

الفَصْلُ الثَّانِي عَشَرُ

أجهزة وقود الديزل من نوع المضخة - الحاقنة والحاقدنات الإلكترونية
Diesel Fuel Systems Of Pump-Injectors And Electronic Injectors Types

الفصل الثاني عشر

Chapter 12

أجهزة وقود الديزل من نوع المضخة - الحاقدنة والحاقدنات الإلكترونية

Diesel Fuel Systems Of Pump-Injectors And Electronic Injectors Types

Introduction

المقدمة 12.1

يعدّ هذا النوع من أجهزة وقود الديزل أكثر تطوراً من الأنواع السابقة إذ إن الأجهزة التي مضخاتها من النوع على خط واحد ومن النوع الدورانية سوءاً كانت الميكانيكية منها أو الإلكترونية تعاني من بعض المشاكل ومنها أن معايرتها للوقود (تحديد كمية الوقود) يعتمد على ضغط الوقود المدفوع من المضخة إلى الحافظة فإذا كان الضغط عالياً ونابض الحافظة ضعيفاً فإن كمية الوقود المحقونة داخل غرفة الاحتراق كبيرة. وقد تكون هذه الكمية أكبر بكثير مما يحتاجه المحرك. وعندما يكون ضغط المضخة ضعيفاً ونابض الحافظة قوياً فإن كمية الوقود سوف تكون قليلة مما يعكس سلباً على الطاقة التي ينتجهما الوقود. كما إن الأنواع القديمة من هذه الأجهزة لا يستطيع الاستجابة بسرعة للتغيرات السريعة في سرعه المحرك أو الحمل. إلا أن هذه المشكلة قُللت باستخدام المضخة الدورانية الإلكترونية إلا إن المشكلة الأولى بقيت مع هذا النوع من المضخات ولو بدرجة أقل. كما إن مضخات الوقود في الأنواع السابقة تقوم بتوزيع الوقود على الحافظات لهذا قد يحدث بعض الأحيان اختلاف في كمية الوقود المدفوعة لها. إلا أن هذه المشاكل كلها أو معظمها حلّت أو قُلّ تأثيرها في التصاميم الآتية.

جهاز وقود الديزل ذو المضخة - الحاقنة 12.2

Fuel injection Pump system

يضم هذا النوع من الأجهزة مضخة واحدة للوقود ومجموعة من الحافظات. تقوم المضخة بدفع الوقود إلى أنبوب خاص وهذا الأنابيب يقوم بتوزيع الوقود على الحافظات. تزود كل حافظة بآلية ميكانيكية تقوم بتحديد كمية الوقود ثم تنشط الحافظة لحقن الوقود داخل الأسطوانة تحت ضغط عالي لغرض ترذيزه ومن ثم حرقه. وبسبب هذه الآلية سميت هذه الحافظات بالمضخات-الحافظة أو بالحافظة المركبة. تزود كل أسطوانة بحافظة من هذا النوع وهذه الحافظات تربط بعتلة واحدة للسيطرة على الوقود وإيصال نفس

الكمية منه لكل أسطوانة. يختلف هذا النوع من أجهزة الوقود عن الأنواع الثلاثة السابقة إذ تقوم مضخة الوقود الرئيسية بالأأنواع السابقة (التي تم التعرض لها في الفصل الحادي عشر) بضغط الوقود وتوزيعه على الحقنات التي تقوم بقذفة وتذريره في غرف الاحتراق ومقدار تذريره يعتمد على ضغط مضخة للوقود. وهذا يعني إن الحقنة هي وسيلة لتذرير الوقود فقط والجزء الأعظم من العمل تقوم به المضخة الرئيسية. بينما في هذا النوع من أجهزة الوقود تقوم الحقنة بضغط الوقود وحقنه وتذريره أي تقوم مقام المضخة في الأنواع الثلاثة السابقة لهذا يطلق عليها المضخة-الحقنة.

يتميز هذا النوع من أجهزة الوقود بقلة أجزاءه مقارنةً بأجهزة الوقود ذات المضخة على خط واحد (Inline-pump system) والنوع ذو المضخة الدورانية (rotary fuel system) إلا أنها أكثر تعقيداً ولكن سيطرتها على كمية الوقود عالية جداً وسرعة استجابتها للتغيرات في سرع المحرك والأحمال عالية أيضاً. فضلاً عن ذلك تتميز باحتوائها على جهاز تبريد خاص للوقود قبل أن يحقن داخل غرفة الاحتراق لمنع الاحتراق المبكر للوقود والذي يسبب فرقعة في المحرك.

12.2.1 أجزاء جهاز وقود الديزل ذو المضخة - الحقنة

يوضح الشكل (12.1) أجزاء جهاز الوقود ذو المضخة-الحقنة. يتكون هذا الجهاز من خزان للوقود (fuel tank) ومصفى الوقود (fuel filter) وصمام عدم إرجاع الوقود (non-return valve) ومضخة الوقود (fuel pump) وصمام تحديد الضغط (air and fuel pressure limiting valve) ومانع تكوين فقاعات الهواء وبخار الوقود (pump-injectors vapor bubbles restrictor) والمضخات-الحقنة (pump-injectors) ومتخصص حرارة الوقود (Fuel temperature sensor) وانخفاض درجة حرارة الوقود (Fuel temperature reduction).

تقوم مضخة الوقود بسحب الوقود من الخزان ودفعه إلى منظف الوقود لتخليصه من المواد الغريبة العالقة فيه وبعد ذلك يمر من خلال صمام عدم الإرجاع الذي هو عبارة عن كرة معدنية ونابض والذي يسمح للوقود بالمرور إلى المضخة وينبع رجوعه إلى الخزان. ينفتح هذا الصمام عند بلوغ ضغط الوقود بمحدود (0.2bar). إلا إن مضخة الوقود تضخ الوقود تحت ضغط أعلى من (0.2bar) وأقل من (7.5bar). وعندما يزداد ضغط الوقود عن 7.5 bar ينفتح صمام تنظيم الضغط (تحديد الضغط) الذي يقوم

الافتراض

If there is air in the fuel system, for example when the fuel tank is empty, the pressure limiting valve remains closed. This is expected from the system by the fuel flowing into the tank.

متحمس الحرارة

The fuel temperature sensor determines the temperature of the fuel in the fuel return line and sends a corresponding signal to the engine control unit.

المقاييس التي تقييم الأداء (المحددات)

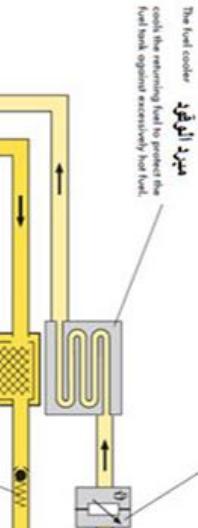
الباهض

The pressure limiting valve keeps the pressure in the fuel return line at 1 bar. A force equilibrium is thereby maintained of the solenoid valve needle.

صمام تحديد المقدار

keep the pressure in the fuel return line at 1 bar. A force equilibrium is thereby maintained of the solenoid valve needle.

رأس الأسطوانات



خزان الوقود

The fuel tank

مبرد الوقود

The fuel cooler

مبرد الوقود
cools the returning fuel to protect the fuel tank against excessively hot fuel.

صمام عدم الإرجاع

The fuel filter

protects the injection system against contamination and wear.

The non-return valve prevents fuel from the fuel pump flowing back into the fuel tank while the engine is not running (venting pressure 0.2 bar).

صمام تنظيم المقدار

The pressure limiting valve

regulates the fuel pressure in the fuel supply line. The valve opens when the fuel pressure exceeds 7.5 bar, and fuel is fed to the vent side of the fuel pump.

فخاخير منها الوقود الراجع من المضخة (الخنزرة 2)

The vent line flows from the fuel supply line to the fuel return line through the restrictor bore. Vapour bubbles in the fuel supply line are separated in the fuel return line through the restrictor bore.

مضخة الوقود

The fuel pump

pumps the fuel from the fuel tank via the fuel filter to the pump injector.

مضخة

The pump

has the task of collecting vapour bubbles from the fuel supply line. These vapour bubbles are then separated through the restrictor bore and return line.

شكل 12.1: مخطط جهاز الوقود ذو المضخة – المأخذة

يأرجاع جزء منه الى الأنوب الذي ينقل الوقود من الخزان الى المضخة أي جزء من الوقود يعود الى المضخة من جديد. يندفع جزء من الوقود المدفوع من قبل المضخة الى الحاقنات والجزء الآخر يمر من خلال أنبوب يحتوي على جزء ضيق (حنجرة) (2) لتخليصه من فقاعات البخار ثم يذهب الى أنبوب إرجاع الوقود ومنه الى خزان الوقود. يلتقي الوقود الراوح من المضخة مع الوقود الفائض من الحاقنات ليعودا معاً من خلال الأنوب الذي يحتوي على الحنجرة (1) والتي تقوم بخلص الوقود العائد من الحاقنات من الفقاعات الهوائية والبخار إن وجدت فيه. يمر الوقود الراوح الى الخزان بتحسس الحرارة فإذا كانت درجة حرارة الوقود عالية يعطي أشاره الى جهاز السيطرة بتشغيل جهاز التبريد الخاص بوقود المحرك لإبقاء حرارته ضمن الحرارة المثلث للتشغيل. كما يزود أنبوب إرجاع الوقود الفائض الى الخزان بصمام تحديد الضغط والذي هو عبارة عن كرة معدنية ونابض فإذا زاد ضغط الوقود بسبب التصريف المحدود للحنجرة (1) ينفتح الصمام ويتدفق الوقود وعندما ينخفض الضغط ينغلق الصمام من جديد. يقع جهاز تبريد الوقود بين التحسس للحرارة وخزان الوقود.

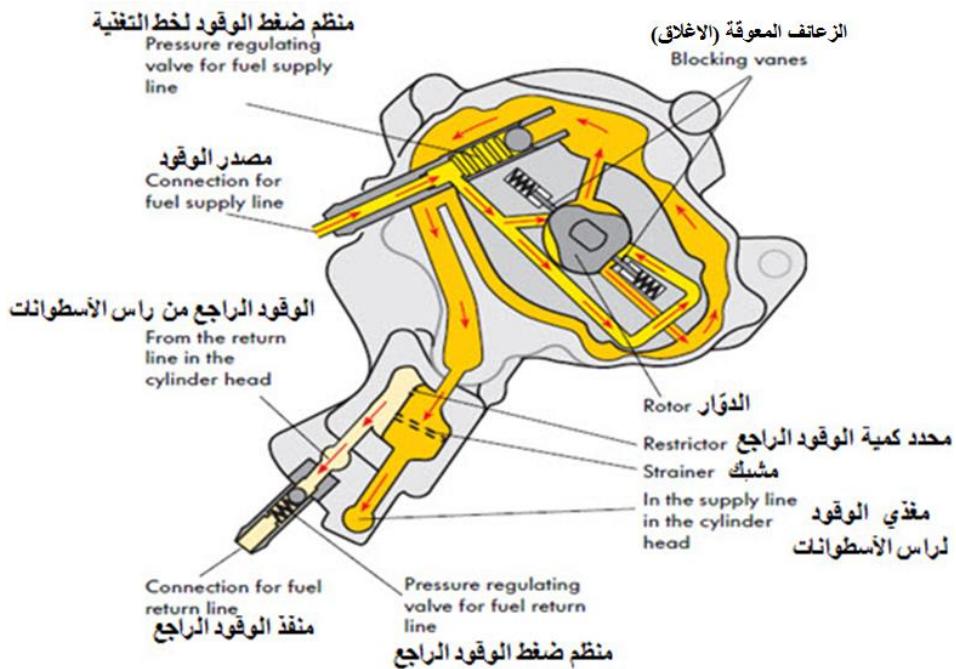
وعندما يرتفع ضغط الوقود المدفوع من قبل المضخة ينفتح صمام تحديد الضغط الذي يربط أنبوب الوقود الخارج منها بأنبوب الوقود الناقل الوقود إليها. يمر الوقود من خلاله ليعود الى المضخة من جديد فضلاً عن ذلك يقوم هذا الصمام بغلق الممر عندما يفرغ الخزان من الوقود لإبقاء ضغط الوقود في الجهاز عند (1.0bar) وكذلك يمنع دخول الهواء إليه.

Fuel Pump

مضخة الوقود

12.2.1.1

تقوم مضخة التغذية (Feeding pump) بدفع الوقود الى منظف الوقود لتخليصه من المواد العالقة فيه ومنه الى مضخة الوقود (Fuel pump) التي تقوم بدفعه الى المضخة- الحاقنة (شكل 12.2). تكون هذه المضخة من دوار (Rotor) ثلاثي الفصوص وزعنفتين مزودتين بناطحين لا يلتصقان ببعضهما في تلامس مستمر مع الدوار الثلاثي الفصوص. تستخدم الزعنفتان لفصل المحاجر الأربع عن بعضهما البعض أي يقسمان المضخة الى نصفين لهذا يطلق عليهما بزعانف الحجز أو المعوقة (Blocking vanes). فضلاً عن ذلك يساعدان المضخة على دفع الوقود حتى في السرع البطيئة. تزود المضخة بصمام



شكل (12.2) : مضخة الوقود ذات الدوار ثلاثي الفصوص

لتنظيم ضغط الوقود الخارج من المضخة (pressure regulating valve for supply line) ومشبك (strainer). يوضع المشبك في طريق الوقود الخارج من المضخة لتخليصه من المواد العالقة به والتي استطاعت النفاذ من منفذ الوقود. يتصل منفذ خروج الوقود المرود بالمشبك. بمغذي الوقود لرأس أسطوانات الحرك (supply line in the cylinder head). فضلاً عن ذلك تزود المضخة بمنظم لضغط الوقود الراوح إلى الخزان (pressure regulating valve for fuel return line) الذي هو عبارة عن كرة معدنية ونابض. كما تزود بمنفذ يمتد من رأس الأسطوانات إلى أنبوب إرجاع الوقود إلى الخزان (From the return line in the cylinder head). يوجد في المضخة منفذان لإدخال الوقود إلى الدوار ومنفذان لإخراجه منها. صممت مرات المضخة بحيث يبقى الدوار مبلل بالوقود حتى في حالة جفاف الخزان.

كما يزود منفذ إخراج الوقود الرئيسي (المنفذ الذي يوجد فيه المشبك) بمنفذ صغير ذو حنجرة ضيقة (Restrictor) يقع في الجانب يخرج من هذه الحنجرة كميات من الوقود تعتمد على ضغط المضخة أي أنه يعمل كمتنفس للمضخة. يولد الوقود المتدافق

من الحنجرة ضغطاً على الصمام ذو الكرة المعدنية (منظم ضغط الوقود الرابع) مسبباً فتحه عندها يتدفق الوقود من خلال أنبوب إرجاع الفائض إلى الخزان.

طريقة عمل مضخة الوقود

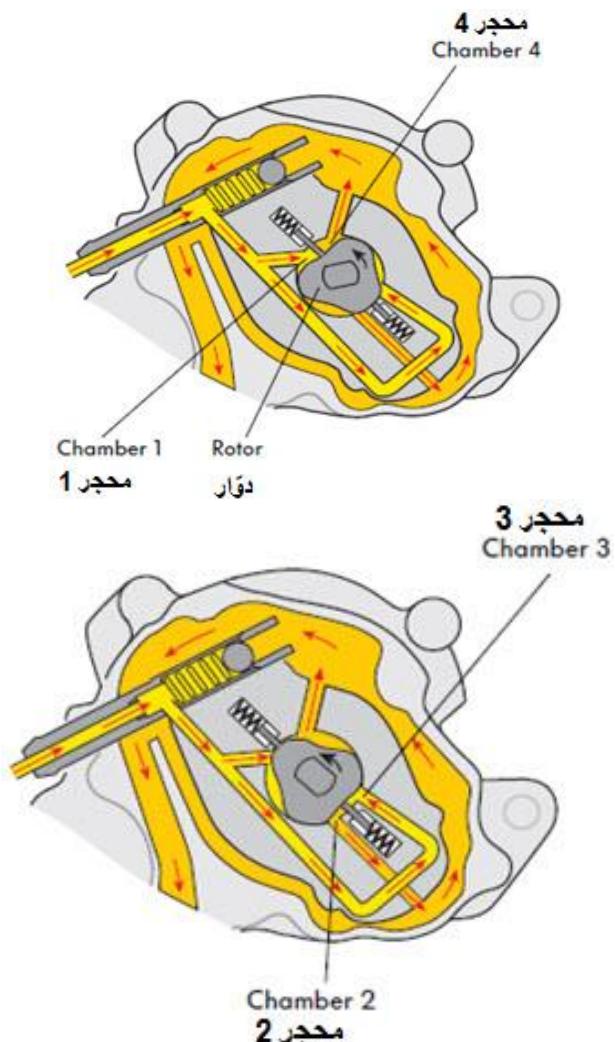
12.2.1.2

The Operating Method Of The Fuel Pump

تسحب المضخة الوقود عندما يزداد حجم أحد المحاجر وتدفعه إلى الخارج تحت ضغط عالي عندما يصغر حجم هذا الحجر. توجد أربعة محاجر في المضخة يفصلان بزعنفيتين. يقوم أحد المحاجر بسحب الوقود بينما يقوم الآخر بدفعه خارجها وباتجاه المضخة-الحاقة (شكل 12.3).

يدخل الوقود إلى الحجر الأول (chamber 1) من مر إدخال الوقود الأول (الأعلى الأيسر) ويدوران الدوار الثلاثي الفصوص يزداد حجم الحجر (1) عندما يدخل المزيد من الوقود فيه بينما يقل حجم الحجر الرابع (chamber 4) فيتدفق الوقود منه الذي مليء به مسبقاً تحت ضغط عالي. بينما الحجر (3) (chamber 3) مليء بالوقود وبدأ يضغط وباستمرار دوران الدوار يصغر حجم الحجر الثاني (chamber 2) بعدما مليء بالوقود مسبقاً فيندفع الوقود منه إلى الخارج بالإضافة إلى ذلك من الحجر الثالث (chamber 3). وهذا يعني الحجر (4) و (2) يضخان الوقود وبفارق زمن بسيط بينهما. إذ يبدأ الحجر (4) يضخ الوقود ثم بعد ذلك الحجرين (2) بينما الحجرين (3) و (1) يُملئان بالوقود وبفارق زمني بسيط أيضاً. إذ يبدأ الحجر (3) بسحب الوقود ثم الحجر (1) ثم يتبادلان العمل.

تزود المضخة بصمام ينظم ضغط الوقود المدفوع خارجها. يتكون من كرة معدنية ونابض يقع خلفها. عندما يرتفع ضغط الوقود تندفع الكرة المعدنية إلى الخلف فيتدفق جزء من الوقود إلى مر إدخال الوقود للمضخة (يعود الوقود الفائض إلى المضخة أي إلى الدوار الثلاثي الفصوص) لحين انخفاض الضغط عندها تعود الكرة المعدنية إلى وضع الغلق.



شكل (12.3) : طريقة تشغيل مضخة الوقود

12.2.1.3 أنبوب توزيع الوقود على المضخات - الحاقنة

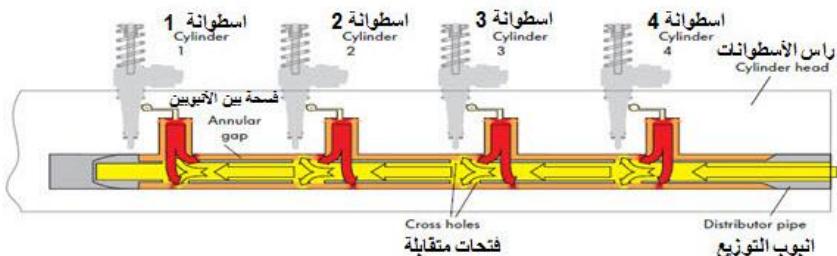
The Fuel Distributor Pipe For Pump Injectors

هو عبارة عن أنبوب مقطعيه العرضي ضيق لزيادة سرعة الوقود فيه وسمكه متوسط إلا أنه كافي لتحمل ضغط الوقود العالي الواسع إليه من مضخة الوقود (شكل 12.4a). وظيفة هذا الأنابيب هي توزيع الوقود على الحاقنات لهذا يطلق عليه الأنابيب الموزع

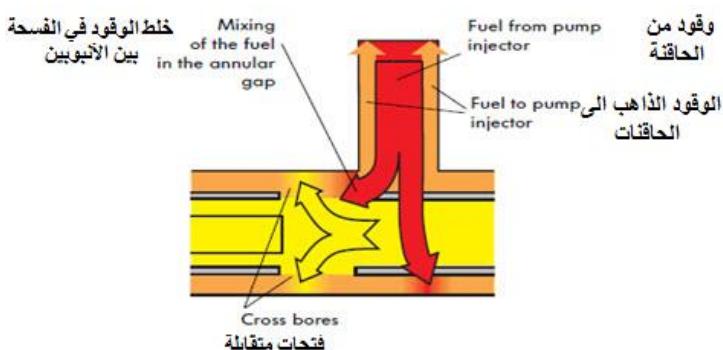
A distributor pipe is integrated in the supply line in the cylinder head. It has the task of distributing fuel evenly to the pump injectors.



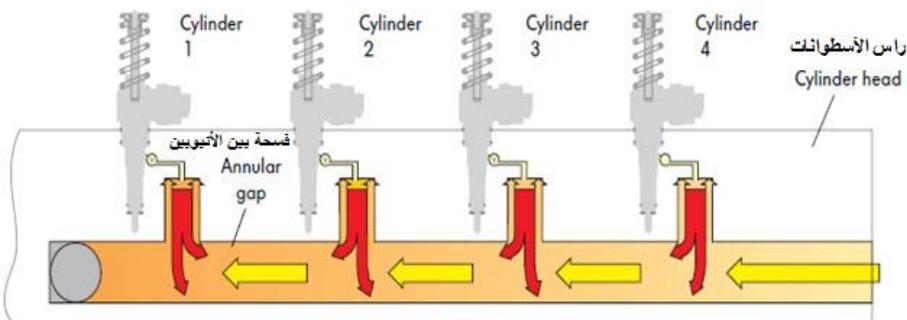
(a) : انبوب توزيع الوقود على الحاقنات



(b) : تدفق الوقود من أنبوب توزيع الوقود الى الحاقنات



(c) : تدفق الوقود الى الحاقنات (اللون البرتقالي) ورجوع الوقود الفائض منها الى الحيز (اللون الاحمر)



(d) : امتصاص الوقود الفائض الساخن الراجع من الحاقنات (اللون أحمر) مع الوقود المدفوع من المضخة (اللون الأصفر)

شكل (12.4) : أنبوب توزيع الوقود على المضخات - الحاقنة

(cross holes). يحتوي الأنابيب على ثقوب (فتحات) عرضية (Distributor pipe) يتدفق الوقود منها خارج الأنابيب. فضلاً عن ذلك يحتوي الأنابيب على زوائد توجد على سطحه الخارجي تستخدم لتشتيته في موضعه وتنع دورانه حول نفسه. يدخل الوقود المدفوع من المضخة (fuel pump) إلى أنابيب توزيع الوقود (شكل 12.4a) (اللون الأصفر مسار الوقود داخل الأنابيب) ثم يتدفق من خلال الفتحات العرضية الموجودة فيه (العليا والسفلى) إلى الممر الموجود بينه وبين الأنابيب الخارجي الذي يحيط به (اللون البرتقالي يمثل الحيز). يملاً الوقود الممر الموجود بين الأنابيبين ثم يندفع من هذا الممر إلى المضخة-الحاقة من خلال أنبوب يخرج من الأنابيب الخارجي (اللون البرتقالي) (شكل 12.4b). أما الوقود الفائض من المضخة-الحاقة فيعود إلى الممر بين الأنابيبين (الأسهم الحمراء في الشكل 12.4c) عندما يختلط الوقود ذو الحرارة المنخفضة (اللون الأصفر) والآتي من المضخة مع الوقود الساخن (اللون الأحمر) الراجع من المضخات-الحاقات لرفع درجة حرارة الوقود الذي يذهب إلى المضخات-الحاقات (اللون البرتقالي). يتجه الوقود الفائض من المضخات - الحاقات (2 و 3 و 4) إلى اليسار من الأعلى بينما فائض المضخة - الحاقة (1) يتجه إلى اليمين. أما من الأسفل فإن فائض وقود المضخات - الحاقات (1 و 2 و 3) يتجه إلى اليمين بينما فائض المضخة-الحاقة (4) يتجه إلى اليسار وهذا يساعد على خلط الوقود الساخن مع البارد بسرعة كبيرة ويتحانس معه.

Pump Injector

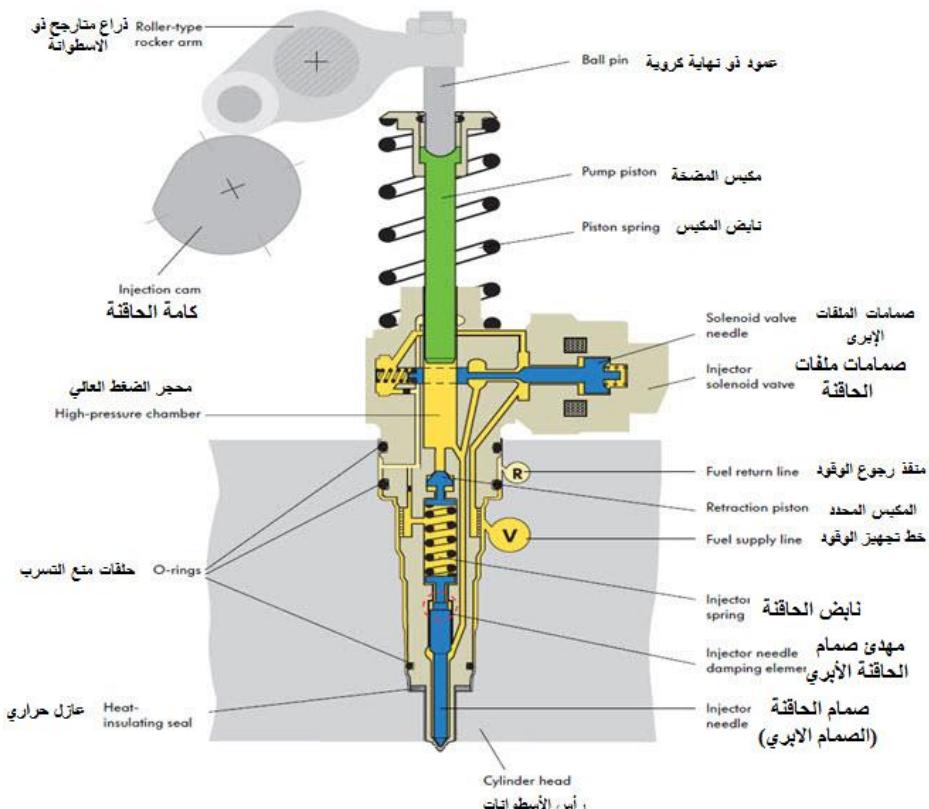
المضخة - الحاقة

12.2.1.4

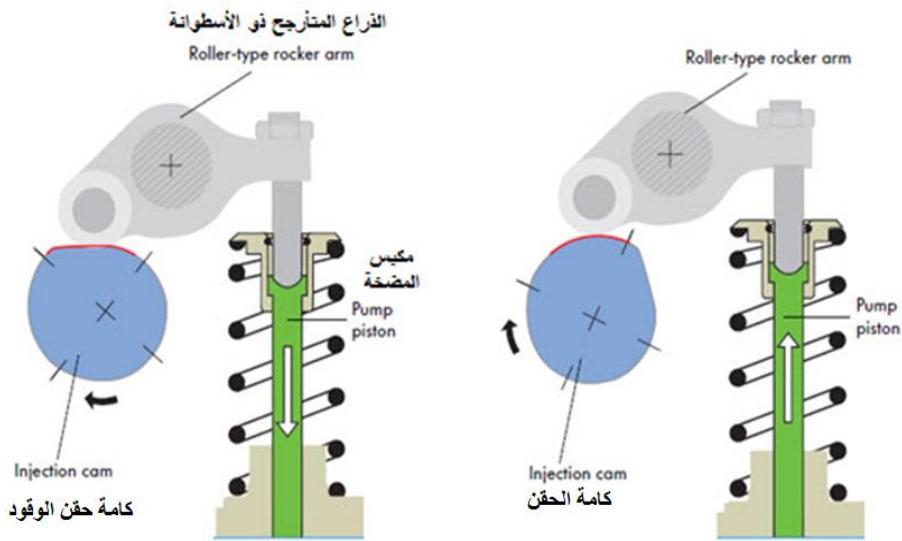
تقوم المضخة-الحاقة بتحديد كمية الوقود وحقنة داخل غرفة الاحتراق. تتميز المضخة-الحاقة بدقة عملها وتحديدها الدقيق لكمية الوقود. إلا أنها معقدة بعض الشيء. تكون من كامة حقن الوقود (Injection cam) والذراع المتأرجح ذو الأسطوانة الدوارة (Roller-type rocker arm) وعمود دفع ذو النهاية الكروية (Ball pin) ومكبس المضخة (pump piston) ونابض المكبس (piston spring) وصمام الملفات الكهربائية الأخرى (Solenoid valve needle) وصمام ملفات الحاقة (High-pressure chamber) ومحجر الضغط العالي (injector solenoid valve) ومنفذ الوقود الراجع (Fuel return line) ومكبس سحب الوقود (Retraction

(Injector piston) ومنفذ الوقود الداخلي (fuel supply line) ونابض الحاقنة (Injector needle damping element) وعنصر تهدئة حركة الصمام المفت (Injector needle damping element) والصمام المفت (Injector needle) والعازل الحراري (heat-insulation seal) والحلقات البلاستيكية لمنع التسرب (O-ring) (شكل 12.5).

تزود كل أسطوانات المحرك بحاقنة من هذا النوع. يعمل هذا النوع من الحاقنات ميكانيكياً وبعض الآخر إلكترونياً إذ يزود هذا النوع بالوقود إلكترونياً بينما تضخه ميكانيكياً. تغذي هذه الحاقنات بالوقود من أنبوب التوزيع (distributor pipe) (Fuel supply line) الذي ذكر سابقاً ومن خلال أنبوب تجهيز الوقود (Fuel supply line) فضلاً عن أنها مزودة بأنبوب لجمع الوقود الفائض وأعادته إلى الخزان.



شكل (12.5) : المضخة-الحاقنة



شكل (12.6) : طريقة عمل كامة المضخة لتحديد الحقن الابتدائي والرئيسي.

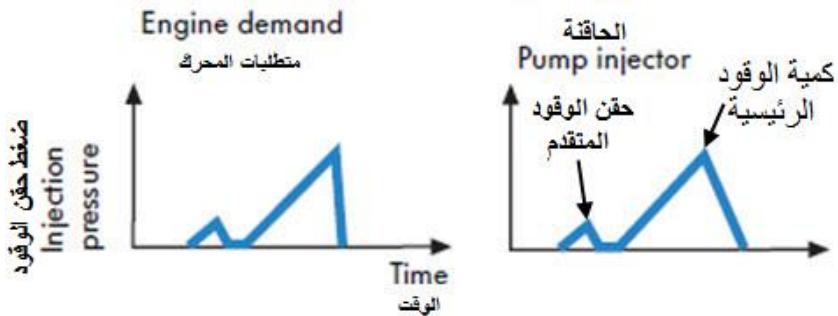
صممت كامة المضخة الحافظة بشكل مختلف عن الكامات الاعتيادية إذ تحتوي على جزء منخفض يليه جزء مرتفع بشكل حاد نسبياً ثم جزء دائري نظامي (A flat trailing edge) وهو الجزء الأكبر. يساعد هذا الترتيب على دفع المكبس الى الأسفل بسرعة عالية مسبباً زيادة ضغط الوقود بسرعة كبيرة ومن ثم سرعة حقنه داخل غرفة الاحتراق (شكل 12.6). إما الجزء الدائري من الكامة يجعل مكبس المضخة يرتفع وينخفض ببطيء وبصورة منتظمة مما يساعد على تدفق الوقود الى محجر الضغط العالي (High-air bubbles) في المضخة-الحافظة خالياً من فقاعات الهواء (air pressure chamber) (شكل 12.5).

12.2.2 متطلبات خليط الوقود والاحتراق

Fuel Mixture And Combustion Requirements

يعتمد الاحتراق التام وعدم الضوضاء على خلط الوقود الجيد مع الهواء في غرفة الاحتراق لهذا يجب أن يحقن الوقود في الوقت المناسب وبالكمية المطلوبة وتحت ضغط عالي. يؤدي الانحراف عن هذه المتطلبات ولو بصورة طفيفة الى زيادة التلوث

والضوضاء التي ترافق الاحتراق فضلاً عن زيادة كمية الوقود المستهلكة. ولمنع حصول مثل هذه الحالة يؤخر الاحتراق لفترة قصيرة لإعطاء فرصة لراحت الاحتراق اللاحقة. وهذه الفترة القصيرة يطلق عليها مرحلة التأخير وهي فترة مخصوصة بين رش الوقود داخل غرفة الاحتراق وارتفاع الضغط داخل الأسطوانة. خلال هذه الفترة يجب تجنب حقن الوقود بكمية كبيرة وإلا يرتفع الضغط بصورة كبيرة مسبباً ضوضاء عالية داخل المحرك.



شكل (12.7) : ارتفاع ضغط الوقود في الحقنة الابتدائية (القمة الصغيرة) والحقنة الرئيسية (القمة العالية).

ولمعالجة هذه المشكلة تحقن كمية محددة من الوقود تحت ضغط منخفض قبل عملية الحقن الرئيسية (main injection cycle) هذه العملية يطلق عليها دورة حقن الوقود المتقدم أو بعض الأحيان المبكر (الحقن الابتدائي) (pre-injection cycle). تؤدي هذه الكمية من الوقود إلى رفع الضغط بصورة تدريجية وتزييد الحرارة في غرفة الاحتراق (شكل 12.7). هذا الارتفاع بالضغط والحرارة يسرع من حرق الكمية الرئيسية من الوقود والتي تحقن لاحقاً داخل غرفة الاحتراق مما يقلل من فترة تأخير احتراق الوقود ويقلل من ضوضاء الاحتراق ومن كمية أوكسيد النيتروجين في العادم.

Main Injection Cycle

دوره حقن الوقود الرئيسية

12.2.3

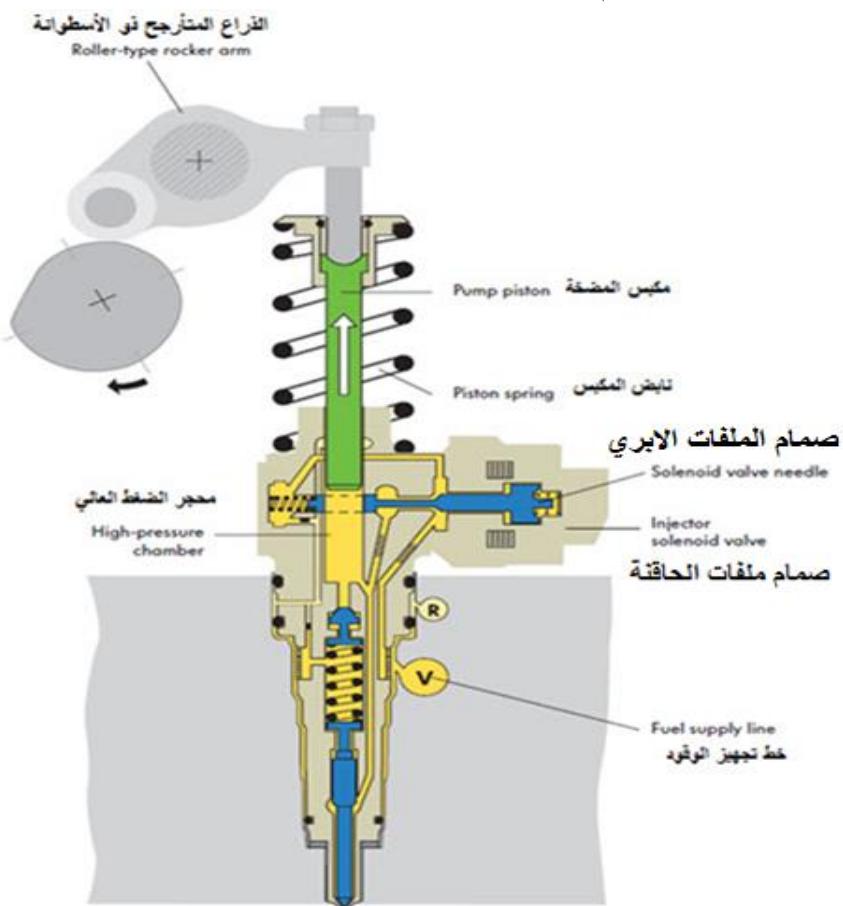
أن الغرض الأساسي من دورة حقن الوقود الرئيسية هو الحصول على أفضل خليط من الهواء والوقود لحرق الوقود بصورة تامة. وللحصول على هذا الخليط يحقن الوقود تحت ضغط عالي مما يؤدي إلى تذريره بصورة كبيرة وعندها يختلط مع الهواء بشكل متجانس مما يسهل حرقه ومن ثم انخفاض الملوثات التي ترافقه. عند الانتهاء من حقن

الوقود يجب أن ينخفض ضغط الوقود داخل الحاقنة بصورة سريعة حتى يُغلق الصمام المنفث (nozzle valve) بسرعة عالية. هذه العملية تمنع نزول الوقود بشكل قطرات داخل غرفة الاحتراق والتي إذا نزلت لا تحرق بصورة تامة مسببة ظهور الملوثات (الدخان الأسود).

12.2.4 طريقة عمل المضخة الحاقنة

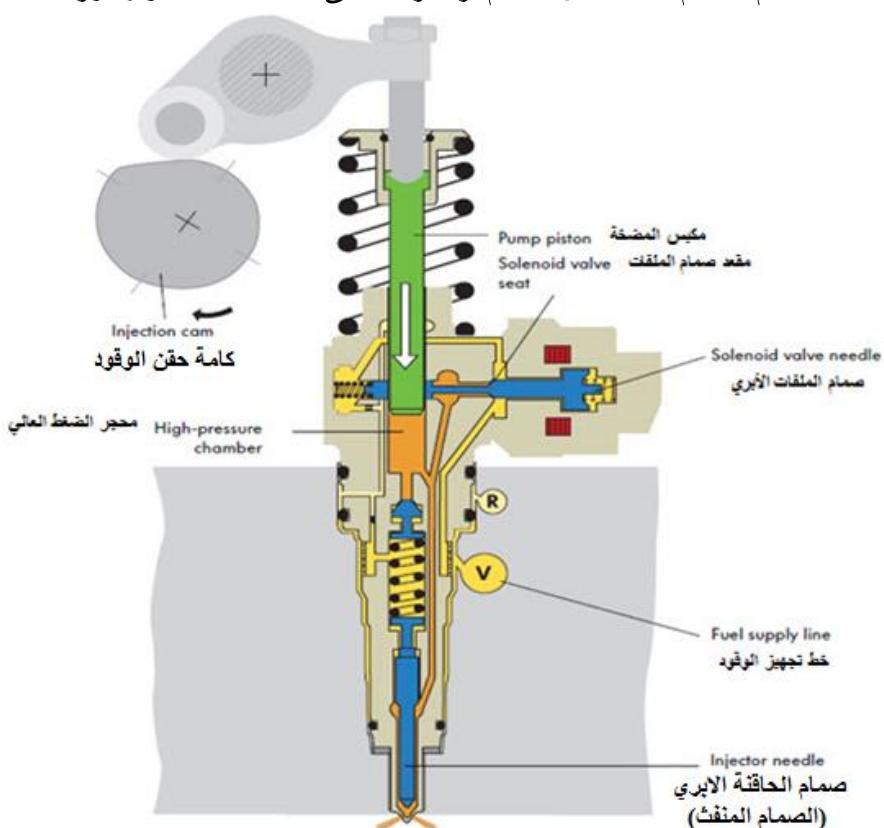
Operation Method Of The Pump Injection

يندفع مكبس المضخة (piston pump) إلى الأعلى بواسطة نابضه (piston pump) مما يؤدي إلى زيادة حجم محجر الضغط العالي (high-pressure chamber) الذي



شكل (12.8) : طريقة عمل المضخة - الحاقنة

يقع تحته (شكل 12.8). يدخل الوقود المدفوع بواسطة مضخة الوقود (Fuel pump) الى هذا الحجر وتحت ضغط عالي من خلال صمام ملفات البائقة المفتوح (Injector) (solenoid valve seat) (الصمام راجع الى الوراء وبعيداً عن مقعده solenoid valve) بسبب عدم تفعيل ملفاته لعدم وصول الكهرباء إليها. عندما تدور كامة حقن الوقود (Injection cam) تدفع الذراع المتأرجح (Roller-type rocker arm) من جهتها الى الاعلى والى الأسفل من الجهة الأخرى دافعاً مكبس المضخة الى الأسفل (ذو اللون الأخضر) (شكل 12.9). يؤدي نزول المكبس الى اندفاع جزء من الوقود الى فتحة تغذيته (خط تجهيز الوقود fuel supply line) (أي رجوع جزء من الوقود). عندما تقوم وحدة السيطرة الالكترونية بالإيعاز للجهاز بضخ الوقود من خلال تفعيل ملفات صمام الحاقنة (Injector solenoid valve) الذي يقوم بغلق مر الوقود الى محجر الضغط العالي من خلال تقدم صمام الحاقنة الى الأمام وجلوسه على مقعده. باستمرار نزول المكبس



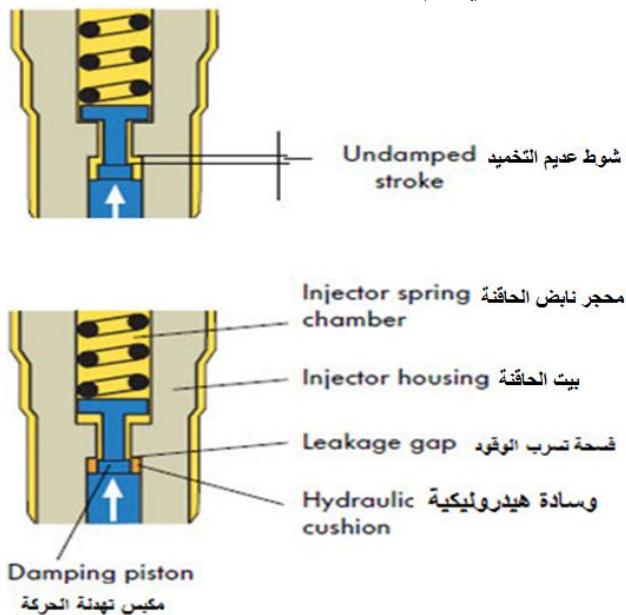
شكل (12.9) : حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق

إلى الأسفل يزداد ضغط الوقود داخل محجر الضغط العالي (اللون الجوزي) عندها ينتقل الضغط إلى الصمام المنفذ أو أبره الحافظة (Injector needle) من خلال الممر الجانبي إلى الحوض الذي يقع تحت الجزء المخروطي من الصمام المنفذ. وعند وصول الضغط إلى 180bar وهو أعلى من قوة النابض الذي يقع فوق الصمام المنفذ (اللون البرتقالي) عندها يترفع الصمام المنفذ إلى الأعلى فيخرج الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق.

The Fuel Pre-Injection Cycle

دورة حقن الوقود الابتدائية 12.2.5

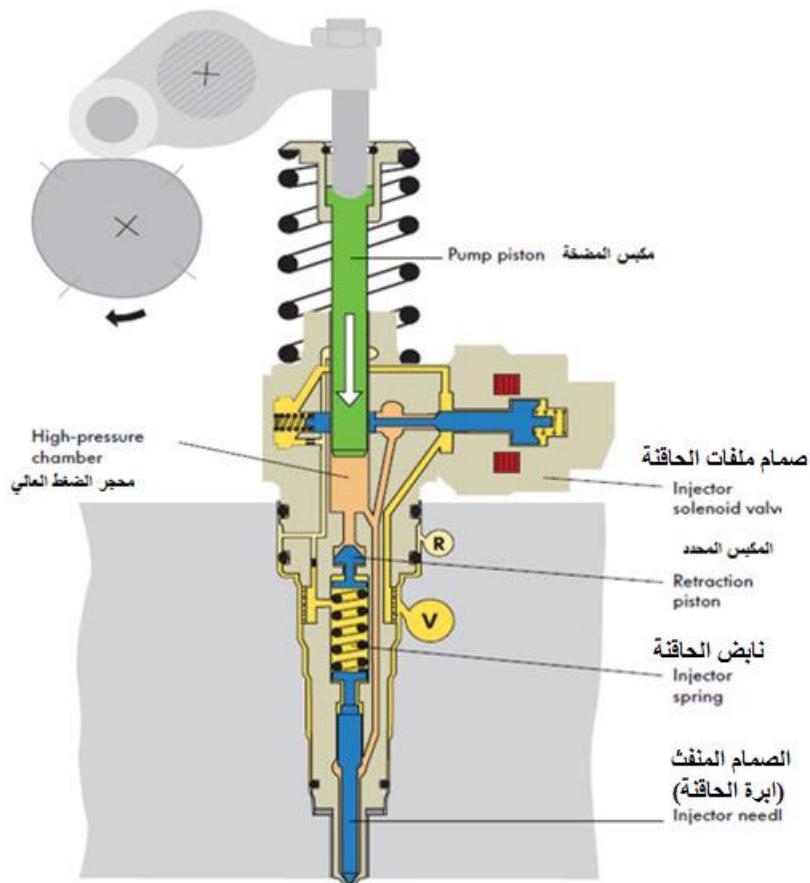
عند حقن الوقود بالدورة الابتدائية فإن سرعة ارتفاع الصمام المنفذ (الصمام الأبرق) تُخفف بواسطة الوقود الموجود فوقه وهذه العملية يطلق عليها التهدئة (التخميد) الهيدروليكي (hydraulic damping). تساعد هذه العملية على تحديد كمية الوقود المحقونة بدقة عالية والتي تتم كالتالي:



شكل (12.10) : التهدئة الهيدروليكيّة للصمام المنفذ

عند ارتفاع صمام المنفذ إلى الأعلى يبدأ شوط حقن الوقود. في ثلث الأول لهذا الشوط لا تقاوم حركة الصمام بواسطة الوقود الموجود فوقه (أي لا توجد تهدئة

هيدروليكيّة) لهذا يصعد الصمام المنفث إلى الأعلى وضمن هذه الفترة يحقن الوقود داخل غرفة الاحتراق. يطلق على هذه العملية بدورة حقن الوقود الابتدائية (شكل 12.10). وعند صعود الصمام المنفث إلى الأعلى وبمقدار أكبر مما سبق عند هذه اللحظة يرتفع مكبس التهدئة الهيدروليكيّة (damping piston) (اللون الأزرق بشكل الحرف T) إلى الأعلى فتندفع نهايته العليا داخل حيز نابض الحاقنة (Injector spring chamber) فيتدفق الوقود الموجود فوق الصمام المنفث (اللون الجوزي) إلى حيز النابض ومن خلال فسحة تمرير الوقود (فتحة تسريب الوقود) (leakage gap) وهذا يقلل من سرعة صعود الصمام المنفث إلى الأعلى خلال فترة حقن الوقود الابتدائية.



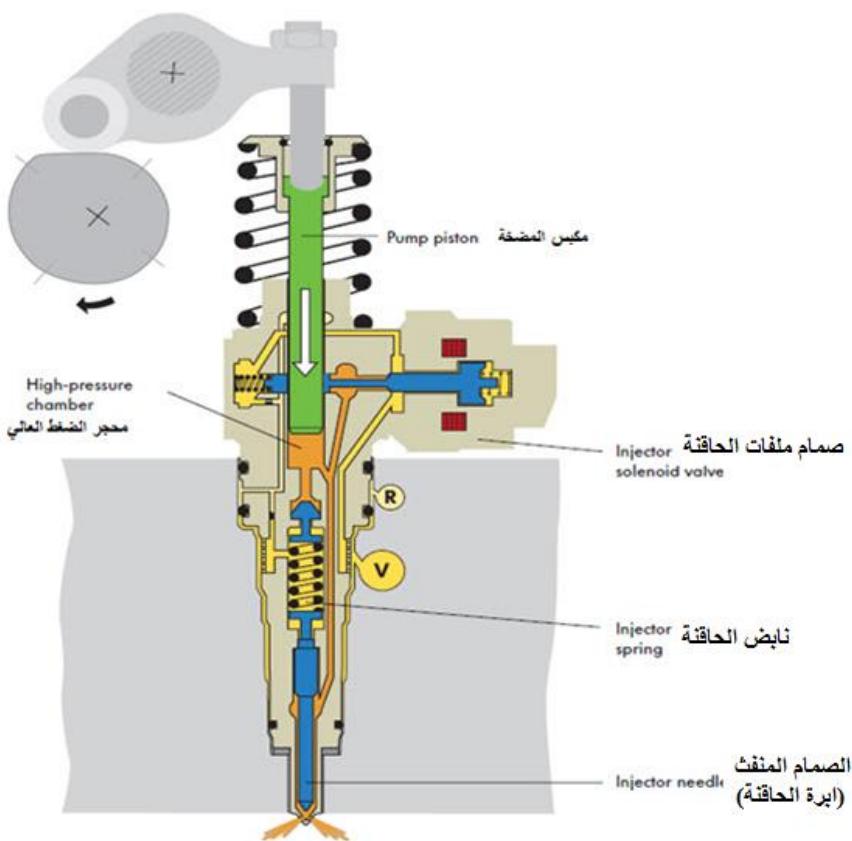
شكل (12.11) : نهاية دورة حقن الوقود الابتدائية

تنتهي فترة الدورة الابتدائية لحقن الوقود بعد فتح الصمام المنفث مباشرةً. خلال هذه الفترة (فترة الدورة الابتدائية) يرتفع الضغط في محجر الضغط العالي (High pressure chamber) مسبياً دفع مكبس السحب (Retraction piston) الموجود أسفل محجر الضغط العالي إلى الأسفل فيندفع جزء من الوقود إلى المحجر الموجود فيه رأس مكبس السحب فضلاً عن ذلك يزداد حجم محجر الضغط العالي وهذا يسبب انخفاض الضغط فيه لحظياً. نزول مكبس السحب إلى الأسفل يولد ضغطاً على النابض الذي يقع تحته. يقوم النابض بدورة بتمويل ضغط على مكبس التهدئة أو التخميد (Damping piston) والأخير يدفع الصمام المنفث إلى الأسفل. وعندما يندفع الوقود الموجود في الحوض الموجود تحت الجزء المخروطي من الصمام المنفث إلى محجر الضغط العالي نتيجة ضغط الصمام المنفث (Injector needle) عليه ويساعده انخفاض الضغط في محجر الضغط العالي أيضاً. يؤدي إخراج الوقود من الحوض الذي يوجد فيه الجزء المخروطي من الصمام المنفث إلى غلق الصمام المنفث وعندما يتوقف نزول الوقود إلى غرفة الاحتراق (شكل 12.11). وبانغلاق الصمام المنفث تنتهي دورة رش الوقود الابتدائية. ولفتح الصمام المنفث مرة أخرى في الدورة الرئيسية يجب أن يكون الضغط في محجر الضغط العالي عالياً بصورة كبيرة.

The Main Fuel Injection Cycle

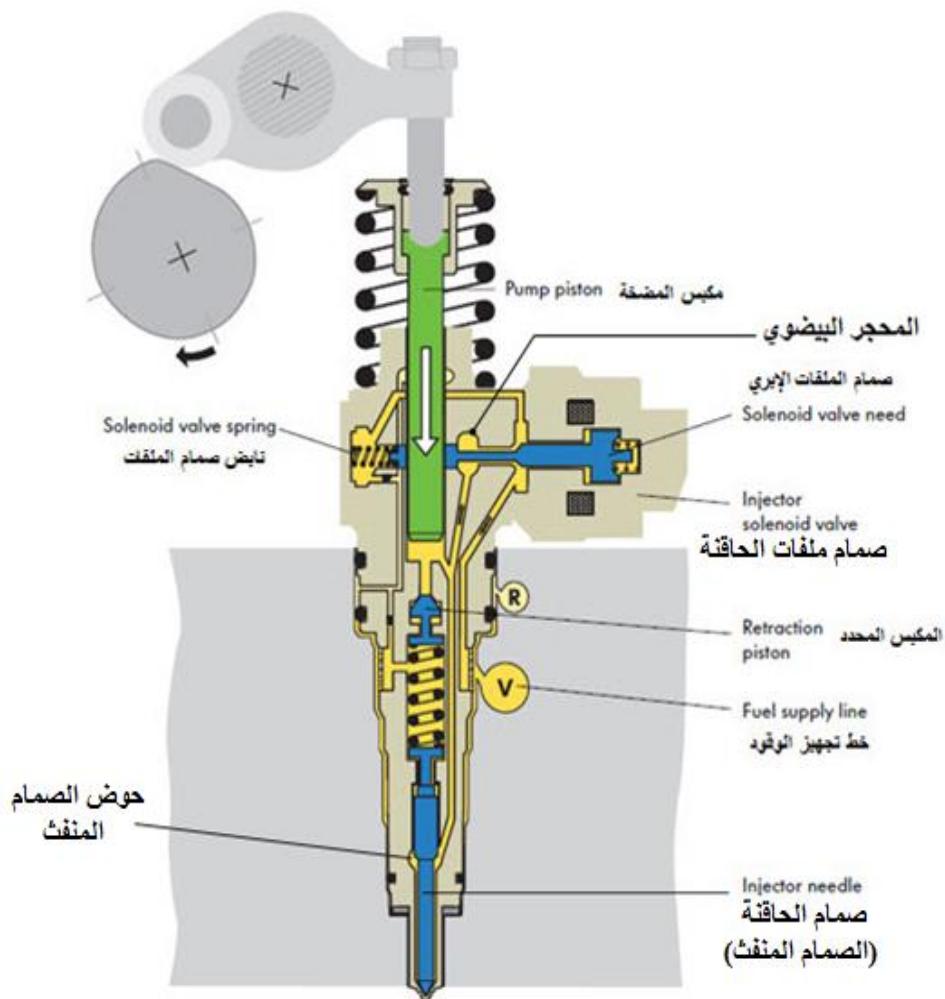
12.2.6 دورة حقن الوقود الرئيسية

عند انتهاء دورة حقن الوقود الابتدائية بانغلاق الصمام المنفث يرتفع الضغط في محجر الضغط العالي بصورة كبيرة جداً نتيجة استمرار نزول مكبس الحافظة (الحافظة) إلى الأسفل (Pump piston). وفي نفس الوقت يبقى صمام ملفات الحافظة مغلقاً (Injector solenoid valve) (شكل 12.12). فضلاً عن ذلك يبقى الصمام الموجود فوق الصمام المنفث مكمبساً نتيجة نزول مكبس السحب (Retraction piston) إلى الأسفل. وعند بلوغ ضغط الوقود داخل محجر الضغط العالي (300bar) عندما يتجاوز زوايا الضغط قوة نابض صمام الحافظة (Injector spring). ونتيجة ذلك يرتفع الصمام المنفث من جديد إلى الأعلى وضد قوة نابض الحافظة عندما تبدأ دورة حقن الوقود الرئيسية. يستمر ارتفاع الضغط في محجر الضغط العالي ليصل إلى (2050bar) بسبب محدودية معدل تصريف الوقود من الحافظة والذي لا يتناسب مع الضغط الذي يولده المكبس على الوقود في المحجر. يؤدي الضغط العالي إلى تدrier الوقود بصورة كبيرة جداً.



شكل (12.12) : دورة حقن الوقود الرئيسية

تنتهي دورة حقن الوقود الرئيسية عندما يصل أبعاد من وحدة سيطرة المحرك (engine control unit) عندها تقطع الكهربائية عن ملفات الحاقنة ويقوم نابض صمام الملفات (Solenoid valve spring) بدفع الصمام الى الخارج فينفتح منفذ للوقود المحصور بمحرر الضغط العالي (شكل 12.13) فيتدفق من خلال المر المرموجد جنب المكبس والذي يحتوي على حنجرة ضيقة (اللون الاسود) الى الحوض (الحجر) البيضوي الشكل الذي يقع أمام صمام الملفات الأبرى. وعندما يزول ضغط الوقود الموجود في محرر الضغط العالي على الوقود الموجود في حوض الصمام المنفث ينخفض الضغط في هذا الحوض فيقوم نابض الصمام المنفث بغلق الصمام. وعندما ينغلق الصمام المنفث يعود الوقود الموجود في حوضه ومن خلال المر الجانبي (اللون الجوزي) ليلتقي مع الوقود الخارج من محرر الضغط العالي ليعودا معاً الى الحوض البيضوي الذي يقع الى



شكل (12.13) : انتهاء دورة حقن الوقود الرئيسية

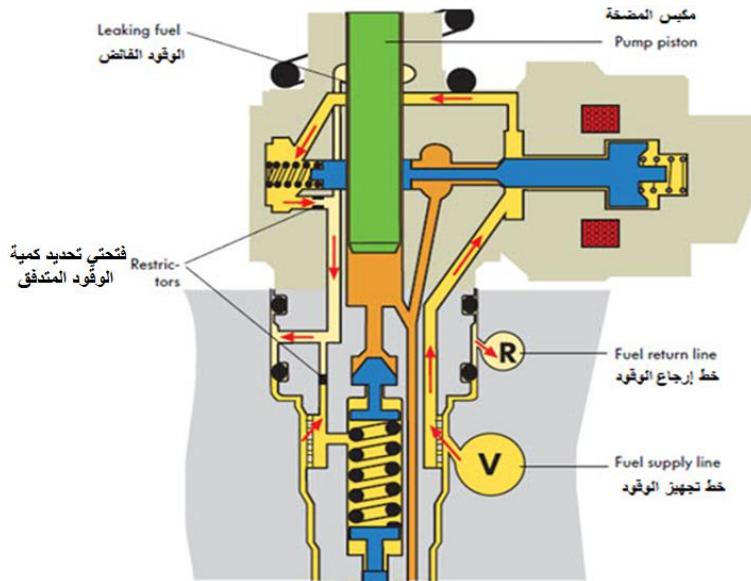
جانب مكبس المضخة. ثم يخرج الوقود من خلال فتحة صمام الملفات ويعود إلى مصدر تزويد الحقنة بالوقود (Fuel supply line) (شكل 12.13). ينفتح صمام ملفات الحقنة الأبرى عندما تقطع الكهربائية عن الملفات وينتفي المجال المغناطيسي كما يقوم نابض صمام الملفات والذي يقع في الجانب الآخر من الحقنة بدفع الصمام فيرتفع عن مقعده فينفتح مر الوقود من جديد.

إرجاع الوقود الفائض الى الخزان

Returning The Fuel To The Tank

يقوم جهاز إرجاع الوقود الى الخزان بعدة وظائف منها تبريد المضخة الحافظة وتخلص الوقود من الفقاعات الهوائية وإرجاع الوقود الفائض الى الخزان. تتم عملية تبريد المضخة الحافظة بتدوير الوقود داخل جسمها ثم إخراجه من الجانب الآخر لدخوله (شكل 12.14). يندفع الوقود من منفذ تزويد المضخة-الحافظة ثم يصعد الى الأعلى متحاوراً صمام ملفات الحافظة ثم يمر من الممر الجانبي ويترد الى الأسفل الذي توجد فيه بعض الأنابيب الضيقة (الحناجر) (Restrictors) لتقليل سرعة الوقود وإعطائه فرصة لامتصاص الحرارة ثم يذهب الى الجهاز الذي يقوم بإرجاعه الى الخزان. كما يدخل جزء من وقود التبريد الى الحيز الموجود فيه الصمام المنفث عندما يصعد مكبس السحب (Retraction piston) الى الأعلى ويترد مكبس التهدئة او التخميد الى الأسفل (Damping piston) بعد ذلك يخرج الوقود من هذا الحيز عندما يتحرّك ان هاذان المكبسان بصورة عكسية. كما أن الوقود الموجود في محجر الضغط العالي عندما يتوقف ضخ الوقود يخرج جزء منه الى الحوض البيضوي الموجود عند صمام ملفات الحافظة ومنه الى الخارج عبر صمام الملفات ليدور حول الحافظة لغرض التبريد.

أما فصل فقاعات بخار الوقود فيتم من خلال الواقع الضيق (الحناجر) في أنابيب إرجاع الوقود (Restrictors) (شكل 12.14). تميّز هذه الحافظة باستمرار دخول الوقود إليها حتى خلال فترة حرقنة داخل غرفة الاحتراق من خلال أنبوب تجهيز الوقود (7). فعندما يبدأ حقن الوقود يقوم صمام الملفات بغلق مر الوقود الى محجر الضغط العالي وعندها يتوقف دخول الوقود الى هذا المحجر. إلا أن الوقود المدفوع بواسطة المضخة (Fuel pump) يستمر بالدخول الى المضخة-الحافظة ويدور داخلها كما توضحه الأسهم في الشكل (12.14). يمر الوقود من خلال الواقع الضيق (Restrictor) التي تقوم بتخلصه من الفقاعات وبعدها يعود الى الخزان من خلال أنبوب إرجاع الوقود (fuel retain line (R)). وعندما يتوقف حقن الوقود داخل الأسطوانة ينفتح صمام الملفات وعندها يذهب جزء من الوقود الى محجر الضغط العالي والجزء الآخر يدور حول المضخة الحافظة لتبریدها.



شكل (12.14) : طريقة رجوع الوقود من المضخة الحاقدة الى الخزان

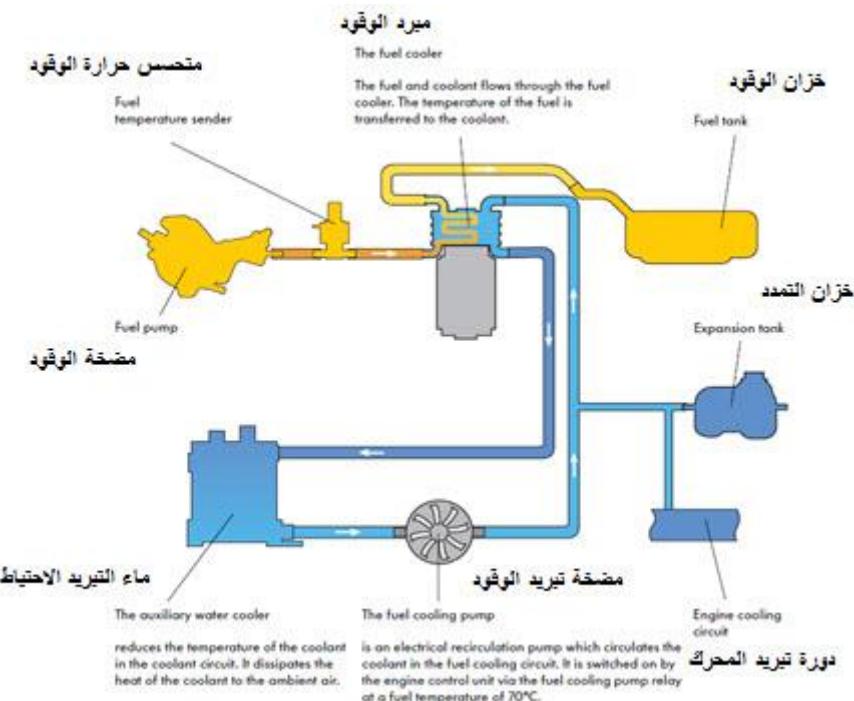
12.2.8 دائرة تبريد الوقود

The Fuel Cooling Circuit

يمد الوقود الراجع من مضخة الوقود (Fuel pump) بدائرة التبريد ليفقد حرارته قبل رجوعه الى الخزان (شكل 12.15). دائرة تبريد الوقود مفصولة عن دائرة تبريد المحرك لأن ماء تبريد المحرك أعلى درجة من ماء تبريد الوقود. إلا أن كلتا الدائرتين يشتراط كأن بالخزان الإضافي أو خزان التمدد (expansion tank). تكون دائرة تبريد الوقود من مضخة تبريد الوقود (the fuel cooling pump) وخزان الماء المساعد (auxiliary water cooler) ومشععة الوقود (fuel radiator) ومحسس الحرارة أو مرسل درجة الحرارة الى جهاز السيطرة (Fuel temperature sender) والخزان الإضافي (Expansion tank) (شكل 12.15).

عندما ترتفع درجة حرارة وقود المحرك الى (70°C) أو أكثر تُبعث إشارة من مرسل درجة الحرارة الى جهاز السيطرة في المحرك. عندها تصل الكهربائية الى مضخة تبريد الوقود فتقوم بسحب الماء من الخزان المساعد وتدفعه الى المشععة. يقوم الماء بسحب حرارة الوقود ويفقدتها الى الهواء من خلال المشععة ثم يعود الى الخزان وتستمر العملية الى أن تنخفض درجة حرارة الوقود الى الحد المطلوب عندها يتوقف تدوير الماء.

وتتوقف مضخة تبريد الوقود عن العمل. وعندما يحصل نقص في ماء الجهاز يقوم الخزان الاحتياطي بتجهيزه بالماء فضلاً عن سحبه البخار من الجهاز إذا كان موجوداً.



شكل (12.15) : دورة تبريد الوقود الراجع من المضخة والمضخة-الحاقنة الى الخزان

12.3 جهاز الوقود ذو أنبوب توزيع الوقود تحت الضغط العالي المشترك

Common Rail Injection System

يُزود هذا الجهاز بمضخة تقوم برفع ضغط الوقود بشكل كبير جداً وتدفعه إلى أنبوب ذي مواصفات عالية ليتجمع فيه تحت ضغط عالٍ. يطلق على هذا الأنابيب بالأنبوب المشترك (common rail pipe) وظيفته توزيع الوقود على الحاقدنات. وهذا الأنابيب أستُعِيَّض به عن مضخات الوقود الصغيرة الموجودة في مضخة الوقود من نوع على خط واحد (in-line fuel pump system) والتي تخصص كل واحدة منها لأسطوانة من أسطوانات المحرك. فضلاً عن ذلك يزود هذا الجهاز بمضخة وقود تعد أقل تقييداً من الأنواع الأخرى.

يعمل هذا الجهاز ببدأ رفع ضغط الوقود ومن ثم حقنه داخل الأسطوانة بعمليتين منفصلتين عكس جهاز الوقود ذي المضخة على خط واحد والمضخة الدورانية

الميكانيكية والتي تتم فيهما العمليتين بعملية واحدة. تقوم مضخة الوقود برفع ضغط الوقود ودفعه الى أنبوب التجميع (Rail accumulator or common rail) (شكل 12.16 رقم 9) ثم يدفع الوقود منه الى الحقنات كلاً على حدة وحسب ترتيب الاحتراق. يتميز هذا الجهاز بالصفات الآتية:

1. امكانية اختيار الضغط الذي يحقن فيه الوقود داخل غرفة الاحتراق وحسب ظروف عمل المحرك.
2. امكانية رفع ضغط الوقود الى (1800bar) مما يزيد من تدريجه وقابليته على الاختلاط في الهواء.
3. يضخ الوقود على مراحلين وهما المرحلة الأولية (pre-injection) والمرحلة المتأخرة (المرحلة الرئيسية) (post-injection).
4. يعدّ الجهاز اقتصادياً من حيث استهلاك الوقود ويجعل المحرك أكثر هدوءاً فضلاً عن تقليله للتلوث البيئي.

أجزاء جهاز الوقود ذو أنبوب الضغط العالي المشترك

Common Rail Fuel Injection System

يتكون الجهاز من الأجزاء الرئيسية الآتية (شكل 12.16):

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Transfer fuel pump | 1. مضخة نقل الوقود (مضخة تغذية الوقود) |
| Fuel filter with preheating valve | 2. مصفى (مرشح) الوقود وصمام التسخين المسبق |
| Auxiliary fuel pump | 3. مضخة الوقود المساعدة |
| Filter screen | 4. مشبك أو شاشة تنظيف الوقود |
| Fuel temperature sensor | 5. متحسس درجة حرارة الوقود |
| High pressure pump | 6. مضخة الضغط العالي |
| Fuel metering valve | 7. صمام قياس أو معايرة كمية الوقود |
| Fuel pressure regulator valve | 8. صمام تنظيم ضغط الوقود |
| High pressure accumulator (Rail) | 9. أنبوب الضغط العالي التجميلي |
| fuel pressure sensor | 10. متحسس ضغط الوقود |
| Pressure retention valve | 11. صمام الاحتفاظ (صمام الإبقاء) بضغط الوقود الراجي |

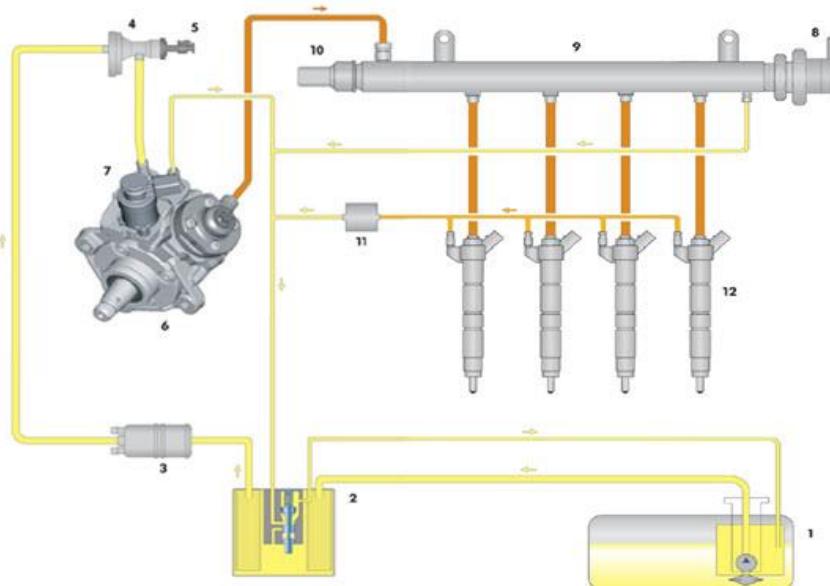
12. حاقدنات الوقود

وظائف وعمل أجزاء جهاز الوقود ذو أنبوب الضغط العالي المشترك والتي هي:

Transfer Fuel Pump

مضاخة تغذية الوقود 12.3.1.1

توجد هذه المضاخة في خزان الوقود وهي من النوع الكهربائي. تقوم بضخ الوقود الى الجهاز عند وصل الكهرباء إليها لإثناء تشغيل المحرك باستخدام مفتاح التشغيل. توضع المضاخة داخل خزان الوقود لغرض تخلصها من حرارة التي تنتجهما الكهربائية فضلاً عن قرب الوقود من المضاخة ومن جهة أنبوب السحب مما يقلل من الجهد المطلوب منها لسحبه بالإضافة الى تقليل فرصة دخول الهواء الى أنبوب السحب. لقد تم التعرض لهذا النوع من المضاخات بالتفصيل في الفصل الحادي عشر (شكل .(11.5



1. مضاخة نقل الوقود
2. مصفى الوقود مع المسخن الابتدائي
3. المضاخة المساعدة
4. مشبك التنظيف
5. متحسس حرارة الوقود
6. مضاخة الضغط العالي
7. صمام معايرة الوقود
8. صمام منظم ضغط الوقود
9. مجمع الوقود المضغوط (ضغط عالي)
10. متحسس ضغط الوقود
11. صمام الاحتفاظ بالضغط
12. حاقدنات الوقود

شكل (12.16) : أجزاء جهاز الوقود ذو أنبوب الضغط العالي المشترك

12.3.1.2 مصفى الوقود وصمام التسخين الابتدائي

Fuel Filter With Preheating Valve

يمر الوقود الذي تدفعه مضخة التغذية بالمصفى لتخليصه من المواد الغريبة العالقة فيه (شكل 12.16 (2)). يزود المصفى بملف كهربائي لتسخين الوقود وذلك لمنع انسداده نتيجة تكتل أو تبلور البرافين فيه (paraffin crystallization) الذي يحتويه الوقود في الأجزاء الباردة. فضلاً عن ذلك يزود المنظف بأنبوب لإرجاع الوقود الفائض إلى الخزان عبر صمام خاص لهذا الغرض.

Auxiliary Fuel Pump

12.3.1.3 مضخة الوقود المساعدة

تقوم مضخة الوقود المساعدة بسحب الوقود من المنظف ودفعه إلى مضخة الوقود ذات الضغط العالي. توجد هذه المضخة ضمن الحيز الذي يوجد فيه المحرك وهي من النوع الكهربائي (الشكل 12.17). تتصل بجهاز السيطرة الإلكترونية للmotor (Engine ECM control module). تزود هذه المضخة بأسطوانات معدنية صلدة توضع في خلايا خاصة لهذا يطلق عليها المضخة ذات الأسطوانات المعدنية والخلايا (Roller-cell pump). طريقة عملها شرحت بالتفصيل في الفصل الحادي عشر (شكل 11.15).

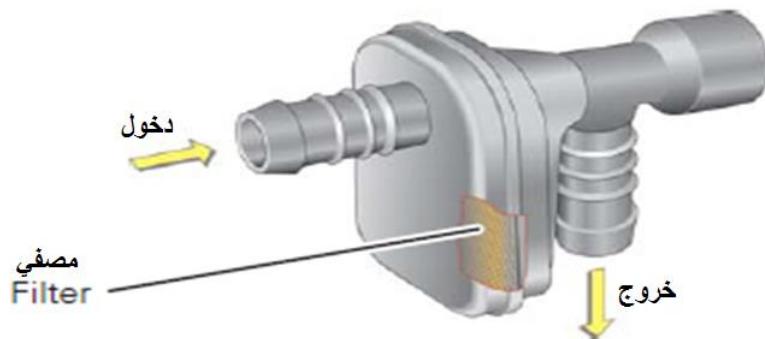


شكل (12.17) : مضخة الوقود المساعدة

Filter Screen

12.3.1.4 مشبك أو شاشة تنظيف الوقود

يوضع هذا المشبك عند مدخل مضخة الضغط العالي لمنع دخول المواد الغريبة إليها والتي استطاعت المرور من خالل المصفى الرئيسي للتنظيف (شكل 12.18).



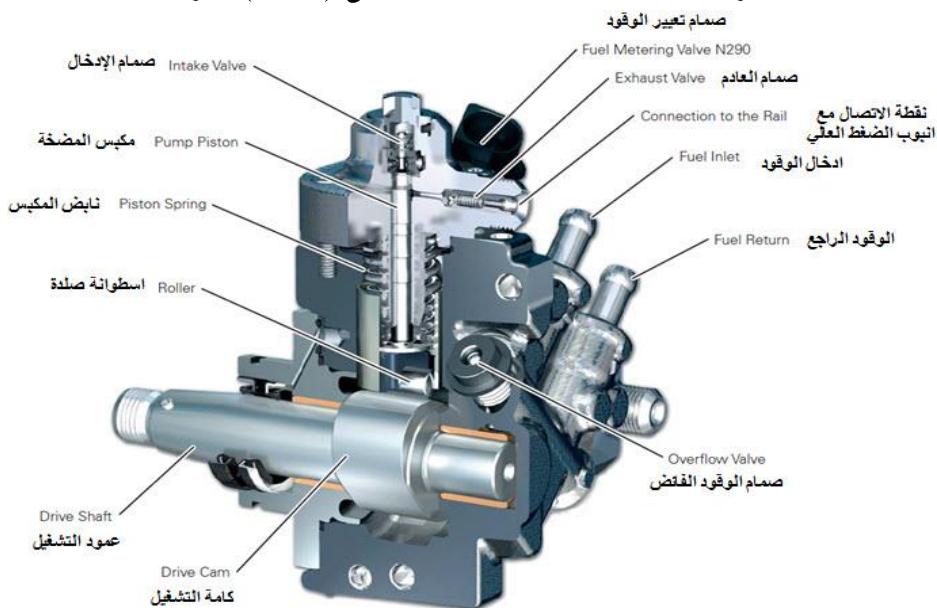
شكل (12.18) : مشبك تنظيف الوقود

مضخة الوقود ذات الضغط العالي

12.3.1.5

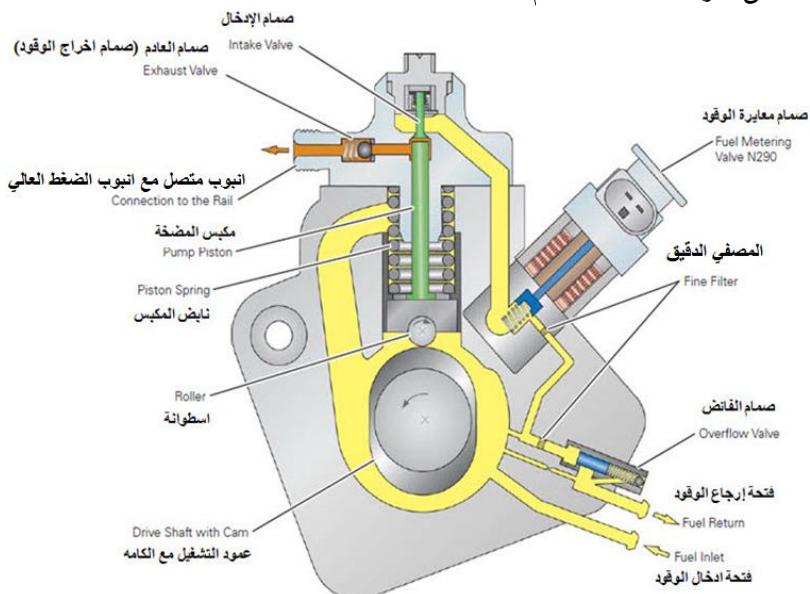
High-Pressure Fuel Pump

مضخة الوقود ذات الضغط العالي أحادية المكبس تُنقل الحركة إليها من عمود المرفق بواسطة حزام مسنن (toothed belt) لهذا سرعتها الدورانية متساوية لسرعة المحرك. وبسبب استخدام هذه الطريقة بنقل الحركة إلى المضخة يجب إن توقيت (pump timing) نسبةً لعمود المرفق عند صيانتها. يظهر الشكل (12.19) صورة مجسمة لأجزاء



شكل (12.19) : شكل مجسم لمضخة الوقود ذات الضغط العالي

المضخة المختلفة. تتكون المضخة من عمود نقل الحركة (عمود التشغيل) (Drive shaft) وكامة الحركة (كاميرا التشغيل) (Drive cam) الشائبة الحدبة والبيضاوية الشكل ومكبس المضخة (piston) وأسطوانة معدنية صلدة أو درفيل (Roller) تلامس الكامة باستمرار وتحرك عليها عند دورانها ونابض المكبس (Piston spring) وصمام معالجة الوقود (تحديد كمية الوقود) (fuel metering valve) وأنبوب أدخال الوقود إلى المضخة (Fuel inlet) وأنبوب إرجاع الوقود (fuel return) وفتحة الاتصال مع أنبوب توزيع الوقود (Fuel connection on the rail) وصمام السيطرة على الوقود المتدايق إلى أنبوب توزيع الوقود والذي يطلق عليه (صمام العادم) (Exhaust valve) وصمام الإدخال (صمام أدخال الوقود) (Inlet valve). الوظيفة الرئيسية لمضخة الضغط العالي هو رفع ضغط الوقود إلى (1800bar) لغرض حقنه داخل غرف الاحتراق في الأسطوانات للحصول على تجزئة عالية للوقود ومن ثم مزجها بالهواء لحرقة بصورة تامة ومن ثم تقليل تلوث البيئة بالعادم.



شكل (12.20) : مقطع عرضي في مضخة الوقود ذات الضغط العالي.

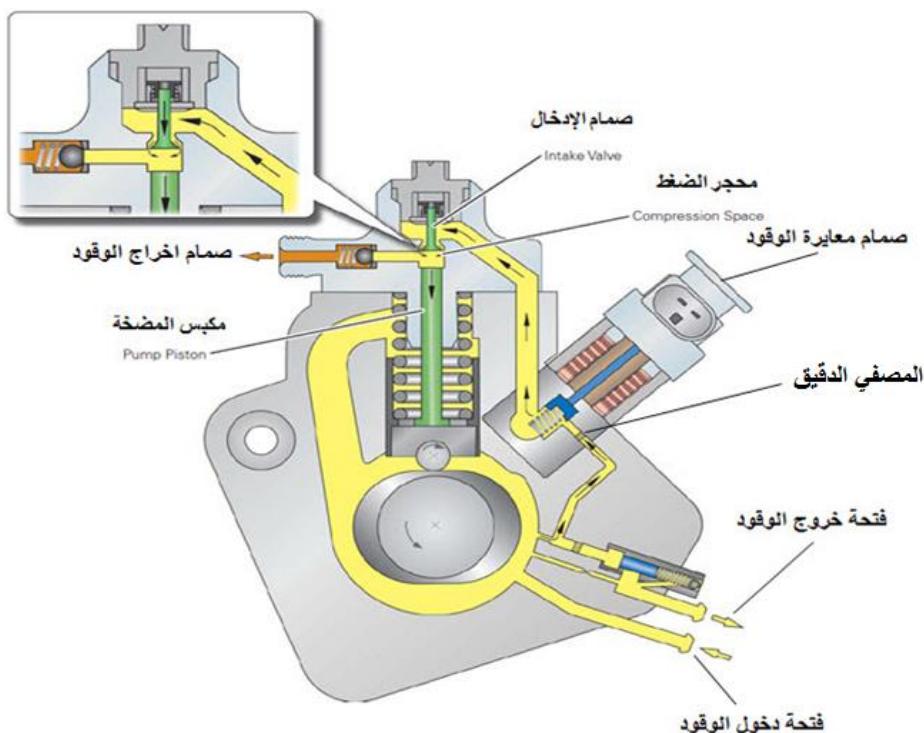
يتم ضخ الوقود بواسطة المكبس الذي يُدفع بواسطه الكامة الشائبة الحدبة (حدبتين متقابلتين). وهذا يعني إن المكبس يضخ الوقود مررتين لكل دورة من دورات الكامة. يوضح الشكل (12.20) مقطعاً عرضياً للمضخة والذي يظهر صمام تحديد كمية

الوقود (صمام معايرة الوقود) fuel metering valve وفتحة أدخال الوقود وفتحة الوقود الفائض وصمامه overflow valve وصمام أدخال الوقود (Intake valve) ومرشحي الوقود الدقيقين (fine Filters).

12.3.1.6 طريقة عمل مضخة الوقود ذات الضغط العالي

The High Pressure Fuel Pump Operation

عندما تدور الكامنة ويبتعد فصاها عن مكبس المضخة (شكل 12.21). يتول المكبس إلى الأسفل فيزداد حجم الحيز الموجود فوقه (محجر الضغط). عندها يدخل الوقود إلى المضخة من فتحة الدخول (fuel inlet) (اللون الأصفر) فيملئ الحيز الذي يحيط بالكاميرا ثم يمر من خلال المصفى الدقيق ليدخل إلى صمام تحديد كمية الوقود (Fuel metering valve) (الأسهم السوداء). ثم يندفع الوقود من صمام تحديد كمية إلى الحيز الموجود فوق المكبس (محجر الضغط) ومن خلال صمام الإدخال (Intake valve) والذى يتول إلى الأسفل نتيجة تخلخل الضغط في الحيز الذي تحته فينكبس



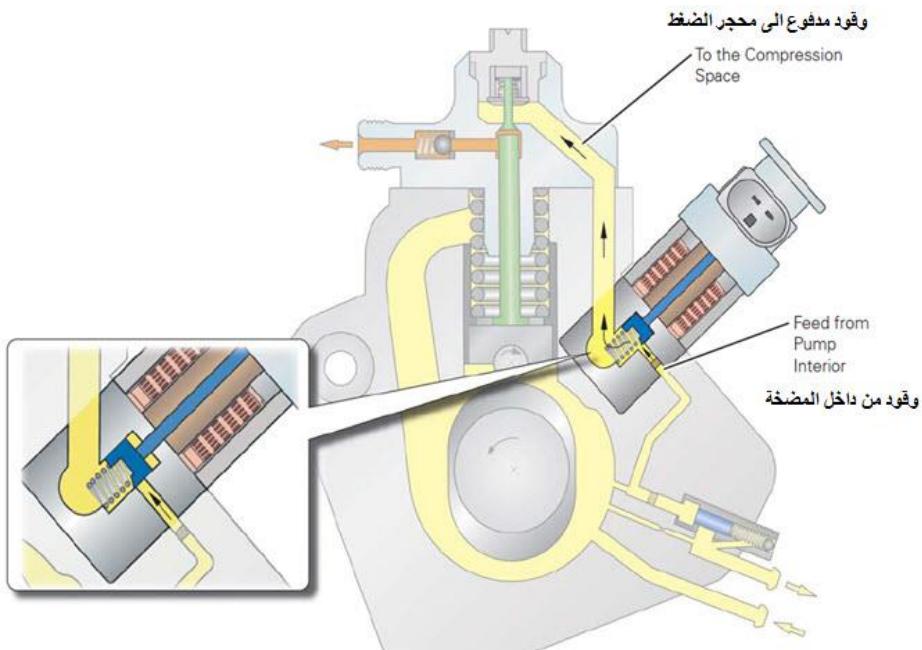
شكل (12.21) : دخول الوقود إلى المضخة ودفعه بواسطة المكبس إلى خارج المضخة.

الصمام الموجود فوقه ويستمر الوقود بالترول حتى يُملأ الحيز بالوقود. وعندما تدور الكامنة وتقترب أحدي حدبتيها من المكبس يصعد المكبس الى الأعلى مسبباً ارتفاعاً الضغط في الحيز الموجود فوقه (محجر الضغط) فينغلق صمام الإدخال (Intake valve) نتيجة صعوده الى الأعلى. وعندما يرتفع الضغط بشكل كبير ويتجاوز قوة نابض صمام إخراج الوقود (Exhaust valve) تندفع الكرة المعدنية الى الوراء وعكس قوة النابض عندها يندفع الوقود خارج المضخة تحت ضغط عالي (شكل 12.21) ليذهب الى أنبوب الضغط العالي التجميعي (common rail) الذي تتصل به الحقنات المثبتة برأس الأسطوانات.

Fuel Metering Valve

صمام المعايرة 12.3.1.7

يعدّ صمام المعايرة (صمام تحديد كمية الوقود) جزء من دائرة الضغط العالي للوقود الذي يتضمن مضخة الوقود وأنبوب توزيع الوقود (أنبوب الضغط العالي التجميعي). يُحدد هذا الصمام كمية الوقود الذاهبة الى الحيز الموجود فوق المكبس والذي يطلق عليه حيز الضغط العالي (محجر الضغط) (Compression Space). يساعد تحديد كمية الوقود في هذا الحيز على توليد الضغط المطلوب في اللحظة المناسبة ولفتره قصيرة. يبقى هذا الصمام مفتوحاً لأمرار الوقود وعند امتلاء الحيز الذي فوق المكبس تأتي أشاره من جهاز السيطرة الإلكتروني الموجود في المحرك (Engine Control Module) وبشكل ذبذبات كهربائية عندها يقوم الصمام بغلق مر الوقود مؤقتاً أو يغلقه جزئياً (شكل 12.22) وتم العملية كالتالي: عندما تصل الإشارة من جهاز السيطرة تم الكهربائية الى الملفات فيتولد مجالاً مغناطيسيّاً يدفع المكبس (اللون الأزرق) الى الأسفل، عندما يدفع المكبس بقدار كبير يُغلق مر دخول الوقود من جهة المضخة كلّياً (الصورة الجانبية في الشكل 12.22). وعندما يندفع المكبس الى الأسفل بصورة محدودة فإنه يغلق المر ب بصورة جزئية ويستمر مرور الوقود الى الحيز الموجود فوق المكبس (الأسماء السوداء). وعندما تُقطع الإشارة الكهربائية من جهاز السيطرة يتنهي المجال المغناطيسي عندها يقوم النابض الذي يقع خلف المكبس بدفعه الى الأعلى فيفتح المر الى أقصاه ويبدأ تدفق الوقود الى الحيز الموجود فوق المكبس من جديد (محجر الضغط).



شكل (12.22) : صمام تحديد كمية الوقود (Fuel metering valve)

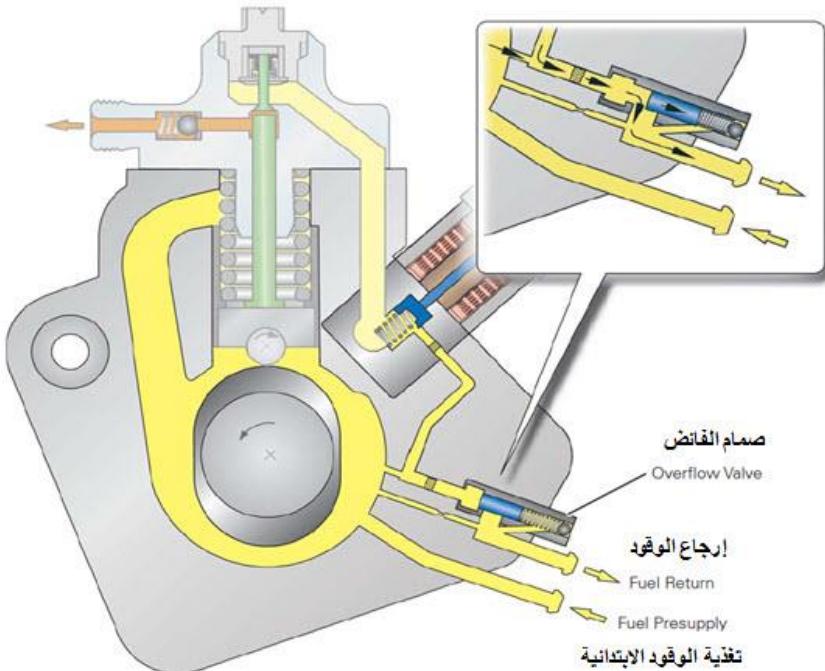
Overflow Valve

12.3.1.8 صمام إرجاع الوقود الفائض

تزود المضخة بصمام لإرجاع الوقود الفائض (صمام الفائض) (Overflow valve). يوجد هذا الصمام في المنطقة ذات الضغط الواطئ في المضخة (شكل 12.23). تقوم المضخة المساعدة في جهاز الوقود (Auxiliary pump) بدفع كميات كبيرة من الوقود إلى مضخة الضغط العالي تحت ضغط مقداره تقريرياً (5bar) لضمان توفير كمية كافية منة لمضخة الضغط العالي طيلة فترة عملها. يقوم صمام الوقود الفائض بتنظيم ضغط الوقود عند (4.3bar) بدلاً من (5bar). وعندما يرتفع الضغط فوق (4.3bar) يندفع مكبس الصمام (اللون الأزرق) إلى الوراء فاتحاً الطريق للوقود الفائض بالرجوع (الأسهم السوداء) إلى الخزان.

وعندما ينخفض ضغط الوقود إلى (4.3bar) يقوم النابض (اللون الرصاصي) بدفع المكبس إلى الأمام غالق فتحة الإرجاع عندها يتوقف رجوع الوقود إلى المصفي. كما تزود المضخة بأنبوب إرجاع ضيق المقطع وفيه مقطع ضيق جداً يقوم بإرجاع كمية قليلة من وقود المضخة (الأنبوب الذي يصل الحيز الذي يحيط بالكاميرا بأنبوب إخراج الوقود من صمام إرجاع الوقود الفائض) هذه الكمية لا تؤثر على عمل المضخة إلا أنها

مفيدة جداً عند حدوث خلل بضمام إرجاع الوقود لمنع ارتفاع الضغط بشكل كبير داخل المضخة (يعدّ ممر حماية).



شكل (12.23) : صمام إرجاع الوقود الفائض (Overflow valve)

السيطرة على ضغط الوقود العالي

12.3.1.9

Control Of The Fuel High Pressure

يستخدم مبدأ السيطرة الثنائية (two-controller concept) للسيطرة على ضغط الوقود العالي في هذا النوع من أجهزة الوقود وتم اعتماداً على ظروف عمل المحرك. يُسيطر على الضغط الوقود العالي إما باستخدام صمام تنظيم الضغط (Fuel pressure regulator) أو صمام معايرة الوقود (تحديد كمية الوقود) (Fuel metering valve). فعندما تكون سرعة المحرك بطيئة فإن كلا الصمامان يعملان على تحديد الضغط لأن كمية الوقود المطلوبة من قبل المحرك محدودة ولا تحتاج إلى ضغط عالي جداً. إذ إن الضغط المطلوب هو لتذرير الوقود ومساعدة المحرك على الانتقال الهادئ من السرعة العالية إلى السرعة البطيئة أيضاً.

كلا الصمامان يعملان بواسطة السيطرة الإلكترونية للمحرك (Engine Control Module) باستخدام النبضات الكهربائية وفي ما يلى وصف لكلا الصمامين.

12.3.1.9.1

السيطرة على ضغط الوقود باستخدام صمام معايرة الوقود

Control By The Fuel Metering Valve

يستخدم صمام معايرة الوقود لتحديد الضغط عندما تكون كمية الوقود المطلوب حقنها داخل الأسطوانات كبيرة وضغط الوقود عاليًا في أنبوب الضغط العالي (Rail). يقوم الصمام بتحديد كمية الوقود الداخلة إلى حيز الضغط العالي الموجود فوق مكبس مضخة الوقود ومن ثم تحديد الكمية المتداولة إلى أنبوب التوزيع (common rail) والذي يطلق عليه بعض الأحيان بأنبوب الضغط العالي التجميعي. إن استخدام هذه الطريقة يقلل من ضغط الوقود فضلاً عن تحديد كميته. وتحديد كمية الوقود تساعد في تقليل القدرة المستهلكة من قبل المضخة فضلاً عن تقليل التسخين غير الضروري للوقود. تم النطريق لهذا الصمام بالتفصيل في الفقرة 12.3.2.6 من هذا الفصل.

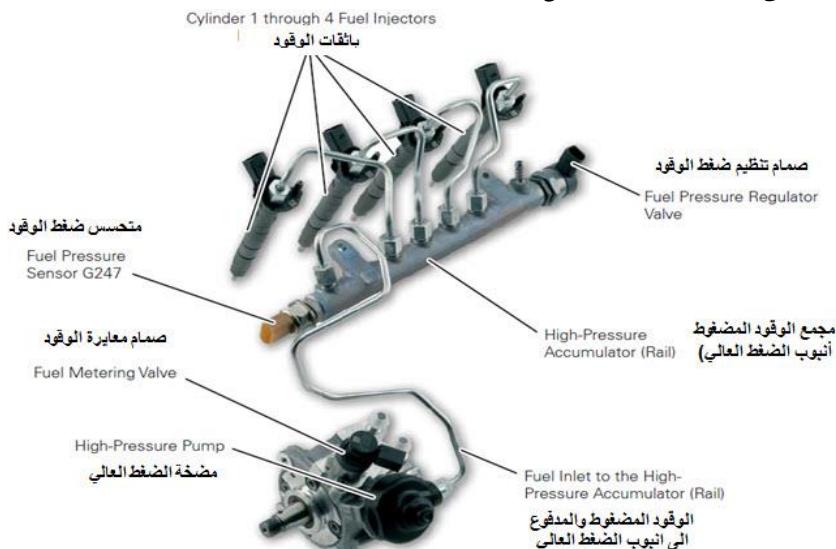
12.3.1.9.2

السيطرة على ضغط الوقود العالي باستخدام صمام تنظيم الضغط

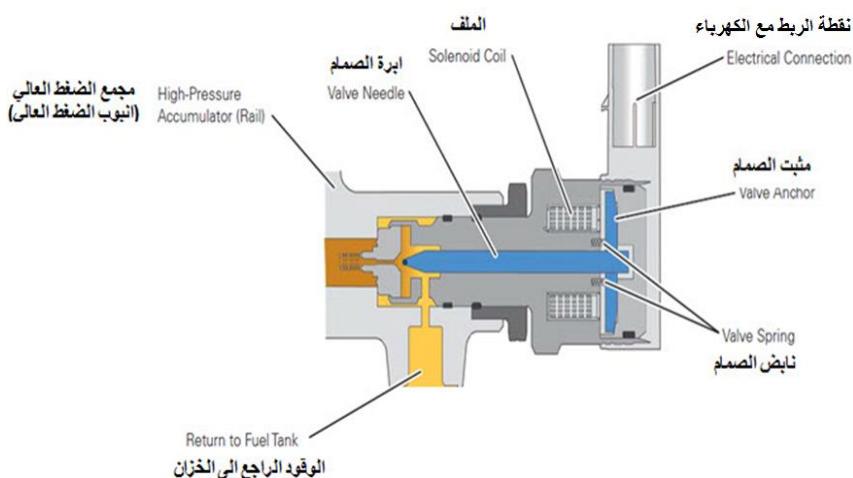
Control By The Fuel Pressure Regulator Valve

يستخدم صمام تنظيم الضغط في الفترة الأولى لتشغيل المحرك لغرض التسخين الأولى للوقود. إذ تقوم مضخة وقود الضغط العالي بضخ كمية كبيرة منه إلى أنبوب الضغط العالي التجميعي (Rail High pressure Accumulator) وبكمية تفوق الكمية المطلوبة مما يسبب كبس الوقود في الأنابيب. يمر جزء من الكمية الفائضة من الوقود إلى أنبوب إرجاع الوقود الفائض من خلال صمام تنظيم الضغط. (شكل 12.24). يوجد هذا الصمام في نهاية أنبوب الضغط العالي التجميعي (شكل 12.24). يتم تفعيله بواسطة الموجات الكهربائية التي تقوم بفتحه وغلقها والتي ترسل من قبل جهاز السيطرة الإلكترونية. يتكون الصمام من الملفات الكهربائية (solenoid coil) وأبره الصمام (Valve needle) ومثبت الصمام (Valve Anchor) ونابضي الصمام (valve springs) وفتحة إرجاع الوقود إلى الخزان (Return to Fuel tank) ونقطة الربط مع الكهرباء (Electrical Connection) (شكل 12.25). عندما تقطع الكهربائية عن منظم الضغط يضمحل المجال المغناطيسي في الملفات وعندما تقوم النوايا Valve springs بدفع مثبت الصمام (اللون الأزرق) إلى الوراء فينسحب الصمام الإبرى إلى الوراء أيضاً مسبباً فتح منفذ خروج الوقود من أنبوب الضغط العالي (شكل 12.26) فيندفع الوقود منه إلى الخارج. يمر الوقود من الممر الضيق ليترد إلى الأسفل ثم يخرج من ممر رجوع الوقود إلى

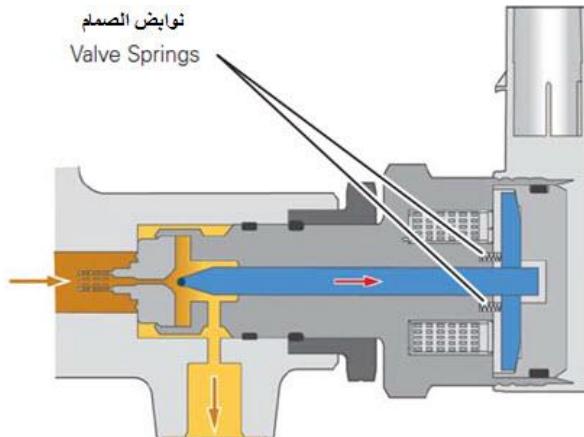
الخزان (Return to fuel tank). يذهب جزء من هذا الوقود إلى المضخة لتعويض منطقة الضغط المنخفض فيها بالوقود فضلاً عن ذلك تساعد عملية خروج الوقود من أنبوب الضغط العالي إلى خروج البخار أيضاً والذي يتكون داخل الوقود عندما يتوقف المحرك عن العمل وتتحفظ درجة حرارته بعددما كان ساخناً. يساعد خروج البخار من الأنابيب على زيادة سرعة تشغيل المحرك مرة أخرى.



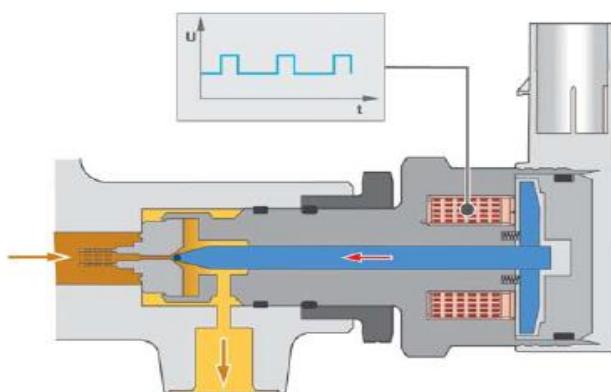
شكل (12.24): السيطرة على ضغط الوقود باستخدام صمام تنظيم الضغط



شكل (12.25): أجزاء صمام السيطرة على الضغط



شكل (12.26) : صمام تنظيم الضغط مفتوحاً مسبباً خروج الوقود من أنبوب الضغط العالي (أبره الصمام راجعة الى الوراء)



شكل (12.27) : صمام تنظيم الضغط مغلق بسبب وصول الكهرباء الى الملفات (أبره الصمام متقدمة الى الأمام)

ولإبقاء الضغط داخل أنبوب الضغط العالي بين (230 الى 1800bar) يفعّل الصمام من خلال جهاز السيطرة الإلكتروني وذلك بارسال أشاره كهربائية الى الملفات. وعند وصول الكهربائية الى الملفات تولد فيها قوة مغناطيسية تسحب القرص الى الأمام (Valve Anchor) فيندفع الصمام الإبري الى الأمام وعندها تنكس النواص وتغلق فتحة خروج الوقود من أنبوب الضغط العالي (شكل 12.27). وباستمرار تدفق الوقود

من المضخة الى أنبوب الضغط العالي يرتفع الضغط من جديد وعندما يتجاوز الحدود المذكورة تقطع الكهربائية عن ملفات الصمام فيضمحل المجال المغناطيسي عندها تقوم النواكب بدفع القرص الى الوراء فينفتح الصمام الإبرى مسبباً تدفق الوقود خارج أنبوب الضغط العالي من جديد وهكذا تستمر عملية الفتح والغلق وبالتناوب وبشكل مستمر لعمل توازن بين الوقود الداخل الى أنبوب الضغط العالي والخارج منه.

Diesel Fuel Injectors

12.4 حائنات وقود الديزل

توجد الحائنات بأنواع مختلفة منها الميكانيكية ومنها الإلكترونية. إلا أن الإلكترونية منها بدأت تحل محل الميكانيكية. تتميز البالقات الإلكترونية بمواصفات يجعلها مفضلاً على غيرها من الحائنات ومن هذه المميزات هي التوقيت الصحيح لحقن الوقود وإعطائهما الكمية المطلوبة منه مما يقلل من الهدر فيه فضلاً عن تقليلها للتلوث البيئي بالعدام. تطرقنا للحائنات الميكانيكية في الفصل الحادي عشر وفي هذا الفصل سوف نتطرق الى الأنواع الإلكترونية.

Electronic Injectors

12.4.1 الحائنات الإلكترونية

12.4.1.1 حائنات وقود الديزل ذات الملفات الكهربائية

Solenoid Fuel Injectors

تتكون هذه الحائنات من الأجزاء الآتية (شكل 12.28) (1) فتحة إرجاع الوقود الفائض (2) الملفات الكهربائية (solenoid coil) (3) النابض المساعد على تحريك الصمام ذو النهايتين العريضتين (over stroke spring) (4) الصمام ذو النهايتين العريضتين الذي تحركه الملفات (Solenoid actuator) (5) كرة الصمام (valve ball) (6) الحيز المسيطر عليه بالصمام (Valve-control chamber) (7) نابض الصمام المنفث (Nozzle spring) (8) الكتف الضاغط للصمام المنفث (Pressure shoulder) (9) محجر حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق (محجر الوقود) (10) فتحات خروج الوقود (حقن الوقود) (Injection chamber) (11) نابض صمام الملفات الكهربائية (Solenoid valve spring) (orifice) (12) محدد تدفق الوقود (Outlet restrictor) (13) خط الوقود ذو الضغوط العالي (high pressure fuel line)

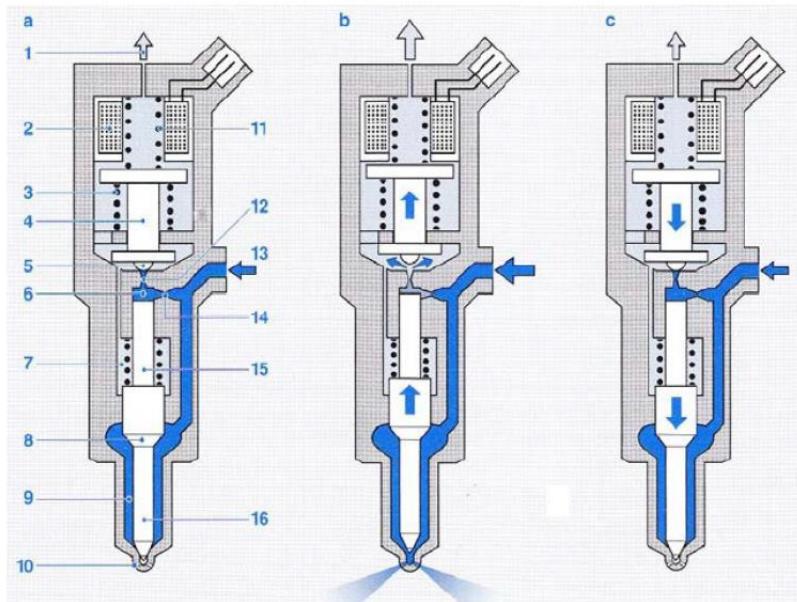
12.4.1.1.1

طريقة عمل الحاقنات ذات الملفات الكهربائية (الإلكترونية)

Solenoid Injector Operation

تستخدم هذه الحاقنات مع جهاز الوقود من نوع ذو أنبوب الضغط العالي التجمعي (Rail High pressure Accumulator). يوضح شكل (12.28) طريقة عمل الحاقن: (a) حالة التوقف (sealed) و (b) حالة رفع صمام المنفذ (lifting) و (c) حالة الغلق (closing). يعتمد عمل هذا النوع من الحاقنات على حجم الوقود المتجمع والمضغوط في الحيز (6) الذي يقع فوق الكباس (15) فضلاً عن ضغط الوقود في الحيز (9) الموجود بين الصمام المنفذ وجسم الباثقة (الشكل 12.28a). تبقى فتحات الصمام المنفذ (10) مغلقة ما دام الضغط في كلا الحيزين (6) و (9) متساوين. عندما تصل الكهربائية إلى الملفات يتولد فيها مجالاً مغناطيسياً والذي يقوم برفع الصمام ذو النهائيتين الدائريتين (4) إلى الأعلى وبمساعدة النابض (3). عندها ترتفع كرة الصمام (5) إلى الأعلى فيفتح ممر الوقود الذي يقع أسفل الكرة فيتدفق الوقود الموجود في الحيز (6) ذو الضغط العالي عبر المرتضيق (12) إلى الحيز الذي يقع أسفل النهاية العريضة السفلى للصمام (4) (12.28b). وعندما يتغلب الضغط في حيز الصمام المنفذ (9) (الحيز الجانبي) على الضغط في الحيز (6) فيرتفع الصمام الكباس (15) إلى الأعلى بفعل ضغط الوقود في الحيز (9) والمؤثر على الجزء المخروطي (8) من الصمام المنفذ (16) فينكبس النابض الموجود فوق الصمام المنفذ (7). عندها تنفتح فتحات الصمام المنفذ (10) فيتدفق الوقود داخل غرفة الاحتراق (الشكل 12.28b).

عندما ينقطع التيار الكهربائي عن الملفات يضمحل المجال المغناطيسي فيقوم النابض (11) بدفع الصمام ذو النهائيتين العريضتين (4) إلى الأسفل فتقوم كرة الصمام (5) بغلق الفتحة الموجودة أسفلها فيرتفع ضغط الوقود في الحيز (6) من جديد دافعاً الكباس (15) إلى الأسفل والذي بدورة وبمساعدة النابض (7) يُدفع الصمام النفاث إلى الأسفل عندها تنغلق فتحات الصمام المنفذ ويتوقف حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق (الشكل 12.28c).



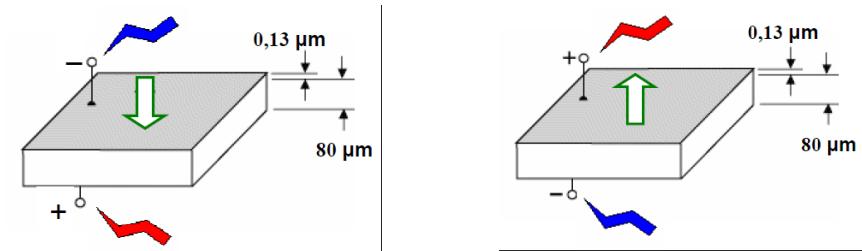
شكل(12.28) : حاقدنات الوقود ذات الملفات الكهربائية (الإلكترونية)

يعاني هذا النوع من الحاقدنات من مشكلة تأخير حقن الوقود (Fuel injection lag) وسبب التأخير هو الاستجابة البطيئة للصمام (4) نتيجة تأخر بناء المجال المغناطيسي في الملفات الكهربائية فضلاً عن انخفاض معدل تدفق الوقود من الموقعين الضيقين (12) و(14). يؤدي انخفاض معدل تدفق الوقود من الموقعين المذكورين الى تأخر الزيادة والانخفاض بضغط الوقود في الحيز (6). ونتيجة هذه الأسباب تم استبدال الملفات الكهربائية الاعتيادية (Solenoid) بملفات من نوع (piezoelectric) لكونها أسرع استجابتًا من الملفات الأولى.

Piezoelectric

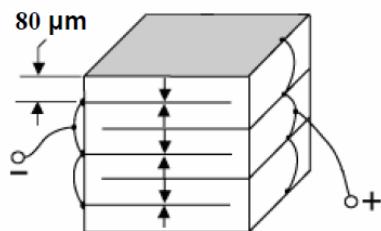
❖ 12.5 مادة البيزوج كهربائية

تُظهر بعض البلورات مثل الكوارتز (quartz) والتوباز (topaz) وبلورات السيراميك (ceramic) (crystal ceramic) صفة كهربائية إذا تعرضت إلى الإزاحة الميكانيكية كما يتغير شكلها (تمدد) إذا تعرضت إلى الكهرباء. من هذه المواد صُنع ما يسمى بالمنشط البيزو (Piezo Actuators) الذي هو عبارة عن مجموعة من طبقات مادة البيزوج. يقوم المنشط البيزو بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية



(b) : تقلص طبقة البيزرو عند قلب قطبية الكهرباء (الأيسر)

(a) : تمدد طبقة البيزرو (الأيمن)



(c) : طبقات البيزرو

شكل (12.29) : تمدد وتقلص طبقات البيزرو

والعكس صحيح إذ تمدد الطبقات عند تعرضها إلى الطاقة الكهربائية بحدود (0.13μm) لكل طبقة إذا كان سمك الطبقة الواحدة (80 μm). إما إذا عكست أقطاب الكهرباء تتقلص هذه الطبقات فيقل سُكتها. يوضح الشكل (12.29) تمدد وتقلص طبقة البيزرو عند تعرضها إلى الطاقة الكهربائية فضلاً عن كيفية ترتيب الطبقات فوق بعضها البعض.

12.6 حاقدنات الوقود من نوع البيزرو كهربائية

Piezo Electrical Fuel Injector

يوضح الشكل (12.30) حاقدنات وقود الديزل التي تستعمل فيها مادة البيزرو الكهربائية (piezo electrical). يتميز هذا النوع من الحاقدنات عن تلك التي تستخدم الملفات الكهربائية (Solenoid coil) للسيطرة على عملها بالانخفاض كتلة أجزائها المتحركة بقدر (75%) فضلاً عن قصر فترة فتح وغلق دائريتها الكهربائية إذ تنفتح وتنغلق بسرعة مقدارها أربعة أضعاف فترة النوع ذو الملفات الكهربائية. وهذا يقلل من

فترة تأخير حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق فضلاً عن دقة كمية الوقود المحقونة داخل الأسطوانة وهاتان الميزتان تعتبران مشكلتين تعاني منها الحقن ذات الملفات الكهربائية بسبب بطيء استجابة الملفات فيها.

ت تكون حقنات البيزو الكهربائية من فتحة إدخال الوقود ذو الضغط العالي (Fuel inlet High pressure connection) ونقطة الربط مع الكهرباء (Electrical connection) ومصفي الوقود الطويل والضيق (Pin-type Filter) وفتحة رجوع الوقود من الحاقنة (Fuel return) والبيزو المنشط (الفعال) (Piezo Actuator) والكباس (plunger valve) والصمام من النوع الكباس (Connecting Plunger) والرابط (Valve plunger spring) وصمام الفتح والغلق (Switching valve) والقرص المحدد (Restrictor Plate) ونابض الصمام المنفذ (Nozzle spring) والأحكام (sealing Ring) و الصمام المنفذ (Injector Needle).

Fuel Injection Process

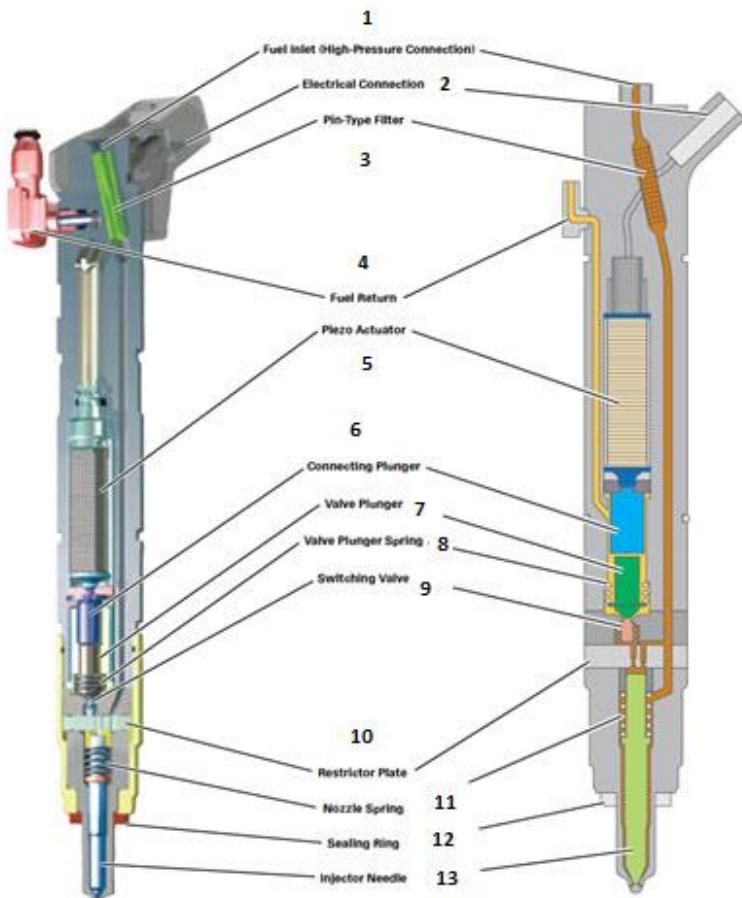
12.6.1 عملية حقن الوقود

يتميز هذا النوع من الحقن ذات الملفات بقصر الفترة التي تفتح وتغلق فيها دائرة الكهربائية مما يعطيها مرونة عالية وسيطرة كاملة على مراحل حقن الوقود فضلاً عن تحديد كمية المحقونة داخل غرفة الاحتراق بدقة عالية لهذا يمكن أن يحقن الوقود لخمسة فترات متقطعة ضمن فترة الحقن الكلية.

Pilot Injection

12.6.1.1 حقن الوقود بكمية محددة

تحقن كمية صغيرة من الوقود داخل غرفة الاحتراق قبل الكمية الرئيسية لغرض رفع درجة الحرارة والضغط داخل غرفة الاحتراق. أن الغرض من هذه العملية هو تقصير الفترة الزمنية لاحتراق الكمية الرئيسية من الوقود (قصير الفترة التي يتاخر فيها وقود дизيل لإتمام احتراقه). فضلاً عن ذلك تقلل هذه العملية من الارتفاع المفاجئ في معدل الضغط والضغط الأقصى وهذا يقلل من الضوضاء الناتجة من الاحتراق فضلاً عن التلوث بالعادم.



1- مدخل الوقود في التسطير العالي 2- نقطه الربط الكهربائية 3- مضقي الوقود الخفيف 4- الوقود الرابع 5- البالون التشطط

6- الكياس الرابط 7- صمام يشكل كياس 8- تايضن الصمام يشكل كياس 9- صمام التشغيل 10- القرص المحدد

11- تايضن صمام التوازن 12- حلقة الاحكام 13- ابيرة التوصيل(صمام التورzel)

(A) : شكل تخطيطي لأجزاء الحاقنة (الأيمان) (b) : شكل مجسم لأجزاء الحاقنة (الأيسر)

شكل (12.30) : أجزاء الحاقنة من النوع المنشط البيزوبي

أما عدد المرات التي يحقن فيها الوقود وكمية و زمن الحقن تعتمد على حالة المحرك التشغيلية (Engine operation conditions). فعندما تكون حرارة المحرك منخفضة وسرعته بطئه يحتاج الى حقنتين صغيرتين من الوقود لزيادة حرارته وسرعته. أما عند

السرعة والحمل العاليين يحتاج المحرك حقنة صغيرة واحدة من الوقود وهي كافية لتقليل التلوث بالعادم.

Secondary Injection

12.6.1.2 حقائق الوقود الثانوية

بعد الحقنة الرئيسية للوقود داخل غرفة الاحتراق يتبعها حقنتين وبكميتيين صغيرتين الغرض منها هو تفعيل المصفى الخاص بالعادم. هاتان الحقنات ترفعان درجة حرارة العادم بصورة كبيرة وهي حرارة ضرورية لحرق الكاربون المتجمع (Soot particles) في هذا المصفى. هذه العملية سوف تتطرق لها لاحقاً بالتفصيل.

Main Injection

12.6.1.3 كمية الوقود الرئيسية المحقونة

تحقق الكمية الرئيسية من الوقود بعد فترة قصيرة من الحقنات الصغيرة. علماً أن ضغط الوقود المحقون يبقى ثابتاً خلال فترة الحقن الكلية.

طريقة عمل الحاقنة من نوع البيزو

12.6.2

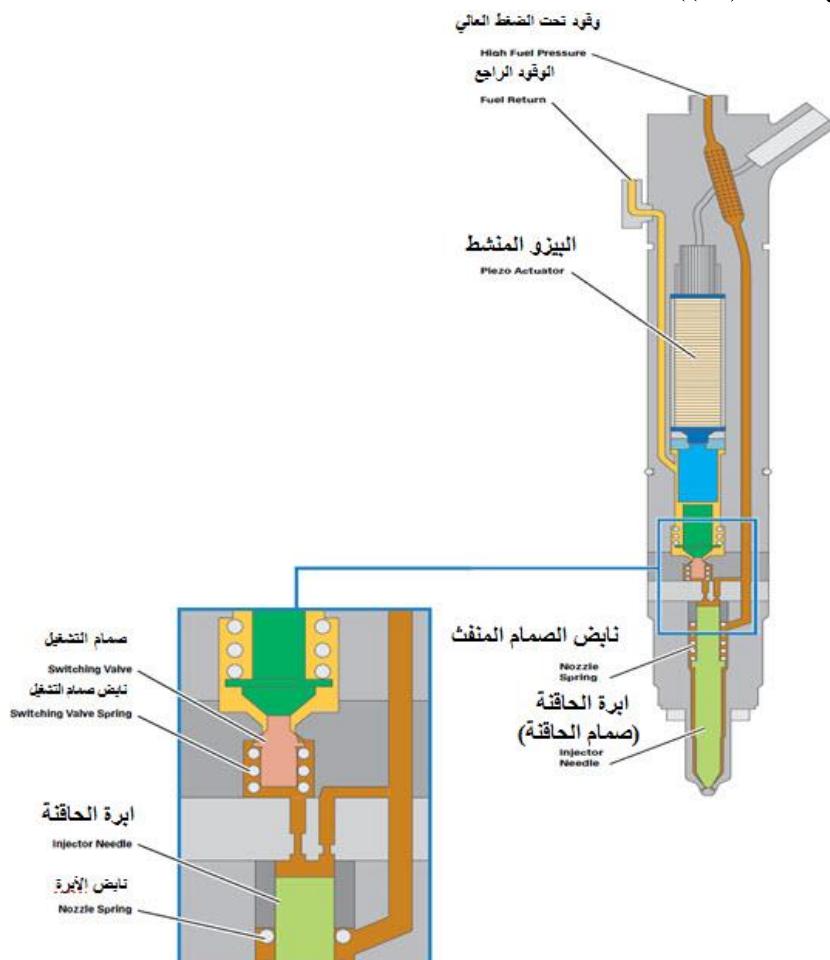
The Operation Method Of Piezo Type Fuel Injector

يدخل الوقود الآتي من أنبوب توزيع الوقود ذو الضغط العالي (common rail) من فتحة الادخال التي تقع في بداية الحاقنة (شكل 12.31). يمر الوقود في المصفى الطويل ذو المقطع الضيق (اللون الجوزي) لتخليصه من المواد العالقة فيه والتي استطاعت المرور من المنظف الرئيسي. يتدفق الوقود من خلال المر جانبي والذي يتفرع إلى فرعين أحدهما ينقل الوقود إلى حيز السيطرة الذي يقع فوق الصمام المنفذ والذي يطلق عليه بعض الأحيان أبره الحاقنة (Injector Needle) والآخر ينقل الوقود إلى الحيز الموجود فيه نابض الحاقنة Injector spring فضلاً عن الحيز الموجود حول الصمام المنفذ نزولاً إلى نهايته.

عندما تكون الحاقنة متوقفة عن ضخ الوقود فإن البيزو المنشط غير فعال والضغط في حيز السيطرة الموجود فوق الصمام المنفذ (injector Needle) وكذلك عند صمام التشغيل (Switching Valve) عاليان (شكل 12.31). الضغط العالي الموجود تحت صمام التشغيل ونابضه (Switching valve spring) يدفعانه نحو مقعده فيسدد فسحة مرور الوقود إلى الأعلى لهذا ينفصل الوقود ذو الضغط العالي (اللون الجوزي) عن

الوقود ذو الضغط الواطئ الموجود في الحيز الذي يوجد فيه الصمام الكباس (اللون البرتقالي).

كما إن فتحات الصمام المنفث والتي تقع أسفله وعند نهاية الحاقنة مغلقة بسبب الضغط الذي يولده الوقود الموجود في حيز السيطرة (control chamber) على الصمام المنفث فضلاً عن قيام نابضة (Nozzle spring) بدفعه إلى الأسفل. يقوم صمام حفظ الضغط (السيطرة على الضغط) في جهاز الرجوع بتشتيت الضغط عند (10bar) (شكل 12.16)).

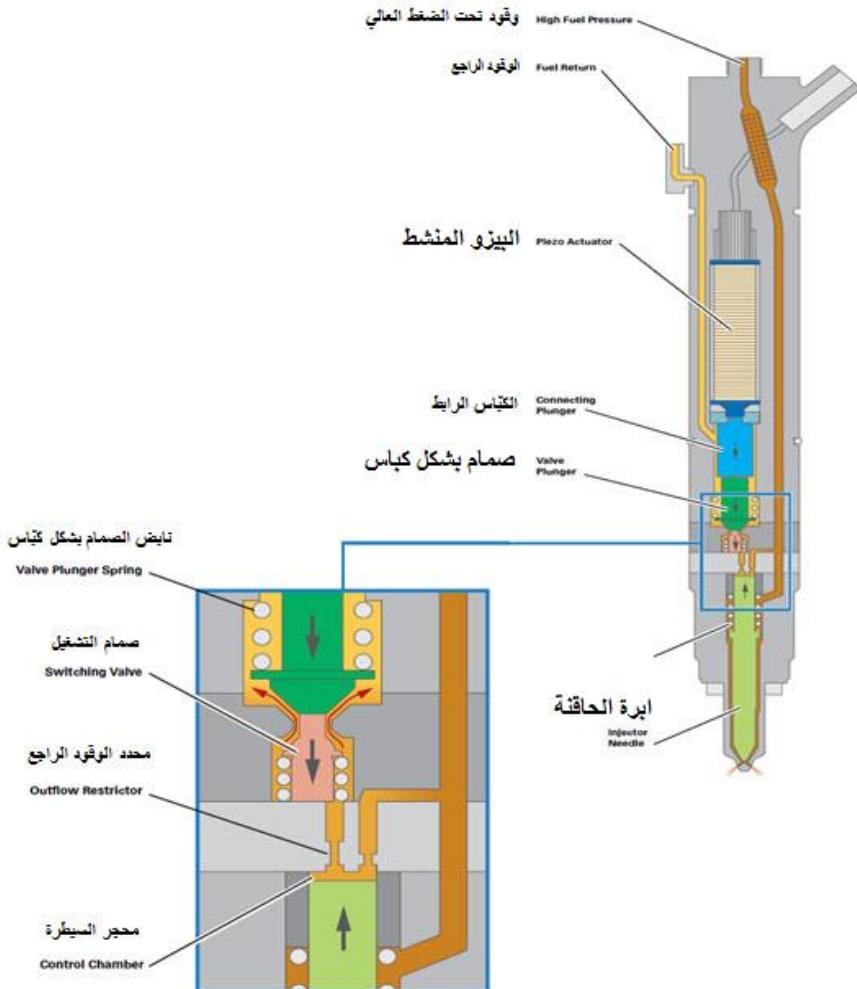


(a) : الحاقنة قبل حقن الوقود (اليمين)

(b) : جزء من الحاقنة (اليسار)

شكل (12.31) : الحاقنة من نوع البیزو في حالة توقف الحقن

عندما تصل إشارة كهربائية من جهاز السيطرة (ECM) Electric Control Module ينشط البیزو (piezo Actuator) وعندما يتمدد فتنقل حركة التمدد الى كباس توصيل الحركة (Connecting Plunger) (اللون الازرق في الشكل 12.31a). يقوم كباس توصيل الحركة بتوليد ضغط هيدروليكي (يولد ضغط على الوقود الموجود

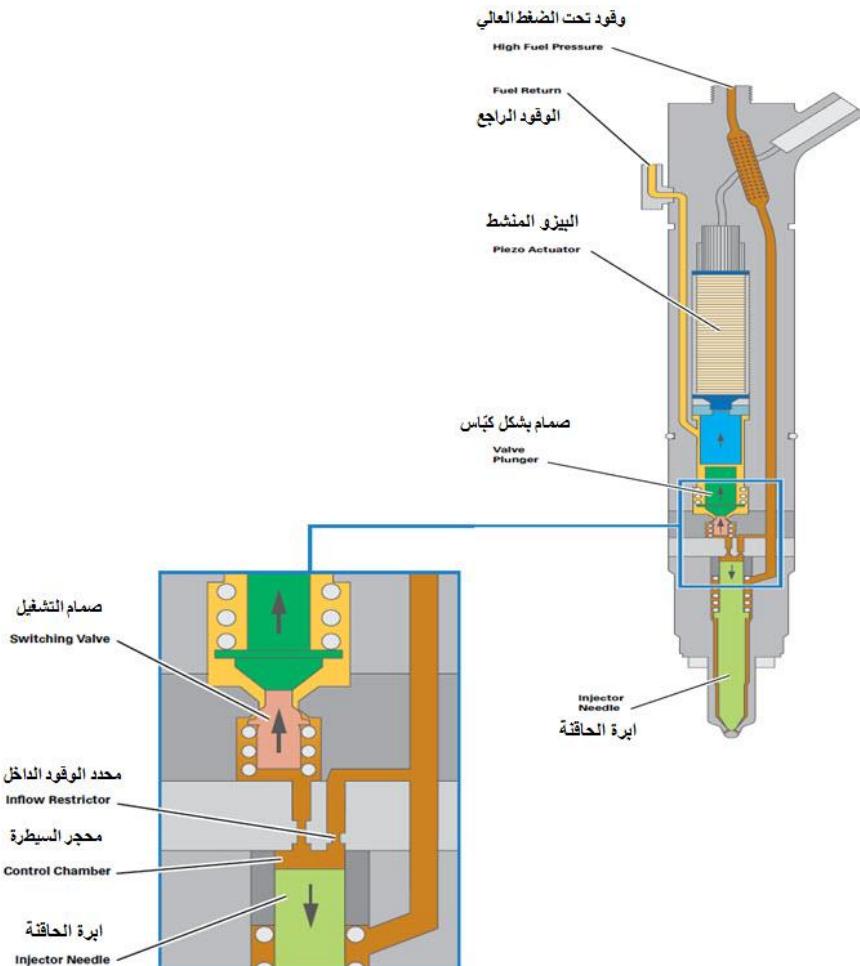


شكل (12.32) : الحاقنة من نوع البیزو في حالة حقن الوقود

ين كباس توصيل الحركة وصمام الكباس (plunger valve). عندما يتحرك صمام الكباس (switching valve) (اللون الأخضر) الى الأسفل دافعاً بدورة صمام التشغيل (valve) الى الأسفل (شكل 12.32). فينفتح مر الوقود المغلق بواسطة صمام التشغيل فيتدفق

الوقود الموجود في الحيز الذي يوجد فيه صمام التشغيل وكذلك الوقود الموجود في حيز السيطرة (Control chamber) والموجود فوق الصمام المنفذ. الوقود الموجود في حيز السيطرة يتذبذب عبر الأنابيب الضيق المقطع (Overflow Restrictor) ثم يصعد إلى الأعلى (الأسهم الحمراء) فيختلط مع الوقود الراجم (الأنابيب الضيق هو لتقليل سرعة انخفاض الضغط فوق الصمام النفاث ومن ثم سرعة صعوده إلى الأعلى). وعندما ينخفض الضغط فوق الصمام المنفذ يتغلب الضغط الموجود تحته على الضغط الذي فوقه مسبباً ارتفاع الصمام إلى الأعلى فتتشكل فتحات الصمام المنفذ عندها يتذبذب الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق. وعندما تنقطع الإشارة عن البيزو المنشط (Piezo Actuator) يتقلص طوله ليعود إلى طوله الأصلي. عندها تزول قوة الدفع على الكباس الموصى فيرتفع إلى الأعلى بواسطة ضغط الوقود الراجم. ويندفع صمام الكباس إلى الأعلى أيضاً نتيجة انتهاء قوة الدفع التي تفرض عليه من الكباس الموصى وكذلك بسبب ضغط الوقود الراجم الذي يولد ضغطاً عليه من الأسفل.

كما يقوم نابض صمام التشغيل (Switching Valve) بدفع صمام التشغيل إلى الأعلى وكذلك دفع صمام الكباس لأن صمام التشغيل في اتصال مع صمام الكباس أثناء فتح الممر إلى الوقود. عندها يُعلق ممر الوقود من حيز السيطرة إلى حيز الوقود الراجم. كما ينخفض الضغط تحت الصمام المنفذ نتيجة حقن الوقود في غرفة الاحتراق فيندفع الصمام إلى الأسفل بواسطة نابضه فتغلق فتحات حقن الوقود لمنع نزول الوقود بشكل قطرات داخل غرفة الاحتراق. وعندما تغلق فتحة الوقود الراجم يندفع الوقود من جديد ومن خلال أنبوب الإدخال ذو المقطع الضيق Inflow Restrictor) ليملأ حيز السيطرة الموجود فوق الصمام المنفذ بالوقود ذي الضغط العالي والذي بدورة يساعد على دفع الصمام المنفذ إلى الأسفل. تحدد كمية الوقود المحقونة داخل غرفة الاحتراق فترة بقاء الكهربائية الواسطة إلى البيزو المنشط فضلاً عن ضغط الوقود داخل أنبوب توزيع الوقود (Common Rail). تسمح السرعة العالية لتمدد وتقلص البيزو النشط بضخ الوقود أكثر من مرة وبكمية محددة (شكل 12.33). أما الوقود الفائض فيعود من الممر المخصص له والموجود في الجانب (اللون البرتقالي) إذ يوجد خلوص بين الكباس الموصى والحيز الذي يوجد فيه. يسمح هذا الخلوص بمرور الوقود إلى الفتحة الموجودة في الجانب ومنها إلى الممر الرئيسي.



(a) : طريقة أنتهاء حقن الوقود

(b) : حركة أجزاء الحاقنة لغلق ممر الوقود الراجع

شكل (12.33) : نهاية حقن الوقود في الحاقنة من نوع البيزو

❖ 12.7 الأنواع الأخرى من حاقدنات البيزو

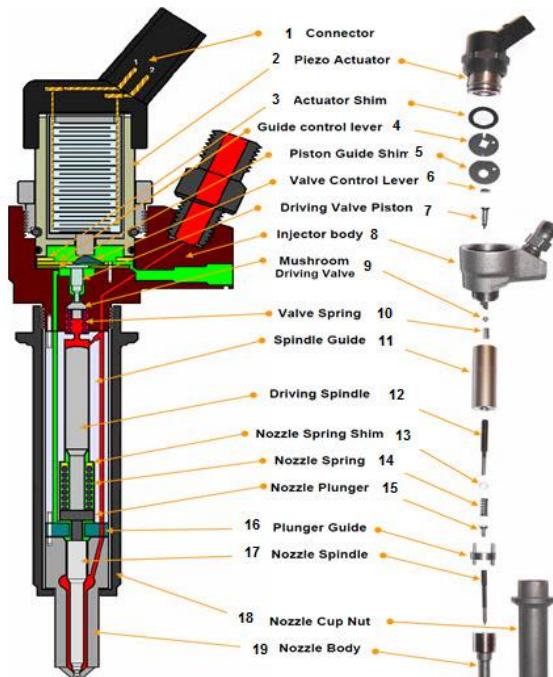
يستخدم البيزو المنشط (piezo Activator) في هذا النوع من حاقدنات الوقود الإلكترونيه ايضاً (شکل 12.34). يختلف هذا النوع من الحاقدنات عن النوع الذي سبقه بوجود صمام يشبه نبات الفطر يطلق عليه (Mushroom Valve) وعتلة السيطرة على الصمام (valve control lever) ومكبس تحريك الصمام (driving valve piston) (وهو جزء يشبه المكبس يتكون من ثلاثة أجزاء مختلفة الاقطان) يقع فوق الصمام

الذي يشبهه نبات الفطر مباشرتاً. فضلاً عن ذلك تحتوي على عمود لتحريك الصمام المنفث (Driving Spinder) وكباس الصمام المنفث (Nozzle Plunger) وعمود الصمام المنفث (nozzle Spindle). الصمام المنفث في هذه الحالات يماثل النوع الذي يستخدم في الحالات الميكانيكية. طريقة عمل هذه الحاقنة كالتالي:

عندما تكون الحاقنة مغلقة فإن الوقود المتذبذب من أنبوب الضغط العالي التجمعي يذهب إلى الحيز الموجود تحت الصمام المنفث (الشكل البيضاوي ذو اللون الأحمر) وجزء منه يذهب عبر الأنابيب ذو المقطع الضيق إلى الحيز الموجود فوق عمود التشغيل (Driving spindle) (اللون الأحمر أيضاً). ونتيجة الضغط العالي للوقود في الحيز الموجود فوق عمود التشغيل ووجود النابض يندفع الصمام الذي شكلة مماثل لنبات الفطر (Mushroom Driving Valve 9) إلى الأعلى دافعاً الصمام المكبسي إلى الأعلى (driving valve piston 7) عندما يغلق ممر الوقود الذاهب إلى الأعلى. يؤدي أغلاق الممر إلى تساوى الضغط عند الحيز البيضاوي المحيط بالصمام المنفث والحيز فوق عمود التشغيل (Driving Spindle) لهذا يبقى الصمام المنفث مغلقاً. عندما تصلك الإشارة من جهاز السيطرة الإلكتروني في المحرك (ECM) إلى البيزو المنشط (Piezo Activator) يتمدد فيدفع عتلة السيطرة الموجودة على الصمام (Valve control Lever 6) والتي بدورها تدفع مكبس تحريك الصمام (7) Driving Valve Piston إلى الأسفل والذي يدفع الصمام المماثل لنبات الفطر (Mushroom Driving Valve 9) إلى الأسفل أيضاً فينفتح منفذ خروج الوقود من الحيز الذي يقع تحت هذا الصمام فيتدفق الوقود إلى الأعلى ليعود مع الوقود الراوح (اللون الأخضر). وبسبب خروج الوقود من هذا الحيز ينخفض الضغط فيه فيتغلب ضغط الوقود الموجود في الحيز البيضاوي للصمام المنفث (الشكل البيضاوي ذو اللون الأحمر) على الضغط في الحيز المذكور. عندما يصعد الصمام المنفث إلى الأعلى دافعاً كباس المنفث إلى الأعلى وبدوره يدفع عمود التحرير (Driving Spindle 12) إلى الأعلى. عندما تكشف فتحات الصمام المنفث ونتيجة ضغط الوقود العالي في الحوض البيضاوي يندفع الوقود من خلال هذه الفتحات إلى غرفة الاحتراق وبشكل رذاذ.

وعندما تنقطع الإشارة عن البيزو المنشط (Piezo Activator) يتقلص طوله فيُرفع الضغط عن عتلة التحكم بالصمام (6) عندما يقوم النابض الموجود تحت الصمام المماثل لنبات الفطر (9) بدفعه إلى الأعلى وبدوره يدفع مكبس تحريك الصمام (7) إلى الأعلى وعندما تغلق فتحة مرور الوقود إلى الأعلى. ثم يبدأ تدفق الوقود من جديد إلى الحيز

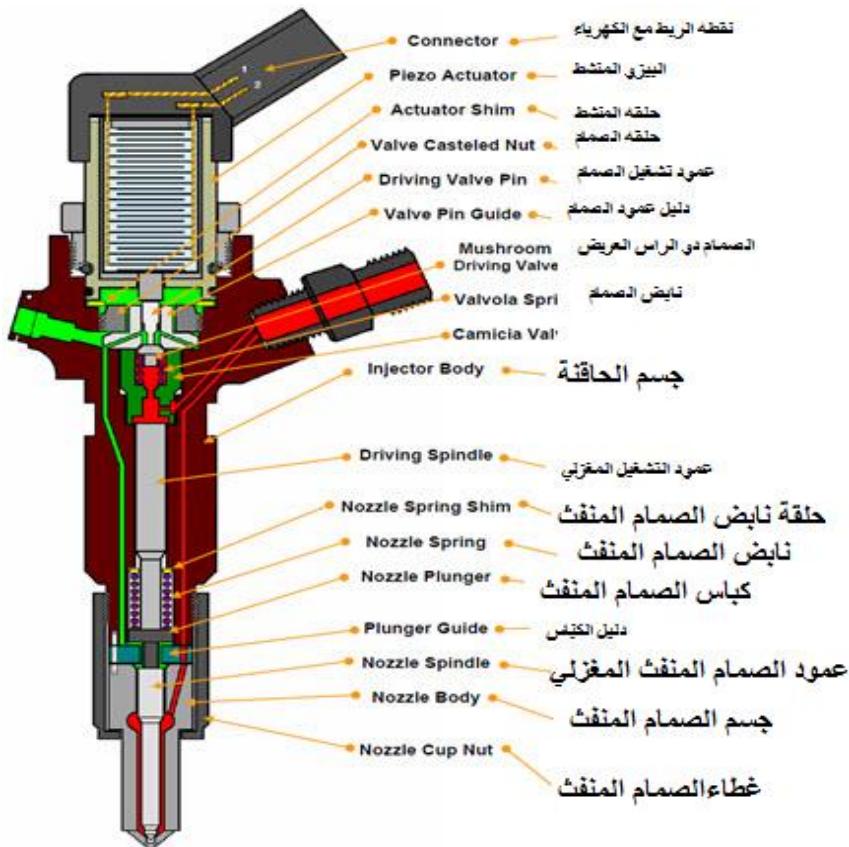
الموجود في الأعلى فيرتفع الضغط فيه من جديد. وبسبب خروج الوقود من فتحات الصمام المنفذ ينخفض الضغط في حوضه عندها يندفع عمود الحركة إلى الأسفل وبدوره يدفع كباس الصمام المنفذ (Nozzle Plunger 15) إلى الأسفل والأخير يدفع الصمام المنفذ (17) إلى الأسفل كما يقوم نابض الصمام المنفذ الذي ينكبس عند صعود الصمام إلى الأعلى بدفع كباس الصمام المنفذ إلى الأسفل وبدوره يدفع الصمام المنفذ إلى الأسفل (ضغط الوقود في الحيز الأعلى وقوة النابض يتعاونان على غلق الصمام المنفذ). عندها تغلق فتحات الصمام المنفذ وبعد الغلق يبدأ الوقود بالتجمع في حوض الصمام المنفذ من جديد عندها يتساوى الضغط فيه مع الضغط في الحيز العلوي.



1. نقطة الربط مع الكهرباء. 2. البيزو المنشط. 3. حلقة المنشط. 4. دليل عتلة السيطرة. 5. حلقة دليل المكبس. 6. عتلة صمام السيطرة. 7. صمام التشغيل المكبس. 8. جسم الحافنة. 9. صمام التشغيل ذو النهاية الواسعة. 10. نابض الصمام. 11. دليل العمود المغزلي. 12. العمود المغزلي للتشغيل. 13. حلقة نابض الصمام المنفذ. 14. نابض الصمام المنفذ. 15. كباس الصمام المنفذ. 16. دليل الكباس.

شكل (12.34) : حاقدنات الوقود الإلكترونية ذات البيزو المنشط

أما الحاقنة الموضحة في الشكل (12.35) فهي مماثلة لتلك الموضحة في الشكل (12.34) مع بعض الاختلافات البسيطة منها عدم وجود عتلة تحريك الصمام فضلاً عن وجود المنشط البيزوي فوق عمود تحرك الصمام مباشرةً والذي يطلق عليه (Driving Valve Pin) والذى هو بديل الى (Driving Valve piston). كما إن موقع فتحة خروج الوقود الفائض موجودة في الجهة المقابلة لفتحة الإدخال. وعلى الرغم من هذه الاختلاف فإن كلا النوعين من الحاقنات يتماثلان بطريقة العمل.



شكل (12.35) : حاقنة الوقود الالكترونية ذات المنشط البيزوي عند لحظة حقن الوقود

الحاقنات الإلكترونية التي تعمل بضغط الزيت

12.8

Electronic Fuel Injectors Operating By The Oil Pressure

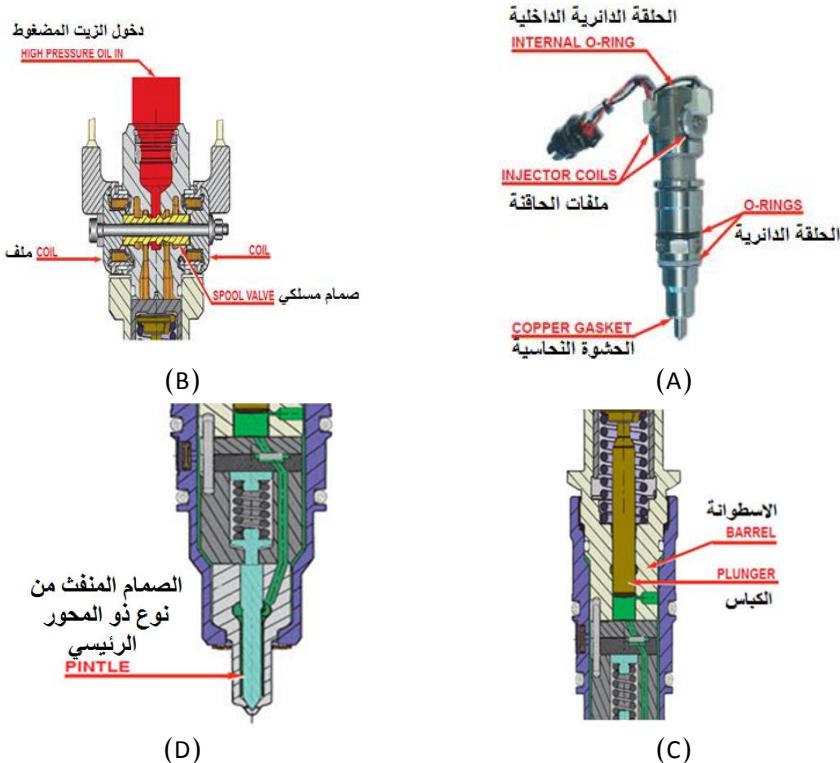
يوضح الشكل (12.36A) الأجزاء الخارجية للحاقنة والتي تتضمن المصدر الكهربائي وملفات الحاقنة (Injector coils) والحلقات البلاستيكية التي تمنع تسرب الضغط خارج

الأسطوانة والخشوة النحاسية التي تمنع تسرب اللهب والعادم من غرفة الاحتراق. أما إجزاء الحاقنة الداخلية يوضحها الشكل (D و C) والتي تتضمن فتحة دخول الزيت ذو الضغط العالي (High pressure oil inlet) والملفات (coils) والصمام ذو الحركة الجانبية (صمام البكرة) (Spool Valve) والمكبس (Intensifier piston) (Intensifier piston) (شكل 12.37) والنابض تحت المكبس (Spring) والكباس (plunger) والصمام المنفث (Pintle) والنابض الذي يقع فوق الصمام المنفث.

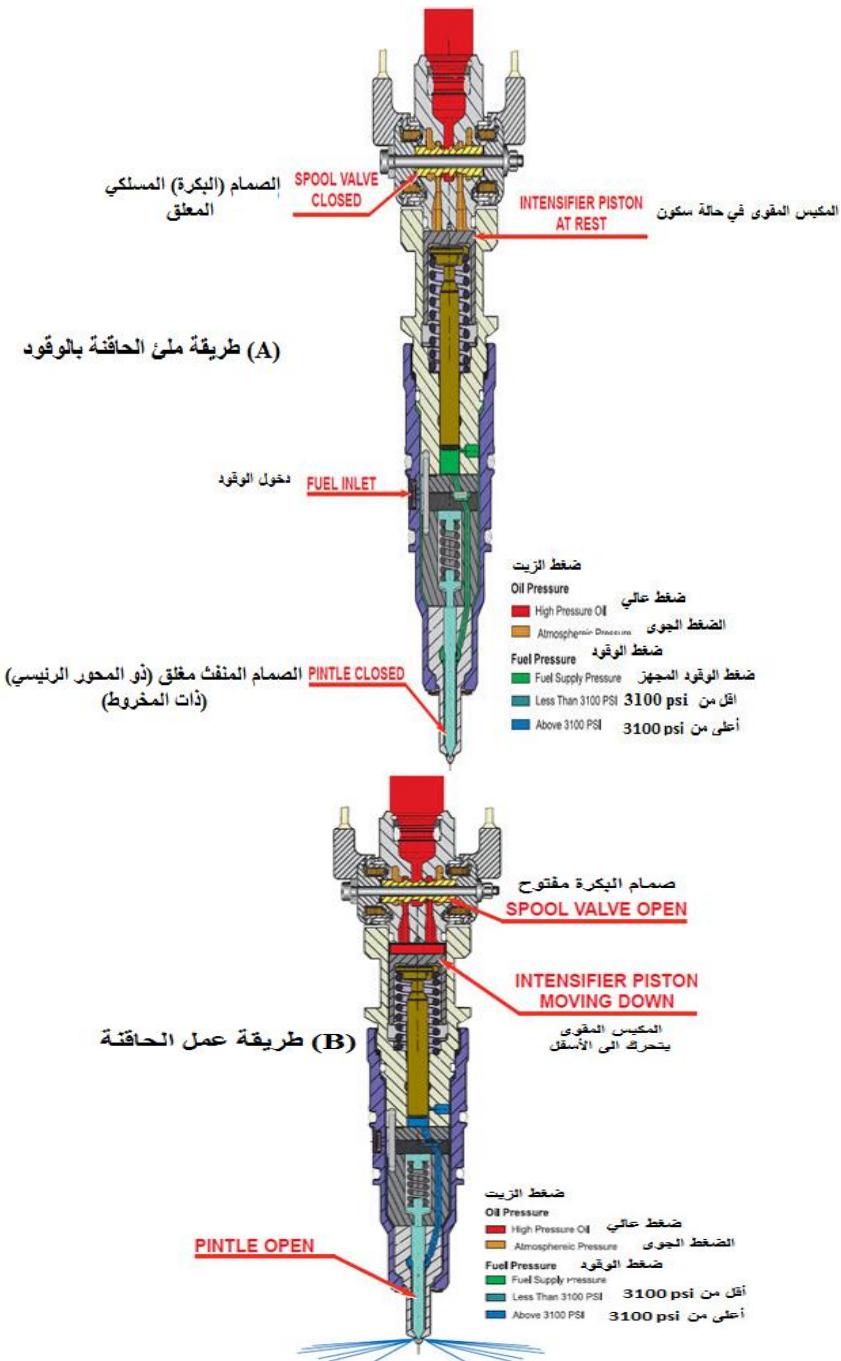
12.8.1 طريقة عمل الحاقنة التي تعمل بضغط الزيت

Injection Operation By The Oil Pressure

يتدفق الوقود الى داخل الحاقنة من خلال فتحة الادخال (Fuel inlet) لملأ الحيز الذي يقع تحت الكباس ثم يترد من خلال المر الجانبى ليملأ حوض الصمام المنفث فضلاً عن ملأ الخلوص بين الصمام وجسم الحاقنة (اللون الأخضر). أما الزيت المدفوع تحت ضغط عالي والذي يقوم بتشغيل الحاقنة يبقى خارج الحاقنة بسبب انلاق



شكل (12.36) : أجزاء الحاقنة الهيدروليكيّة



شكل (12.37) : طريقة حقن الوقود داخل غرفة الاحتراق

صمام البكرة ذو الحركة الجانبية (Spool Valve) (شكل 12.37A). كما إن الصمام المنفث معلقاً بسبب ضغط النابض الذي يقع فوقه. وعندما تصل إشارة من جهاز السيطرة الإلكترونية إلى ملفات الحاقنة يتولد فيها مجالاً مغناطيسياً يقوم بتحريك صمام البكرة (Spool Valve) فينفتح منفذ تدفق الزيت عندها يدخل إلى الحاقنة ثم يتزول من خلال المربين العموديين (اللون الأحمر) على سطح المكبس (شكل 12.37B). وعندما يتجمع الزيت فوق المكبس يولد ضغطاً هائلاً عليه فيندفع إلى الأسفل متغلباً على قوة النابض الذي يقع تحته والذي ينكبس نتيجة ضغط المكبس. وبتحول المكبس إلى الأسفل يتولد ضغط على الكباس مما يؤدي إلى نزوله إلى الأسفل أيضاً وهذا بدوره يؤدي إلى أغلاق فتحة دخال الوقود التي تقع في الجانب والتي تقوم على الحجر تحت الكباس (اللون الأخضر في الشكل 12.37A). وعند نزول الكباس إلى الأسفل بمقدار كبير يتولد ضغط عالي على الوقود الموجود تحته (اللون الأزرق) وعندما يتدفق إلى حوض الصمام المنفث وتحت ضغط عالي مولداً ضغطاً على الصمام المنفث من الأسفل إلى الأعلى عندها يرتفع الصمام إلى الأعلى وينكبس النابض الذي يقع فوقه فتكتشف فتحات الصمام المنفث عندها يحقن الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق. وعندما ينتهي حقن الوقود تقطع الكهربائية عن الملفات فيغلق صمام البكرة (Spool Valve) ويبدأ المكبس بالصعود إلى الأعلى نتيجة قوة النابض الذي يقع تحته كما يرتفع الكباس إلى الأعلى. يضغط المكبس الصاعد إلى الأعلى على الزيت الذي يقع فوقه فيدفعه خارج الحيز عندها يخرج الزيت عبر صمام البكرة إلى الخارج ومن خلال فتحة الإخراج (exhaust port). وعندما ينخفض ضغط الوقود في حوض الصمام المنفث إلى ما أقل من قوة النابض يندفع الصمام المنفث إلى الأسفل فتنغلق فتحات حقن الوقود.

❖ 12.9 حاقدنات وقود الديزل من نوع ذات الملفات الكهربائية

Solenoid Type Diesel Fuel Injectors

الحاقدنات الموضحة في الشكل (12.38) هي من النوع الإلكتروني والتي تعمل بالملفات الكهربائية (Solenoid). تكون البائقة من الملفات الكهربائية (Solenoid) ومن الإبرة المرشدة ذات النهاية المثلثة الشكل (Pilot needle) ونابض الإبرة المرشدة (Pilot needle spring) والكرة المعدنية (Ball) التي تقع تحت الإبرة المرشدة ومحجر السيطرة أو الحجر الرئيسي (Control chamber) وكباس السيطرة (Control

أدنال الوقود وفتحة إخراج الوقود الفائض.

و نابض الإبرة (Plunger) و صمام المنفث (Needle needle) و فتحة

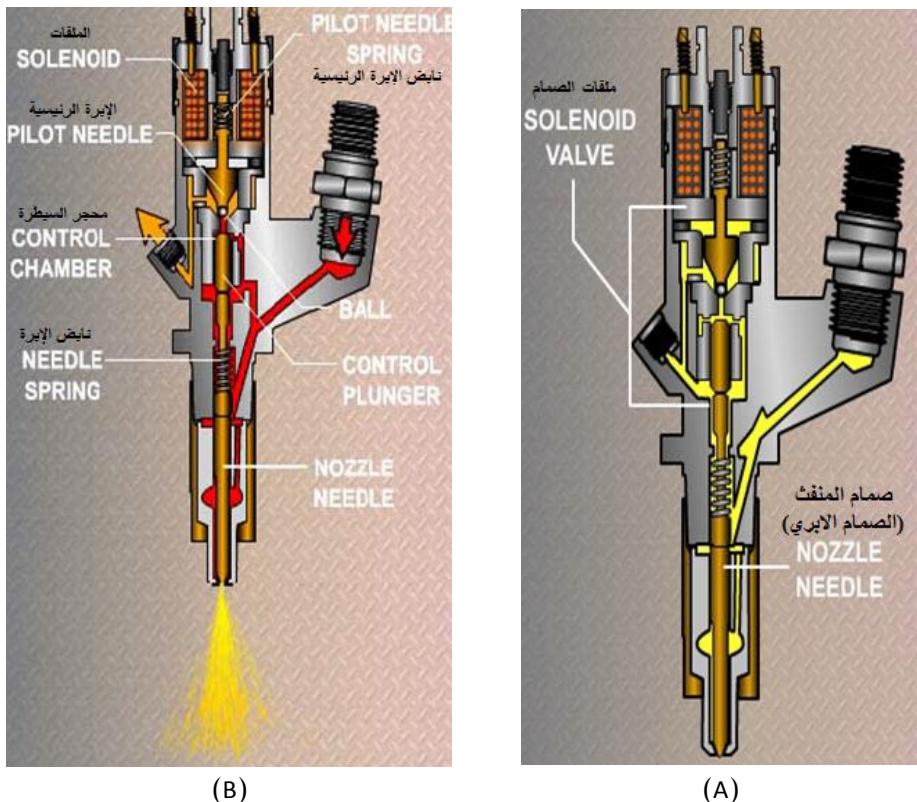
يدخل الوقود المدفوع بواسطة مضخة الضغط العالي إلى الحاقنة من فتحة الدخال (شكل 2.38B) ومنها يتزول من خلال المرر الرئيسي الذي ينقسم إلى ممرتين. المرر العلوي يملأ الحيز المستطيل الذي يحيط بكبس السيطرة Control plunger والذي منه يتزول الوقود ومن خلال الخلوص الموجود بين كبس السيطرة وجسم الحاقنة إلى الحيز الموجود أسفل كبس التحكم. يوجد فرع من هذا المرر يصعد إلى الأعلى ليملئ حيز السيطرة الذي يقع تحت الصمام المنفث (أبرة المنفث). أما المرر الأسفل فيملئ الحيز المستطيل الذي يقع في أعلى الصمام المنفث (أبرة المنفث). يتزول الوقود من الحيز المستطيل ومن خلال المرر الجانبي إلى حوض صمام المنفث البيضوي الشكل. تماثل الحاقنة في الشكل (12.38A) النوع الثاني إلا أن الحاقنة الثانية تحتوي على مر واحد لتجهيز الحاقنة بالوقود. كما تجهز المواقع العليا فيها بالوقود من الأسفل أي من منطقة نابض الصمام المنفث (اللون الأصفر) كما إن الحيز المستطيل يتصل بفتحة الوقود الرافع مباشرةً.

12.9.1 طريقة عمل الحاقنة ذات الملفات الكهربائية

يدخل الوقود تحت ضغط عالي داخل الحاقنة ليملأ جميع المواقع التي ذكرت سابقاً. عندما تكون الحاقنة متوقفة عن حقن الوقود فإن ضغط الوقود فوق الصمام المنفث وفي حيز السيطرة وتحت الإبرة المرشدة متساوية (اللون الأحمر) ونتيجة لهذا ينكبس النابض الذي فوق الإبرة المرشدة. عندما تصلك الإشارة الكهربائية إلى الملفات يتولد مجالاً مغناطيسيّاً فيقوم بسحب الإبرة المرشد (الإبرة بشكل سهم) إلى الأعلى. عندها ترتفع الكرة المعدنية إلى الأعلى أيضاً فيتدفق الوقود الموجود في حيز السيطرة من فتحة إخراج الوقود الفائض. يتغلب ضغط الوقود في الشكل البيضوي الموجود في منتصف الصمام المنفث على ضغط الوقود الموجود فوق الصمام. عندها يرتفع الصمام المنفث إلى الأعلى وينكبس النابض الذي يقع فوقه. وعندما فتتشكل فتحات حقن الوقود الموجودة في نهاية الحاقنة عندها يحقن الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق.

عندما ينتهي حقن الوقود تُقطع الكهربائية عن الملفات فيضمحل المجال المغناطيسي عندها يقوم النابض الذي يقع فوق صمام الإبرة المرشدة بدفعه إلى الأسفل وبدوره يدفع الكرة إلى الأسفل مسبباً غلق فتحة خروج الوقود. أما نابض الصمام المنفث فيقوم

بدفع الصمام الى الأسفل فيغلق فتحات حقن الوقود. ثم تملأ المواقع بالوقود المضغوط وتعود العملية من جديد.



شكل (12.38) : حاقنة وقود الديزل من نوع ذات الملفات الكهربائية

12.10 حاقنات جهاز الوقود من نوع (PT) ♦

Pressure-Time Injectors of Fuel System of PT Type

هذا النوع من أجهزة الوقود أشتقت أسماء من متغيرين هما الضغط (P) والזמן (T) وللذان يؤثران على كمية الوقود المحقونة في الدورة الواحدة للmotor. تمثل P الضغط الواسط إلى الحاقنة عند فتحة دخوله أليها والذي تحدده مضخة الوقود (fuel pump). وتتمثل T الزمن المتاح لجريان الوقود في الجزء الأسفل للحاقنة (injector cup). تُحدد سرعة المحرك الفترة الزمنية (T) من خلال عمود الكامات (camshaft) وتحدد أيضاً تتابع الخطوات التي يحقن فيها الوقود. أن سرعة عمود

الكامات هي نصف سرعة عمود المرفق ومن خلال هذه السرعة يتم التحكم بجريان الوقود. إن ضغط الوقود الذي يصل إلى الحاقنة يُغير بما يتناسب وسرعة الحرك لتحديد كميات الوقود المحقونة داخل الأسطوانات. كما يُحدد كميات الوقود المحقونة داخل الأسطوانات حجم فتحات الحقن (orifice size).

12.10.1 أجزاء الحاقنة من نوع (PT)

ت تكون الحاقنة التي تستخدم مع جهاز الوقود من نوع (PT) من الأجزاء الآتية شكل (12.39):

الكباس (Injector plunger) وهو من النوع الكبير والطويل والذي يمتد من نهاية الحاقنة العليا إلى النهاية السفلية. يوجد في نهاية الكباس جزء ضيق له حافة يقوم بتحديد كمية الوقود (plunger Metering Edge). يحيط بالكباس من الأسفل أسطوانة (barrel). يوجد وعاء في نهاية الحاقنة يطلق عليه (Injector cup) يثبت هذا الوعاء بواسطة مثبت يطلق عليه (Cup retainer). تزود الحاقنة بفتحة يمكن التحكم بها (Adjustable orifice) وفتحة أدخال الوقود المدفوع بواسطة مضخة الوقود (Fuel Filter Screen). تزود هذه الفتحة بمشبك أو ستارة لتنظيف الوقود (inlet). تتصل فتحة دخول الوقود مع ممر يوجد فيه صمام كروي (Check ball). كما تحتوي على فتحة لبزل أو تصريف الوقود. فضلاً عن ذلك تزود بمبر لإرجاع الوقود الفائض (Fuel Return) وحلقات بلاستيكية لمنع تسرب الغازات من الأسطوانة عند تثبيت الحاقنة فيها (O-rings). كما تزود الحاقنة بنباض ذو قوة عالية يقوم بإرجاع الكباس إلى وضعه الأصلي بعد حقن الوقود. يوجد فوق الكباس عمود يطلق عليه (injector link) يلامس الذراع المتأرجح الذي يقوم بدفعه إلى الأسفل. تزود الحاقنة بلوب ضبط (Top Stop locknut) وصامولة ربط (Stop Adjusting Screw) وجاء لموازنة التثبيت وحلقة معدنية لمنع التسريب (Adapter).

12.10.2 طريقة عمل الحاقنة من نوع (PT)

يدخل الوقود من المشبك أو الستارة الموجود في الفتحة التي يمكن التحكم بها والتي تحدد معدل تدفق الوقود إلى الحاقنة والضغط عند فتحة المعايرة (metering orifice). يتزد الوقود إلى الأسفل من خلال ممر في داخل الحاقنة. يرفع الوقود الصمام الكروي

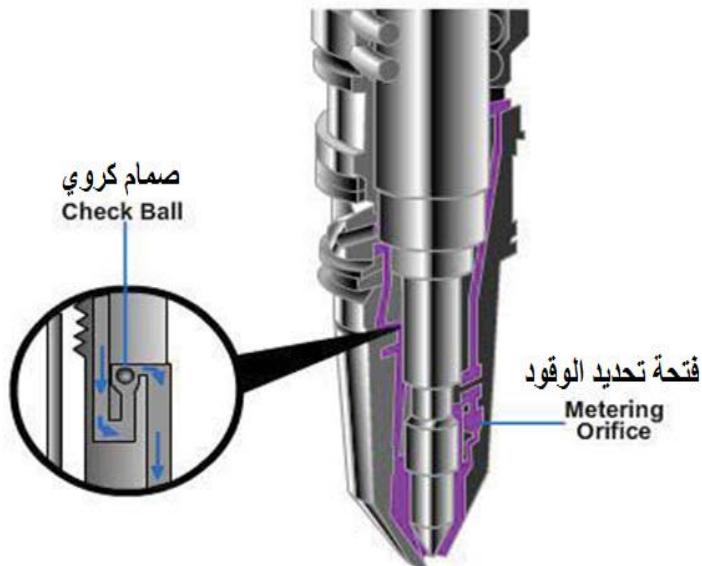
إلى الأعلى ليصل إلى فتحة المعايرة. يقوم الصمام الكروي بمنع رجوع الوقود عندما تخفيف سرعة المحرك وعند التوقف والتي فيها يتول الكباس إلى الأسفل عابراً فتحة المعايرة.



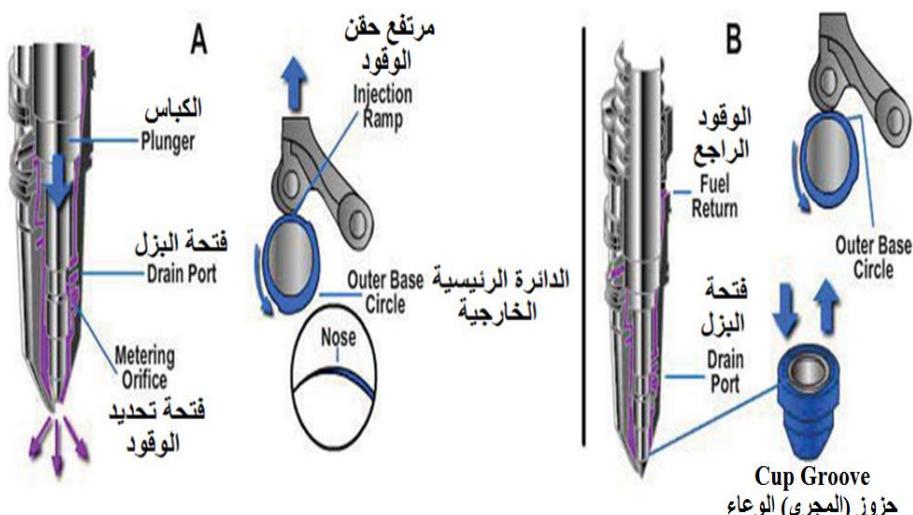
شكل (12.39) : أجزاء الحاقنة من نوع PT

عندما تفتح فتحة المعايرة (metering orifice) يتدفق الوقود إلى وعاء الحاقنة (Injector cup) وهذه العملية تحدث في نهاية شوط السحب وبداية شوط الضغط في الأسطوانة. وعندما يدورتابع الكامة (cam follower) على الدائرة الأساسية الموجودة على الكامة يقوم النابض بسحب الكباس إلى الأعلى (شكل 12.40). وعندما يصعد الكباس إلى الأعلى تفتح فتحة المعايرة وتغلق فتحة البزل. وباستمرار عمود الكامات بالدوران يصعد تابع الكامة على الجزء المرتفع من الكامة (injection ramp). عندما يدفع الذراع المتأرجح الكباس إلى الأسفل فتغلق فتحة المعايرة وبعدها بفترة قصيرة تفتح فتحة البزل. وعند هذه اللحظة يحتوي بحري (حزو) وعاء الحاقنة (Injector cup) كمية كافية من الوقود. تعتمد عملية بدأ حقن الوقود على الكمية الموجودة في وعاء الحاقنة. فعندما يكون مستوى الوقود عالياً سوف يلامسه الكباس مبكراً مسبباً تقدم حقن الوقود.

يبدأ حقن الوقود عندما يكون ضغط الوقود داخل الحاقنة أعلى من الضغط داخل غرفة الاحتراق ويتوقف حقن الوقود عندما تتجاوز نهاية الكباس وعاء الحاقنة. وعند هذه اللحظة يتوافق مجرى البزيل الموجود على الكباس مع ممر الوقود في أسطوانة الحاقنة مسبباً تدفق الوقود من المجرى ومن ثم رجوعه إلى الخزان (شكل 2.41).



شكل (12.40) : ممر الوقود داخل الحاقنة والصمام الكروي



شكل (12.41) : طريقة حقن الوقود ووعاء الحاقنة يظهر المجرى حول محبيطه