فصل پنجم

سیستم‌های سوخت‌رسانی

هدف‌های رفتاری : پس از آموزش این فصل از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ سیستم کنترل پاشش سوخت (بنزین) را توضیح دهد.

۲ــ سیستم تغذیه سوخت را توضیح دهد.

۳ــ سیستم جرقه را توضیح دهد.

۴ــ سیستم کنترل هوا را توضیح دهد.

۵ــ سیستم کنترل آلایندگی را توضیح دهد.

۶ــ اجزای سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین را توضیح دهد.

۷ــ تفاوت‌های سوخت‌رسانی کارابراتوری و انژکتوری را توضیح دهد.

۸ــ عملکرد سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین را توضیح دهد.

۹ــ عملکرد سیستم تغذیه سوخت را توضیح دهد.

۱۰ــ عملکرد اجزای سیستم سوخت‌رسانی انژکتوری را توضیح دهد.

۱ــ۵ــ سیستم کنترل پاشش سوخت (بنزین)

سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین امروزه در اکثر خودروها شامل سیستم تغذیه سوخت[۱]، سیستم جرقه[۲]، سیستم کنترل هوای ورودی[۳] و سیستم کنترل آلایندگی[۴] می‌باشد (شکل ۱ــ۵).

سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین عملکرد موتور را برای شرایط زیر کنترل می‌کند :

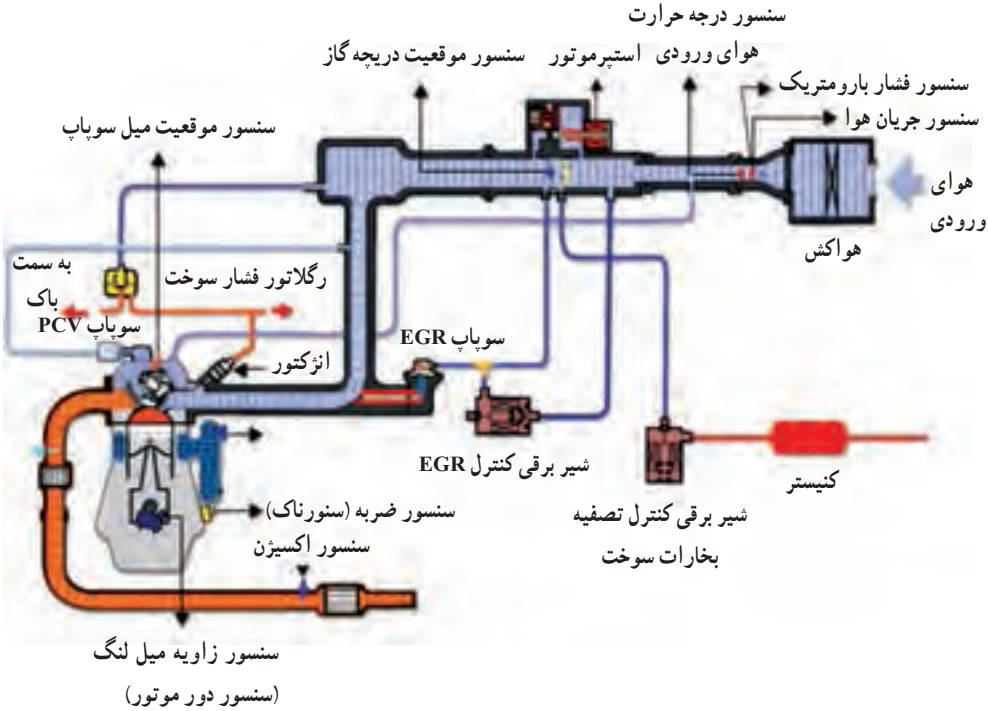
- ماکزیمم قدرت خروجی موتور

۱ــ Fuel Supply System

۲ــ Ignition System

۳ــ Air Control System

۴ــ Emission Control System



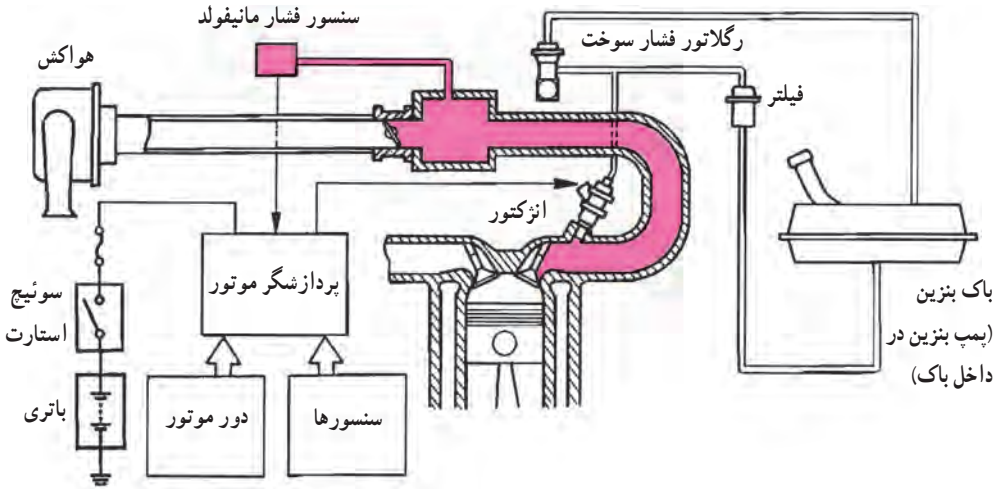
شکل ۱ــ۵ــ دیاگرام سیستم الکترونیکی پاشش بنزین

- مصرف سوخت کم
- کاهش آلایندگی گازهای خروجی موتور
- بهبود روشن‌شدن موتور در هوای سرد
- بهبود قابلیت رانندگی

می‌توان سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین را مطابق با روش استفاده‌شده برای سنجش مقدار هوای ورودی به دو نوع تقسیم‌بندی نمود.

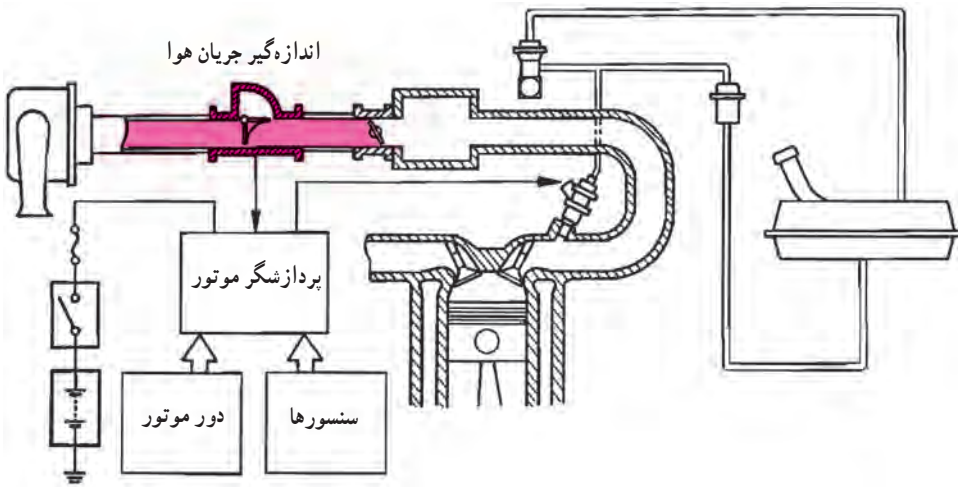
۱ــ۱ــ۵ــ نوع کنترل (چگالی ــ سرعت) فشار مانیفولد (D–EFI) [۱] : در این نوع فشار و دما در مانیفولد ورودی اندازه‌گیری شده و مقدار هوای ورودی محاسبه می‌گردد (شکل ۲ــ۵).

۱ــ D–EFI معادل کلمه D–Jetronic شرکت بوش آلمان می‌باشد که D اوّل کلمه Druck به معنی فشار و Jetronic به معنای پاشش می‌باشد.



شکل ۲ــ۵ــ سیستم الکترونیکی پاشش بنزین نوع کنترل فشار مانیفولد (D–EFI)

۲ــ۱ــ۵ــ نوع کنترل جریان هوا (L–EFI)[1] : در این نوع مستقیماً مقدار هوای ورودی به مانیفولد هوا به‌وسیله یک اندازه‌گیر جریان هوا[2] سنجیده می‌شود. امروزه از این نوع در بیشتر خودروها استفاده می‌شود (شکل ۳ــ۵).



شکل ۳ــ۵ــ سیستم الکترونیکی پاشش بنزین نوع کنترل جریان هوا (L–EFI)

۱ــ L–EFI معادل کلمه L–Jetronic شرکت بوش آلمان می‌باشد که L مخفف کلمه Luft به معنی هوا می‌باشد.

۲ــ Air Flow Meter

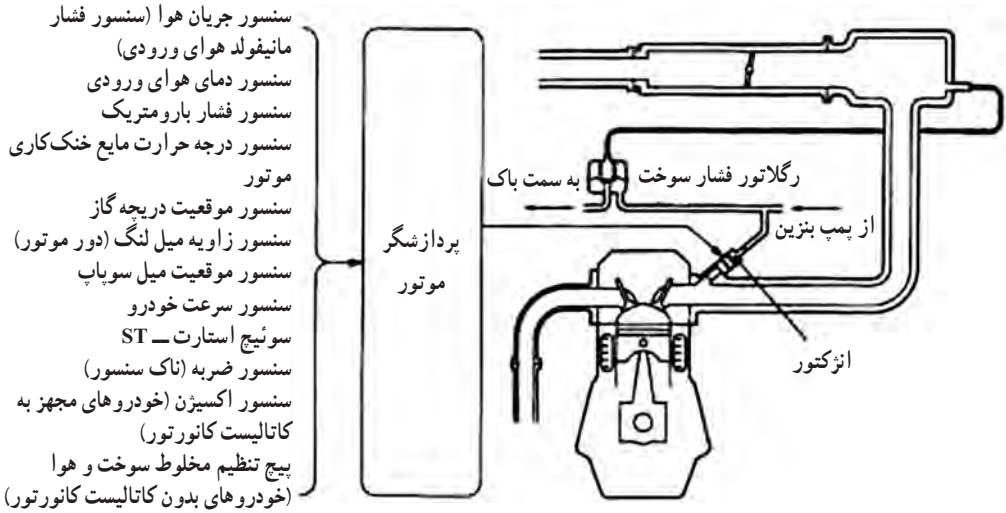
۲ــ۵ــ سیستم تغذیه سوخت

سیستم تغذیه سوخت برای رساندن مقدار دقیق سوخت موردنیاز و به‌منظور نگه‌داشتن بهترین بالانس قدرت بین سیلندرها، مصرف سوخت اقتصادی و کمترین آلایندگی دودهای خروجی طراحی شده است.

پردازشگر موتور با استفاده از سنسورهای مربوطه مقدار پاشش سوخت را برای بهترین نسبت سوخت و هوا در وضعیت‌های عملکردی مختلف موتور کنترل می‌نماید. زمانی که وضعیت عملکردی موتور تغییر پیدا می‌کند، تغذیه سوخت به اندازه نیاز تنظیم می‌شود (شکل ۴ــ۵).

این وضعیت عملکردی عبارت‌اند از :

- فشار مانیفولد یا مقدار هوای ورودی
- زاویه میل لنگ
- دور موتور
- شتاب‌گیری / کاهش شتاب
- دمای مایع خنک‌کننده موتور
- دمای هوای ورودی و ... .



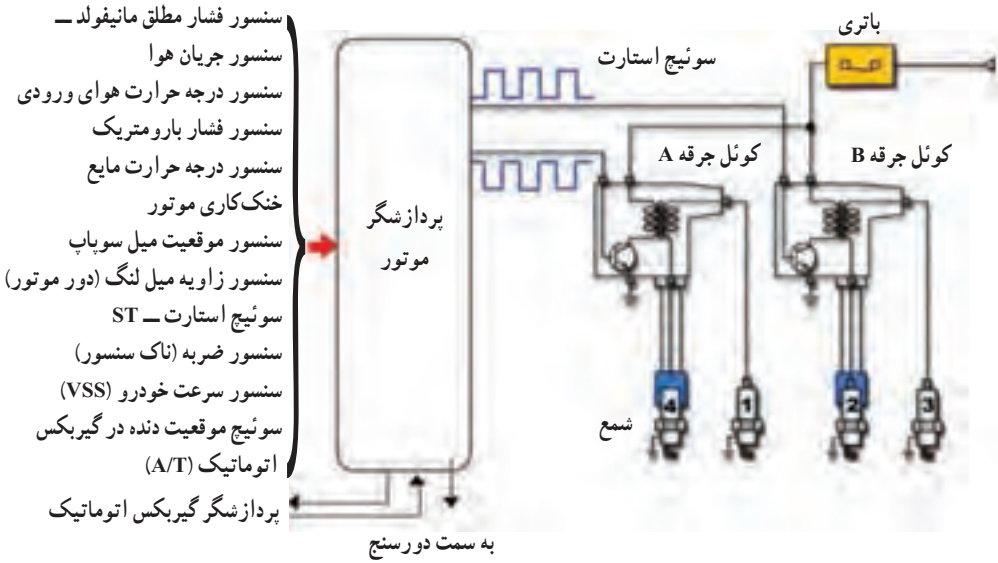
شکل ۴ــ۵ــ دیاگرام سیستم تغذیه سوخت

۳ــ۵ــ سیستم جرقه

برای داشتن احتراق کامل، سیستم جرقه باید در زمان دقیق مخلوط سوخت و هوا را محترق نماید. با تصحیح تایمینگ جرقه، احتراق در زمان مناسب شروع شده و نتیجتاً فشار مؤثر حاصل از احتراق با موقعیت حرکت پیستون تنظیم می‌شود.

پردازشگر موتور سیگنال‌هایی از سنسورهای مربوطه دریافت کرده و تایمینگ جرقه را کنترل می‌نماید (شکل ۵ــ۵). این سیگنال‌ها عبارت‌اند از :

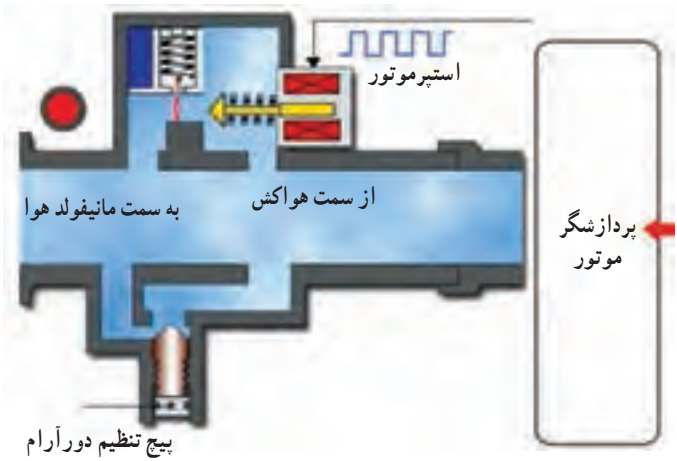
- دور موتور
- زاویه میل لنگ
- فشار مانیفولد یا مقدار هوای ورودی
- دمای مایع خنک کاری موتور و ...



شکل ۵ــ۵ــ دیاگرام سیستم جرقه

۴ــ۵ــ سیستم کنترل هوا

سیستم کنترل هوا شامل یک سیستم کنترل هوا در دور آرام و سیستم کنترل هوای ورودی در دورهای مختلف می‌باشد. سیستم کنترل هوای ورودی مقدار بهینه جریان هوا را در وضعیت‌های رانندگی معمولی توسط دریچه گاز کنترل می‌نماید. سیستم کنترل دور آرام مقدار سرعت جریان هوا به مانیفولد را در زمانی که دریچه گاز کاملاً بسته است تنظیم می‌نماید (شکل ۶ــ۵).



سنسور جریان هوا
سنسور درجه حرارت هوای ورودی
سنسور فشار بارومتریک
سنسور درجه حرارت مایع خنک‌کاری موتور
سنسور موقعیت دریچه گاز
سنسور زاویه میل‌لنگ (دورموتور)
سوئیچ کولر A/c
سوئیچ دمای کولر
سنسور سرعت خودرو (VSS)
سوئیچ فشار روغن فرمان هیدرولیک
سوئیچ موقعیت دنده در گیربکس اتوماتیک
ترمینال FR آلترناتور
سوئیچ استارت IG
سوئیچ استارت ST
کانکتور عیب‌یابی

شکل ۶ــ۵ــ دیاگرام سیستم کنترل دورآرام

در بعضی از سیستم‌های کنترل دور آرام در زمانی که موتور سرد است از دو سوپاپ جداگانه برای کنترل دور آرام استفاده شده است. در زمان استارت زدن (موتور سرد) محدودکننده بی‌متالی اجازه می‌دهد هوای بیشتری وارد مانیفولد ورودی شده و در نتیجه دور موتور افزایش می‌یابد. وقتی موتور به درجه حرارت نرمال می‌رسد محدودکننده بی‌متالی بسته شده و هوای موردنیاز موتور در دور آرام فقط از طریق یک سوپاپ کنترلی الکتریکی (اسپترموتور) کنترل می‌گردد.

سیستم کنترل هوا، سیگنال‌های مختلفی را از سنسورهای مربوطه دریافت نموده و در کنترل هوای ورودی به کار می‌برد.

این سیگنال‌ها عبارت‌اند از :

- دمای مایع خنک‌کاری موتور
- روشن یا خاموش بودن کولر (A/C) و ...

۵ــ۵ــ آلاینده‌های موتور

۱ــ۵ــ۵ــ اکسیدهای ازت: به دلیل واکنش اتمی اکسیژن و نیتروژن در حین فرایند احتراق، اکسیدهای ازت (NO_x) در تمام محفظه احتراق تشکیل می‌شوند. واکنش‌های تشکیل‌دهندهٔ NO_x به شدت وابسته به دما هستند، بنابراین خروجی NO_x از یک موتور نسبتاً به بارگذاری موتور بستگی دارد. میزان تولید NO_x در هنگام راه اندازی و مرحله گرم شدن موتور، نسبتاً پایین است. در موتورهای اشتعال جرقه‌ای، جزء مشهود NO_x، اکسیدنیتروژن (NO) می‌باشد، این در حالی است که غلظت دی‌اکسیدنیتروژن، NO_2 فقط در حدود ۱ تا ۲٪ باشد.

۲ــ۵ــ۵ــ مونواکسیدکربن: مونواکسیدکربن در گازهای خروجی موتورهایی که به‌صورت غلیظ کار می‌کنند ظاهر می‌شود، زیرا در این حالت اکسیژن کافی برای تبدیل تمام سوخت به دی‌اکسیدکربن وجود ندارد. مهم‌ترین پارامتر موتور که بیشترین تأثیر را روی آلاینده‌های مونواکسیدکربن دارد، نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا است، دیگر متغیرها تأثیری از مرتبه دوم دارند. بدین‌ترتیب نتایج به‌دست آمده از تغییر نسبت سوخت ــ هوا کم و بیش در خصوص تمامی موتورها صحت دارد. توجه داشته باشید که در شرایط نزدیک به مقادیر استوکیومتریک، آلایندهٔ مونواکسیدکربن یک تابع غیرخطی از نسبت هم‌ارزی می‌باشد. تحت این شرایط، در موتورهای چند سیلندر، لازم است تا اطمینان حاصل شود که نسبت سوخت به هوای یکسانی به هر سیلندر وارد می‌شود. اگر نیمی از موتورها به‌صورت رقیق و نیمی دیگر به‌صورت غلیظ کار کنند، آنگاه سیلندرهای رقیق CO بسیار کمتری نسبت به سیلندرهای غلیظ تولید می‌کنند. میانگین آلایندهٔ CO برای چنین موتوری متناظر با نسبت هم‌ارزی میانگین نخواهد بود بلکه متناظر با نسبت هم‌ارزی میانگین غلیظ‌تری خواهد بود که متعاقباً منجر به تولید CO بیشتر از حد معمول می‌شود.

۳ــ۵ــ۵ــ هیدروکربن‌ها

آلاینده‌های هیدروکربنی به واسطهٔ حضور سوخت نسوخته در سیستم اگزوز موتور به‌وجود می‌آیند. سوخت‌های هیدروکربنی از ۱۰ تا ۲۰ گونهٔ اصلی و حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ گونهٔ فرعی تشکیل شده‌اند. بیشتر این گونه‌ها در گازهای خروجی یافت می‌شود. البته، برخی از هیدروکربن‌های موجود در گازهای خروجی، در سوخت مادر (اولیه) دیده نمی‌شوند. این گونه‌های هیدروکربنی ناشی از سوختی است که درون سیلندر و طی واکنش‌هایی که کامل نشده‌اند، تغییر ساختار داده‌اند. این مواد حدود ۵۰٪ کل هیدروکربن‌های انتشار یافته می‌باشد.

این محصولات واکنش ناقص شامل استالدئید، فرمالدئید، بوتادین و بنزین می‌باشد. این محصولات در مؤسسه حفاظت از محیط‌زیست به‌عنوان آلاینده‌های سمی شناخته می‌شوند. آلاینده‌های هیدروکربنی ناشی از موتور، به گروه‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند، که شامل هیدروکربن‌های کلی[1] و هیدروکربن‌های بی‌متان[2] می‌باشند. آلاینده‌های هیدروکربنی باعث کاهش بازده شده و همچنین آلوده‌کنندهٔ هوا نیز می‌باشند. بیشترین مقدار تولید آلاینده‌های هیدروکربنی در حالت راه‌اندازی و مرحله گرم شدن موتور است. دلیل افزایش آلایندگی موتور در این حالات کاهش تبخیر و اکسیداسیون سوخت می‌باشد.

همان‌طور که در جدول ۳ــ۳ بیان شده است، هیدروکربن‌ها در سیستم خروجی از ۶ طریق اصلی صورت می‌پذیرد، این ۶ روش عبارت‌اند از : ۱ــشکاف و درزها[3] ۲ــلایه‌های روغن ۳ــ رسوبات کربن ۴ــسوخت مایع ۵ــ خاموشی شعله روی دیواره سیلندر[4] ۶ــ نشتی سوپاپ دود. روش‌های درز و شکاف بیشترین تأثیر را داشته و حدود ۴٪ از آلاینده‌های هیدروکربنی موتور از این راه انجام می‌شود.

جدول ۱ــ۵ــ منابع تولید آلاینده‌های هیدروکربنی

منبع	درصد سوخت فرار کرده از احتراق	درصد آلاینده‌های هیدروکربن نسوخته
درزها	۵/۲	۳۸
لایه روغن	۱	۱۶
رسوبات	۱	۱۶
سوخت مایع	۱/۲	۲۰
خاموش شدن شعله	۰/۵	۵
نشتی سوپاپ خروجی	۰/۱	۵
مجموع	۹	۱۰۰

۱ــ Total Hydrocarbons (THC)

۲ــ Non-Methane Hydrocarbons (NMHC)

۳ــ Crevice

۴ــ Quenching

درز و شکاف‌ها مناطق نازکی در محفظه احتراق هستند که شعله نمی‌تواند در آنها نفوذ کند. این شکاف‌ها در نزدیکی پیستون، واشر سرسیلندر، شمع و نشیمنگاه‌های سوپاپ وجود دارند. بزرگترین شکاف، ناحیهٔ بین رینگ پیستون و دیواره سیلندر است. در مراحل تراکم و مراحل اولیه احتراق، فشار سیلندر افزایش یافته و درصد کوچکی از مخلوط سوخت و هوا را به داخل شکاف‌ها وارد می‌کند. زمانی که فشار سیلندر در بخش انتهایی مرحله تراکم کاهش می‌یابد، گازهای نسوختهٔ داخل شکاف دو مرتبه به سمت داخل سیلندر جریان می‌یابند.

در زمان خود اشتعالی، مخلوط بیش از حد غلیظ سوخت و هوا نیز وجود دارد. البته، در صورتی که گازها به اندازه کافی داغ باشند این مخلوط به وسیله اختلاط‌های اضافی می‌سوزند. از آنجا که مقداری از مخلوط سوخت و هوا تا اواخر مرحله انبساط به نسبت سوخت به هوای استوکیومتریک نمی‌رسند، برخی هیدروکربن‌ها نیز تولید می‌شوند.

۴ــ۵ــ۵ــ ذرات معلق[1] : دود مرئی یا دوده در گازهای خروجی نشان دهنده غلظت بالای ذرات معلق (PM) در گازهای خروجی است. از آنجا که استنشاق ذرات معلق می‌تواند مشکلات تنفسی ایجاد کند، لذا این گونه آلاینده‌ها به شدت کنترل می‌شود. آلاینده‌های ذرات معلق یک مشکل بزرگ در موتورهای دیزل هستند و عملکرد آنها را در هنگام تولید دوده با محدودیت مواجه می‌سازد. از آنجا که در موتورهای بنزینی از سوخت بدون سرب استفاده می‌شود، ذرات معلق در موتورهای اشتعال جرقه‌ای مشکل جدی به‌شمار نمی‌آیند.

به هر ماده‌ای غیر از آب که بتواند در اگزوز به‌وسیله فیلتر کردن جمع‌آوری شود، ذرات معلق می‌گویند. ذرات معلق جمع‌آوری شده روی یک فیلتر را می‌توان به دو مؤلفهٔ کلی تقسیم نمود. یک مؤلفه، کربن جامد یا دوده است و مؤلفه دیگر، یک ماده آلی است که شامل هیدروکربن و محصولات اکسیداسیون ناقص آنها می‌باشد. این مواد آلی روی فیلتر، افزایش چگالی پیدا کرده‌اند و یا جذب دوده می‌شوند. بخش آلی به وسیلهٔ فرایندهایی که گازهای خروجی را با هوای خروجی از موتور رقیق می‌کند تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. روش‌های استفاده شده برای اندازه‌گیری آلاینده‌های ذرات معلق از قبیل تونل‌های رقیق‌سازی، جذب نور، تغییر رنگ فیلتر و جرم حبس شدهٔ کاغذ فیلتر در فصل ۵ مورد بحث قرار گرفته است.

۵ــ۵ــ۵ــ کنترل آلایندگی : از دههٔ ۱۹۶۰ آلاینده‌های خروجی از موتورها توسط آژانس

۱ــ Particulates

حفاظت از محیط‌زیست آمریکا کنترل شده است. تا پیش از ۱۹۶۰ آلاینده‌های تولیدی خودروهای سواری مورد کنترل قرار نمی‌گرفت. ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۶۶ در پاسخ به مشکلات کیفیت هوا، محدودیت‌هایی را برای آلاینده‌های CO و هیدروکربن معرفی نمود. در سال ۱۹۶۸ تنظیمات آلاینده‌ها در سطح کشور امریکا به اجرا گذاشته شد. با گذشت زمان این محدودیت‌ها سخت‌گیرانه‌تر شدند و امروزه خودروها اجازهٔ تولید آلودگی بسیار کمتری نسبت به مقدار مجاز سال ۱۹۶۸ دارند. این مسئله از طرفی یک چالش اصلی پیش روی خودروسازان است و از طرف دیگر به‌عنوان یک فرصت برای مهندسان خودرو مطرح می‌باشد.

در حال حاضر مهم‌ترین دستگاه پس پالایش، مبدل کاتالیستی سه راهه است. این سیستم در سال ۱۹۷۵ برای اولین بار بر روی سیستم خروجی خودروهای سواری نصب شد. این دستگاه نام خود را از این واقعیت گرفته است که بر روی هر سه آلایندهٔ مورد توجه یعنی اکسیدهای ازت، مونواکسیدکربن و هیدروکربن‌ها تأثیر می‌گذارد. سرب و گوگرد از جمله موادی می‌باشند که شدیداً بر عملکرد مبدل کاتالیستی تأثیر نامطلوب می‌گذارند. بنابراین سوخت‌های خودرویی دوباره فرمول‌بندی شده‌اند تا سرب و گوگرد کمتری داشته باشند.

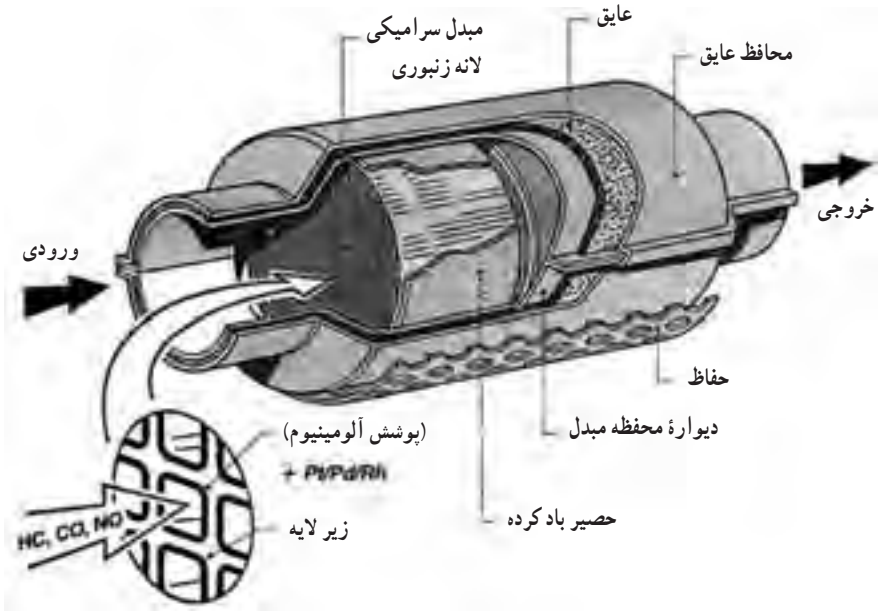
چنان‌که در شکل ۷ــ۵ دیده می‌شود، مبدل‌های کاتالیزوری به شکل لانه زنبوری[1] و یا ساچمه‌ای[2] ساخته می‌شوند تا گازهای خروجی در معرض سطح بزرگتر ایجاد شده توسط ذرات یکی از فلزات نجیب یعنی پلاتین (Pt)، پالادیوم (Pd) و رودیوم (Rh) که کمتر از ۵۰nm قطر دارند، قرار گیرند. رودیوم فلز اصلی مورد استفاده برای از بین بردن NO است. همچنین پلاتین فلز اصلی جهت از بین بردن CO و HC می‌باشد.

شکل ۸ــ۵ یک مبدل کاتالیستی سه راههٔ لانه زنبوری را نشان می‌دهد. با جریان یافتن گازهای خروجی به داخل کاتالیزور، NO از طریق یک واکنش کاهشی روی سطح کاتالیزور با CO، هیدروکربن‌ها و H_2 واکنش می‌دهد. هیدروکربن‌ها و CO باقیمانده از طریق یک واکنش اکسیداسیون و با تشکیل H_2O و CO_2 از بین می‌روند. نرخ اکسیداسیون هیدروکربن‌ها متناسب با وزن مولکولی افزایش می‌یابد، در نتیجه اکسیداسیون سوخت‌های با وزن مولکولی سبک مثل متان در کاتالیزور بسیار آهسته صورت می‌گیرد.

۱ــ Honeycomb

۲ــ Pellet

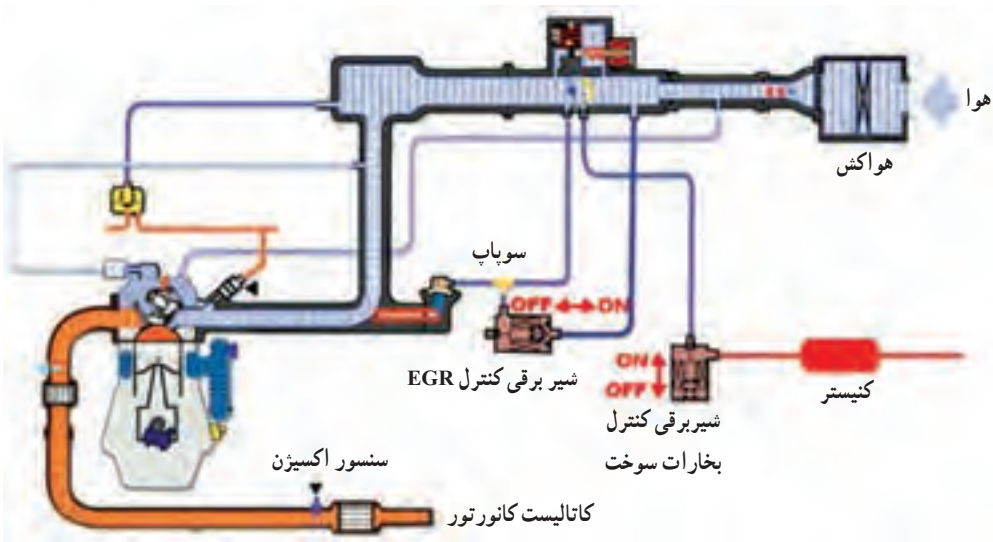
شکل ۷ــ۵ــ تصویر برش خورده یک مبدل کاتالیستی



شکل ۸ــ۵ــ اجزای یک مبدل کاتالیستی

یک مبدل سه راهه تنها زمانی به درستی عمل می‌کند که ترکیب گازهای خروجی، در حدود (±۱٪) احتراق استوکیومتریک باشد. اگر بیش از حد رقیق باشد اکسیدهای ازت از بین نمی‌روند و اگر بیش از حد غنی باشد مونواکسیدکربن و هیدروکربن‌ها از بین نمی‌روند. این باعث می‌شود که یک محدودیت بر روی عملکرد موتور قرار گیرد : برای استفاده از مبدل سه راهه لازم است موتور در یک محدوده باریک حول نسبت استوکومتریک سوخت ــ هوا عمل کند. برای ایجاد چنین حالتی از یک سیستم کنترل حلقه بسته به همراه یک سنسور اکسیژن استفاده می‌شود تا نسبت سوخت ــ هوای واقعی را تعیین نمایند و پاشش‌گر را به‌گونه‌ای تنظیم کند که موتور در محدودهٔ باریک حول نقطهٔ استوکیومتریک عمل نمایند. کاربراتورهای معمولی قادر نیستند نسبت سوخت ــ هوا را در یک محدودهٔ باریک حول یک نقطهٔ معین نگه دارند.

۶ــ۵ــ نمای کلّی سیستم کنترل آلایندگی



شکل ۹ــ۵ــ دیاگرام سیستم کنترل آلایندگی

سیستم کنترل آلایندگی برای کنترل هیدروکربن‌ها[۱] (HC)، مونوکسیدکربن[۲] (CO) و اکسید

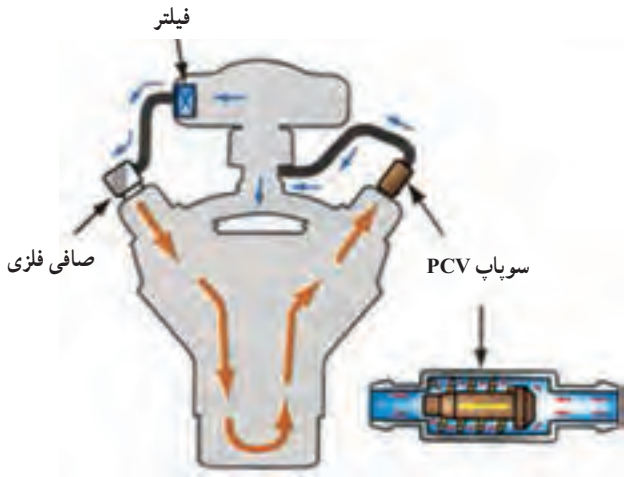
۱ــ Hydro Carbons

۲ــ Carbon Monoxide

نیتروژن[1] (NOX) موردنیاز می‌باشد (شکل ۹ــ۵). سیستم‌هایی که آلایندگی را در خودروها کنترل می‌نمایند عبارت‌اند از :

۱ــ۶ــ۵ــ سیستم کنترل آلایندگی محفظه میل‌لنگ[2] : گازهای حاصل از احتراق که از بین رینگ‌های پیستون فرار کرده وارد محفظه میل لنگ می‌شوند. این گازها برای محیط زیست مضر می‌باشند.

سوپاپ تهویه مثبت محفظه میل لنگ[3] (PCV) قطعه اصلی از این سیستم کنترل آلایندگی محفظه میل‌لنگ بوده، که اجازه می‌دهد، این گازها وارد مانیفولد ورودی شوند و با مخلوط سوخت و هوا در موتور محترق گردند (شکل ۱۰ــ۵).



شکل ۱۰ــ۵ــ سیستم کنترل آلایندگی محفظه میل‌لنگ

۲ــ۶ــ۵ــ سیستم کنترل آلایندگی بخارات سوخت[4] : سیستم کنترل آلایندگی بخارات سوخت، بخارات سوخت را که بیشتر آن هیدروکربن (HC) است در کنیستر[5] ذخیره می‌نماید. بخارات سوخت در کنیستر نگهداری شده تا با هوای ورودی به موتور مخلوط شده و در محفظه احتراق سوزانده شوند (شکل ۱۱ــ۵).

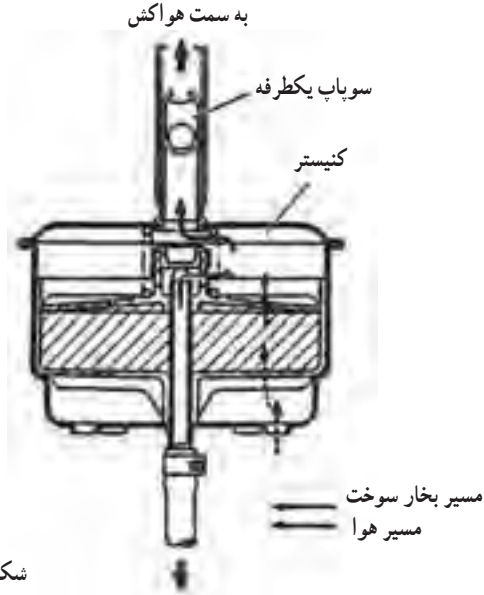
۱ــ Oxids of Nitrogen

۲ــ Crankcase Emission Control System

۳ــ Positive Crankcase Ventilaion Valve

۴ــ Evaporative Emission Control System

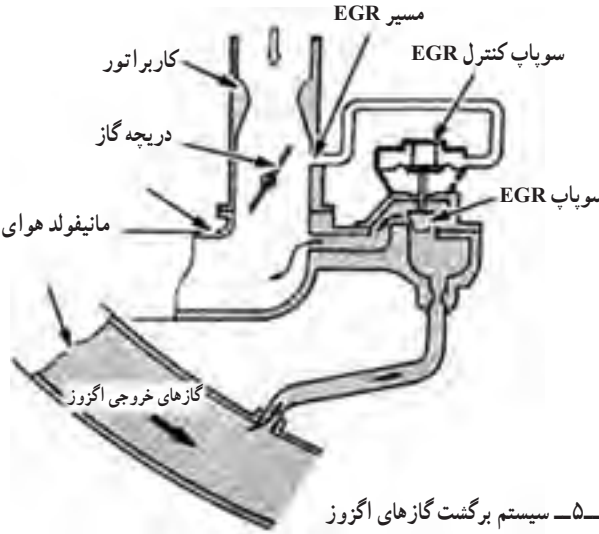
۵ــ Canister



شکل ۱۱ــ۵ــ سیستم کنترل آلایندگی بخارات سوخت

۳ــ۶ــ۵ــ سیستم برگشت گازهای اگزوز[۱] (EGR) : برای کاهش دمای محفظه احتراق در زمان‌های معین مقداری از گازهای اگزوز به مانیفولد هوای ورودی برگشت داده می‌شود (شکل ۱۲ــ۵).

اکسید نیتروژن (NOX) در نتیجه دمای بالای محفظه احتراق به‌وجود می‌آید.



شکل ۱۲ــ۵ــ سیستم برگشت گازهای اگزوز

۱ ــ Exhaust Gas Recirculation System

۴ــ۶ــ۵ــ کاتالیست کانورتور[۱] : کاتالیست کانورتور توسط محفظه احتراق ثانویه به کاهش آلایندگی گازهای اگزوز کمک می‌نماید. کاتالیست کانورتور با یک عکس‌العمل شیمیایی به ادامه احتراق گازهای اگزوز کمک می‌نماید تا آلایندگی گازهای اگزوز را به میزان زیادی کاهش دهد. برای آنکه کاتالیست کانورتور در راندمان بالایی کار نماید، نسبت مخلوط سوخت و هوا باید به دقت کنترل گردد.

۷ــ۵ــ قطعات سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین

سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین توسط پردازشگر موتور[۲] کنترل می‌گردد. پردازشگر موتور با استفاده از اطلاعات سنسور[۳]های گوناگون، زمان دقیق پاشش سوخت، مقدار سوخت، تایمینگ جرقه و ضریب تصحیح دور آرام را محاسبه می‌نماید. همچنین سیگنال‌های راه‌انداز عملگر[۴]های مربوطه را مطابق با نتیجه محاسبات ارسال می‌نماید. قسمت‌های اصلی سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین عبارت‌اند از :

۱ــ۷ــ۵ــ سنسورها : سنسورها وضعیت‌های موردنیاز را برای تغذیه سوخت، تایمینگ جرقه و جریان هوای دور آرام را تعیین می‌کنند. تعدادی از این وضعیت‌ها عبارتند از درجه حرارت مایع خنک‌کاری موتور، مقدار جریان هوای عبوری از مانیفولد، فشار مانیفولد و... می‌باشد. این سنسورها وضعیت عملکردی را اندازه‌گیری نموده و سیگنال‌های ورودی پردازشگر موتور را تهیه می‌نمایند (شکل ۱۳ــ۵).

۲ــ۷ــ۵ــ پردازشگر موتور : پردازشگر موتور در برابر نیاز به قدرت موتور در هنگام رانندگی، پاسخ‌های سریعی در مقابل تغییرات عملکردی ارائه می‌نمایند و یک پردازشگر عملکرد موتور را براساس شرایط محیطی کنترل می‌کند و این در حالی‌است که سیستم کاربراتوری این فعالیّت را نمی‌توانست انجام دهد. در نتیجه تغذیه سوخت بسیار دقیق انجام می‌گیرد.

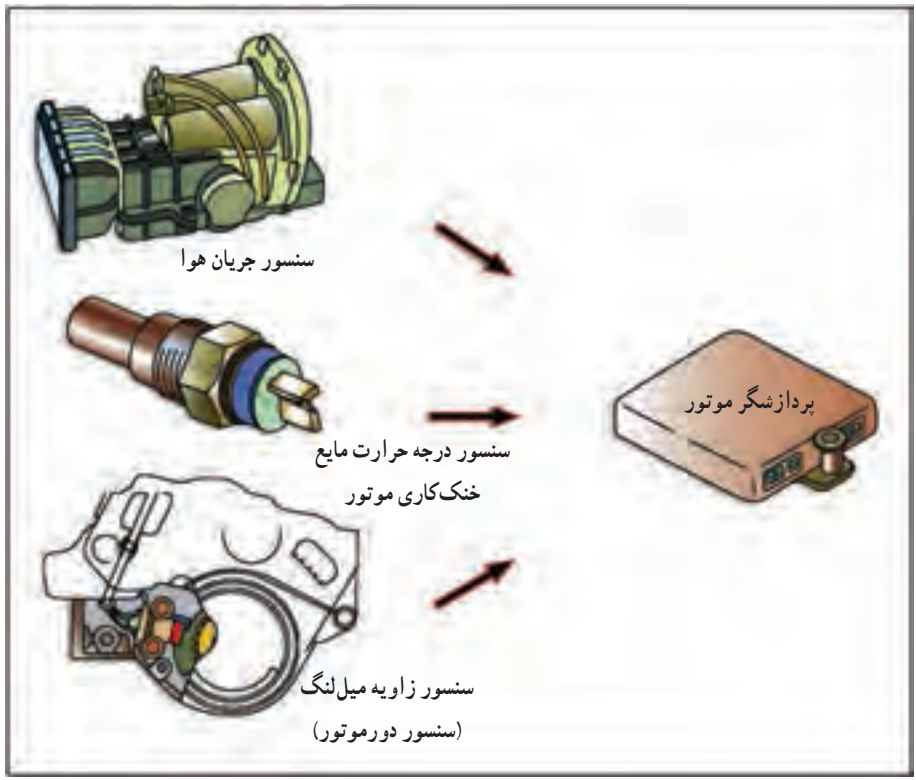
پردازشگر موتور شرایط محیطی را تشخیص می‌دهد و با استفاده از نرم‌افزارهای نصب شده می‌تواند تغذیه سوخت، تایمینگ جرقه و سایر موارد را کنترل نماید. بعد از محاسبات، پردازشگر موتور

۱ــ Catalytic Converter

۲ــ Engine Electronic Control Unite (E.C.U)

۳ــ Sensors

۴ــ Actuators



شکل ۱۳ــ۵

براساس وضعیت عملکرد سنسورها، سیگنال‌های لازم را به عملگرها برای تغذیه مقدار دقیق سوخت و جرقه زدن مخلوط سوخت و هوا در زمان دقیق به عملگرها ارسال می‌نماید.

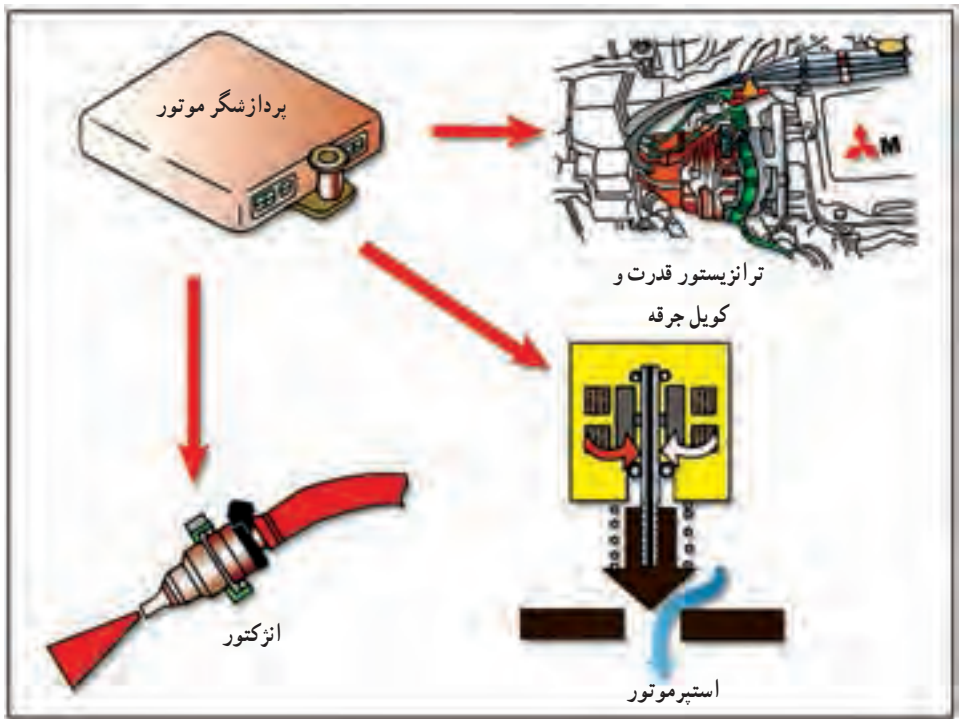
در هنگام تغییر وضعیت عملگر موتور، پردازشگر موتور محاسبات را به منظور تنظیم تغذیه سوخت، تایمینگ جرقه و دیگر تصمیمات کنترلی موردنیاز انجام می‌دهد و این مراحل در تمام مدت زمانی که موتور روشن است انجام می‌پذیرد (شکل ۱۴ــ۵).

شکل ۱۴ــ۵

۳ــ۷ــ۵ــ عملگرها : عملگرها وسایلی هستند که براساس تصمیمات کنترلی خارج شده از پردازشگر موتور کار می‌نمایند و کاربرد آنها برای تغذیه سوخت، تایمینگ جرقه، سرعت دور آرام و در نتیجه کنترل آلایندگی می‌باشد.

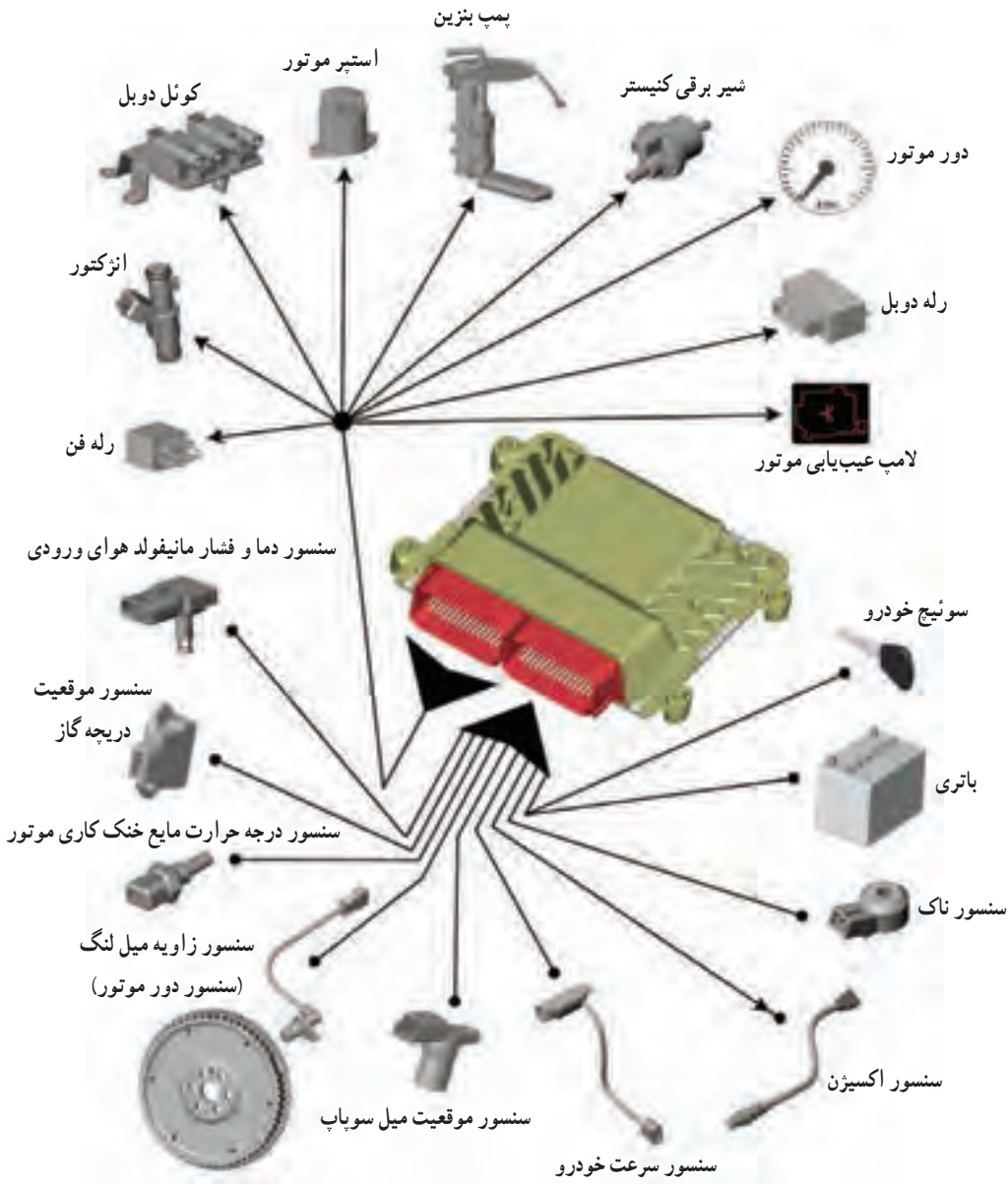
اگر پردازشگر موتور بخواهد دور آرام موتور را افزایش دهد، یک عملگر (استپرموتور) را برای مقدار معینی از جریان هوا در اطراف دریچه گاز به‌کار می‌اندازد.

بیشتر عملگرها برای پردازشگر موتور سیگنال ارسال نمی‌کنند. عملگرها، براساس سیگنال‌های دریافتی از پردازشگر موتور، عمل می‌نمایند (شکل ۱۵ــ۵).



شکل ۱۵ــ۵

در شکل ۱۶ــ۵ چگونگی ارتباط سنسورها و عملگرها با (Ecu) پردازشگر موتور دیده می‌شود.

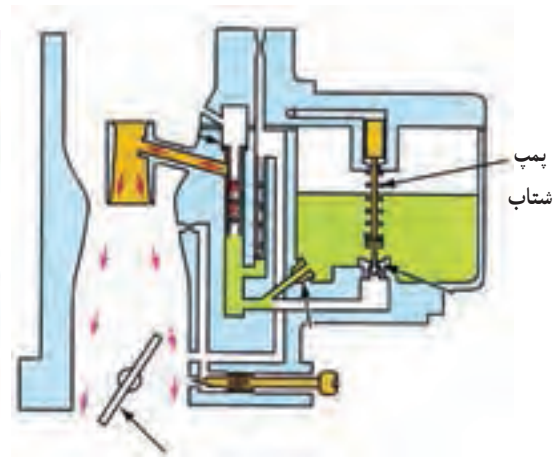


شکل ۱۶ــ۵ــ سنسورها و عملگرهای مرتبط با ECU

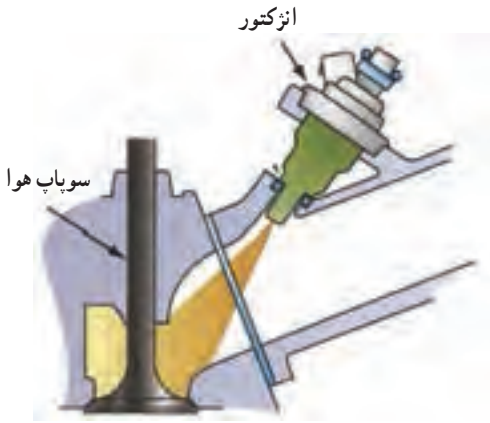
۸ــ۵ــ جدول مقایسه بین سیستم کاربراتوری و سیستم انژکتوری بنزینی

جدول ۲ــ۵

عنوان	سیستم کاربراتوری	سیستم انژکتوری بنزینی
ساختمان	شامل یک ونتوری، ژیگلور اصلی، دریچه گاز، شناور و دیگر قطعات نشان‌داده شده در شکل ۱۶ــ۵ می‌باشد.	شامل قطعات هوای ورودی (مانند دریچه گاز)، قطعات پاشش سوخت (مانند انژکتورها)، قطعات کنترلی (مانند پردازشگر موتور و سنسورها) و دیگر قطعات نشان داده‌شده در شکل ۱۷ــ۵ می‌باشد.
روش تغذیه سوخت	• سرعت جریان هوای عبوری از ونتوری به مقدار باز بودن دریچه گاز بستگی دارد. • خلأ تولید شده در ونتوری به سرعت جریان هوا بستگی دارد. • سوخت از میان ژیگلور اصلی براساس خلأ از محفظه شناور کشیده می‌شود. مقدار سوخت کشیده شده به مقدار خلأ بستگی دارد. • سوخت کشیده شده از ژیگلور اصلی در بعضی از مواقع کافی نبوده و باید از طریق مسیر دور آرام و پمپ شتاب جبران شود.	• سرعت جریان هوای وارد شده به موتور مستقیماً توسط پردازشگر موتور (مطابق با سیگنال سنسور جریان هوا) یا غیرمستقیم (مطابق با سیگنال سنسور فشار هوا) تعیین می‌گردد. • پردازشگر موتور مقدار سوخت موردنیاز برای احتراق را مطابق با نسبت جریان هوا محاسبه می‌نماید. • پردازشگر موتور در مقایسه با مقدار سوخت محاسبه‌شده یک سیگنال برای فعال کردن مدت زمان انژکتور ارسال می‌نماید. • پردازشگر موتور مقدار پاشش سوخت را براساس شرایط عملکردی موتور تصحیح می‌نماید.



شکل ۱۶ــ۵



شکل ۱۷ــ۵

۹ــ۵ــ عملکرد سیستم کنترل الکترونیکی پاشش بنزین

پردازشگر موتور، سیستم پاشش سوخت را برای کنترل ارسال سوخت بیشتر، تایمینگ جرقه، دور آرام و آلایندگی از طریق «حس کردن[۱] ــ تصمیم‌گیری[۲] ــ عمل کردن[۳]» به دقت کنترل می‌نماید.

پردازشگر موتور شرایط عملکرد بسیار دقیق ورودی‌هایی که از سنسورهای متعدد و سوئیچ‌ها دریافت می‌گردد را حس می‌نماید. پردازشگر موتور، اطلاعات دریافتی از سنسورها را برای تصمیم‌گیری با توجه به برنامه‌ریزی داخلی جمع‌آوری می‌نماید. سپس پردازشگر موتور سیگنال‌هایی را برای راه‌اندازی عملگرها تهیه می‌نماید (شکل ۱۸ــ۵).

شکل ۱۸ــ۵

۱ــ۹ــ۵ــ حس کردن : در سیستم‌های پاشش سوخت از انواع سنسورها استفاده می‌شود. سنسورها از نظر سیگنال ارسالی به پردازشگر موتور به چهار گروه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱ــ۱ــ۹ــ۵ــ سنسورهای روشن/ خاموش (On/Off) : سنسورهای روشن/ خاموش (on/off) که معمولاً آنها را ما به‌عنوان سوئیچ می‌شناسیم. و کاربرد آنها در سوئیچ کولر (A/C)، سوئیچ موقعیت دور آرام، سوئیچ فشار روغن فرمان هیدرولیک و ... می‌باشد.

ورودی این سنسورها از پردازشگر موتور در زمان خاموش بودن (OFF) ۵ ولت یا ولتاژ سیستم (ولتاژ باتری) و صفر ولت برای حالت روشن بودن (ON) می‌باشد. (حالت روشن (ON) زمانی است که مسیر سیستم الکتریکی توسط سوئیچ کامل می‌شود) (شکل ۱۹ــ۵).

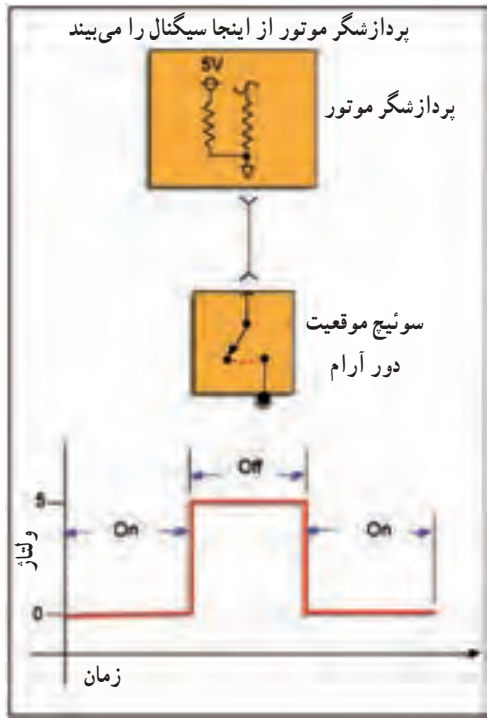
تجهیزات زیر می‌توانند سیگنال‌های این نوع از سنسورها را نمایش بدهند :

۱ــ Sense

۲ــ Decide

۳ــ Act

- ولت متر
- دستگاه عیب‌یاب (بعضی از سیگنال‌ها را نمایش می‌دهد)
- اسیلوسکوپ[1]



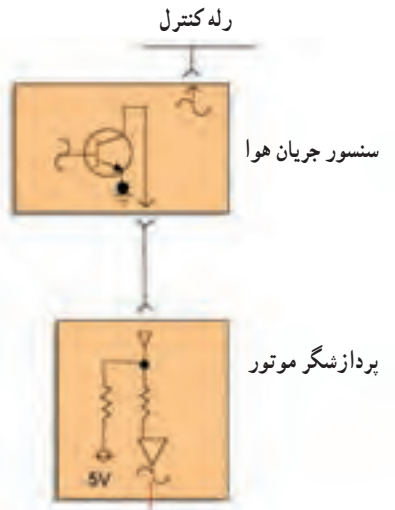
شکل ۱۹ــ۵

۲ــ۱ــ۹ــ۵ــ سنسورهای تولید فرکانس[2] : سنسورهای تولید فرکانس در سنسور جریان هوا، سنسور زاویه میل‌لنگ (دور موتور)، سنسور موقعیت میل سوپاپ و سنسور سرعت خودرو کاربرد دارد (شکل ۲۰ــ۵).

ورودی این سنسورها به پردازشگر موتور موج مربعی شکل (5V–0V–5V–0V...) با تغییرات فرکانس می‌باشد.

۱ــ An Oscilloscope

۲ــ Frequency Generating Sensors

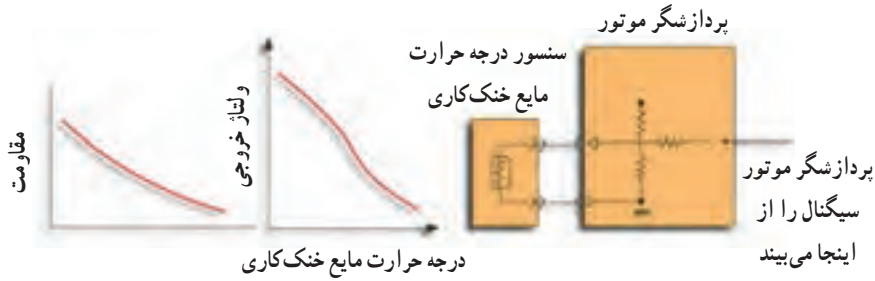


شکل ۲۰ــ۵

تجهیزات زیر می‌توانند سیگنال‌های این نوع از سنسورها را نمایش بدهند :

- بعضی از ولت مترها
- دستگاه عیب‌یاب (بعضی از سیگنال‌ها را نمایش می‌دهد)
- اسیلوسکوپ

۳ــ۱ــ۹ــ۵ــ سنسورهای مقاومت متغیر[۱] : سنسورهای مقاومت متغیر در دو نوع ترمیستور[۲]



شکل ۲۱ــ۵

۱ــ Variable Resistance Sensor

۲ــ Thermistors

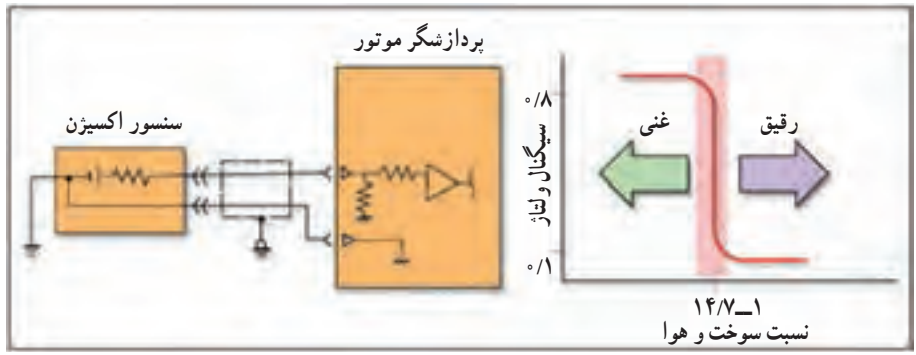
و پتانسیومتر[1] می‌باشند که در سنسور موقعیت دریچه گاز[2]، سنسور درجه حرارت مایع خنک‌کاری موتور[3] و سنسور درجه حرارت هوای ورودی[4] کاربرد دارد.

این نوع از سنسورها قسمتی از یک مدار می‌باشند که به پردازشگر موتور یک ولتاژ متغیر ارسال می‌نمایند، که معمولاً بین ۰ و ۵ ولت می‌باشد. در شکل ۲۱ــ۵ با تغییر مقاومت سنسور مقدار جریانی که به بدنه جاری می‌شود تغییر می‌نماید و این تغییرات به‌وسیله پردازشگر موتور تشخیص داده می‌شود.

تجهیزات زیر می‌توانند سیگنال‌های این نوع از سنسورها را نمایش بدهند.

- ولت متر دیجیتال
- دستگاه عیب‌یاب (بعضی از سیگنال‌ها را نمایش می‌دهد)
- یک اسیلوسکوپ

۴ــ۱ــ۹ــ۵ــ سنسورهای تولید ولتاژ[5] : سنسورهای تولید ولتاژ در سنسور اکسیژن[6] و سنسور خودسوزی[7] (ناک سنسور[8]) کاربرد دارند. ورودی این سنسورها به پردازشگر موتور به شکل سیگنال ولتاژ مطابق با پارامتر اندازه‌گیری می‌باشد. برای مثال سیگنال سنسور اکسیژن می‌تواند بین ۰ و ۱ ولت مطابق با نسبت سوخت و هوا در مدت احتراق باشد (شکل ۲۲ــ۵).



شکل ۲۲ــ۵

۱ــ Potentiometers

۲ــ Throttle Position Sensor (TPS)

۳ــ Coolant Temperature Sensor

۴ــ Intake Air Temperature Sensor

۵ــ Voltage Producing Sensors

۶ــ Oxygen Sensor

۷ــ Detonation Sensor

۸ــ Knock Sensor

تجهیزات زیر می‌توانند سیگنال‌های این نوع از سنسورها را نمایش بدهند :

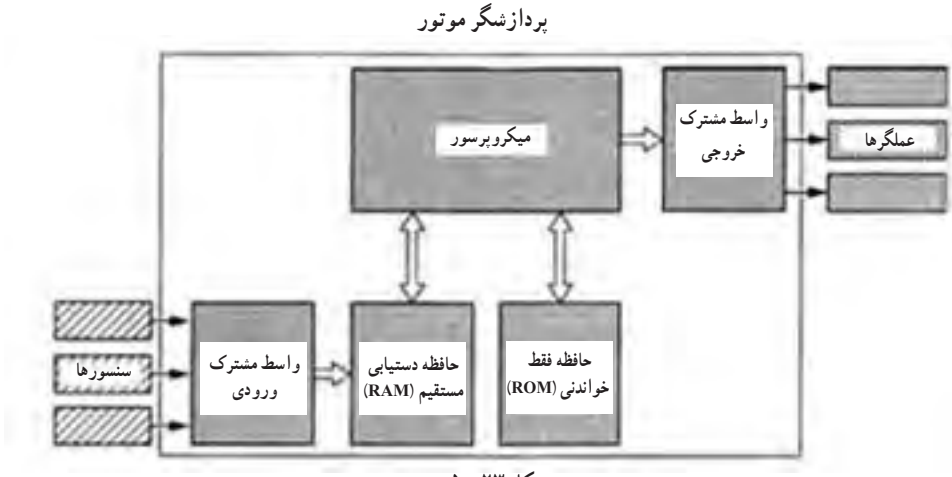
- ولت‌متر دیجیتال
- دستگاه عیب‌یاب (بعضی از سیگنال‌ها را نمایش می‌دهد)
- یک اسیلوسکوپ

۲ــ ۹ ــ ۵ــ تصمیم‌گیری : پردازشگر موتور براساس اطلاعات برنامه‌ریزی شده در داخل حافظه خود تصمیم‌گیری اولیه را انجام می‌دهد. در داخل پردازشگر موتور سه نوع حافظه وجود دارد (شکل ۲۳ــ۵).

۱ــ۲ــ۹ــ۵ــ حافظه فقط خواندنی[1] (ROM) : حافظه فقط خواندنی برنامه داخلی دائمی را ذخیره می‌نماید. حافظه فقط خواندنی برای نگه‌داشتن اطلاعات خودنیازی به برق باتری ندارد.

۲ــ۲ــ۹ــ۵ــ حافظه دستیابی مستقیم[2] (RAM) : این نوع از حافظه اطلاعات سنسورها را در خود ذخیره می‌نماید، و برای به‌روز رسانی برنامه داخلی دائمی استفاده می‌گردد. و برای نگه‌داشتن اطلاعات نیاز به برق باتری دارد.

۳ــ۲ــ۹ــ۵ــ حافظه فلش[3] : حافظه‌ای که می‌توان مضمون اطلاعات را به‌صورت الکتریکی پاک یا دوباره رایت نمود.



شکل ۲۳ــ۵

۱ــ Read Only Memory (ROM)

۲ــ Random Access Memory

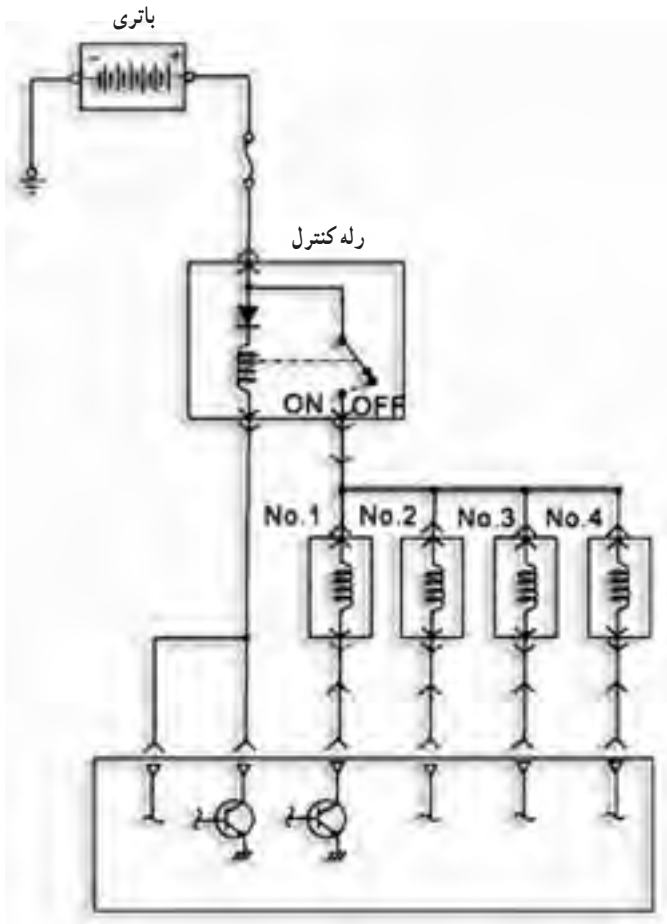
۳ــ Flash Memory

۳ــ۹ــ۵ــ عمل کردن : برای کامل شدن مراحل «حس کردن ــ تصمیم گیری ــ عمل کردن»، پردازشگر موتور سیستم‌های موتور را با استفاده از وسایل الکتریکی به نام عملگر کنترل می‌نماید.

برای کنترل عملگرها پردازشگر موتور ممکن است مدار تغذیه (برق مثبت) یا مدار بدنه (منفی) را کنترل نماید. امروزه در بیشتر خودروها پردازشگر موتور مدار بدنه را کنترل می‌نماید.

۱ــ۳ــ۹ــ۵ــ مدار انژکتور: مدار انژکتور (پا شش سوخت) یک مثال از کنترل مدار بدنه عملگر توسط پردازشگر موتور می‌باشد (شکل ۲۴ــ۵).

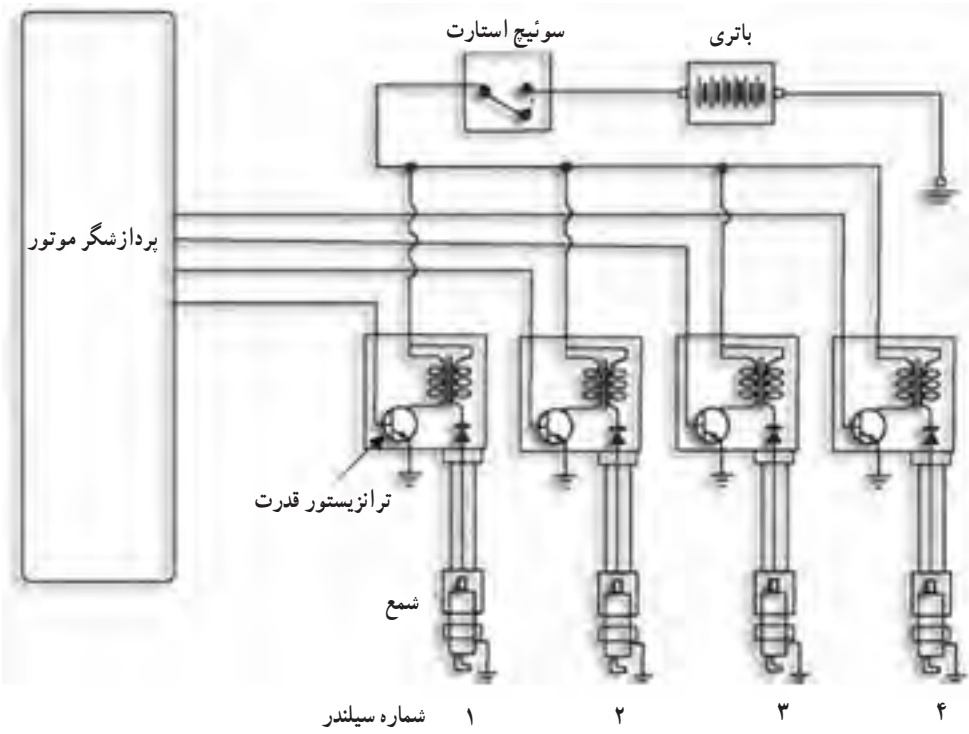
ولتاژ مثبت باتری از طریق رله به همه انژکتورها در زمانی که کلید استارت (سوئیچ) در حالت روشن (ON) یا استارت (START) قرار دارد جریان می‌یابد.



شکل ۲۴ــ۵

برای فعال شدن یک انژکتور (روشن شدن انژکتور)، پردازشگر موتور مدار بدنه انژکتور را کامل می‌نماید. در نتیجه جریان از طریق سیم‌پیچ انژکتور جاری شده که باعث باز شدن یک سوپاپ سوخت و نازل می‌شود.

پردازشگر موتور اجازه می‌دهد جریان به انژکتور سوخت برای یک مقدار دقیق از زمان جاری گردد. مقدار تغذیه سوخت به‌وسیله زمان روشن انژکتور (ON) تعیین می‌گردد که به مقدار میلی ثانیه می‌باشد.



شکل ۲۵ــ۵

۲ــ۳ــ۹ــ۵ــ مدار ترانزیستور قدرت[۱] : مدار ترانزیستور قدرت نمونه دیگری از کنترل مدار بدنه عملگر از طریق یک سوئیچ الکتریکی (ترانزیستور قدرت) توسط پردازشگر موتور می‌باشد. (شکل ۲۵ــ۵)

پردازشگر موتور به‌صورت الکتریکی مدار بدنه کویل جرقه را از طریق کنترل نمودن ترانزیستور

۱ــ Power Transistor

قدرت باز و بسته می‌نماید. پایه ترانزیستور قدرت از طریق پردازشگر موتور فعال می‌شود. زمانی که ترانزیستور قدرت روشن می‌شود، جریان از طریق سیم‌پیچ اوّلیه کویل به بدنه جاری می‌شود.

پردازشگر موتور پایه ولتاژ مرجع روی ورودی سنسور و برنامه داخلی را کنترل می‌نماید. ترانزیستور قدرت در بعضی از خودروها در داخل پردازشگر موتور، در داخل کویل جرقه یا روی محفظه موتور قرار دارد.

۴ــ۹ــ۵ــ بازخورد کنترل[1] : سنسور اکسیژن، سنسور خودسوزی (سنسور ضربه) و تعداد دیگری از سنسورهای موقعیت، نتایج تصمیم پردازشگر موتور را توسط یک بازخورد به پردازشگر موتور ارسال می‌نمایند.

این بازخورد کنترل به پردازشگر موتور اجازه می‌دهد تغذیه سوخت، تایمینگ جرقه و هوای دور آرام را تنظیم کند (شکل ۲۶ــ۵).

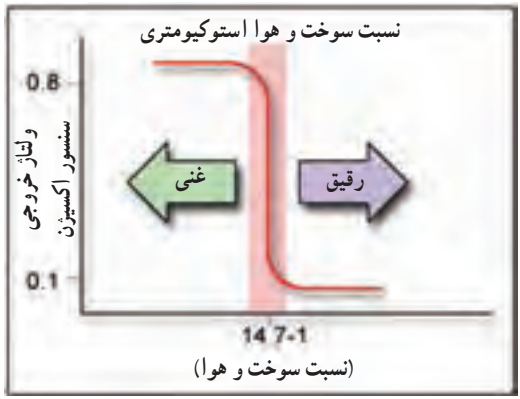
شکل ۲۶ــ۵

۱ــ۴ــ۹ــ۵ــ کنترل بازخورد تغذیه سوخت : سنسور اکسیژن در قسمتی از مسیر اگزوز قرار گرفته و یک سیگنال بین یک و صفر ولت که مربوط به مقدار اکسیژن باقی‌مانده در دودهای خروجی است، تولید می‌نماید. پردازشگر موتور با استفاده از این سیگنال‌ها برنامه تغذیه سوخت را تنظیم می‌نماید. سیگنال بین ۱ (یک) و ۰/۵ ولت نشانگر غنی بودن مخلوط سوخت و هوا و سیگنال ۰/۵ و ۰ (صفر) نشانگر رقیق بودن مخلوط سوخت و هوا می‌باشد (شکل ۲۷ــ۵).

مطابق با سیگنال سنسور اکسیژن تغذیه سوخت تنظیم می‌شود، سنسور اکسیژن سریعاً و همیشه

۱ــ Feed back control

یک سیگنال به‌روزشده تولید می‌نماید. پردازشگر موتور پیوسته به سیگنال به روز شده در یک کنترل بازخورد (حلقه بسته[1]) پاسخ می‌دهد.



شکل ۲۷ــ۵

۲ــ۴ــ۹ــ۵ــ بازخورد تایمینگ

جرقه : سنسور ضربه بر روی بلوکه سیلندر یا سرسیلندر بسته می‌شود و لرزش موتور را با یک فرکانس خاص آشکار می‌کند. هر زمان که خودسوزی به‌وجود می‌آید، این سنسور سیگنال‌های ارسالی به پردازشگر موتور را افزایش می‌دهد. پردازشگر موتور در پاسخ به افزایش سیگنال‌های ورودی از این سنسور، تایمینگ جرقه را ریتارد می‌نماید.

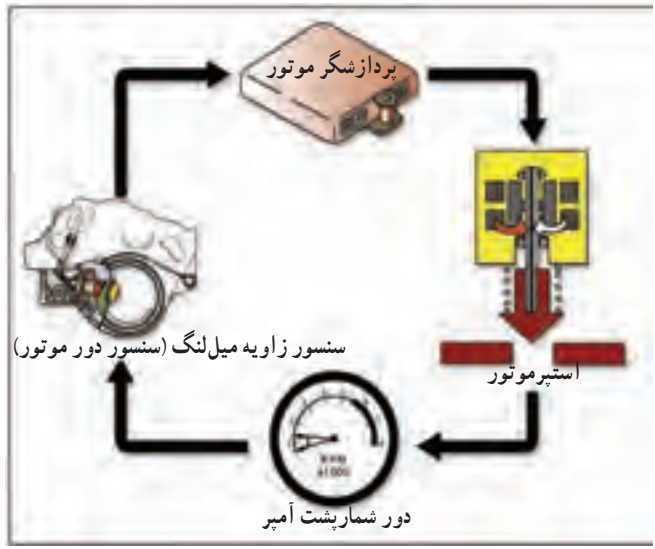
زمانی‌که لرزش موتور کاهش پیدا می‌کند و به سطح نرمال باز می‌گردد، تایمینگ جرقه مطابق با کنترل پردازشگر موتور به حالت آوانس برمی‌گردد.

فرایند نشان داده شده، تشخیص خودسوزی و تنظیم تایمینگ جرقه به‌صورت مداوم در یک مکانیزم کنترلی به‌صورت حلقه بسته انجام می‌شود (شکل ۲۸ــ۵).

شکل ۲۸ــ۵

۱ــ Closed Loop

۳ــ۴ــ۹ــ۵ــ بازخورد دور آرام: زمانی‌که پردازشگر موتور سیگنال‌هایی به استپر موتور(عملگر) به‌منظور افزایش مقدار هوای دور آرام می‌فرستد، سنسور زاویه میل‌لنگ (سنسور دور موتور) در پاسخ به این پیغام یک بازخورد کنترلی در جهت تکمیل این فرایند به موتور ارسال می‌نماید. پردازشگر موتور، معمولاً براساس سیگنال ورودی از سنسور زاویه میل‌لنگ (سنسور دور موتور) جریان هوای دور آرام را تنظیم می‌نماید. به هرحال برنامه کنترلی دور آرام پردازشگر موتور، زمانی که دریچه گاز کاملاً بسته می‌باشد فعال می‌گردد (شکل ۲۹ــ۵).



شکل ۲۹ــ۵

۵ــ۹ــ۵ــ عملکرد پردازشگر موتور :

انواع حافظه

- ***حافظه فقط خواندنی (ROM)***
- ***حافظه دستیابی مستقیم (RAM)***
- ***حافظه فلش***

امروزه از یک حافظه دیگر به نام حافظه انطباقی[1] نیز استفاده می‌نمایند که یک قسمت از

۱ــ Adaptive Memory

حافظه دستیابی مستقیم (RAM) بوده و در صورتی که کابل باتری قطع شود اطلاعات این حافظه پاک می‌شود.

❊ کد خطا[1]: کدهای خطا توسط دستگاه عیب‌یاب خوانده می‌شوند و معرف ایراد در مدار بوده و یا اینکه پردازشگر موتور نمی‌تواند عملکرد خود را به‌طور دقیق انجام دهد می‌باشد. در اکثر کدهای خطا لامپ عیب‌یابی[2] روشن می‌شود و پردازشگر موتور در حالت ایمنی در (وجود عیب) قرار می‌گیرد. امروزه از کدهای چهاررقمی استفاده می‌شود ولی قبلاً از کدهای دو رقمی استفاده می‌گردید. نمونه‌ای از کدهای خطای دو رقمی در جدول‌های زیر ذکر شده است.

❊ کدهای خطای دو رقمی

ردیف	آیتم عیب	کد خطا		آیتم مورد بررسی
		شماره	حافظه	
۱	پردازشگر موتور	ــ	ــ	(تعویض پردازشگر موتور)
۲	سنسور اکسیژن (جلو)	۱۱	مثبت	• کانکتور یا دسته سیم • سنسور اکسیژن • فشار سوخت • انژکتورها • نشتی در مانیفولد هوا
۳	سنسور جریان هوا	۱۲	مثبت	• کانکتور یا دسته سیم • سنسور جریان هوا
۴	سنسور دمای هوای ورودی	۱۳	مثبت	• کانکتور یا دسته سیم • سنسور دمای هوای ورودی

۱ــ Diagnosis Code

۲ــ Check Engine Lamp

code No.	Diagnosis item	Engine Warning Lamp
–	Engine–A/T–ECU پردازشگر موتور	ON
P0102 *1	Air flow circuit low input ولتاژ کم ورودی مدار جریان هوا	ON
P0103 *1	Air flow circuit high input ولتاژ زیاد ورودی مدار جریان هوا	ON
P0107	Manifold absolute pressure circuit low input ولتاژ کم ورودی مدار فشار مطلق مانیفولد	ON

شکل ۳۰ـ۵

۶ـ۹ـ۵ـ لامپ «عیب‌یابی موتور[1]»: زمانی که یک کد خطا ذخیره می‌شود، پردازشگر موتور لامپ عیب‌یابی موتور را روشن می‌نماید (شکل ۳۰ـ۵). کد خطا مستقیماً با استفاده از برق باتری ذخیره می‌شود و زمانی که سوئیچ جرقه در حالت خاموش off قرار می‌گیرد کد خطا پاک نمی‌شود. به هرحال اگر یک ایراد داخلی رخ دهد، لامپ عیب‌یابی روشن شده و سپس خاموش می‌گردد و کد خطا در حافظه ذخیره می‌شود.

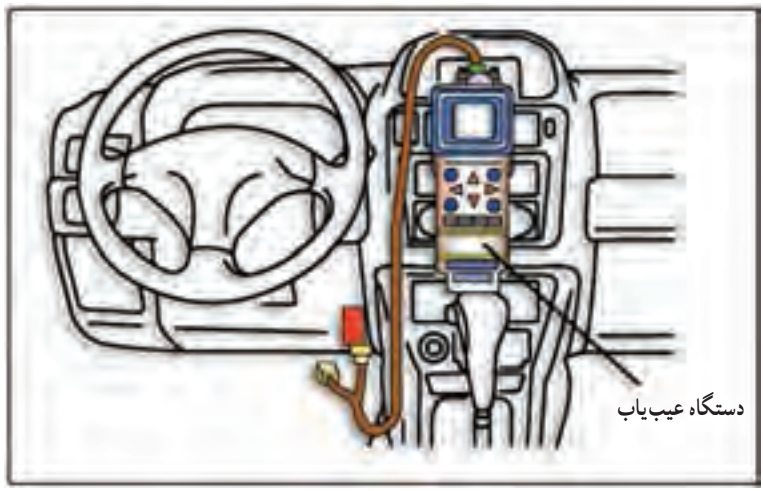
اگر یک قطعه اصلی در سیستم کنترل موتور معیوب گردد، پردازشگر موتور در حالت خود عیب‌یابی قرار می‌گیرد تا موتور به کار خود ادامه دهد.

اگر مدار یک قطعه اصلی مانند سنسور زاویه میل‌لنگ (دور موتور) معیوب شود، پردازشگر موتور نمی‌تواند سیستم جرقه و کنترل سوخت را راه‌اندازی نماید.

۱ـ Check Engine Lamp

۷ــ۹ــ۵ــ دستگاه عیب‌یاب: در حال حاضر دستگاه‌های عیب‌یاب به‌طور مستقیم به پردازشگر موتور متصل می‌شوند. کانکتور عیب‌یاب در خودروهای جدید به‌صورت ۱۶ پین می‌باشند که در شکل ۳۱ــ۵ به نمایش درآمده‌اند در بعضی از خودروهای قدیمی از کانکورهای عیب‌یاب دو پین یا دوازده پین نیز استفاده می‌گردید. امروزه دستگاه‌های عیب‌یاب خواندن کدهای خطا، پاک کردن کدهای خطا، اطلاعات سرویس (اطلاعات سنسورها)، تست عملگرها به‌صورت دستی و برنامه‌ریزی پردازشگر موتور، سیستم ایموبلایزر (تعریف کلید) و ... را انجام می‌دهند (شکل ۳۲ــ۵).

شکل ۳۱ــ۵ــ کانکتور عیب‌یابی (DLC)[۱]



شکل ۳۲ــ۵ــ دستگاه عیب‌یاب

۱ــData Link Connector (DLC)

۱۰ــ۵ــ انواع سیستم کنترل الکترونیکی پاشش سوخت

انواع مختلفی از دیاگرام‌های سیستم کنترل الکترونیکی پاشش سوخت موتورهای بنزینی در شکل‌های ۳۳ــ۵ الی ۳۸ــ۵ نشان داده شده است. هر دیاگرام قطعات سیستم کنترل الکترونیکی پاشش سوخت را نشان می‌دهد، پردازشگر موتور سیگنال‌ها را از سنسورهای مختلف دریافت می‌نماید و عملگرهای مختلف را راه‌اندازی (فعال) می‌نماید.

جدول ۲ــ۵

پاشش مستقیم	کنترل پاشش توسط فشار مانیفولد ورودی	LH–Jetronic	L–Jetroni	پاشش مرکزی	سیستم
پمپ فشار بالا، عملگر و سنسور فشار	ریل سوخت و انژکتورهای الکتریکی				ویژگی‌های خارجی
	سنسور فشار مانیفولد هوای ورودی	سنسور جرم هوا	سنسور جریان هوا	واحد پاشش مرکزی	
پاشش مستقیم	پاشش غیرمستقیم				نوع پاشش
داخل سیلندر	قبل از سوپاپ ورودی			قبل از دریچه گاز	محل انژکتور
مطابق با تعداد سیلندرها				پاشش سوخت تک انژکتور	تعداد انژکتور
بر طبق مشخصات سیلندر	ترتیبی	ترتیبی	گروهی	با سنجش زمان	ترتیب پاشش
محاسبات براساس گشتاور (جرم هوای ورودی ـ دور موتور)	● فشار مانیفولد ورودی ● دور موتور	● جرم هوا ● دور موتور	● جریان هوا ● دور موتور	● زاویه دریچه گاز ● دور موتور	کنترل اصلی متغیر