الفصل الحادي عشر

أجهزة وقود محركات الديزل ذات مضخات الوقود الدورانية وعلى خط واحد
Diesel Engines Fuel Systems Of In-Line And Rotary Fuel Pump Types

الفصل الحادي عشر
Chapter 11

أجهزة وقود محركات الديزل ذات مضخات الوقود الدورانية وعلى خط واحد
Diesel Engines Fuel Systems Of In-Line And Rotary Fuel Pump Types

❖ 11.1 المقدمة Introduction

تزود محركات الديزل ومحركات البترين بأجهزة وقود تقوم بتزويدها بالكميات المطلوبة وبالتوقيت الصحيح لغرض تحويل الطاقة الكيمياوية الموجودة في الوقود إلى طاقة حرارية. تختلف أجهزة وقود محركات الديزل عن تلك لمحركات البترين. تقوم أجهزة وقود محركات الديزل بضخ الوقود مباشرة داخل غرفة الاحتراق فيختلط الوقود بالهواء الساخن بينما في محركات البترين يخلط الهواء مع الوقود مسبقاً وبنسبة مثالية تبلغ 15:1 أي أن الهواء يشكل (15) جزءاً من الخليط بينما يشكل الوقود جزءاً واحداً (1). وعلى الرغم من وجود بعض الاختلاف بين أجهزة وقود محركات الديزل والبترين لكن يوجد تماثل ايضاً بينهما في بعض الأجزاء المهمة والتي سوف نتطرق لها بشيء من التفصيل لاحقاً. إن أجهزة الوقود بصورة عامة يجب أن تتوفر فيها المتطلبات الآتية لغرض الحصول منها على الأداء الأفضل ومن ثم الأداء العالي من المحركات:

1. تُحدد الكمية المطلوبة من الوقود وحسب سرعة المحرك والحمل المفروض عليه.
2. التوقيت الصحيح لحقن الوقود داخل غرف الاحتراق.
3. تذرير (تفتيت) الوقود بالمقدار الذي يساعد على احتراقه بسهوله وانتشار اللهب داخل غرف الاحتراق.
4. التوزيع المنتظم للوقود داخل غرف الاحتراق.

لقد تطورت أجهزة الوقود في الفترة الأخيرة بشكل كبير مما أدى إلى تحسين أداء المحركات بصورة عامة فضلاً عن تقليلها استهلاك الوقود وتلوث البيئة بالعادم. إن السبب في هذا التحسن يعود الى أضافة بعض الأجهزة المتطورة إليها. في هذا الفصل سوف نتطرق الى المبادئ التي تعتمد عليها أجهزة وقود محركات الديزل فضلاً عن أجزائها.

❖ 11.2 أجزاء جهاز الوقود

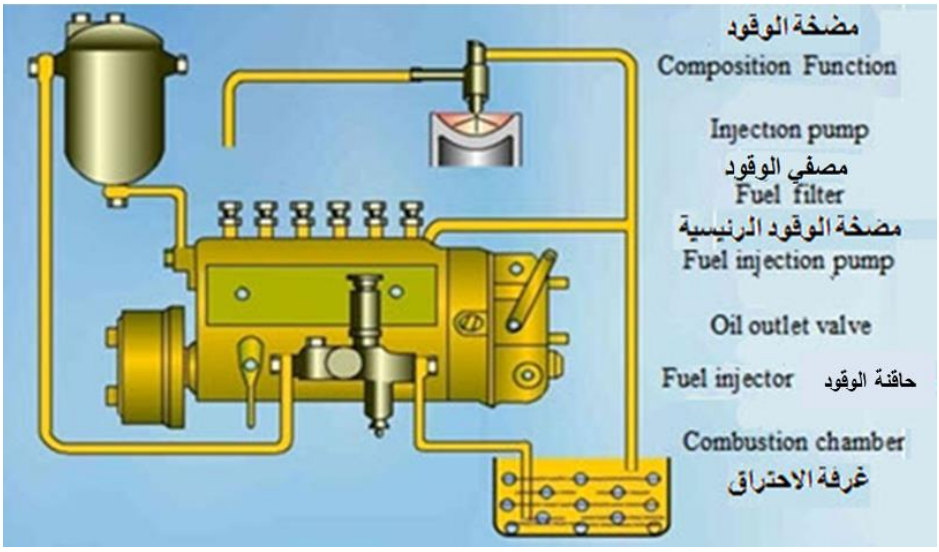
تشترك أجهزة وقود محركات الديزل ومحركات البترين في الأجزاء الأتية:

11.2.1 خزان الوقود Fuel Tank

يزود جهاز الوقود بخزان يستوعب كمية كافية من الوقود تتراوح بين (50 الى 200 لتر) وبعض المحركات تزود بخزانات تستوعب أكثر (200 لتر) وقد يصل الى (1000 لتر). يصنع الخزان من معدن خفيف الوزن يتحمل الصدمات إلى حدٍ ما. يطلى الخزان من الداخل (يغلون) لمنع الصدأ الذي يؤدي الى تآكله وقد يؤدي الى ثقبه في بعض الأحيان. كما يطلى الخزان من الخارج أيضاً لمنع الصدأ نتيجة الرطوبة التي يتعرض لها من الجو الخارجي أو الغسل بالماء لغرض التنظيف. تزود بعض الخزانات الكبيرة والتي تستخدم على المركبات بعوارض لمنع أو لتقليل الحركة الجانبية للوقود أثناء الاستدارة بصورة حادة أو سريعة مما يقلل من احتمال فقدان المركبة للتوازن. تزود هذه الحواجز بثقوب للسماح للوقود بالانتقال ما بين الحواجز لجعل كميته متساوية داخل محاجر الخزان ولتسهيل انسيابيته الى المحرك. كما تصنع بعض الانواع من البلاستك.

يوضع الخزان بأعلى مكان إذا كان حجمه وشكله يساعدان على ذلك كما هو الحال بالجرارات لغرض الاستفادة من قوة الجذب الأرضي لأنزال الوقود الى باقي أجزاء الجهاز. وفي حالة عدم إمكانية وضعه في أعلى مكان يوضع في المكان المناسب وفي بعض الأحيان في موقع أدنى من جهاز الوقود وهذه الحالة أكثر انتشارا من الحالة الأولى (شكل 11.1). إن إنزال الوقود بطريقة الجذب الأرضي لا توفر الكمية الكافية من الوقود للجهاز خصوصاً عند السرع العالية وفي المحركات متعددة الأسطوانات لهذا يزود جهاز الوقود بمضخة تغذية (fuel feed pump). يزود الخزان بصمام يقع أسفله يمر من خلاله الوقود الى باقي أجزاء الجهاز. يستخدم هذا الصمام للتحكم بكمية الوقود النازلة الى الجهاز فضلاً عن غلق منفذ الوقود بصورة تامة عند الحاجه وخصوصاً عند إجراء الصيانة للجهاز لمنع الفقدان بالوقود. كما يزود الخزان بغطاء يحتوي على صمامين يسمح أحدهما بدخول الهواء الى الخزان لملأ الفراغ الذي يحدث عند استهلاك جزء من الوقود. أما الصمام الآخر فيسمح بخروج بخار الوقود عند ارتفاع درجة حرارته خصوصاً وقود البترين الذي يتبخر بمقدار كبير عند ارتفاع درجة الحرارة لتقليل احتمالية انفجار الخزان كما يسمح بخروج جزء من الوقود عند امتلأ الخزان بصورة

تامة. يثبت الخزان بصورة محكمة في موقعه وباستخدام حمالات بلاستيكية لتقليل الاهتزازات والصدمات.



شكل (11.1) **: أجزاء جهاز وقود الديزل**

11.2.2 مضخات تغذية الوقود Feeding Fuel Pumps

تزود محركات البترين والديزل المتعددة الأسطوانات بمضخة لتغذية الوقود لغرض إيصاله بكميات كافية إلى جهاز خلطه مع الهواء (carburetor) أو مضخة الوقود في جهاز وقود البترين من نوع ذي الحاقنات أو مضخة الوقود (fuel pump) في محركات الديزل. تقسم مضخات تغذية الوقود الى نوعين هما الميكانيكية والكهربائية.

11.2.2.1 مضخة تغذية الوقود من النوع الميكانيكي Mechanical Feeding Fuel Pump

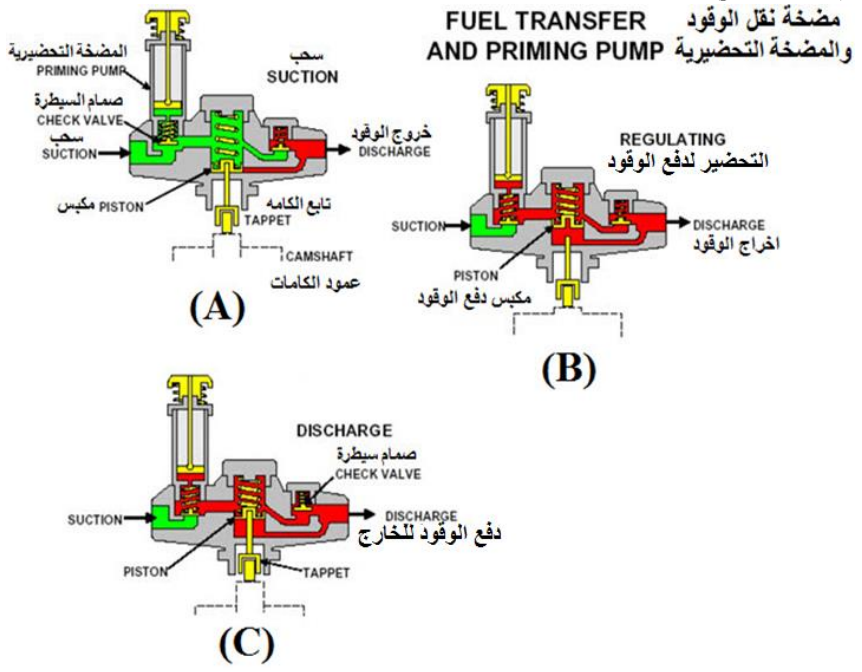
تنقسم مضخات تغذية الوقود من النوع الميكانيكي الى نوعين هما مضخة التغذية ذات الحجاب الحاجز (diaphragm feeding fuel pump) ومضخة التغذية ذات المكبس الترددي والأخيرة على نوعين وهما مضخة التغذية ذات المكبس الترددي ذات الفعل المفرد وذات الفعل المزدوج (single and double action pumps).

11.2.2.1.1 مضخة تغذية الوقود ذات المكبس الترددي

Reciprocating Piston Feeding Pump

تتكون هذه المضخة من مضخة أولية يدوية (priming pump) ومن صمامي سيطرة (check valves) ومكبس (piston). يأخذ المكبس حركته من كامة وتابع الكامة (Tappet) وعمود مثبته علية الكامة. تابع الكامة هو عبارة عن قرص معدني يدور حول نفسة عند دوران الكامة (11.2). تزود المضخة بثلاثة نوابض أثنان منهم لصمامي السيطرة (check valves). يوجد أحدهما من جهة إدخال الوقود (suction) (اللون الأخضر) والآخر من جهة إخراج الوقود (discharge) (اللون الاحمر) أما النابض الثالث فيوجد فوق المكبس (piston) (الوسط). تربط المضخة مع خزان الوقود أما مباشرةً أو مع مرشح تصفية الوقود الأولي والذي يقع بينها وبين خزان الوقود. يطلق على جهة دخول الوقود الى مضخة التغذية بجهة الإدخال (suction side). والجهة الأخرى تسمى جهة الإخراج (discharge) تربط جهة الإخراج الى مرشح أو مرشحين لتنظيف الوقود.

تتم عملية ضخ الوقود بالطريقة الأتية:



شكل (11.2) **: مضخة تغذية الوقود الميكانيكية ذات المكبس الترددي**

عندما يوجد المكبس (piston) (الوسط) في أدنى نقطة (A) يتخلخل الضغط في الحيز الذي يقع فوقه (اللون الأخضر) عندها يتغلب ضغط الوقود الموجود خارج المضخة على الضغط الموجود في الحيز فوق المكبس. يقوم الوقود بدفع صمام السيطرة (صمام الإدخال، الجهة اليسرى) الى الأعلى فينكبس النابض الذي يقع فوق الصمام مباشرةً. أما صمام السيطرة (صمام الإخراج، الجهة اليمنى (اللون الأحمر) الشكل 11.2A) والذي يقع من جهة خروج الوقود (discharge) يبقى مغلقاً. عندما تدور الكامة يندفع المكبس الوسط الى الأعلى (الشكل 11.2B) فيرتفع ضغط الوقود فوق المكبس فينغلق صمام الإدخال (السيطرة) بواسطة النابض الذي يقع فوقه وينفتح صمام خروج الوقود نتيجة الضغط الذي يفرضه الوقود عليه. عندها يتدفق الوقود الى خارج المضخة من جهة الإخراج (discharge) ذاهباً الى مرشح (المصفي) الوقود. يؤدي صعود المكبس الى الأعلى الى تخلخل الضغط خلفه فيندفع جزء من الوقود الذي يتدفق من خلال صمام الإخراج ليصبح خلف المكبس (الشكل 11.2B). وعندما يستمر دوران الكامة ويترل المكبس الى الأسفل بواسطة ضغط النابض الذي يقع فوقه يضغط المكبس على الوقود الذي يقع تحته فيتدفق الى المرشح وبنفس الوقت يُغلق صمام الإخراج بواسطة النابض الذي يقع فوقه (الشكل 11.2C). وهذا يعني أن المكبس يدفع الوقود الى أجزاء جهاز الوقود عند الصعود الى الأعلى وعند الترول الى الأسفل لهذا يطلق عليها المضخة ثنائية الفعل أو (التأثير) (double action pump). وباستمرار نزول المكبس الى الأسفل وتجاوزه نصف الشوط يتخلل الضغط في الحيز الموجود فوقه فتتكرر عملية سحب الوقود الى داخل المضخة من جديد.

في الأنواع الأخرى من المضخات يُضخ الوقود بواسطة المكبس عند صعوده الى الأعلى فقط أو أثناء نزوله الى الأسفل في هذه الحالة يطلق على هذا النوع من المضخات بالمضخات أحادية الفعل أو التأثير (single action pump). المضخة الموضحة في الشكل (11.2) يمكن أن تتحول من ثنائية الفعل الى أحادية الفعل عندما يغلق ممر الوقود الذي يوجد تحت المكبس والذي يتصل مع فتحة الإخراج.

11.2.2.1.1.1 المضخة التحضيرية Priming Pump

تزود مضخة التغذية بمضخة إضافية تعمل يدوياً يطلق عليها المضخة التحضيرية (priming pump). تستخدم هذا المضخة لملأ الجهاز بالوقود عندما يكون فارغاً أو

عند اخراج فقاعة هواء من جهاز وقود الديزل عند تسرب الهواء إليه (شكل 11.2).

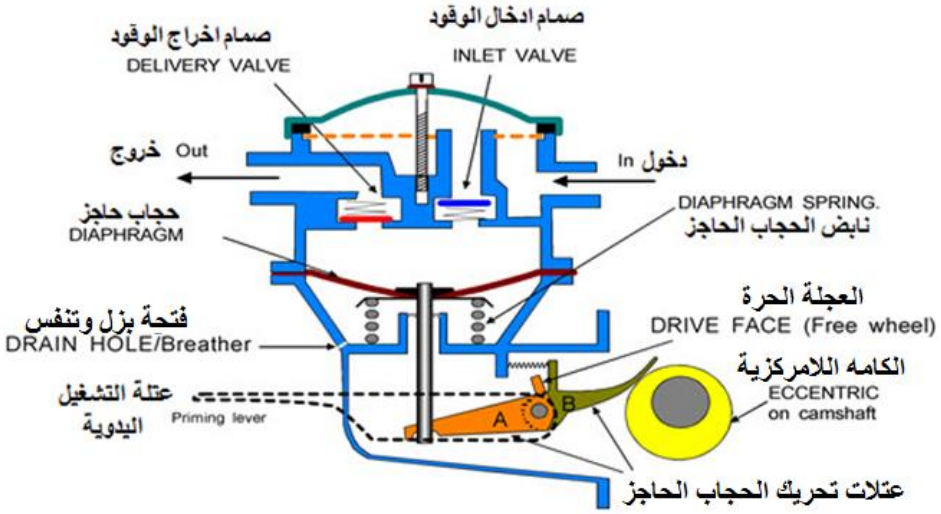
تتكون المضخة التحضيرية من مكبس يتحرك حركة ترددية داخل أسطوانة. يزود هذا المكبس بعتلة يدوية لغرض تحريكه. فعندما يراد ضخ الوقود الى الجهاز يدوياً يسحب المكبس الى الأعلى فيتخلخل الضغط داخل الأسطوانة. عندها يتغلب ضغط الوقود على الضغط داخل الأسطوانة فيندفع صمام إدخال الوقود (السيطرة) الى الأعلى عندها يتدفق الوقود الى داخل حيز المضخة الرئيسية وحيز أسطوانة المضخة التحضيرية في نفس الوقت. وعند دفع المكبس الى الأسفل يرتفع ضغط الوقود داخل المضخة فيغلق صمام الإدخال (صمام السيطرة 11.2A) وينفتح صمام الإخراج discharge عندها يتدفق الوقود الى الخارج. وعندما يستمر صعود المكبس ونزوله يدوياً يسحب الوقود ويدفع خارج المضخة لحين توقف المكبس عن الحركة.

11.2.2.1.2 مضخة تغذية الوقود الميكانيكية ذات الحجاب الحاجز

Diaphram Mechanical Fuel Feeding Pump

يستخدم هذا النوع من مضخات تغذية الوقود في محركات البترين والديزل على حدٍ سواء. تتكون المضخة من فتحة إدخال الوقود (inlet) وفتحة إخراج الوقود (outlet) وصمام الإدخال (inlet valve) وصمام الإخراج (delivery value) والحجاب الحاجز (Diaphragm) ونابض يقع تحت الحجاب الحاجز وعتلات التشغيل (levers A and B) وعتلة التشغيل اليدوي (priming lever) (الشكلان 11.3 و 11.4).

يعدّ الحجاب الحاجز من أهم أجزاء المضخة الذي يقوم بسحب الوقود الى داخلها وإخراجه منها. يتكون الحجاب الحاجز من شبكة من الخيوط المعززة بالمطاط الاصطناعي(fabric impregnated with synthetic rubber) يثبت بين الجزء العلوي للمضخة والجزء السفلي. يزود مركزه بقطعتين معدنيتين دائريتين يثبت عليهما عمود سحب الحجاب الحاجز الى الأسفل. فضلاً عن ذلك تزود المضخة بنابض أسفل الحجاب الحاجز يقوم بدفعه الى الأعلى عند نزوله الى الأسفل. كما تزود المضخة بذراع مفصلي يربط طرفه الداخلي مع نهاية عمود تحريك الحجاب الحاجز أما طرفه الخارجي فيستند على كامة لامركزية Eccentric cam مثبتة على عمود الكامات. يزود العمود المفصلي بنابض يقوم بدفعه الى الوراء عند زوال قوة الدفع عنه من الكامة اللامركزية.



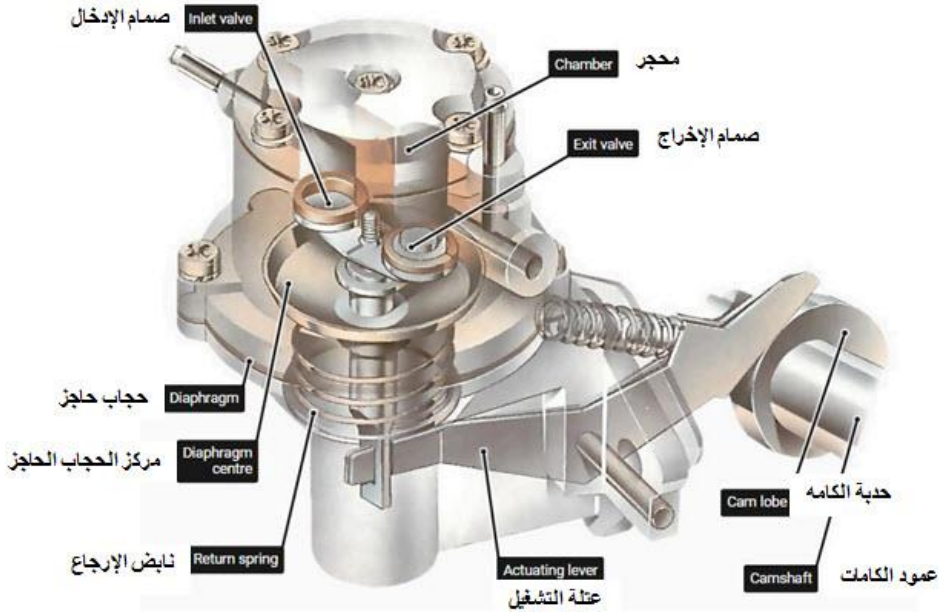
شكل (11.3) **: مخطط مضخة تغذية الوقود الميكانيكية من النوع ذات الحجاب الحاجز**

يتميز الذراع المفصلي بنهايته الملساء المستندة على الكامة اللامركزية لغرض تسهيل حركته أثناء دورانها أما طرفه الأخر مقطوع بشكل حرف U لتثبيت عمود سحب الحجاب الحاجز فيه. تثبت المضخة بأكملها على جانب المحرك ويمر الذراع المفصلي من خلال فتحة جانبية مخصصة لهذا الغرض. تربط المضخة من جهة فتحة أدخال الوقود مع خزان الوقود أو المصفي الذي يقع بينهما إذا كان الجهاز من النوع الذي يحتوي على مصفي ابتدائي. الوظيفة الرئيسية للمضخة هي سحب الوقود من الخزان ودفعه إلى بقية أجزاء جهاز الوقود (تغذية الجهاز بالوقود) وتتم التغذية بالطريقة الآتية:

عند دوران المحرك تدور الكامة اللامركزية فتدفع الذراع المفصلي المستند عليها إلى الأعلى بينما طرفه الأخر يترل إلى الأسفل ساحباً العمود الذي يتصل بالحجاب الحاجز الى الأسفل والذي بدوره يسحب الحجاب الحاجز الى الأسفل. يؤدي نزول الحجاب الحاجز الى الأسفل الى زيادة حجم الحيز الذي يقع فوقه مسبباً انخفاض الضغط داخل هذا الحيز إلى ما تحت الضغط الجوي فيندفع الوقود إلى داخله بواسطة الضغط الجوي ومن خلال صمام الإدخال (Inlet valve). كما يسبب نزول الحجاب الحاجز إلى الأسفل كبس النابض الذي يقع أسفله وعند ابتعاد الجزء اللامركزي للكامه عن الذراع المفصلي تنتهي قوة السحب على الحجاب الحاجز عندها يقوم النابض الذي يقع أسفله بدفعه الى الأعلى لإرجاعه الى وضعة المستوي. كما يقوم نابض الذراع المفصلي بدفعه

الى الخلف ليبقيه في أتصال دائم مع الكامة اللامركزية. يؤدي اندفاع الحجاب الحاجز الى الأعلى الى ارتفاع ضغط الوقود الموجود في الحيز الذي يقع فوقه. عندها ينفتح صمام الإخراج (outlet valve) (أو Exit valve في الشكل 11.4) فيندفع الوقود الى خارج المضخة بينما صمام الإدخال مغلقاً.

تزود المضخة بفتحة تقع أسفل الحجاب الحاجز تسمح للهواء بالخروج من الفسحة التي تقع تحته عند نزوله الى الأسفل وفي حالة عدم وجودها أو انسدادها ينحصر الهواء خلف الحجاب الحاجز فيمنع نزوله الى الأسفل أو قد يؤدي الى تمزيقه. كما تقوم هذه الفتحة بالسماح للهواء بالدخول إلى الفسحة عند صعود الحجاب الحاجز الى الأعلى وبعكسه لا يستطيع الصعود نتيجة الشد الذي يظهر بسبب تخلخل الضغط خلفه. فضلاً عن ذلك تقوم هذه الفتحة بتصريف الوقود عند حدوث تسرب من خلال الحجاب الحاجز breather hole or Drain hole



شكل (11.4) : شكل مجسم لمضخة تغذية الوقود من نوع ذات الحجاب الحاجز

تتوقف المضخة عن دفع الوقود عندما يمتلئ خزان الخلاط (الكابريته) بوقود البترين أو أي جهاز أخر يقوم مقام الخلاط. إذ يزود خزان الخلاط بصمام يقوم بسد ممر الوقود المؤدي أليه مما يؤدي إلى امتلأ الأنبوب الذي يربط مضخة التغذية بالخلاط. كما

يمتلئ الحيز الموجود فوق الحجاب الحاجز بالوقود. يؤدي امتلاء هذا الحيز إلى عدم صعود الحجاب الحاجز إلى الأعلى ضاغطاً على الذراع المفصلي فيبتعد عن الكامة اللامركزية. يؤدي هذا الى دوران الكامة دون تحريك الذراع المفصلي للمضخة فيتوقف ضخ الوقود. وعند حصول نقص في وقود خزان الخلاط أو غيره من الأجهزة فأن صمامها ينفتح فيتدفق الوقود إلى داخله فتستعيد المضخة عملها. كما تزود المضخة بعتلة يدوية (الجزء المنقط في الشكل 11.3) لتشغيلها يدوياً لغرض دفع الوقود الى الجهاز لملئه أو إخراج فقاعة الهواء كما ذكرنا سابقاً.

11.2.2.1.3 مضخة تغذية الوقود الكهربائية

Electrical Fuel Feeding Pump

لا زالت مضخة الوقود الميكانيكية تستخدم بصورة واسعة في المحركات بسبب صفاتها الميكانيكية العالية التي يؤهلها للبقاء فترة أطول غير أنها تأخذ حركتها من كامة توجد على عمود الكامات الموجود داخل المحرك مما يجعلها تعمل باستمرار طالما يعمل المحرك. فضلاً عن ذلك تتعرض للحرارة العالية كونها مثبتة على جسم الأسطوانات. تسبب الحرارة العالية بعض الأحيان خللاً بعمل الحجاب الحاجز كضعف المادة التي تدخل في صناعته وهذا يسبب تهدله فتقل قابليته على ضخ الوقود أو يتوقف نهائياً. وتزداد المشكلة سوءاً في الأجواء الحارة كما يحدث لكثير من المحركات في فصل الصيف. أضافةً لما ذكر سابقاً تدفع المضخة كمية ثابتة تقريباً من الوقود لكل دورة من دورات عمود المرفق بغض النظر عن سرعة المحرك إلا إن الكمية الكلية تقل مع انخفاض سرعة المحرك بسبب انخفاض عدد دورات الكامة التي تقوم بتشغيلها. إلا أن المحركات تحتاج الى كميات من الوقود تختلف باختلاف سرعها. وعلى الرغم من هذه المشاكل إلا أن النوع الميكانيكي يتميز برخص ثمنه كما أنها لا تعمل إلا إذا كان المحرك شغالاً مما يقلل من احتمالية التعرض للاحتراق عند حدوث تصادم بين المركبات أو أي طارئ آخر.

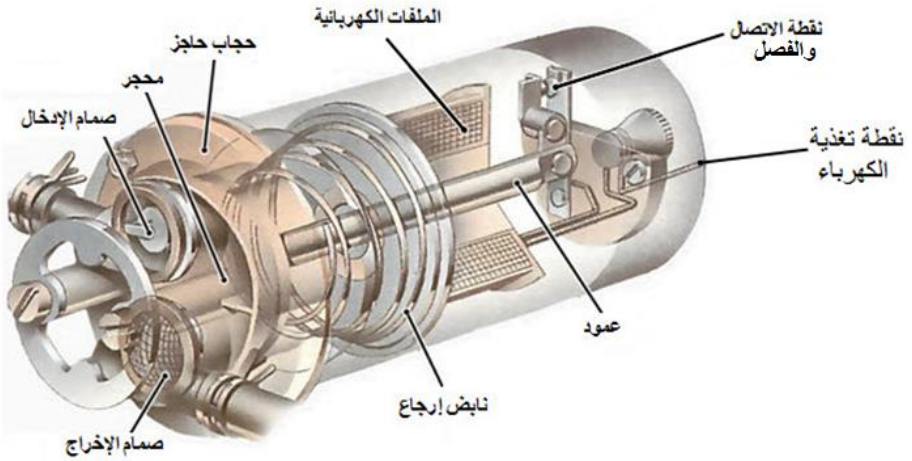
ونتيجة المشاكل آنفة الذكر استبدلت بالمضخة الكهربائية. أن المبدأ الذي تعمل به المضخات الكهربائية هو نفس المبدأ الذي تعمل علية المضخات الميكانيكية. إذ تحتوي المضخة الكهربائية على حجاب حاجز يعمل على تخلخل الضغط لسحب الوقود داخل المضخة ومن ثم دفعه. كما أنهما يتماثلان بوجود صمامين أحدهما لإدخال الوقود

والآخر لإخراجه إلا أن الاختلافات بينهما هو بطريقة تحريك الحجاب الحاجز ففي النوع الأول يحرك ميكانيكياً بينما في النوع الثاني كهربائيا.

تتكون المضخة الكهربائية من جزئيين رئيسين وهما الجزء الذي يقوم بضخ الوقود وهو مماثل لما هو موجود بالمضخة الميكانيكية والجزء الكهربائي الذي حل محل الجزء الميكانيكي في تشغيل مضخة التغذية (الشكل 11.5).

يتكون الجزء الميكانيكي من حجاب حاجز (Diaphragm) وصمامين أحدهما لإدخال الوقود (Inlet valve) والآخر لإخراجه (outlet valve). أما الجزء الكهربائي فيتكون من نقطة تغذية الكهرباء ونقطة الاتصال (contact point) والملفات الكهربائية (Solenoid) وذراع الدفع (Rod) والقلب المغناطيسي (magnetic armature) ونابض الإرجاع (Return spring).

عندما تغلق نقطة الاتصال أو التلامس (contact point) تمر الكهرباء إلى الملفات فيتولد فيها مجال مغناطيسي. يقوم المجال المغناطيسي بسحب العمود (Rod) (القلب) إلى الوراء ساحباً معه الحجاب الحاجز. يؤدي سحب الحجاب الحجاز إلى تخلخل الضغط في الحيز (chamber) الموجود أمامه عندها يدخل الوقود من خلال صمام الإدخال (inlet valve) إلى الحيز ليملأه. وعند بلوغ مشوار العمود إلى أقصاه يقوم بدفع نقطة الفصل (contact point) إلى الوراء فتفتح الدائرة الكهربائية. عندها يضمحل المجال المغناطيسي فيقوم النابض الموجود خلف الحجاب الحاجز بدفعه الى الأمام ساحبا العمود معه الى أن يصل إلى وضعه السابق.



شكل (11.5) **: مضخة تغذية الوقود الكهربائية**

عندما يندفع الحجاب الحاجز إلى الأمام يرتفع ضغط الوقود في الحيز الموجود أمامه دافعاً الوقود الى خارج المضخة عبر صمام الإخراج (outlet valve) إلى الأجزاء الأخرى من جهاز الوقود. وعند رجوع القلب إلى وضعه الأصلي تغلق نقطة الفصل من جديد وتتكرر العملية طالما يتوفر التيار الكهربائي. من عيوب هذه المضخات هو وجودها داخل خزان الوقود لغرض تبريدها من الحرارة لهذا يصعب الوصول إليها لغرض صيانتها. كما إن هناك خطر من اشتعال الوقود بسبب الشرارات التي تحدث فيها نتيجة فتح وغلق نقطة القطع.

11.2.3 مضخات الوقود Fuel Pumps

تزود المحركات بمضخات مختلفة الأنواع منها مضخات الوقود على خط واحد fuel (in –line pump) والنوع الدوار (rotary pump) (distributing pump). كما تزود بمضخات يطلق عليها (Cummins) والمضخات المركبة (combined fuel pump). النوع الأول مشابه لذلك النوع الذي أنتج من قبل (Robert Bosch) قبل خمسين سنة والتي طور بمرور الزمن أما النوع الثاني فقد تم إنتاجه قبل فترة قصيرة إلا أنه أنتشر بصورة كبيرة بسبب رخص ثمنه ودقته. تطورت أجهزة وقود الديزل بشكل كبير وحورت الكثير من أجزاء هذه الاجهزة ومن ضمنها مضخة الوقود الرئيسية لتحسين أدائها وتقليل ضررها على البيئة.

11.2.3.1 مضخة الوقود من نوع على خطاَ واحد In-line Pump

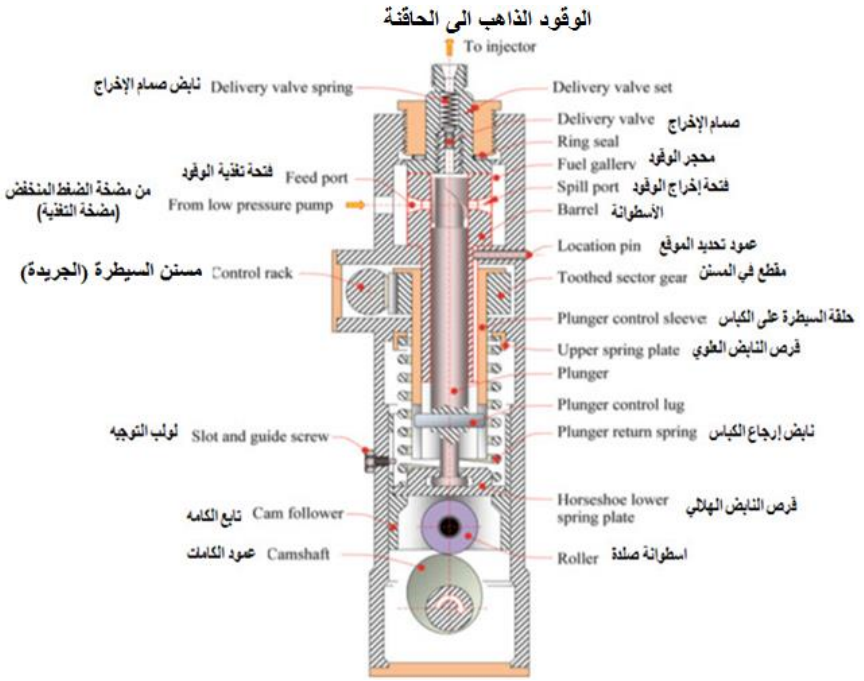
وهي من أقدم أنواع المضخات وأكثرها انتشارا إلا أن الأنواع الحديثة بدأت تحل محلها. تقوم هذه المضخة بدفع الوقود الى الحاقنات تحت ضغط عالي لهذا يطلق عليها بعض الأحيان بمضخات حقن الوقود (Fuel injection pump). تتكون المضخة من عدة مضخات صغيرة عددها مساوي لعدد أسطوانات المحرك (شكل 11.6). تتكون هذه المضخات الصغيرة من الأجزاء الآتية:

شكل (11.6) **: مضخة الوقود على خط واحد وعمود الكامات الذي يشغل المضخات الصغيرة**

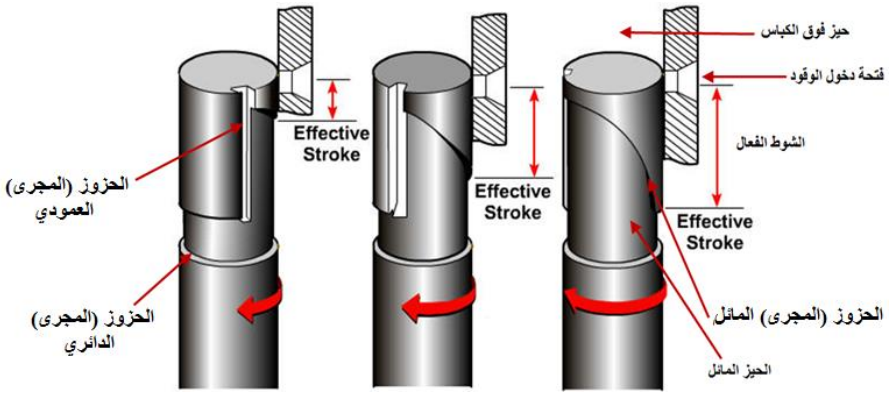
الكباس (plunger) والأسطوانة (barrel) وصمام الإخراج أو التصريف (delivery valve) والنابض وتابع الكامة (cam follower) والكامة (cam) ومسننات التشغيل والسيطرة على كمية الوقود المدفوعة الى المحرك (rack control) (شكل 11.7). وفي ما يلي وصف للأجزاء الرئيسية في المضخة:

1. الكباس Plunger

يصنع الكباس من معدن الفولاذ (steel) يحتوي على حزوز عمودي (vertical groove) يتصل هذا الحزوز مع حزوز آخر مائل وكليهما يتصلان مع الحزوز الدائري (الحيز الدائري) (شكلان 11.7 و 11.8). يترل الوقود من الحيز الموجود فوق الكباس الى الحزوزين المائل والدائري (المجريين المائل والدائري) من خلال الحزوز العمودي. الحزوز الدائري يحيط بالكباس من جميع الجهات بينما الحزوز المائل يشكل ثلث الكباس تقريباً والحزوز العمودي أعمق منهما وعرضة ضيق وينتهي عند الحزوز الدائري. يخزن الوقود في الحزوزين المائل والدائري لحين ضخه أو ضخ جزء منة الى أحد حاقنات الوقود الموجودة في المحرك. يحدد الحزوز المائل طول شوط الكباس الفعال (effective stroke) الذي بدوره يحدد كمية الوقود المدفوعة الى الحاقنة. يعرف شوط الكباس فعال (Effective stroke) على أنه المسافة بين فتحة إخراج الوقود والنقطة التي تقع على الحزوز (المجرى) المائل والتي تقع على نفس خط الفتحة (شكل 11.8).



شكل (11.7) **: مضخة وقود الديزل من النوع على خط واحد** (Inline-fuel pump)



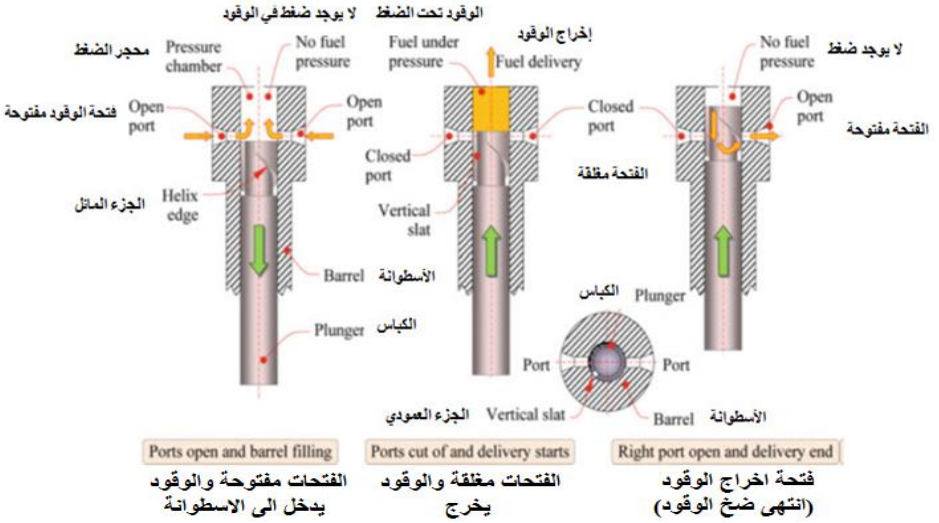
شكل (11.8) **: كباس الوقود (الشوط الفعال** Effective stroke) **يزداد طول الشوط كلما أتجهنا الى يمين الشكل**

يُحدد طول الشوط الفعال كمية الوقود التي تضخها المضخة الى الحاقنة. يتوقف ضخ الوقود ومن ثم يتوقف المحرك عندما يصبح الحزوز (المجرى) العمودي مقابل فتحة أدخال الوقود الى الحيز الموجود فوق الكباس. أما أقصى شوط فعال والذي يعطي

أكبر كمية من الوقود للمحرك يمكن الحصول عليه عندما يصبح الحزوز (المجرى) الدائري تحت فتحة إخراج الوقود (الشكل 11.8 الأيمن).

2. الاسطوانة barrel

الاسطوانة (barrel) عبارة عن أسطوانة تحيط بالكباس. يبلغ الخلوص الموجود بينها وبين الكباس بحدود (0.001mm) وهو خلوص صغير جداً لمنع تسرب الوقود بين الجدار الداخلي للأسطوانة والكباس. تزود الأسطوانة بفتحتين متقابلتين (two ports) يدخل منهما الوقود الى الحيز الموجود فوق الكباس (11.9). أحدى هاتين الفتحتين والتي تقع من جهة الحزوز (المجرى) المائل تستخدم لخروج الوقود بعد انتهاء شوط الكباس. في بعض التصاميم فتحة إخراج الوقود أعلى من فتحة إدخاله لغرض زيادة طول الشوط ومن ثم كمية الوقود المدفوعة الى المحرك. يتحرك الكباس داخل الأسطوانة حركة ترددية لدفع الوقود وحركة نصف دائرية لتحديد طول الشوط.

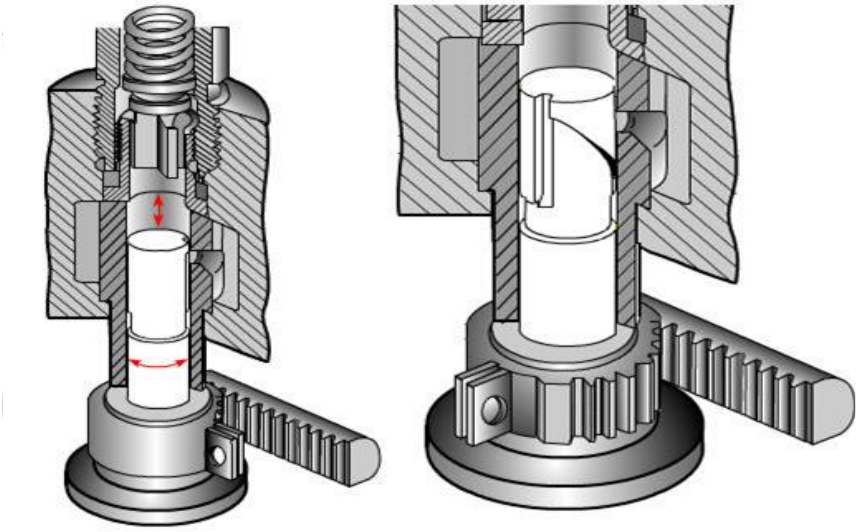


شكل (11.9) **: الأسطوانة** (barrel) **وطريقة ضخ الوقود بواسطة الكباس**

3. السيطرة على حركة الكباس The Plunger Control

يزود الكباس بزائدتين (أذينتين) يطلق عليهما (plunger control lugs) تمر هاتان الزائدتان من خلال فتحتان موجودتان على اسطوانة صغيرة (بوشة) يطلق عليها (plunger control sleeve) (شكل 11.10). تحيط هذه البوشة بالأسطوانة (barrel). يثبت على (sleeve) مسنن نصفي (quadrant) وهذا المسنن يتعشق مع مسنن طولي

(عتلة عليها أسنان) يطلق عليه الجريدة rack. يرتبط المسنن الطولي مع جميع مسننات المضخات الموجودة في المضخة الرئيسية للسيطرة على حركة جميع الكباسات الموجودة بالمضخات الصغيرة للحصول على نفس الكمية من الوقود المدفوعة الأسطوانات المحرك المختلفة. يؤدي تدوير المسنن النصفي (quadrant) الى تدوير الـــ(sleeves) التي بدورها تغير مواقع الكباسات بالنسبة للفتحة الموجودة في (barrel) وهذا الحركة تحدد طول شوط الكباس الفعال ومن ثم كمية الوقود المدفوعة الى الأسطوانات.

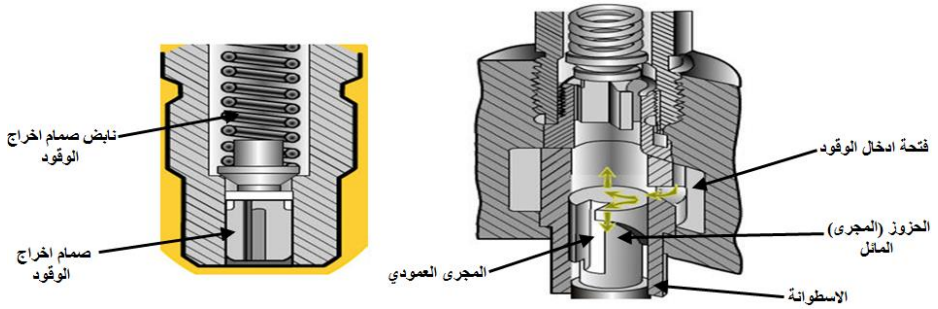


شكل (11.10) **: استخدام المسننين** rack and quadrant **لتغير طول شوط الكباس (الطولي** rack **والدائري** quadrant)

4. صمام الإخراج (صمام التصريف) The Delivery Valve

يوجد هذا الصمام فوق الكباس مباشرةً. وظيفته الأساسية عدم السماح للوقود بالتدفق الى الحاقنة إلا بعد تجاوز ضغطه حداً معيناً ويغلق المنفذ عند هبوطه عن ذلك الحدّ. يوجد الصمام داخل المضخة المصغرة الموجودة ضمن المضخة الرئيسية. يربط المحجر الذي يقع فوق نهاية الصمام مع أنبوب نقل الوقود إلى الحاقنة. يتكون صمام الإخراج من جزء أسطواني يوجد في نهايته العليا. يدخل النابض في هذا الجزء الأسطواني لمنع الحركة الجانبية للنابض والصمام. إن الوظيفة الرئيسية للنابض هي الإرجاع السريع للصمام الى وضع الغلق بعد حقن الوقود مباشرةً داخل الأسطوانة لمنع

نزوله بشكل قطرات داخل الأسطوانة. يتميز النابض بقوته العالية لزيادة الضغط المطلوب لكبسة. يزود الصمام بوجه (face) وهذا الوجه يجلس على مقعد (seat) مخصص له لمنع خروج الوقود إلا بعد بلوغه ضغطه حداً معيناً فضلاً عن منع رجوعه الى الحيز الموجود فوق الكباس بعد غلق الصمام. كما يزود الصمام بقرص ضيق collar يقع تحت الوجه مباشرةً. كما يزود بثلاثة أو أربعة حزوز طولية شكلها مثلث قواعدها عند السطح الخارجي للصمام وقممها باتجاه المركز. تمتد هذه الحزوز طولياً من القرص الى نهاية الصمام (شكل 11.11).



(a) : **الكباس والأسطوانة** barrel **وصمام الإخراج (الأسهم تمثل دخول الوقود الى حيز الكباس)**

(b) : **صمام الإخراج والنابض**

شكل (11.11) **الكباس والأسطوانة وصمام الإخراج ونابضه**

عندما يندفع الكباس الى الأعلى يرتفع ضغط الوقود في الحيز الموجود فوق الكباس ليصل في بعض المحركات الى ($550kN/m^2$) عندها يرتفع صمام إخراج الوقود الى الأعلى فيتدفق الوقود الى الحاقنة عبر أنبوب نقل الوقود. وبعد حقن الوقود داخل الأسطوانة ينخفض ضغط الوقود داخل أنبوب نقل الوقود من المضخة الى الحاقنة وعندما يصبح أقل من قوة النابض يقوم النابض بغلق الصمام فيتوقف تدفق الوقود نحو الحاقنة. وفي نفس الوقت يقوم القرص الدائري (collar) الموجود تحت الوجه المخروطي بسحب كمية قليلة من الوقود من الأنبوب الى حيز الكباس مما يساعد على الانخفاض السريع لضغط الوقود وهذا يؤدي الى الإسراع بغلق الصمام.

5. الكامة وتابع الكامة The Cam And Cam Follower

تزود كل مضخة من مضخات الوقود الصغيرة الموجودة ضمن مضخة الوقود الرئيسية بكامة وتابع كامه (شكلان 11.6 و 11.7). هذه الكامات موزعة على عمود يأخذ حركته من عمود المرفق عبر مسننات. سرعة هذه العمود نصف سرعة عمود المرفق لأن الوقود يحقن مرة واحدة في كل أسطوانة لكل دورتين من دورات عمود المرفق. توزع الكامات على العمود حسب تتابع الاحتراق داخل الأسطوانات. فإذا كان التتابع (1342) فان توزيعها مماثل لهذا التتابع. مقدار الزاوية بين حدبة الكامة والتي تليها هي 90^0. فمثلاً الزاوية بين حدبة كامة مضخة الاسطوانة (1) وحدبة كامة المضخة (3) هي 90^o والزاوية بين حدبة كامة مضخة الأسطوانة (3) وتلك للأسطوانة (4) 90^o وهكذا (شكل 11.6). أما تابع الكامة (cam follower) فهو عبارة عن جزء مرتفع يقع فوق الكامة يضم جزءاً أسطوانياً صلداً (roll) لتسهيل حركة التابع على الكامة. تزود المضخة بنابض ذي قوة عالية يقع أسفل الكباس يقوم بإرجاعه الى وضعه الأصلي بعد عملية ضخ الوقود الى الحاقنة (11.7).

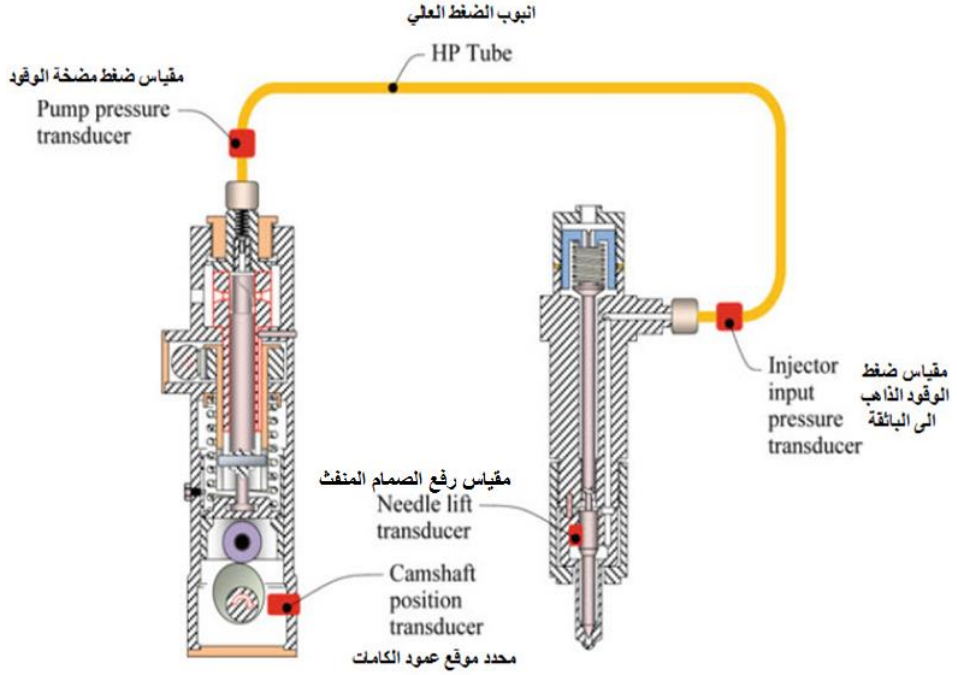
6. أنابيب نقل الوقود Fuel Pipes

ينقل الوقود من المضخة الى الحاقنات بواسطة أنابيب حديد مرنة لتقليل احتمالية كسرها. أطوال وأقطار هذه الانابيب يجب أن تكون متساوية حتى يصل الوقود الى جميع الحاقنات في نفس الوقت فضلاً عن ذلك يجب أن تكون سرعته متساوية في جميع الأنابيب لهذا يجب أن تكون أقطارها متساوية. كما إن أقطار هذه الأنابيب يجب أن تكون صغيرة لزيادة سرعة الوقود في الانابيب حتى يصل الوقود بسرعة عالية الى الحاقنات.

11.2.3.1.1 طريقة تشغيل المضخة The Operation Of The Fuel Pump

عند نزول الكباس الى الأسفل ينخفض الضغط في الحيز الموجود فوقه نتيجة زيادة الحجم. عندها يدخل الوقود من كلا الفتحتين المتقابلتين الموجودتين على جانبي الأسطوانة (barrel). وعندما يدور عمود الكامات الموجود داخل المضخة تَدفع الكامة تابع الكامة الى الأعلى فيندفع الكباس الى الأعلى فإذا كان الحزوز (المجرى) العمودي مقابل إحدى الفتحات الموجودة في الـــ(barrel) فأن الوقود يعود الى خزان المضخة ولا يندفع الى الحاقنة وهي الحالة التي يتوقف فيها المحرك عن العمل لعدم وصول الوقود إليه. أما إذا أُدير الكباس بواسطة مسنن الـــ(rack) (الجريدة) باستخدام دواسة القدم أو

العتلة اليدوية (شكلان 11.8 و 11.9) فان الحزوز (المجرى) العمودي يبتعد عن فتحة إخراج الوقود من الحيز الموجود فوق الكباس. عندها يندفع الكباس الى الأعلى بسبب دفع الكامة له فيرتفع ضغط الوقود في الحيز الموجود فوقه وعندما يصبح أعلى من قوة نابض صمام الإخراج (يبلغ في بعض المحركات $550kN/m^2$) عندها يرتفع الصمام عن مقعدة (شكل 11.11) فيتدفق الوقود من خلال صمام الإخراج الى الحاقنة عبر أنبوب نقل الوقود (شكل 11.12). وعندما ينخفض ضغط الوقود داخل أنبوب نقل الوقود نتيجة حقن جزء منه داخل الاسطوانة يقوم النابض بغلق الصمام فيتوقف تدفق الوقود الى الحاقنة. وعند لحظة الغلق فأن الجزء الدائري (الطوق) collar الموجود تحت المقعد المخروطي يسحب كمية قليلة من الوقود من الأنبوب مما يساعد على سرعة خفض ضغط الوقود فيه وهذا يؤدي الى سرعة غلق صمام الإخراج.



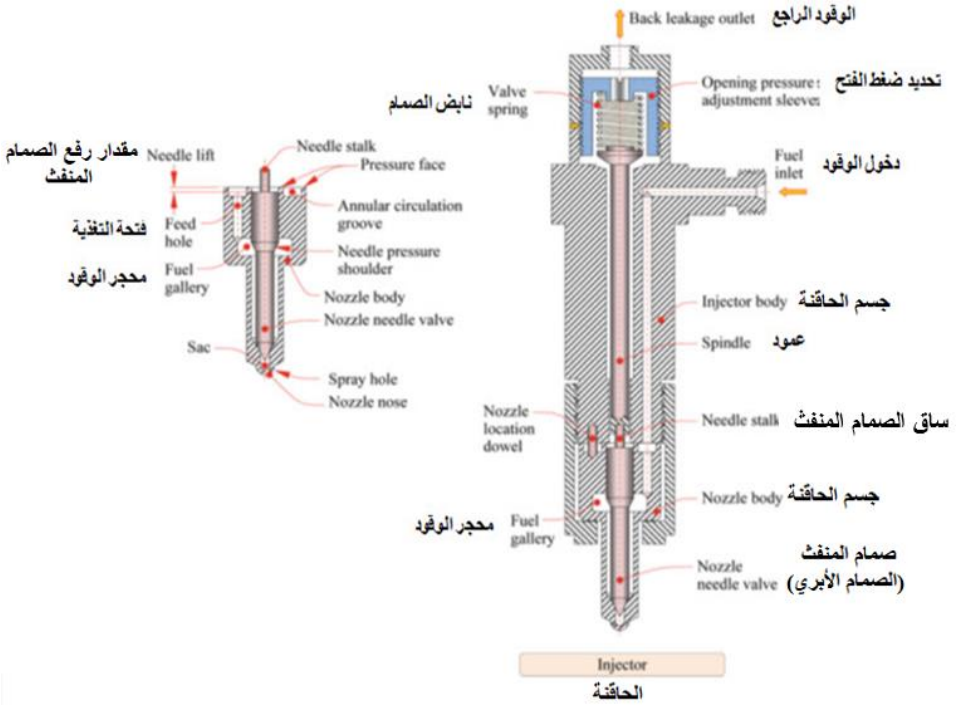
شكل (11.12) : ضخ الوقود بواسطة كباس المضخة الى الحاقنة

أن كمية الوقود التي تدفع الى الحاقنة يحددها طول شوط الكباس الذي هو المسافة بين الحزوز (المجرى) المائل وفتحة إخراج الوقود. فعندما تكون المسافة صغيرة فان كمية الوقود المدفوعة الى الحاقنة صغيرة والتي تجعل سرعة المحرك منخفضة (شكلان 11.8 و

11.9). وعندما يدور الكباس وتصبح نهاية الحزوز (المجرى) المائل (بداية الحزوز الدائري) مقابل فتحة خروج الوقود فأن شوط الكابس الفعال (effective stroke) أطول ما يكون وعندها يدفع الكباس الكمية القصوى من الوقود الى الحاقنة فترتفع سرعة المحرك الى قيمتها القصوى (شكل11.8 اليمين).

11.2.4 الحاقنات Injectors

تزود محركات الديزل بحاقنات واحدة لكل أسطوانة تقوم هذه الحاقنات بحقن الوقود داخل غرف الاحتراق. يطلق على الحاقنة بعض الأحيان بالمرذذة Atomizer لكونها تقوم بتفتيت الوقود وحقنة داخل غرفة الاحتراق في الأسطوانة (شكلان 11.12 و 11.13)



شكل (11.13) : أجزاء الحاقنة

تتكون الحاقنة من الصمام المنفث nozzle needle valve ومن عمود فوق الصمام المنفث spindle. يزود هذا العمود بتجويف من الأسفل يتداخل مع الصمام المنفث لمنع انزلاقهما على بعضهما البعض. يثبت على نهاية العمود العليا قرص يحتوي من الأعلى

على نتوء دائري قصير قطرة أقل من قطر القرص. يتداخل هذا النتوء مع النابض الموجود في نهاية الحاقنة لمنع الحركة الجانبية للنابض (valve spring). يتميز هذا النابض بقوته العالية لزيادة تفتيت الوقود. يوجد فوق النابض لولب لضبط قوة النابض Adjustment sleeve ومن ثم الضغط المطلوب لفتح الصمام المنفث. تزود الحاقنة بفتحة لدخول الوقود (fuel inlet) تؤدي هذه الفتحة الى ممر يمتد داخل جسم الحاقنة (Injector body) والذي يتصل من الأسفل بحوض لتجمع الوقود fuel gallery هذا الحوض يحيط بالجزء المخروطي للصمام. توجد في نهاية الصمام المنفث فتحة أو عدة فتحات يتراوح عددها بين أربعة الى خمسة لإخراج الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق. كما تزود الحاقنة من الأعلى بمنفذ للوقود الفائض (Back leakage fuel).

11.2.4.1 طريقة عمل الحاقنة

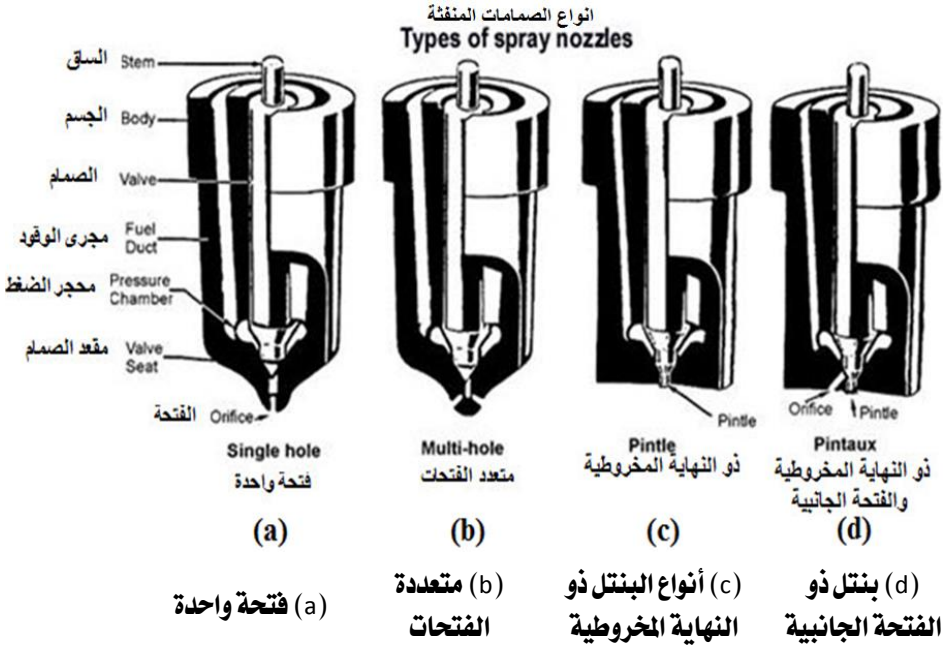
Operating Method Of The Fuel Injector

يندفع الوقود من مضخة الوقود تحت ضغط عالي جداً الى الحاقنة. يدخل من خلال فتحة الدخول الجانبية (fuel inlet) ومنها الى الممر الذي يمتد الى الأسفل ليتجمع في الحوض (محجر الوقود) الذي يوجد تقريباً في منتصف الصمام المنفث. عندما يتجمع الوقود وبكمية كافية في الحوض يرتفع ضغطه بشكل كبير عندها يولد ضغطاً على جوانب المخروط وعندما يصبح أعلى من قوة النابض يرتفع الصمام المنفث الى الأعلى. عندها تنكشف الفتحة أو الفتحات الموجودة في نهاية الصمام المنفث فيتدفق الوقود بشكل رذاذ داخل غرفة الاحتراق. يعتمد تفتيت الوقود على الضغط الذي يُدفع فيه الوقود من قبل المضخة وعلى قوة نابض الحاقنة وحجم الفتحات في الحاقنة وعددها. وعندما ينخفض ضغط الوقود ويصبح أقل من قوة النابض يقوم النابض بدفع العمود (spindle) الى الأسفل والأخير يدفع الصمام المنفث الى الأسفل وعندها تغلق الفتحة أو فتحات خروج الوقود. عملية الغلق يجب أن تكون سريعة ومحكمة لغرض منع نزول الوقود بشكل قطرات داخل غرفة الاحتراق ومن ثم منع ظهور الدخان الأسود.

يعود الوقود الفائض من الحاقنة عبر الممر الوسطي ومنه الى الأنبوب الذي يتصل بالحاقنات من الأعلى. يذهب هذا الوقود الفائض أما الى الخزان أو مضخة الوقود أو الى المصفيات (المرشحات) (شكل 11.1).

تزود الرشاشات بفتحة واحدة أو عدة فتحات أو تزود بصمام نفاث من نوع (pintle) (شكل 11.14). إذ يزداد الترذذ كلما زاد عدد الفتحات وقلت أقطارها. إما

الصمام المنفث من نوع (pintle) (شكل 11.14) وهو صمام نهايته مخروطية الشكل قاعدته الى الأسفل وقمته الى الأعلى أو أسطواني الشكل. عند زيادة الضغط يندفع الصمام المنفث الى الأسفل بدلاً من الارتفاع الى الأعلى كما هي الحالة في الصمامات المنفثة الاعتيادية فيتدفق الوقود ويصطدم بجوانب المخروط مما يسبب تفتيته وتوزيعه داخل غرفة الاحتراق. إما إذا كان أسطواني فإنه يرتفع الى الأعلى فيتدفق الوقود من خلال الفسحة بين الصمام وفتحة الحاقنة. يزود الصمام من نوع (pintle) بفتحة إضافية تقع الى جانبه تساعد على حقن الوقود الى جوانب غرفة الاحتراق وفي هذه الحالة يسمى الصمام (Pintaux) (شكل 11.14).



شكل (11.14) **: أنواع مختلفة من الصمامات المنفثة** (nozzle valve types)

11.2.5 جهاز وقود الديزل ذو المضخة الدورانية أو (الرحوية)

Rotary Pump Fuel System

11.2.5.1 جهاز الوقود ذو المضخة الميكانيكية الدورانية (الرحوية)

Mechanical Rotary Pump Fuel System

المقدمة **Introduction**

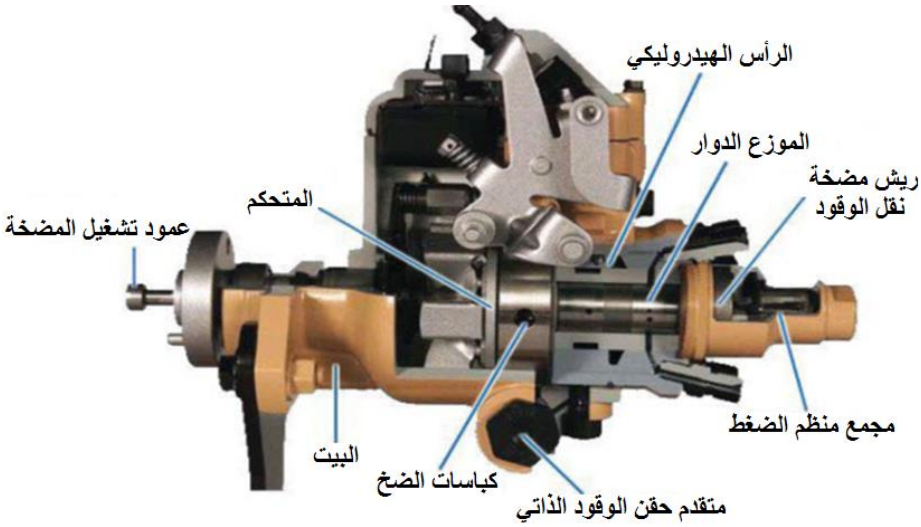
استخدمت مضخات الوقود من النوع على خط واحد (inline fuel pump type) لفترة طويلة. إلا أنها مضخات تفتقر الى الدقة العالية بتحديد كمية الوقود المدفوعة الى المحرك مما يسبب الكثير من العادم الذي يضر بالبيئة. فضلاً عن ذلك تحتوي المضخة الرئيسية على عدد من المضخات الصغيرة تخصص كل واحدة من هذه المضخات لتغذية أسطوانة واحدة بالوقود ولهذا لا تصل نفس الكمية من الوقود الى الأسطوانات في كثير من الأحيان خصوصاً إذا حدث خلل في احدها أو لم يتم معايرتها بصورة دقيقة. فضلاً عن ذلك لكل مضخة صغيرة ميكانيكية مستقلة لتشغيلها. هذه الميكانيكية تتكون من كامة وتابع كامة وأجزاء أخرى تتعرض هذه الأجزاء الى تآكل مختلف في كثير من الأحيان مما يسبب اختلاف بكميات الوقود الواصلة لكل أسطوانة. لهذا ظهرت المضخة الدورانية (الرحوية) (Rotary pump) التي تقوم بتغذية كل الأسطوانات بالوقود وبنفس الكمية وعند حدوث خلل فأنها تبقى تغذي الأسطوانات بنفس الكمية حتى ولو كانت خارج الكمية المطلوبة. إلا إنها أكثر تعقيداً وتوزيع الأنابيب يحتاج الى دقة حتى لا يحدث اختلاف بترتيب تغذية الوقود للأسطوانات بعكس المضخة على خط واحد إذ أن الأنابيب تربط بالترتيب من رقم واحد الى الرقم الأخير لأن توزيع الوقود على أسطوانات المحرك يحدده عمود الكامات المزودة به هذه المضخة.

11.2.5.1.1 مضخة الوقود الدورانية (الرحوية) Rotary Fuel Pump

يوضح الشكل (11.15) أجزاء مضخة الوقود الدورانية. تتكون المضخة من الأجزاء الرئيسية الاتية: (1) عمود تشغيل المضخة (Drive shaft) (2) بيت المضخة (جسم المضخة)(Pump housing) (3) المتحكم الذاتي (Governor) (4) كباسات ضخ الوقود (Pumping plungers) (5) الرأس الهيدروليكي (Hydraulic Head) (6) الموزع الوقود الدوار (distributor rotor) (7) مضخة نقل الوقود للجهاز (Transfer pump) (8)

أجزاء منظم الضغط (Pressure Regulator Assembly) (9) جهاز تقديم ضخ الوقود الى المحرك.

تتميز هذه المضخة بصغر حجمها فضلاً عن قلة الأجزاء المتحركة فيها. تأخذ حركتها من عمود المرفق بواسطة مسننين. وعندما تكون المسافة بين المسننين كبيرة يستخدم مسنن وسيط بينهما. عدد أسنان المسنن المثبت على المضخة ضعف عدد أسنان مسنن عمود المرفق مما يجعل سرعتها نصف سرعة عمود المرفق وذلك لأن أسطوانات المحرك يتولد فيها شوط قدرة واحد لكل دورتين لعمود المرفق. أما توزع أنابيب نقل الوقود منها الى الحاقنات فترتب حسب تتابع أشواط القدرة في أسطوانات المحرك. تتكون هذه المضخة من الأجزاء الأتية:

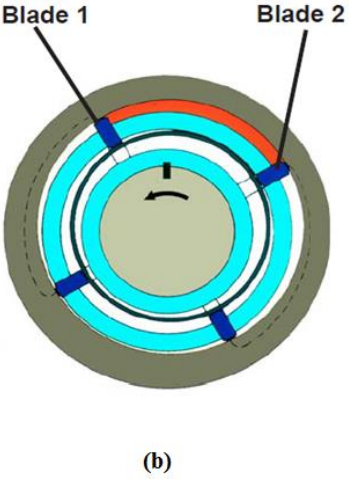


شكل (11.15) **: مقطع عرضي في مضخة الوقود الدورانية (الرحوية)**

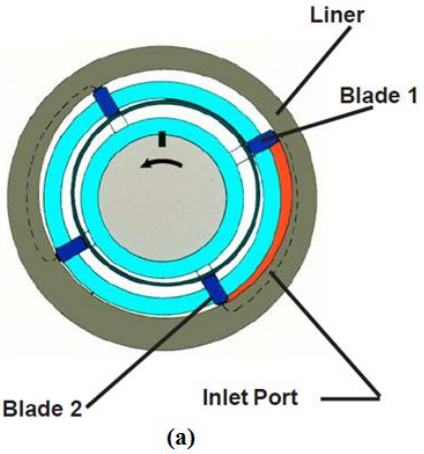
1. مضخة نقل الوقود Transfer Pump

تزود المضخة الدورانية بمضخة تقوم بنقل الوقود بعد مروره بمضخة التغذية (feed pump) والمصفيات (المرشحات) (filters) الى الأجزاء المضخة المختلفة لهذا تسمى مضخة النقل (transfer pump). وهي مضخة من النوع ذات الزعانف (blades) والإزاحة الموجبة (11.16). تتكون من غلاف خارجي دائري الشكل يحتوي على فتحتين أحدهما لإدخال الوقود (inlet port) والأخرى لإخراجه (تصريف الوقود) (outlet port) ومن دوار (rotor) يحتوي على أربعة ثقوب الزاوية بين كل أثنين

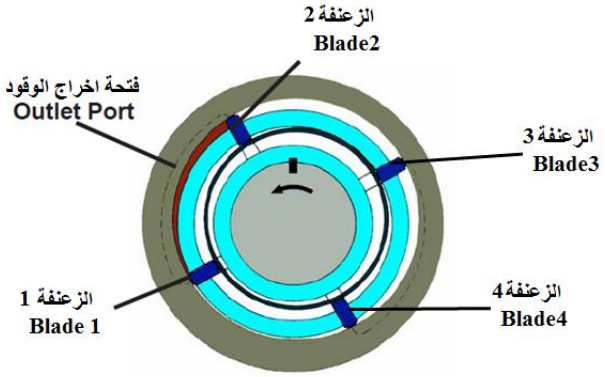
متجاورين (90^0) أي إن كل أثنين متقابلين منهما يقعان على خط واحد. يوضع في الثقوب أربعة نوابض وأربعة زعانف (blades) دائرية الشكل نهاياتها نصف كروية. يثبت الدوار (rotor) على عمود نقل القدرة بشكل لامركزي لهذا عند دورانه يقترب من الجدار الداخلي للغلاف في أحد المواقع ويبتعد عنة في موقع آخر. عندما يقترب الدوار من الجدار الداخلي للغلاف تدخل زعنفتان الى الداخل فينكبس نابضاهما وعندما يبتعد الدوار يقوم النابضان بإخراج الزعنفتان الى الخارج لهذا تبقى الزعانف في أتصال مستمر مع الجدار الداخلي للغلاف الخارجي.



(b) : **حصر الوقود وضغطة بين الزعنفتين** (blades 1 and 2) **1 و 2**



(a) : **سحب الوقود من فتحة الإدخال (المنقطة)** inlet port



(c) : **دفع الوقود خارج المضخة** (outlet port) **بواسطة الزعنفتين 1 و 2**
وسحب الوقود بواسطة الزعنفتين 3 و 4

شكل (11.16) : **مضخة نقل الوقود** fuel transfer pump

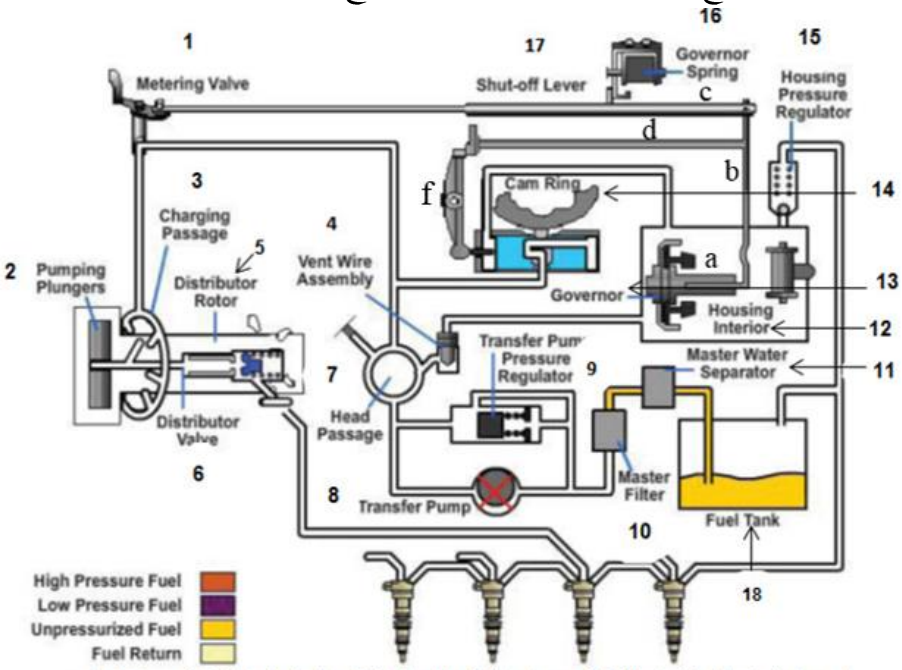
يوضح الشكل (11.16 a,b,c) مبدأ عمل المضخة. عندما يدور الدوار يزداد الحجم في الربع المحصور بين الزعنفتين (1) و (2) في الشكل (11.16a) تتوافق هذه الزيادة بالحجم مع فتحة أدخال الوقود التي شكلها مماثل للشكل الكلوي (الجزء المنقط) مما يؤدي الى تدفق الوقود الى الداخل المضخة وملأ الفسحة بين الزعنفتين. وعندما تتجاوز الزعنفة (2) فتحة الإدخال تتوقف الزيادة بالحجم ومن ثم حجم الوقود المحصور بين الزعنفتين (شكل 11.16b). وعندما تتجاوز الزعنفة (1) حافة فتحة إخراج الوقود ذات الشكل الكلوي أيضاً والذي يقابل فتحة إدخال الوقود يبدأ الوقود المضغوط بالتدفق الى الخارج (شكل 11.16c). وباستمرار دوران الدوار يتدفق الوقود بالكامل الى الخارج. وعند لحظة بدأ الزعنفتان (1) و (2) بإخراج الوقود تبدأ الزعنفتان (3) و(4) بسحب الوقود داخل المضخة وتستمر العملية. أي إن زعنفتان تسحبان الوقود وزعنفتان يدفعان الوقود الى خارج المضخة.

2. الرأس الهيدروليكي Hydraulic Head

هو الجزء الذي يحيط بالدوار الذي يوزع الوقود (الموزع) (distributor rotor). يحتوي الرأس الهيدروليكي على مجموعة من الفتحات (bores) (ممرات) يطلق عليهم ممرات شحن الوقود (3) (charging passage) (شكل 11.17). يدفع الوقود بواسطة مضخة نقل الوقود (transfer pump) (تغذية الوقود الداخلية) الى صمام تحديد كمية الوقود أو ما يطلق علية صمام المعايرة (metering valve) (1) لتحديد كميته ومن ثم يمر الى الفتحات (الممرات) (charging passage) (3) وعندما يتوافق أحد الممرات مع الممر الذي يغذي الدوار يتدفق الوقود الى الممر الموجود في قلب الدوار. في هذا النوع من المضخات عدد الممرات في الرأس الهيدروليكي مساوي لعدد الأسطوانات بينما في الدوار ممر واحد لضخ الوقود يتوافق في كل مرة مع أحد الممرات الموجودة في الرأس الهيدروليكي لضخ الوقود الى أحد الأسطوانات. كما إن عدد ممرات الوقود الى الحاقنات والموجودة في نهاية الرأس الهيدروليكي مماثلة لعدد الممرات المغذية للدوار بالوقود (ممر لكل حاقنة من حاقنات الأسطوانات) بينما هناك ممر في الدوار لتغذية ممرات الحاقنات. إن طريقة مرور الوقود من الرأس الهيدروليكي الى الدوار موضحة في شكل (11.18) إذ إن الوقود يدخل من فتحة الدخول (inlet port) ويضغط بواسطة الكباسات ليخرج الى الرشاشات (fuel to injector).

3. الموزع الدوار Distributor Rotor

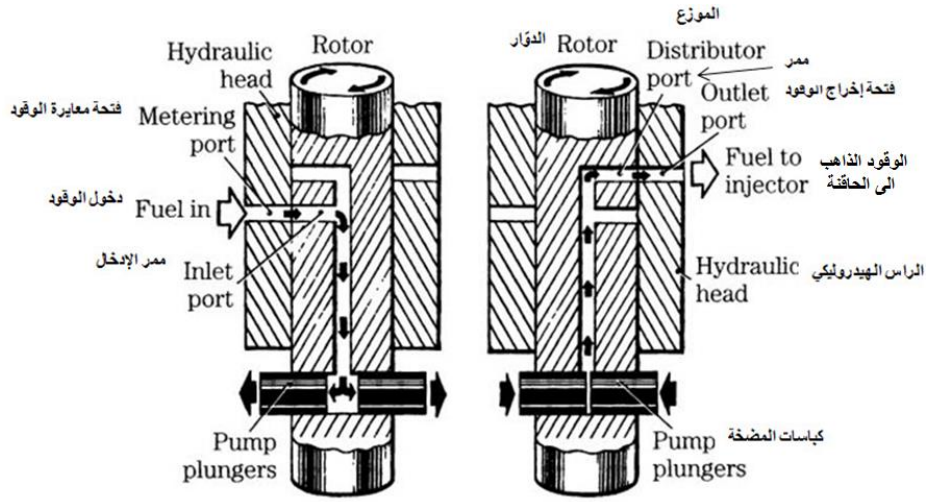
يوجد الموزع الدوار داخل الرأس الهيدروليكي ويوجد بينهما خلوص صغير جداً يسمح للدوار بالدوران داخل الرأس الهيدروليكي بحرية (شكل 11.18). يزود مركز الدوار بممر للوقود تتصل به فتحتان واحدة لإدخال الوقود (fuel port) وأخرى لإخراج الوقود (outlet port) الى الحاقنات (fuel to injector). كما ذكرنا سابقاً فتحة أدخال الوقود في الدوار تتوافق مع أحد فتحات تغذية الوقود في الرأس الهيدروليكي التي عددها مساوي الى عدد أسطوانات المحرك. إما فتحة إخراج الوقود فتتوافق مع أحد فتحات إخراج الوقود والموجود في الرأس الهيدروليكي والتي عددها أيضاً مساوي لعدد الأسطوانات أو الحاقنات. كما يزود الدوار أما بثقبين متقابلين الزاوية بينهما (180^0) أو أربع ثقوب الزاوية بينهم (90^0). يزود الثقبان بكباسين والأربعة ثقوب بأربعة كباسات (plungers). يوجد بين كل كباسين متقابلين نابض لا رجاعهما الى الخارج لغرض سحب الوقود بعد الضخ.



1- صمام المعايرة 2- كباسات الضخ 3- ممر شحن الوقود 4- سلك التنفيس 5- الموزع الدوّار 6- صمام الموزع
7- ممر الرش الهيدروليكي 8- مضخة نقل الوقود 9- منظم ضغط مضخة نقل الوقود 10- مصفي الوقود الرئيسي
11- عازل ماء الوقود الرئيسي 12- البيت الداخلي 13- المحكم 14- الكامه الحلقية 15- بيت منظم الضغط
16- نابض المتحكم 17- عتلة قطع الوقود 18- خزان الوقود

شكل (11.17) **: جهاز الوقود من النوع ذو المضخة الدورانية**

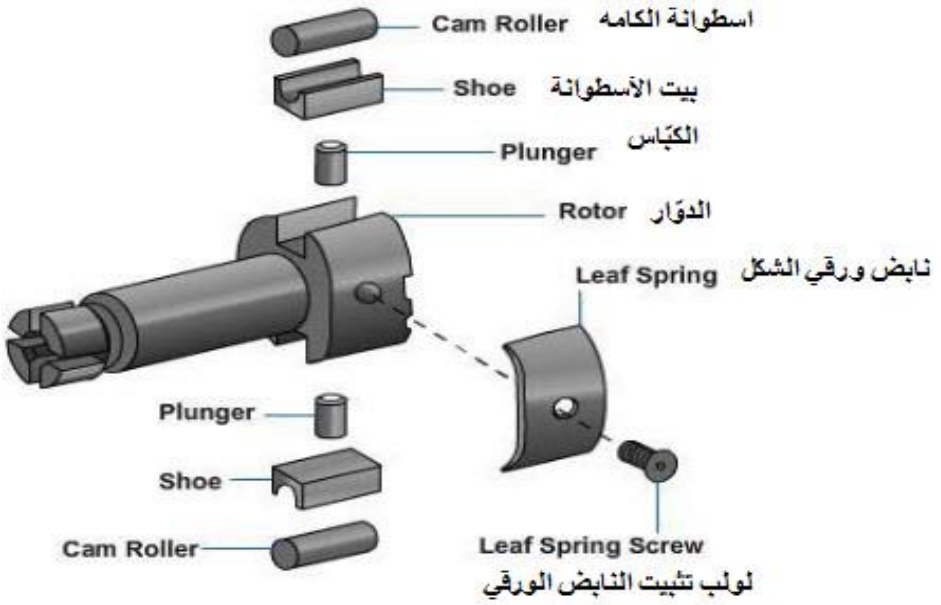
تُحرك الكباسات بواسطة كامة دائرية حدبها من الداخل. عدد الحدب مساوي لضعف عدد الأسطوانات إذا كان الدوار مزود بكباسين وأربعة أضعاف عدد الأسطوانات إذا كانت أربع كباسات. ولغرض تسهيل اندفاع الكباسات الى الداخل وحركة الكامة الدائرية يزود كل كباس بـــأسطوانة صلدة (rollers) وهذه الأسطوانة الصلدة توضع بوعاء نصف دائري يطلق علية (shoe) وهذه الوعاء يوضع في حزوز موجود في الدوار (شكل 11.19). هذه الأسطوانات الصلدة تدور حول نفسها عندما تلامس حدب الكامة الدائرية لتقليل التآكل. ولمنع خروج الوعاء من الحزوز زود الدوار بنابض ورقي الشكل (leaf spring) يستخدم لتثبيت الأسطوانة الصلدة والوعاء على الدوار. يتم التثبيت بواسطة لولب أو مسمار (screw leaf spring). يزود الدوار (rotor) في كثير من التصاميم الحديثة بصمام لتنظيم الضغط (distributor valve) (شكل 11.17(6)) فائدته لإبقاء ضغط الوقود داخل المضخة مرتفعاً بعد رش الوقود للمساعدة برش الوقود مرة أخرى دون الحاجة لرفعة من جديد. توجد في نهاية الدوار مضخة نقل الوقود (transfer pump) تستخدم لدفع الوقود الى أجزاء المضخة المسؤولة عن ضخه الى الحاقنات. هذه المضخة من النوع ذات الزعانف. توضع الزعانف في المجاري المخصصة لها والتي عددها أربعة (شكل 11.19). تم التطرق لهذا النوع من المضخات سابقاً.



(a) : **اندفاع الكباسين الى الخارج لسحب الوقود (اليسار)**

(b) : **اندفاع الكباسات الى الداخل لضخ الوقود (اليمين)**

شكل (11.18) : **الموزع الدوار داخل الرأس الهيدروليكي**

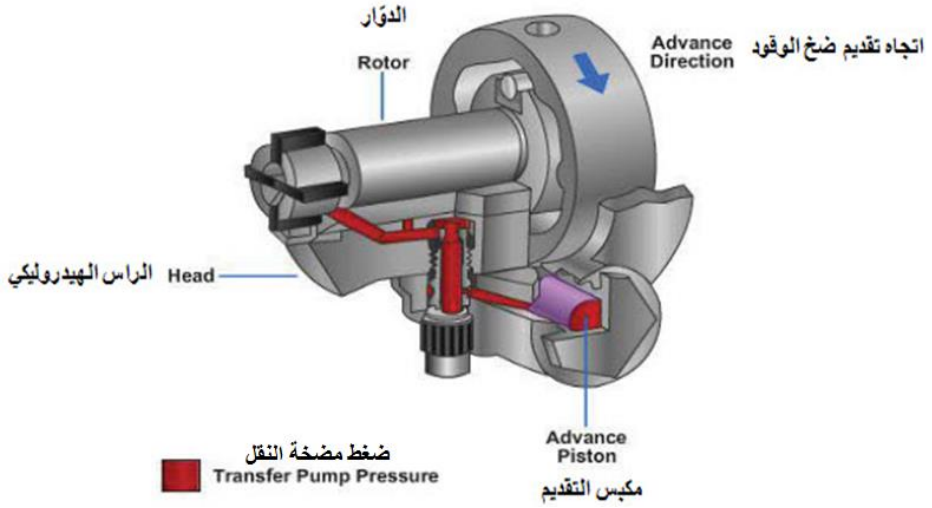


شكل (11.19) **: الموزع الدوار وأجزاءه المختلفة والكباسات**

كما يوجد في نهاية الدوار أوزان التحكم الذاتي التي تقوم بالتحكم بكمية الوقود الذاهبة الى الدوار ومن ثم سرعة المحرك ويتم ذلك من خلال صمام المعايرة. (metering valve) فضلاً عن ذلك تتحكم بموقع الكامة الدائرية بالنسبة الى الكباسات (شكل 11.17). إذ تقوم بتدوير الكامة مما يسبب تقديم ضخ الوقود عن موعده وهذه العملية تتم في السرع العالية للمحرك.

4. الكامة الحلقية Cam Ring

تحيط الكامة الحلقية بالدوار (rotor) من جهة الكباسات (الكامة الدائرية) توجد داخلها الأسطوانات المعدنية (الدرافيل) (rollers) التي تحرك الكباسات. عدد حدب (فصوص) الكامة الحلقية يساوي ضعف عدد الأسطوانات إذا كان هناك كباسان في الدوار أو أربع أضعاف عدد الأسطوانات إذا كان عدد الكباسات أربعة وهذا يعني هناك فص واحد لكل كباس في الكامة الحلقية. وبما أن الكباسات موزعة بحيث إن كل كباسين يتقابلان لهذا يوجد زوج من الفصوص يتقابلان أيضاً لتشغيل الكباسين من خلال دفعهما الى الداخل لضخ الوقود للأسطوانة الواحدة من أسطوانات المحرك (شكل 11.20).



شكل (11.20) **: الكامة الحلقية والأسطوانات المعدنية** (Rollers) **وزعانف مضخة نقل الوقود ودوار توزيع الوقود وجهاز تقديم توقيت ضخ الوقود الى الحاقن الذاتي التشغيل (الأوتوماتيكي)**

توجد الكامة الحلقية في الرأس الهيدروليكي بينما الكباسات والأسطوانات المعدنية التي تشغلها مثبتة في الموزع الدوار للوقود. يتغير موقع الكامة الحلقية بالنسبة الى الكباسات اعتمادا على سرعة المحرك إذ تتقدم الى الامام عند زيادة السرعة لغرض التبكير بحقن الوقود داخل الأسطوانة من أجل إعطاء الوقت الكافي لعملية حرق الوقود.

5. جهاز تقديم ضخ الوقود الذاتي (الأوتوماتيكي)

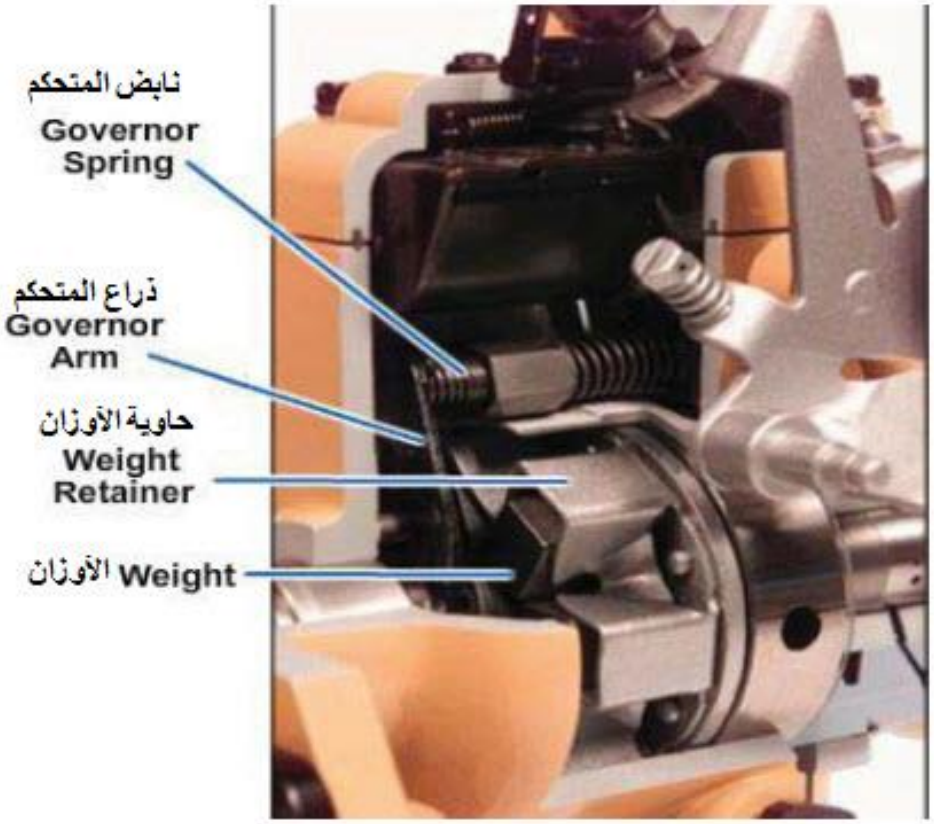
Automatic Advance Of Fuel Injection Device

تزود المضخة بجهاز يقوم بتقديم توقيت ضخ الوقود الى الحاقنات يعمل ذاتياً. يثبت هذا الجهاز أسفل المضخة (شكل 11.15). يتكون من مكبس التقديم (advance piston) ونابض يقع أمامه (شكل 11.20). يرتبط المكبس مع الكامة الحلقية بواسطة لولب. عندما تزداد سرعة المحرك يزداد ضخ الوقود بواسطة مضخة النقل (transfer pump) عندها يندفع المكبس الى الأمام بسبب الضغط الذي يفرضه الوقود عليه مسبباً تدوير الكامة الحلقية عكس اتجاه دوران المضخة (باتجاه السهم) وهذا يؤدي الى تقديم توقيت ضخ الوقود الى الحاقنات. وعندما تقل سرعة المحرك ينخفض ضغط الوقود خلف المكبس عندها يقوم النابض المكبوس بدفع المكبس الى الوراء عكس اتجاه السهم وبمقدار يتناسب مع انخفاض ضغط الوقود مما يقلل من فترة تقدم ضخ الوقود وعند

رجوع ضغط الوقود الى الضغط الاعتيادي تعود الكامة الى وضعها الأصلي ويعود توقيت حقن الوقود الى توقيته الأول.

6. المتحكم الميكانيكي Mechanical Governor

يتكون المتحكم الذاتي من النوع الميكانيكي من الأوزان (weights) والحاويات التي تضم الأوزان داخلها (weight retainer) وذراع المتحكم (governor arm) ونابض المتحكم (governor spring). وهذه الأجزاء موضحة في الشكل المجسم في الشكل (11.21). إما الشكل (11.17) فيمثل رسم تخطيطي للمتحكم الذاتي الميكانيكي. عندما تزداد سرعة المحرك تندفع الأوزان الى الخارج (الشكل 11.17) عندها تندفع العتلة (a) التي تلامس القرص الذي تتصل به الاوزان مفصلياً الى الخارج. تقوم العتلة (a) بدفع العتلة العمودية (b) من الأسفل الى الخارج بينما تندفع من الأعلى الى الداخل. عندها

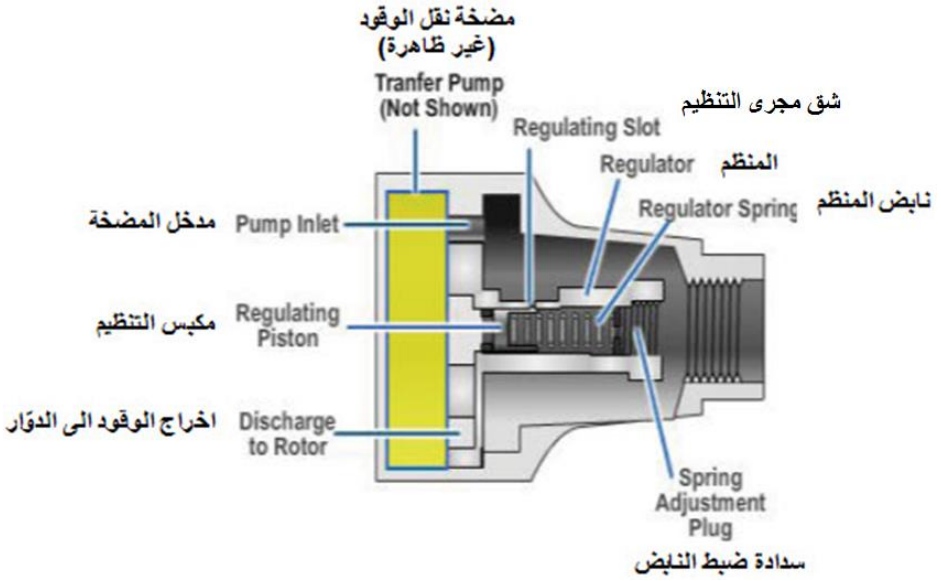


شكل (11.21) **: شكل مجسم للمتحكم الذاتي لمضخة الوقود من النوع الدوار**

تندفع العتلة (c) التي تتصل بصمام معايرة الوقود الى اليسار فتزداد فتحة صمام المعايرة (metering valve) ومن ثم تزداد كمية الوقود الذاهب الى المحرك. كما تندفع العتلة (d) الموازية لعتلة صمام المعايرة الى اليسار أيضاً دافعة العتلة العمودية (f) من الأعلى الى اليسار ومن الأسفل الى اليمين وهذا يؤدي الى تدوير الكامة الحلقية مسببة تقدم توقيت ضخ الوقود الى الحاقنات. وبنفس الطريقة يعمل المتحكم الذاتي الموضح في الشكل (11.21).

7. صمام تنظيم الضغط Pressure Regulating Valve

يقع صمام تنظيم الضغط في نهاية المضخة ومن جهة مضخة نقل الوقود (transfer pump). فعندما تَشتغل المضخة يُسحب الوقود من خلال المصفي ويندفع الى الرأس الهيدروليكي. وعندما يرتفع ضغط الوقود يندفع مكبس التنظيم (Regulating Piston) الى الوراء فينكبس نابض المنظم (Regulating spring) (شكل 11.22). عندئذٍ ينفتح ممر الوقود (Regulating slot) فيعود جزء منه الى المضخة من خلال فتحة دخول الوقود الى المضخة (مدخل المضخة) (pump inlet). أما الجزء الآخر من الوقود فيذهب

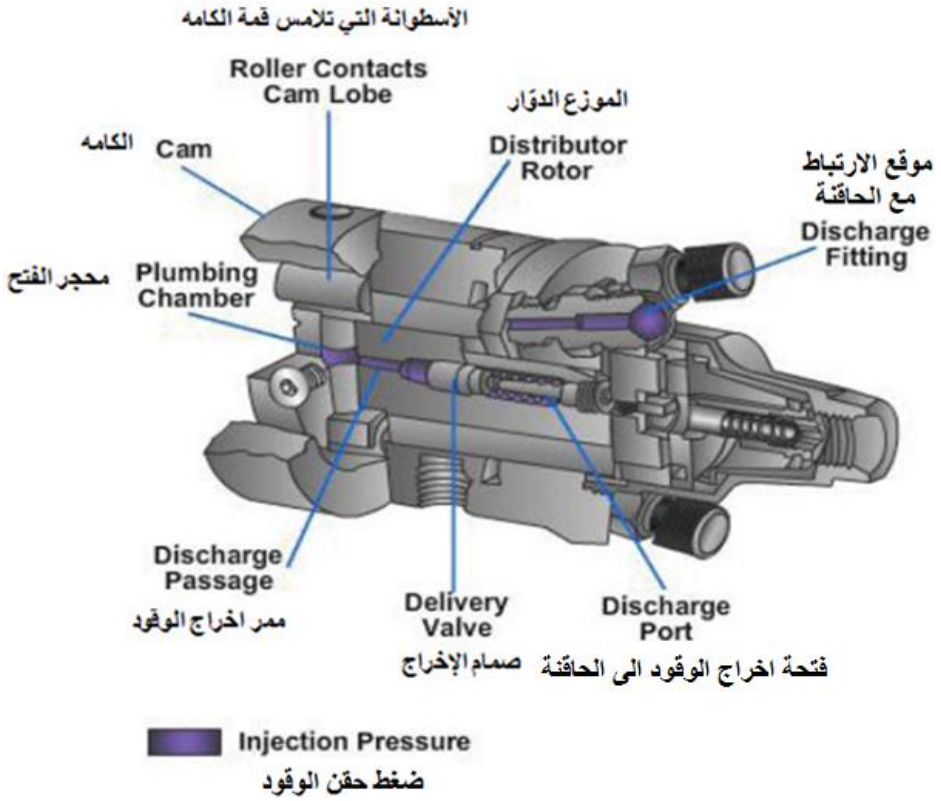


شكل (11.22) **: صمام تنظيم الضغط**

الى الدوار من خلال فتحة إخراج (تصريف) الوقود الى الدوار (Discharge to Rotor) وهذا يؤدي الى ثبوت ضغط الوقود في المضخة. وعندما ينخفض الضغط وتقل القوة التي يفرضها الوقود على المكبس يقوم النابض الذي يقع أمام المكبس (Regulator spring) بدفع المكبس الى الوراء عندها يغلق ممر إرجاع الوقود الى المضخة (Regulating slot).

8. صمام إخراج أو تسليم الوقود Delivery Valve FUEL

تزود المضخات الدورانية بصمام يطلق علية صمام إخراج أو تسليم الوقود الى الحاقنات (صمام السيطرة على الوقود الذاهب الى الحاقنات) وبعض المضخات تزود بعدة صمامات تثبت بالرأس الهيدروليكي يخصص صمام واحد لكل أسطوانة. أما إذا كانت المضخة مزودة بصمام واحد يوضع هذا الصمام بموزع الوقود الدوار (شكل 11.23). يتكون صمام إخراج أو تسليم الوقود (delivery valve) من مكبس ونابض يقع خلفه. فعندما يدفع الوقود بواسطة الكباسات الموجودة في موزع الوقود الدوار (Distributor rotor) تحت ضغطاً مرتفع يندفع الصمام الى الخارج عكس قوة النابض فينفتح صمام إخراج الوقود وعندها يسمح للوقود بالتدفق نحو الحاقنة بعد بلوغ ضغط الوقود قيمة معينة. فضلاً عن ذلك يقوم صمام الإخراج بتقليل الضغط في أنبوب نقل الوقود الى الحاقنة لغرض الغلق السريع للصمام المنفث الموجود في الحاقنة. أن رجوع صمام الإخراج الى موقعه الأصلي يتم بواسطة النابض فيتخلخل ضغط الوقود في الممر الذي يقع أمامه (Discharge Port) وهذا يؤدي الى سحب جزء من الوقود الموجود بين الحاقنة والمضخة مسبباً انخفاض لضغط بشكل كبير عند الحاقنة وهذا يؤدي الى غلق الصمام المنفث الموجود فيها بسرعة كبيرة. هذا الغلق السريع للصمام المنفث يمنع نزول الوقود داخل غرفة الاحتراق بشكل قطرات والذي عند نزوله يسبب ظهور دخان أسود ملوث للبيئة. فضلاً عن ذلك يُبقي هذا الصمام أنابيب نقل الوقود الى الحاقنات مملوءة بالوقود لغرض الضخ القادم لأن سرعة الوقود في الأنابيب الفارغة يكون بطيئاً جداً.

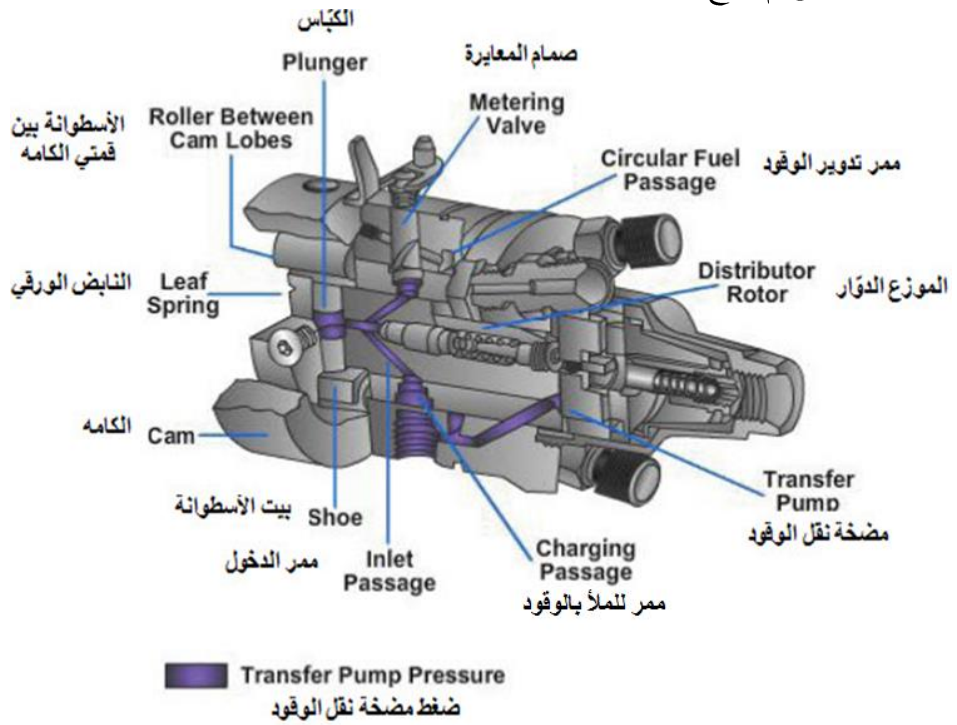


شكل (11.23) **: صمام إخراج الوقود**

9. صمام معايرة الوقود Metering Valve

يستعمل صمام معايرة الوقود لتحديد كمية الوقود الذاهبة الى الكباسات ومن ثم الى الحاقنات التي بدورها تحدد سرعة وقدرة المحرك. يتم تحريك الصمام بواسطة عتلة الوقود التي تحرك أما يدوياً أو بواسطة دواسة القدم (شكل 11.24). يحتوي الصمام على شق مائل على محيطة الخارجي. يزداد عرض الشق من الأعلى الى الأسفل. يتوافق هذا الشق مع ممر الوقود الدائري (circular fuel passage) في الرأس الهيدروليكي. فعندما يتوافق الجزء الضيق من الشق في صمام معايرة الوقود مع ممر الوقود الدائري فأن كمية الوقود المتدفقة الى الكباسات صغيرة عندها تصبح سرعة المحرك بطيئة. وعند تدوير صمام المعايرة بواسط دواسة القدم أو العتلة اليدوية يدور الصمام فيزداد عرض الشق المائل الموجود عليه والمتوافق مع الممر الدائري عندها تزداد كمية الوقود الذاهبة الى المحرك فتزداد سرعته. وعندما يراد إيقاف المحرك تسحب العتلة بالاتجاه المعاكس عندها لا

يتوافق الشق المائل بصمام معايرة الوقود مع الممر الدائري فيتوقف مرور الوقود الى الكباسات ومن ثم ضخ الوقود الى المحرك.



شكل (11.24) **: صمام تحديد كمية الوقود**

10. طريقة عمل مضخة الوقود الدورانية Pump Operation Rotary

تقوم مضخة نقل الوقود (transfer pump) بسحب الوقود من الخزان الموجود في داخل المضخة الرئيسية والمملوء بالوقود النظيف والذي دفع الى خزان بواسطة مضخة التغذية (Feeding Pump) (شكل 11.24) بدفعة الى الرأس الهيدروليكي بعد مروره بالممر الدائري (Head passage). وعندما يرتفع ضغط الوقود ينفتح صمام تنظيم الضغط في مضخة نقل الوقود transfer pump pressure regulator لأعاده جزء منه الى مضخة نقل الوقود (transfer pump) ومن جهة مدخل الوقود الى المضخة. ثم يندفع الوقود داخل ممر في الرأس الهيدروليكي ليذهب جزء منه الى جهاز تقديم توقيت ضخ الوقود الذاتي والذي يقوم بتدوير الكامة الحلقية (cam ring) الى الأمام للتبكير بضخ الوقود. أما الجزء الآخر من الوقود فيمر من خلال صمام تحديد الكمية (صمام

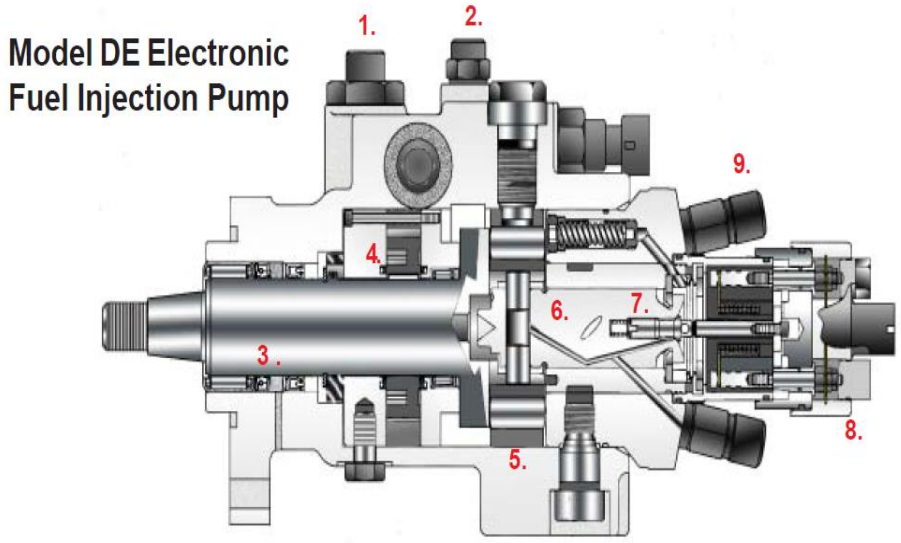
المعايرة) (metering valve). ثم يندفع الى دائرة شحن المضخة بالوقود (charging passage) وهو عبارة عن ممر دائري يحتوي عل مجموعة من الفتحات (الممرات) التي تغذي الموزع الدوار بالوقود (Distribution Rotor) (شكل 11.17). عندما تتوافق فتحة التغذية للموزع الدوار بالوقود Fuel inlet port مع ممر من تلك الموجودة في الرأس الهيدروليكي (شكل 11.18) يمتلئ الممر الطولي الموجود في قلب الموزع الدوار بالوقود ومن ثم الحيز بين الكباسات. عندما يدور الموزع الدوار تقوم الكامة الحلقية بدفع الكباسات الى الداخل فيرتفع ضغط الوقود عندها ينفتح صمام إخراج الوقود (delivery valve) فيتدفق الوقود الى الحاقنة الموجودة بالأسطوانة التي بها شوط ضغط عند نهايته. أما المتحكم الذاتي فيقوم بتحديد كمية الوقود على ضوء سرعة المحرك والحمل المؤثر عليه.

❖ 11.3 جهاز الوقود ذو المضخة الدورانية الإلكترونية

Fuel System Of The Electronically Controlled Injection Pump

يوضح الشكل (11.25) أجزاء مضخة الوقود الدورانية التي يُسيطر على عملها إلكترونيا وهي مضخة لا تختلف عن المضخة من النوع ذات السيطرة الميكانيكية (المضخة الميكانيكية) والتي ذكرت سابقاً إلا في بعض الأجزاء التي سوف نتطرق لها لاحقاً.

تتكون المضخة من (1) فتحة تغذية الوقود (fuel inlet fitting)، (2) أنبوب إرجاع الوقود المتصل بمنظم الضغط (Fuel, return line through pressure regulator)(3) عمود تشغيل المضخة ذو المتانة العالية (heavy duty drive shaft)، (4) مضخة نقل الوقود (Transfer pump) الى أجزاء المضخة الأخرى (5) الكامة الحلقية (Cam ring) (6) الموزع الدوار (Distributor rotor) (7) صمام السيطرة على الوقود المدفوع الى الحاقنات (صمام الإخراج) (Poppet valve) أو (delivery valve) (8) ملفات السيطرة على الوقود (fuel control solenoid) (9) فتحة إخراج الوقود الى الحاقنة مع جهاز الحماية (discharge fittings with snubber components).

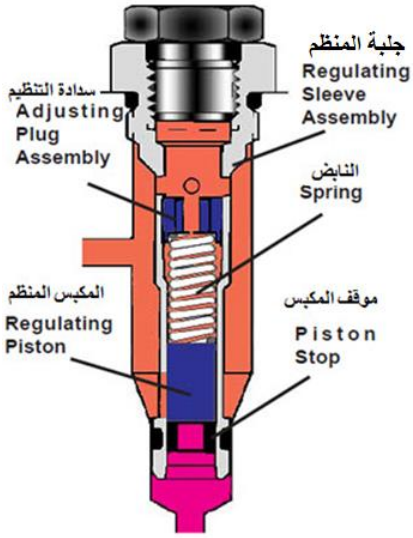


شكل (11.25) **: مضخة الوقود الدورانية ذات السيطرة الإلكترونية**

1. منظم ضغط مضخة نقل الوقود Transfer Pump Pressure Regulator

يقوم هذا المنظم بتنظيم (ضبط) ضغط الوقود داخل المضخة الرئيسية وهذا الضغط تنتجه مضخة نقل الوقود ذات الزعانف والموجودة داخل المضخة الرئيسية. يتكون منظم الضغط الموضح في الشكل (11.26) من جلبة المنظم (regulating sleeve assembly) التي تضم في داخلها بعض أجزاء المنظم ومنها منظم قوة النابض (Adjusting Plug Assembly) الذي يحدد مقدار ضغط الوقود الذي يرفع المكبس الى الأعلى. كما يضم المنظم نابض يوضع فوق المكبس (Spring) ومن مكبس تنظيم الضغط (Regulation piston) ومن مسند يقع تحت المكبس يحدد مقدار المسافة التي يترل بها المكبس الى الأسفل (Piston stop). كما توجد فتحة دائرية في أعلى المنظم يدخل منها جزء من الوقود لغرض تزييت المكبس والنابض (وقود الديزل يحتوي على نسبة من الزيت) كما يحتوي المنظم على فتحة جانبية (غير موجودة في الشكل 11.26a) تربط الحيز الموجود فيه المكبس بالحيز الخارجي (اللون الابيض في الشكل 11.26a). يزود المنظم بفتحتين إحداهما في الأسفل لدخول الوقود وفتحة جانبية لخروج الوقود منها. يعمل منظم الضغط كالآتي:

عندما يرتفع ضغط الوقود داخل المضخة نتيجة فعل مضخة نقل الوقود (transfer pump) يدخل الوقود من الفتحة السفلى للمنظم فيرتفع المكبس الى الأعلى ضد قوة النابض. عندها تنكشف الفتحة الجانبية (الشق الجانبي) (Slot) فيتدفق الوقود الى الخلوص الجانبي (شكل 11.32 اللون الأبيض في المنظم) ثم يتدفق من الفتحة الجانبية (شكل 11.26b) ليعود من جديد الى المضخة. عند انخفاض ضغط الوقود يقل الضغط تحت المكبس فيقوم النابض بدفعه الى الأسفل ليعود الى موقعة الأصل عندها يغلق الشق الجانبي ويتوقف دوران الوقود داخل المضخة.



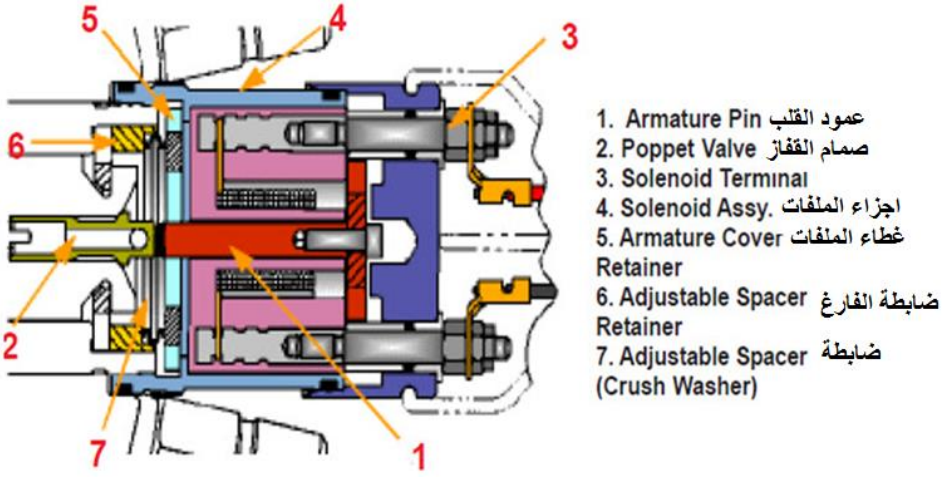
(a) : **رسم تخطيطي لمنظم الضغط** (b) : **الأجزاء الحقيقية لمنظم الضغط**

شكل (11.26) : **صمام تنظيم ضغط مضخة نقل الوقود**

2. جهاز السيطرة الإلكترونية على الوقود Fuel Control Solenoid

تزود المضخة بجهاز سيطرة الكتروني على الوقود يثبت في نهاية الموزع الدوار (distributor rotor) (شكل 11.27). الوظيفة الأساسية لهذا الجهاز هو إبقاء الصمام مفتوحاً لغرض دخول الوقود الى الحيز الموجود بين الكباسين ويغلق ممر الوقود الذاهب الى الحيز عند دفع الوقود الى الحاقنات. هذه الملفات تقوم مقام النابض في المضخات الميكانيكية التي ذكرت سابقاً.

يتكون هذا الجهاز من (1) القلب (Armature pin) و (2) صمام القفاز (Poppet valve) و (3) نقاط ربط الجهاز مع المصدر الكهربائي (Solenoid terminal) و (4) غلاف الجهاز (Solenoid Assy.) و (5) غطاء القلب (armature cover retainer) و (6) مسند للتحكم بالفراغ (Adjustable Spacer retainer) و (7) حلقة (Crush washer). يزود هذا الجهاز بنابض يقع خلف الصمام (Poppet).

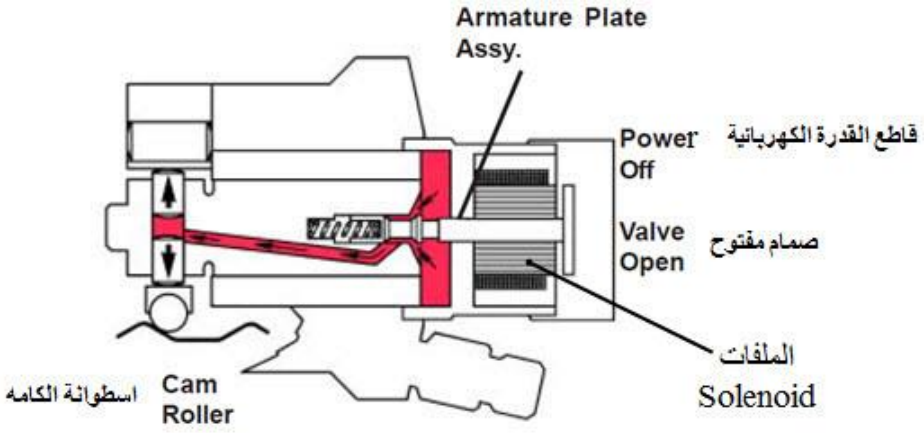


شكل (11.27) **: ملفات تشغيل صمام الـ**(poppet)

3. طريقة عمل جهاز السيطرة الإلكترونية على الوقود

Operation Fuel Control Solenoid

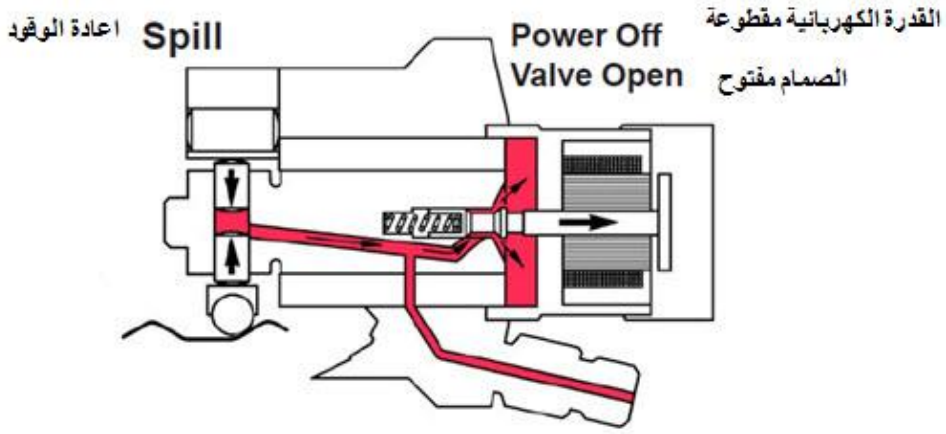
يدفع الوقود بواسطة مضخة نقل الوقود (transfer pump) ليمر من خلال ممر موجود في الرأس الهيدروليكي ومن خلال فتحتين يمر الوقود ليملأ الحيز الموجود أمام الصمام (Poppet) (شكل 11.28). ثم يندفع الوقود من هذا الحيز الى الممر الموجود في قلب الموزع الدوار لأن صمام الـ(Poppet) مفتوحاً بسبب اندفاع وجهه بعيداً عن المقعد المخروطي الذي يجلس عليه بسبب انقطاع الكهربائية عن الملفات. يندفع الوقود الى الحيز الموجود بين الكباسين الذي يقوم بدفعهما الى الخارج نتيجة ضغطه العالي. فضلاً عن ذلك يندفع الوقود الموجود بالممر الدائري (charging passage) الموجود في الرأس الهيدروليكي (شكل 11.17) باتجاه الكباسين عندما يتوافق أحد منافذه (ممراته) مع منفذ (ممر) الوقود الموجود بالموزع الدوار. وعندما يدور الموزع ينفصل الممران ويبقى الممر الموجود في قلبه والحيز بين الكباسين مملوئين بالوقود.



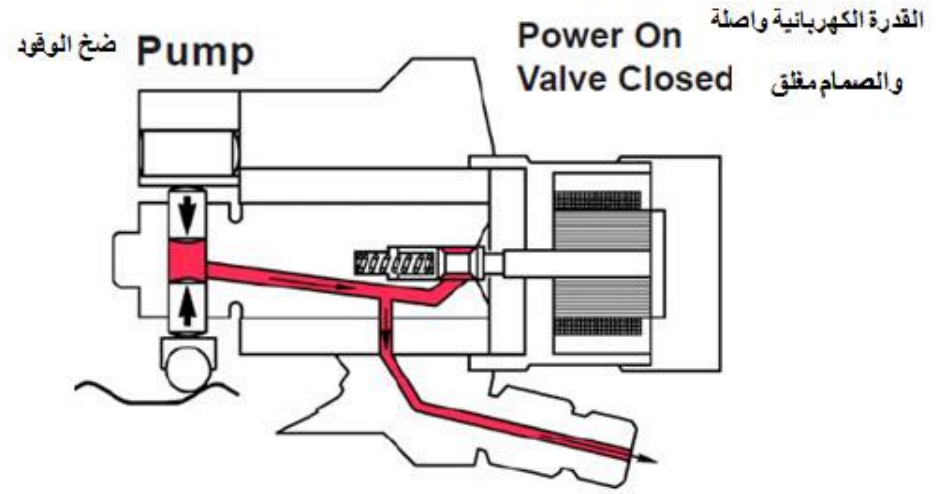
شكل (11.28) **: طريقة ملئ جهاز ضخ الوقود (صمام الـ** Poppet **مفتوح)**

4. طريقة ضخ الوقود الى الحاقنات Fuel Discharging To The Injectors

عندما يدور الموزع الدوار تدفع الكامة الحلقية الكباسين الى الداخل (شكل 11.29) فيهرب جزء من الوقود من خلال الصمام الـــ(Poppet) ويعود الى دائرة مضخة نقل الوقود (transfer pump). وعندما تصل الكهربائية الى ملفات السيطرة على الوقود (fuel control solenoid) ينغلق صمام الـــ (Poppet) وفي نفس الوقت يتوافق ممر الوقود الموجود في الموزع الدوار مع ذلك الموجود في الرأس الهيدروليكي عندها يندفع الوقود الى الحاقنة ليحقن داخل غرفة الاحتراق (الممر ذو اللون الأحمر في الاسفل) (شكل 11.30).



شكل (11.29) **: تدفق الوقود من خلال الـ** (poppet) **نتيجة واندفاع الكباسات الى الداخل**



شكل (11.30) **: ضخ الوقود الى الحاقنات و صمام الـ** (Poppet) **مغلق**

وعندما تقطع الكهربائية عن الملف ينفتح صمام الـــ(Poppet) ويبدأ الوقود بالعودة الى دائرة مضخة نقل الوقود (transfer pump). عندما يتدفق الوقود تحت ضاغط عالي نسبياً يقوم مجمع الوقود بتقليل ضغطه ويستوعب كمية الوقود المتدفقة لمنع توليد ضغط عكسي على مضخة نقل الوقود (شكل 11.29).

5. صمام مانع موجات الوقود العكسية بعد الحقن Fuel Reflex Wave

تزود أنابيب إخراج الوقود من المضخة الى الحاقنات بصمامات. هذه الصمامات عبارة عن مكبس أسطواني صلد قطر أحد نهايتيه أقل من قطر المكبس. يزود المكبس من الخلف (جهة الحاقنة) بنابض. يدخل النابض في أسطوانة مجوفة ذات نهاية عريضة (قاعدة عريضة) (شكل 11.31). يواجه المكبس الوقود المتدفق من المضخة الى الحاقنة (النهاية ذات القطر الصغير). يقوم النابض بدفع المكبس الى الأمام فيغلق ممر الوقود من المضخة الى الحاقنة. وعندما يرتفع ضغط الوقود المدفوع من الكباسين (plungers) يندفع المكبس الى الوراء وضد قوة النابض فاتحاً الممر الى الوقود ليتدفق الى الحاقنة.

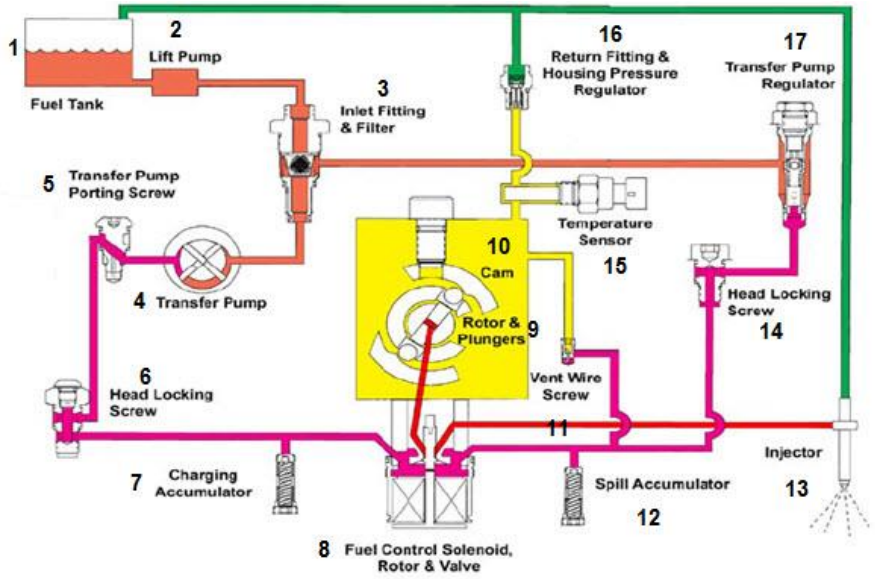
شكل (11. 31) **: صمام مانع موجات الوقود العكسية (بعد عملية رش الوقود)**

وعند انتهاء ضخ الوقود وانغلاق الصمام المنفث تتكون موجات عكسية من الوقود ذات ضغط عالي تذهب باتجاه المضخة. تقوم هذه الموجات بدفع المكبس الى الأمام وفضلاً عن النابض الذي يدفعه الى الأمام فيمتص المكبس موجات الوقود ويمرر جزء قليل منها الى المضخة ويبقى جزء من الوقود داخل أنبوب نقل الوقود الى الحاقنة حتى يبقيه مملوء لعملية الضخ القادمة لأن الأنبوب الفارغ يظهر مقاومة على الوقود المتدفق داخله.

❖ 11.4 طريقة عمل مضخة الوقود الدورانية الإلكترونية

يوضح الشكل (11.32) رسم تخطيطي لأجزاء المضخة بجميع أجزائها. يُسحب الوقود من الخزان بواسطة مضخة التغذية (feeding pump) أو بعض الاحيان يطلق عليها بمضخة رفع الوقود (lift pump). يمر الوقود خلال مصفي لتنظيفه من الشوائب وتخليصه من الماء كما يحدث في الأنواع الحديثة من المنظفات (Inlet fitting and filter). يستمر تدفق الوقود بواسطة مضخة التغذية والتي تقوم بدفعة الى المضخة الرئيسية ثم يندفع بواسطة مضخة النقل (transfer pump) الى أجزاء المضخة الأخرى تحت ضغط يتراوح بين (صفر و $1141.57kN/m^2$) اعتمادا على سرعة المضخة. يمر الوقود من خلال فتحة لولب المضخة (transfer pump porting screw) الى ممر في جسم المضخة ومنه الى الرأس الهيدروليكي عبر لولب الرأس الهيدروليكي. (Head locking screw) ثم يندفع الوقود الى مجمّع يطلق علية مجمّع وقود شحن الكباسات (charging Accumulator). ولتوفير كمية كافية من الوقود عند السرع العالية يضاف الوقود المخزون بالمجمع الى الوقود المدفوع بواسطة (transfer pump) الى الكباسات لشحنها بالوقود الكافي.

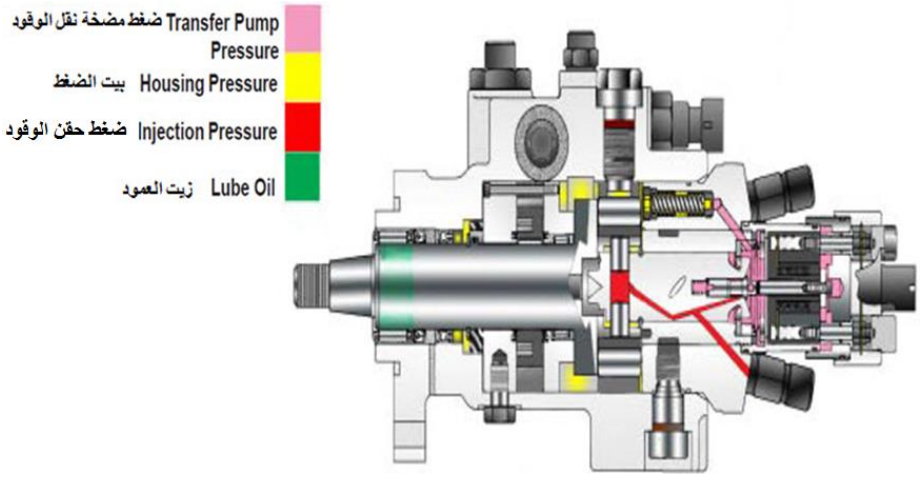
كما يحتوي الرأس الهيدروليكي على ممر يربط المضخة الناقلة للوقود بالجزء الداخلي للمضخة. يوجد في هذا الممر منفذ (vent wire assembly) يسمح بإخراج الهواء من الوقود أذا كان موجوداً ومن خلال أنبوب إرجاع الوقود الفائض الى الخزان ماراً بمنظم الضغط (return fitting and housing pressure regulator). يساهم الوقود الراجع بتخفيض درجة حرارة المضخة.



1- خزان الوقود 2- مضخة رفع الوقود 3- منظف الوقود الموجود في مقدمة المضخة 4- مضخة نقل الوقود 5- لولب تحديد فتحة المضخة 6- لولب غلق الرأس 7- مجمع الوقود المستخدم لشحن المضخة 8- ملفات السيطرة على وقود الدوار والصمام 9- الدوار والكباسات 10- الكامه 11- لولب سلك تنفيس المضخة 12- مجمع الوقود الفائض 13- الباثقة 14- لولب غلق الراس 15- متحسس الحرارة 16- أنبوب أرجاع الوقود 17- منظم ضغط مضخة نقل الوقود

شكل (11.32) **: مخطط يوضح أجزاء المضخة المختلفة.**

يمر الوقود من مضخة النقل عبر صمام (poppet) الموجود في قلب ملفات السيطرة (Fuel control solenoid valve) الى الحيز الموجود بين الكباسات من خلال الممر الموجود في وسط الموزع الدوار. وعندما يدور الموزع تقوم الكامة الحلقية بدفع الكباسين عكس بعضهما البعض فيتدفق الوقود تحت ضغط الى الحاقنات. يعود الوقود الفائض من الحاقنات والمضخة الى الخزان عبر متحسس الحرارة الذي ينفتح عند ارتفاع درجة الحرارة عن حد معين ومن خلال منظم الضغط أيضاً (return fitting and housing pressure regulator). كما يمكن ملاحظة عمل المضخة من الشكل المجسم الموضح في الشكل (11.33).



شكل (11.33) **: شكل مجسم للمضخة الدورانية الإلكترونية في حالة ضخ الوقود للحاقنات.**