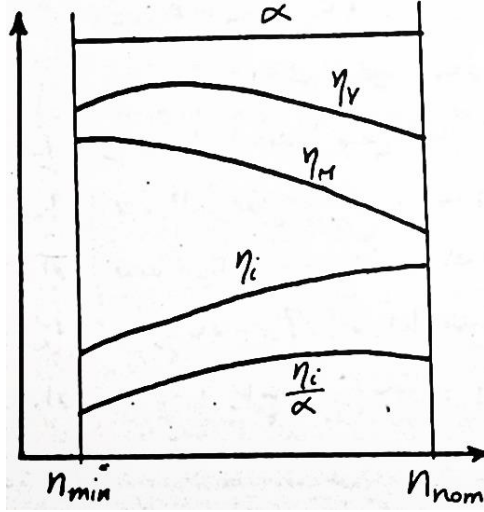
n_{Ne} - السرعة التي تبلغ استطاعة المحرك عندها قيمتها العظمى $N_{e max}$.

$n_{id max}$ - السرعة القصوى التي يعمل عندها المحرك بدون حمل ($P_i = P_m$).

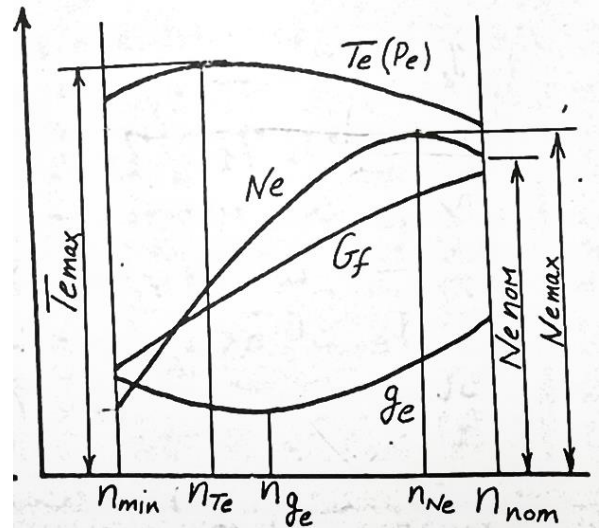
n_{id} - السرعة الدنيا التي يعمل عندها المحرك بدون حمل (حالة اللا حمل).

7-3-2- منحنيات السرعة الحدية لمحركات البنزين [2]

من العلاقات نرى أن اشكال منحنيات الاستطاعة والعزم الفعال واستهلاك الوقود تتحدد بقيم كل من η_v/α ، η_m ، وعندما تتغير سرعة دوران محرك البنزين في المجال 25 - 100% من السرعة الاسمية (n_{nom}) فإن α تتغير في المجال 0.8 - 0.9 ولهذا يمكن اعتبار α قيمة ثابتة ولا تتغير مع تغير سرعة الدوران (شكل 7-5 - 7-أ).



الشكل (7-5-ب)



الشكل (7-5-أ)

الشكل (7-5) منحنيات السرعة الحدية لمحركات البنزين

بزيادة سرعة الدوران عن n_{Te} تنخفض η_v وذلك لازدياد المقاومة الهيدروليكية للجريان خلال شوطي السحب والطرء، تؤدي زيادة α كذلك إلى انخفاض الجودة الميكانيكية وذلك لازدياد متوسط الضغط للضياح الميكانيكي P_M (تتناسب طردياً مع السرعة الوسطية للمكبس) وبالتالي تؤثر على ازدياد الاستطاعة المصروفة على الضياح الميكانيكي.

أما η_i فتزداد بازدياد n كما تزداد النسبة η_i/α ولكن بمعدل أقل (شكل 7-1 - 7-ب) بالنتيجة يكون انخفاض η_v و η_m أكثر تأثيراً من ازدياد η_i/α مما يؤدي إلى انخفاض T_e (شكل 7-1-ب).

يعود السبب في انخفاض T_e عندما تكون $n < n_{Te}$ إلى انخفاض η_v وازدياد نسبة الضياح الحراري للمحرك (انخفاض η_i). أما الاستطاعة الفعالة فتتبع قانوناً حسب العلاقة $N_e \sim n T_e$ أي N_e تزداد بازدياد n (طالما كان معدل ازدياد الأخيرة أكبر من معدل انخفاض T_e) لتبلغ قيمة عظمى N_{max} عند سرعة n_{me} لتتخفض بعدها حتى تبلغ الاستطاعة السمية N_{enom} عند سرعة n_{nom} ($n_{Ne} < n_{nom}$).

يتغير استهلاك الوقود النوعي g_e حسب العلاقة $g_e \sim 1/\eta_i \eta_m$ وتبلغ أقل قيمة لها عندما يبلغ الجداء $(\eta_i \cdot \eta_m)$ قيمته العظمى عند السرعة n_{ge} (شكل 7-4-ب). عندما تصبح $n > n_{ge}$ تزداد قيمة g_e بسرعة وذلك لأن انخفاض η_m يكون أشد تأثيراً من ازدياد η_i ، أما عندما تصبح $n < n_{ge}$ فإن g_e تزداد وذلك لأن معدل انخفاض η_i يصبح أكبر من معدل ازدياد η_m .

يتبع G_f تغير قانوناً حسب العلاقة $G_f \sim n \eta_v$ تزداد قيمة G_f باضطراد وذلك لأن معدل ازدياد قيمة n يكون دائماً أكبر من معدل انخفاض η_v (شكل 7-5-ب).

الفصل الثامن

الأجهزة والمواد المستخدمة في البحث

*Equipment and materials
used in the research*

الفصل الثامن: الأجهزة والمواد المستخدمة في البحث

8-1- مقدمة

تم القيام بالتجارب اللازمة لهذه البحث في المخبر التابع لقسم هندسة السيارات والأليات في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة دمشق وسيتم استخدام التجهيزات والمواد التالية:

8-2- محرك بنزين بشحن توربيني

سيتم استخدام محرك بنزين ثابت من انتاج شركة رينو طراز F4R كما في الشكل (8-1)



الشكل (8-1) المحرك المستخدم لاختبار البحث

والمتمتع بالموصفات التالية:

مواصفات المحرك

محرك بنزين احتراق داخلي مزود بشاحن توربيني.

حجم الازاحة (سم³): 1998.

القطر X الشوط (مم): 82.9 * 93.

عدد الاسطوانات/عدد الصمامات: 16/4.

نسبة الانضغاط: 1:9.5

فتح صمام السحب قبل (ن، م، ع): 8° (c.a)

إغلاق صمام السحب بعد (ن، م، س): 48° (c.a).

فتح صمام الطرد قبل (ن، م، س): 35° (c.a).

إغلاق صمام الطرد بعد (ن، م، ع): 5° (c.a).

الاستطاعة القصوى: 165 حصان @ 5500 دورة بالدقيقة.

العزم الأعظمي: 26 كغ.م @ 2000 دورة بالدقيقة.

نوع الحقن: حقن متتالي.

التبريد: ماء.

8-3- جهاز الدينوموتر

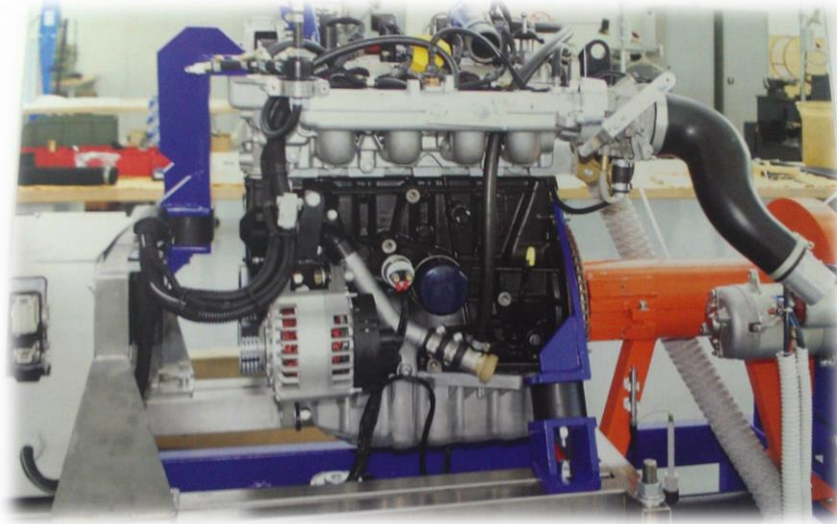
سيتم استخدام جهاز دينوموتر هيدروليكي من انتاج شركة PRODIT طراز GR0306/000/005C والذي يتألف من الأجزاء التالية:

8-3-1 وحدة الدينوموتر الأساسي التي تتألف مما يلي

إطار رئيسي مزود بعجلات لسهولة الحركة (قاعدة اختبار المحرك) شكل (8-2).

وحدة الدينوموتر الهيدروليكي والتي تتركب على الإطار، مقياس العزم والسرعة للمحرك شكل (8-3).

لوحة التحكم الخدمي شكل (8-4).



شكل (8-2) قاعدة اختبار المحرك



الشكل (8-4) لوحة التحكم الخدمي



الشكل (8-3) وحدة الدينوموتر الهيدروليكي

8-3-2 لوحة التحكم وإظهار المعلومات والبيانات مضافاً إليها

- وحدة التغذية الكهربائية.
- عارض بارامترات تشغيل المحرك.
- قسم التحكم.
- كما في الشكل (8-5).

8-3-3 إطار منفصل يحمل الأجزاء التالية

- نظام الوقود + نظام قياس استهلاك الوقود.
- وحدة التبريد من أجل المحركات المبردة بالماء مع عدادات لقياس الحرارة.
- دائرة الإمداد بالماء من أجل الدينامومتر الهيدروليكي.
- والشكل (8-6) يوضح الأجزاء.



شكل (8-6) الإطار الحامل لباقي
أجزاء المنصة



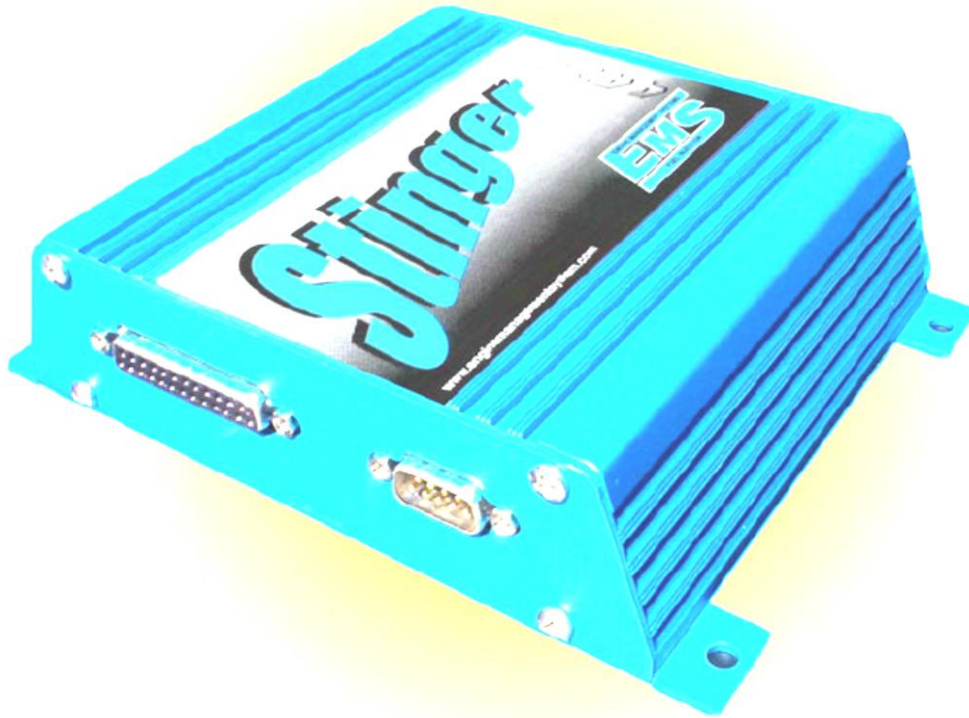
شكل (8-5) لوحة التحكم وإظهار
المعلومات والبيانات

8-4- وحدة التحكم القابلة للبرمجة

سيتم استخدام وحدة تحكم إلكترونية قابلة للبرمجة:

مصنعة من قبل شركة EMS طراز STINGER 4424 والتي تتمتع بالموصفات التالية:

- إمكانية التعامل مع نظامي حساسات اللامبدا (المفتوح والمغلق).
 - إمكانية التحكم بسرعة الدوران الحر للمحرك.
 - إمكانية عرض البيانات والتحكم بها والدخول إليها أثناء التشغيل.
 - 21×40 نقطة تحميل مختلفة للمستخدم.
 - أربع مخارج خاصة بالبخاخات.
 - أربع مخارج خاصة بملفات الإشعال.
 - أربع مخارج قابلة للبرمجة وفق متطلبات العمل من قبل المستخدم.
 - حساس ضغط مجمع السحب مدمج داخل وحدة التحكم بمجال قياس (30psi (200KPa
- الشكل (8-7) يوضح الوحدة:



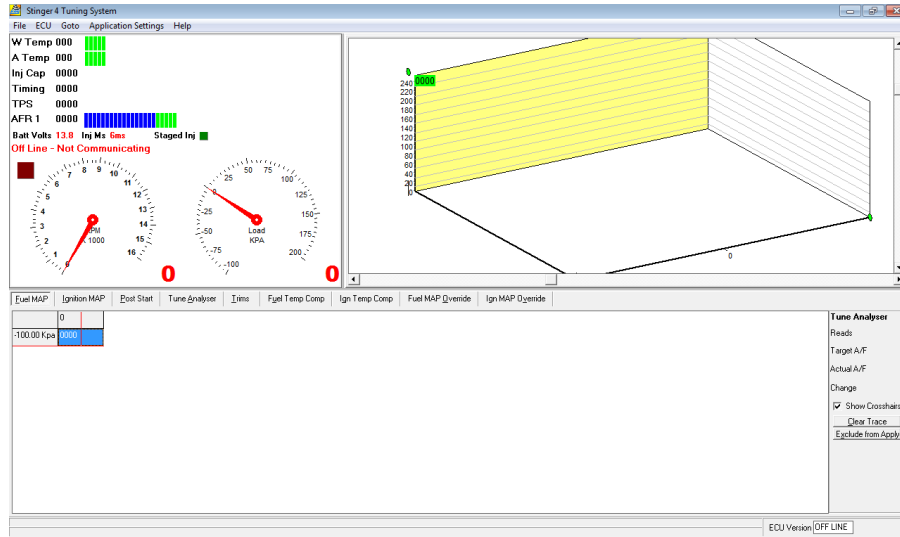
شكل (8-7) وحدة التحكم الإلكترونية القابلة للبرمجة

8-4-1- التعريف ببرنامج وحدة التحكم الإلكتروني

أ- عند فتح واجهة برنامج ECU وذلك بعد الضغط على أيقونة stringer4 تظهر واجهة البرنامج بـ صفحة

التشغيل (tuning)

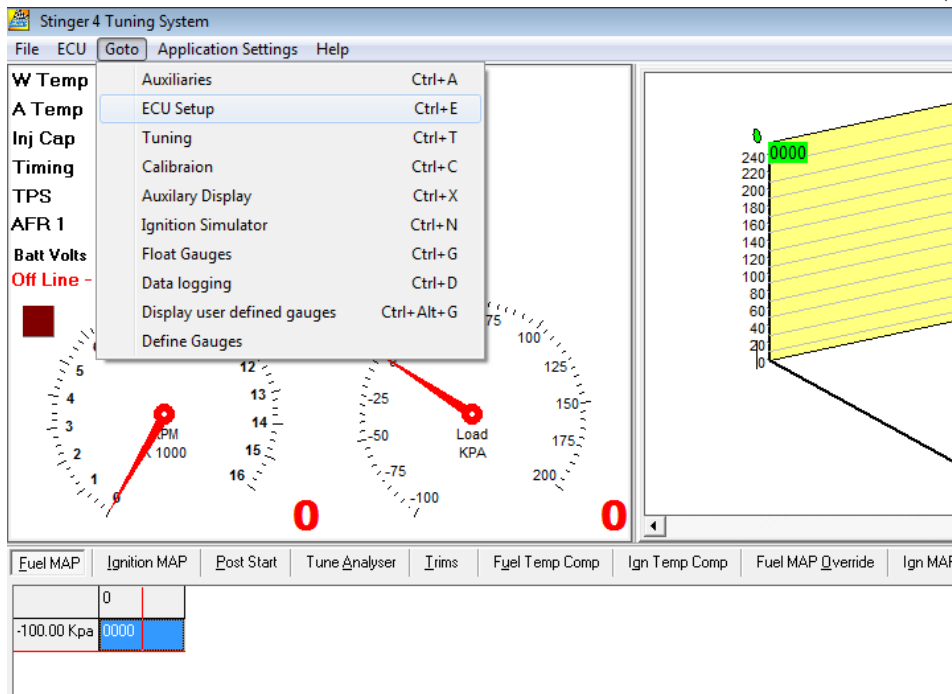
كما في الشكل (8-8)



شكل (8-8) واجهة برنامج ال ECU

يمكن القراءة من ملف محفوظ سابقاً وذلك من قائمة `file > open > tune`.
للقراءة من وحدة التحكم يجب أن تكون موصولة وأن يكون الضوء في الزاوية السفلى اليسارية يضيء بالأخضر بشكل متقطع `Ecu>on-line`.

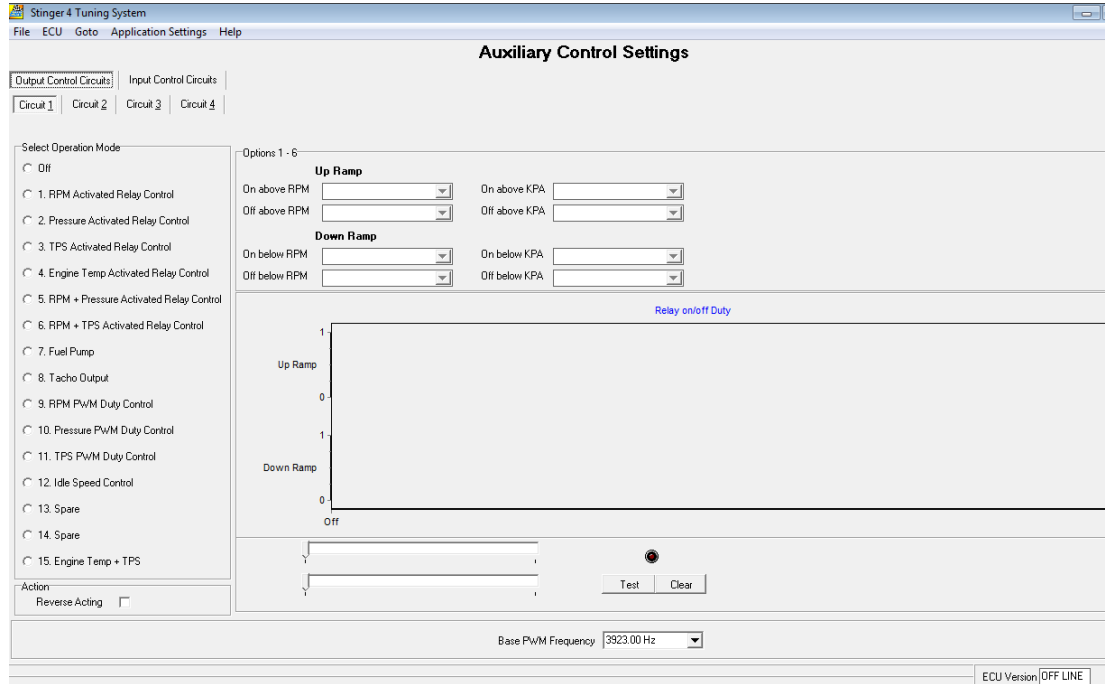
للقراءة `Read from Ecu > Ecu` ثم يبدأ نقل المعلومات على الحاسب الشخصي.
ويتم وضع بارامترات الـ `Ecu` وفقاً لمواصفات المحرك المستخدم وذلك من قائمة `Go to>Ecu setup` كما في الشكل (8-9)



شكل (8-9) قراءة الملفات من وحدة التحكم الإلكترونية

ب - المساعدات في التحكم بعمل المحرك Auxiliaries

تقسم إلى جزئين وحدات للخرج ووحدات للدخل كما في الشكل (8-10)



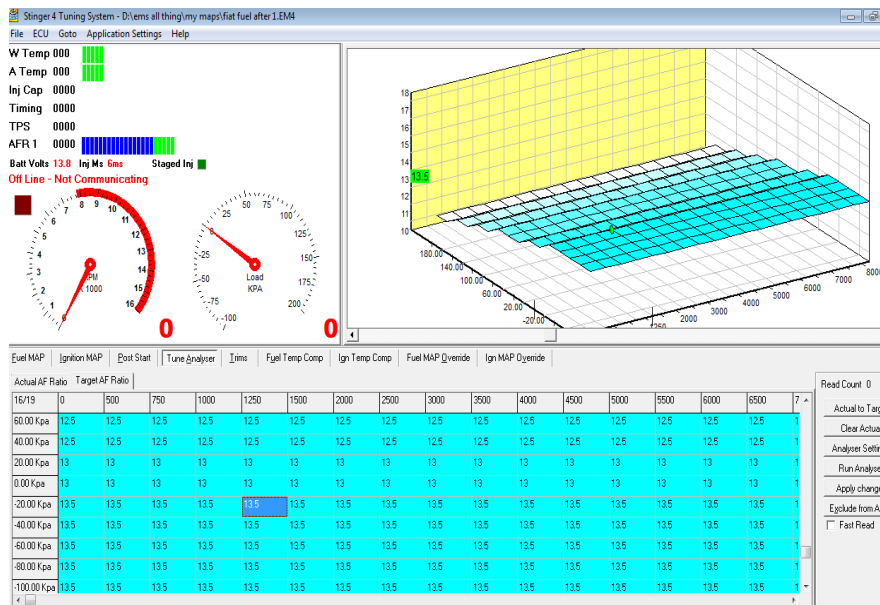
الشكل (8-10) يبين دارات التحكم في الخرج

تؤمن ال ECU للمبرمج مخارج تحكم تستطيع هذه المخارج أن تؤدي 12 مهمة، ثمانية من هذه المهام يمكنها التحكم بريليهات والأربع المتبقية تؤمن نبضات للتحكم بعدد مختلف من الأجهزة مثل متحكم ضغط الشاحن التوربيني، سرعة الدوران الحر للمحرك. سيتم استخدام أحد المخارج السابقة للتحكم بعمل مضخة خليط الميثانول مع الماء وفق بارامترات محددة مناسبة لظروف التشغيل التي يحدث عندها الصفع خلال الإجراء التجريبي.

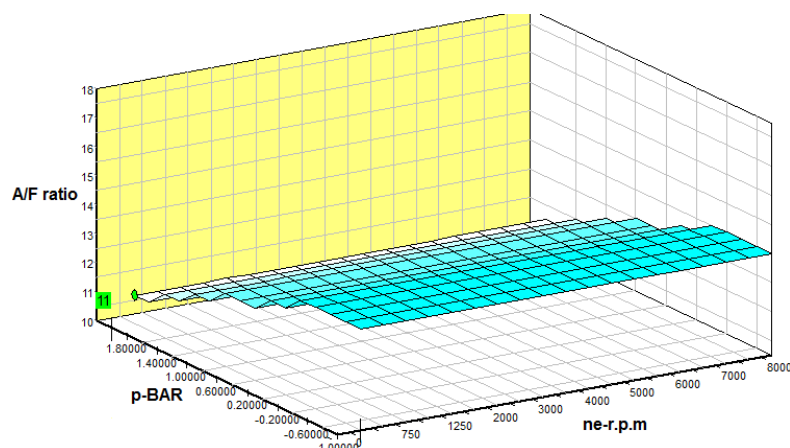
ج - محلل الأداء (التشغيل) Tune Analyzer

وهو مصمم من قبل شركة Ems للمساعدة أثناء تشغيل المحرك للوصول لأفضل أداء له.

Tune analyzer كما في الشكل (8-11 أ) (8-12 ب)



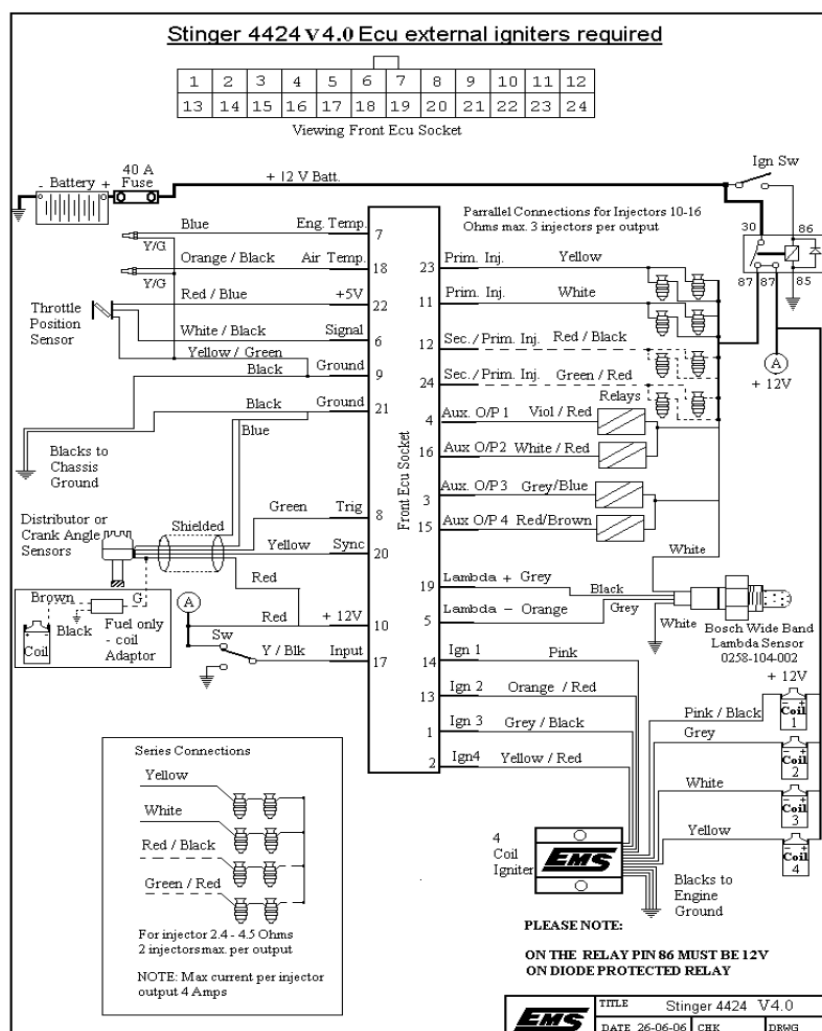
الشكل (8-11 أ)
يبين محلل أداء
المحرك



شكل (8-12) يبين محل أداء المحرك وفقاً لنسبة خليط الهواء والوقود مع سرعة دوران المحرك والضغط مع مجمع السحب

8-4-2- مخططات التوصيل الكهربائي لوحدة التحكم القابلة للبرمجة (wiring diagrams)

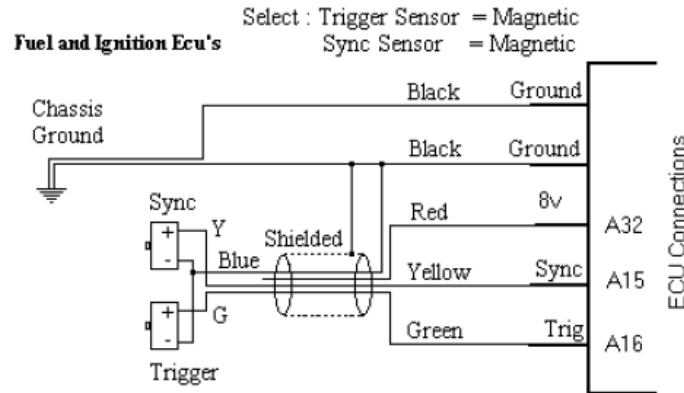
أ- مخطط توصيل وحدة التحكم الإلكترونية شكل (8-13)



شكل (8-13) توصيل وحدة التحكم الإلكترونية

ب- وصل الحساسات المغناطيسية

تزود الحساسات من هذا النوع بكبل يتألف من سلكين وهي تعطي موجة جيبية لوحدة التحكم وتوصل وفق المخطط (14-8) وهو نفس نظام محرك الاختبار أي سيوصل حساس محرك الاختبار بالطريقة نفسها.



(14-8) المخطط الكهربائي لحساسات القدح والتزامن العاملة بالتحريض

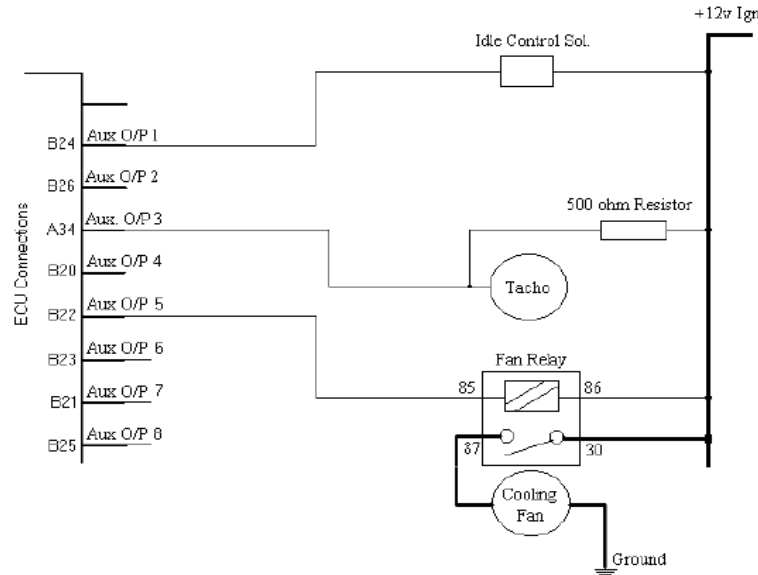
ج- المخارج المساعدة في وحدة التحكم

تحتوي وحدة التحكم ال ecu على 8 مخارج مساعدة قابلة للبرمجة شكل (15-8) مثال على ذلك تشغيل مراوح التبريد، حواقي الماء، المحرك الخطوي المسؤول عن الدوران الحر للمحرك

المخارج الأربعة الأولى يمكن برمجتها ليكون خرجها إما (pwm) أو أنا لوغ (on/off) ديجيتال

أما المخارج الأربعة الأخيرة فهي ذات خرج ديجيتال (on/off) تستخدم المخارج الأربعة الأولى للتحكم بأجهزة التي تتطلب إشارة متغيرة مثل صمام التحكم بضغط الشاحن وصمام التحكم بالدوران الحر للمحرك.

مثال على توصيل دائرة المخارج المساعدة



شكل (15-8) توصيل دائرة المخارج المساعدة

سيتم استخدام أحد هذا المخارج وتوصيل مضخة خليط الميثانول والماء والتحكم بعملها وتوصيلها بواسطة ريليه والتحكم بها بنظام خرج ديجيتال (on/off).

8-5- حساس الصفع مع راسم الإشارة

سيتم وصل حساس الصفع على راسم الإشارة وقراءة الإشارة الصادرة منه وتسجيلها عند نقاط عمل المحرك المختلفة ووفقا لهذه الإشارة يتم تشخيص حدوث الصفع أو عدم حدوثه يلتقط حساس الصفع الاهتزازات والصوت القادم من كتلة المحرك، ويحولها إلى إشارة كهربائية وفقاً لخاصية "البيزو الكترية" المصنوع منه وهو مادة تحول التأثير الميكانيكي (مثل الضغط أو الحركة أو الاهتزاز) إلى إشارة كهربائية بسبب التأثير الكهروميكانيكي.

يبين الشكل (8-19) حساس الصفع وتوضعه على جسم المحرك ويبين الشكل (8-20) راسم الإشارة.



الشكل (8-19) راسم الإشارة



الشكل (8-18) حساس الصفع ضمن الدائرة الحمراء وتوضعه على جسم المحرك

يتمتع راسم الإشارة بالمواصفات التالية

عرض النطاق الترددي	25 ميغا هرتز
القنوات	2
معدل العينة	Ms / s250
عمق الذاكرة	kpts25
معدل التقاط الموجي	wfms / s2000 = <
أوضاع الزناد	حافة، نبضة، فيديو، بديل
النطاق العمودي	mV / div ~ 20V / div1
النطاق الأفقي	ns / div ~ 50s / div10
شاشة العرض	x240 TFT LCD400" 7
واجهة	USB OTG، تمرير / فشل
الأبعاد	٣٠٦ × ١٤٧ × ١٢٢ ملم
الوزن	2.2 كجم

8-6- نظام حقن خليط الميثانول مع الماء

تم استخدام مضخة وقود خاصة وتم تركيبها ضمن خزان الميثانول مع الماء ويتم التحكم بعملها من وحدة التحكم القابلة للبرمجة يتم ضخ خليط الميثانول مع الماء الى حاقن الوقود المركب على مجرى الهواء بعد مبرد الهواء وقبل مجمع السحب ويتم التحكم به مع المضخة من قبل وحدة التحكم الالكترونية يبين الشكل (8-22) المضخة المستخدمة ويبين الشكل (8-24) خزان خليط الميثانول مع الماء يبين الشكل (8-25) حاقن خليط الميثانول مع الماء

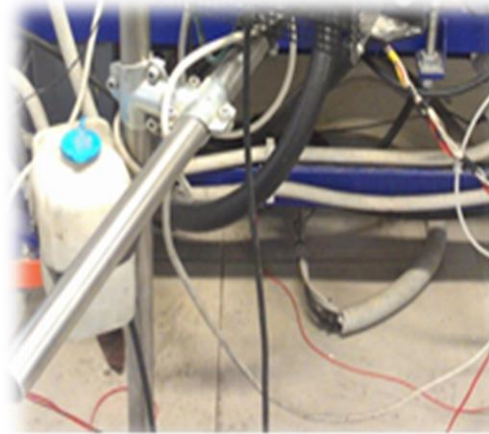


الشكل (8-20) المضخة المستخدمة لضخ خليط الميثانول مع الماء

تم اختبار المضخة وفحص معدل التدفق وضغط الضخ حيث:
بلغ معدل التدفق لها (700 ml/min).
وبلغ ضغط الضخ (10bar).



الشكل (8-22) حاقن خليط الميثانول مع الماء



الشكل (8-21) خزان خليط الميثانول

7-8- مواصفات الميثانول المستخدم بالتجارب

الخواص	
الصيغة الجزيئية	CH ₃ OH
الكتلة المولية	32.04 غ/مول
المظهر	سائل عديم اللون
الكثافة	0.79 غ/سم ³
نقطة الانصهار	- 98 °C
نقطة الغليان	65 °C
الذوبانية في الماء	يتمزج مع الماء
الذوبانية	يتمزج مع الإيثانول والإيثر الإيثيلي
حموضة (pK _a)	15.5

8-8- مواصفات الوقود المستخدم في التجربة

سيتم استخدام وقود بنزين يتمتع بالخصائص القياسية التالية (حسب المواصفات القياسية السورية):

الكثافة: 876 (kg/m³)

اللزوجة الميكانيكية: 0,7 (cst) عند درجة حرارة 15 °C

التوتر السطحي: 21 KN/M

رقم الأوكتان: 90

القيمة الحرارية الدنيا: 44000 kj/kg.

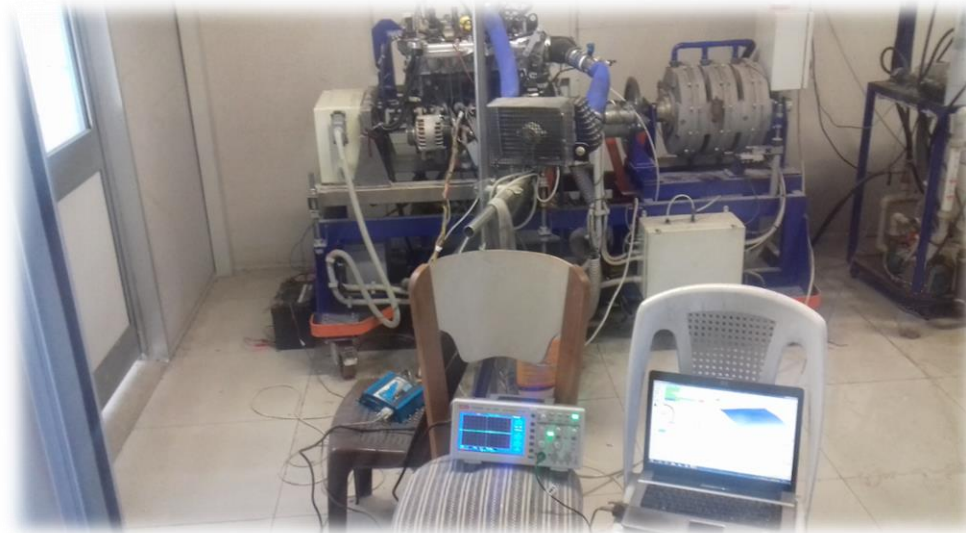
الفصل التاسع

الجزء العملي (الإجراء التجريبي)

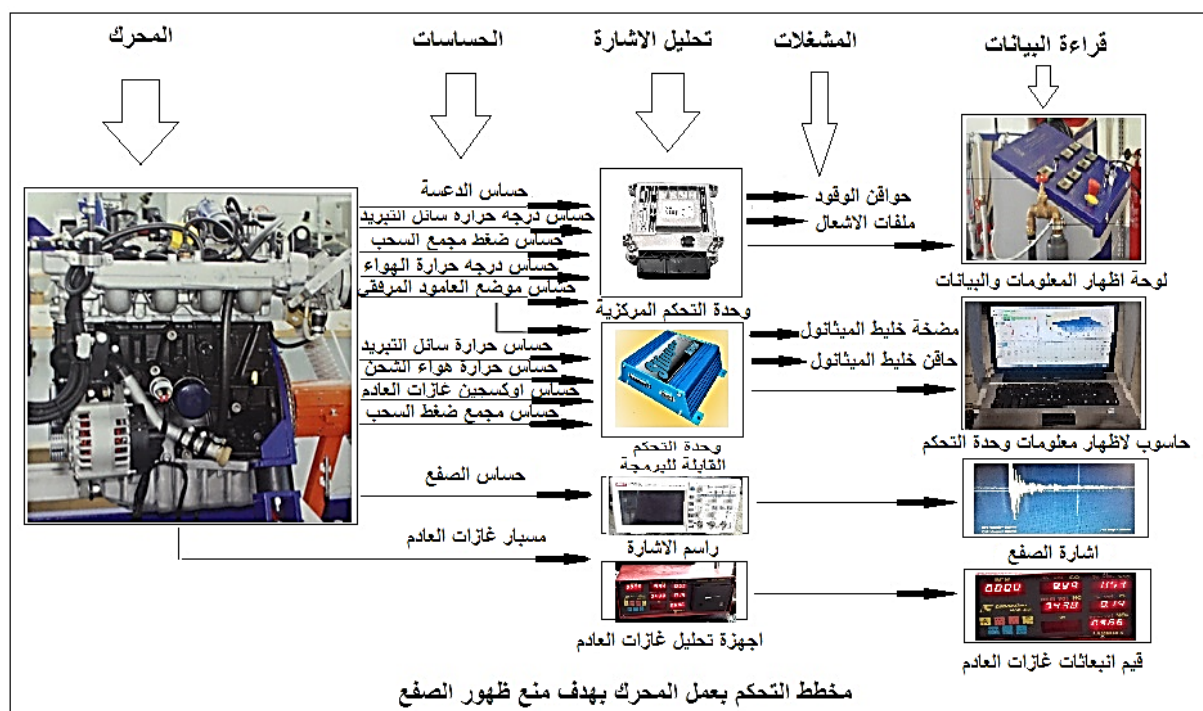
*The Practical part
(experimental
procedure)*

9-1- مقدمة

1- تركيب المحرك على منصة اختبار المحركات وتجهيزه بوحدة تحكم إلكترونية قابلة للبرمجة المذكورة بالفصل السابق كما في الشكل (9-1).



2- توصيل وحدة التحكم القابلة للبرمجة مع وحدة تحكم المحرك الرئيسية: يتم التوصيل وفق الشكل (3-9)



180

وتتم برمجة وحدة التحكم القابلة للبرمجة على نظام عمل المحرك وهو نظام الأسنان المفقودة يحتوي مسنن حساس عمود المرفق على 116 سن والأسنان المفقودة عددها 2 تتم البرمجة وفق الشكل (9-3-ب):

Load Source	
Load Source One	Manifold Pressure
Sensor Setup	
Injection arrangement	Throttle Body
Trigger Sensor	Mag
Trigger Edge	Rising (+)
Trigger Pull Up Resistor	Off
Sync Sensor	Mag
Sync Edge	Rising (+)
Sync Pull Up Resistor	Off
Ignition Settings	
Ignition Type	Missing Tooth Mode
No. of teeth per cam cycle	116 Teeth
No. of teeth after missing	2 Teeth
Sync sensor used	No
Engine Control	
No of Cylinders	4 Cyl/2 Rotor
Number of Igniters	1 Igniter
Ign Fire Edge	Rising (+)
Dwell mS	3.5 ms
Injector Ohms	3.5 ohms
Sensitivity	Normal
Aspiration	Normal/Turbo
Supercharger Boost	-1.00000 BAR
Closed Loop Lambda	
Operation Mode	Off
Target A/F Ratio	13.8

الشكل (9-3-ب) برمجة وحدة التحكم على نظام عمل المحرك

3- تركيب حساس درجة حرارة الهواء الداخل على مجمع السحب للمحرك شكل (9-4) وحاقن خليط الميثانول مع الماء على مجمع السحب أيضا شكل (9-5).

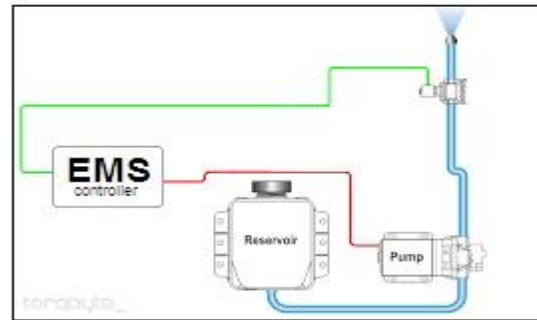
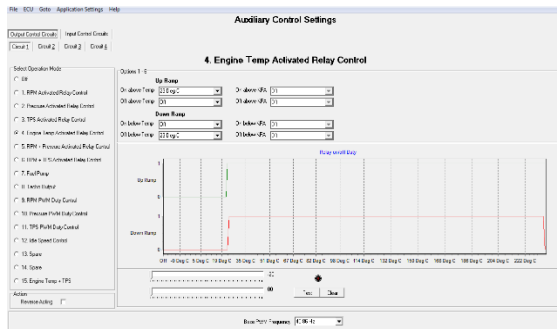


شكل (9-5) تركيب حاقن خليط الميثانول مع الماء

شكل (9-4) تركيب حساس درجة حرارة هواء الشحن

4- تركيب نظام حقن خليط الميثانول مع الماء:

يبين الشكل (9-6) كيفية توصيل نظام حقن خليط الميثانول والماء مع وحدة التحكم القابلة للبرمجة ويبين الشكل (9-7) كيفية برمجة مجال عمل حاقن الميثانول وفق نقاط التشغيل التي حدث عندها الصفع.

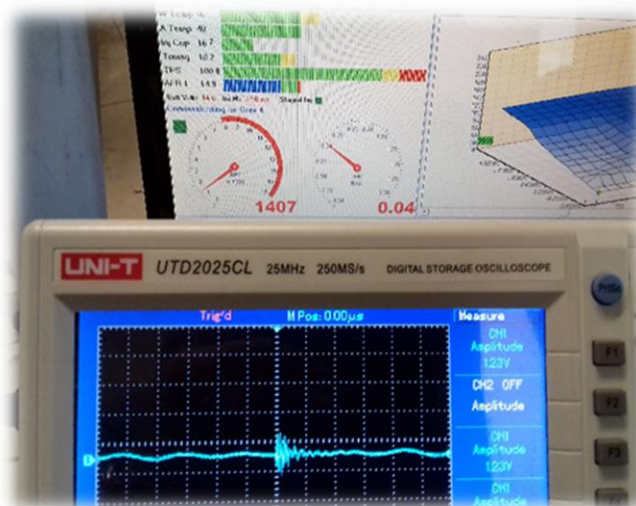


الشكل (9-7) كيفية برمجة مجال عمل حاقن الميثانول

شكل (9-6) يبين كيفية توصيل نظام حقن خليط الميثانول والماء مع وحدة التحكم القابلة للبرمجة

تركيب راسم الإشارة وتوصيل حساس الصفع معه:

يبين الشكل (8-9) تركيب راسم الإشارة وتوصيله مع حساس الصفع ويبين الإشارة المسجلة عند حدوث الصفع، تم ضبط إعدادات راسم الإشارة وفق ما يلي (Ch 1.00V – M1.00 ms).



الشكل (8-9) تركيب راسم الإشارة وتوصيله مع حساس الصفع وتموضعه أثناء التجارب

2-9- مراحل الإجراء التجريبي

المرحلة الأولى: تشغيل المحرك وتحميله على دعسات جزئية على (ثمانية مجالات) 3%، 5%، 10%، 20%، 40%، 60%، 80%، 100%، وتحديد المؤشرات التالية: الحمل - الاستطاعة - سرعة دوران المحرك - معدل استهلاك الوقود الساعي - ضغط مجمع السحب - حرارة هواء الشحن - نسبة خليط الهواء للوقود - حرارة مياه التبريد - كثافة الصفع

المرحلة الثانية: يتم رسم المنحنيات من التجارب السابقة بواسطة برنامج excel ويجرى دراسة إحصائية لنتائج التجربة بواسطة برنامج spss الإحصائي ويتم الوصول لعلاقة تربط ظهور الصفع مع مؤشرات عمل المحرك ومؤشرات الشحنة له.

المرحلة الثالثة: استخدام المعادلة الرياضية المستنتجة من برنامج spss في الحصول على مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع بدلالة العزم وسرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية واقتراح نقاط عمل عند دعة 75% ورسم مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لها.

المرحلة الرابعة: إعادة التجربة السابقة عند دعة 100% ولكن باستخدام خليط الميثانول مع الماء بنسب مختلفة وفق الجدول التالي:

ميثانول	ماء
50%	50%
67%	33%
90%	10%

يتم حقن خليط الميثانول مع الماء عند نقاط تشغيل المحرك التي ظهر عندها الصفع، المسجلة من تجارب المرحلة الأولى حيث تقوم وحدة التحكم القابلة للبرمجة بالتحكم بحاقن خليط الميثانول مع الماء وفق البرمجة الموضحة بالشكل (7-9) مسبقاً بحيث تحقق كمية تناسب ظروف ونقاط عمل المحرك وتتبع هذه البرمجة لسرعة الدوران والحمل في المحرك.

ملاحظة مهمة: ضغط حقن الخليط بحدود ال (10bar).

معدل التدفق (ml/min 350)

زمن الحقن يتراوح (0.1-1.5 seconds) حسب كثافة الصفع المسجلة.

المرحلة الخامسة: رسم منحنيات العزم والاستطاعة والاستهلاك النوعي للوقود والنقاط التي ظهر عندها الصفع للتجربة السابقة وإجراء عملية مقارنة وتحليل بواسطة برنامج excel وبرنامج spss وتقييم النتائج وتحليلها.

المرحلة السادسة: إجراء دراسة اقتصادية واستثمارية للنظام السابق في:

*العزم والاستطاعة للمحرك مع الاستهلاك النوعي للوقود وكفاءة المحرك الحرارية والاستهلاك النوعي لخليط الميثانول مع الماء ومقارنته مع إغناء الشحنة بالوقود.

*تكلفة إضافة النظام السابق.

*كفاءة النظام السابق وإمكانية تركيبه وموثوقية عمله من حيث متطلبات الصيانة.

المرحلة السابعة:

1- مقارنة نتائج البحث مع نتائج الدراسات المرجعية.

2- نتائج البحث.

3- التوصيات والمقترحات.

9-3- المرحلة الأولى

تركيب محرك الشحن التوربيني على منصة الاختبار و قياس العزم والاستطاعة للمحرك من خلال تحميل جزئي إلى تحميل كامل على دعسات جزئية على (تسعة مجالات) 3%، 5%، 10%، 20%، 40%، 60%، 80%، 100% ويتم تحديد المؤشرات التالية:

1- تحديد كثافة الصفع $K_{per\ minute}$ (عدد تكراره خلال دقيقة لكل مجال عمل يظهر به)، حيث يربط عدد مرات الصفع لكل سرعة دوران المحرك عند دعة وحمل معين مع الزمن وتكون الواحدة K/min. تقييم الصفع بالنسبة المئوية $k_{cycle}(\%)$ وهو النسبة المئوية لأشواط الاحتراق التي تحوي على صفع ويحسب من العلاقة التالية:

$$k_{cycle}(\%) = (2 K_{per\ minute} / N) * 100$$

حيث:

$k_{cycle}(\%)$: النسبة المئوية للصفع لعدد أشواط الاحتراق للمحرك.

N: سرعة دوران المحرك (r.p.m).

$K_{perminute}$: عدد مرات تكرار الصفع خلال دقيقة واحد لمجال تشغيل المحرك (K/min).

- 2- سرعة دوران المحرك.
- 3- العزم.
- 4- الضغط بمجمع السحب.
- 5- الاستطاعة.
- 6- الاستهلاك الساعي للوقود.
- 7- نسبة خليط الهواء للوقود.
- 8- درجة حرارة الهواء للمحرك.
- 9- درجة حرارة مياه التبريد.

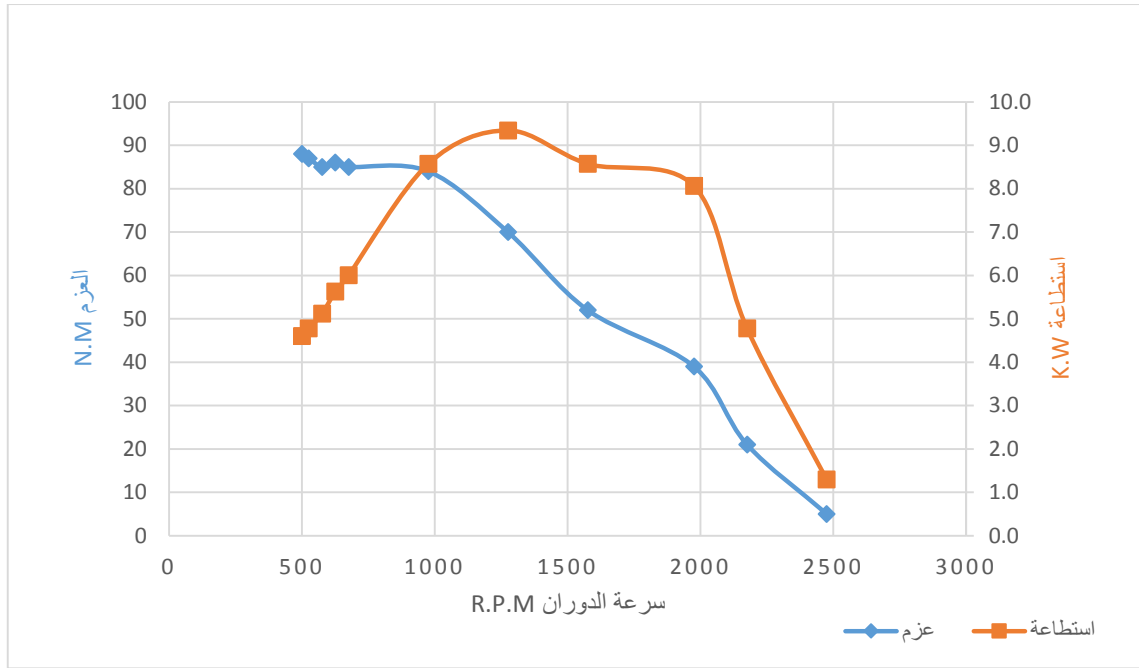
- نتائج الاختبار عند دعة 3% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-1).

سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للوقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة KPERM	كثافة الصفع (%) Kcycle (%)	نسبة خليط الهواء للوقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
500	88	-0.1	4.6	4.42	28	11.20	14.7	40	69
525	87	-0.11	4.8	4.42	24	9.14	14.7	40	69
575	85	-0.15	5.1	4.42	24	8.35	14.7	40	69
625	86	-0.16	5.6	4.42	20	6.40	14.7	40	68
675	85	-0.27	6.0	4.42	16	4.74	14.7	41	68
975	84	-0.23	8.6	4.42	8	1.64	14.7	41	68
1275	70	-0.31	9.3	4.68	0	0.00	14.7	41	69
1575	52	-0.43	8.6	4.85	0	0.00	14.7	41	69
1975	39	-0.46	8.1	5.10	0	0.00	14.7	41	69
2175	21	-0.55	4.8	5.10	0	0.00	14.7	41	69
2475	5	-0.6	1.3	5.53	0	0.00	14.7	41	68

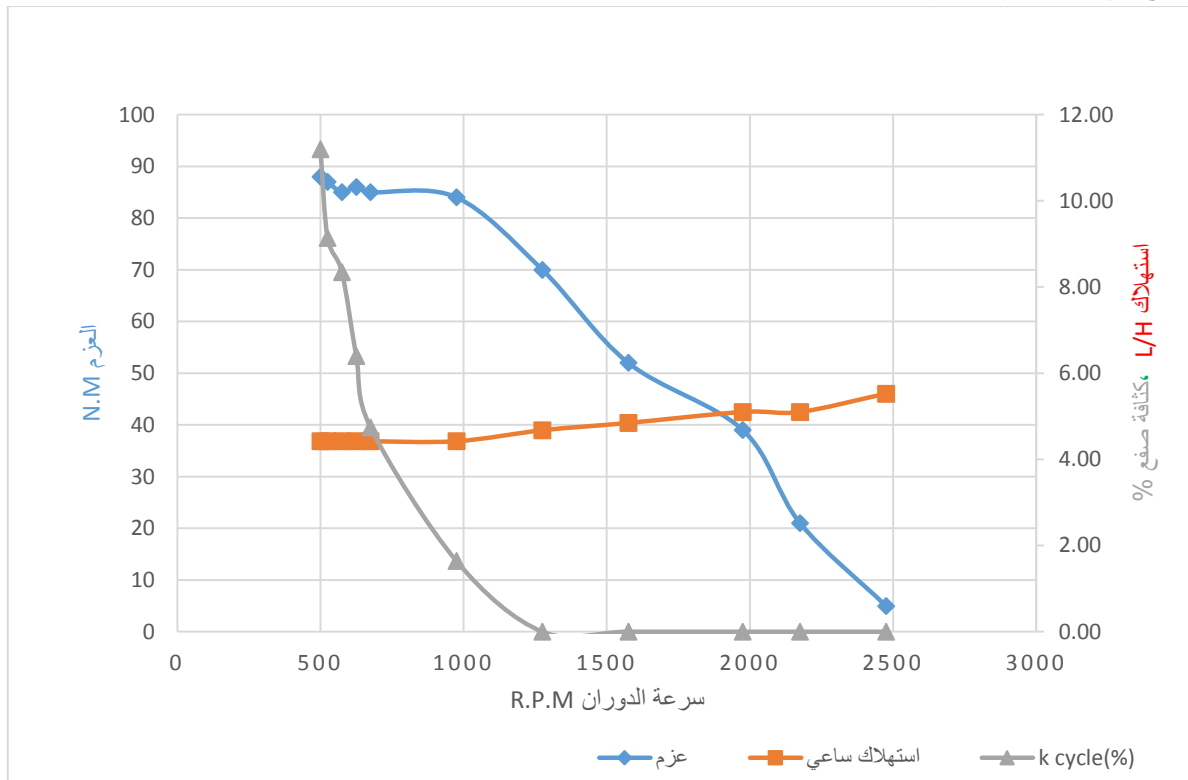
جدول (9-1) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 3%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-9).



شكل (9-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 3%

تم رسم منحنيات كثافة الصفح واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-10).



شكل (9-10) منحنيات كثافة الصفح واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 3%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (1200)r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران

مع ازدياد العزم ويبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%)=11\%$ @ (500) r.p.m

تبلغ أعلى قيمة للعزم [88 n.m] @ (500)r.p.m

يبلغ أدنى استهلاك للوقود [4.42 L/h] @ (975-500) r.p.m.

يعود سبب ظهور الصفع إلى تدهور عملية الاحتراق عند السرعات المنخفضة (أقل من 1200 r.p.m) ويعد

المجال السرعة الذي يظهر به مجال عمل محدود وغير هام .

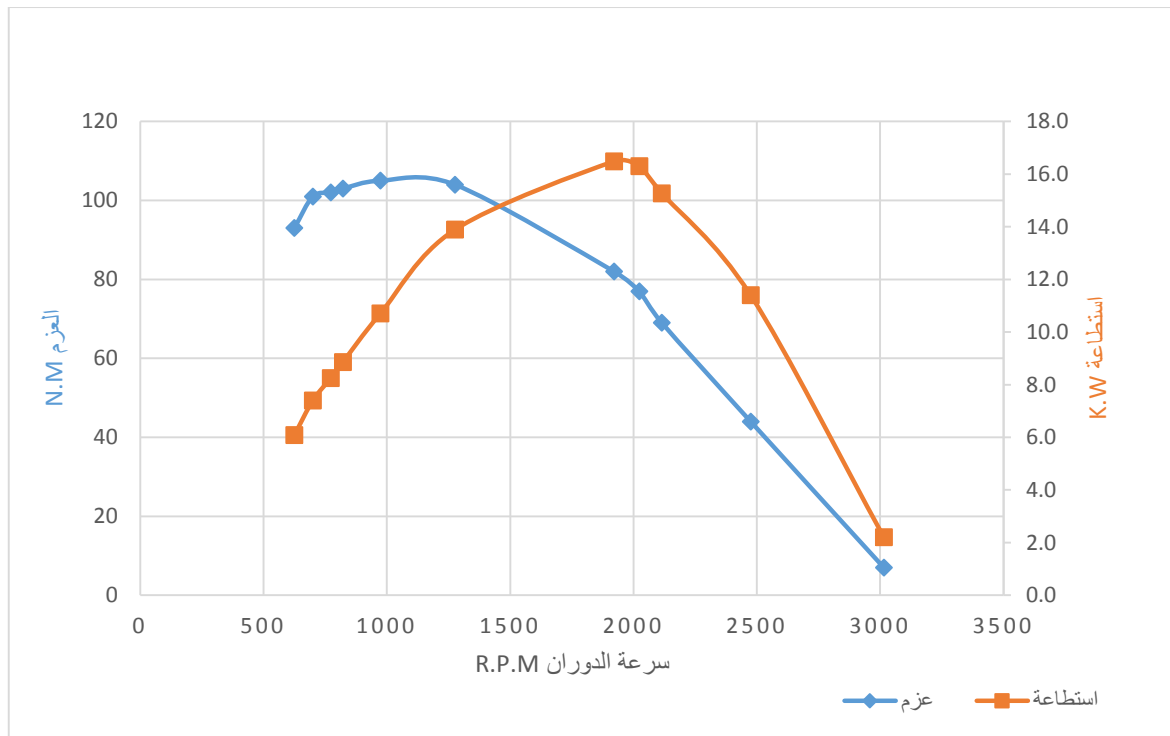
- نتائج الاختبار عند دعة 5% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-2).

دعة 5%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة KPERM	كثافة الصفع (%) Kcycle (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	625	93	0.12	6.1	4.51	34	10.88	14.7	41	68
	700	101	0.12	7.4	4.51	34	9.71	14.7	41	68
	773	102	-0.12	8.3	4.51	32	8.28	14.7	41	68
	822	103	-0.13	8.9	4.25	31	7.54	14.9	40	69
	974	105	-0.13	10.7	4.08	29	5.95	14.8	40	69
	1276	104	-0.21	13.9	4.08	29	4.55	14.9	40	69
	1921	82	-0.32	16.5	4.17	8	0.83	14.9	40	69
	2023	77	-0.33	16.3	4.25	0	0.00	14.9	40	69
	2115	69	-0.36	15.3	4.34	0	0.00	14.8	40	69
	2475	44	-0.47	11.4	5.10	0	0.00	15	40	69
	3015	7	-0.53	2.2	5.53	0	0.00	14.9	40	70

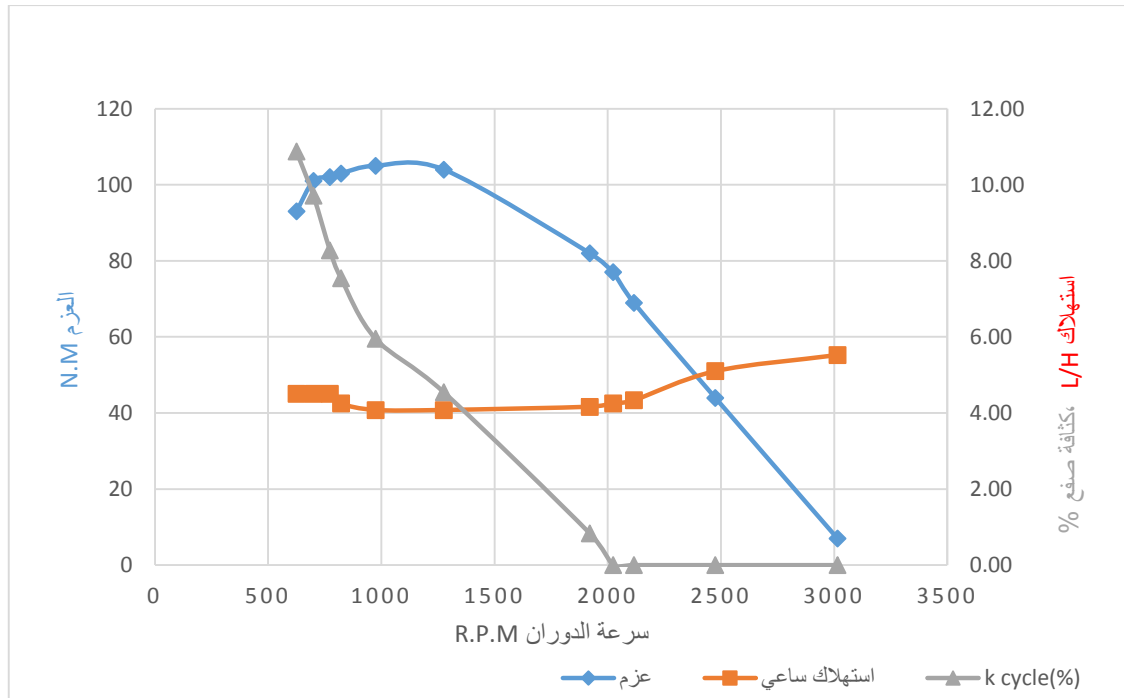
جدول (9-2) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 5%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-10).



شكل (10-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 5%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (11-9).



شكل (11-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 5%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (2000) r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران مع

ازدياد العزم ويبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 11\%$ @ (625) r.p.m.

تبلغ أعلى قيمة للعزم [105] n.m @ (974) r.p.m.

يبلغ أدنى استهلاك للوقود [4.08] L/h @ (1250-975) r.p.m.

يعود سبب ظهور الصفع إلى زيادة الحمل عند السرعات المنخفضة ويعد مجال السرعة الذي يظهر به r.p.m

(2000) مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

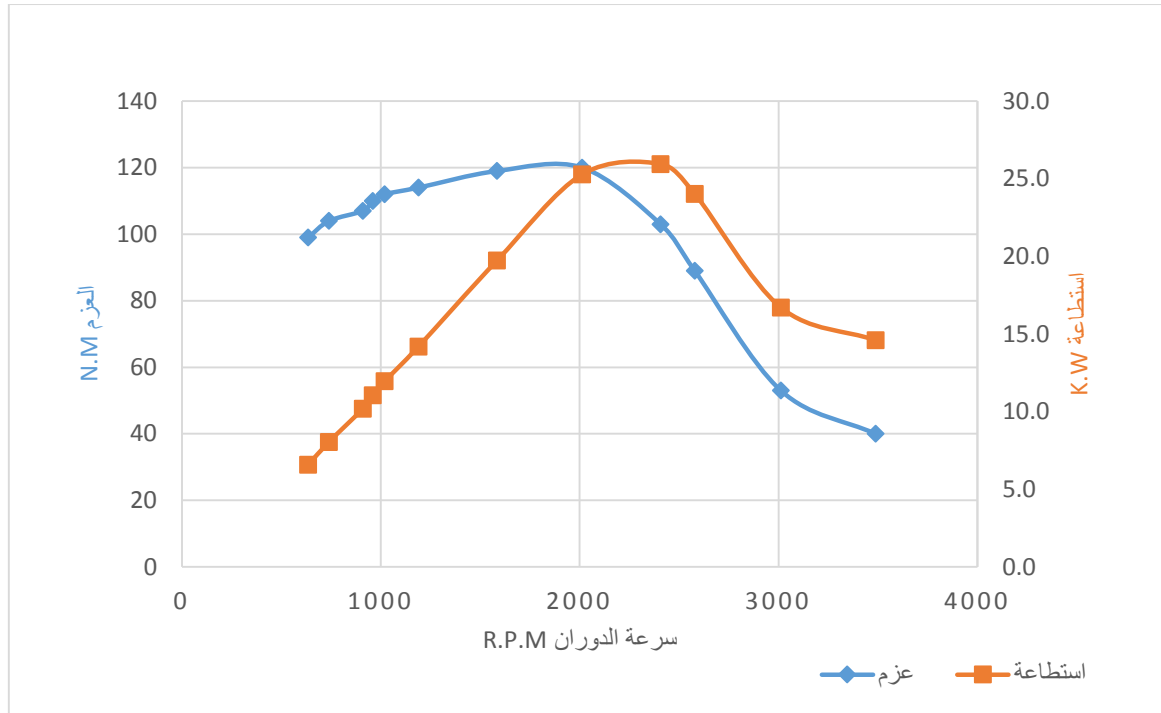
- نتائج الاختبار عند دعة 10% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (3-9).

دعة 10%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفع (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	635	99	0.02	6.6	4.34	34	10.71	15	43	69
	740	104	0.01	8.1	4.34	32	8.65	15	43	69
	910	107	0.08	10.2	4.23	30	6.59	14.9	43	70
	960	110	0.07	11.1	4.17	29	6.04	14.9	43	70
	1020	112	0	12.0	4.08	29	5.69	14.9	43	71
	1190	114	-0.07	14.2	4.00	28	4.71	14.9	43	72
	1585	119	-0.07	19.7	3.94	26	3.28	14.7	43	71
	2013	120	-0.1	25.3	4.00	24	2.38	14.7	42	70
	2407	103	-0.17	25.9	4.08	20	1.66	14.7	42	70
	2579	89	-0.26	24.0	4.25	16	1.24	14.7	42	70
	3012	53	-0.38	16.7	4.93	0	0.00	14.7	42	70
	3488	40	-0.39	14.6	5.53	0	0.00	14.7	42	70

جدول (3-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 10%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-12).



شكل (12-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 10%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-13).



شكل (13-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 10%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (3000)r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران وبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%)=11\%$ @ (700) r.p.m .

تبلغ أعلى قيمة للعزم [n.m] 120 @ (2000) r.p.m .

يبلغ أدنى استهلاك للوقود [L/h] 3.94 @ (1600) r.p.m .

يعود سبب ظهور الصفع إلى زيادة الحمل عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات المتوسطة ويعود مجال السرعة الذي يظهر به (3000)r.p.m ومادونها مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

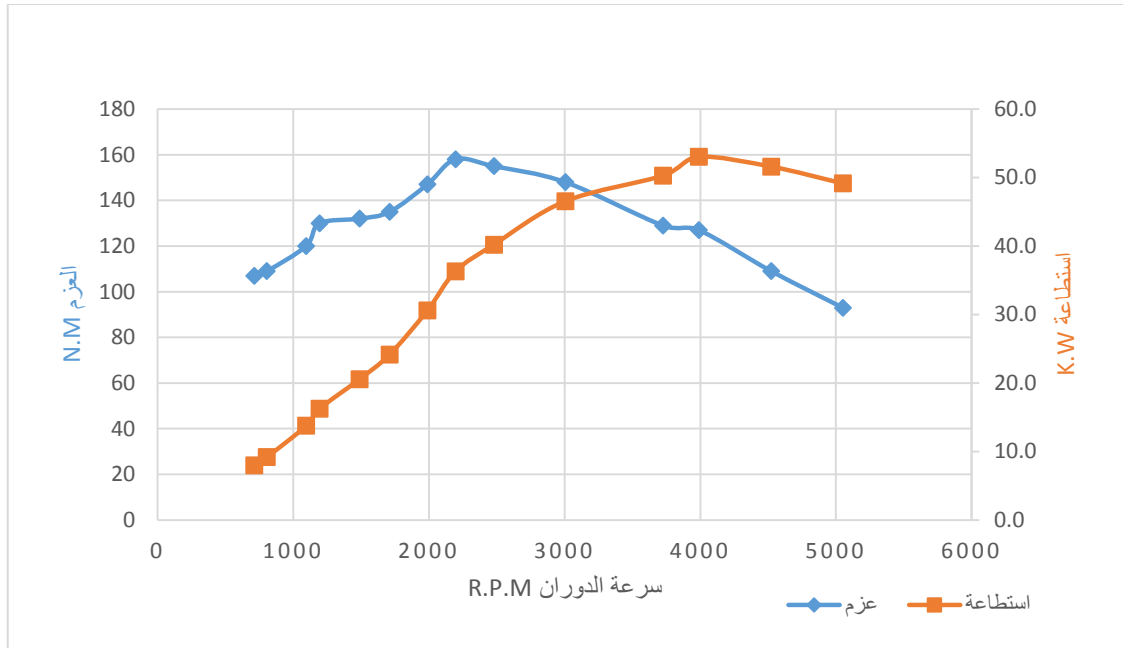
- نتائج الاختبار عند دعة 20% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (4-9).

دعة 20%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة KPERM	كثافة الصفع (%) Kcycle (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	713	107	0.08	8.0	4.34	24	6.73	14.7	47	70
	805	109	0.07	9.2	4.20	23	5.71	14.7	47	70
	1095	120	0.07	13.8	4.06	28	5.11	14.7	47	70
	1194	130	0.04	16.2	4.06	24	4.02	14.7	46	70
	1489	132	0.1	20.6	3.91	26	3.49	14.7	46	70
	1710	135	0.1	24.2	3.91	28	3.27	14.9	46	70
	1988	147	0.14	30.6	3.91	28	2.82	14.9	46	70
	2195	158	0.15	36.3	3.91	24	2.19	14.9	45	70
	2478	155	0.15	40.2	3.91	24	1.94	14.9	45	69
	3005	148	0.14	46.5	3.91	16	1.06	14.9	45	69
	3725	129	0.1	50.3	4.08	10	0.54	14.9	44	69
	3989	127	0.09	53.0	4.17	6	0.30	15	43	69
	4523	109	0.07	51.6	4.51	0	0.00	15	43	69
	5050	93	0.01	49.2	4.85	0	0.00	15	43	69

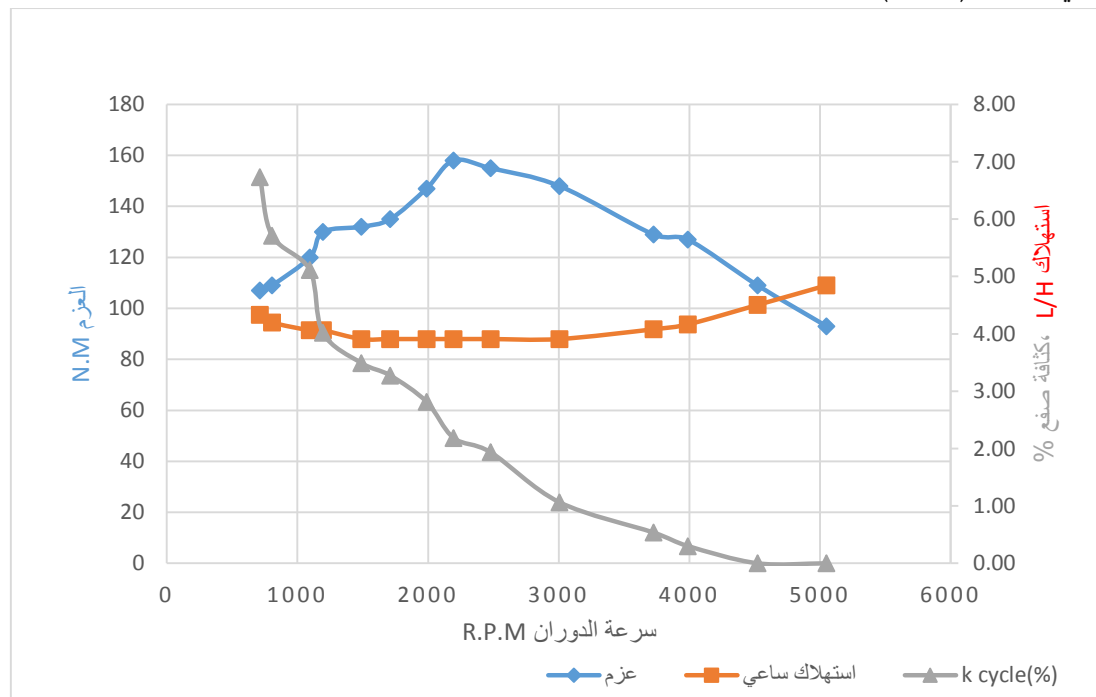
جدول (4-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 20%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-14).



شكل (9-14) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 20%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-15).



شكل (9-15) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 20%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4200) r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران

وبيلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 7\%$ @ (700) r.p.m.

تبلغ أعلى قيمة للعزم $158 [n.m]$ @ (2200) r.p.m.

يبلغ أدنى استهلاك للوقود 3.91[L/h] @ 3000-1500 r.p.m).

يعود سبب ظهور الصفح إلى زيادة الحمل عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات المتوسطة ويعد مجال السرعة الذي يظهر به 4200 r.p.m) مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك لذلك يجب التخلّص منه.

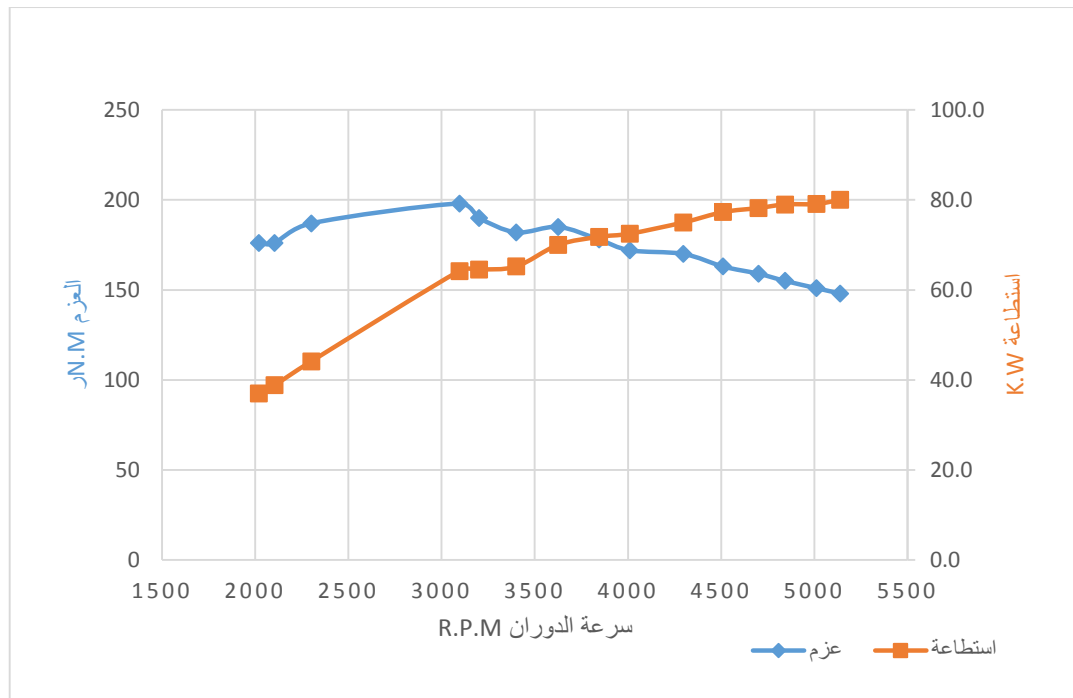
- نتائج الاختبار عند دعة 30% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-5).

دعة 30%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للوقود L/h	كثافة الصفح بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفح (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للوقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	2019	176	0.09	37.0	3.91	31	3.07	14.7	42	69
	2103	176	0.07	38.8	3.91	32	3.04	14.7	42	69
	2300	187	0.07	44.1	3.91	32	2.78	14.7	42	69
	3095	198	0.01	64.2	3.94	26	1.68	14.7	45	69
	3200	190	0.01	64.5	3.91	24	1.50	14.7	45	70
	3400	182	-0.01	65.2	3.91	22	1.29	14.7	45	70
	3625	185	-0.04	70.0	3.91	20	1.10	14.7	45	70
	3845	178	-0.06	71.8	3.94	16	0.83	14.7	46	70
	4010	172	-0.1	72.5	3.98	10	0.50	14.7	46	70
	4297	170	-0.1	75.0	4.03	6	0.28	14.7	46	71
	4510	163	-0.11	77.3	4.08	4	0.18	14.7	46	71
	4700	159	-0.13	78.2	4.17	0	0.00	14.7	46	70
	4843	155	-0.14	79.0	4.20	0	0.00	14.7	47	70
	5010	151	-0.16	79.1	4.25	0	0.00	14.7	47	69
	5137	148	-0.2	80.0	4.28	0	0.00	14.7	47	69

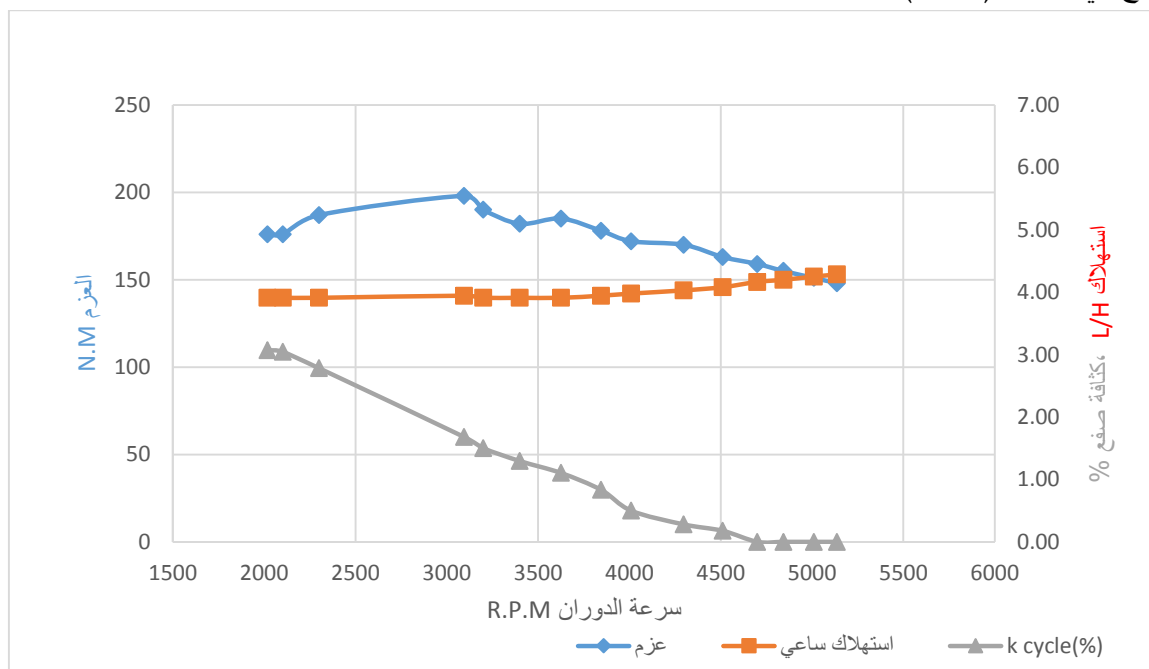
جدول (9-5) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 30%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-16).



شكل (9-16) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 30%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-17).



شكل (9-17) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 30%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4500)r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران وبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 3\%$ @ (2100) r.p.m.

تبلغ أعلى قيمة للعزم [n.m] 198 @ 3100 r.p.m).

يبلغ أدنى استهلاك للوقود [L/h] 3.91 @ 2000-3600 r.p.m).

يعود سبب ظهور الصفع إلى زيادة الحمل عند السرعات المنخفضة وإمتهاده إلى السرعات المتوسطة والعالية ويعد مجال السرعة الذي يظهر به 4500 r.p.m) مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

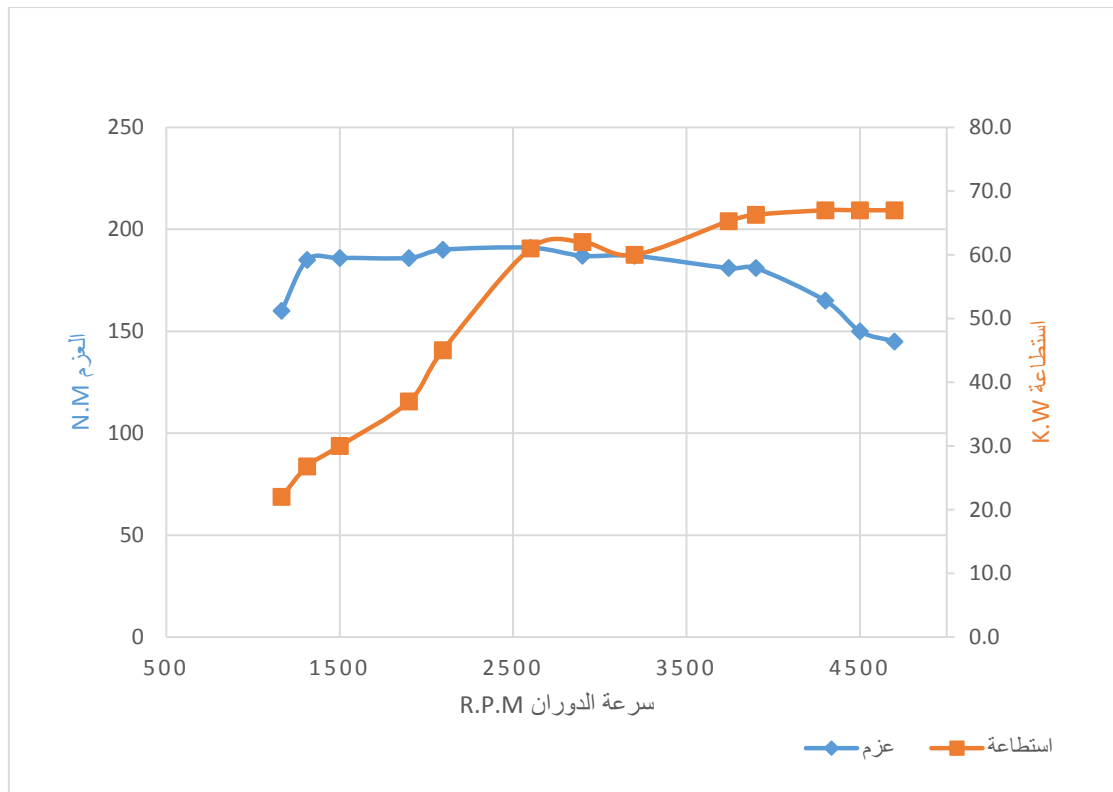
- نتائج الاختبار عند دعة 40% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-6).

دعة 40%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة KPERM	كثافة الصفع (%) Kcycle (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	1165	160	0.01	22.0	4.23	26	4.46	15	47	69
	1313	185	0.04	26.8	4.22	24	3.66	15	47	69
	1500	186	0.03	30.0	4.20	20	2.67	14.9	47	69
	1900	186	0.03	37.0	4.00	26	2.74	14.9	47	70
	2095	190	0.03	45.0	4.00	28	2.67	14.9	47	71
	2600	191	-0.02	61.0	3.94	32	2.46	14.9	47	72
	2900	187	-0.05	62.0	3.91	28	1.93	14.9	47	73
	3200	187	-0.08	60.0	3.91	24	1.50	14.9	48	72
	3744	181	-0.14	65.3	3.91	16	0.85	14.8	49	72
	3900	181	-0.15	66.3	3.96	14	0.72	14.8	49	72
	4300	165	-0.2	67.0	4.05	6	0.28	14.8	50	72
	4500	150	-0.23	67.0	4.11	0	0.00	14.8	50	72
	4700	145	-0.23	67.0	4.11	0	0.00	14.7	50	72

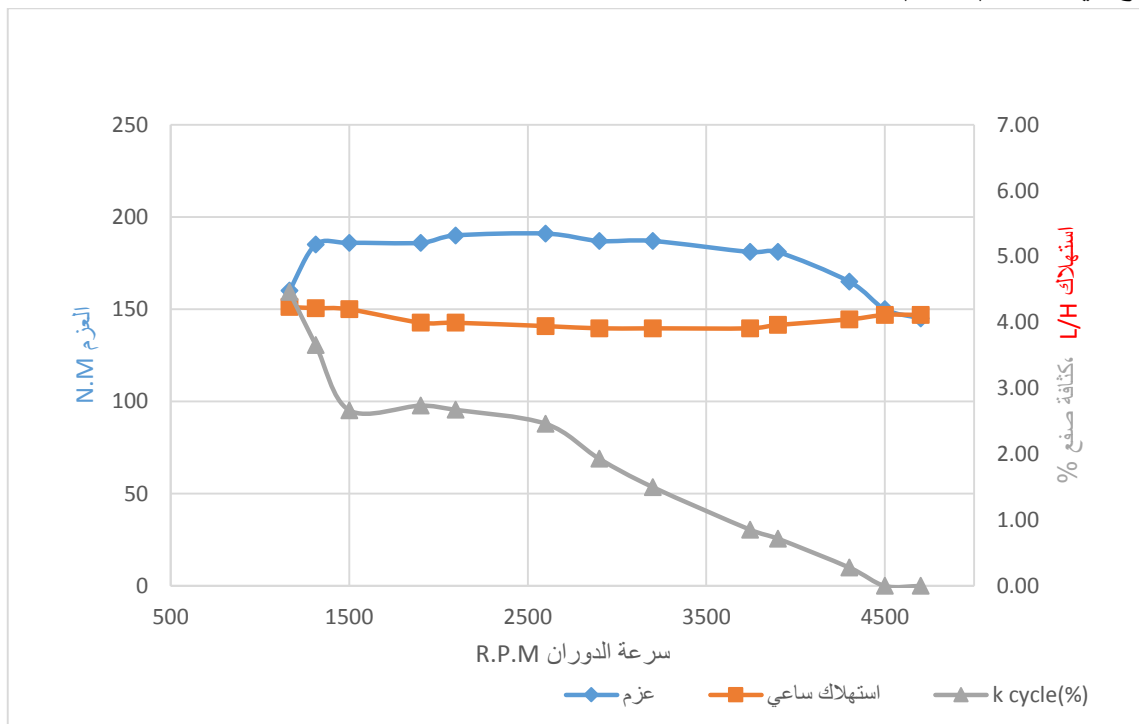
جدول (9-6) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 40%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-18).



شكل (9-18) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 40%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-19).



شكل (9-19) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 40%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4500)r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران ويبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%)=4\%$ @ (1165) r.p.m .
تبلغ أعلى قيمة للعزم [n.m] 191 @ (2600) r.p.m .
يبلغ أدنى استهلاك للوقود [L/h] 3.91 @ (3700-2600) r.p.m .
يعود سبب ظهور الصفع إلى زيادة الحمل عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات المتوسطة والعالية ويعد مجال السرعة الذي يظهر به (500-4500) مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

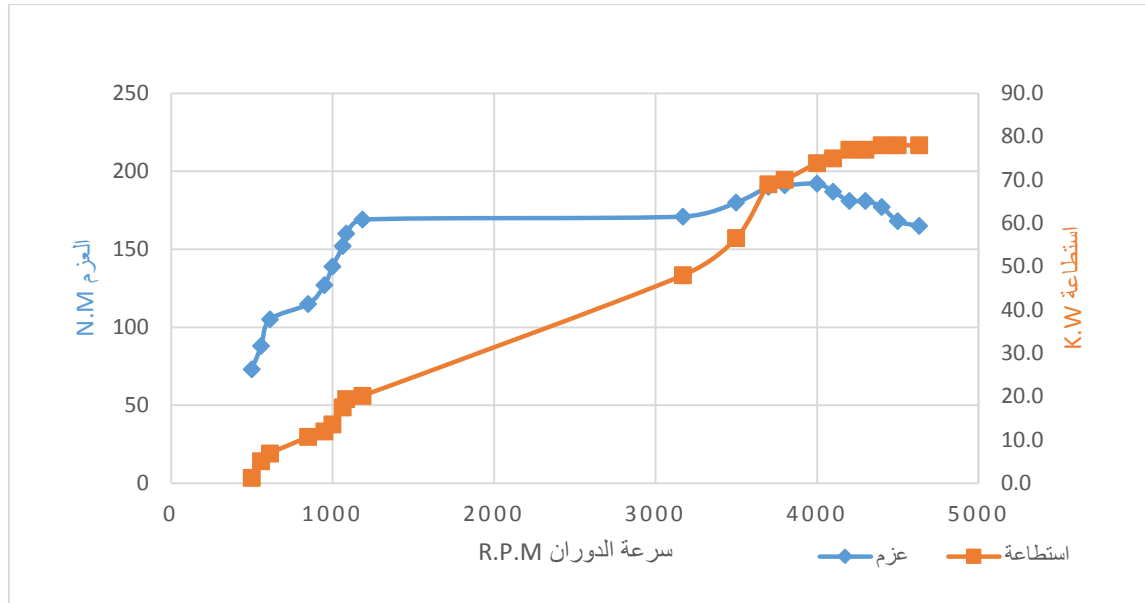
- نتائج الاختبار عند دعة 60% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (7-9).

دعة 60%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للووقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفع (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للووقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	500	73	-0.08	1.3	4.85	34	13.60	14.7	42	69
	558	88	-0.08	5.1	4.51	34	12.19	14.7	42	69
	613	105	-0.02	6.9	4.34	36	11.75	14.7	42	70
	850	115	0.01	10.7	4.25	32	7.53	14.7	42	70
	950	127	0.03	12.0	4.28	30	6.32	14.7	42	71
	1000	139	-0.03	13.6	4.28	30	6.00	14.7	42	71
	1063	152	0	17.5	4.25	26	4.89	14.7	42	72
	1085	160	0	19.4	4.25	26	4.79	14.7	42	72
	1185	169	0.02	20.2	4.25	26	4.39	14.7	42	73
	3170	171	0.05	48.0	4.25	24	1.51	14.7	42	73
	3500	180	0.03	56.6	3.91	24	1.37	14.8	43	72
	3700	190	0.02	69.0	3.91	20	1.08	14.8	43	72
	3800	191	0.01	70.0	3.91	16	0.84	14.8	43	72
	4000	192	-0.01	73.9	4.00	14	0.70	14.9	43	72
	4100	187	-0.03	75.0	4.00	12	0.59	14.9	43	72
	4200	181	-0.03	77.0	4.00	10	0.48	14.9	42	72
	4300	181	-0.04	77.0	4.05	8	0.37	14.9	42	72
	4400	177	-0.04	78.0	4.08	6	0.27	14.9	42	72
	4500	168	-0.04	78.0	4.08	4	0.18	14.9	42	72
	4633	165	0.14	78.0	4.17	0	0.00	15	42	72

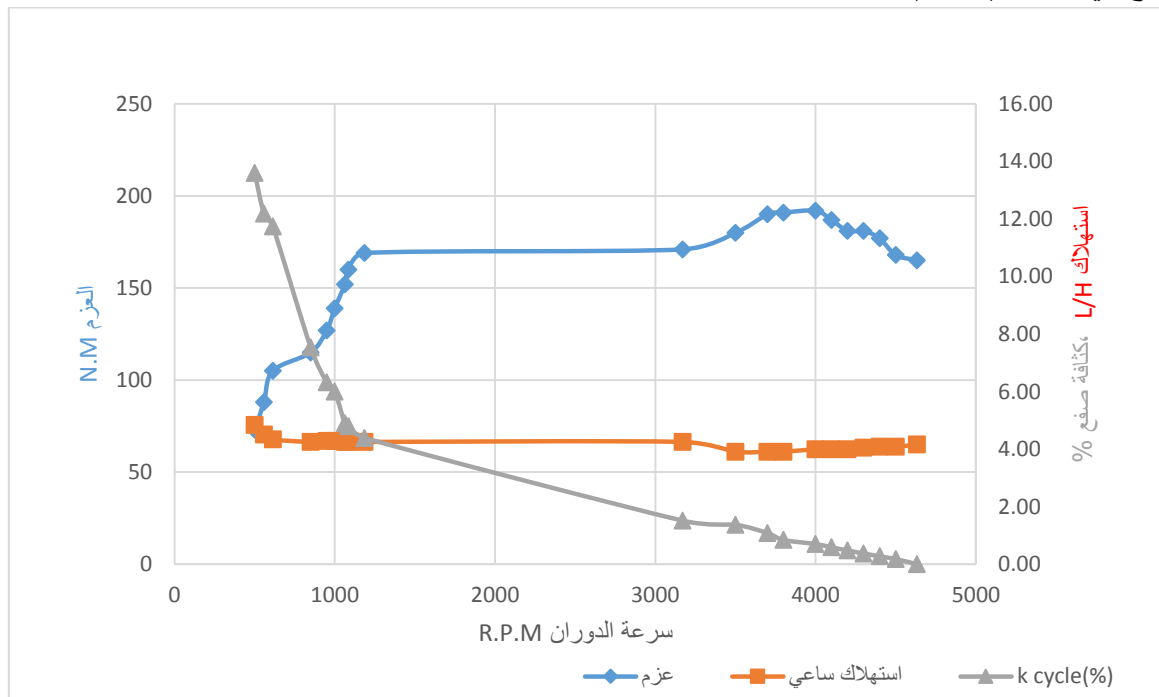
جدول (7-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 60%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-20).



شكل (20-9) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 60%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-21).



شكل (21-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع سرعة الدوران لدعسة 60%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4600) r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران

ويبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 14\%$ @ (500) r.p.m.

تبلغ أعلى قيمة للعزم $192 [n.m]$ @ (4000) r.p.m.

يبلغ أدنى استهلاك للوقود 3.91[L/h] @ 3800-3500) r.p.m.

يعود سبب ظهور الصفح إلى زيادة الحمل بشكل كبير عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات المتوسطة والعالية وبعد مجال السرعة الذي يظهر به 4600)r.p.m (ومادونها مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك وحدوثه ضمن هذا المجال (العزوم الكبيرة) يمكن أن يسبب أضرار كبيرة للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

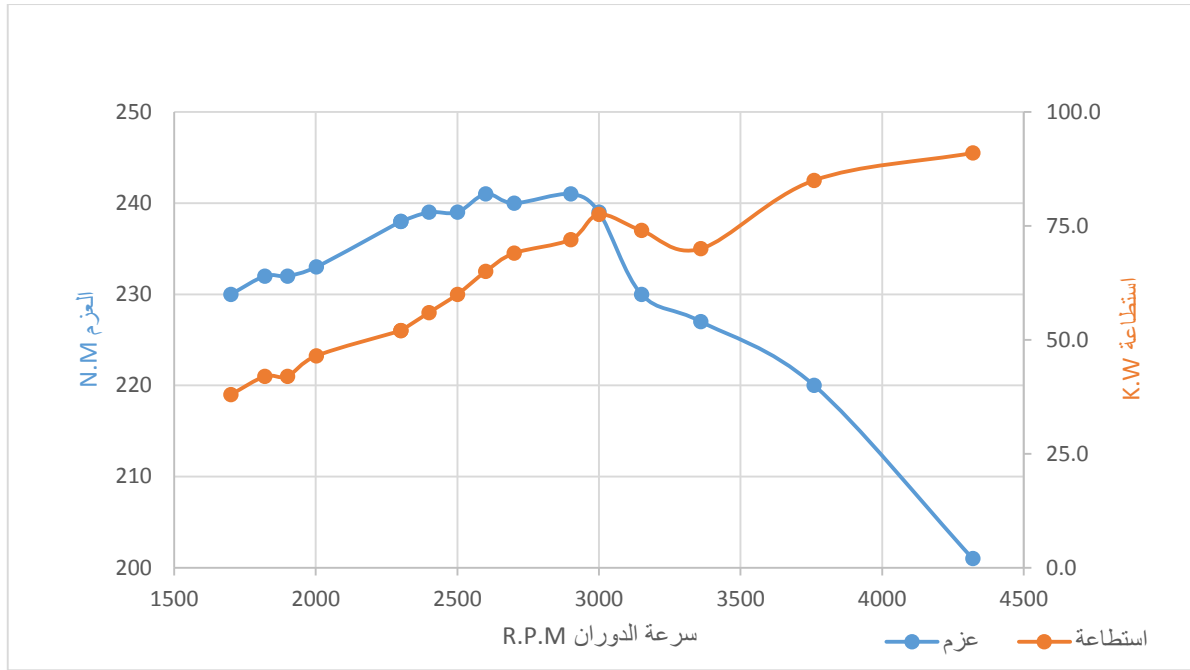
- نتائج الاختبار عند دعة 80% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (8-9).

دعة 80%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفح بالدقيقة KPERM	كثافة الصفح (%) Kcycle (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	1700	230	0.12	38.0	4.68	22	2.59	14.7	42	73
	1820	232	0.12	42.0	4.68	20	2.50	14.7	45	73
	1900	232	0.12	42.0	4.68	24	2.53	14.7	46	73
	2002	233	0.14	46.5	4.68	24	2.40	14.7	47	73
	2300	238	0.14	52.0	4.68	24	2.09	14.7	47	73
	2300	238	0.14	52.0	4.68	24	2.09	14.7	47	73
	2400	239	0.14	56.0	4.68	24	2.00	14.7	47	73
	2500	239	0.14	60.0	4.68	24	1.92	14.7	47	73
	2600	241	0.14	65.0	4.68	24	1.85	14.7	48	73
	2700	240	0.14	69.0	4.68	24	1.78	14.7	48	73
	2900	241	0.14	72.0	4.68	24	1.66	14.7	48	73
	3000	239	0.14	77.5	4.68	22	1.47	14.7	48	73
	3150	230	0.14	74.0	4.51	20	1.27	14.7	48	73
	3360	227	0.14	70.0	4.51	16	0.95	14.7	48	72
	3760	220	0.13	85.0	4.42	12	0.64	14.7	48	72
	4320	201	0.06	91.0	4.25	8	0.37	14.7	48	71

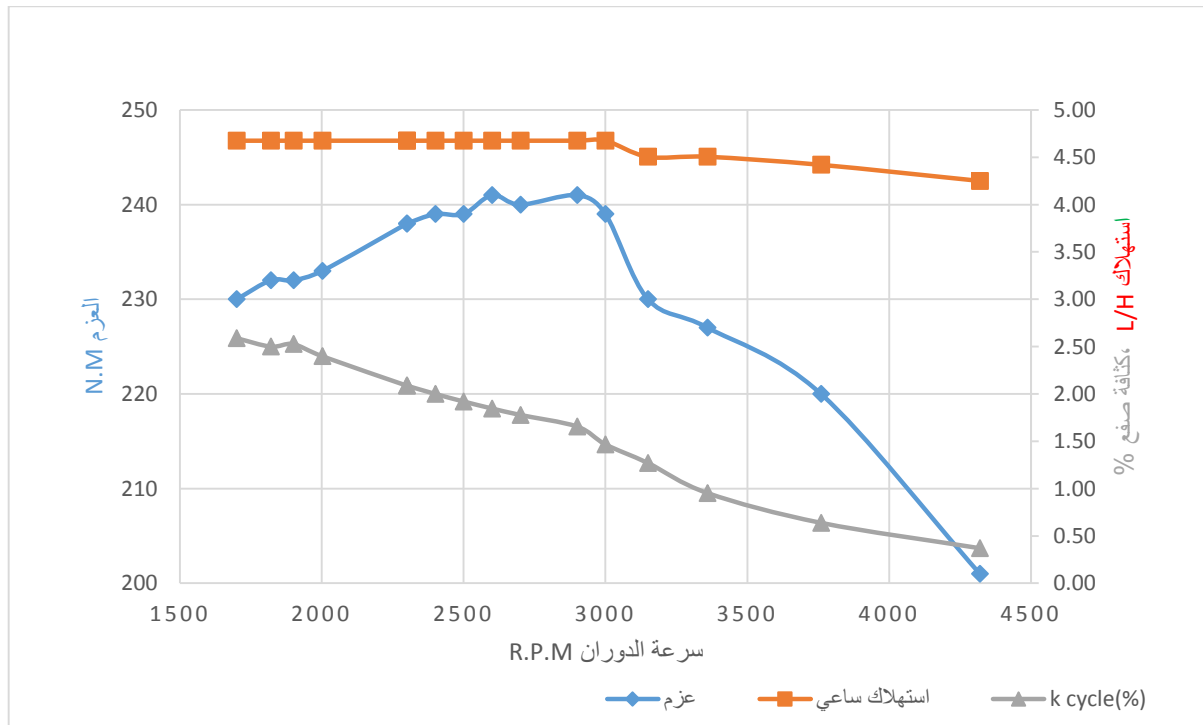
جدول (8-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 80%

تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-22).



شكل (9-22) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعسة 80%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-23).



شكل (9-23) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 80%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4500)r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران

ويبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 3\%$ @ (1700) r.p.m.

تبلغ أعلى قيمة للعزم 241 [n.m] @ r.p.m (2900).

يبلغ أدنى استهلاك للوقود 4.25 [L/h] @ r.p.m (4300).

يعود سبب ظهور الصفح إلى زيادة الحمل بشكل كبير عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات

المتوسطة والعالية ويفسر انخفاض كثافته مقارنةً بدعسة 60 % بتحسين عملية التبادل الغازي بسبب ضغط

الشاحن المرتفع وانخفاض غازات العادم المتبقية، ويعد مجال السرعة الذي يظهر به r.p.m (4500) مجال

عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك وحدوثه ضمن هذا المجال (العزوم الكبيرة) يمكن أن يسبب

أضرار كبيرة للمحرك لذلك يجب التخلص منه.

- نتائج الاختبار عند دعسة 100% ومناقشتها

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-9).

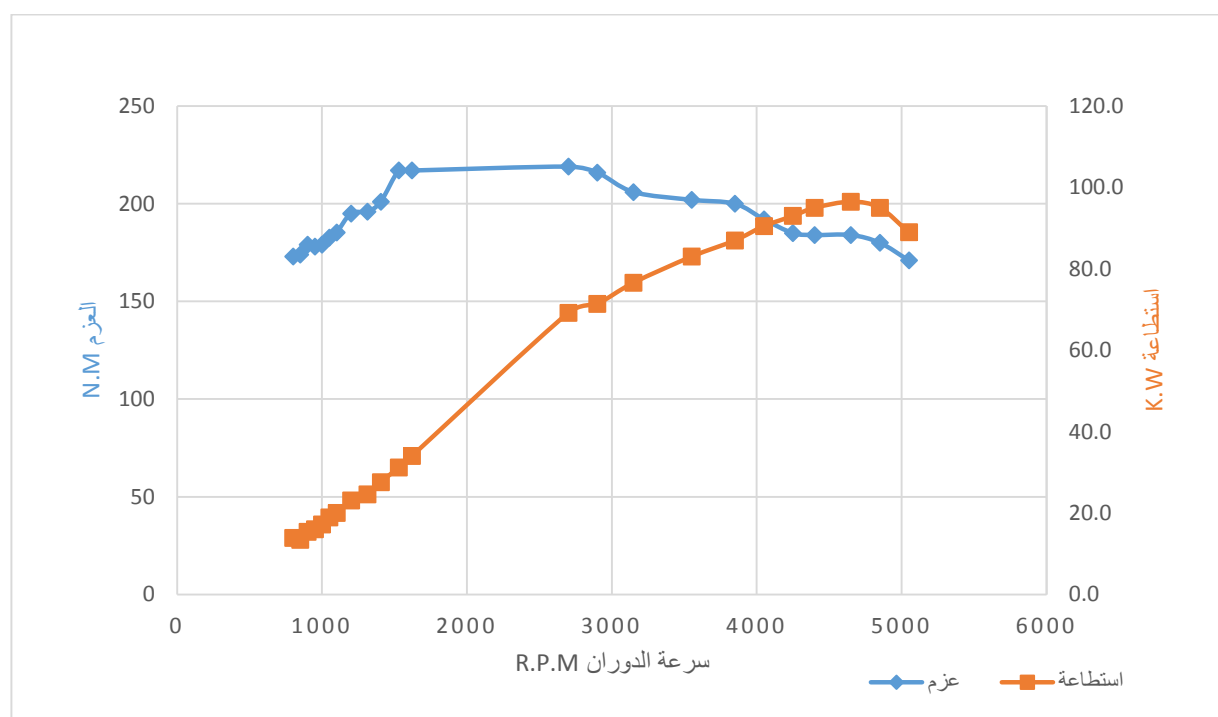
دعسة 100%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للقود L/h	كثافة الصفح بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفح (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	800	173	-0.03	13.9	4.59	28	7.00	14.7	41	69
	850	174	-0.01	13.4	4.56	28	6.59	14.7	41	69
	900	179	0	15.4	4.56	28	6.22	14.7	41	69
	950	178	0.01	16.0	4.56	28	5.89	14.7	41	69
	1000	179	0.02	17.2	4.54	26	5.20	14.7	41	69
	1050	182.6	0.01	18.9	4.51	26	4.95	14.7	40	69
	1100	185.2	0.04	20.0	4.51	24	4.36	14.7	40	69
	1200	195	0.07	23.1	4.51	24	4.00	14.7	40	70
	1313	196	0.1	24.6	4.51	24	3.66	14.8	40	70
	1405	201	0.1	27.6	4.51	24	3.42	14.9	40	70
	1530	217	0.1	31.2	4.51	22	2.88	15	40	71
	1620	217	0.1	34.0	4.42	22	2.72	14.9	40	71
	2700	219	0.16	69.2	4.34	28	2.07	14.8	40	71
	2900	216	0.16	71.4	4.25	28	1.93	14.7	40	71
	3150	206	0.15	76.6	4.08	25	1.59	14.8	40	71
	3550	202	0.14	83.0	4.06	22	1.24	14.7	43	70
	3850	200	0.14	87.0	4.06	20	1.04	14.7	43	70
	4050	192	0.13	90.5	4.06	16	0.79	14.7	44	70

70	44	14.7	0.47	10	4.06	93.0	0.12	185	4250
70	44	14.7	0.27	6	4.13	95.0	0.1	184	4400
70	4	14.7	0.17	4	4.23	96.5	0.07	184	4650
70	44	14.7	0.00	0	4.25	95.0	0.06	180	4850
70	44	14.7	0.00	0	4.25	89.0	0.01	171	5050

جدول (9-9) نتائج المرحلة الأولى عند دعة 100%

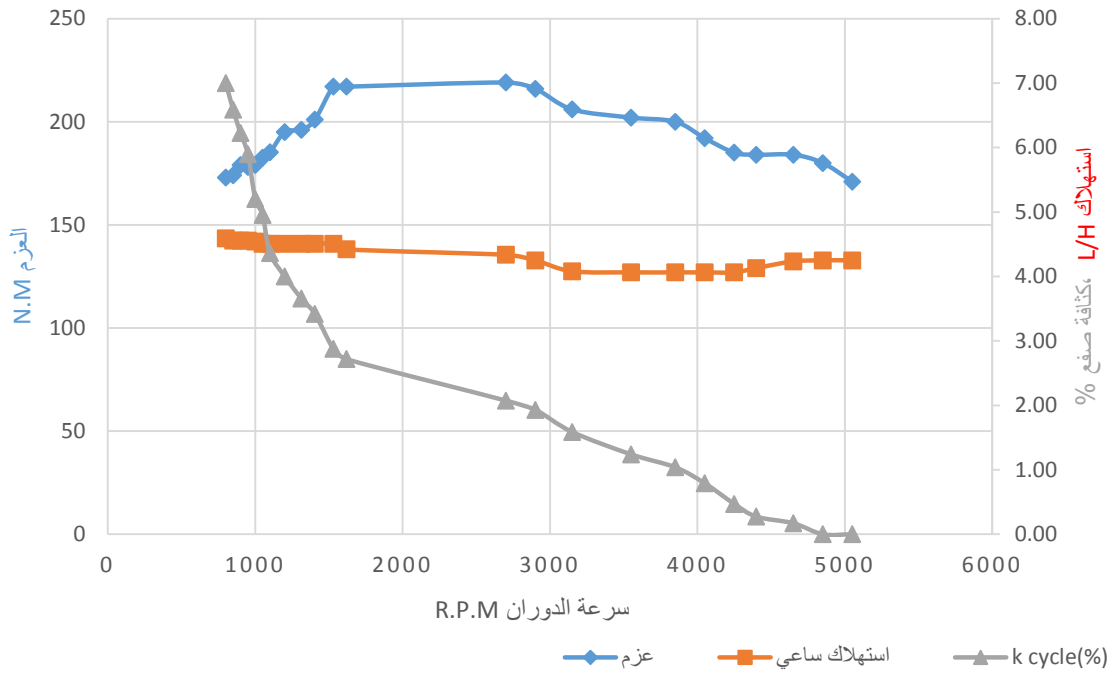
تم رسم منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في

الشكل (9-24).



شكل (9-24) منحنيات العزم والاستطاعة مع سرعة الدوران لدعة 100%

تم رسم منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران باستخدام برنامج EXCEL كما هو واضح في الشكل (9-25).



شكل (25-9) منحنيات كثافة الصفع واستهلاك الوقود مع العزم وسرعة الدوران لدعسة 100%

نلاحظ ظهور الصفع في مجال السرعة (4800) r.p.m ومادونها وتزداد كثافته كلما انخفضت سرعة الدوران وبلغ أعلى قيمة له $k_{cycle}(\%) = 7\%$ @ (800) r.p.m. تبلغ أعلى قيمة للعزم $219 [n.m]$ @ (2700) r.p.m. يبلغ أدنى استهلاك للوقود $4.06 [L/h]$ @ (3500-4250) r.p.m. يعود سبب ظهور الصفع إلى زيادة الحمل بشكل كبير عند السرعات المنخفضة وإمتداده إلى السرعات المتوسطة والعالية ويفسر انخفاض كثافته مقارنةً بدعسة 60 % بتحسين عملية التبادل الغازي بسبب ضغط الشاحن المرتفع وانخفاض غازات العادم المتبقية ويعد مجال السرعة الذي يظهر به (4800) r.p.m ومادونها مجال عمل يحتوي على نقاط تشغيل مهمة للمحرك وحدوثه ضمن هذا المجال (العزم الكبيرة) يمكن أن يسبب أضرار كبيرة للمحرك.

9-3-1 مناقشة النتائج من النقاط المسجلة عند كافة الدعسات الجزئية ومن المخططات الناتجة

طريقة التحميل أثناء الاختبار على الدعسات الجزئية 3%، 5%، 10%، 20% على الشكل الآتي:
حيث يتم بالبداية فتح دعسة الخائق لتصبح عند نسبة الدعسة المطلوبة يرافق ذلك زيادة بسرعة دوران المحرك ثم يتم تحميل المحرك بشكل تدريجي ليزداد الحمل وتنخفض السرعة وتصل إلى السرعة الدنيا n_{min} .
طريقة التحميل على الدعسات 30%، 40%، 60%، 80%، 100% على الشكل الآتي:
تحميل المحرك بشكل تدريجي ليزداد الحمل وتنخفض السرعة وتصل إلى n_{min} ، بعد ذلك يخفف الحمل بشكل تدريجي ويرافقه زيادة في سرعة الدوران ثم تعود لإغلاق الدعسة عند الوصول للسرعة الاسمية n_{nom} .

يرتبط الصفح بشكل كبير بالضغط داخل مجمع السحب والعزم الناتج من المحرك وسرعة الدوران بالإضافة لدرجة حرارة الهواء.

من مناطق كثافة الصفح المسجلة عند كافة الدعسات الجزئية وعند عزم وسرعة دوران معين تبين ما يلي:

عند العزوم الكبيرة وسرعات دوران عالية ومتوسطة تكون كثافة الصفح شبه معدومة.

عند العزوم الكبيرة وسرعات دوران منخفضة تكون كثافة الصفح عالية.

عند العزوم المتوسطة وسرعات دوران عالية تكون كثافة الصفح شبه معدومة.

عند العزوم المتوسطة وسرعات دوران متوسطة ومنخفضة تكون كثافة الصفح عالية.

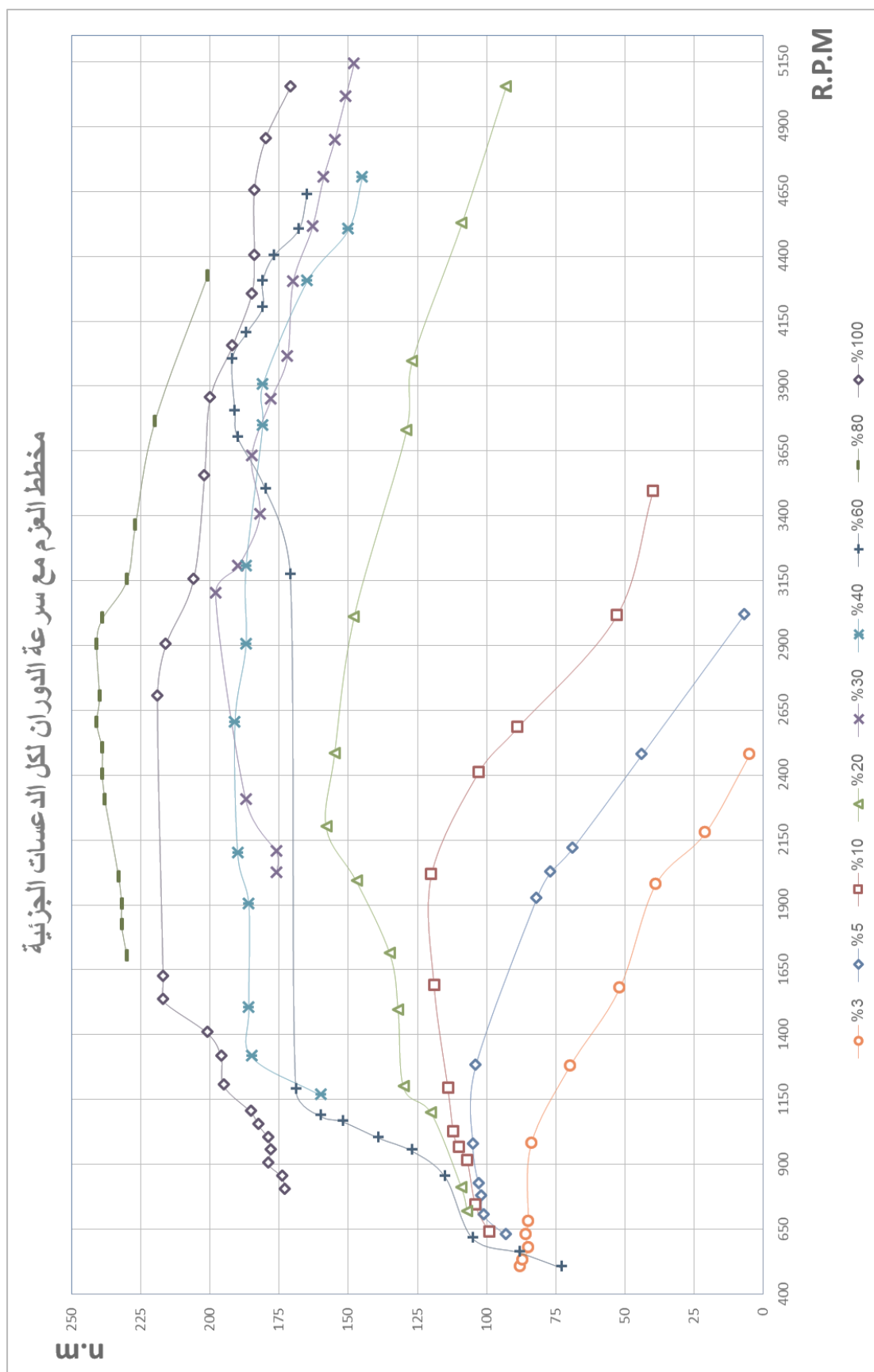
عند العزوم المنخفضة وسرعات متوسطة وعالية ينعدم الصفح.

عند العزوم المنخفضة وسرعات دوران منخفضة تكون كثافة الصفح عالية.

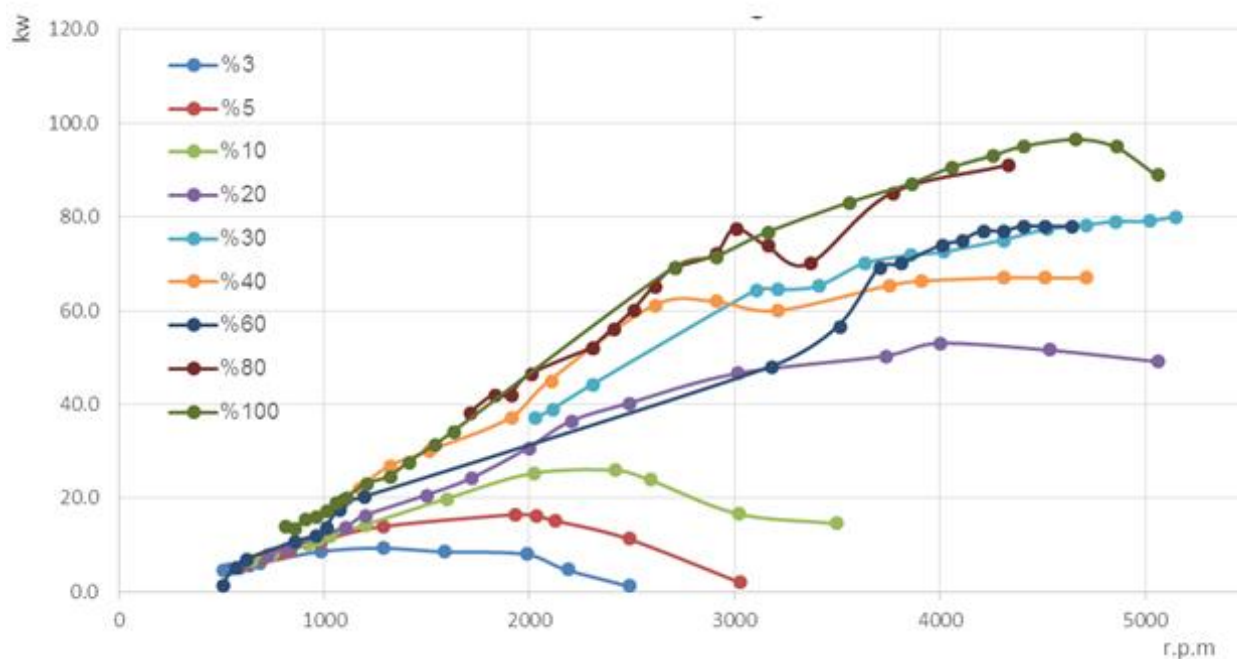
يمكن تلخيص مناطق توزع الصفح بمخطط توزع مساحات الصفح على مخطط العزم مع سرعة الدوران.

9-3-2- رسم المخططات لكل الدعسات الجزئية على برنامج Excel وفق الآتي

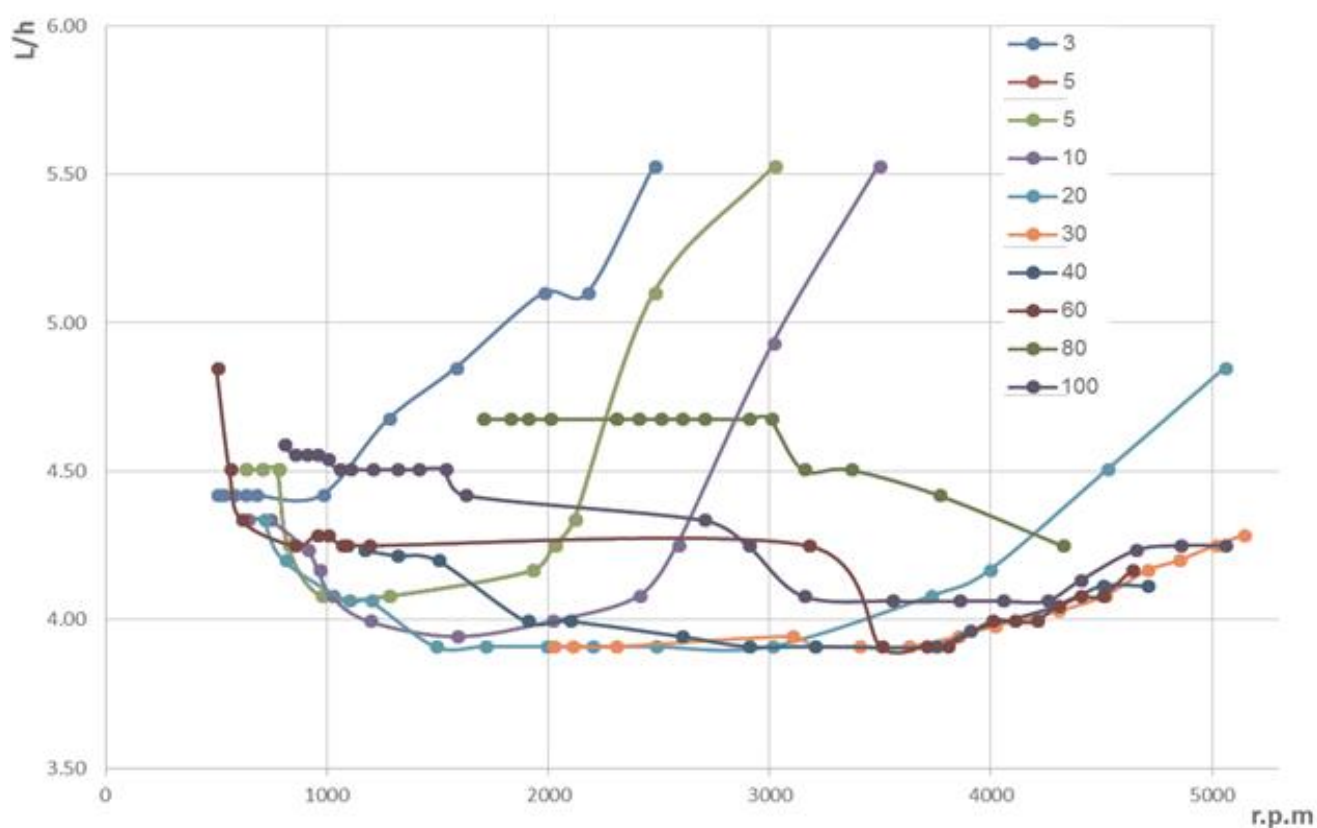
- العزم مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية الشكل (9-26).
- الاستطاعة مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية الشكل (9-27).
- استهلاك الوقود مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية الشكل (9-28).
- كثافة الصفح بالنسبة المئوية $K_{cycle}(\%)$ مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية الشكل (9-30)



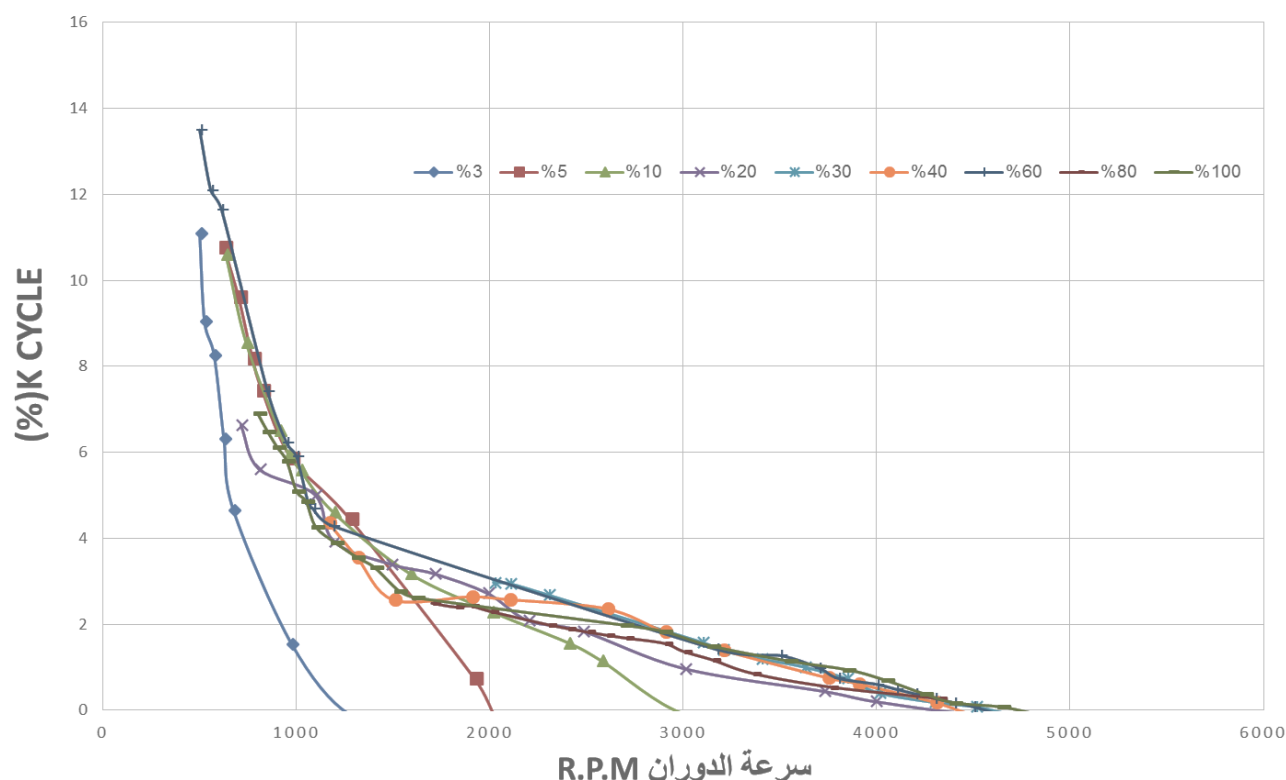
شكل (26-9) مخطط العزم مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية



شكل (27-9) مخطط الاستطاعة مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية



شكل (28-9) مخطط استهلاك الوقود لكافة الدعسات الجزئية مع سرعة الدوران



الشكل (9-30) كثافة الصفح بالنسبة المئوية Kcycle(%) مع سرعة الدوران لكافة الدعسات الجزئية

9-4- المرحلة الثانية الدراسة الإحصائية للنتائج السابقة

اجرية دراسة إحصائية على برنامج SPSS الموضح بالشكل (9-31):

	percent	r.p.m	N.M	bar	km	kc	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	3.00	500.00	88.00	.90	28.00	8.90										
2	3.00	525.00	87.00	.89	24.00	10.90										
3	3.00	575.00	85.00	.85	24.00	12.00										
4	3.00	625.00	86.00	.84	20.00	15.60										
5	3.00	675.00	85.00	.73	16.00	21.10										
6	3.00	975.00	84.00	.77	8.00	60.90										
7	3.00	1275.00	70.00	.69	.00	637.50										
8	3.00	1575.00	52.00	.57	.00	787.50										
9	3.00	1975.00	39.00	.54	.00	987.50										
10	3.00	2175.00	21.00	.45	.00	1087.50										
11	3.00	2475.00	5.00	.40	.00	1237.50										
12	5.00	625.00	93.00	1.12	34.00	9.20										
13	5.00	700.00	101.00	1.12	34.00	10.30										
14	5.00	773.00	102.00	.88	32.00	12.10										
15	5.00	822.00	103.00	.87	31.00	13.30										
16	5.00	974.00	105.00	.87	29.00	16.80										
17	5.00	1276.00	104.00	.79	29.00	22.00										
18	5.00	1921.00	82.00	.68	8.00	120.10										
19	5.00	2023.00	77.00	.67	.00	1011.50										
20	5.00	2115.00	69.00	.64	.00	1057.50										
21	5.00	2475.00	44.00	.53	.00	1237.50										
22	5.00	3015.00	7.00	.47	.00	1507.50										
23	10.00	635.00	99.00	1.02	34.00	9.30										

الشكل (9-31) البرنامج الإحصائي المتخصص spss

9-4-1- توضيح بعض المصطلحات الإحصائية

قبل عرض نتائج التحليل يبين الجدول (9-10) توضيح بعض المصطلحات الإحصائية

المصطلح باللغة الإنكليزية	ترجمة المصطلح	شرح وتعريف المصطلح
Regression Statistics	القيم الإحصائية للانحدار	
Multiple R	R متعدد	
R Square	مربع R R^2	وهو رقم يتراوح بين صفر والواحد الصحيح وهذا الرقم يبين نسبة التغير أي ببساطة هو مؤشر لمدى الانحدار لقيمة المتغير الذي نحاول التنبؤ به. وكلما كانت قيمته تقترب من الواحد هذا يعني أن نموذج تحليل الانحدار قوي جدا ويمكننا التنبؤ بالقيم بشكل قريب جدا من القيم الصحيحة. أما لو كانت قيمة هذا الرقم هي قريبة من الصفر وأقل مثلا من 0.3 عندئذ يجب علينا إهمال المعادلة التي حصلنا عليها من هذا التحليل
Adjusted R Square	مربع R المعدل	
Standard Error	الخطأ القياسي	الخطأ القياسي يقيس تشتت القيم عن خط الانحدار والحصول على قيمة صغيرة لهذا المؤشر تدل على صغر الأخطاء العشوائية وبالتالي جودة تمثيل البيانات
Observations	الملاحظات	
Regression	الانحدار الخطي	
Residual	المتبقي	
Total	الكلي	
Df	درجة الحرية	لها علاقة بعدد القراءات
Coefficients	معاملات	ي تبين قيمة التقاطع مع المحور الرأسي (لخواص) ومعاملات المتغيرات (البارامترات)
Significance F	F حسابية	
F	F الجداول	
Sig	الأهمية	هي قيمة تظهر إذا كان العامل المقابل لها في نفس الصف هو عامل مؤثر فعلا أم لا. إذا كانت قيمة Sig أقل من 0.05 فإن العامل المقابل لها هو عامل مؤثر في المتغير الذي نحاول دراسة تغيره ويعد العامل مؤثرا حتى قيمة تساوي 0.1 ولكن إن ازدادت عن 0.1 فإن هذا العامل يجب استبعاده من النموذج فهو غير مؤثر.

جدول (9-10) توضيح بعض المصطلحات الإحصائية

9-4-2- نتائج التحليل الإحصائي ومناقشتها

9-4-2-1- تم إيجاد معادلة لتحديد كثافة الصفع ($K_{perminute}$) مع نقاط تشغيل المحرك حيث تربط كثافة ظهور الصفع مع سرعة الدوران وعزم المحرك ومقدار الدعسة الجزئية وفق العلاقة التالية:

$$K_{\text{perminute}} = 18.058 - 0.068(\%) - 0.007(\text{R.P.M}) + 0.133(\text{T}) \quad (1-9)$$

يبين الجدول (9-11) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعسة:

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.849 ^a	.720	.714	5.89183

a. Predictors: (Constant), %, speed, tourq

b. Dependent Variable: knocking

جدول (9-11) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعسة

نلاحظ أن قيمة $R_{\text{square}} = 0.72$ وهي قيمة مقبولة تدل على صحة المعادلة.

وقيمة الخطأ المقيس 5.89 بأعلى حالات له وتعتبر قيمة مقبولة.

- يبين الجدول (9-12) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعسة:

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	18.058	1.682		10.733	.000
1 speed	-.007	.000	-.852	-17.499	.000
1 tourq	.133	.015	.666	8.985	.000
1 %	-.068	.023	-.211	-2.937	.004

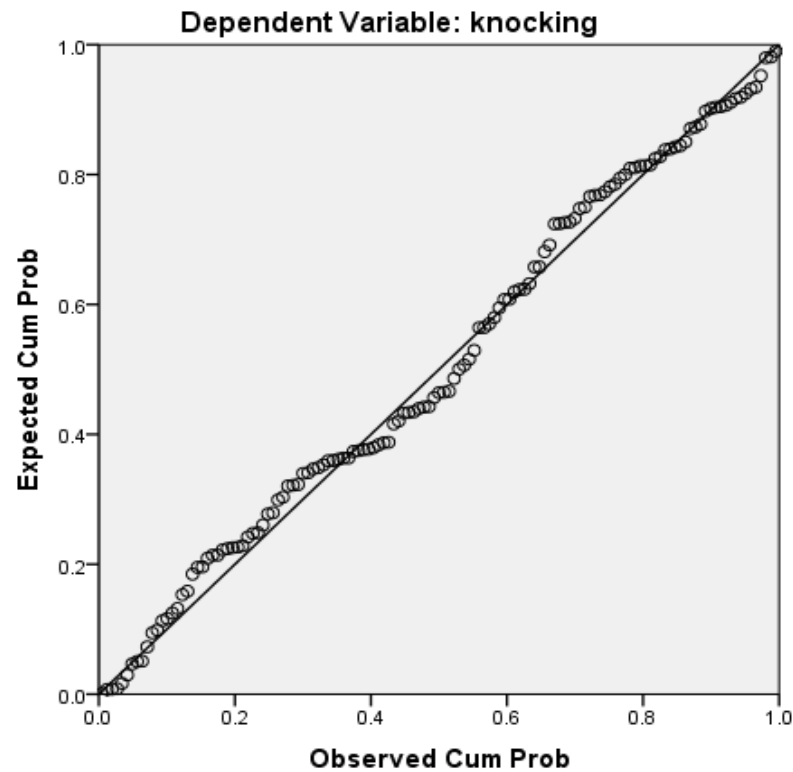
a. Dependent Variable: knocking

الجدول (9-12) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفع بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعسة

نلاحظ من الجدول السابق أن قيمة Sig للمعاملات لكل من السرعة والعزم والدعسة هي أقل من 0.05 بالتالي هي ذات أهمية كبيرة وارتباط كبير مع الصفع.

- مخطط كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) المقاس والمتوقع بدلالة العزم والسرعة ومقدار الدعسة: يبين الشكل (9-32) مخطط القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة المتوقعة من المعادلة.

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



الشكل (9-32) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة المتوقعة من المعادلة

9-4-2-2- تم إيجاد معادلة لتحديد العزم (عزم خرج المحرك) مع نقاط تشغيل المحرك بدلالة سرعة

الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعسة وفق العلاقة التالية

$$T = -62.256 + 0.7011(\%) + 0.009(R.P.M) + 165.72(BAR) \quad (2-8)$$

- يبين الجدول (9-13) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعسة:

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.880 ^a	.774	.769	26.52852

a. Predictors: (Constant), %, speed, bar adjust

الجدول (9-13) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعسة

نلاحظ أن قيمة $R^2 = 0.774$ وهي قيمة مقبولة تدل على صحة المعادلة. وقيمة الخطأ المعياري 26.52 بأعلى حالات له وتعتبر قيمة مقبولة.

يبين الجدول (9-14) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعة:

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-62.256	15.765		-3.949	.000
speed	.009	.002	.225	5.260	.000
bar adjust	165.725	17.038	.498	9.727	.000
%	.701	.084	.436	8.368	.000

a. Dependent Variable: tourq

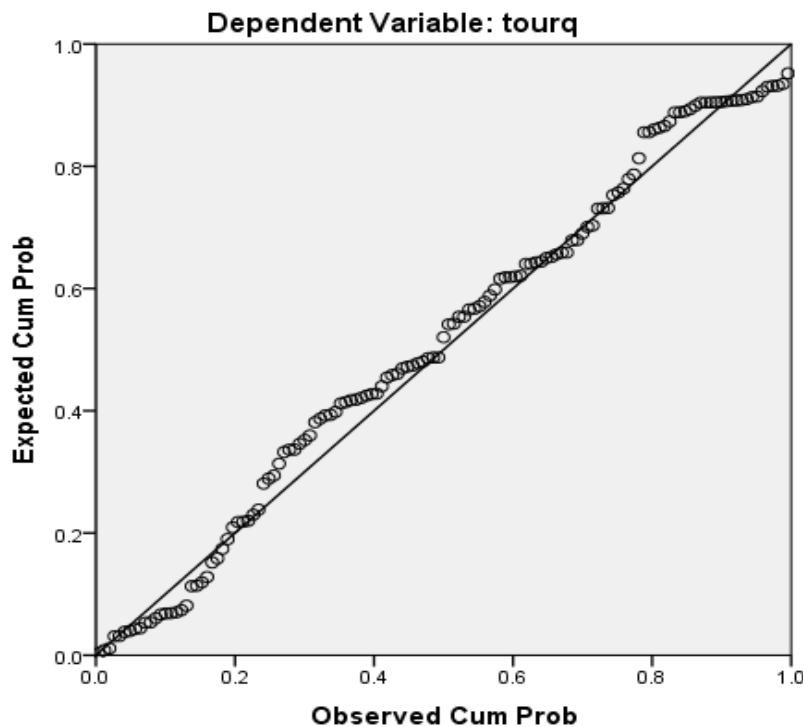
الجدول (9-14) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد العزم (T) بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعة

نلاحظ من الجدول السابق أن قيمة Sig للمعاملات لكل من السرعة والعزم والدعة هي أقل من 0.05 بالتالي هي ذات أهمية كبيرة وارتباط كبير مع العزم.

مخطط الناتج لتحديد العزم (T) المقاس والمتوقع بدلالة سرعة الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعة:

يبين الشكل (9-33) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة المتوقعة من المعادلة.

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



الشكل (9-33) مخطط مقارنة قيم التجربة مع القيم الناتجة المتوقعة من المعادلة

9-4-2-3- تم إيجاد معادلة كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) مع نقاط تشغيل المحرك بدلالة سرعة

الدوران والضغط الناقص ومقدار الدعسة وفق العلاقة التالية

$$K_{\text{perminute}} = -3.659 - 0.019(\%) - 0.005(\text{r.p.m}) + 37.419(\text{bar}) \quad (3-9)$$

- يبين الجدول (9-15) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعسة:

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.870 ^a	.756	.751	5.49502

a. Predictors: (Constant), bar adjust, speed, %

b. Dependent Variable: knocking

يبين الجدول (9-15) درجة قوة النموذج الرياضي لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعسة

نلاحظ أن قيمة $R_{\text{square}} = 0.756$ وهي قيمة مقبولة تدل على صحة المعادلة. وقيمة الخطأ المقيس 5.49 بأعلى حالات له وتعتبر قيمة مقبولة.

- يبين الجدول (9-16) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعسة:

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-3.659	3.266		-1.121	.265
	%	-.019	.017	-.058	-1.081	.282
	speed	-.005	.000	-.676	-15.267	.000
	bar adjust	37.419	3.529	.563	10.603	.000

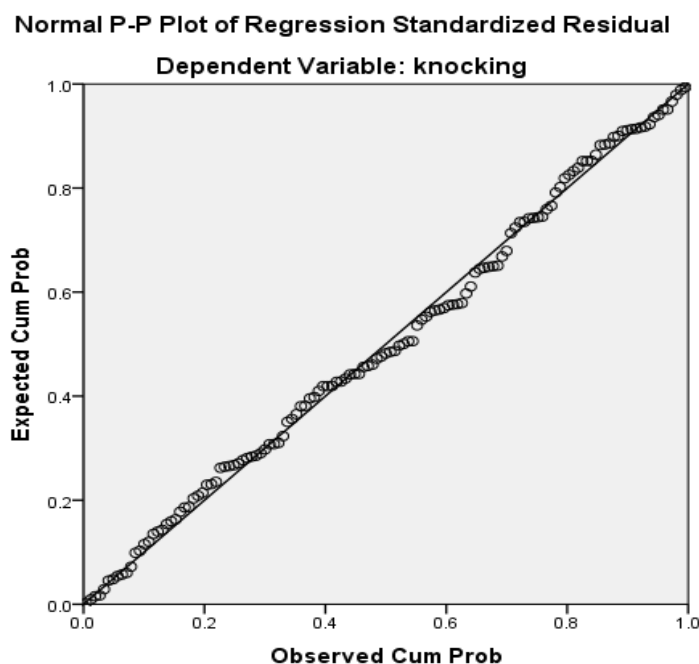
a. Dependent Variable: knocking

الجدول (9-16) دلالة المعاملات للعلاقة الرياضية لتحديد كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعسة

نلاحظ من الجدول السابق أن قيمة Sig للمعاملات لكل من السرعة والضغط الناقص أقل من 0.05 بالتالي هي ذات أهمية كبيرة وارتباط كبير مع الصفع أما بالنسبة لمقدار الدعسة والثابت فقيمة ال Sig أكبر من 0.05 بالتالي يعد هذا المعامل ذو ارتباط غير كبير بالعلاقة السابقة. .

- مخطط كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) المقاس والمتوقع بدلالة الضغط الناقص والسرعة ومقدار الدعسة المقاس والمتوقع :

يبين الشكل (9-34) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة الموقعة.



الشكل (9-34) مخطط مقارنة القيم الناتجة من التجربة مع القيم الناتجة المتوقعة

9-4-2-4 مناقشة نتائج العلاقات السابقة

تم استثناء نتائج دعة 80% من العلاقات السابقة ثم تم تطبيق نقاط دعة 80% على العلاقات الناتجة من الدراسة الإحصائية من أجل التحقق من صحتها

يبين الجدول (9-17) تطبيق للعلاقات الرياضية السابقة لكثافة الصفع والعزم للتحقق من القيم الناتجة من العلاقات مع القيم المقاسة من التجربة وذلك عند دعة 80%:

قيم الصفع المأخوذة من التجربة	قيم الصفع الناتجة من العلاقة بدلالة العزم	قيم الصفع الناتجة من العلاقة بدلالة الضغط	قيم العزم المأخوذة من التجربة	قيم العزم الناتجة من العلاقة بدلالة الضغط
22	31	28	230	194.7
20	31	28	232	195.8
24	30	27	232	196.5
24	30	27	233	200.8
24	28	26	238	203.4
24	28	26	238	203.4
24	28	25	239	204.3
24	27	25	239	205.2
24	26	24	241	206.1
24	26	24	240	207.0

208.8	241		23	24	24
209.7	239		22	23	22
211.1	230		22	21	20
213.0	227		21	19	16
214.9	220		18	16	12
208.4	201		13	9	8

جدول (9-17) مقارنة القيم الناتجة من العلاقات مع القيم المقيسة من التجربة وذلك عند دعة 80%

يمكن استخدام العلاقات السابقة للتنبؤ بحدوث الصفع في المحرك عند نقاط تشغيله المختلفة ويتم اتخاذ التدابير اللازمة لمنع حدوثه وبالتالي تلافي الأضرار المحتمل حدوثها على المحرك.

تطبق هذه العلاقات فقط على محركات بنزين سعة 2 ليتر بشحن توربيني مشابهة لمحرك الاختبار من حيث الأنظمة الحديثة المساعدة لتحسين أداء المحرك.

تطبق العلاقات السابقة ضمن الشروط التالية:

باعتبار درجة حرارة هواء الشحن ضمن المجال $^{\circ}\text{C}$ (50-40).

تطبق العلاقة السابقة باعتبار نسبة خليط الهواء للوقود ضمن المجال 14.7:1

درجة حرارة مياه التبريد ضمن المجال $^{\circ}\text{C}$ (90-70).

أن تكون الحالة الفنية للمحرك جيدة أي أن هذه العلاقة لا تأخذ بعين الاعتبار الصفع الناتج عن أبخرة الزيت أو الرواسب الزيتية الممكن دخولها لغرفة الاحتراق بسبب الحالة الفنية السيئة للمحرك.

9-5- المرحلة الثالثة

استخدام المعادلة الرياضية كثافة الصفع ($K_{\text{perminute}}$) بدلالة السرعة والعزم ومقدار الدعة المستنتجة

بالبرنامج SPSS في الحصول على مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع

تم رسم المخططات الصفع ثلاثية الأبعاد باستخدام العلاقة (9-1) باستخدام برنامج أكسل للدعات التالية (20%، 60%، 100%) وتم رسم مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لنقاط سرعة دوران وعزم مقترحة عند

دعة 75%.

حيث:

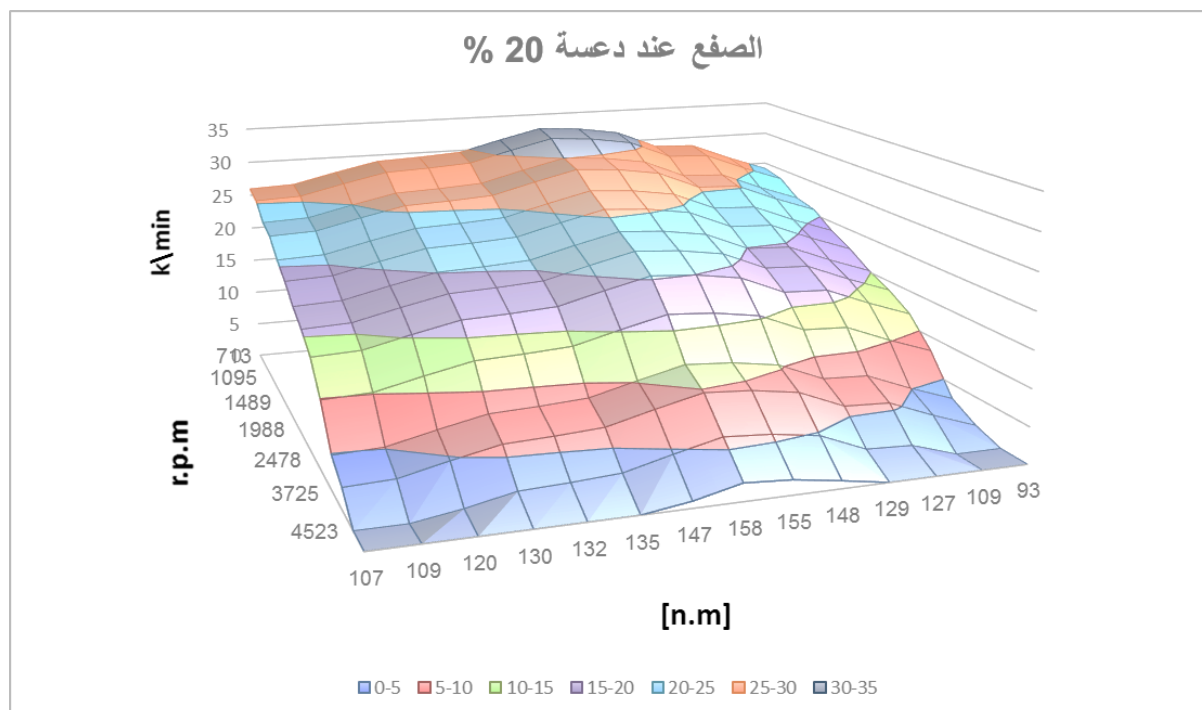
يبين الشكل (9-35) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 20%.

يبين الشكل (9-36) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 60%.

يبين الشكل (9-37) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 100%.

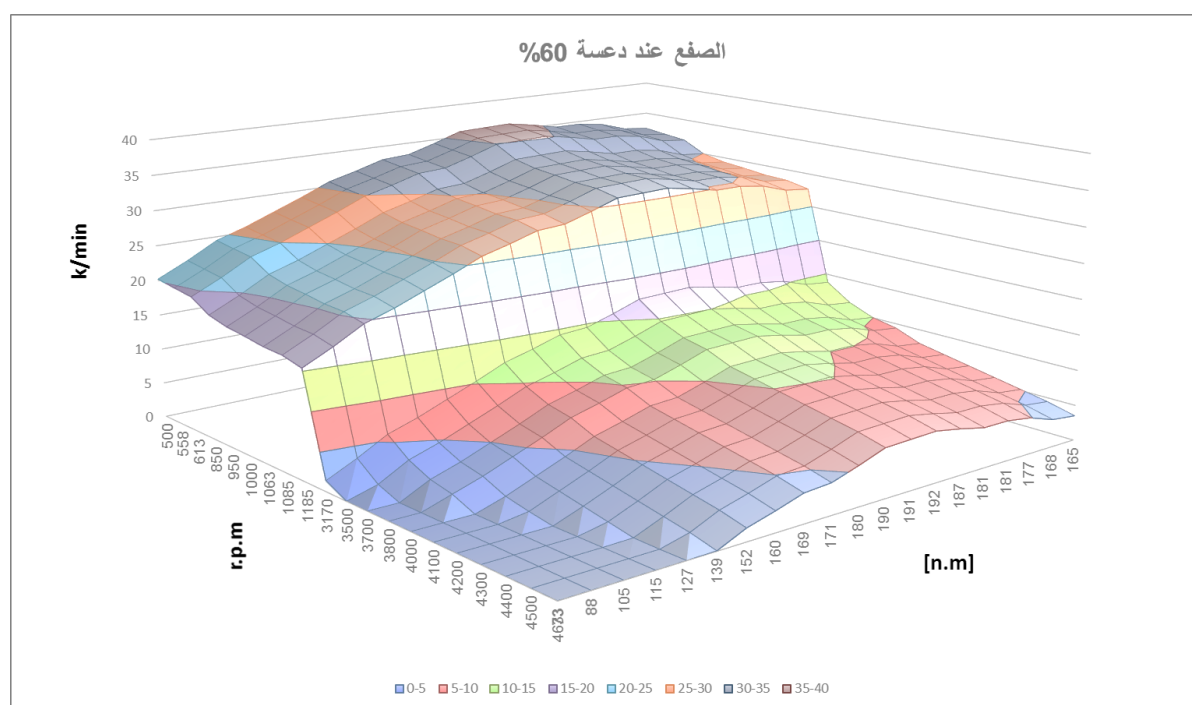
يبين الشكل (9-38) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لنقاط سرعة دوران وعزم مقترحة عند دعة 75%.

مخطط الصفع عند دعة 20%:



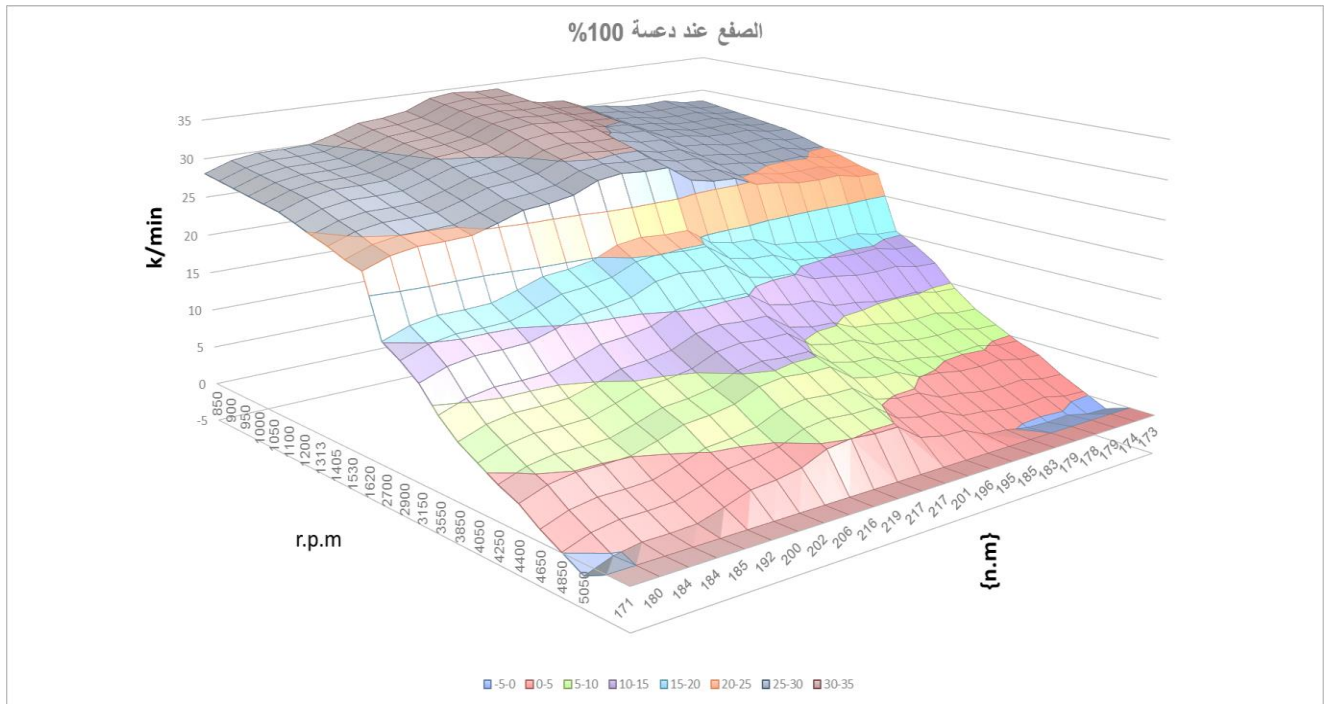
الشكل (35-9) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 20%

مخطط الصفع عند دعة 60%:



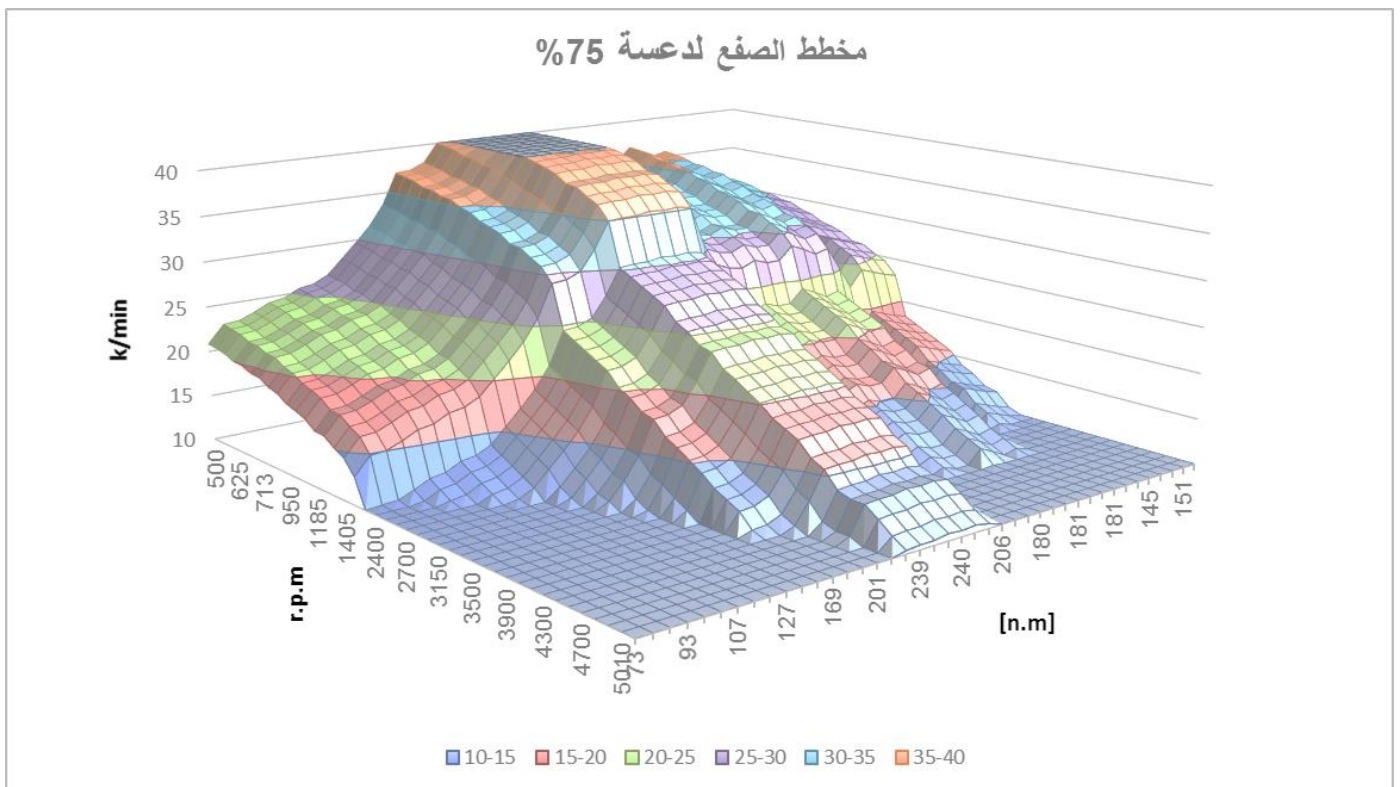
الشكل (36-9) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 60%

مخطط الصفع عند دعة 100%:



شكل (9-37) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لدعة 100%

مخطط الصفع لنقاط عزم مقترحة مع سرعة دوران عند دعة 75%:



شكل (9-38) مخطط ثلاثي الأبعاد لكثافة الصفع لنقاط سرعة دوران وعزم مقترحة عند دعة 75%

من مخططات الصفع ثلاثية الأبعاد يمكن معرفة نقاط عمل المحرك التي تحوي على الصفع وإنشاء خريطة ثلاثية الأبعاد (عزم، سرعة، زمن حقن) لزمن حقن خليط الميثانول مع الماء موافقة لخريطة الصفع ثلاثية الأبعاد.

9-6 المرحلة الرابعة

إضافة خليط الميثانول عند نقاط تشغيل المحرك التي تعمل على كثافة صفع عالية عند دعة 100% فقط، عند عدة نسب من خليط الميثانول والماء

تم تحديد النقاط التي سيتم عندها حقن خليط الميثانول مع الماء وفق مخططات الصفع ثلاثية الأبعاد لدعة 100% ثم تم إدراج هذه النقاط ضمن مجال عمل وبرمجة وحدة التحكم الإلكترونية القابلة للبرمجة لكي تتحكم بعمل مضخة وحاقن خليط الميثانول مع الماء.

- نتائج الاختبار لخليط ميثانول 50 ل 50 ماء عند دعة 100%

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-18).

دعة 100%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للوquod L/h	كثافة الصفع بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفع (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للوquod	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	800	179	-0.03	14.2	4.68	12	3.00	15	32	71
	900	179	0.01	16.0	4.68	12	2.67	14.9	32	71
	1064	182	0.02	19.3	4.42	10	1.88	14.9	31	71
	1700	216	0.11	38.0	4.42	10	1.18	14.7	30	70
	1900	222	0.07	42.0	4.51	10	1.05	14.7	29	70
	2079	215	-0.02	44.0	4.59	12	1.15	14.8	30	69
	2309	204	-0.05	48.5	3.91	14	0.86	14.7	31	69
	2792	173	-0.2	50.0	3.91	12	0.51	14.7	33	69
	3150	146	-0.28	48.2	3.96	8	0.49	14.7	35	68
	3273	137	-0.31	46.4	4.00	8	0.16	14.7	35	68
	3740	120	-0.28	46.6	4.11	3	0.00	14.7	40	67
	4060	121	-0.32	51.0	4.17	0	0.00	14.7	40	70
	4480	119	-0.34	56.0	4.68	0	0.00	14.7	40	70
	4773	125	-0.15	65.3	4.68	0	3.00	14.7	40	70

الجدول (9-18) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول 50 ل 50 ماء عند دعة 100%

- نتائج الاختبار لخليط ميثانول 67 ل 33 ماء عند دعة 100%

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-19).

دعة 100%	سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للوquod L/h	كثافة الصفع بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفع (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للوquod	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
	888	188.5	-0.01	17.3	4.68	17	3.83	14.9	34	72
	982	189.1	0.01	17.7	4.68	17	3.46	14.8	32	71
	1053	188.3	0.02	18.7	4.59	16	3.04	14.8	32	71
	1159	193.7	0.06	22.0	4.59	15	2.59	14.8	32	70

69	33	14.7	2.22	15	4.51	28.0	0.1	203	1351
68	33	14.7	1.92	15	4.68	36.8	0.11	224	1559
68	33	14.7	1.55	15	4.68	46.6	0.12	236	1941
68	35	14.7	1.22	15	4.51	53.5	0.14	214	2450
69	36	14.7	1.07	16	3.91	50.0	-0.08	172	3000
69	36	14.7	0.62	10	3.91	52.4	-0.1	160	3250
69	37	14.7	0.52	9	4.00	50.0	-0.14	141	3487
69	39	14.7	0.27	5	4.00	52.2	-0.14	136.5	3700
69	40	14.7	0.00	0	4.08	56.3	-0.15	137.2	4010
69	40	14.7	0.00	0	4.17	55.7	-0.14	133	4255

الجدول (9-19) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول ل 33 ماء

- نتائج الاختبار لخليط ميثانول 90 ل 10 ماء عند دعة 100%

بعد إجراء الاختبار تم إدراج النتائج بالجدول (9-20).

سرعة دوران المحرك r.p.m	العزم N.M	الضغط بمجمع السحب BAR	الاستطاعة K.W	الاستهلاك الساعي للووقود L/h	كثافة الصفع بالدقيقة K _{PERM}	كثافة الصفع (%) K _{cycle} (%)	نسبة خليط الهواء للووقود	درجة حرارة الهواء °C	درجة حرارة الماء °C
500	82.3	-0.06	3.6	4.68	22	8.80	15	38	69
615	93	-0.01	5.3	4.51	22	7.15	14.9	37	68
727	116.1	0.01	8.9	4.34	22	6.05	14.9	36	68
914	153.9	-0.01	13.4	4.34	20	4.38	14.7	35	68
1025	159.5	0.01	16.3	4.42	18	3.51	14.7	33	69
1400	195	0.13	27.1	4.51	16	2.29	14.8	33	69
1640	204	0.12	32.7	4.34	14	1.68	14.7	33	69
1905	237	0.1	43.8	4.68	16	1.15	14.7	36	70
2776	230	0.14	67.1	4.68	16	0.26	14.8	37	70
3835	152	-0.09	61.0	3.91	5	0.15	14.7	41	70
4120	154	-0.12	66.8	4.08	3	0.00	14.7	41	71
4380	152	-0.13	68.0	4.17	0	0	14.7	41	71

الجدول (9-20) نتائج التجربة لنسبة خليط ميثانول 90 ل 10 ماء

9-7- المرحلة الخامسة

رسم مخططات ومناقشة نتائج تجربة خليط الميثانول مع الماء من الجداول على برنامج Excel وفق

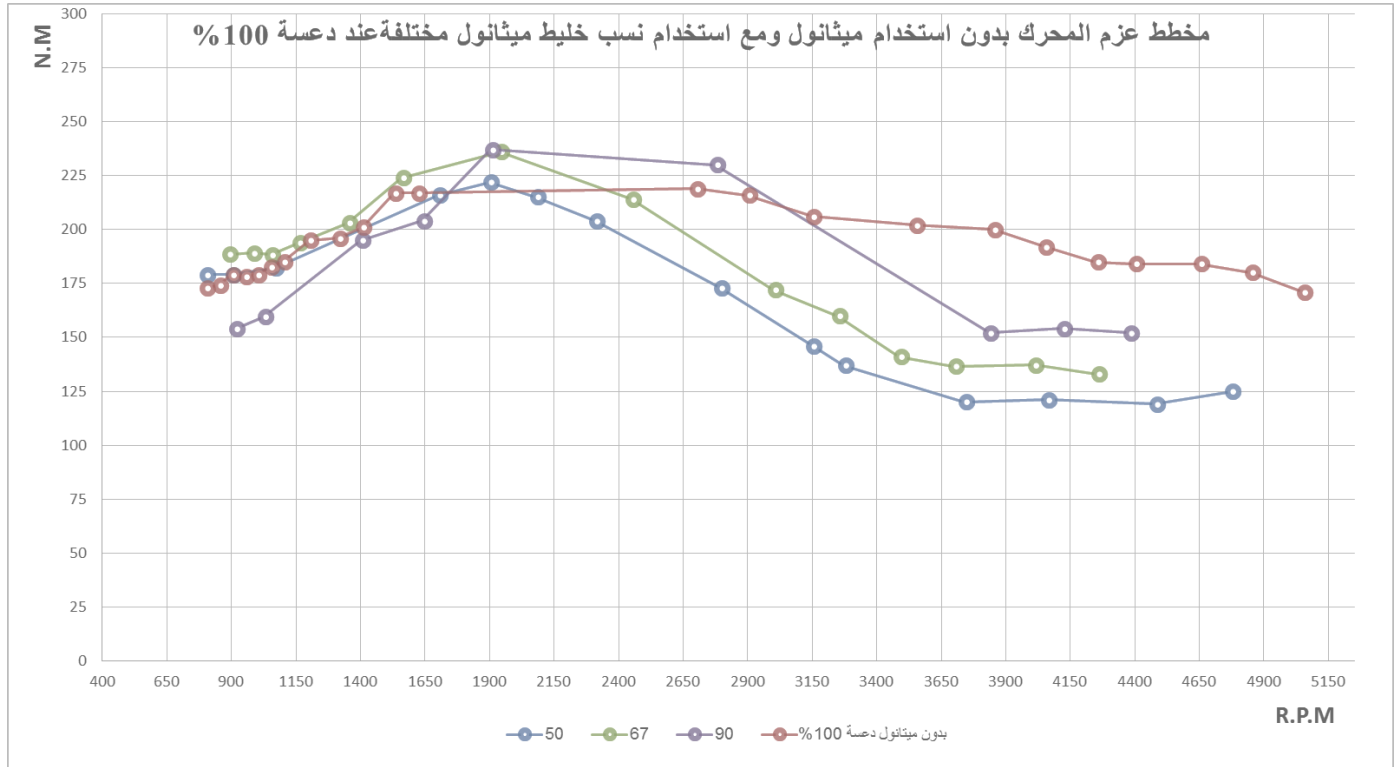
الآتي

- العزم مع سرعة الدوران بدون استخدم ميثانول ومع استخدام الميثانول لكافة نسب خليط الميثانول لنفس الدعة 100% كما في الشكل (9-39).

- الاستطاعة مع سرعة الدوران لنفس ما سبق الشكل (9-40).

- استهلاك الوقود مع سرعة الدوران لنفس ما سبق الشكل (9-41).

- كثافة الصفع بالنسبة المئوية $K_{cycle}(\%)$ مع سرعة الدوران لنفس ما سبق الشكل (9-42).



الشكل (9-39) العزم مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعة 100%

-مناقشة النتائج

- نستنتج من المخطط السابق أن تغير العزم في مجال السرعات المنخفضة (500-1500) r.p.m يكاد يكون شبه معدوم على كافة نسب خليط الميثانول مع الماء وتكون ذروة العزم لكافة النسب عند سرعة (1900) r.p.m وتكون الذروة الأكبر للعزم لنسب الميثانول مع الماء 67% و 90%

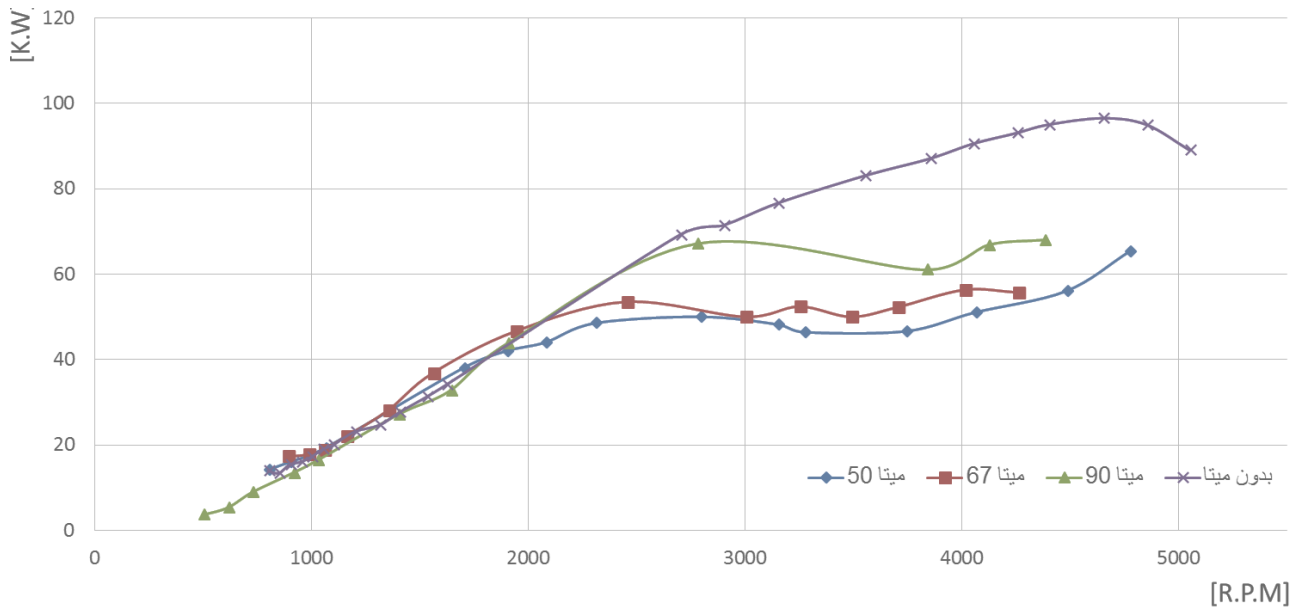
- عند سرعة دوران (1900) r.p.m يبدأ منحني العزم بالهبوط لكل من خليط 50% وخليط ال 67% ميثانول أما خليط ال 90 ميثانول فيتأخر بالهبوط لسرعة (3000) r.p.m.

- يفسر ذلك بأن كمية الحقن من خليط الميثانول في مجال السرعات المنخفضة (500-1500) مناسبة حيث لم تؤثر على منحني العزم وساهمت في التخفيف من كثافة الصفع وأغنت الشحنة بالوقود بسبب إدخال الميثانول بشكل إضافي معها، ولم يكن هناك اختلاف كبير بين نسب الخليط فيفضل استخدام خليط بنسبة 50:50 ضمن هذا المجال.

-أما انخفاض العزم بعد هذا المجال من السرعة يفسر بأن كمية الحقن من خليط الميثانول كبيرة حيث يقوم الماء الموجود ضمن الخليط بامتصاص الطاقة الحرارية الموجودة بالوقود من أجل تحوله الى بخار ماء وبالتالي يؤثر سلبا على عزم المحرك وما يؤكد ذلك أن الخليط الحاوي على أكبر نسبة ماء كان تأثيره السلبي الأكبر على العزم.

-تحل المشكلة السابقة لانخفاض العزم باختيار نسبة الخليط المناسبة لمجال عمل المحرك وبعملية معايرة أكثر دقة لكمية خليط الميثانول المحقونة عند سرعات أعلى من (1900) r.p.m.

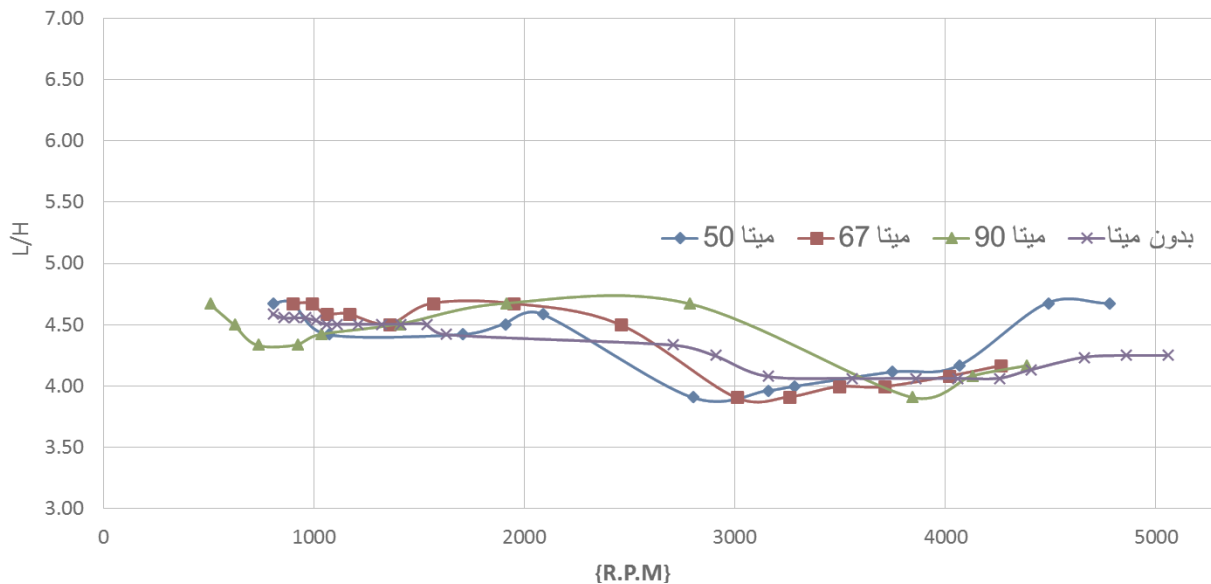
ينصح باستخدام خليط ميثانول مع ماء بنسبة 50:50 في حال كان مجال العمل على السرعات المنخفضة، أما إذا كان مجال العمل على سرعات أعلى من 2000 r.p.m ينصح باستخدام نسب أعلى من 50% للميثانول.



الشكل (9-40) الاستطاعة مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعة 100%

-مناقشة النتائج

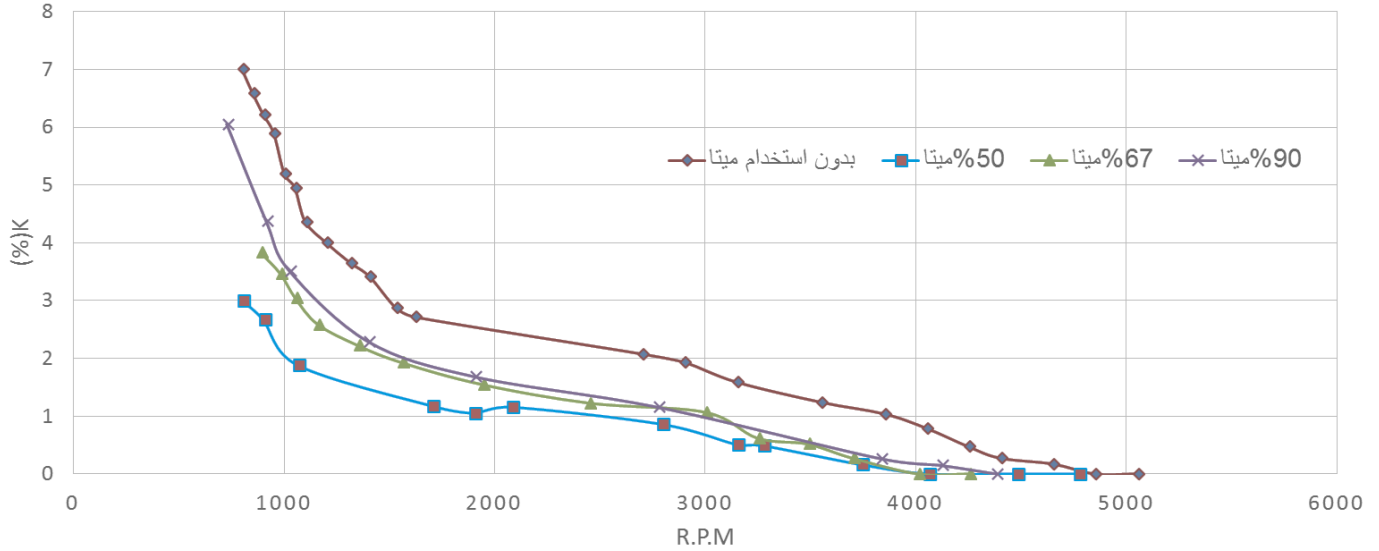
يتبع تفسير النتائج لهذا المخطط لنفس أسباب مخطط العزم.



الشكل (9-41) الاستهلاك الساعي للوقود مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعة 100%

-مناقشة النتائج

هناك تفاوتات في استهلاك الوقود بين استخدام الميثانول بنسب مختلفة وعدم استخدامه يتبع ذلك لتغير منحنيات العزم أيضا حيث يتغير مجال العمل من مجال ذي كفاءة عالية للمحرك لمجال أقل كفاءة أو أعلى كفاءة.



الشكل (9-43) كثافة الصفع (%) K مع سرعة الدوران بدون استخدام ميثانول ومع استخدامه بنسب مختلفة عند دعة 100%.

-مناقشة النتائج

- نلاحظ من المخطط السابق انخفاض كثافة الصفع بشكل كبير حيث انخفض عند سرعة دوران 800 r.p.m من 7% الى 3% عند نسبة 50% ميثا وانخفض الى نسبة 4% عند نسبة 67% والى 6% عند نسبة 90%.
- نستنتج من المخططين السابقين أن أكبر تأثير على تخفيض كثافة الصفع كان للخليط الميثانول بنسبة 50% ميثانول و 50% ماء ويعود السبب في ذلك لأن الماء هو العنصر المهم في عملية امتصاص الحرارة من الشحنة وتخفيض درجة حرارتها وتخفيض درجة حرارة الاحتراق داخل غرفة الاحتراق.
- أما في النسب العالية للميثانول فيعمل الماء عملية التبريد السابقة ولكن عملاً أقل ويعمل الميثانول عند امتزاجه مع الوقود برفع قيمة الأوكتان له فيقاوم الصفع أيضا.
- أي أن أفضل نسبة خليط ميثانول لمقاومة الصفع هي 50% ميثانول ل 50% ماء.

9-8- المرحلة السادسة

دراسة اقتصادية واستثمارية للنظام السابق في

9-8-1- تكلفة إضافة النظام السابق واستثماره.

يبين الجدول (9-15) مكونات النظام وتكلفة كل جزء منسوبا لتكلفة المحرك ككل والمجموع الكلي لإضافة النظام لها:

أجزاء النظام	التكلفة
مضخة الخليط	%0.23
وحدة التحكم الإلكترونية (نظام أرد وينو - من ضمن وحدة التحكم الرئيسية)	%0.33
حاقن خليط الميثانول مع الماء	%0.23
خزان بلاستيكي سعة 3 ليتر	%0.1
خرائطم +متممات توصيل سائل الخليط	%0.1
توصيلات كهربائية ومتممات (ريليه - فيوز حماية - مفتاح تفعيل النظام)	%0.13
أجور تركيب	%0.167
المجموع الكلي	%1.28

الجدول (9-15) مكونات النظام وتكلفة كل عنصر والمجموع الكلي

نستنتج أن تكلفة إضافة النظام السابق لا تعد مرتفعة بالنسبة لتكلفة المحرك.

تكلفة استثمار النظام

لكل تعبئة خزان وقود 60 ليتر يحتاج لإعادة ملء خزان خليط الميثانول والماء البالغ 3 ليتر أي يحتاج 1.5 ليتر ميثانول تضاف تكلفتها لتكلفة ال 60 ليتر وقود في حال كان نسبة الخليط 1:1.

نستنتج أن تكلفة استثمار النظام تعد مقبولة وغير مرتفعة.

9-8-2- مقارنة العزم والاستطاعة للمحرك مع الاستهلاك النوعي للوقود وكفاءة المحرك الحرارية

والاستهلاك النوعي لخليط الميثانول مع الماء ومقارنته مع الطرق الأخرى المتبعة للحد من الصفع.

يبين الجدول (9-16) مقارنة استخدام خليط الميثانول مع تدابير أخرى وتأثيرها على بارامترات المحرك المختلفة في حال حدوث الصفع.

تأخير الشرارة	اغناء الشحنة بالوقود	استخدام خليط ميثانول	بدون اتخاذ تدابير	
ينخفض	يبقى ثابتا	يرتفع بسبب زيادة ضغط وتسبب اشعال	ينخفض	العزم
تنخفض	تبقى ثابتة	ترتفع	تنخفض	الاستطاعة
يرتفع	يرتفع بشكل كبير	يبقى ثابتا	يرتفع	الاستهلاك
ينخفض	ينخفض عند مجال معين	ينخفض	يرتفع	الصفع
سيئ	وسط	ممتاز	سيئ جدا	التقييم

الجدول (9-16) مقارنة استخدام خليط الميثانول مع تدابير أخرى وتأثيرها على بارامترات المحرك المختلفة في حال حدوث الصفع

من الجدول السابق نلاحظ أن طريقة استخدام الميثانول مع الماء من أفضل الطرق في تخفيض كثافة ومنع ظهور الصفع.

9-8-3- كفاءة النظام السابق وإمكانية تركيبه وموثوقية عمله من حيث متطلبات الصيانة.

بالنسبة لكفاءة العمل تعتمد على جودة تصنيع أجزاء النظام مع الأخ بعين الاعتبار النقاط التالية :

- المضخة تعد من أكثر العناصر أهمية وتحمل لعبء العمل فمن المفروض أن تؤمن ضغط لخليط الميثانول مع الماء فلا ينقص عن 10 bar بشكل دائم ومستمر أثناء عمل المحرك.
- وحدة التحكم يجب أن تؤمن سرعة عالية في قراءة بيانات الدخل ومعالجتها لتشغيل حاقن الخليط في اللحظة المناسبة وإعطاء أفضل تحكم بكمية وزمن الحقن.
- حاقن الخليط يجب أن يؤمن قدرة عالية على سرعة الفتح والاعلاق من أجل اعطاء الكمية المناسبة في اللحظة المناسبة.
- بالنسبة للخزان يجب وضع صمام على غطاء التعبئة لمنع تبخر الميثانول من المزيج وذلك عند استهلاك أكثر من نصف الخزان بالنسبة للخرائط يجب أن تتحمل العوامل الجوية المتغيرة من الحرارة المرتفعة والمنخفضة والرطوبة وغيرها.

- خليط الميثانول مع الماء لا يتأثر بدرجات الحرارة المنخفضة لأن درجة حرارة تجمد الخليط بحدود -25°C.
- من الممكن تركيب النظام السابق بكل سهولة بسبب بساطته وعدد أجزائه القليل.

9-9- المرحلة السابعة

9-9-1- مقارنة النتائج مع نتائج الدراسات المرجعية

تأتي أهمية المقارنة مع الدراسات المرجعية في التمكن في حيثيات موضوع البحث وتوسيع المدارك حوله، تم في هذه الفقرة مقارنة النتائج مع نتائج الدراسات المرجعية.

-بدايةً ظهور الصفع أرتبط بشكل كبير بالضغط داخل مجمع السحب والعزم الناتج من المحرك وسرعة الدوران بالدراسات المرجعية تم ربط الصفع مع سرعة الدوران والعزم وأسباب متعلقة بدرجة الحرارة لحدوثه وأسباب متعلقة بالرواسب وباقيا الوقود والزيت وأسباب متعلقة بالتقلبات الديناميكية لعزم المحرك.

-العلاقات الرياضية المستنتجة بالطريقة الاحصائية بواسطة دراسة الإنحدار الخطي المتعدد للمتغيرات على برنامج spss مقبولة ويمكن استخدامها، بالدراسات المرجعية تم استخدام الطرق الإحصائية الخطية وغير الخطية والمشتقة واستخدام الذكاء الصناعي والتعديل الذاتي لخوارزمية وحدة التحكم.

-تم استخدام إشارة حساس الصفع للتنبؤ عن وجود الصفع في المحرك بالنسبة للدراسات المرجعية تم استخدام إشارة حساس الصفع في بعض الدراسات وفي الدراسات الأخرى تم استخدام إشارة حساس ضغط الأسطوانة أو التنظير البصري الداخلي أو الألياف البصرية على شمعات الاشتعال.

-بإستخدام مخططات الصفع ثلاثية الأبعاد يمكن معرفة نقاط عمل المحرك التي تحوي على الصفع وإنشاء خريطة ثلاثية الأبعاد (عزم، سرعة، زمن حقن) أو (ضغط ناقص، سرعة، زمن حقن) لزمن حقن خليط الميثانول مع الماء موافقة لخريطة الصفع ثلاثية الأبعاد ذلك لمنع ظهوره وتخفيض كثافته.

فعند استخدام الميثانول ينخفض الصفع بنسبة % 45 و تغير العزم في مجال السرعات المنخفضة (500-2000 r.p.m يكاد يكون شبه معدوم على كافة نسب خليط الميثانول مع الماء بالنسبة للدراسات المرجعية كانت طرق التلافي بالاختيار الدقيق لبارامترات الحقن والوقود لمواجهة مخاطر تكون الترسبات والاشتعال الكيميائي الناتج عن الترسبات، الجمع بين أنظمة تحكم مختلفة وفصل نظام تهوية علبة المرفق وبمعالجة الغازات المتبقية وضغط ونسبة الانضغاط المناسبة وتبريد فعال للشحنة وتوقيت حقن مناسب أو باستخدام نسب ضغط متغيرة.

9-2- نتائج البحث

1-القيم الناتجة من العلاقات الرياضية المستنتجة بالطريقة الاحصائية قريبة جدا من القيم المأخوذة من التجربة وبالتالي تعد هذه العلاقات مقبولة ويمكن استخدامها.

2-يمكن استخدام العلاقات السابقة للتنبؤ بحدوث الصفع في المحرك عند نقاط تشغيله المختلفة ويتم اتخاذ التدابير اللازمة لمنع حدوثه وبالتالي تلافي الأضرار المحتمل حدوثها على المحرك.

تطبق هذه العلاقات فقط على محركات بنزين سعة 2 ليتر بشحن توربيني مشابهة لمحرك الاختبار في الأنظمة الحديثة المساعدة لتحسين أداء المحرك، و ضمن الشروط التالية:

رقم أوكتان الوقود أعلى من 90.

درجة حرارة هواء الشحن ضمن المجال (40-50) °C.

نسبة خليط الهواء للوقود ضمن المجال 14.7:1

درجة حرارة مياه التبريد ضمن المجال (70-90) °C.

أن تكون الحالة الفنية للمحرك جيدة أي أن هذه العلاقة لا تأخذ بعين الاعتبار الصفع الناتج عن أبخرة الزيت أو الرواسب الزيتية الممكن دخولها لغرفة الاحتراق بسبب الحالة الفنية السيئة للمحرك.

3- من مخططات الصفع ثلاثية الأبعاد يمكن معرفة نقاط عمل المحرك التي تحوي على الصفع وإنشاء خريطة ثلاثية الأبعاد (عزم، سرعة، زمن حقن) أو (ضغط ناقص، سرعة، زمن حقن) لزمن حقن خليط الميثانول مع الماء موافقة لخريطة الصفع ثلاثية الأبعاد في نقاط تشغيل المحرك التي يظهر بها وذلك لمنع ظهوره وتخفيض كثافته.

4- عند استخدام الميثانول إن تغير العزم في مجال السرعات المنخفضة (500-2000) r.p.m يكاد يكون شبه معدوم على كل نسب خليط الميثانول مع الماء وتكون ذروة العزم لكل النسب عند سرعة (1900) r.p.m وتكون الذروة الأكبر للعزم لنسب 67% و 90% ميثانول.

ينصح باستخدام خليط ميثانول مع ماء بنسبة 50%:50% في حال كان مجال العمل على السرعات المنخفضة، أما إذا كان مجال العمل على سرعات أعلى من 2000 r.p.m ينصح باستخدام نسب أعلى من 50% للميثانول.

5- عند سرعة دوران (1900) r.p.m يبدأ منحنى العزم بالهبوط لكل من خليط 50% وخليط ال 67% ميثانول أما خليط ال 90 ميثانول فيتأخر بالهبوط لسرعة (3000) r.p.m.

يفسر ذلك بأن كمية الحقن من خليط الميثانول في مجال السرعات المنخفضة (500-1500) مناسبة فلم تؤثر على منحنى العزم وأسهمت في التخفيف من كثافة الصفع كما سنرى لاحقاً ولم يكن هناك اختلاف كبير بين نسب الخليط بتأثيره على العزم لذلك يفضل استخدام خليط ذي نسبة 50:50 ضمن هذا المجال.

أما انخفاض العزم بعد هذا المجال من السرعة يفسر بأن كمية حقن خليط الميثانول كبيرة حيث يقوم الماء الموجود ضمن الخليط بامتصاص الطاقة الحرارية الموجودة بالوقود من أجل تحوله إلى بخار ماء وبالتالي يؤثر سلباً على عزم المحرك وما يؤكد ذلك أن الخليط الحاوي على أكبر نسبة ماء كان تأثيره السلبي الأكبر على العزم.

تحل المشكلة السابقة لانخفاض العزم باختيار نسبة الخليط المناسبة لمجال عمل المحرك وبعملية معايرة أكثر دقة لكمية خليط الميثانول المحقونة عند سرعات أعلى من (1900) r.p.m.

9-3- التوصيات والمقترحات :

- 1- توسيع استخدام الشحن التوربيني في السيارات السياحية العاملة على وقود البنزين لما له من مردود اقتصادي وأثر إيجابي على أداء المحرك ودراسة تأثير درجة الشحن على عمله
- 2- يعتبر المحرك المزود بالشحن التوربيني والعامل على وقود البنزين ومنصة اختبار المحركات الموجودين لدى مخبر المحركات والآليات الثقيلة نموذجاً ومرجعاً يمكن الاستفادة منه بتنفيذ تجارب مستقبلية ضمن هذا المجال.
- 3- إعادة تجارب الميثانول والتحكم بزمن وكمية الحقن بشكل أدق و تغيير بزاوية تأخير الإشعال عند سرعات الدوران أعلى من 2000 R.P.M من أجل تلافي مشكلة انخفاض العزم وتحديد النتائج.
- 4- تطبيق الطريقة المتبعة في هذا البحث نفسها على محركات بشحن توربيني أخرى من ساعات مختلفة وتسجيل نقاط الصفع واستنتاج نفس العلاقات المستنتجة في هذا البحث ومقارنتها.
- 5- اجراء عملية مقارنة بين اغناء الشحنة الإنتقائي بالوقود الأساسي وبين اغناء الشحنة بخليط الميثانول مع الماء، من جهة الحد من ظاهرة الصفع، وعزم المحرك، والتكاليف الثابتة والتشغيلية والتلوث البيئي.

- 6- إجراء تحليل على مكونات الوقود المحلي وتحديد نسبت الكبريت بدقة وبناء عليه يتم استخدام نسبة خليط الميثانول مع الماء، لأن وجود الكبريت في الوقود يؤدي إلى تشكل حمض الكبريت في أسطوانة المحرك وعلى طول مجرى الطرد، مايزيد من اهتراء هذه الأجزاء.
- 7- إجراء دراسة لمقارنة محرك بشحن قسري ومحرك بدون شحن من حيث التكاليف والعمر الإستثماري وتكاليف التشغيل.
- 8- تنفيذ دارة الكترونية بسيطة قابلة للبرمجة يكون المدخلات فيه ضغط المجمع وسرعة الدوران ومقدار الدعسة والمخرجات عمل مضخة وحاقن خليط الميثانول مع الماء.
- 9- استخدام خورزميات تعلم ذاتي تعمل على بناء قواعد تصنف آليا عند وجود عدد كبير من النتائج وإدخال العديد من البرمترات.
- 10- يمكن اعتماد محتوى هذا البحث مرجعاً علمياً في مجال عمليات الاحتراق والشحن التوربيني ودارات التحكم الالكترونية في عمل المحرك.

9-5-9- الخاتمة

وختاماً نرجو أن يكون هذا الجهد عظيم النفع طيب الأثر، ويواصل السير في المجال الذي تم رسمه فإن عجزنا عن ذلك عمل غيرنا عليه ويمكن القول بأن لكل عمل بداية، ولكن يصعب القول بأن لكل عمل نهاية فكل بحث قابل للتطوير وكل دراسة قابلة للتعديل ولكن الأهم البدء بنواة عمل صلبة تترك بصمة في سجل البحث العلمي وعلى مستوى الشركات المصنعة للسيارات.

المراجع

References

المراجع

المراجع العربية

[1] غوجل جميل "محركات الاحتراق الداخلي الجزء الأول" - جامعة دمشق - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية. 1986.

[2] غوجل جميل "محركات الاحتراق الداخلي الجزء الثاني" جامعة دمشق - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية. 1986.

المراجع الأجنبية

[3] J. B. Heywood, **Internal combustion engine fundamentals**. Usa, McGraw-Hill, 1988.

[4] C. F. Taylor, **The internal combustion engine in theory and practice, volume 2, Revised ed.** Cambridge, MA, United States of America: The MIT Press, 1968. and management, no. 46, pp. 121-138, 2005.

[5] H. Ge, H. Juneja, Y. Shi, S. Yang, and R. D. Reitz, "A two-zone multigrid model for SI engine combustion simulation using detailed chemistry," **Journal of combustion**, vol. 2010, pp. 1-13, 2010.

[6] G. Lecocq, S. Richard, J. Michel, and L. Vervisch, "A new LES model coupling flame surface density and tabulated kinetics approaches to investigate knock and pre-ignition in piston engines," **Proceedings of the Combustion Institute**, no. 33, pp. 3105-3114, 2011.

[7] S. Soylu and J. van Gerpen, "Development of an autoignition sub model for gasoline engines," **Fuel**, no. 82, pp. 1699-1707, 2003.

[8] J. C. Livengood and P. C. Wu, "Correlation of autoignition phenomena in internal combustion engines and rapid compression machines," **Fifth symposium on combustion**, pp. 347-356, 1985.

[9] J. S. Cowart, J. C. Keck, J. B. Heywood, C. K. Westbrook, and W. J. Pitz, "Engine knock predictions using a fully-detailed and reduced chemical kinetic mechanism," **Twenty-third symposium on combustion/The Combustion Institute**, pp. 1055-1062, 1990.

[10] M. Metghalchi and J. C. Keck, "Burning velocities of mixtures of air with methanol, isooctane and indolene at high pressure and temperature," **Combustion and flame**, no. 48, pp. 191-210, 1982 .

[11] P M V Subbarao Professor Mechanical Engineering Department" **Abnormal Combustion in Spark Ignition Engines**" the iit delhi University, 2002.

- [12] P M V Subbarao Professor Mechanical Engineering Department" **Analysis & Control of Knock in SI Engines"** the iit delhi University,2002
- [13] Dahnz, C., Spicher, U., **"Irregular combustion in supercharged spark ignition engines-pre-ignition and other phenomena"**. Engine Res. 11:485-498, 2010.
- [14]- Forschungsvereinigung für Verbrennungskraftmaschinen (FVV), **Bis zu 30 Prozent mehr Effizienz: Motorenforscher enträtseln Vorentflammung** ,Pressemitteliung, Frankfurt am Main 8. April 2016.
- [15] Arndt Döhler, Stefan Pritze **A contribution to better understanding the pre-ignition phenomenon in highly charged internal combustion engines with direct fuel injection**, 2011.
- [16] Matthias Biehl, Elvira Perless, Robert Sloboda **Artificial Intelligence for knock detection**.
- [17] Sebastian Ohler **New approach to the determination of knock onset**
- [18] Filippo Cavanna, Nicola Garagnani, Riccardo Lanzoni, Stefano Sgatti, Massimo Zanotti **Knock detection strategies based on engine acoustic emission analysis**
- [19] Paul Freeland, Marco Warth, Bernd Mahr **Minimising auto ignition for optimum efficiency in high specific output spark ignited engines**.
- [20] G. König et al: **Role of Exothermic Centers on Knock Initiation and Knock Damage**, SAE paper No. 902136
- [21] C.S.Draper: **Pressure Waves Accompanying Detonation in the Internal Combustion Engine**
- [22] MIZUNO, H. **Nissan gasoline engine strategy for higher thermal efficiency. Combustion Engines**. 2017
- [23] Reiji Okita **Mazda SKYACTIV-G Engine with New Boosting Technology**.2016
- [24] Yue Li, Zhi Ning, Ming Lü¹, Xin Zhi, and Xian Luo **Simulation study on effect of late-intake-valveclosing Atkinson cycle on the performance of a direct injection engine based on fuel economy**.2010
- [25] Gautam Kalghatgi , Richard Stone **Fuel requirements of SI Engines**.2018
- [26] Changchun Xu and Haengmuk Cho **Effect of Methanol/Water Mixed Fuel Compound Injection on Engine Combustion and Emissions**.2021
- [27] Stefania Falfaria, Gian Marco Bianchia, Giulio Cazzolia, Claudio Forteb, Sergio Negroc :**Basics on Water Injection Process for Gasoline Engines**. 2018

[28] Aaron Isenstadt and John German (ICCT); Mihai Dorobantu (Eaton); David Boggs (Ricardo); Tom Watson (JCI), **Downsized, boosted gasoline engines 28 October 2016**

[29] <https://techinfo.toyota.com>

The *Technical Information System* or TIS is your service support source for all *Toyota* produced vehicles, 2005.

[30] <https://turbobygarret.com>

Turbo tech 101 Honeywell international.

[31] MOTOKI EBI, YOSUKE DANMOTO, YOJI AKIYAMA, HIROYUKI ARIMIZ, **Development of Variable Geometry Turbocharger Contributes to Improvement of Gasoline Engine Fuel Economy**

[32] konrad reifed , **gasoline engine management systems and components Springer viewing 2015**

[33] Hung Nguyen Schäfer, **Rotordynamics of Automotive Turbochargers Second Edition Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London 2015**

[34] James Turner, Andrew Popplewell, Steve Richardson "**The Ultraboost Extreme Downsizing Project: Direct Injection, Compound Charging, Variable Valve Timing and 60% Less Capacity**" Jaguar Land Rover, Coventry, UK 2014

[35] COLTMAN, D., TURNER, J.W.G., CURTIS, R., BLAKE, D., HOLLAND, B., PEARSON, R.J., ARDEN., A., NUGLISCH, H. **Project Sabre: A Close-Spaced Direct Injection 3-Cylinder Engine with Synergistic Technologies to achieve Low CO2 Output**

[36] European Commission: REGULATION (EEC) No 4064/89 Merger Procedure, **Article 6(1 b), Date: 17.03.1999, http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m1406_en.pdf abgerufen am 14.10.2013.**

[37] Hermann Rottengruber, Eike Christian Todsen **Potentials and limits of downsizing.**

[38] van Basshuysen, R.: **Ottomotoren mit Direkteinspritzung, Vieweg & Teubner Verlag, 2008**

[39] Witt A.: **Analyse der thermodynamischen Verluste eines Ottomotors unter den Randbedingungen variabler Steuerzeiten, Dissertation, TU Graz 1999**

The experiments were carried out as follows: Starting the engine and loading it on partial throttles, then drawing the power and torque curve and the fuel consumption curve, determining the points at which the knocking occurred, then a statistical study was conducted for the results of the experiment by using the SPSS statistical program, and a relationship was established between the appearance of knocking with the indicators of the engine work and indicators of the charge entering it. The previous experiment was repeated, but using a mixture of methanol with water in the proportions:

Methanol	water
50%	50%
33%	67%
10%	90%

This was reflected positively on the engine's operation at low revs, medium and high loads, while at high revs and large partial throttles, the effect was positive on reducing knocking and negatively on the torque produced by the engine. An economic and investment study was conducted for the previous system in terms of: specific engine torque and power with specific fuel consumption, engine thermal efficiency and specific consumption of methanol-water mixture. The cost of adding the previous order, the efficiency of the previous system, the possibility of its installation and the reliability of its work in terms of maintenance requirements. The first results were extracted after drawing the graphs of the results of the experiments for each stage separately, with the help of the computer program EXCEL and SPSS. By comparing and discussing these schemes, we obtained results that contribute to reducing the appearance of knocking in turbocharged gasoline engines, and these results are positively reflected on the economic and investment returns of the engine.

Keywords: turbocharged engines, downsized engine, Methanol water, control of knock.

Abstract

The establishment of definition standards for CO₂ emissions for tourist vehicles over the past decade has put great pressure on gasoline engine manufacturers all over the world.

The most important ways to reduce engine fuel consumption, reduce exhaust gas emissions and achieve legal test cycles for engines, increasing volumetric specific capacity, by installing the turbocharging on the engine.

Turbocharging is one of the best ways to improve engine performance and efficiency, by taking advantage of the exhaust gases to drive the charger, thus reducing losses resulting from gas exchange, heat losses resulting from engine cylinder walls, and mechanical losses due to reduced engine size and the mass of its moving parts.

One of the most important problems in the installation of turbocharging and downsizing engine is abnormal combustion, the occurrence of knocking and pre-ignition, the importance of overcoming and limiting knocking and what this reflects positively on the engine, this practical research has been developed to control it and limit its appearance. This research includes the experimental and laboratory methodology used to study knocking control in gasoline and turbocharged engines.

The experiments were carried out in the machinery and engines laboratory of the Automotive and Heavy Machinery Engineering Department at the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering at Damascus University and were carried out on a Renault F4R engine with a capacity of CC2000. Turbocharged works on gasoline, with a power of 165 hp at 5500 rpm, and a maximum torque of 26 kg.m at 2000 rpm, and it is already present in the engine laboratory after it was installed on the test bench (hydraulic dynamometer). Where the engine was equipped with a set of additional equipment, including (a programmable electronic control unit (EMS), a unit for methanol-water mixture injection, an oscilloscope to read the knock sensor signal and know its occurrence, devices for reading exhaust gas emissions, a computer with the program of the electronic control unit to monitor the progress of experiments and take Reading sensors, a set of sensors (oxygen sensor, incoming air temperature sensor, and coolant temperature).

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical and Electrical Engineering
Department of Automotive and Heavy Machinery Engineering



Control of the Knock Phenomenon in the Supercharged Modern Automotive Engines

A thesis prepared for the degree of PhD in Mechanical Engineering
(PhD in Mechanical and Engine Engineering)

By

Eng. Mohammad kotyba Al Sharawi

Supervisors

Proff. msallam Toma

Dr. Eng. Thaer Sallam

(2021-2022)