بررسی سیستم های نوین مدیریت موتور دیزل

کامیار نیکزادفر

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مدرس دانشگاه جامع علمی-کاربردی ایران خودرو

nikzadfar@dena.kntu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، سیستم های مختلف مدیریت موتور دیزل مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب نسبی آنها بیان شده است. عملکرد موتورهای دیزل به علت وابستگی سیکل دیزل به زمانبندی و نحوه پاشش سوخت، نیازمند سیستم های کنترلی با دقت بالا می باشد.

استفاده از کنترلرهای رایانه ای باعث افزایش قابلیت کنترل و نیز افزایش پارامترهای کنترلی در موتورهای دیزل شده است. به موزات این افزایش پیچیدگی، سیستم های متعددی برای مدیریت موتور دیزل طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله، مکانیزم های کنترلی و نیز استراتژی های کنترل موتور، خاصه سیستم های الکترونیکی کنترل مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اهمیت سیستم های ریل مشترک در موتور خودروهای سواری، سیستم مذکور به طور خاص مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله سعی شده تا حد امکان به تکنولوژی های نوین در سیستم های کنترل موتور دیزل اشاره شود و از بررسی سیستم های قدیمی خودداری گردد.

مطالب ارائه شده در این مقاله، عمدتا حاصل گردآوری اطلاعات پراکنده موجود در مقالات مرتبط با مبحث سیستم های کنترل موتور دیزل است.

کلمات کلیدی: موتور دیزل، سیستم مدیریت موتور، سیستم های پاشش سوخت

مقدمه

امروزه موتورهای دیزل به عنوان یکی از موتور های پر استفاده در خودروهای تجاری و سواری مطرح می باشد. مصرف سوخت پایین که نتیجه بازده بالای این گونه موتورها می باشد در کنار سهولت فرآوری سوخت دیزل، باعث شده استفاده از این گونه قوای محرکه در دهه اخیر رشد چشمگیری داشته باشد، به نحوی که امروزه بیش از نیمی از خودرو های سواری موجود در اروپا و ایالات متحده از این نوع موتورها به عنوان سیستم محرکه خود بهره می برند.

از آنجا که کاهش آلایندگی و مصرف بهینه سوخت در موتورهای دیزل به شدت وابسته به میزان و زمان پاشش سوخت است، لذا موتورهای اخیر نیازمند کنترل دقیق بر پارامترهای مذکور می باشند، به طوری که تحقق استاندارد های آلودگی امروزی، حتی در پایین ترین سطوح خود جز به مدد استفاده از کنترلرهای دقیق الکترونیکی میسر نمی باشد.[1]

در 20 سال اخیر استفاده از میکروکنترلرها در سیستم های مدیریت موتور[1] ، قابلیت کنترل دقیق موتور را به نحو چشمگیری افزایش داده است. طراحی سیستم مدیریت موتور، تدوین استراتژی کنترل موتور، کالیبراسیون موتور و ... از جمله مواردی است که در صدر امور تحقیقات موتور قرار دارد و هرگونه پیشرفت در آن باعث کاهش آلودگی و نیز مصرف سوخت موتور خواهد شد. با توجه به تعدد کاربردهای موتورهای دیزل سیستم های کنترلی مختلفی به منظور مدیریت موتورهای اخیر مورد استفاده قرار می گیرد.

در این مقاله سعی بر آن داریم به بررسی سیستم های مختلف مدیریت موتورهای دیزل بپردازیم و معایب و مزایای آنها را مورد بررسی قرار دهیم.

پارامترهای کنترلی در موتور دیزل

زمان شروع پاشش

نقطه ای که در آن سوخت به محفظه احتراق پاشیده می شود، تاثیر بسزایی در زمان شروع احتراق مخلوط سوخت و هوا دارد و بنابراین تاثیر قابل توجهی بر میزان آلایندگی ها، مصرف سوخت و صدای احتراق خواهد داشت؛ بنابراین زمان شروع پاشش نقش اساسی در بهینه سازی عملکرد موتور ایفا می کند. .[2]

زمان شروع پاشش بر حسب زاویه لنگ نسبت به نقطه مرگ بالای پیستون تعریف می شود و بیانگر زمانی است که سوخت از نازل پاششگر خارج می شود.

مکان پیستون نسبت به مرگ بالای پیستون در زمان پاشش تاثیر بسزایی در شکل جریان هوای داخل سیلندر و نیز دما و چگالی هوا در هنگام پاشش سوخت دارد. همچنین میزان اختلاط سوخت و هوا به شدت وابسته به زمان پاشش می باشد. علاوه بر این، زمان شروع پاشش می تواند تاثیر قابل توجهی بر آلاینده هایی از قبیل دوده، اکسید های ازت (NO_x)، هیدروکربن های نسوخته و مونوکسید کربن (CO) داشته باشد.

زمان شروع پاشش بسته به بار، سرعت موتور و دمای محیط تغییر می کند. زمان های پاشش بهینه، برای هر موتوری با در نظر گرفتن مسائل مصرف سوخت، آلایندگی های موتور و نیز صدای احتراق تعیین می شود. مقادیر محاسبه شده در جداول سیستم کنترل موتور ذخیره می شود.

[1]. Engine Management System (EMS)

زمان شروع تحویل

علاوه بر زمان شروع پاشش مفهوم دیگری تحت عنوان زمان شروع تحویل در پمپ های پاشش موتورهای دیزل وجود دارد، این زمان مربوط به هنگامی است که پمپ شروع به تزریق سوخت به منظور ارسال به نازل می نماید.

در موتورهای قدیمی این زمان نقش اساسی در تعیین پارامترهای عملکردی موتور بازی می کرد. زمان بین شروع پاشش و شروع تحویل را اصطلاحا زمان تاخیر پاشش[1] می نامند. این زمان تاخیر ناشی از ارسال امواج فشاری از پمپ تا نازل است. بنابراین، طول لوله های انتقال سوخت تاثیر بسزایی بر زمان تاخیر پاشش دارد. لذا هرچه طول لوله پایین تر باشد، تاخیر پاشش کمتر خواهد بود.

میزان سوخت پاششی

میزان سوخت پاشش شده به سیلندر بر اساس توان مورد نیاز تعیین می شود، در تخمین مقدار سوخت مورد نیاز فرض می شود میزان سوخت پاششی متناسب با توان مورد نیاز است. میزان سوخت پاششی در موتورهای مجهز به کنترل الکترونیک، توسط طول زمان پاشش تعیین می شود، میزان بازماندگی پاششگر سوخت اصولا بر اساس درجه چرخش میل لنگ تعیین می شود. مقادیر مناسب بازه پاشش برحسب شرایط عملکردی موتور در جداول سیستم مدیریت موتور ذخیره شده است. در برخی سیستم های مدیریت موتور نیز از تغییر فشار پاشش به منظور کنترل میزان سوخت پاشش شده به داخل سیلندر استفاده می شود.

منحنی پاشش سوخت

در سیستم های نوین پاشش سوخت از قبیل سیستم ریل مشترک[2]، قابلیت بیشتری به منظور کنترل نحوه پاشش فراهم است. نحوه تزریق سوخت در موتورهای اشتعال تراکمی از اهمیت بالایی برخوردار است، برای مثال مشکلات موتور دیزل از قبیل صدای بالا با ایجاد پیش پاشش[3] به آسانی قابل رفع می باشد. در سیستم های ریل مشترک به واسطه امکان کنترل نحوه باز و بسته شدن شیر الکترونیکی پاشش، قابلیت کنترل منحنی پاشش بسیار بالا می باشد.

نگاهی کلی به سیستم های پاشش موتور دیزل

بخش مهمی از سیستم مدیریت موتور دیزل به مقوله مکانیزم های پاشش سوخت اختصاص دارد. کنترل پارامترهای پاشش وابسته به مکانیزمی است که سوخت توسط آن پرفشار شده و به سیلندر تزریق می شود.

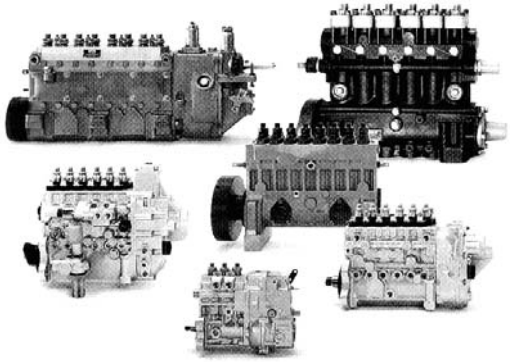
سیستم های پاشش سوخت، سوخت را به میزان لازم، در زمان مناسب و با فشار مناسب به محفظه احتراق تزریق می کند. مهمترین بخش سیستم های پاشش سوخت، پمپ پرفشار و نازل پاششگر می باشد، پمپ های پرفشار، فشار مناسب جهت تزریق سوخت را فراهم می آورند، سوخت توسط لوله های با قابلیت تحمل فشار بالا، به نازل پاششگر وارد می شوند.

در اکثر سیستم های پاشش، هنگامی که فشار به حد خاصی برسد، نازل پاشش باز می شود و نیز هنگامی که فشار سوخت از حد مذکور کمتر شود، نازل بسته می شود. نازل ها، تنها در سیستم های ریل مشترک با کنترلرهای الکترونیکی کنترل می شوند.

تفاوت اصلی در سیستم های پاشش سوخت مربوط به سیستم های تولید فشار بالاو مکانیزم کنترل زمان شروع پاشش و طول پاشش می باشد. در حالی که در سیستم های قدیمی از سیستم های مکانیکی به منظور کنترل مقادیر فوق استفاده می شده، در سیستم های امروزی از سیستم های الکترونیکی به این منظور استفاده می شود.

سیستم های پاشش سوخت خطی[4]

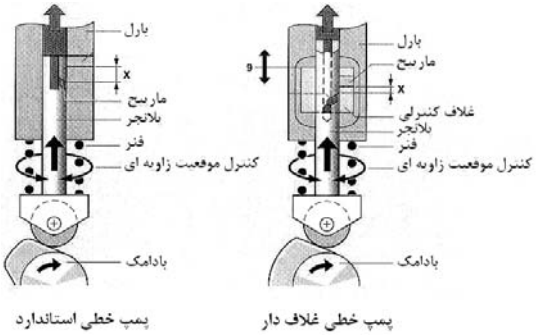
به یقین پمپ های پاشش خطی بیشترین استفاده را در موتورهای دیزل قدیمی داشته اند. در طول سال های استفاده از این پمپ ها، سیستم های مذکور بهبود یافته است. عمر بالا و نیز سهولت تعمیر پمپ های مذکور از عمده مزایای استفاده از پمپ های در خط است.



شکل 1 – انواع مختلف پمپ های خطی موتور دیزل

پمپ های پاشش سوخت خطی برای هریک از سیلندرها پمپ جداگانه ای دارند که شامل بارل و پلانجر می باشد. پلانجر توسط بادامک به سمت بالا حرکت می کند، بادامک مذکور روی میل بادامکی که در بدنه پمپ پاشش تعبیه شده است قرار دارد، میل بادامک توسط موتور به چرخش در می آید. پس از انجام تزریق، پلانجر توسط فنری که در سیستم تعبیه شده است به حالت ابتدایی خود بر می گردد. پمپ های مجزا در کنار یکدیگر و به صورت خطی قرار می گیرند.

پمپ های خطی دارای دو نوع اساسی می باشند : پمپ های خطی ساده و پمپ های خطی غلاف دار. در پمپ های خطی کورس پلانجر ثابت است، زمانی که لبه بالایی پلانجر راهگاه ورود سوخت را می بندد، زمان ابتدای تولید فشار می باشد. این نقطه، زمان شروع تحویل نامیده می شود. پلانجر به حرکت خود به سمت بالا ادامه می دهد. بنابراین فشار سوخت افزایش خواهد یافت و نهایتا نازل پاششگر باز خواهد شد و سوخت به درون محفظه احتراق پاشیده می شود.



شکل 2 - انواع پمپ در خط موتور دیزل

هنگامی که مارپیچ روی پلانجر، از راهگاه سوخت عبور کند، سوخت محبوس در پلانجر آزاد خواهد شد، فشار سوخت کاهش یافته و پاشش سوخت به داخل محفظه احتراق پایان می یابد.

---

1. Injection Lag .
2. Common rail systems .
3. Pre-Injection .
4. In-Line .

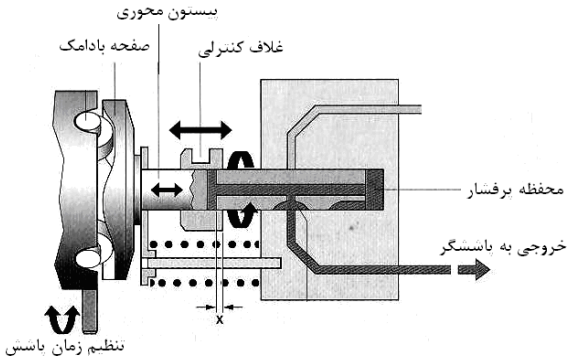
میزان جابجایی پیستون از زمان بسته شدن راهگاه سوخت تا زمان باز شدن مجدد آن، کورس موثر[1] نامیده می شود. هرچه کورس موثر پمپ بیشتر باشد، میزان تحویل سوخت و نهایتا میزان پاشش سوخت بیشتر خواهد بود.
به منظور کنترل میزان پاشش، پلانجر پمپ با استفاده از یک میله دندانه دار حول محور خود می چرخد. این چرخش باعث می شود موقعیت شکاف مارپیچ نسبت به راهگاه سوخت و نتیجتا میزان کورس موثر تغییر کند. موقعیت میله کنترلی دندانه دار با استفاده از گاورنر و یا عملگر الکترونیکی تعیین می شود.
پمپ های پاشش سوخت خطی غلاف دار دارای یک غلاف روی پلانجر خود می باشند که با استفاده از آن LPC[2] را تغییر می دهند. این غلاف با استفاده از یک عملگر حرکت می کند و با استفاده از آن می توان زمان شروع تحویل را تغییر داد. .[3]
این پمپ ها همواره با استفاده از کنترلر های الکترونیکی کنترل می شوند و زمان شروع تحویل و نیز مدت تحویل، توسط مقادیر از پیش تعیین شده تعیین می شوند.
در پمپ های پاشش سوخت خطی استاندارد زمان شروع پاشش وابسته به سرعت موتور است. پمپ های در خط در سراسر جهان در موتورهای متوسط و سنگین و نیز در کشتی ها و موتورهای با استفاده ثابت بکارگرفته می شود. موتورهای اخیر با استفاده از گاورنر و یا یک عملگر الکترونیکی کنترل می شوند.

پمپ های پاشش آسیابی[3]

پمپ های مقسم در سال 1962 برای اولین بار معرفی شد. این پمپ ها، پرکاربرد ترین پمپ ها در موتور خودروهای سواری است. در طول این مدت پمپ و نیز مکانیزم کنترلی پمپ های مقسم پیشرفت های قابل توجهی در فرآیند طراحی و ساخت داشته است. در موتورهای تزریق مستقیم به منظور کاهش آلایندگی های موتور و نیز مصرف سوخت، باید فشار پاشش را تا حد امکان بالا برد. پمپ های مقسم قادرند این فشار بالا را فراهم آورند.
پمپ های آسیابی با پیستون محوری که برای استفاده در موتورهای تزریق نا مستقیم[4] به بازار معرفی شد، فشاری در حدود 350 بار در نازل پاشش ایجاد می کند. در موتورهای تزریق مستقیم از هر دو نوع پمپ محوری و شعاعی استفاده می شود. این پمپ ها قادرند فشاری در حدود 900 بار تولید نمایند، این مقدار برای موتورهای پردور حدود 1900 بار می باشد.
در این گونه موتورها استفاده از گاورنر با کنترل الکترونیکی کاربرد فراوان دارد. در نسل بعدی از شیر های سلنوئیدی پر فشار برای کنترل روند پاشش سوخت در موتورهای مجهز به این گونه پمپ های استفاده شده است.
جدا از ابعاد کوچک این پمپ ها، چند منظوره بودن پمپ های اخیر که باعث شده پمپ های مقسم در انواع خودرو ها، خودروهای سنگین، خودرو های تجاری، استفاده های ثابت، ماشین آلات ساختمانی و ... مورد استفاده قرار گیرد، بر محبوبیت آن افزوده است.
سرعت نامی، محدوده توان و گشتاور موتور و نیز طراحی موتور دیزل تعیین کننده نوع پمپ مورد استفاده در موتور دیزل است. این پمپ ها در موتورهایی با 3 الی 6 سیلندر مورد استفاده قرار می گیرند.
پمپ های مقسم با پیستون محوری در موتورهایی با توان حداکثر 30 کیلو وات بر هر سیلندر استفاده می شوند. حال آنکه پمپ های مقسم با پیستون شعاعی در موتورهایی با توان حداکثر 45 کیلووات بر هر سیلندر مورد استفاده قرار می گیرند.
این گونه پمپ ها با استفاده از سوخت، روغن کاری می شوند و نیازی به تعمیر ندارند.
پمپ های پاشش آسیابی تنها از یک پمپ به منظور تغذیه تمامی سیلندرها استفاده می کنند. در این سیستم ها یک پمپ تیغه ای سوخت را به سمت محفظه پر فشار هدایت می کند. فشار توسط یک پیستون محوری و یا چند پیستون شعاعی ایجاد می شود. یک پلانجر توزیع کننده دوار، شکاف های اندازه گیری و راهگاههای جهش را باز و بسته می کند، بدین ترتیب سوخت میان سیلندرهای مختلف توزیع خواهد شد. مدت پاشش توسط یک حلقه کنترلی و یا یک شیر سلنوئیدی پرفشار کنترل می شود.

پمپ های پاشش آسیابی محوری

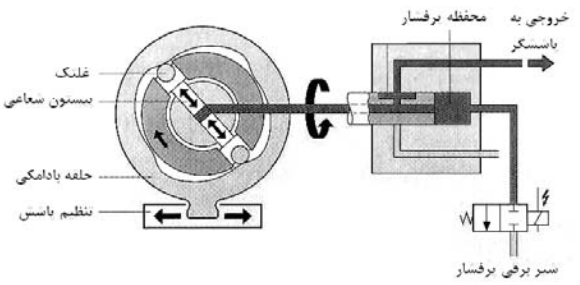
در این حالت یک صفحه دورا بادامکی با استفاده از نیروی موتور به چرخش در خواهد آمد. تعداد برآمدگی های صفحه برابر تعداد سیلندرهای موتور می باشد. صفحه بادامک دار تحت حرکت غلطک های دوار خواهد چرخید و نیز بالا و پایین خواهد رفت. با هر دور چرخش کامل شافت ورودی، پیستون به اندازه تعداد سیلندرهای مورد تغذیه بالا و پایین خواهد رفت.
در پمپ های پاشش توزیع کننده محوری با قابلیت کنترل راهگاه، موقعیت حلقه کنترلی با استفاده از مکانیزم کنترل مکانیکی و یا عملگر الکترونیکی و به منظور تعیین کورس موثر و نتیجتا میزان پاشش کنترل می شود.
دستگاه زمانبندی قادر است زمان تحویل سوخت را با تنظیم رینگ غلتک ها تغییر دهد.



شکل 3 – پمپ آسیابی با پیستون محوری

پمپ های پاشش آسیابی شعاعی

در این سیستم ها فشار بالا، با استفاده از یک پمپ شعاعی همراه با حلقه بادامکی و نیز استفاده از 2 تا 4 پمپ شعاعی ایجاد می شود. پمپ های شعاعی قادرند فشار بیشتری نسبت به پمپ های محوری ایجاد کنند، در عین حال این پمپ ها باید توانایی تحمل تنش های مکانیکی بالاتر را داشته باشند.



شکل 4- پمپ آسیابی با پیستون شعاعی با کنترل برقی

---
[1] Effective Stroke .
[2] Lift to Port Closing .
[3] Distributor Pump .
[4] Indirect Injection.

حلقه بادامکی می تواند با استفاده از دستگاه زمان بندی بچرخد و بدین وسیله زمان شروع تحویل را جابجا نماید. درپمپ های پاشش آسیابی شعاعی زمان شروع پاشش و نیز طول پاشش همواره توسط شیر سلنوئیدی کنترل می شود.

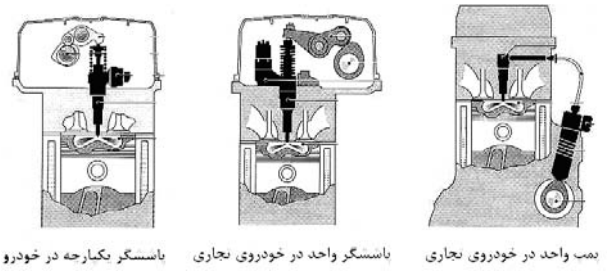
پمپ های پاشش آسیابی با شیر سلنوئیدی کنترل شونده .[4]

در این گونه پمپ های پاشش آسیابی، مقدار پاشش و زمان شروع پاشش توسط یک شیر سلنوئیدی کنترل می شود. هنگامی که شیر سلنوئیدی بسته است، فشار افزایش می یابد و هنگامی که شیر باز می شود سوخت از لوله عبور می کند و سیستم قادر به پاشش سوخت از طریق نازل های پاششگر نمی باشد.

در این حالت یک یا دو واحد کنترلی (واحد کنترل موتور و واحد کنترل پمپ) سیگنال های لازم برای عملکرد صحیح موتور را فراهم می آورند.

سیستم های یکپارچه

سیستم های پاشش واحد و سیستم های پمپ واحد بیشترین فشار ممکن را در میان تمامی سیستم های پاشش سوخت در موتورهای دیزل فراهم می کنند. همچنین سیستم های مذکور دارای دقت بالایی در کنترل پارامترهای پاشش سوخت می باشند. موتورهای دیزلی که به سیستم های مذکور مجهزند از لحاظ سطح آلایندگی و نیز میزان مصرف سوخت در سطح مطلوبی قرار دارند، همچنین سر و صدای کمی تولید می کنند و نیز دارای مشخصه های توان و گشتاور بسیار بالایی می باشند.



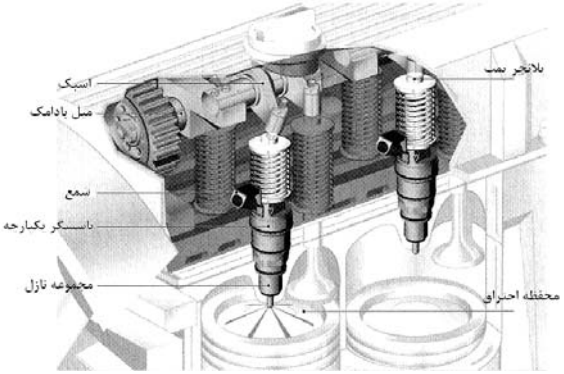
شکل 5 – مقایسه سیستم های یکپارچه

تفاوت اصلی بین سیستم های پاششگر واحد و سیستم پمپ واحد مربوط به روش فراهم آوری سوخت پرفشار می باشد.

در سیستم های پاششگر واحد، پمپ پر فشار و نازل پاشنده، مجموعا تشکیل واحدی بنام پاششگر واحد را می دهند. در این حالت برای هر سیلندر یک پاششگر واحد تعبیه شده است. از آنجا که لوله ارتباطی بین این دو بخش وجود ندارد می توان به فشار های بالای تزریق دستیابی نمود. در این حالت به علت عدم وجود افت هیدرولیکی، امکان کنترل دقیق پارامترهای تزریق وجود دارد.

سیستم پاششگر یکپارچه[1]

در سیستم های پاششگر واحد تمامی اجزای پمپ، شیر سلنوئیدی و نازل پاششگر در یک مجموعه واحد تعبیه شده اند. در این سیستم بواسطه نزدیکی پمپ و نازل، لوله ارتباطی بسیار کوتاه می باشد، این خود باعث می شود که امکان افزایش فشار پاشش تا حدود بسیار بالا فراهم آید. همچنین بواسطه حجم کوچک مناطق پر فشار، افت های ناشی از تراکم کاهش می یابد. در سیستم های پاششگر واحد، فشار بیشینه تولیدی متغیر است و از حدود 1800 تا 2200 بار برای موتورهای خودروهای تجاری تا 2050 بار برای خودرو های سواری تغییر می کند.

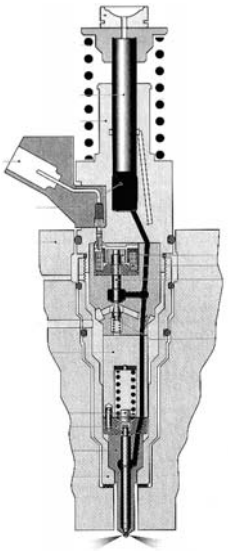


شکل 6 – وضعیت نسب پاششگر واحد

در این گونه موتورها هر سیلندر یک مجموعه انژکتور مخصوص به خود را دارا می باشد، این انژکتور مستقیما روی سیلندر نصب می شود. در موتورهای خودروهای سبک دو نوع انژکتور (UI-2 , UI-1) استفاده می شود، این دو گونه گرچه در کاربرد شبیه به یکدیگر می باشند، لیکن در ابعاد با یکدیگر متفاوتند. در موتورهای دیزل 2 سوپاپه نوع UI-1، انژکتور توسط یک قطعه در زاویه 20 درجه نسبت به سر سیلندر ثابت نگه داشته شده است. در موتورهای 4 سوپاپه از انژکتور کوچکتر UI-2 استفاده می شود، از آنجا که در این حالت فضای کمتری نسبت به موتورهای 2 سوپاپه در سرسیلندر موجود است، لذا این انژکتورها به صورت عمودی در سرسیلندر قرار می گیرند.

در این حالت میل بادامک موتور دارای برآمدگی هایی برای هر یک از انژکتورهای واحد است. نرخ پاشش توسط پروفیل بادامک تعیین می شود. این بادامک ها به گونه ای طراحی شده اند که پلانجر در هنگام مکش سوخت، آهسته و در مرحله پاشش با سرعت حرکت نماید. گشتاورهای وارده به میل بادامک در هنگام حرکت دورانی موجب ایجاد جابجایی زاویه ای در مکان بادامک می شود که متعاقب آن، زمان پاشش سوخت را دستخوش تغییر می سازد.

انژکتور واحد در سر سیلندر قرار می گیرد و به همین دلیل باید دمای بالای سر سیلندر را تحمل نماید.



شکل 7 – یک نمونه پاششگر واحد در خودروهای تجاری

[1] Unit Injector System .

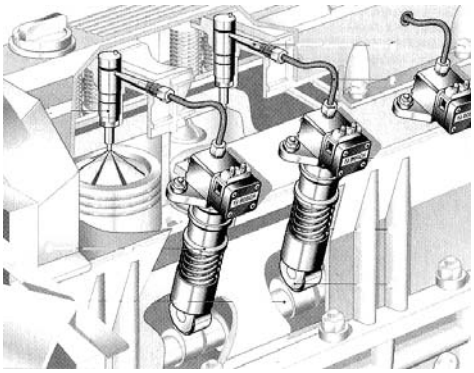
در سیستم های انژکتور واحد، سوخت از تعداد حدود500 حفره لیزری موجود در انژکتور عبور می کند. به این ترتیب سوخت فیلتر می شود. قطر سوراخهای مذکور حدود 0.1 میلیمتر است. در این گونه پمپ ها بدنه انژکتور نقش بارل را ایفا می کند. نازل پاششگر در ساق انژکتور واحد قرار گرفته است. فنر پیرو باعث فشرده شدن پلانجر به بادامک می شود. این خود باعث می شود مجموعه پلانجر، بارل و بادامک به صورت فشرده به یکدیگر قرار گیرند.

در موتور خودروهای تجاری شیر سلنوئیدی با انژکتور یکپارچه شده است لیکن در موتور خودروهای سواری به علت ابعاد کوچک این شیر در کنار انژکتور تعبیه شده است.

سیستم پمپ یکپارچه[1]

سیستم های پمپ واحد اصولا در موتور خودرو های سنگین استفاده می شود. سیستم پمپ واحد مانند سیستم های انژکتور واحد عمل می کنند لیکن بر خلاف سیستم های پاششگر واحد در این گونه سیستم ها، پمپ و پاششگر مجزا از یکدیگر می باشند.

در این سیستم ها تنها نازل پاشنده توسط قطعه نگهدارنده آن در سرسیلندر قرار می گیرد.



شکل 8 – چگونگی نصب پمپ یکپارچه

پمپ در یک طرف موتور تعبیه شده است و مستقیما توسط میل بادامک تحریک می شود. سیستم حاضر مزایایی نسبت به سیستم پاششگر واحد دارد.[5] ، از آن جمله :

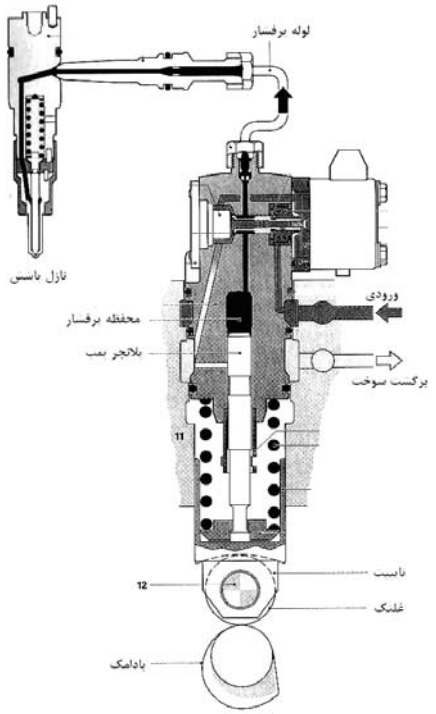
- عدم نیاز به طراحی مجدد سرسیلندر
- مکانیزم یکپارچه تحریک پمپ و عدم نیاز به اسبک
- جابجایی آسان سیستم پمپ در امور تعمیراتی

بر خلاف سیستم های پاششگر واحد، در این گونه سیستم ها از یک لوله ارتباطی کوتاه بین پمپ و نازل استفاده می شود. این لوله ها باید توانایی تحمل فشار های بالا و نیز نوسانات فشار بالا را داشته باشند. این لوله ها باید تا حد امکان کوتاه باشند و نیز برای سیلندر های مختلف دارای طول یکسانی باشند.

روشی که شیر سلنوئیدی بر اساس آن عمل می کند منجر به ایجاد پروفیل مثلثی پاشش می شود. در برخی پمپ های یکپارچه ار متد هایی استفاده شده است که بر اساس آن شاهد پروفیل چکمه ای پاشش خواهیم بود.

به همین منظور شیر سلنوئیدی به یک لغزنده متوقف کننده مجهز شده است. پمپ با استفاده از این قطعه میزان پاشش اواسط مرحله پاشش قابل کنترل خواهد بود و بر همین اساس به شکل چکمه ای خواهیم رسید.

پس از بسته شدن شیر سلنوئیدی، جریان سلنوئید به یک حد میانی پایین تر از حد لازم برای نگه داشتن شیر برگشت داده خواهد شد.این خود باعث ایجاد یک روزنه خواهد شد و به تبع آن نرخ افزایش فشار، کاهش خواهد شد.



شکل 9 – چگونگی عملکرد پمپ یکپارچه

سیستم پاشش سوخت ریل مشترک

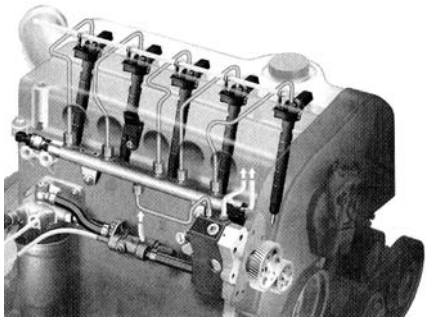
مشخصات مورد انتظار موتورهای دیزل همواره در حا افزایش است. فشارهای بالاتر پاشش، زمان های سوئیچینگ پایین تر و توانایی تغییر رژیم پاشش سوخت از مواردی است که به منظور پاسخ گویی به این گونه نیاز ها انجام شده است.[6]. این تغییرات باعث کارکرد آرام، کم مصرفی و پایین بودن آلاینده های این موتور ها شده است.

یکی از پیشرفته ترین گونه های سیستم های تزریق سوخت، سیستم ریل مشترک است. مهمترین مزیت این گونه سیستم ها توانایی تغییر فشار و نیز تغییر زمانبندی پاشش به طور وسیع است. این امر با استفاده از جدا کردن واحد فشارساز و پاششگر از یکدیگر محقق شده است. در این گونه سیستم ها ریل سوخت به عنوان یک انباره سوخت مورد توجه قرار می گیرد.

این گونه سیستم ها، برای نصب روی انواع موتور های مختلف مناسب است. این امر با استفاده از مزایای ذیل محقق گشته است :

- فشار پاشش بالا تا 1600 بار و در آینده نزدیک تا 1800 بار
- فشار متغییر پاشش بسته به شرایط کارکرد موتور (200 تا 1800 بار)
- تغییر زمان پاشش سوخت
- امکان ایجاد چندین پیش پاشش و نیز پس پاشش

[1] Unit Pump System .



شکل 10 - سیستم ریل مشترک در موتور دیزل

با توجه به آنچه گفته شد، سیستم های ریل مشترک باعث افزایش توان تولیدی، کاهش آلاینده های موتور و نیز کاهش صدای تولیدی موتور خواهد شد. امروزه سیستم های ریل مشترک به عنوان یکی از مهمترین سیستم های پاشش سوخت برای موتورهای خودروهای سواری تبدیل شده است.

سیستم های ریل مشترک دارای مجموعه های زیر می باشد:

- مرحله فشار پایین، که شامل قسمت های فراهم کننده سوخت می شود.
- سیستم فشار بالای سوخت، شامل قسمت هایی نظیر پمپ فشار بالا، ریل سوخت، پاششگر ها و لوله های فشار بالای سوخت است.
- سیستم کنترل الکترونیکی دیزل، که شامل ماژول های مختلف، سنسور ها، واحد کنترل الکترونیکی موتور و عمل کننده ها[1] می باشد.

اساسی ترین قسمت سیستم ریل مشترک سوخت، پاششگر ها می باشند. این پاششگر ها دارای شیرهای سریع برای کنترل پاشش سوخت می باشند. تمامی پاششگر ها با استفاده از ریل سوخت تغذیه می شوند. وجه تسمیه سیستم ریل مشترک نیز همین مسئله است.

یکی از مهمترین خصوصیات سیستم ریل مشترک توانایی این سیستم ها در تغییر فشار پاشش بسته به شرایط کارکرد موتور است. در این سیستم ها فشار، توسط شیر کنترل فشار و یا ابزار اندازه گیر سوخت تعیین می شود.

نحوه عملکرد

در سیستم های ریل مشترک سوخت، عملیات افزایش فشار سوخت و پاشش سوخت توسط قسمت های جداگانه انجام می شود. فشار سوخت مجزا از سرعت کار موتور و میزان سوخت پاششی تامین می شود. در این حالت سیستم کنترل موتور دیزل وضعیت پارامترهای مختلف موتور را کنترل می نماید.

تولید فشار

عملیات تولید فشار و پاشش با استفاده از انباره سوخت (ریل سوخت) از یکدیگر مجزا شده اند. در این سیستم ها سوخت با فشار بالا وارد ریل سوخت می شود. یک پمپ فشار بالای سوخت که مستقیما توسط موتور به جرکت درآورده می شود به صورت پیوسته سوخت را پر فشار می سازد.از آنجا که سیستم اخیر سوخت را به صورت نسبتا ثابتی پاشش می نماید، لذا ابعاد پمپ عموما کوچکتر از انواع سیستم های تزریق سوخت خواهد بود.

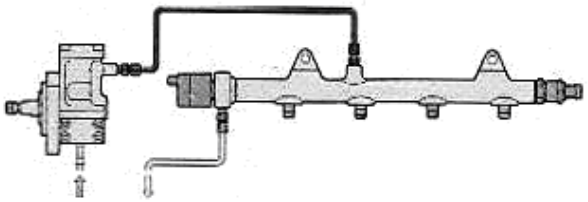
پمپ فشار بالا از نوع پیستونی شعاعی است. در موتور خودروهای تجاری بعضا از پمپ های خطی استفاده می شود.

کنترل فشار

روش های مورد استفاده به منظور کاهش فشار بسته به سیستم متفاوت است.

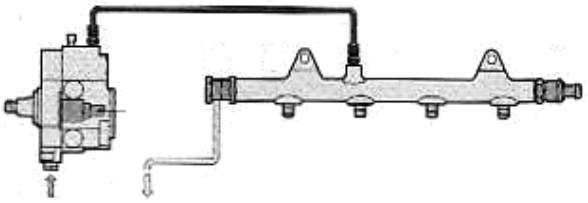
در موتور خودروهای سواری کنترل فشار توسط شیر موجود در سمت پر فشار انجام می شود. مقدار سوختی که برای پاشش مورد نیاز نیست از طریق شیر مذکور به قسمت کم فشار ارسال می شود. این مکانیزم به سیستم کنترلی امکان تغییرات سریع نسبت به تغییر شرایط را می دهد.

سیستم کنترل فشار در سمت پر فشار در طرح های قدیمی سیستم های ریل مشترک استفاده می شد، شیر مذکور مستقیما روی ریل و یا در کنار پمپ فشار ساز تعبیه می شود.



شکل 11- سیستم کنترل فشار سمت پرفشار

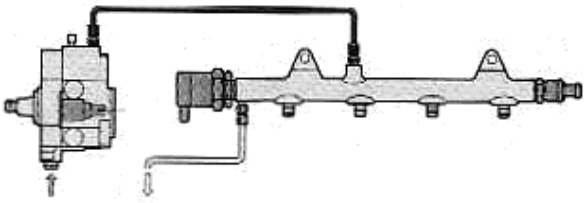
یکی دیگر از روش های کنترل فشار سوخت ریل، کنترل آن در سمت مکش پمپ است. واحد اندازه گیری سوخت که در کنار پمپ نصب می شود میزان مناسب سوخت را در اختیار پمپ قرار می دهد. در حالت خطا، شیر اطمینان موجب جلوگیری از افزایش بی رویه فشار خواهد شد.



شکل 12- سیستم کنترل فشار سمت کم فشار

کنترل فشار در سمت مکش باعث کاهش میزان جریان سوخت در دورهای بالا می شود همچنین باعث کاهش توان ورودی پمپ خواهد شد. این امر باعث کاهش مصرف سوخت در این گونه موتور ها خواهد شد. در عین حال دمای سوخت برگشتی به مخزن سوخت را کاهش خواهد داد.

سیستم های دو عملگره با استفاده از شیر تغییر فشار در سمت پر فشار و نیز سیستم اندازه گیری سوخت در سمت مکش عمل می کنند بنابراین از مزایای هر دو سیستم استفاده می نمایند.



شکل 13- سیستم کنترل فشار دو عملگره

پاشش سوخت

پاششگرها سوخت را مستقیما به دورن محفظه احتراق تزریق می نمایند. این پاششگر ها با استفاده از لوله های کوتاهی که به ریل سوخت متصلند تغذیه می شوند. سیستم کنترل موتور با کنترل باز و بسته شدن شیر پاششگر ها پاشش سوخت را کنترل می نماید.

زمان باز بودن پاششگر ها و نیز فشار سیستم میزان سوخت پاششی را تعیین می نماید. در حالتی که فشار ریل ثابت است، میزان سوخت پاششی متناسب با زمان باز بودن شیر پاششگر است.

---

[1] Actuator .

کنترل و قوانین کنترل

سیستم کنترل موتور میزان فشردگی پدال گاز و نیز حالات کاری موتور و خودرو را با استفاده از سنسور های مناسب تعیین می کند. اطلاعات جمع آوری شده شامل موارد زیر است:

- سرعت و زاویه میل لنگ
- فشار ریل سخت
- فشار هوای شارژ
- دمای سوخت، هوای ورودی و سیال خنک کننده
- جرم هوای ورودی
- سرعت خودرو

سیستم کنترل الکترونیکی موتور ورودی های سیستم را ارزیابی می نماید. در ارتباط با پدیده احتراق، این سیستم داده های پاشش سوخت را تحویل شیر کنترل فشار و یا ابزار کنترل میزان سوخت می دهد.

زمان پاشش سوخت که باید تا حد امکان کوتاه باشد، توسط شیر های کنترلی خاص و نیز استفاده از سیستم کنترلی میسر خواهد شد.

عملیات اصلی

عملیات اصلی شامل کنترل دقیق میزان سوخت و زمان پاشش آن است. در این صورت می توان انتظار داشت موتور دیزل دارای آلودگی کم و خواص کاری آرام باشد.

توابع تصحیحی برای محاسبه پاشش سوخت

توابعی زیادی برای جبران اختلافات میان پاشش و پاسخ موتور وجود دارد. از آن جمله :

- جبران ساز تحویل سوخت
- سیستم کالیبراسیون تحویل صفر
- کنترل هماهنگی پاشش
- انطباق تحویل میانگین

توابع اضافی

توابع اضافی حلقه باز و یا حلقه بسته وظیفه کاهش میزان مصرف سوخت و نیز کاهش آلاینده های موتور را بر عهده دارد. برخی از این توابع عبارتند از:

- کنترل بازخورانی دود
- کنترل فشار شارژ
- کنترل سرعت خودرو

پیکره بندی واحد کنترل

از آنجا که سیستم های کنترل موتور تنها 8 خروجی برای کنترل پاشگر های موتور دارند لذا در موتورهای با بیشتر از 8 سیلندر به دو واحد کنترل موتور نیاز است.

سیستم الکترونیکی کنترل موتور دیزل[1]

سیستم کنترل الکترونیکی دیزل این امکان را به موتور می دهد که پارامترهای پاشش را بر اساس شرایط کارکرد موتور تغییر دهد. این تنها عاملی است که می تواند باعث کاهش آلاینده ها و مصرف سوخت موتور دیزل شود. سیستم های کنترل دیزل مشتمل بر سه قسمت اساسی است:

سنسورها و تولید کننده های شرایط بهینه، واحد کنترل و محرک ها

پیشرفت های اخیر در حوزه موتورهای دیزل عمدتا معطوف به مباحث کاهش مصرف سوخت، کاهش آلایندگی های خروجی و نیز افزایش گشتاور و کارایی موتور می باشد. به همین دلیل در سال های اخیر استفاده از موتورهای تزریق مستقیم اقبال بیشتری نسبت به موتور های تزریق غیر مستقیم داشته است. این در حالی است که موتورهای تزریق مستقیم برای تزریق به فشار بیشتری نسبت به موتورهای تزریق نا مستقیم احتیاج دارند. به دلیل اختلاط بهتر سوخت و هوا در موتورهای تزریق مستقیم و نیز کاهش افت های ناشی از جریان سوخت و هوا بین محفظه تزریق و محفظه احتراق در موتورهای تزریق نا مستقیم، مصرف سوخت موتورهای تزریق مستقیم در حدود 10 تا20٪ کمتر از موتورهای تزریق نا مستقیم مشابه می باشد.

همچنین سایر پارامترهای آسایش از قبیل کاهش صدای ناشی از کارکرد موتور، از دیگر مسائلی است که موتورهای دیزل ملزم به احقاق آنند. با توجه به آنچه گفته شد، استفاده از سیستم های مدیریت هوشمند موتور دیزل بیش از پیش مورد توجه طراحان موتور قرار گرفته است.[7]. سیستم مدیریت الکترونیکی موتور دیزل به دلایل ذیل نسبت به سیستم های مشابه مکانیکی خود دارای ارجحیت می باشند:

- فشار بالای پاشش
- کنترل رژیم پاشش سوخت
- پیش پاشش و در صورت نیاز پاشش ثانویه
- تغییر میزان پاشش، فشار هوای شارژ، زمان پاشش بر اساس شرایط کارکرد
- میزان سوخت اضافه بر اساس دما در شرایط استارت
- کنترل دور آرام موتور
- کنترل سیستم بازخورانی گازهای سوخته
- کنترل سرعت
- تلرانس های بالا برای طول پاشش،زمان شروع پاشش و تعمیرات با دقت بالا

در موتورهای قدیمی، سیستم های کنترل گاونری معمولی با استفاده از مکانیزم های مختلف، موجب اختلاط سوخت و هوا با نسبت مناسب می شدند. با این حال با استفاده از چنین مکانیزم هایی تنها برخی پارامترهای ساده موتور قابل کنترل بودند و سایر پارامترهای تاثیر گذار بر موتور از کنترل اینگونه سیستم ها خارج اند، همچنین سیستم قابلیت پاسخگویی سریع به نوسانات سیستم را ندارد.

سیستم های کنترل الکترونیکی موتور دیزل قادرند با استفاده از میکروکنترلرهایی که اخیرا استفاده از آنها زیاد شده است، بسیاری از الزامات موتورهای دیزل را پاسخ گویند. برخلاف موتورهای با سیستم کنترل سوخت مکانیکی، در سیستم های کنترل الکترونیکی سوخت، راننده کنترل مستقیمی از طریق پدال و کابل گاز روی میزان پاشش سوخت ندارد. در این حالت میزان سوخت پاششی با استفاده از تعدادی توابع از پیش تعیین شده محاسبه و توسط عملگر ها اعمال می شود.

برخی از این توابع عبارتند از :

- سرعت مورد درخواست راننده (موقعیت پدال گاز)
- وضعیت عملکرد موتور
- دمای موتور
- تعامل موتور با سایر سیستم های خودرو
- مسائل نشات گرفته از گازهای خروجی

واحد کنترلی با استفاده از توابع و پارامترهای فوق، میزان سوخت درخواستی موتور را محاسبه می نماید. در این سیستم ها همچنین امکان تغییر زمان شروع پاشش وجود دارد.

---

[1] . Electronic Diesel Engine Control

سیستم های کنترل الکترونیکی موتور امکان برقراری ارتباط بین بخش های مختلف از قبیل سیستم های کنترل نیروی رانشی[1] ، سیستم کنترل الکترونیکی انتقال قدرت[2] و برنامه پایدارسازی الکترونیکی خودرو[3] را فراهم می آورد. به همین منظور سیستم کنترل موتور در یک سیستم یکپارچه کنترل خودرو قرار می گیرد، به این ترتیب سیستم قادر بود به عنوان مثال در حین فرآیند تعویض دنده گشتاور خروجی موتور را کاهش دهد و یا در هنگام به کار افتادن سیستم دزدگیر خودرو، از پاشش سوخت در موتور جلوگیری به عمل آورد.

مدول های مختلف سیستم

سیستم کنترل دیزل از سه بخش زیر تشکیل شده است:

1- سنسور ها و تولید کنندگان مقادیر ، سنسورها شرایط کاری موتور از قبیل سرعت موتور و ... را تشخیص می دهند، همچنین تولید کنندگان مقادیر نامی از جمله سوئیچ ها، شرایط فیزیکی را به سیگنال های الکترونیکی تبدیل می نمایند.

2- واحد کنترل الکترونیکی، اطلاعات دریافتی از سنسور ها و تولیدی کنندگان مقادیر را با استفاده از سیستم های کنترل حلقه باز یا بسته پردازش می نمایند. این سیستم، عملگر ها را با استفاده از سیگنال های الکترونیکی کنترل می نماید. همچنین سیستم کنترل موتور نظیر یک واسط الکترونیکی بین موتور و سایر سیستم های الکترونیکی خودرو عمل می نماید.

3- عملگر ها، سیگنال های الکترونیکی ارسالی از واحد کنترل موتور را به پارامترهای مناسب مکانیکی تبدیل می نماید.

پردازش اطلاعات

وظیفه اصلی سیستم کنترل موتور، کنترل میزان و زمان پاشش سوخت است. همچنین در سیستم های ریل مشترک سوخت، فشار سوخت نیز تحت کنترل قرار می گیرد. به منظور کارآیی صحیح سیستم، باید پارمترهای سیستم ECU با خودرو و موتور هماهنگ شود. این تنها راه بهینه سازی عملکرد موتور می باشد.

سیستم کنترل، سیگنال های ارسالی از سنسورها را دریافت می نماید و ولتاژ آنها را در گستره مقادیر مجاز قرار می دهد. برخی سیگنال های ورودی نیز به منظور صحه گذاری استفاده می شود. با استفاده از مقادیر ارسالی توسط سنسورها و نیز اطلاعات جدول بندی ذخیره شده در سیستم کنترل موتور، زمان و میزان پاشش سوخت مشخص خواهد شد. پس از آن، اطلاعات با توجه به موقعیت پیستون دسته بندی خواهد شد. این برنامه محاسباتی تحت عنوان برنامه ECU شناخته می شود.

دقت مطلوب و نیز خواص خروجی موتور، توان پردازش بالایی را طلب می نماید. خروجی هایی نظیر شیر سلنوئیدی فشار بالا که در بازه های کوچک زمانی ملزم به تغییر هستند از توان پردازش بالاتری نسبت به سایر اجزای سیستم برخوردارند. اطلاعات خطا توسط واحد عیب یابی شناخته می شود.

نتیجه گیری

با توجه به مباحث مطرح شده، به شناخت کلی از سیستم های مدیریت موتور های دیزل دست پیدا نمودیم. از آنجا که صنعت خودرویی کشور در پی سرمایه گذاری به منظور طراحی موتور ملی دیزل می باشد، لذا آماده سازی بستر های مناسب علمی و انجام چنین پژوهش هایی می تواند صنایع مذکور را در تحقق این هدف یاری نماید.

با توجه به قابلیت های بالای سیستم های ریل مشترک و تعدد پارامترهای کنترلی و نیز با توجه به استفاده روزافزون از میکروکنترلرها، استفاده از سیستم های ریل مشترک و تحقیق و پژوهش در حوزه اخیر می تواند به عنوان شروعی برای ورود به عرصه طراحی سیستم های مدیریت دیزل مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به پیچیدگی سیستم های سخت افزاری پاشش سوخت و تلرانس های بالای ساخت، طراحی، ساخت و تعمیر قطعات سخت افزاری سیستم مدیریت موتورهای دیزل بسیار پیچیده تر از موتورهای بنزینی می باشد. لذا ورود به این عرصه قابلیت ساخت و تولید بسیار بالایی را طلب می نماید.

مراجع

[1] Dick H. King, Gary R. Watson, Computerized Engine Control, 5th edition, Delmar pub, 2002

[2] Buom-Sik Shin, Jung-Hyun Lee, Chang Ho Kim,The Effects of Injection Parameters on a Heavy-Duty Diesel Engine With Tics System, SAE paper 981070, 1998

[3] Chuanjin Du, Minggao Yang, Juntao Wu, Xi Wang, Shengzhi Xia, Zheng Liu ,Injection Rate Control in Electronic In-Line pumpValve-Pipe- Injector for Diesel Injection System, SAE Paper 1999-01-0201

[4] Werner Fischer, Walter Fuchs, Helmut Laufer, Uwe Reuter, Solenoid-Valve Controlled Diesel Distributor Injection Pump, SAE Paper 930327

[5] Tomasz Knefel, Maciej St Sobieszczanski, A Comparison of Unit Injector and Pump Line Nozzle Systems, SAE Paper 970350

[6] Koji Nagata, State-Of-Art Technologies for Diesel Common-Rail System, SAE Paper 2004-28-0068

[7] Fan Liyun, Zhu Yuanxian, Long Wuqiang, Xue Yingying, A Characteristic Study of Electronic In-Line Pump System for Diesel Engines. SAE Paper 2008-01-0943

---

1. Traction Control System (TCS).
2. Electronic Transmission Control (ETC).
3. Electronic Stability Program (ESP).