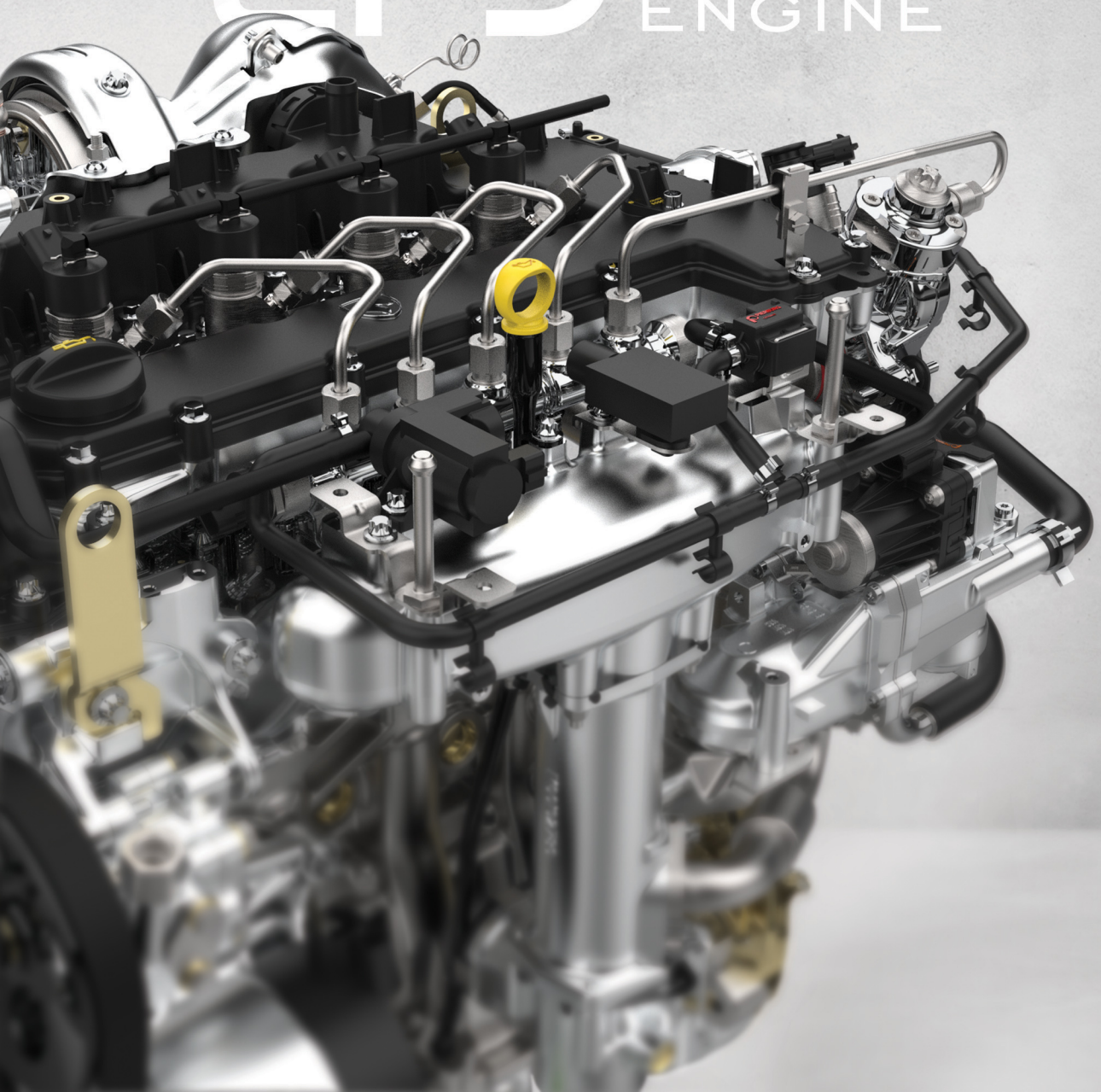
موتور دیزل

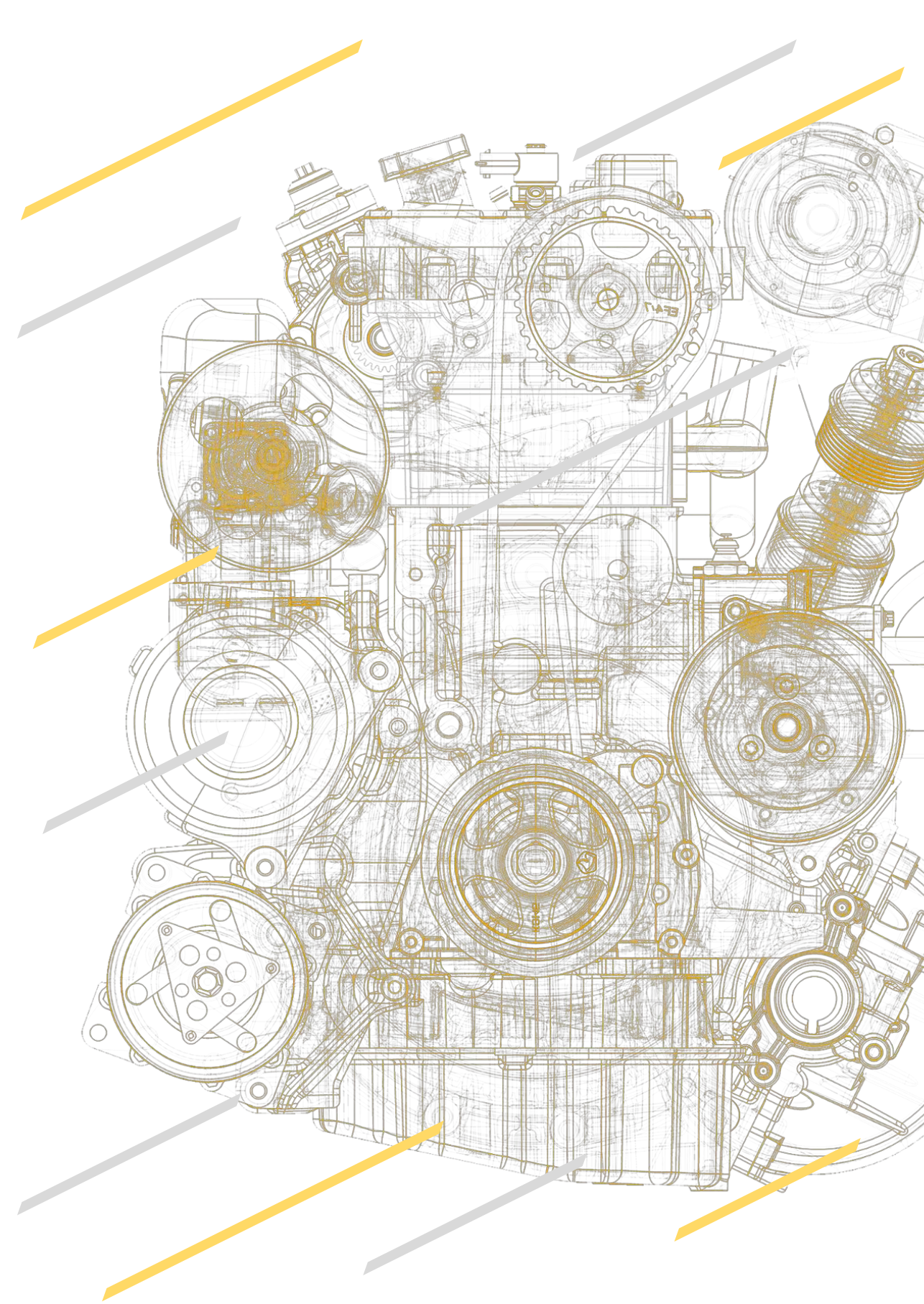
طراحی و توسعه اولین پیشرانه دیزل سواری توسط متخصصین ایرانی

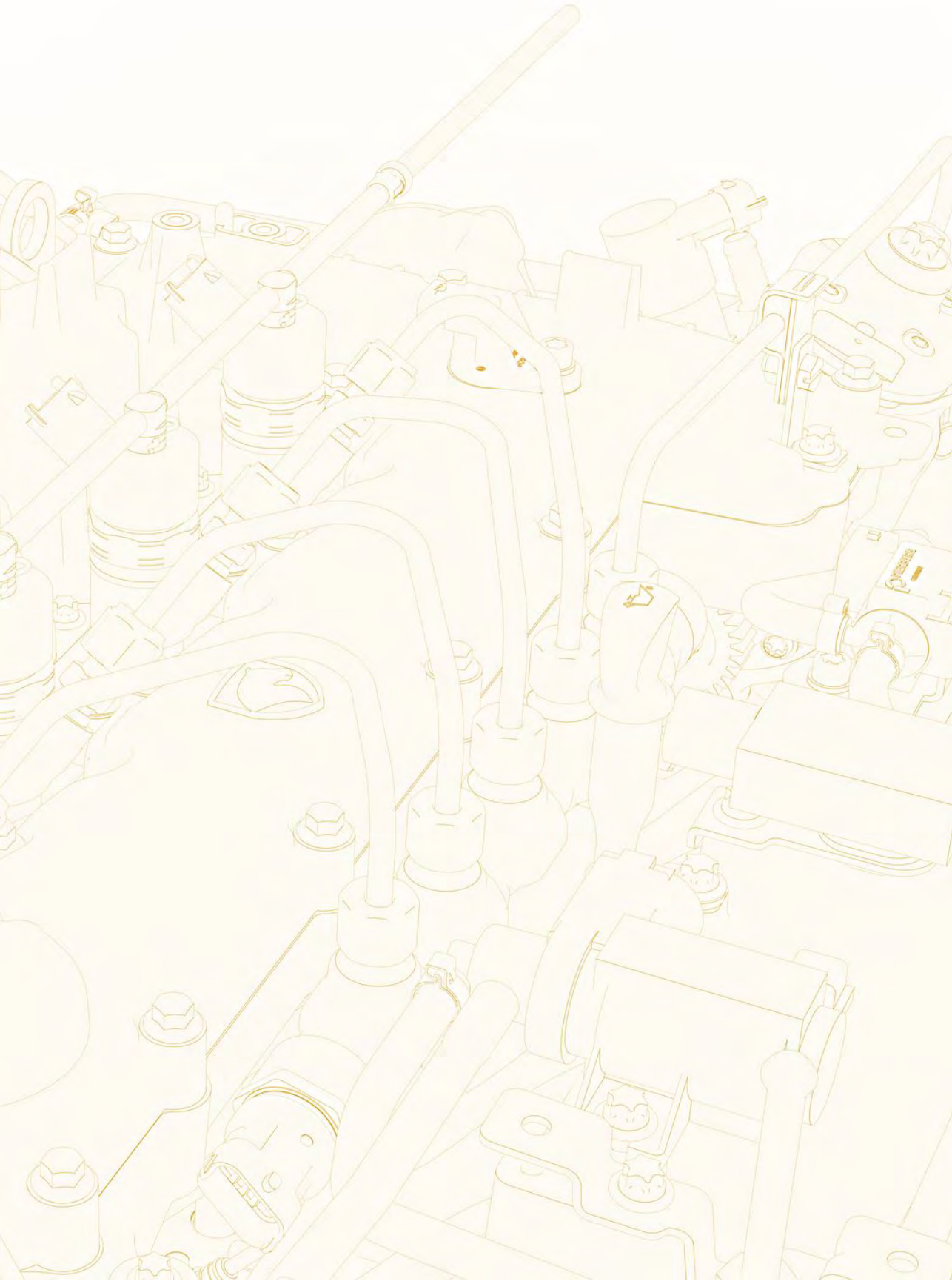
زیر نظر سید مصطفی میرسلیم و با همکاری جمعی از نویسندگان

ED DIESEL ENGINE



IPCO





موتور دیزل

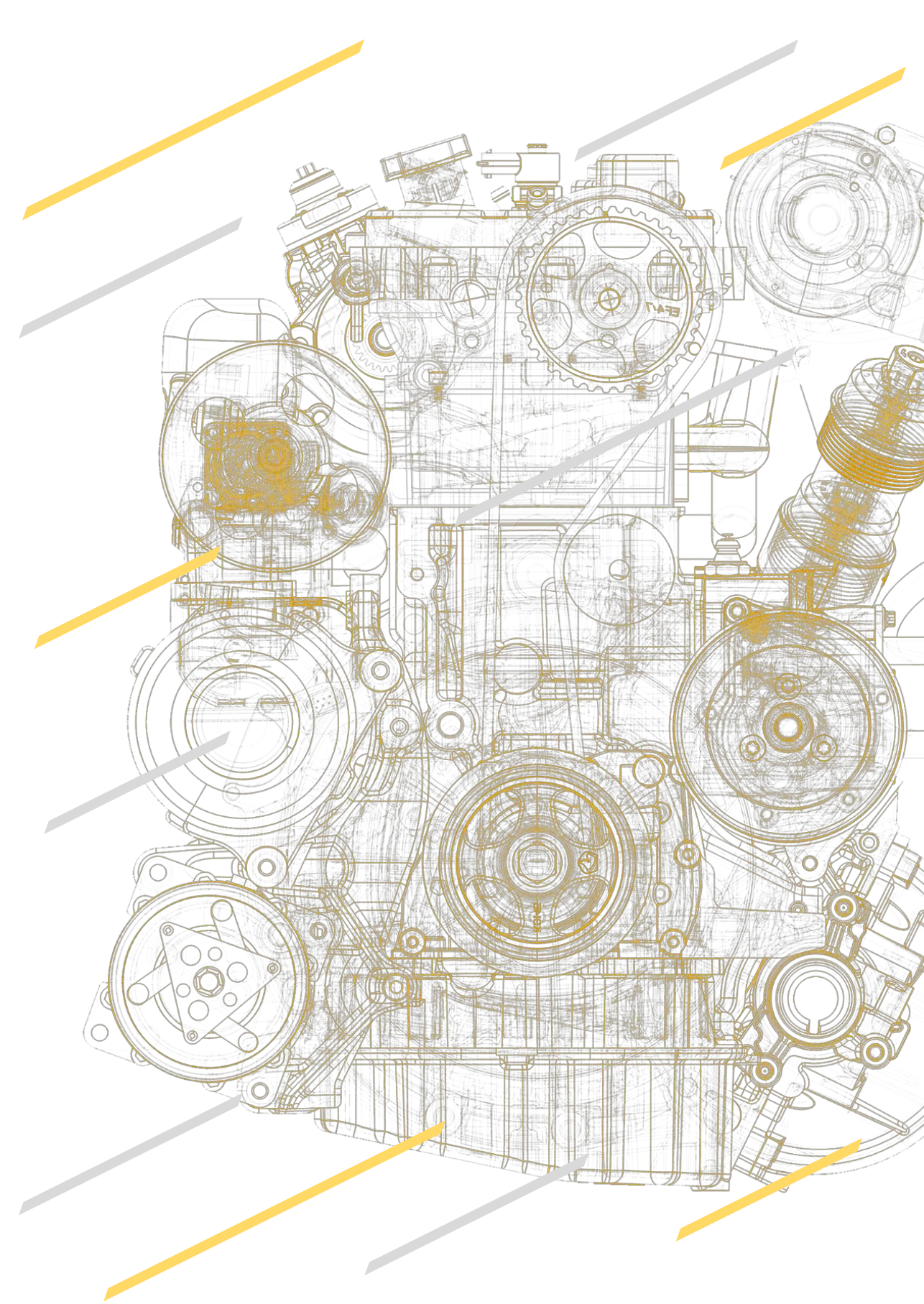
مبانی طراحی و توسعه

به کوشش:

دکتر سید محمد جعفری، مهندس محمد کاظمی

و جمعی از نویسندگان

۱۴۰۲



عنوان و نام پدیدآور: مبانی طراحی و توسعه موتور ملی دیزل/ سید محمدجعفری، محمد کاظمی و جمعی از نویسندگان
مشخصات نشر: تهران، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۵۲۶ صفحه، صفحه مصور دارد، نمودار رنگی دارد.
شابک: 978-622-92866-2-3
وضعیت فهرست نویسی:
موضوع: مبانی طراحی و توسعه موتور ملی دیزل
شناسه افزوده: جعفری، سید محمد
شناسه افزوده: کاظمی، محمد
شناسه افزوده: میرسلیم، سید مصطفی
شناسه افزوده: شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودر
رده بندی کنگره:
رده بندی دیویی:
شماره کتاب شناسی ملی:
اطلاعات رکورد کتاب شناسی:
تاریخ درخواست:
تاریخ پاسخگویی:
کد پیگیری:

مبانی طراحی و توسعه
موتور ملّی دیزل

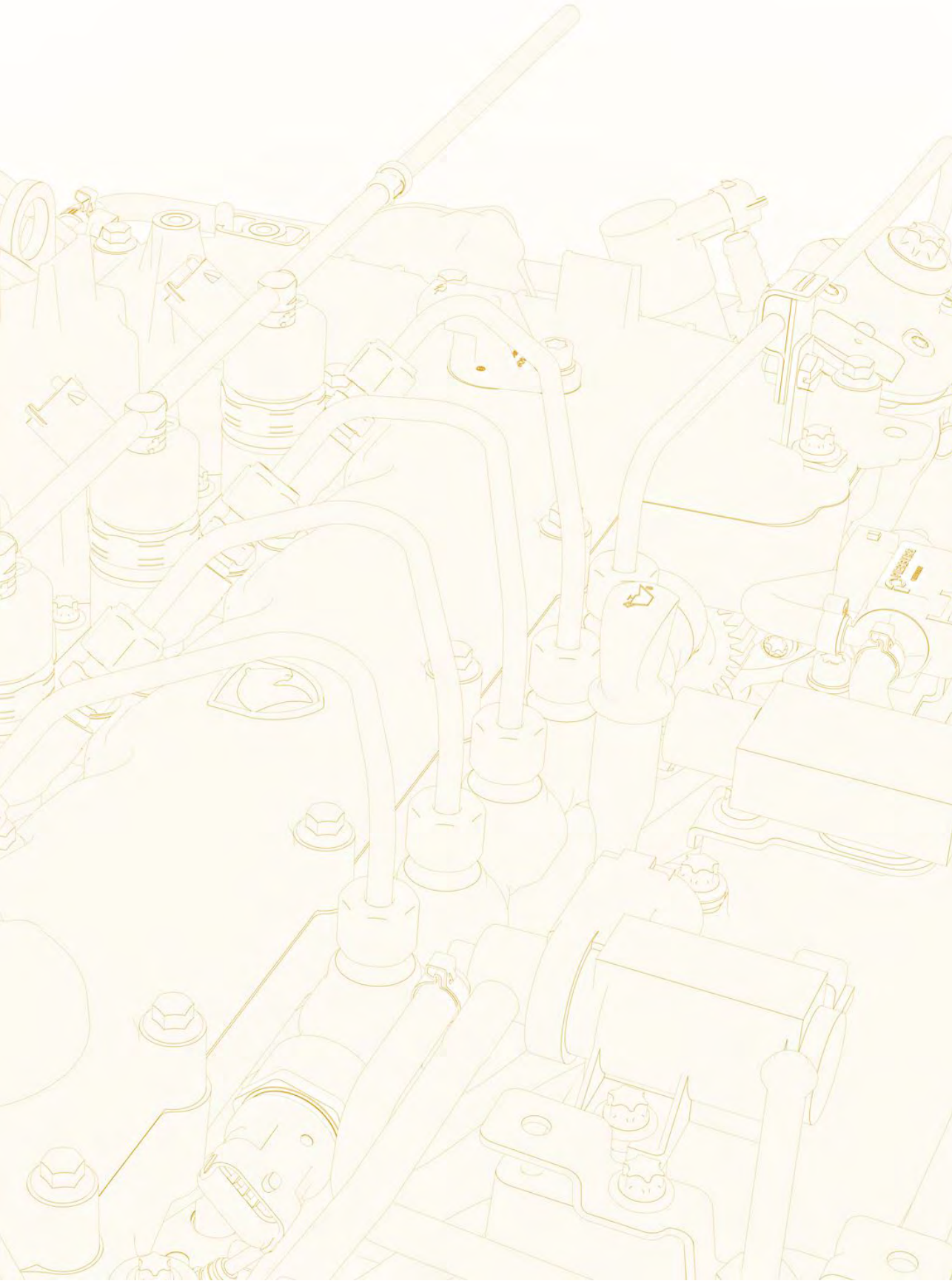
به کوشش:
دکتر سید محمد جعفری و مهندس محمد کاظمی و جمعی از نویسندگان
سر ویراستار: سید مصطفی میرسلیم

چاپ نخست ۱۴۰۲
صفحه آرایی: مجید نعیمایی عالی
مدیرهنری: احسان نعیمی
تیراژ: ۵۰۰ نسخه

انتشار این کتاب به صورت الکترونیکی بر روی وبگاه رسمی شرکت می‌باشد.
حق چاپ محفوظ است.

کیلومتر ۶ بزرگراه شهید لشگری - شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو
کدپستی: ۱۳۹۸۸۱۳۷۱۱ تلفن: ۴-۴۴۵۲۰۸۸۲ نمابر: ۴۴۵۲۰۸۸۰

WWW.IP-CO.COM



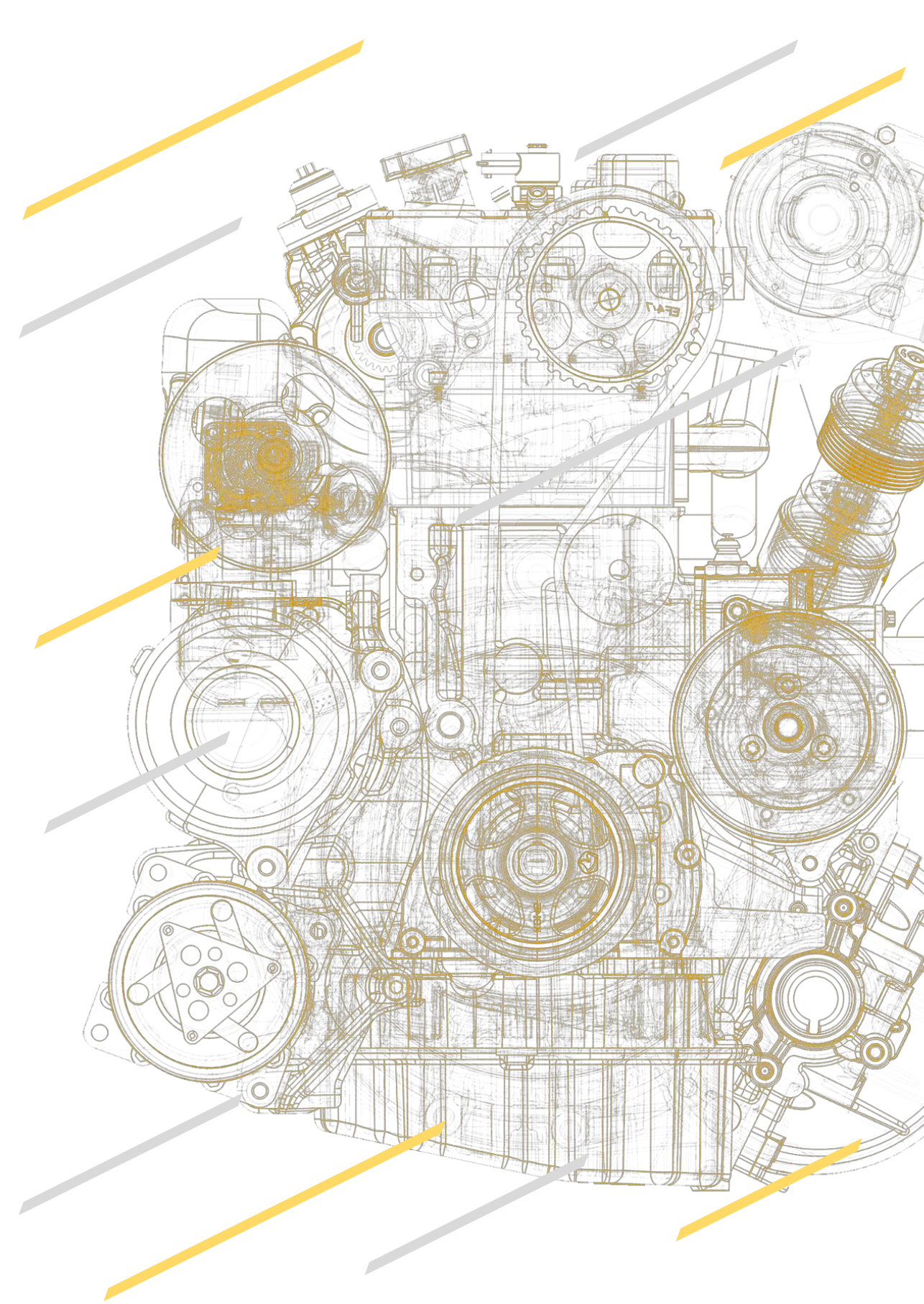
گروه نویسندگان

عناوین فصل‌ها	نویسندگان
فصل اول: آشنایی کلی با طرح موتور دیزل سواری:	محمد زالی
فصل دوم: توسعهٔ احتراق:	مجید کرباسی فروش‌ها
فصل سوم: شبیه‌سازی در فرایند طراحی و توسعهٔ محصول:	یعقوب عباس زاده
فصل چهارم: اصول طراحی موتور دیزل سواری:	احسان ذاکری
فصل پنجم: جانمایی و تطابق موتور:	رضا آرادمهر
فصل ششم: نگاشت و سامانهٔ مدیریت موتور:	جواد حاجی بابائی
فصل هفتم: فرآیند انتخاب سازندگان و تأمین قطعات:	حجت نوری بنوار ناظر
فصل هشتم: استانداردسازی:	امین رضایی– علی رضا کیوانی‌نژاد
فصل نهم: آزمون‌ها و صحه‌گذاری:	سعید عبدالملکی
فصل دهم: تولید موتور:	امین رضایی
فصل یازدهم: بهبود مستمر کیفیت محصول:	علی رضا کیوانی‌نژاد
فصل دوازدهم: خدمات پس از فروش:	علی رضا کیوانی‌نژاد

گروه ویراستاری:

سر ویراستار: مهندس سید مصطفی میرسلیم (استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

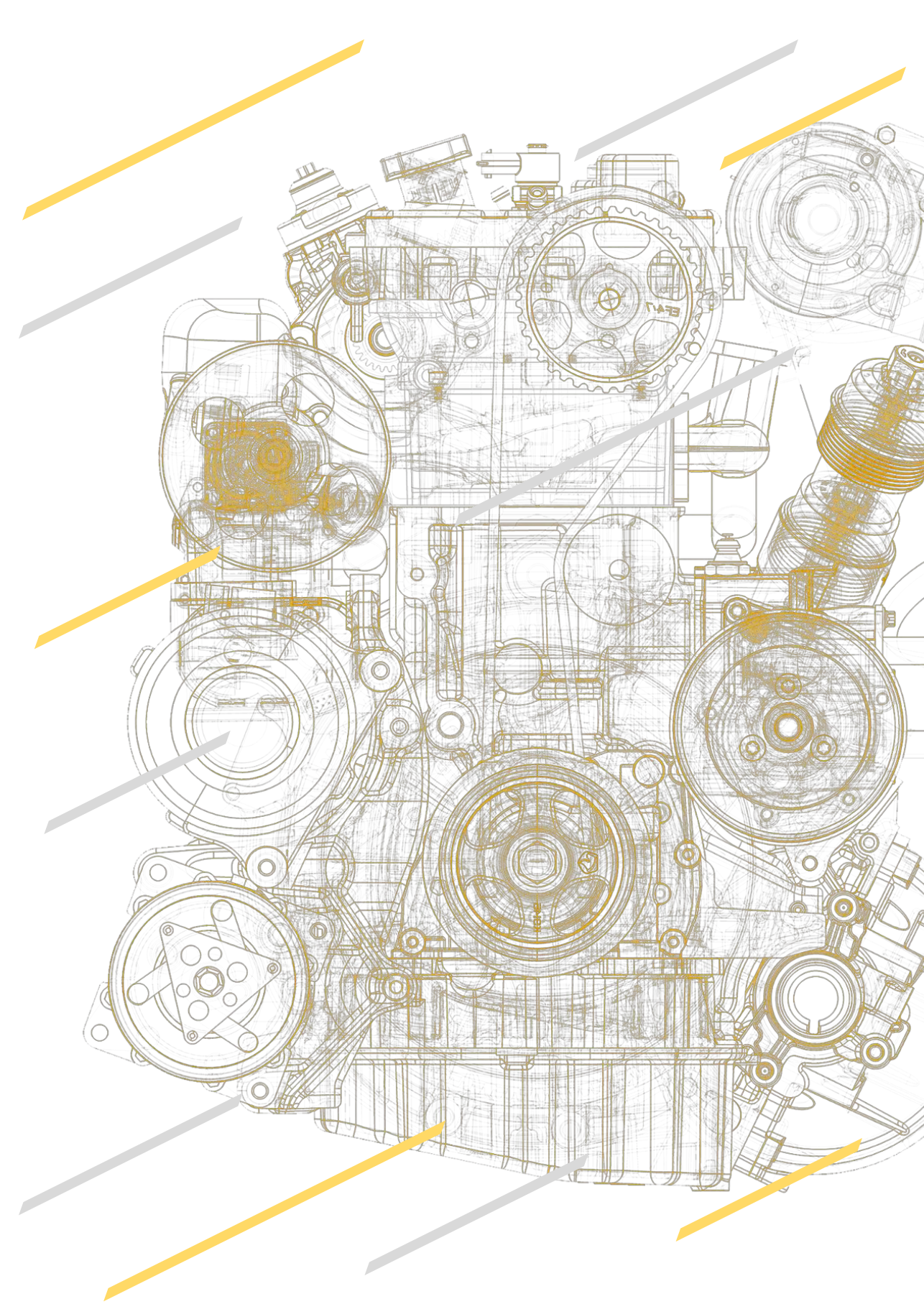
مهندس مجید نعیمایی و مهندس احسان نعیمی (شرکت تحقیق، طراحی و تولسد موتور ایران خودرو)



سخنی با خوانندگان

کتاب حاضر، حاصل تلاش جمعی از مهندسان باتجربهٔ صنعت خودرو و استادان دانشگاه در زمینهٔ قوای محرکهٔ دیزل است. این نوشتار بر مبنای تجربیات گروه توسعه و طراحی قوای محرکهٔ ملی شکل گرفته است و تلاش شده تا تجربیات و درس‌آموخته‌های این نفرات با زبانی ساده و قابل فهم برای خوانندگان بیان شود. در حین نگارش سعی شده است ویژگی خودآموزی کتاب تا حدود مناسبی حفظ شود تا جایی که افراد بدون نیاز به مقدمات مطالعاتی خاص، بتوانند از قسمت‌های مختلف کتاب بهره‌مند شود.

به دلیل پاسداشت زبان فارسی سعی شده تا از واژه‌های فارسی برای کلمات بیگانه استفاده شود. استفادهٔ نویسندگان از واژگان فارسی نه تنها در این کتاب، بلکه در گفت و شنود عادی نیز انجام می‌شد تا بتوان اینگونه واژگان را در اشارات عامیانه و مهندسی، پراستفاده و رواج‌یافته نمود. به منظور آشنایی با معادل انگلیسی واژگان، سعی شده تا معادل انگلیسی آن در زیرنویس بیان شود. در اینجا بر خود لازم می‌دانیم تا از تلاش‌های تمامی افرادی که به هر دلیل در نگارش این کتاب مؤثر بوده‌اند و نامشان به دلیل جداشدن از جمع نویسندگان و یا عدم دسترسی به ایشان در قسمت‌های مختلف کتاب ذکر نشده است، تشکر و قدردانی نماییم. مؤلفان تلاش کرده‌اند تا مفاهیم طراحی و توسعهٔ محصول قوای محرکهٔ دیزل در اختیار جوانان این مرز و بوم قرار گیرد و حس اعتماد به نفس در کنار آموزش، معجونی اثربخش برای خلق آثاری ماندگار در ایشان ایجاد کند.



فهرست

فصل اول

آشنایی کلی با طرح موتور دیزل سواری ۳

۱-۱- پیشگفتار ۵

۱-۲- گام نخست: دهۀ پس از هشتاد ۷

۱-۳- گام دوم: گزارش‌های توجیهی برای دولت و ساخت ۳ نمونۀ پژوهشی موتور دیزلی سبک ۷

۱-۴- مرحلۀ صنعتی‌سازی ۹

۱-۵- فرآیند تدوین کتاب موتور دیزل سبک سواری ۱۱

فصل دوم

توسعه احتراق ۱۵

۲-۱- پیشگفتار: جایگاه توسعۀ احتراق در طرح توسعۀ موتور ۱۷

۲-۲- اجزا و سامانه‌های مؤثر در احتراق موتور و ویژگی‌های آنها ۱۹

۲-۳- فرآیند احتراق موتور دیزل ۲۰

۲-۴- آلاینده‌های اکسیدهای ازت و دوده در موتور دیزل ۲۲

۲-۵- رویۀ توسعۀ احتراق موتور ۲۳

۲-۶- طراحی اجزا و سامانه‌های احتراقی موتور ۲۴

۲-۷- طراحی سنبه ۲۵

۲-۸- طراحی راهگاه‌های ورودی هوا ۳۰

۲-۹- طراحی سامانۀ پاشش سوخت ۳۲

۲-۱۰- تأمین قطعات و آماده‌سازی موتور برای آزمون‌های احتراقی ۳۳

۱۱-۲- آزمون‌های احتراقی موتور ۳۷

فصل سوم

شبیه‌سازی در فرایند طراحی و توسعهٔ محصول ٤٥

۳-۱- پیشگفتار ۴۷
۳-۲- شبیه‌سازی فرآیند تبادل گاز و عملکرد موتور ۴۸
۳-۳- تحلیل سه بعدی جریان هوا در چندراههٔ ورودی ۴۹
۳-۴- تحلیل سه بعدی جریان در چندراههٔ خروجی و واکنشگر شیمیایی ۵۰
۳-۵- محاسبات یک بُعدی خنک‌کاری ۵۱
۳-۶- تحلیل سه بعدی جریان سیال خنک‌کننده ۵۲
۳-۷- تحلیل یک بعدی روانکاری ۵۴
۳-۸- تحلیل یاتاقان‌های میل‌لنگ ۵۶
۳-۹- تحلیل تنش مکانیکی و حرارتی بدنه و بستار موتور ۵۷
۳-۱۰- تحلیل تنش مکانیکی و حرارتی چندراههٔ خروجی ۵۹
۳-۱۱- تحلیل تنش و خستگی دسته موتورها و نگهدارنده‌ها ۶۰
۳-۱۲- تحلیل تنش چرخ لنگر ۶۱
۳-۱۳- تحلیل تنش و ارتعاشات میل‌لنگ ۶۱
۳-۱۴- تحلیل تنش دسته سمبه ۶۴
۳-۱۵- تحلیل حرکتی بادامک و دریچه ۶۷
۳-۱۶- تحلیل نیرویی ساز و کار دریچه‌ها ۶۸
۳-۱۷- تحلیل تسمهٔ زمانبندی ۶۹

۱۸-۳- تحلیل صدا و ارتعاش بدنه، بستار و محفظهٔ روغن ۷۱
۱۹-۳- تحلیل ارتعاشی مجموعهٔ قطعات چندراههٔ ورودی هوا ۷۴
۲۰-۳- تحلیل ارتعاشی مجموعهٔ قطعات چندراههٔ خروجی دود ۷۶
۲۱-۳- آزمون‌های صدا و ارتعاش موتور ۷۷

فصل چهارم

اصول طراحی موتور دیزل سواری ۸۷

۱-۴- پیشگفتار ۸۹
۲-۴- طراحی قطعات پایینی موتور ۹۳
۳-۴- طراحی قطعات بالایی موتور ۱۳۳
۴-۴- طراحی قطعات جانبی موتور ۱۶۸

فصل پنجم

جانمایی و تطابق موتور ۲۲۳

۱-۵- پیشگفتار ۲۲۵
۲-۵- طراحی جعبه دندهٔ متناسب ۲۲۵
۳-۵- شاخص‌های راحتی رانندگی ۲۲۷
۴-۵- جانمایی و تطابق موتور روی خودرو ۲۲۸
۵-۵- سامانهٔ خنک‌کاری در طرح موتور ملی دیزل سواری ۲۲۸
۶-۵- سامانهٔ نگهدارندهٔ موتور ۲۳۱
۷-۵- سامانهٔ مجرای دود در موتور ملی دیزل ۲۳۳
۸-۵- سامانهٔ هوای ورودی به موتور ۲۳۶

۹-۵- سامانهٔ هوارسانی..... ۲۳۹
۱۰-۵- سامانهٔ سوخت‌رسانی موتور ۲۴۰

فصل ششم

نگاشت و سامانهٔ مدیریت موتور ۲۴۳

۱-۶- پیشگفتار..... ۲۴۵
۲-۶- معرفی اجزای سامانهٔ مدیریت موتورهای دیزل..... ۲۴۶
۳-۶- معرفی سامانهٔ مدیریت موتور..... ۲۴۶
۴-۶- معرفی رایانهٔ موتور ۲۴۸
۵-۶- برخی از ویژگی‌های فنی رایانهٔ موتور..... ۲۴۹
۶-۶- حسگرهای رایج در موتورهای دیزل ۲۵۰
۷-۶- معرفی عملگرهای متداول در موتورهای دیزل ۲۶۶
۸-۶- مهمترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل ۲۷۵
۹-۶- مبانی نگاشت و تنظیم رایانهٔ موتورهای دیزل..... ۳۲۶
۱۰-۶- ابزارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری عملیات نگاشت..... ۳۳۱
۱۱-۶- عیب‌یابی ۳۳۵

فصل هفتم

فرآیند انتخاب سازندگان و تأمین قطعات..... ۳۴۷

۱-۷- پیشگفتار..... ۳۴۹
۲-۷- داخلی‌سازی و تأمین قطعات ۳۵۰
۳-۷- انتخاب سازندگان ۳۵۱

۴-۷- تقسیم‌بندی قطعات ۳۵۱
۵-۷- ارزیابی سازندگان ۳۵۲
۶-۷- اعلام رسمی همکاری و بازخوردهای سازندگان ۳۵۲
۷-۷- تأمین قطعات ۳۵۳

فصل هشتم

استانداردسازی ۳۵۷
۱-۸ - پیشگفتار ۳۵۹
۲-۸- استانداردهای کیفی و صحه‌گذاری ۳۶۱
۳-۸- استانداردهای مواد ۳۶۲
۴-۸- استانداردهای قطعات استاندارد ۳۶۳
۵-۸- استانداردهای فرآیند ۳۶۴
۶-۸- استانداردهای عمومی ۳۶۴
۷-۸- استاندارد های مهندسی ۳۶۵
۸-۸- استاندارد مشخصات موادی نشیمنگاه دریچه‌های دود ۳۶۶

فصل نهم

آزمون‌ها و صحه‌گذاری ۳۷۱
۱-۹- پیشگفتار ۳۷۳
۲-۹- مفاهیم و تعاریف پایه در صحه‌گذاری موتور ۳۷۵
۳-۹- قابلیت اطمینان موتور دیزل سواری ۳۸۶
۴-۹- فعالیت گروه صحه‌گذاری در موتور دیزل سواری ۳۹۰

۵-۹- مشخصات موتور ملی دیزل سواری در پایان صحه‌گذاری نسل اول ۳۹۶
۶-۹- روش استخراج برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری موتور دیزل سواری ۳۹۷

فصل دهم

تولید موتور ٤٠١

۱-۱۰- پیشگفتار ۴۰۳
۲-۱۰- نخستین گام: امکان‌سنجی تولید ۴۰۴
۳-۱۰- شیوه‌نامهٔ همبندی موتور ۴۰۸
۴-۱۰- دومین گام: شناسایی آسیب‌های نهفتهٔ فرایند همبندی ۴۱۰
۵-۱۰- موازنهٔ ایستگاه‌ها ۴۱۲
۶-۱۰- فرایندهای همبندی ۴۱۲
۷-۱۰- مرحلهٔ ۱: توسعهٔ کیفی خط همبندی ۴۱۴
۸-۱۰- مرحلهٔ ۲: توسعهٔ کمّی خط همبندی ۴۱۵

فصل یازدهم

بهبود مستمر کیفیت محصول ٤١٩

۱-۱۱- پیشگفتار ۴۲۱
۲-۱۱- فرایند پذیرش قطعات تولیدی ۴۲۲
۳-۱۱- اجرای فرایند پذیرش قطعات تولیدی ۴۲۲
۴-۱۱- وضعیت فرایند پذیرش قطعات تولیدی مشتری ۴۲۳
۵-۱۱- برنامهٔ کیفیت طرح ۴۲۴
۶-۱۱- تعاریف و چگونگی محاسبهٔ شاخص‌های کیفی ۴۲۵

۷-۱۱- طراحی و توسعهٔ محصول ۴۲۵
۸-۱۱- تجاری سازی ۴۲۶
۹-۱۱- شاخص‌های درون کارخانه ۴۲۷
۱۰-۱۱- شاخص‌های کیفی محصول ۴۲۹
۱۱-۱۱- برنامهٔ زمانبندی طرح برای نمونه‌سازی در سه مرحله ۴۳۰
۱۲-۱۱- تعیین صلاحیت فرآیند در موتور دیزل ۴۳۲
۱۳-۱۱- شاخص‌های طرح کیفیت موتور ۴۳۵
۱۴-۱۱- آزمون‌های صحه‌گذاری موتور ۴۳۶

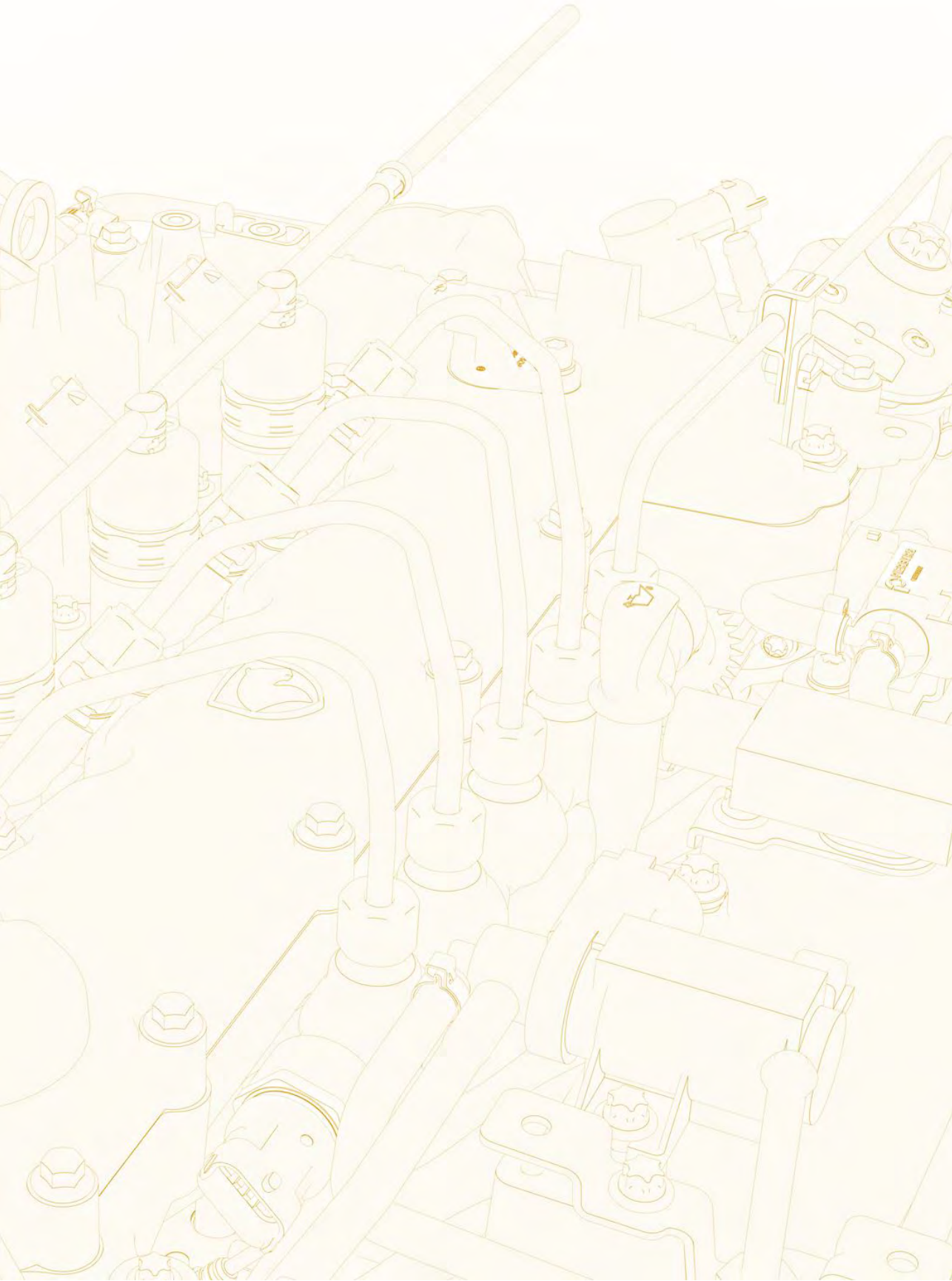
فصل دوازدهم

خدمات پس از فروش ٤٤٩

۱-۱۲- پیشگفتار ۴۵۱
۲-۱۲- مدارک و مستندات خدمات پس از فروش ۴۵۲
۳-۱۲- آموزش شبکهٔ نمایندگان ۴۵۳
۴-۱۲- آموزش نمایندگی‌های مجاز در سطح شبکه ۴۵۳
۵-۱۲- راهنمای تعمیرات مکانیکی موتور ملی دیزل ۴۵۴
۶-۱۲- مشخصات عمومی موتور ملی دیزلی ۴۵۴
۷-۱۲- مراحل هم‌بندی مجموعهٔ بستار ۴۵۶

پیوست

واژه‌نامه ٤٨٧



فصل اول

آشنایی کلی با طرح موتور دیزل سواری

۱-۱- پیشگفتار

خداوند هستی بخش را شاکریم که در همه حال لطفش شامل تمام انسان‌ها است و ما را هم از این لطف به طور ویژه بهره‌مند کرده است.

گروه مدیریت ایپکو در انتهای سال ۸۱ یعنی حدود ۵ سال پس از تأسیس مرکز تحقیقات موتور، اقداماتی بدین شرح انجام داد:

- تدارک و آموزش کارکنان
- الگوبرداری ساختاری از مراکز تحقیقاتی اروپا، آمریکا و روسیه
- شناسایی و تأمین تجهیزات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری
- اجرای طرح‌های پژوهشی با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی
- اجرای دوره‌های کارورزی
- وارد کردن رشته موتور در دفترچهٔ آزمون سراسری
- ایجاد زمینهٔ آموزش و تربیت نیروی انسانی
- تربیت اعضاء هیئت علمی در دانشگاه‌های داخل از طریق راتبه در سطوح کارشناسی ارشد، دکتری
- اتصال به دانشگاه‌های خارج از طریق پایان‌نامه و ایجاد فرصت مطالعاتی
- اجرای طرح‌های ارتقاء محصول موتور با اهداف کاهش مصرف سوخت و آلایندگی از طریق:

- استفاده از فناوری نوین بهینه‌سازی احتراق
- هوشمندسازی موتور
- بهبود وضعیت زینه‌بندی[1] موتور
- افزایش قابلیت اطمینان و صحه‌گذاری

علاوه بر اقدامات بیان شده و به طور همزمان، طرح‌های بهینه‌سازی موتورهای موجود را برای کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و افزایش عملکرد اجرا کردیم و طرح ملی طراحی و توسعهٔ خانواده موتور ملی در کشور را به تصویب دولت رساندیم.

به باور بعضی از بزرگان علمی تجربی، این طرح خانواده موتور ملی برای کشور ایران توانست یک زندگی دوباره[2] در موتور برای کشور به وجود بیاورد زیرا در انتهای دههٔ ۷۰ شمسی و قبل از تأسیس این مرکز از ابتدای تولد صنعت موتور در کشورهای غربی بیش از یکصد و اندی سال می‌گذشت، کشور ایران در این حوزه در رشته تحصیلی موتور در سطوح کارشناسی ارشد و دکتری در وزارت علوم و در دانشگاه‌های داخل کشور، مرکز پژوهشی، مرکز آزمون‌های صحه‌گذاری، شرکت یا مرکز طراحی و توسعه موتور، تربیت نیروی انسانی در این رتبه، استفاده از فناوری نوین از طریق طراحی در توسعهٔ موتور محروم بود. (برای شرح مفصل تاریخچهٔ این قسمت پیشنهاد می‌شود به کتاب "دانش و فناوری موتور ملی پایه گاز سوز" مراجعه شود).

بحمد الله در بهمن ماه سال ۱۳۷۶ با توکل بر خداوند و توسل به حضرت فاطمه زهرا سلام الله علیها که همیشه در ایام الله‌ها به اذن خداوند پناهگاه ما بود، مقدمات این دورهٔ زندگی دوباره با تأسیس مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو شکل گرفت و امروز با افتخار علاوه بر محصولاتی که از درون فرآیند طراحی و توسعه حاصل می‌شود، کشور ایران دارای مرکز تحقیقاتی رتبه‌دار جهانی و رتبهٔ اول منطقه در حوزهٔ موتور احتراق داخلی و دارای رشتهٔ موتور تا سطح عالی در دانشگاه‌های کشور و همچنین تربیت اعضاء هیأت علمی در این حوزه هستیم.

یکی از محصولات توسعه‌یافته در این مرکز که پس از طرح موتورهای ملی پایه گاز EF اقدام شد، طراحی و توسعهٔ موتور دیزل سواری EFD است که با همت و تلاش دانشمندان، مهندسان، کارشناسان و نخبگانی که این موتور را توسعه داده‌اند، کتاب حاضر تدوین شد و در این مقدمه، چکیده‌ای از روایت تاریخی طرح به نظر شما می‌رسد. شایسته است بیان شود که توسعهٔ موتوری مانند EFD نیاز به بیشتر از ۳۵ ماه زمان ندارد و سه مرحله‌ای که ذکر خواهد شد، بضاعت کشور ما را در امر توسعه ترسیم می‌کند. لذا دلیل طولانی شدن توسعهٔ موتور دیزل سواری را می‌توان در سنگ‌اندازی‌ها، نادانی و نفوذ دانست.

[1] Calibration
[2] Renaissance

ابتدا باید در مد نظر داشته باشیم که وقتی امروزه راجع به موتور احتراقی دیزلی گفتگو می‌شود باید اندیشهٔ شنونده را در خصوص تصور او دربارهٔ موتور دیزل قدیمی اصلاح کرد چرا که فناوری نوین، استانداردهای سخت‌گیرانه، آلایندگی و مصرف بسیار کم این موتورها به دوران گذشتهٔ موتورهای دیزلی وابسته نیست. علاوه بر آن افزایش عملکرد (قدرت، گشتاور و طول عمر محصول) نیز بسیار توسعه یافته است. اقدامات لازم را برای طراحی و توسعهٔ موتور دیزلی سبک و یا دوره بلوغ محصول موتور دیزلی سبک EFD می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد.

۲-۱- گام نخست: دههٔ پس از هشتاد

در سال ۱۳۸۴ وقتی که طرح خانواده موتور ملی گازسوز به مرحلهٔ نمونه‌سازی رسید، نیاز به موتور دیزلی سبک هم مطرح شد. بر اساس این نیاز، پیشنهاد استخراج یک موتور دیزلی از این خانواده موتور مطرح شد و نگاه به موتور دیزلی به گونه‌ای بود که باید در حد و اندازهٔ موتور ملی باشد و استفاده از تمام توانایی در خطوط تولید به عنوان یک موتور دیزلی از نسل موتورهای EF استفاده شود. متأسفانه نخستین چالش، با اصرار برخی از افراد بر تأمین موتور از طریق خرید از شرکت پژو به وجود آمد؛ حتی راهکار دیگری برای خرید موتور از فولکس واگن هم مطرح شد. بالاخره از طریق شرکت فولکس با مرکز تحقیقاتی و طراحی فولکس[1]، ارتباط برقرار شد. هرچند پس از مذاکره با شرکت فولکس، خرید موتور دیزل سبک به نتیجه نرسید اما اطلاعات مفیدی دربارهٔ الگوبرداری، خودرو و قوای محرکهٔ دیزلی به دست آمد.

۳-۱- گام دوم: گزارش‌های توجیهی برای دولت و ساخت ۳ نمونهٔ پژوهشی موتور دیزلی سبک

نیازمندی‌های این مرحله از دو جنبه مطرح شد:

- نیاز به مشارکت وزارت نفت برای تولید و فراهم کردن زیرساخت‌های لازم برای سوخت دیزل با کیفیت در ترابری خودروهای سبک
- نیاز به مشارکت خودروساز برای زنجیرهٔ تأمین و بهره‌برداری از موتور دیزل سواری در خودرو به منظور صادرات و یا استفاده در داخل کشور

سال ۱۳۸۵ موضوع صادرات خودروهای دیزلی بویژه برای بازار کشورهایی مانند سنگال که در آن طرح ساخت کارخانهٔ مشترک داشتیم و بازارهای دیگری مثل ترکیه، عراق و سوریه دوباره در دستور کار قرار گرفت. در سال ۱۳۸۶ گروه صنعتی ایران خودرو، ابلاغیهٔ راهبردی موتور دیزل برای سمند به شمارهٔ ۸۶/۲۱۲۸۷ مورخ

[1] Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr (IAV)

۸۶/۶/۲۰ صادر شد. چندین نشست با آقای مهندس میرسلیم، بنده و مسئولین وزارت نفت، وزارت صنایع و معادن، نمایندگان مجلس و سازمان برنامه در خصوص راهبرد سبد سوخت کشور در حمل و نقل کالا و مسافر در وزارت نفت و یا در شرکت ایپکو برگزار کردیم. مدیران سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت برای پیشبرد این راهکار سهم مهمی داشتند. نهایتاً وزارت نفت برای تأمین سوخت خودروهای سبک دیزلی و ارتقاء سوخت دیزل برنامه ارائه داد. آقای مهندس نوذری وزیر وقت نفت هم از این راهکار پشتیبانی کرد و در مورخ ۸۶/۸/۲۰ در کمیسیون انرژی مجلس آن را مطرح کرد که از آن استقبال شد.

در سال ۱۳۸۶ قرار بود همزمان با این مباحث یک قرارداد ساخت نمونهٔ پژوهشی موتور دیزل سواری با پشتیبانی سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت و شرکت ایپکو منعقد شود. مقدمات این کار قبلاً با گزارشی از سوی وزارت صنایع و سازمان گسترش و نوسازی به وزارت نفت برای تأیید این راهکار ارسال شد. (رجوع شود به گزارش RP/۵۰۲۸ مرداد ۱۳۸۶ با عنوان بررسی وضعیت خودروهای سواری دیزلی در کشور و دنیا)

گزارش‌های توجیهی را ایپکو مستقیماً و با واسطهٔ وزارت صنایع و از سوی سازمان گسترش در این خصوص به وزارت نفت ارسال کرد. وزارت نفت هم بر اساس گزارش‌های توجیهی دریافت شده، گزارشی از سوی شرکت ملی پالایش و پخش، سازمان بهینه‌سازی مصرف و برنامه‌ریزی وزارت نفت برای رئیس جمهور وقت تهیه و ارسال کرد.

پیش‌نویس قرارداد ایپکو برای اجرای سریع در ۸۶/۱۰/۶ به شمارهٔ ۸۶/۲۳۴۹۰ به مدیر عامل شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ارسال شد.

وزیر نفت در تاریخ ۱۳۸۶/۱۱/۶ گزارش توجیهی را به شمارهٔ ۲۸۷۶۴–م–۲ به رئیس جمهور (رونوشت آن برای معاونت‌های وزارت نفت) ارسال کرد. آقای محرابیان وزیر صنایع وقت برای همکاری یک نسخه از این گزارش را به آقای قلعه‌بانی رئیس وقت سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران ارسال کرد.

با پیگیری مستمر ایپکو از وزارت نفت و عنایتی که آقای نعمت‌زاده به این طرح داشت، قرارداد مطالعات پژوهشی در تاریخ ۸۷/۴/۱ به شمارهٔ ۱۰۲۷–۸۷ شرکت ملی پالایش و پخش با شرکت ایپکو به منظور طراحی نخستین قوای محرکهٔ دیزلی با مالکیت ایرانی (سواری ملی) منعقد شد. واحد پژوهش شرکت پالایش و پخش (آقای دکتر امیدخواه) به‌عنوان طرف قرارداد و دانشگاه شیراز بخش مهندسی مکانیک به‌عنوان ناظر و صحه‌گذاری پیشرفت طرح، از سوی کارفرما تعیین شد. آقای اسلامی‌نژاد به‌عنوان مدیر برنامه، مهندس اصلانی مدیر طرح، مهندس افقهی سر طراح و آقای مهندس میرسلیم ناظر عالی طرح در شرکت ایپکو بودند.

حجم کاری این طرح بویژه در اصول مفهومی تا طراحی اتاق احتراق، مجموعهٔ پاشش و مدیریت آن، از موتور ملی پایه گاز، گسترده‌تر بود. ولی سختی کار در حوزهٔ طراحی قطعات با توجه به توانمندی‌هایی که در حال کسب

از طرح موتور پایه گاز بودیم، طبعاً آسانتر بود و از طرفی برای انتقال دانش فنی و مدیریت دانش، تکرار فرآیند طراحی در این طرح بسیار مفید و مؤثر برای کشور بود.

بسیاری از سازندگان قطعات موتور گازسوز، در طرح دیزل نیز وارد شدند. در این خصوص مدیریت بر زنجیرهٔ تأمین داخلی، خارجی و انتقال این بخش از دانش مدیریتی، طراحی و تأمین نیز بسیار مهم بود ولی متأسفانه سازوکار کشور به‌علت اینکه به بلوغ سازمان‌های رده یکمی[1] نرسیده‌ایم، نگذاشت به اهداف خود در این زمینه برسیم. البته مثلاً در خصوص فناوری‌های نگاشت تا حدود ۹۰٪ از دانش فنی و فعالیت‌های وابسته به آن کسب شد.

اجرای قرارداد، منطبق بر فعالیت‌های درج شده و بیشتر از آن به طوری پیش رفت که در آبان ۱۳۸۸ از نمونه‌های این موتور رونمایی شد و طبق نامهٔ وزیر صنایع به وزیر نفت در تاریخ ۱۳۸۸/۹/۲۸ به شمارهٔ ۶۰/۱۸۷۸۷۱۵، تلاش برای صنعتی‌سازی خودروی دیزلی، شروع شد. در سال ۱۳۸۸ معاون اول رئیس جمهور ابلاغیهٔ سبد سوختی را به شمارهٔ ۲۰۷۴۶۱ مورخ ۱۳۸۸/۱۰/۲۱ برای استفادهٔ دیزل در حمل و نقل سواری ابلاغ می‌کند و وزیر نفت وقت، نامه‌ای را در تاریخ ۱۳۸۹/۱/۱۸ به شمارهٔ ۹۱۳۵-۳۰/۱۴ به وزیر صنایع و معادن برای صنعتی‌سازی خودروی دیزلی ارسال کرد و متعاقب آن، پاسخ مدیر عامل ایران خودرو به سازمان گسترش در خصوص برنامه‌های در دست اقدام به شمارهٔ ۸۹۴۰۰۹۵۶۴ ص خ در تاریخ ۱۳۸۹ /۳/۲۹ ارسال می‌شود.

٤-۱- مرحلهٔ صنعتی‌سازی

شرکت ایران خودرو، با مصوبهٔ دولت، وزارت نفت و وزارت صنایع از یک طرف و از طرف دیگر با مصوبهٔ راهبردی ایران خودرو برای استفاده از موتور دیزلی با اولویت صادرات و استفاده در داخل کشور، برای صنعتی‌سازی خودروی دیزلی کم مصرف دست بکار می‌شود و برای آن زمینهٔ سرمایه‌گذاری را فراهم می‌کند. در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۵ طرحی را برای صنعتی‌سازی و همزمان ادامهٔ طراحی و توسعه، نگاشت، آزمون و صحه‌گذاری قوای محرکهٔ دیزلی روی خودروی سمند در دستور کار قرارداد و در حوزهٔ موتوری پس از تصویب ستاد سیاست‌گذاری طرح‌ها در مرداد ۱۳۸۶ (ابلاغیهٔ راهبردی به شمارهٔ ۸۶/۲۱۲۷۸ تاریخ ۱۳۸۶/۶/۲۰) اجرای کار را به ایپکو سپرد. چون وزارت نفت قانع شده بود که باید این حمایت ادامه‌دار باشد، مدیران ارشد گروه ایران خودرو با تعامل وزارت نفت کار مرحلهٔ صنعتی‌سازی را شروع کردند. آقای مهندس محمدنژاد معاون وزیر نفت در نامه‌ای به شمارهٔ ۸۷۱۷۲۵ در تاریخ ۱۳۹۱/۵/۱۳ به وزیر نفت راهکار حمایتی تا صنعتی شدن و در نامهٔ جداگانه‌ای قبلاً در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۱۱ به شمارهٔ ۷۴۶۶۸ به آقای قلعه‌بانی مدیر عامل شرکت ملی نفت ایران اعلام کرد. البته وزارت نفت به این بخش از کار که آن را نهایی هم کرده و نسبت به آن متعهد شده بود، اقدامی نکرد و با تغییر دولت، موضوع رها شد.

[1] Tier one

با تغییر دولت، کار در ایران خودرو با جدیت قبلی انجام نشد تا اینکه با پیگیری آقای مهندس نعمت‌زاده که وزیر صمت شده بود، دوباره فعالیت ادامه پیدا کرد. تا اینجای کار ایران خودرو بیش از ۶۰٪ از هزینه‌های مالی را از محل خود هزینه کرد و نمونهٔ موتور و نمونهٔ خودرو با موتور دیزلی را هم در اسفند ۱۳۹۴ با حضور رئیس جمهور و وزیر صمت رونمایی کرد. پس از رونمایی، علی‌رغم دستور ظاهری ایران خودرو برای اجرای طرح در مدت تعیین شده و برنامه‌ریزی شده، در عمل مدیریت ارشد ایران خودرو بر خلاف مصوبه‌های قبلی راهبرد تولید خودرو، طرح را برای تولید به چالش کشاند و عملاً تأمین و خرید و زنجیرهٔ تأمین کار، قفل شد.

در این مرحله تمامی قالب‌های اصلی برای قطعات اصلی ساخته شد و سازندگان داخلی و خارجی زنجیرهٔ تأمین معلوم شدند. تمامی مراحل و فرآیندهای طراحی، توسعه، آزمون و مهندسی به اتمام رسید و حدود ۵۰ خودرو از خطوط اصلی تولید شد و خودروی آماده شده، استانداردها را اخذ کرد تا به موضوع مجوز محیط زیست رسیدیم.

علی‌رغم اینکه خودرو استانداردهای مورد نظر را گذراند، طرح با چالشی کودکانه اما بسیار بزرگ روبرو شد. این موضوع عبارت از این بود که سازمان محیط زیست مدعی بود که علی‌رغم اینکه طرح ایران خودرو استانداردها را رعایت کرده ولی وزارت نفت نمی‌تواند کیفیت سوخت مورد نیاز را تأمین کند و به همین دلیل مجوز تولید صادر نمی‌کرد. در حالی که وزارت نفت جایگاه‌های توزیع سوخت دیزل با کیفیت را به سازمان استاندارد معرفی کرده بود و واحد نمونه‌برداری استاندارد، سوخت را در جایگاه‌های توزیع معرفی شده، پایش نمود و گزارش منطبق بر ادعای وزارت نفت تأیید شد. ولی هیچگاه معلوم نشد چرا شخص آقای کلانتری و آقای دکتر تجریشی با تشکیل کارگروه‌های به اصطلاح دانشگاهی که بعضاً حتی یک فرد خبرهٔ توسعهٔ موتور در آن نبود، دست به این مکاتبات زدند. البته پاسخ آنان را جناب آقای مهندس میرسلیم که ناظر عالی طرح موتور دیزل بودند، دادند ولی کار به سرانجام نرسید و از طرفی هم طرح در ایران خودرو که از حالت صنعتی‌سازی تولید انبوهی خارج شده بود به این ادعای بی‌منطق محیط زیست گره خورد و از آن زمان تاکنون (اسفندماه ۱۴۰۰) به طور کامل متوقف شده است.

در این مرحله آقای مهندس پورمجیب مدیر طرح سورن مجهز به قوای محرکه دیزلی بود و طرح مصوبهٔ کمیتهٔ راهبری را داشت و در ایپکو آقای مهندس افقهی به جای آقای اصلانی و سپس آقای مهندس کاظمی به جای آقای افقهی سکان کار را به دست گرفتند. دارایی این طرح برای ایران خودرو بسیار با ارزش است و به همین دلیل هم اکنون در حال تعریف طرح این موتور بر روی خودروهای وانت اند که ان شاء الله بعد از تصویب برای کشور راهگشا باشد و صادرات آن هم رونق بگیرد. شکل ۱-۱، خلاصه‌ای از تاریخچهٔ آغاز طرح تا توقف آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱- تاریخچهٔ آغاز تا امروز طرح موتور دیزل سواری

۱-۵- فرآیند تدوین کتاب موتور دیزل سبک سواری

کتاب حاضر نشان‌دهندهٔ خلاصه‌ای از فرآیند بومی شدهٔ دانش و فناوری طراحی و تولید موتور ملی دیزل سواری (EFD) در شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو است. این کتاب اثبات توانمندی جهادگرانی است که با تلاش خود بر پایهٔ موازین علمی، تجربی و فنون نوین موجب توسعهٔ محصول موتور ملی دیزل ۱۵۰۰ سی‌سی شدند.

فرآیندهایی که در این کتاب به آنها اشاره شده است، به عنوان بخشی از دانش کشور، پایدار شده و قابل توسعه به انواع موتورهای مورد نیاز کشور است. برخی از فرایندهای مذکور عبارتند از:

- طراحی اصول مفهومی
- طراحی و توسعه (طراحی قطعات، شبیه‌سازی سامانه‌ها و فرایند احتراق)
- انتخاب و ارزیابی منابع انسانی مورد نیاز از دانشگاه‌ها و در حین تحصیل (در این بخش، کاری کم نظیر انجام شد)
- مدیریت زنجیرهٔ تأمین و دخیل کردن آنان از ابتدای توسعهٔ محصول (ارتقاء سازندگان در حوزهٔ طراحی، تحقیق و توسعه)
- الگوبرداری مستمر در حوزه‌های مختلف
- طراحی آزمون‌های ارزیابی و صحه‌گذاری

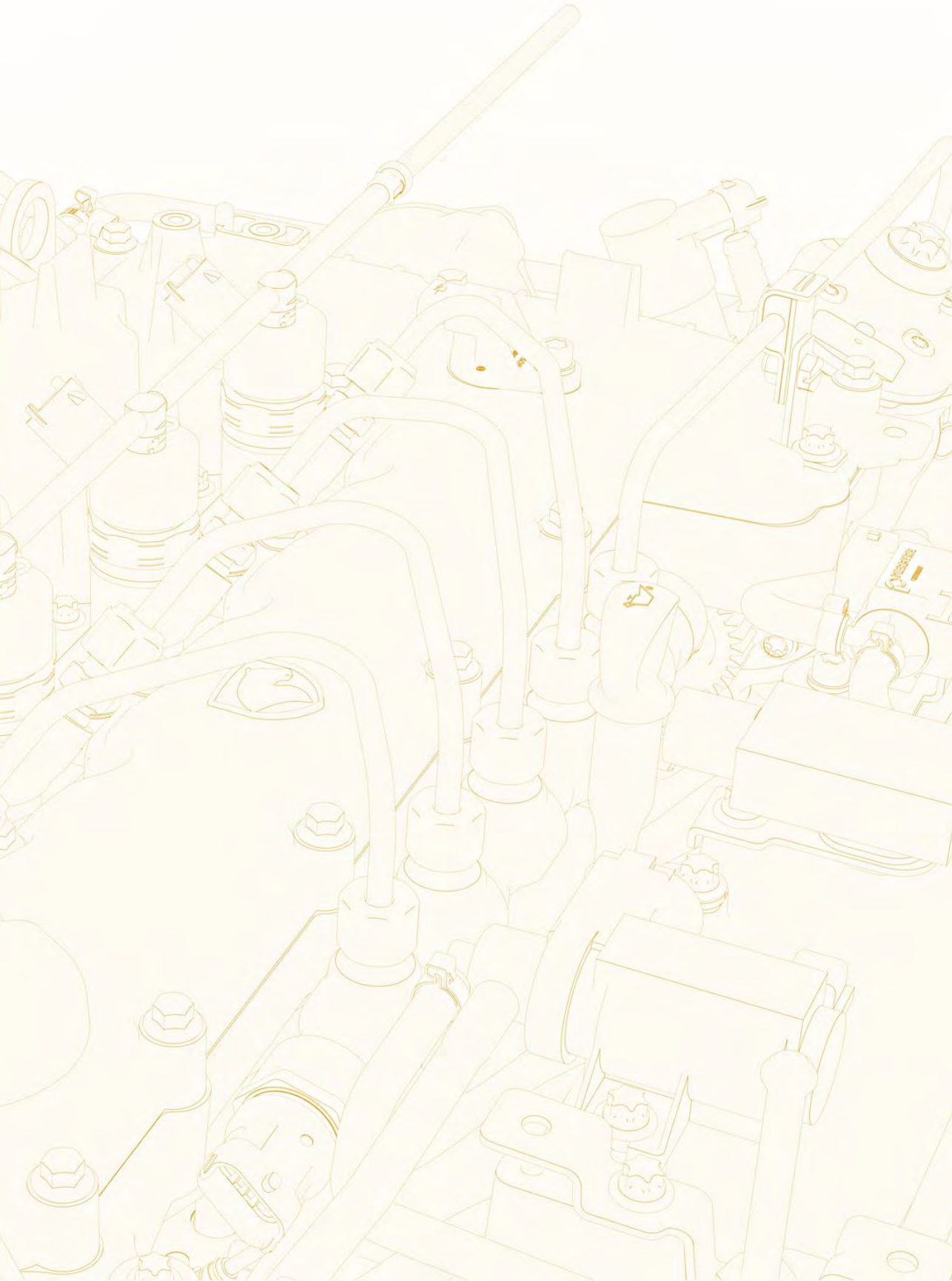
- نحوهٔ نمونه‌سازی، قالب‌های موقت و اصلی، قطعات و مجموعه‌های مورد نیاز در هر دوره تا تولید انبوه
- نگاشت موتور و خودرو
- صحه‌گذاری
- تحویل طرح در خطوط تولید و حفظ کیفیت و عملکرد محصول در تولید
- حفظ تغییرات مهندسی در همه ابعاد و زمان‌های طرح
- یکپارچگی تصمیمات و کار گروهی بر مبنای مدیریت دانش و ساختار منطبق با آن

همچنین در طول مدت زمان طرح، سرفصل‌های طرح به صورت روزانه به نام تدوین روزانه و دوره‌ای گزارش‌های مهندسی، مأموریتی، طراحی، شبیه‌سازی و تغییرات مهندسی، آزمون تا انتهای صحه‌گذاری و زنجیرهٔ تأمین ثبت می‌شد که حدوداً بیش از چند ده هزار صفحه می‌شود که خلاصه و چکیدهٔ آن، کتابی است که در دست شما قرار دارد.

برای حفظ این دانش و هر دانشی که در آن به بلوغ رسیده‌ایم، در کشور لازم است که تکرار طرح‌ها تعریف و اجراء شود. زیرا تنها راهکار اساسی، زیربنایی و اصولی، توانمندسازی افراد موجود و تربیت نیروهای جدید در حین طرح است و راه دیگری وجود ندارد.

باور نویسنده بر این است که هم اکنون شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو توانمندتر و پرسودتر از دوره‌های قبلی است. در پایان برای توفیق تلاشگران این عرصه دست دعا به سوی خداوند متعال بلند می‌کنیم.

(محمد زالی)



فصل دوم

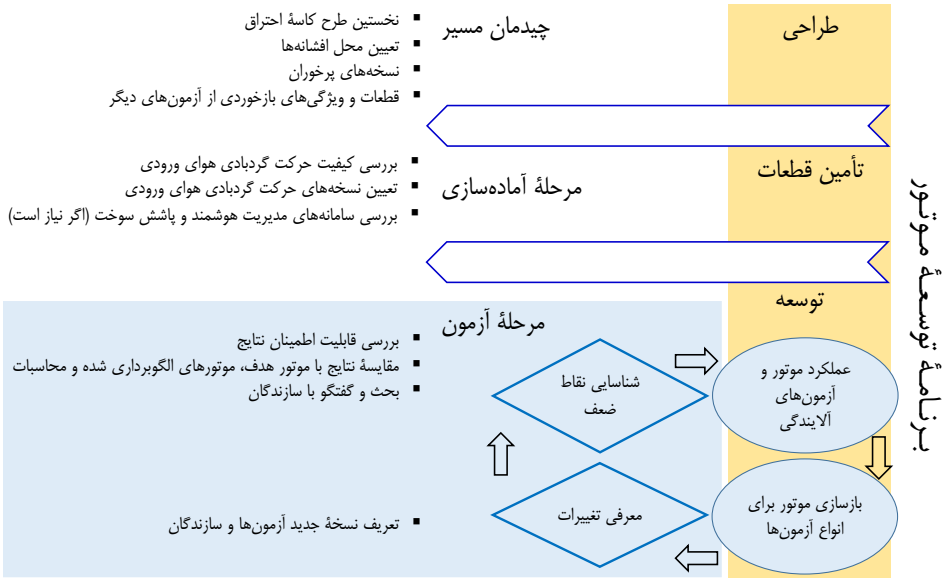
توسعه احتراق

۱-۲- پیشگفتار: جایگاه توسعهٔ احتراق در طرح توسعهٔ موتور

توسعهٔ احتراق جزء بخش‌های مهم و نخستین طراحی و توسعهٔ موتور است. به همین دلیل، کار توسعهٔ احتراق همزمان با شروع طرح آغاز می‌شود و همراه با پیشرفت طرح تا رسیدن به اهداف عملکردی مورد نظر ادامه می‌یابد و در مراحل گوناگون اجرای طرح، دستاوردهای توسعهٔ احتراقی موتور لحاظ می‌گردند.

در واقع پس از مشخص شدن اهداف عملکردی موتور، کار توسعهٔ احتراق موتور با طراحی ویژگی‌های احتراقی موتور آغاز می‌شود. مواردی مانند پیش طراحی کاسهٔ سنبه، راهگاه‌ها، افشانه‌ها، پرخوران و سایر ویژگی‌های احتراقی موتور که قرار است در مرحلهٔ آزمون‌های احتراقی ارزیابی شوند، در این مرحلهٔ برنامه‌ریزی می‌شوند. در ادامه در مرحلهٔ تأمین و آماده‌سازی موتور، سفارش قطعات و در صورت نیاز تنظیم ویژگی‌های عملکردی قطعات تأمین شده (مانند تنظیم مقدار انواع جریان‌های چرخشی[1] در راهگاه‌ها) صورت می‌پذیرد. در شکل ۲-۱، جایگاه و روند توسعهٔ احتراق در طرح توسعهٔ موتور نمایش داده شده است.

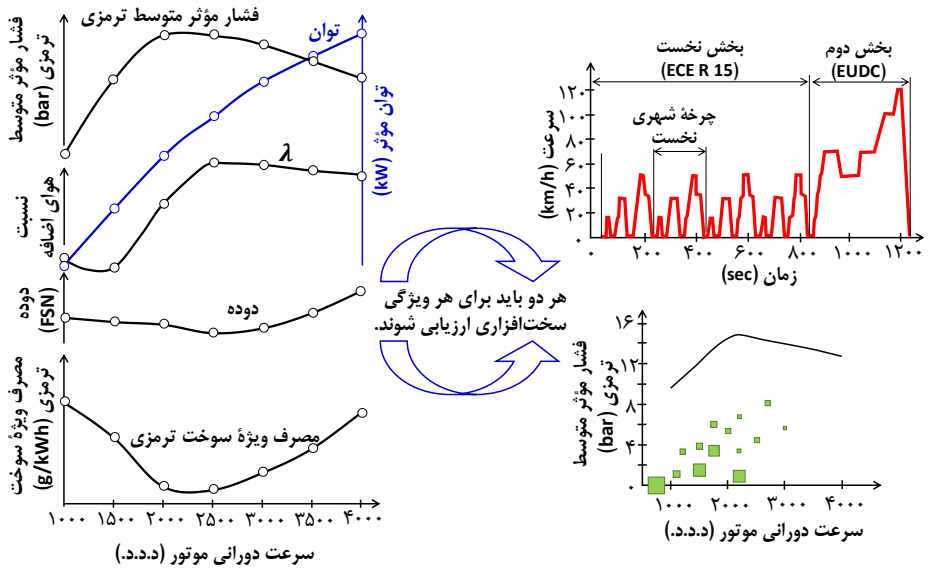
[1] Circular flows: Swirl, tumble and squish



شکل ۲-۱- جایگاه و روند توسعهٔ احتراق در طرح توسعهٔ موتور

مرحلهٔ اصلی توسعهٔ احتراق با شروع آزمون‌های احتراقی موتور آغاز می‌شود. در این مرحله، هر یک از سخت‌افزارهای گوناگون طراحی شده در مراحل قبل، آزمایش می‌شوند. آزمون‌های این مرحله دو دسته‌اند: آزمون‌های عملکردی[1] و آلایندگی[2] که در شکل ۲-۲، نشان داده شده‌اند. نتایج آزمون‌ها در هر مرحله ارزیابی می‌شوند و در صورت وجود اختلاف با اهداف طرح و بر اساس تحلیل صورت گرفته از نتایج آزمایش، گونه‌های دیگر سخت‌افزارهای مؤثر در احتراق موتور آزمایش و ارزیابی می‌شوند.

[1] Performance
[2] Emission



شکل ۲-۲- آزمون‌های عملکرد تمام بار و آزمون‌های آلایندگی در چرخهٔ جدید رانندگی اروپا[1]

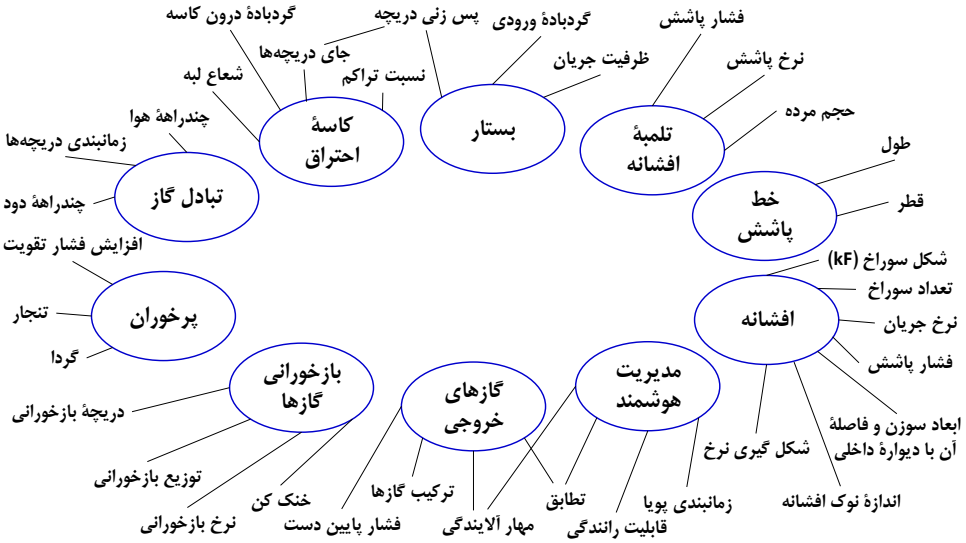
در آغاز ارزیابی نتایج، منطقی بودن نتایج آزمون بررسی می‌شود (سالم بودن تمام حسگرها و اجزاء موتور، نبود نشتی هوا در مسیر ورود و خروج). سپس خروجی‌های آزمون با نتایج موتورهای مشابه، نتایج مراحل قبلی موتور در حال آزمایش و یا نتایج شبیه‌سازی‌های ترمودینامیکی، مقایسه می‌شوند و در صورت نیاز از دیدگاه‌های کارشناسی سازندگان قطعات (مانند افشانه و سنبه)، برای تحلیل نتایج استفاده خواهد شد.

۲-۲- اجزا و سامانه‌های مؤثر در احتراق موتور و ویژگی‌های آنها

در شکل ۲-۳، قطعه‌ها و سامانه‌های مؤثر در احتراق نشان داده شده‌اند. در این شکل، ویژگی‌های گوناگونی از هر یک از قطعات نشان داده شده است که هر یک در احتراق مؤثر اند. برخی از این ویژگی‌ها بین چندین قطعه مشترک است. بدین معنا که برای تنظیم این ویژگی، باید در چند قطعه تغییر ایجاد شود. نحوهٔ تأثیر این ویژگی‌ها بر احتراق متفاوت است. در برخی موارد، ویژگی‌ها اثرات متقابل بر هم می‌گذارند و بهبود یک ویژگی باعث تضعیف ویژگی دیگر می‌شود. به همین دلیل در چنین شرایطی برای یافتن مقدار بهینه، باید بین مقدار این ویژگی‌ها سازگاری به

[1] New European Driving Cycle (NEDC)

وجود آورد. این امر بگونه‌ای بیانگر پیچیدگی موجود در فعالیت توسعهٔ احتراق موتور است و سعی و خطا در رسیدن به اهداف را اجتناب ناپذیر می‌نماید.



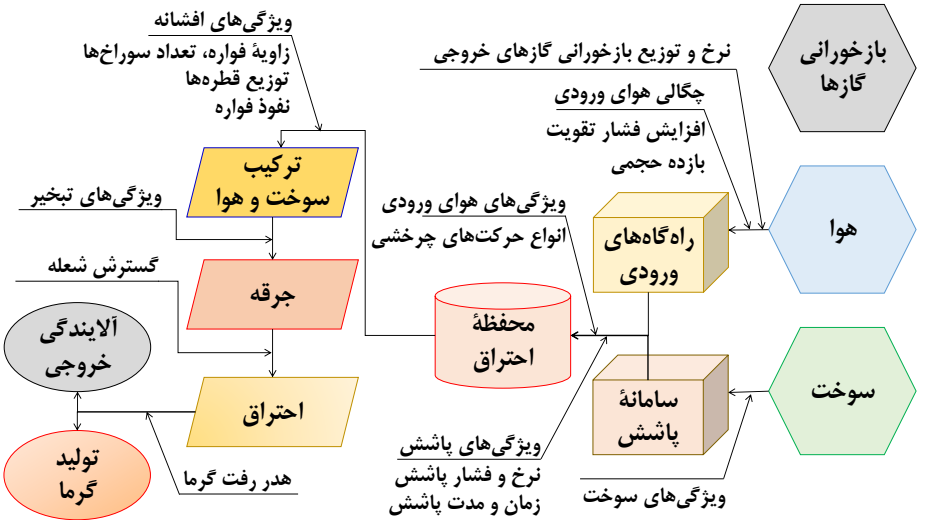
شکل ۲-۳- ویژگی‌های مؤثر در احتراق موتور

۳-۲- فرآیند احتراق موتور دیزل

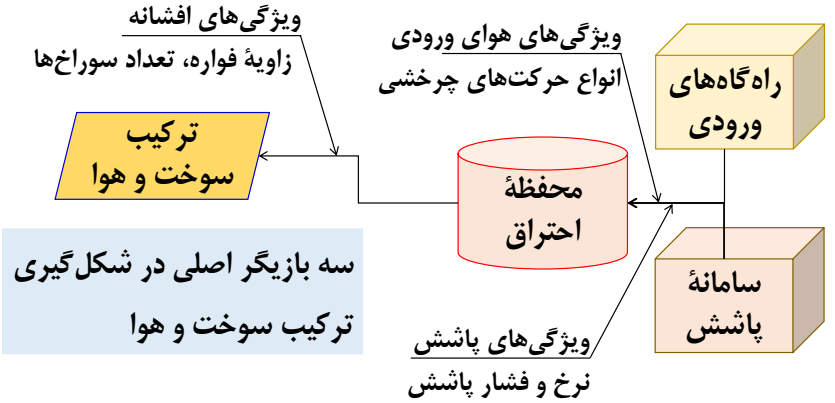
برای ایجاد احتراق مناسب در محفظهٔ احتراق موتور لازم است تا هوا (شامل بازخورانی دود[1]) و سوخت در شرایط مناسب وارد محفظهٔ احتراق گردند. عوامل مؤثر در ایجاد این شرایط در شکل ۲-۴، **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌شود. هوا با درصد مناسبی از بازخورانی دود ترکیب می‌شود و در گذر از راهگاه ورودی، گردبادهٔ[2] مورد نیاز را در درون استوانه ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، مقدار مطلوب سوخت با ترکیب شیمیایی مناسب و در گذر از سامانهٔ پاشش سوخت، با فشار بهینه و در زمان مناسب وارد محفظهٔ احتراق می‌شود. در درون محفظهٔ احتراق، سوخت و هوا برای ایجاد احتراقی مناسب باید بخوبی با هم مخلوط شوند. عوامل مؤثر در شکل‌گیری مناسب مخلوط سوخت و هوا در شکل ۲-۵، **Error! Reference source not found.** نشان داده شده است. مقدار چرخش هوای درون استوانه، فشار و نرخ پاشش، زاویهٔ پاشش و تعداد سوراخ‌های افشانه از مهمترین عوامل تأثیرگذار در ایجاد مخلوط سوخت و هوای مناسب در درون استوانه اند. قطر ذرات سوخت، مقدار نفوذ سوخت پاشیده

[1] Exhaust Gas Recirculation (EGR)
[2] Swirl

شده و خواص تبخیری سوخت در ایجاد احتراق و زمان تشکیل شعله مؤثرند. کیفیت شعلهٔ تشکیل شده و سرعت انتشار آن در ایجاد آلاینده‌ها، نرخ آزادسازی انرژی و همچنین نرخ هدر رفت گرمایی تأثیر گذار خواهد بود.



شکل ۲-۴- نمای کلی از فرایند احتراق موتور دیزل



شکل ۲-۵- فرایندهای مؤثر در تهیهٔ مخلوط سوخت و هوا

٤-٢- آلاینده‌های اکسیدهای ازت و دوده در موتور دیزل

از جمله مسائل مهم در توسعهٔ احتراق موتور دیزل کاهش همزمان آلاینده‌های اکسیدهای ازت و دوده است. در شکل ۲-۶ **Error! Reference source not found.** عوامل مؤثر در کاهش این دو آلاینده نشان شده است. برای کاهش دوده، لازم است تا پس از احتراق، محصولات احتراق، داغ و غلظت اکسیژن نیز در آنها فراوان باشد. نیازمندی‌های این کار قوی بودن فشار احتراق، تزریق سوخت، هوای بعد از تنجار و آشفتگی شدید مخلوط داخل استوانه است. همچنین تزریق مقداری از سوخت در انتهای زمان احتراق (پس-تزریق[1]) در داغ بودن محصولات احتراق مؤثر خواهد بود.

از سوی دیگر برای کاهش مقدار اکسیدهای ازت در محصولات احتراق باید دمای بیشینهٔ احتراق را کاهش داد. برای این منظور تأخیر در پاشش سوخت برای کاهش فشار بیشینهٔ داخل استوانه، خنک کردن هوای ورودی (استفاده از خنک‌کن میانی[2])، استفاده از بازخورانی دود (و خنک کردن آن) و نیز کاهش چرخش هوای درون استوانه می‌تواند مؤثر باشد.

همچنان که ملاحظه می‌شود تغییر برخی از ویژگی‌ها برای کاهش دوده باعث افزایش اکسیدهای ازت شد و در مقابل برخی از عواملی که باعث کاهش اکسیدهای ازت اند، باعث افزایش دوده می‌شوند. بنابراین برای کاهش همزمان دوده و اکسیدهای ازت باید بین این دو آلاینده، سازش[3] ایجاد نمود.

دوده ← انرژی شدید و اکسیژن بعد از احتراق

- ✓ **گازهای سوختهٔ داغ ← باز پاشش**
- ✓ **فشار داخل استوانهٔ قوی**
- ✓ **آشفتگی شدید ← افزایش شدت گردابه**
- ✓ **مقدار فراوان اکسیژن ← افزایش فشار پرخورانی (برای نسبت هوا به سوخت عمومی بزرگ) ← افزایش فشار پاشش (برای نسبت هوا به سوخت موضعی بزرگ)**

اکسیدهای ازت ← کاهش دمای بیشینهٔ شعله

- ✓ **تأخیر زمانی**
- ✓ **پرخورانی و خنک‌کاری داخلی**
- ✓ **بازخورانی و خنک‌کاری گازهای خروجی**
- ✓ **احتراق ملایم ← شکل‌گیری نرخ پاشش**
- ✓ **کاهش شدت گردابه**

← بین دوده و اکسیدهای ازت سازگاری لازم است.

طراحی موتور پایه

بهینه‌سازی سخت‌افزار

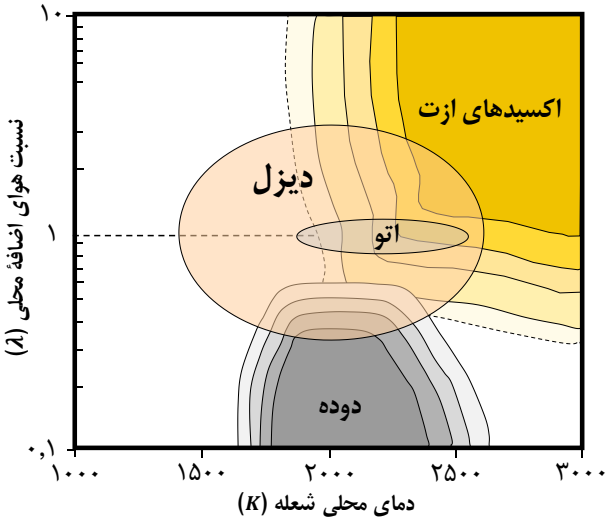
نگاشت و تنظیم

[1] Post-Injection
[2] Intercooler
[3] Compromise

شکل ۲-۶- قواعد کلی برای کاهش اکسیدهای ازت و دوده

شکل ۲-۷، تقابل تشکیل دوده و اکسیدهای ازت را در درون محفظهٔ احتراق موتور بهتر نشان می‌هد. محور عمودی بیانگر نسبت اضافه هوای موضعی و محور افقی نشان دهندهٔ دمای موضعی شعله است. همچنین در شکل محدودهٔ اشتعال در موتور دیزل و بنزینی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود افزایش دمای موضعی شعله باعث کاهش دوده و از طرفی منجر به افزایش اکسیدهای ازت می‌شود. همچنین کاهش نسبت اضافه هوای موضعی باعث کاهش اکسیدهای ازت ولی افزایش دوده می‌شود.

در این نمودار باید توجه نمود که مقادیر محورهای دما و نسبت هوای اضافه به صورت موضعی ارائه شده است. در موتور بنزینی به دلیل آماده شدن مخلوط سوخت و هوا قبل از احتراق، تفاوت شدیدی بین نسبت اضافه هوای موضعی و نسبت اضافه هوای میانگین نیست ولی در موتور دیزل (و یا موتور پاشش مستقیم)، به دلیل پاشش سوخت در محفظهٔ احتراق، طیف وسیعی از نسبت اضافه هوا به صورت موضعی در محفظهٔ احتراق وجود خواهد داشت و بنابراین ملاحظات سختگیرانه و دقیق‌تری برای کاهش همزمان دوده و اکسیدهای ازت در موتور پاشش مستقیم دیزل باید در نظر گرفته شود.

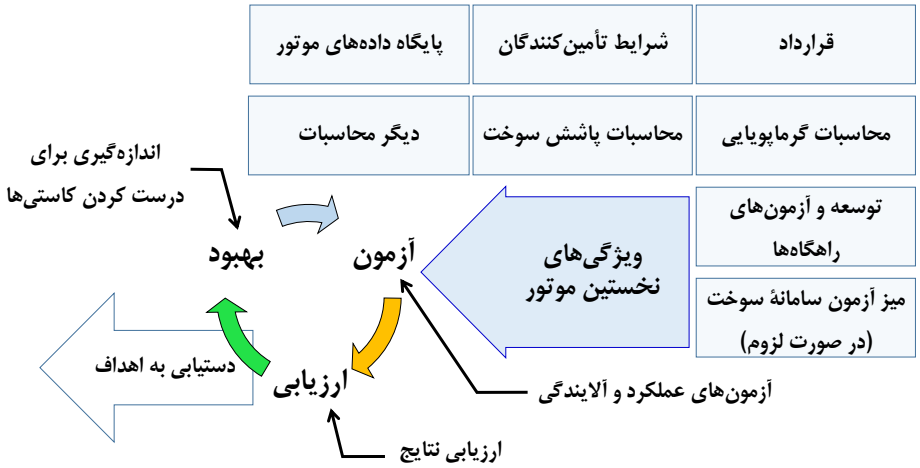


شکل ۲-۷- تشکیل اکسیدهای ازت و دوده در محفظهٔ احتراق

۲-۵- رویهٔ توسعهٔ احتراق موتور

استفاده از رویهٔ تکراری "آزمون-ارزیابی-بهبود" برای توسعهٔ احتراق موتور امری گریز ناپذیر است (**Error! Reference source not found.**شکل ۲-۸). برای نشان دادن اینکه این رویه به طور مطلوب و مؤثری صورت

می‌پذیرد مهمترین شاخص تعداد تکرار کمتر برای رسیدن به اهداف طرح است. برای این منظور استفاده هرچه بیشتر از شبیه‌سازی‌ها و محاسبه‌های مهندسی (مانند محاسبات ترمودینامیکی موتور، محاسبات سامانهٔ سوخت‌رسانی)، الگوبرداری از موتورهای مشابه و استفاده از تجربه سازندگان قطعات (مانند پُرخوران و افشانهٔ سوخت) می‌تواند بسیار مفید باشد.



شکل ۲-۸- رویهٔ توسعهٔ احتراق

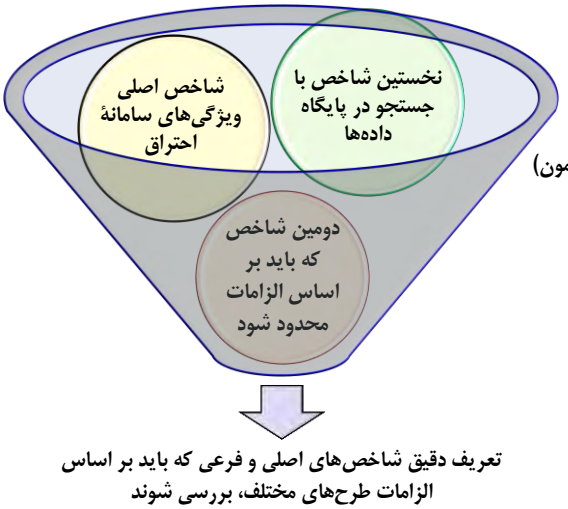
۲-۶- طراحی اجزا و سامانه‌های احتراقی موتور

همچنان که در بخش قبل نشان داده شد، فرایند توسعهٔ احتراق فرایندی تکراری[1] است. برای کاهش تکرارها یکی از مهمترین کارها تعریف و طراحی اولیهٔ مناسب از اجزا و سامانه‌های احتراقی موتور است. برای این منظور استفاده از داده‌های الگوبرداری (پایگاه داده‌های موتورهای مشابه)، روش بسیار مؤثری است.

به منظور استفاده مؤثر و هدفمند از داده‌های الگوبرداری، لازم است تا فهرستی از نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و اهداف طرح تهیه گردد. به طور نمونه در شکل ۲-۹، فهرستی از این نیازمندی‌ها نشان داده شده است. دسته‌بندی این نیازمندی‌ها به اولیه و ثانویه بنوعی بیانگر اهمیت هریک از آنها است.

با مشخص شدن نیازمندی‌ها و با جستجو در پایگاه داده‌های موتورهای مشابه، طرح اولیهٔ مناسبی از موتور که نیازمندی‌های مورد نظر را تأمین می‌کند، ایجاد می‌شود. (در صورتی که نیازمندی‌ها و اهداف مورد نظر در طرح، پیشرو و بهتر از موتورهای مشابه باشد، از روش برون‌یابی برای رسیدن به طرح اولیهٔ مناسب استفاده می‌شود).

[1] Iterative



فهرست شاخص‌ها

۱- قطر سمبه و طول پیمایش آن
۲- تنفس
۳- سامانهٔ پاشش سوخت
٤- الزامات آلایندگی (مرزها و چرخه‌های آزمون)
٥- دو دریچه- چند دریچه
٦- توان بیشینهٔ خروجی
۷- شکل گشتاور
۸- الزامات راه‌اندازی سرد
۹- محدودیت‌های مقدار گردبادهٔ ورودی
۱۰- سامانهٔ گردبادهٔ قابل تغییر
۱۱- سامانهٔ پس پالایشگر
۱۲- سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی
۱۳- مقدار دوده در روغن
۱٤- محدودیت‌های خانواده موتور
۱٥- شرایط استحکام گرمایی

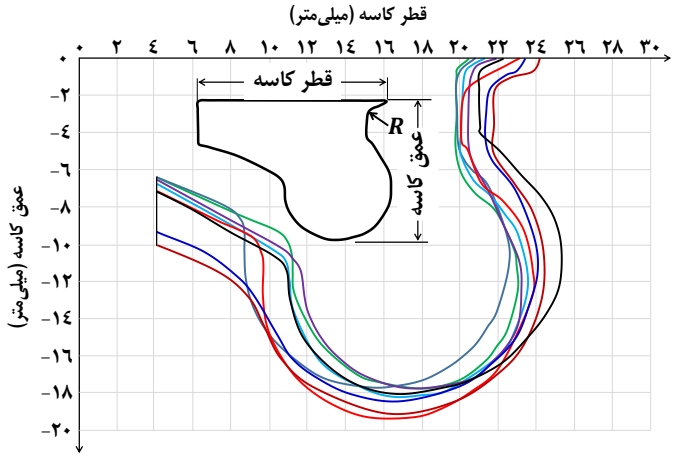
شکل ۲-۹- فهرست شاخص‌ها و نیازمندی‌های احتراقی موتور

پس از طراحی اولیه، در مرحلهٔ نخست به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای و محاسبات مهندسی و در ادامه با اجرای آزمون‌های احتراقی، سامانهٔ احتراقی طراحی شده تأیید می‌شود. پس از اجرای اولین آزمون‌های احتراقی می‌توان صحت و دقت شبیه‌سازی‌های صورت گرفته را نیز ارزیابی کرد و در صورت نیاز دقت آنها را در پیش‌بینی رفتار بهبود داد تا در ادامه به طور مؤثرتر و مطمئن‌تری استفاده شوند.

۷-۲- طراحی سنبه

تاج سنبه در موتور دیزل بخش اصلی محفظهٔ احتراق موتور محسوب می‌شود و شکل آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه استفاده از محفظهٔ احتراق اُمِگا شکل[1]، در موتورهای دیزل متداول گردیده است. در شکل ۲-۱۰، نمونه‌هایی از شکل کاسهٔ سنبهٔ موتورهای دیزلی مشابه با موتور دیزل سواری و نیز مهمترین ویژگی‌های طراحی آن نشان داده شده است.

[1] Omega form (ω)



شکل ۲-۱۰- تعریف هندسه کاسهٔ سنبه

در جدول ۲-۱، اثراتی که دو نوع طراحی سنبه بر عملکرد موتور خواهند داشت، ارائه شده است. در این شکل، دو حالت سنبهٔ کاسهٔ پهن و سنبهٔ کاسهٔ باریک مقایسه شده‌اند. (اگر قطر کاسهٔ سنبه ۵۵ تا ۵۷ درصد قطر سنبه باشد، به عنوان سنبه کاسهٔ باریک و در صورتی که قطر کاسه بین ۶۰ تا ۶۳ درصد قطر سنبه باشد، به عنوان سنبه کاسهٔ پهن تلقی می‌شود). با توجه به داده‌های موتورهای موجود و در مقایسه دو نوع سنبهٔ پهن و باریک، نتایجی بدین شرح را می‌توان ارائه کرد:

- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، ویژگی‌های طراحی مانند جرم، به دلیل کم شدن ضخامت گوشت بین تاج و راهگاه روغن و حلقه‌ها کمتر می‌شود. خنک کاری به دلیل نزدیک‌تر شدن راهگاه روغن به حلقهٔ اول بهبود پیدا می‌کند و به تبع آن مصرف روغن کمتر می‌شود. همچنین استفاده از فشار پاشش قویتر میسر می‌شود، چراکه احتمال برخورد قطره‌های سوخت به دیوارهٔ کاسه، ضعیفتر می‌شود.
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، حساسیت بیرون‌زدگی نوک افشانه[1] در بستار بیشتر می‌شود زیرا عمق کاسه کمتر و در نتیجه رواداشت‌های تولید در محل قرارگیری نوک افشانه سختگیرانه‌تر خواهد شد.
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، احتمال دستیابی به بیشینهٔ قدرت، قویتر می‌شود. دلیل آن امکان افزایش فشار تزریق است (بدون آنکه احتمال برخورد قطرات سوخت به لبهٔ کاسه وجود داشته باشد).
- چرخش هوای ایجاد شده در داخل استوانه در هنگام ورود به کاسهٔ سنبه به دلیل کوچک‌تر بودن قطر کاسهٔ سنبه نسبت به قطر سنبه (و استوانه)، افزایش می‌یابد. این افزایش برای سمبهٔ کاسهٔ باریک، بیشتر است. چون نیاز موتور در دورهای کند به افزایش چرخش هوا برای افزایش سرعت شعله بیشتر است. بنابراین در سنبه با

[1] Nozzle Tip Protrusion (NTP)

کاسهٔ باریک، امکان دستیابی به گشتاور بزرگتر در دورهای کند بیشتر خواهد بود. بنابراین با حرکت از سمت کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن گشتاور در سرعت‌های کند کاهش می‌یابد.

- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، موتور به چرخش بیشتر هوای داخل استوانه نیاز خواهد داشت (به دلیل اشاره شده در مورد قبل).
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، افزایش چندانی در مقدار آلایندهٔ اکسیدهای ازت نخواهیم داشت. این آلاینده، بیشتر متأثر از مقدار بازخورانی دود و زمانبندی پاشش سوخت است.
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، به دلیل اشاره شدهٔ قبلی، چرخش هوای داخل کاسه کمتر می‌شود و در نتیجه احتمال ایجاد دوده بیشتر می‌شود. (احتمال غنی بودن موضعی مخلوط سوخت و هوا بیشتر می‌شود).
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، به دلیل کاهش سطوح و درزهای[1] موجود در محفظهٔ احتراق (سنبه با کاسهٔ پهن، عمق کمتری دارد و در نتیجه، فاصلهٔ بین تاج سنبه و حلقه‌ها کمتر در نظر گرفته می‌شود) و مقدار آلاینده‌های هیدرو کربن و مونوکسید کربن کاهش می‌یابد.
- با تغییر از کاسهٔ باریک به کاسهٔ پهن، روند مشخصی برای تغییر صدای مزاحم با تغییر طرح کاسهٔ سنبه وجود ندارد.

[1] Crevices

جدول ۲-۱- ملاحظات احتراقی در طراحی کاسهٔ سنبه

کاسهٔ احتراق موتور دیزل پاشش مستقیم سرعت تند[1] (قطر کاسه، افشانهٔ پاشش)	باریک (۵۷-۵۵ درصد کاسه) ۷-۶ سوراخ افشانه	پهن (۶۳-۶۰ درصد کاسه) ۸-۷ سوراخ افشانه
ویژگی‌های طراحی (جرم، قلهٔ فشار احتراق، خنک‌کاری، مصرف روغن و . . .)	بهبود ←←←←	
حساسیت رواداشت برای بیرون‌زدگی نوک افشانه	کمتر بحرانی→→→	
توان ویژهٔ خروجی	بهبود ←←←←	
گشتاور سرعت کُند، بیرون کشیدن خودرو	بهبود→→→	
نیازهای گردبادهٔ راهگاه ورودی	بهبود→→→	
آلایندگی اکسیدهای ازت	سطح یکسان / قابل تنظیم از طریق بازخورانی دود و زمان‌بندی دریچه‌ها	
دوده	بهبود→→→	
آلایندهٔ مونوکسید کربن (CO)	کاهش←←←←	
آلایندهٔ هیدروکربن (HC)	کاهش←←←←	
سر و صدای احتراق	جهت روشنی وجود ندارد.	

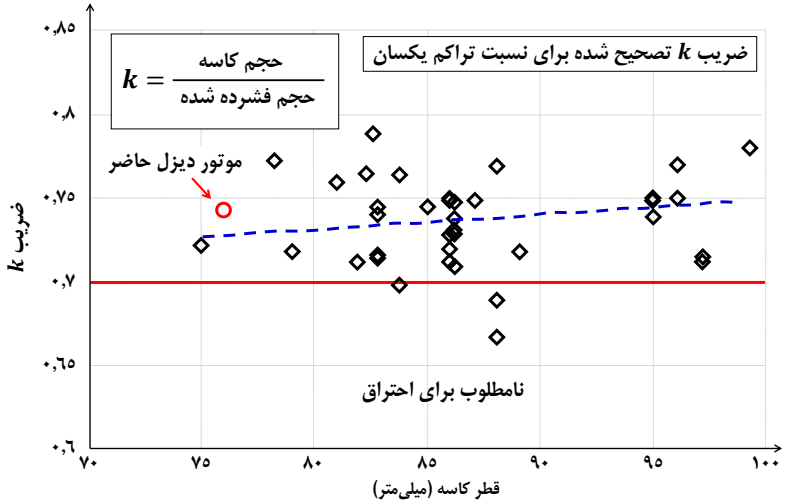
شکل ۲-۱۱، **Error! Reference source not found.**نمودار پراکندگی ضریب k را بر حسب قطر سنبه نشان می‌دهد.

معادلهٔ (۲-۱) بیانگر چگونگی محاسبهٔ ضریب k است:

$$k = \frac{\text{حجم کاسه}}{\text{حجم فشرده شده}} \qquad (۲-۱)$$

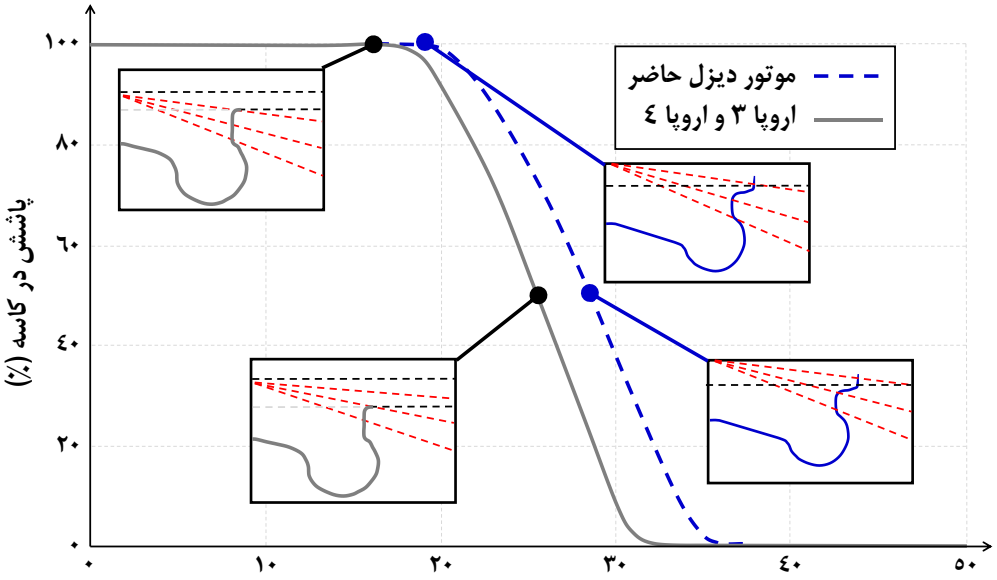
[1] High-Speed Direct Injection (HSDI)

برای معتبر بودن مقایسه، این ضریب برای موتورهای گوناگون در نسبت تراکم ۱۸ اصلاح شد. ضریب k بیانگر نسبت حجم کاسهٔ سنبه به حجم فشرده شده است. به عبارت دیگر ضریب k بیانگر مقداری از حجم فشرده شده است که در سنبه قرار دارد. برای ضریب کمتر از ۰٫۷، احتراق کیفیت مناسبی نخواهد داشت. در موتور دیزل سواری مورد بررسی، این ضریب نزدیک به ۰٫۷۴ است که نشانگر قرارگیری در بالای خط میانی نمودار پراکندگی در قطر ۷۶ میلی‌متر است.



شکل ۲-۱۱- نمودار پراکندگی ضریب k

یکی از ویژگی‌های طراحی سنبه، نسبت (بر حسب درصد) سوخت پاشیده شده به درون کاسهٔ سنبه به کل سوخت پاشیده شده بر حسب زاویهٔ لنگ است (شکل ۲-۱۲). در صورتی که تمامی سوخت پاشیده شده در داخل کاسهٔ سنبه قرار گیرد، نسبت ۱۰۰٪ و در صورتی که هیچ مقداری از سوخت درون کاسهٔ سنبه قرار نگیرد، نسبت صفر درصد در نظر گرفته می‌شود. برای طراحی موتوری با توان قوی نیاز به افزایش مدت زمان پاشش است، از سوی دیگر برخورد سوخت با دیوارهٔ استوانه باعث افزایش آلاینده‌ها می‌شود. لذا کاسهٔ سنبهٔ موتور دیزل سواری به گونه‌ای طراحی شده است که در مدت زمان بیشتری سوخت پاشیده شده را در خود نگه دارد (کاسهٔ پهن) و به این روش امکان دست‌یابی به توان قوی بدون افزایش آلاینده‌ها میسر شده است.



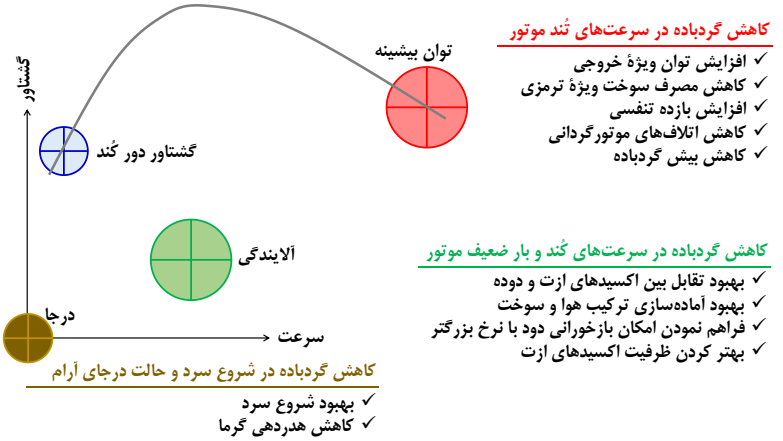
شکل ۲-۱۲- اثر هندسهٔ سنبه بر پاشش سوخت

۸-۲- طراحی راهگاه‌های ورودی هوا

چگونگی طرح راهگاه ورودی[1] بر ایجاد گردبادهٔ درون استوانه بسیار مؤثر است. از سوی دیگر نیازمندی موتور به گردبادهٔ درون استوانه در دورها و بارهای گوناگون، متفاوت است. در شکل ۲-۱۳ این نیازمندی نمایش داده شده است. در سرعت‌های تند و بار کامل، نیازمندی موتور به بازده تنفسی بهینه، در اولویت قرار دارد. افزایش بازده تنفسی با افزایش ضریب جریان (و در نتیجه کاهش ضریب گردباده) میسر می‌شود، بنابراین ضریب چرخش بزرگ در این شرایط مطلوب نیست. بازده تنفسی در بارهای جزئی، دیگر در اولویت نیست و مهمترین مسأله در این شرائط کاهش آلاینده‌هاست، لذا افزایش ضریب گردباده در این شرایط مفید خواهد بود.

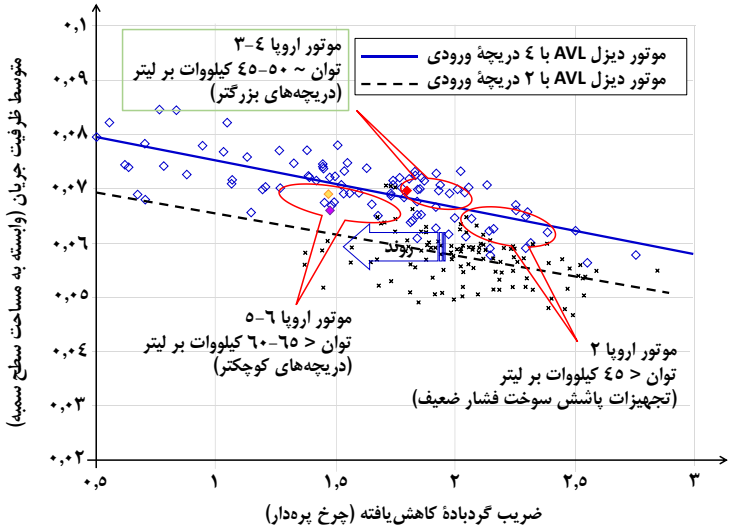
در شرایط کارکرد موتور در دور درجا[2] (حالت سرعت کُند و بی بار) افزایش ضریب چرخش باعث افزایش هدر رفت گرما می‌شود و در نتیجه موتور در زمان آغاز به کار در شرایط سرد رفتار مناسبی نخواهد داشت. بنابراین مشخص است که در طراحی راهگاه ورودی باید سازگاری بین ضریب جریان و ضریب چرخش صورت پذیرد.

[1] Intake port
[2] Idle speed



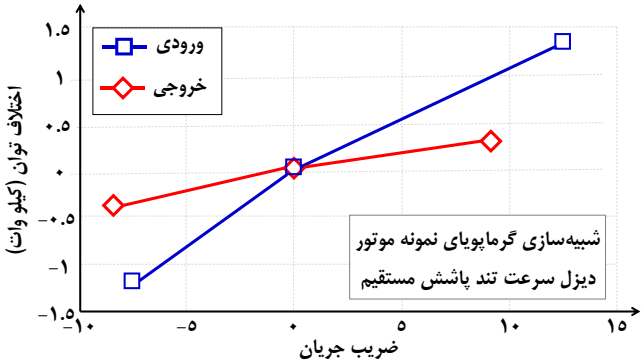
شکل ۲-۱۳- اثرات چرخش هوای درون استوانه بر عملکرد موتور دیزل در شرایط کاری گوناگون

اثرات متقابل ضریب جریان و ضریب چرخش در شکل ۲-۱۴ مشاهده می‌شود. همچنان که مشاهده می‌شود با افزایش ضریب جریان، ضریب چرخش کاهش می‌یابد. نکتهٔ دیگر آن که روند طراحی در موتورهای جدید به سمت کاهش ضریب چرخش و افزایش ضریب جریان است چرا که در موتورهای جدید توان ویژهٔ مورد نظر افزایش یافته است و این به معنی آن است که بازده تنفسی موتور در دور نامی (دور توان بیشینه) باید تا حد ممکن بهینه باشد و لازمهٔ این کار افزایش ضریب جریان راهگاه ورودی است.



شکل ۲-۱۴- اثرات متقابل ضریب جریان راهگاه و چرخش هوای درون استوانه

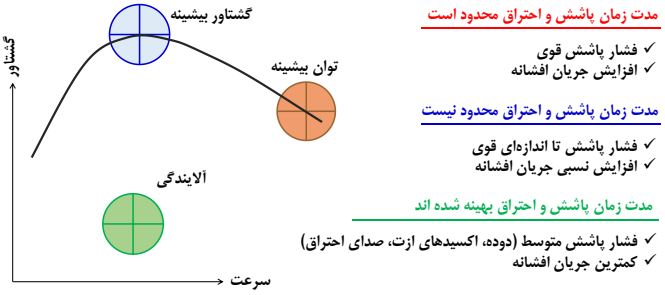
در شکل ۲-۱۵ اثرات ضریب جریان راهگاه ورودی و خروجی بر توان خروجی موتور نشان داده شده است. با افزایش و یا کاهش ۱۰ درصدی در ضریب جریان راهگاه ورودی، حدود یک کیلو وات افزایش یا کاهش توان در موتور به وجود خواهد آمد. این عدد برای راهگاه خروجی حدود ۰٫۵ کیلو وات است.



شکل ۲-۱۵- اثر ضریب جریان راهگاه‌های هوا و دود بر توان خروجی موتور

۹-۲- طراحی سامانهٔ پاشش سوخت

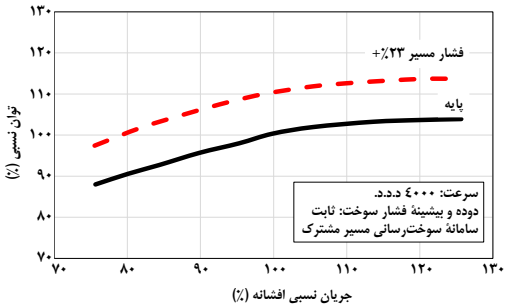
نیازمندی‌های موتور از سامانهٔ پاشش سوخت در شکل ۲-۱۶، نشان داده شده است. نکتهٔ مهم در طراحی سامانهٔ پاشش سوخت آن است که برای دستیابی به توان بیشینه، به دلیل محدود بودن مدت پاشش سوخت[1] و مدت احتراق[2] به سامانهٔ پاشش سوخت فشار قوی و جریان سریع نیاز است.



شکل ۲-۱۶- نیازمندی‌های سامانهٔ پاشش سوخت در شرایط کاری گوناگون

[1] Duration of Injection (DOI)
[2] Duration of Combustion (DOC)

اثر افزایش فشار و نرخ پاشش سوخت بر توان خروجی موتور در شکل ۲-۱۷، **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌شود. با افزایش حدود ۲۰ درصد در نرخ پاشش سوخت، ۵ درصد افزایش توان حاصل خواهد شد ولی همین مقدار افزایش در فشار پاشش سوخت حدود ۱۰ درصد افزایش توان به وجود خواهد آورد. بنابراین افزایش فشار تزریق روش مناسب‌تری برای افزایش توان است ولی به دلیل محدودیت‌های مکانیکی این امر باعث افزایش شدید قیمت تمام شدهٔ محصول خواهد شد.



شکل ۲-۱۷- اثر فشار و نرخ پاشش سوخت بر توان خروجی موتور

۲-۱۰- تأمین قطعات و آماده‌سازی موتور برای آزمون‌های احتراقی

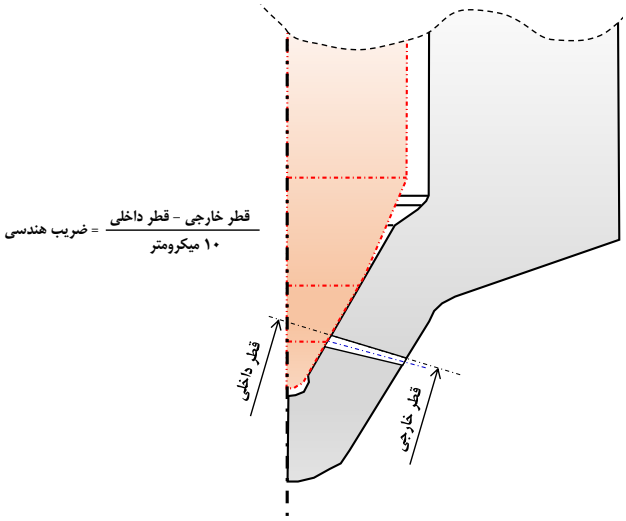
همچنان که اشاره شد، توسعهٔ احتراق موتور نیازمند آزمون سخت‌افزارهای گوناگون و ارزیابی آنها برای رسیدن به اهداف طرح است. بنابر این در مرحلهٔ تأمین قطعات باید فهرستی از سخت‌افزارهای مورد نیاز برای آزمون تهیه شود. در جدول ۲-۲، گونه‌های مختلف افشانه برای آزمون‌های احتراقی موتور دیزل سواری ارائه شده است. تفاوت گونه‌ها در تعداد سوراخ‌ها، زاویهٔ پاشش، نرخ جریان، مقدار نفوذ افشانه در محفظهٔ احتراق و ضریب هندسی سوراخ افشانه[1] (شکل ۲-۱۸) است.

[1] Nozzle Factor

جدول ۲-۲- گونه‌های مختلف افشانه برای آزمون‌های احتراقی موتور دیزل سواری

۷۵۰ (ml/min) × °زاویهٔ پاشش × تعداد سوراخ	ضریب هندسی سوراخ افشانه
۷ × ۱۵۲° × ۷۵۰	۱٫۵
۷ × ۱۵۲° × ۷۵۰	۳٫۵
۷ × ۱۵۲° × ۶۵۰	۱٫۵
۶ × ۱۵۲° × ۷۵۰	۱٫۵
۷ × ۱۴۸° × ۷۵۰	۱٫۵
۸ × ۱۵۲° × ۷۵۰	۱٫۵

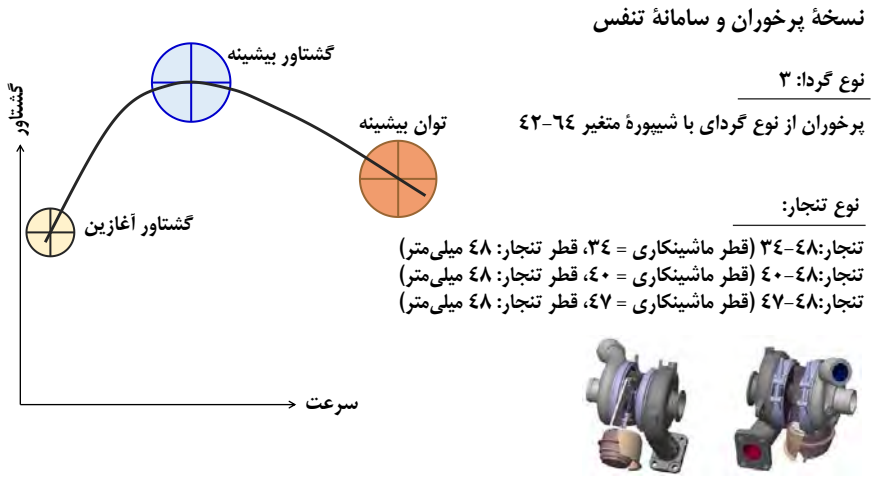
صفحات لایی برای تغییر پیش آمدگی نوک افشانه: ۱٫۵، ۲٫۰ و ۲٫۵ میلی‌متر



شکل ۲-۱۸- ضریب هندسی سوراخ افشانه

در جدول ۲-۳، گونه‌های مختلف پرخوران برای آزمون‌های احتراقی مشاهده می‌شود. تفاوت گونه‌ها در ویژگی عملکردی تنجار[1] آنهاست. تنجار با تراش[2] بزرگتر، برای افزایش گشتاور در دورهای تند مناسب است. در مقابل تنجار با تراش کوچکتر، مناسب افزایش گشتاور در دورهای کُند است.

در **Error! Reference source not found.** شکل ۲-۱۹، از نتیجهٔ محاسبات ترمودینامیکی، گونه‌های مختلف میل بادامک برای آزمون‌های احتراقی نشان داده شده است. تفاوت گونه‌ها در زمانبندی باز و بسته شدن دریچه‌هاست. رفتار مورد انتظار آن است که با گونهٔ اصلی، اهداف عملکردی مورد نظر حاصل گردد. ولی در صورت دست نیافتن به اهداف با این میل بادامک، گونهٔ یک که باعث افزایش بازده تنفسی در دورهای کند خواهد شد، بررسی می‌شود. گونهٔ دو، باعث افزایش بازده تنفسی در تمام دورها خواهد شد ولی در هر دو گونه مصرف ویژهٔ سوخت افزایش خواهد یافت.



شکل ۲-۱۹- گونه‌های مختلف پرخوران برای آزمون‌های احتراقی موتور دیزل سواری

[1] Compressor
[2] Trim

جدول ۲-۳- گونه‌های مختلف میل بادامک برای آزمون‌های احتراقی موتور دیزل سواری

زمانبندی پیشنهادی اولیه در لقی به ازاء ۱ میلی‌متر برخاستگی مؤثر دریچه			
زمانبندی (درجهٔ لنگ)	متغیر اصلی	متغیر آزمون ۱	متغیر آزمون ۲
باز شدن دریچهٔ دود	۱۶۸–۱۴۵	۱۶۸–۱۴۵	۱۷۷–۱۵۴
بسته شدن دریچهٔ دود	۳۴۷–۳۷۷	۳۴۷–۳۷۷	۳۴۷–۳۷۷
باز شدن دریچهٔ هوا	۳۷۲–۳۴۹	۳۷۲–۳۴۹	۳۷۲–۳۴۹
بسته شدن دریچهٔ هوا	۵۵۰–۵۸۱	۵۴۱–۵۷۲	۵۵۰–۵۸۱
متغیر اصلی:	برای موتورهای با شار هوای قوی؛ بویژه در سرعت‌های تند موتورهائی که برای کارکرد عالی بهبود یافته‌اند.		
متغیر آزمون ۱:	سودمند برای شار هوای قوی در سرعت کُند موتور		
متغیر آزمون ۲:	بهبود جریان هوا در محدودهٔ تمام دورها با تأخیر در زمان بازکردن دریچهٔ دود		

در جدول ۲-۴، گونه‌های مختلف راهگاه ورودی با ضرایب چرخش متفاوت برای آزمون‌های احتراقی نشان داده شده است. در واقع گونه‌های مختلف راهگاه ورودی به معنی گونه‌های متفاوت بستار است. این تفاوت در ضرایب چرخش، در فعالیت توسعهٔ راهگاه به وجود آمده است.

جدول ۲-۴- گونه‌های مختلف راهگاه ورودی با ضرایب چرخش متفاوت برای آزمون‌های احتراقی موتور دیزل سواری

	آزمون	شدت گردابه	متوسط شدت گردابه	ضریب جریان
بستار ۱	استوانهٔ ۱، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۶	۱٫۶۱	۱٫۶۳ ± ۳٪	۰٫۴۰۱
	استوانهٔ ۲، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۶	۱٫۶۵		۰٫۴۰۶
	استوانهٔ ۳، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۶	۱٫۶۰		۰٫۴۰۰
	استوانهٔ ۴، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۶	۱٫۶۴		۰٫۴۰۷
بستار ۲	استوانهٔ ۱، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۸	۱٫۸۰	۱٫۸۲ ± ۶٪	۰٫۴۰۰
	استوانهٔ ۲، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۸	۱٫۸۸		۰٫۳۹۳
	استوانهٔ ۳، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۸	۱٫۷۹		۰٫۳۹۸
	استوانهٔ ۴، گردابه تنظیم شد روی ۱٫۸	۱٫۸۴		۰٫۳۹۳
بستار ۳	استوانهٔ ۱، بدون تنظیم گردابه	۲٫۱۰	۲٫۱ ± ۴٪	۰٫۳۴۷
	استوانهٔ ۲، بدون تنظیم گردابه	۲٫۱۴		۰٫۳۴۴
	استوانهٔ ۳، بدون تنظیم گردابه	۲٫۱۰		۰٫۳۴۰
	استوانهٔ ۴، بدون تنظیم گردابه	۲٫۰۷		۰٫۳۴۲

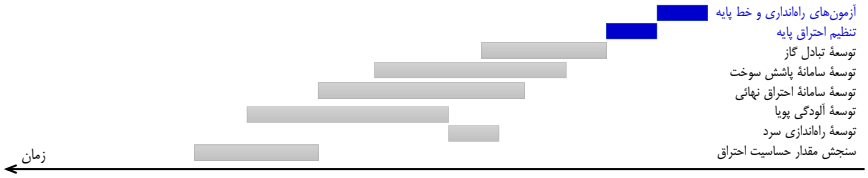
۲-۱۱- آزمون‌های احتراقی موتور

ارزیابی احتراق موتور شامل ارزیابی کیفیت احتراق، پاشش سوخت، تنفس موتور و عملکرد مکانیکی قطعات است. بر مبنای شاخص‌های هریک از موارد اشاره شده در جدول‌های ۲-۵ تا ۲-۸، برنامهٔ آزمون‌های احتراقی برای ارزیابی سامانه‌های احتراقی موتور ارائه شده است. در طول اجرای فعالیت توسعهٔ احتراق و در مراحل مختلف، تمرکز ارزیابی‌ها بر ویژگی‌های متفاوتی قرار می‌گیرد.

برای نمونه، در زمان توسعهٔ تبادل گاز در موتور، تمرکز اصلی بر ارزیابی رفتار ویژگی‌های تنفسی موتور قرار دارد. در عین حال به دلیل همپوشانی‌هایی که در برنامهٔ زمانی اجرای فعالیت‌ها مشاهده می‌شود، همواره سایر شاخص‌های عملکردی نیز در نظر گرفته می‌شوند.

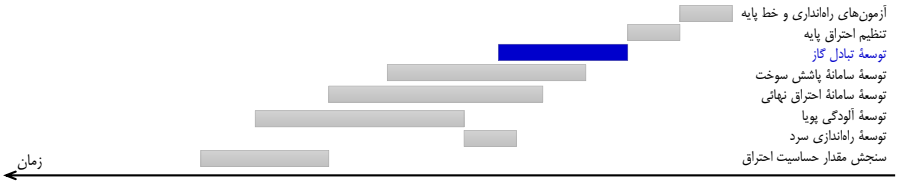
جدول ۲-۵- برنامهٔ آزمون‌های احتراقی: آزمون‌های راه‌اندازی و خط پایه و تنظیم احتراق پایه

کیفیت احتراق	مشخصات پاشش	سامانهٔ تنفسی	مکانیک پایه
• دوده بر حسب نسبت هوای اضافه	• سطح فشار پاشش	• بازده تنفسی	• اصطکاک موتور
• دودهٔ در شرایط نیمه بار	• زمان‌بندی پاشش	• هدر رفت مکشی	• مصرف روغن روانکاری
• آلودگی خروجی	• مدت پاشش	• توزیع بازخورانی گازهای خروجی	• مقدار انتقال بخارات محفظهٔ لنگ و روغن
• قلهٔ فشار داخل استوانه	• اثر فشار	• فشار هوای پرخورانی	• آلودگی ذرات روغن روانکاری
• سر و صدای احتراق	• پایداری فشار پاشش	• فشار خروجی قبل از گردا	• عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری
• دمای گازهای خروجی	• نرخ پاشش	• فشار پائین دست سامانهٔ خروجی	• نشتی
	• نرخ شکل‌گیری	• سرعت دورانی پرخوران	• مقدار دوده در روغن
		• بازده خنک‌کن میانی	



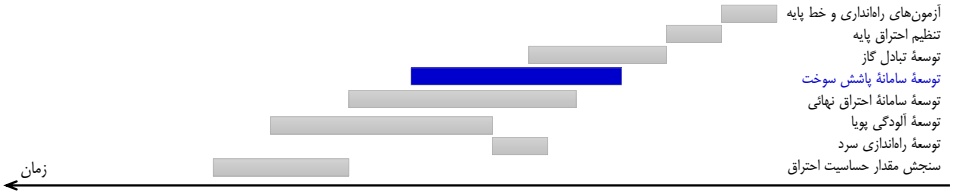
جدول ۲-۶- برنامهٔ آزمون‌های احتراقی: توسعهٔ تبادل گاز

کیفیت احتراق	مشخصات پاشش	سامانهٔ تنفسی	مکانیک پایه
• دوده بر حسب نسبت هوای اضافه	• سطح فشار پاشش	• بازده تنفسی	• اصطکاک موتور
• دودهٔ در شرایط نیمه بار	• زمان‌بندی پاشش	• هدر رفت مکشی	• مصرف روغن روانکاری
• آلودگی خروجی	• مدت پاشش	• توزیع بازخورانی گازهای خروجی	• مقدار انتقال بخارات محفظهٔ لنگ و روغن
• قلهٔ فشار داخل استوانه	• اثر فشار	• فشار هوای پرخورانی	• آلودگی ذرات روغن روانکاری
• سر و صدای احتراق	• پایداری فشار پاشش	• فشار خروجی قبل از گردا	• عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری
• مصرف سوخت	• نرخ پاشش	• فشار پائین دست سامانهٔ خروجی	• نشتی
• دمای گازهای خروجی	• نرخ شکل‌گیری	• سرعت دورانی پرخوران	• مقدار دوده در روغن
		• بازده خنک‌کن میانی	



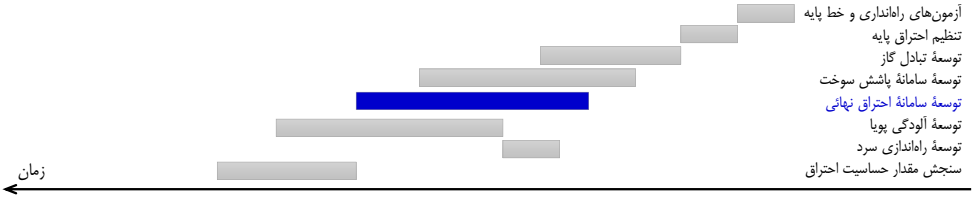
جدول ۲-۷- برنامهٔ آزمون‌های احتراقی: توسعهٔ سامانهٔ پاشش سوخت

کیفیت احتراق	مشخصات پاشش	سامانهٔ تنفسی	مکانیک پایه
• دوده بر حسب نسبت هوای اضافه • دودهٔ در شرایط نیمه بار • آلودگی خروجی • قلهٔ فشار داخل استوانه • سر و صدای احتراق • مصرف سوخت • دمای گازهای خروجی	• سطح فشار پاشش • زمان‌بندی پاشش • مدت پاشش • اثر فشار • پایداری فشار پاشش • نرخ پاشش • نرخ شکل‌گیری	• بازده تنفسی • هدر رفت مکشی • توزیع بازخورانی گازهای خروجی • فشار هوای پرخورانی • فشار خروجی قبل از گردا • فشار پائین دست سامانهٔ خروجی • سرعت دورانی پرخوران • بازده خنک‌کن میانی	• اصطکاک موتور • مصرف روغن روانکاری • مقدار انتقال بخارات محفظهٔ لنگ و روغن • آلودگی ذرات روغن روانکاری • عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری • نشتی • مقدار دوده در روغن



جدول ۲-۸- برنامهٔ آزمون‌های احتراقی: توسعهٔ سامانهٔ احتراق نهایی

کیفیت احتراق	مشخصات پاشش	سامانهٔ تنفسی	مکانیک پایه
• دوده بر حسب نسبت هوای اضافه • دودهٔ در شرایط نیمه بار • آلودگی خروجی • قلهٔ فشار داخل استوانه • سر و صدای احتراق • مصرف سوخت • دمای گازهای خروجی	• سطح فشار پاشش • زمان‌بندی پاشش • مدت پاشش • اثر فشار • پایداری فشار پاشش • نرخ پاشش • نرخ شکل‌گیری	• بازده تنفسی • هدر رفت مکشی • توزیع بازخورانی گازهای خروجی • فشار هوای پرخورانی • فشار خروجی قبل از گردا • فشار پائین دست سامانهٔ خروجی • سرعت دورانی پرخوران • بازده خنک‌کن میانی	• اصطکاک موتور • مصرف روغن روانکاری • مقدار انتقال بخارات محفظهٔ لنگ و روغن • آلودگی ذرات روغن روانکاری • عملکرد سامانهٔ خنک‌کاری • نشتی • مقدار دوده در روغن



در صورت عدم دسترسی به اهداف مورد نظر و یا عملکرد نامطلوب موتور، پس از ارزیابی و تحلیل نتایج آزمون، ضعف موتور در هریک از حوزه‌های اشاره شده، مشخص می‌شود. در جدول ۲-۹ ویژگی‌های مؤثر در هر حوزه که

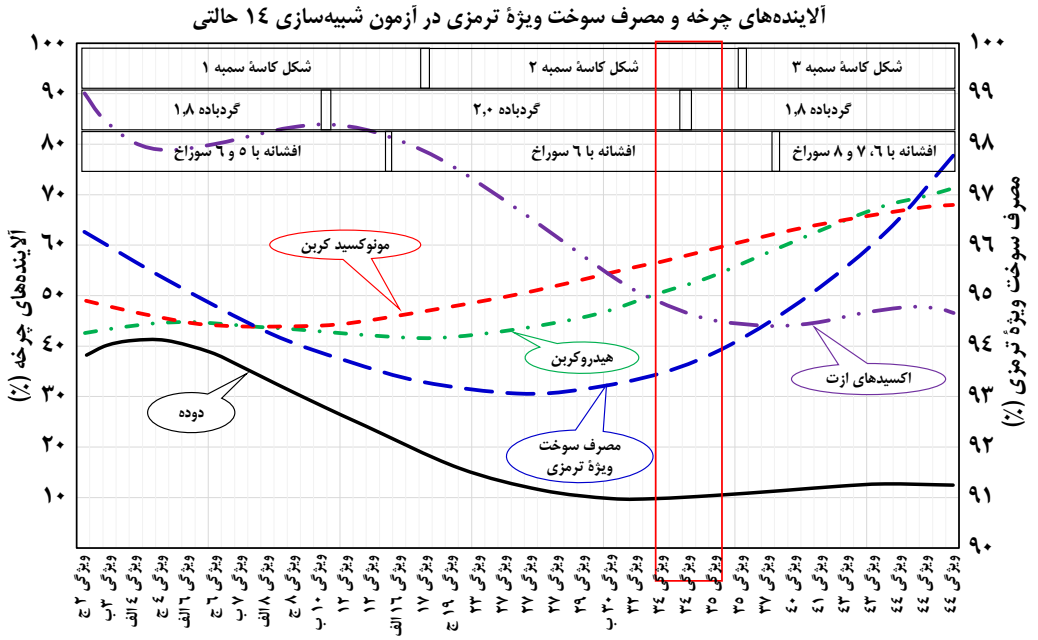
می‌توانند باعث بهبود وضعیت شوند، نشان داده شده است. با توجه به این جدول، برای تغییر سخت‌افزار موتور و ارزیابی دوبارهٔ وضعیت احتراقی موتور تا رسیدن به اهداف طرح، نیاز مشخص شده است.

جدول ۲-۹- ویژگی‌های مورد نظر برای تغییر در صورت انحراف از اهداف

کیفیت احتراق	مشخصات پاشش	سامانهٔ تنفسی	مکانیک پایه
• سطح گردبادهٔ ورودی و راهبرد تغییر • شکل کاسهٔ سمبه • جای دریچه‌ها روی کاسهٔ سمبه • نسبت تراکم • حجم‌های مرده (شاخص k) • زاویهٔ مخروط پاشش افشانه • تعداد سوراخ‌های افشانه • جلوآمدگی نوک افشانه • جلوآمدگی افشانه در زمان بستن	• نرخ جریان پاشش (اندازهٔ سوراخ) • هندسهٔ سوراخ افشانه • تنظیم فشار مسیر پاشش • راهبرد پاشش اصلی (مقدار، فاصلهٔ زمانی و تعداد پاشش) • پسا پاشش (مقدار و فاصلهٔ زمانی)	• ظرفیت جریان راهگاه ورودی • ظرفیت جریان راهگاه خروجی • زمانبندی دریچه‌ها • چندراه‌ها و لوله‌ها • ترکیب بازخورانی گازهای خروجی • خنک‌کاری بازخورانی گازهای خروجی • بازده خنک‌کن میانی • تطابق پرخوران	• سامانهٔ لنگ و دریچه‌ها • سمبه و حلقه‌ها • دیواره‌های استوانه • محورهای متعادل‌کننده • سامانهٔ گازهای نشتی محفظهٔ لنگ و جداکنندهٔ روغن • متعلقات • فوارهٔ پاشش در انتهای پاشش (در موتورهای دیزل سریع)

مستندسازی تاریخچه و پیشرفت کار توسعهٔ احتراق

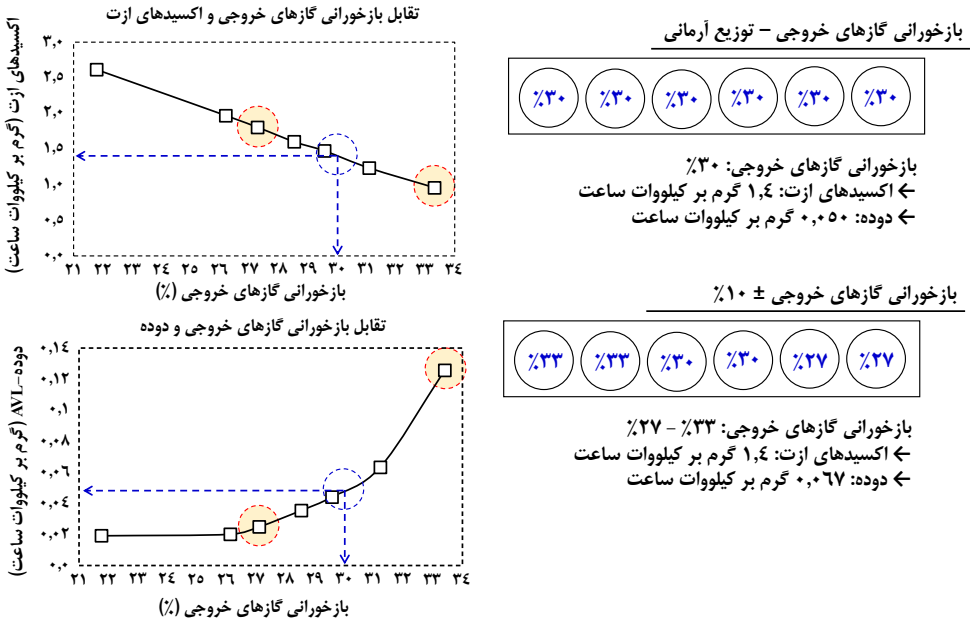
برای نمایش تاریخچه و نیز وضعیت پیشرفت طرح از نموداری مشابه شکل ۲-۲۰، **Error! Reference source not found.** استفاده می‌شود. در این نمودار سخت‌افزارهای گوناگون تغییر داده شده در طول اجرای طرح و نیز عملکرد موتور با اعمال این تغییرات براحتی قابل مشاهده است. این نمودار می‌تواند به منظور ارزیابی نتایج جدید حاصل از موتور نیز استفاده شود. در واقع این نمودار می‌تواند به عنوان نمودار مقایسهٔ وضعیت جدید موتور با وضعیت‌های قبلی همین موتور نیز تلقی گردد. در صورتی که وضعیت موتور در آزمون‌های قبلی بهتر باشد، می‌توان همان سخت‌افزار را به عنوان سخت‌افزار مطلوب برای این موتور نهایی نمود.



شکل ۲-۲۰- تاریخچه و پیشرفت روند توسعهٔ احتراق

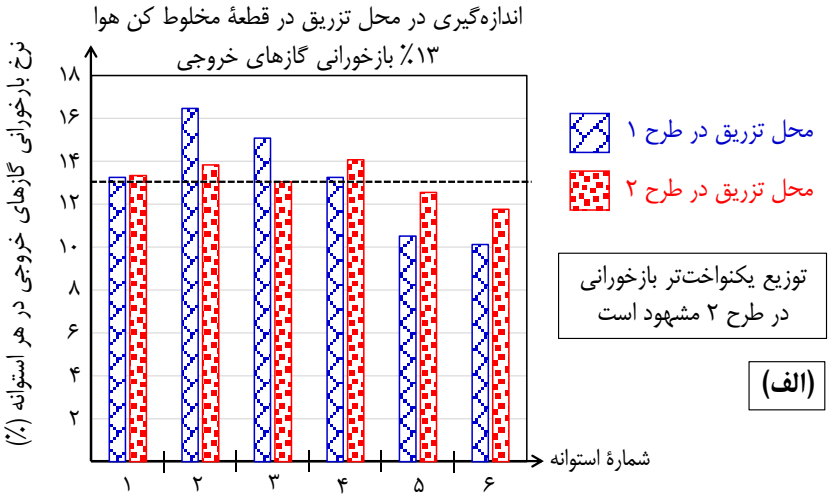
آزمون ارزیابی نحوهٔ توزیع بازخورانی دود

یکی دیگر از آزمون‌های ارزیابی احتراقی موتور، آزمون ارزیابی نحوهٔ توزیع بازخورانی دود در استوانه‌های مختلف است. به عنوان مثال همان طور که در شکل ۲۱-۲ مشاهده می‌شود، برای یک موتور نمونهٔ ۶ استوانه، در صورتی که توزیع یکنواختی از گازهای بازخورانی شده در استوانه‌های مختلف وجود نداشته باشد، مقدار آلایندگی دوده در خروجی موتور افزایش خواهد یافت. این امر به دلیل حساسیت شدید آلایندهٔ دوده، به مقدار گازهای بازخورانی شده است.

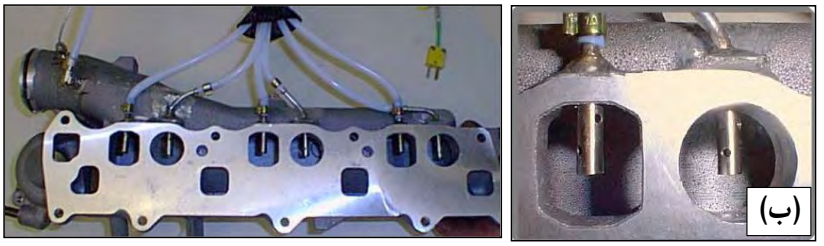


شکل ۲–۲۱– نتیجهٔ توزیع گازهای بازخورانی شده در استوانه‌ها بر مقدار آلایندگی

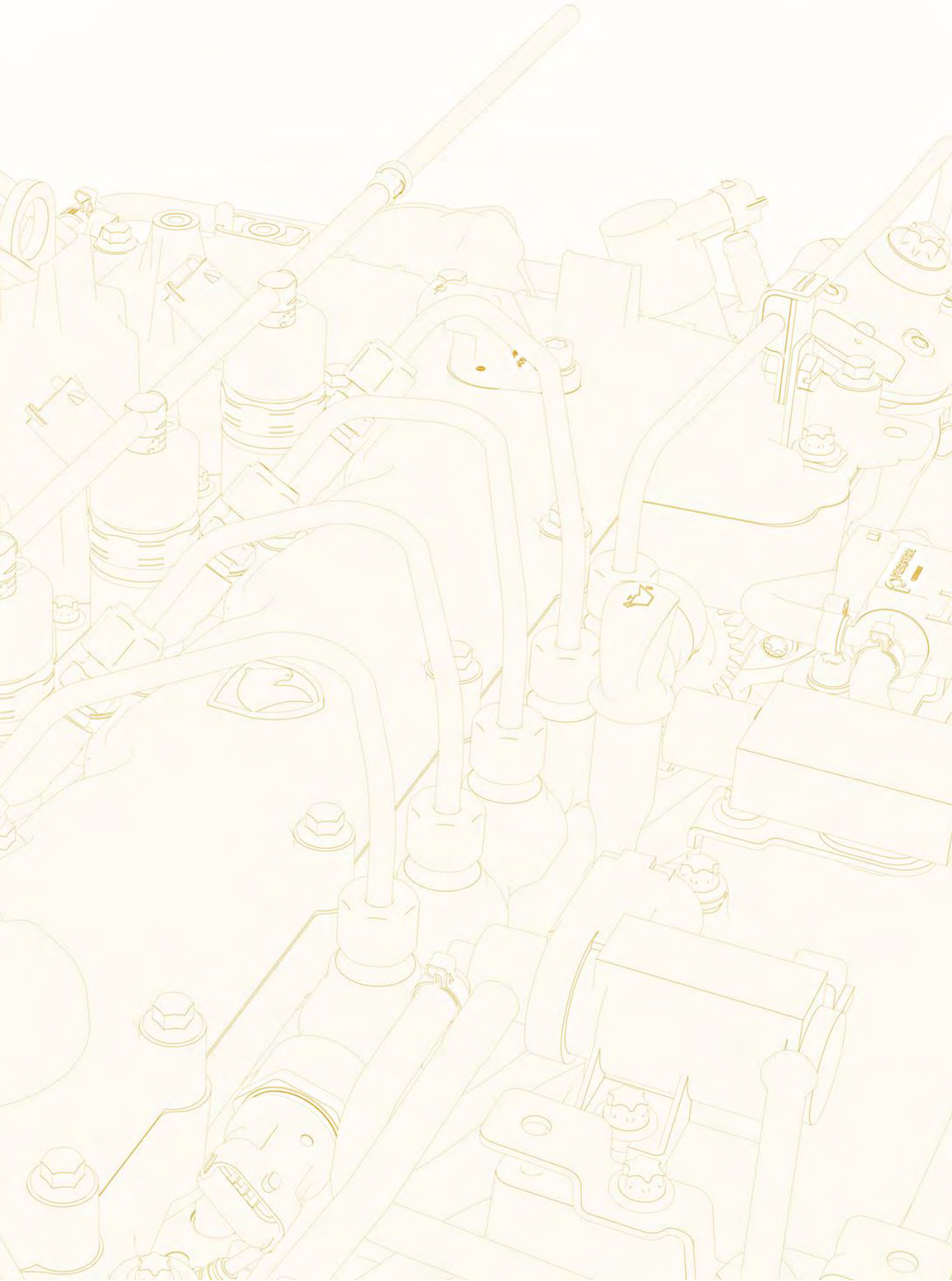
برای اندازه‌گیری نحوهٔ توزیع گازهای بازخورانی شده در استوانه‌های مختلف، از روش اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن در هر یک از شاخه‌های چندراههٔ هوا استفاده می‌شود. با محاسبهٔ اختلاف غلظت دی‌اکسید کربن در هریک از شاخه‌ها نسبت به غلظت دی‌اکسید کربن در گازهای خروجی می‌توان به مقدار (درصد) گازهای بازخورانی شده در هر استوانه دست یافت. برای نمونه، شکل ۲–۲۲، اثر محل تزریق گازهای بازخورانی شده را در دو محل تزریق مختلف در یک موتور نمونهٔ ۶ استوانه، نشان می‌دهد.



سنجش جداگانهٔ نرخ بازخورانی گازهای خروجی در هر استوانه با سنجش آلایندهٔ دی‌اکسید کربن



شکل ۲-۲۲- ارزیابی نحوهٔ توزیع بازخورانی گازهای خروجی در دو محل تزریق در یک نمونه موتور ۶ استوانه،
(الف) نرخ بازخورانی گازهای خروجی در هر استوانه،
(ب) محل حسگرهای سنجش آلایندهٔ دی‌اکسید کربن



فصل سوم

شبیه‌سازی در فرایند طراحی و توسعهٔ محصول

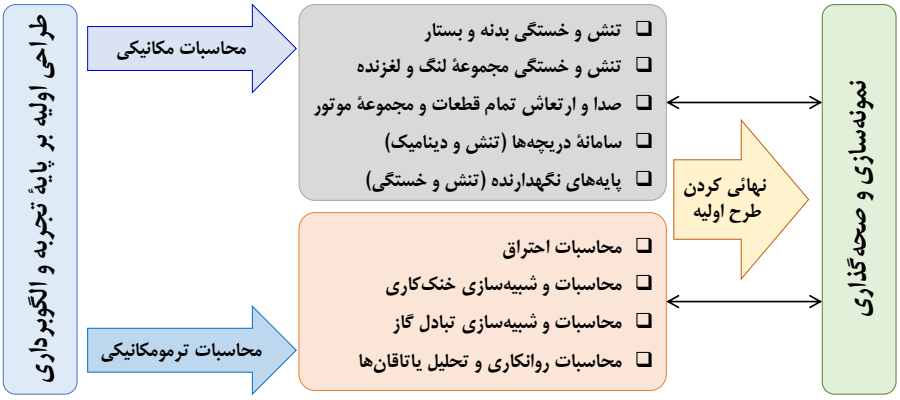
۱-۳- پیشگفتار

در فرآیند توسعهٔ محصول، برای طراحی محصولی با عملکرد مناسب نیاز به استفاده از محاسبات مهندسی است. همچنین بعد از ساخت نمونه‌های اولیه محاسبات مهندسی در کنار فعالیت‌های صحه‌گذاری به کمک طراحی می‌آید تا مشکلات و خرابی‌های مجموعه‌ها یا قطعات موتور را ارزیابی و رفع نماید. در توسعهٔ موتور دیزل ملی از آخرین روش‌های محاسبات مهندسی بر مبنای شبیه‌سازی برای بررسی طرح قطعات و سامانه‌های موتور استفاده شد.

استفاده از ابزارهای محاسبات مهندسی سبب کاهش هزینه‌های آزمون برای رسیدن به طراحی بهینه می‌شود به طوری که در روند طراحی قطعات مختلف این موتور با ارجاع به نتایج محاسباتی و شبیه‌سازی و قبل از ساخت نمونهٔ واقعی و اجرای آزمون اصلاح شد. البته این امر به معنی بی‌هزینه بودنِ فعالیت‌های محاسبات مهندسی نیست، زیرا این نوع فعالیت، وابستگی مستقیم به نیروی انسانی خبره، ماهر و با تجربه دارد. برای اجرای شبیه‌سازی با بازده خوب به سخت افزارها و نرم‌افزارهای توانمند نیاز است. گاهی برای ارزیابی‌های کارشناسی لازم است برنامه‌های نرم‌افزاری خاص توسعه داده شوند.

از دیدگاه توسعهٔ محصول می‌توان فعالیت‌های محاسبات مهندسی موتور ملی دیزل را به دو بخش عمده تقسیم کرد: محاسبات مفهومی و محاسبات تفصیلی. همچنین از نگرش فیزیکی نیز می‌توان این فعالیت‌ها را به دو

بخش عمدهٔ محاسبات مکانیکی و ترمومکانیکی تقسیم نمود. هر کدام از آن فعالیت‌ها حلقه‌ای است شامل رفت و برگشت طرح‌های مختلف بین گروه طراحی و محاسبات مهندسی برای رسیدن به طرحی مناسب که معیارهای محاسبات مهندسی را برآورده کند. در نهایت پس از ساخت نمونه‌های اولیه و با دریافت بازخوردهای صحه‌گذاری، در صورت نیاز محاسبات مهندسی دوباره انجام می‌شود تا مشکل با اصلاح طراحی حل شود. شکل ۳-۱، روندنمای کل فرایند محاسبات مهندسی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- روندنمای کل فرایند محاسبات مهندسی

۲-۳- شبیه‌سازی فرآیند تبادل گاز و عملکرد موتور

هدف اصلی از اجرای این فعالیت ایجاد شناخت از رفتار سیالاتی و گرمایی اجزاء موتور است. در این فعالیت مسیر هوا، دود و استوانه‌ها شبیه‌سازی می‌شود و عملکرد و بازده موتور محاسبه می‌شود. فرآیند احتراق در این شبیه‌سازی با استفاده از معادلات تحلیلی شبیه‌سازی می‌شود که به لحاظ مهندسی دقت قابل قبولی دارند.

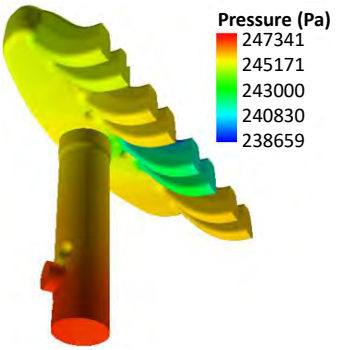
یکی از مهمترین مسائل در کل این محاسبات، وجود اطلاعات تجربی از آزمون احتراقی (مانند فشار درون استوانه، فشار در مجاری هوا و دود، کمیت‌های عملکردی، مقدار مصرف سوخت) یک موتور مشابه است که از واحد الگوبرداری دریافت می‌شود. این اطلاعات در زینه‌بندی شبیه‌سازی سهم مهمی دارند و دقت محاسبات را تا حدی که قابل قبول و اعتماد باشد، افزایش می‌دهد. همچنین این محاسبات اطلاعات شرایط مرزی جریان را برای تحلیل‌های سه بُعدی دینامیک سیالات محاسباتی جریان در چندراهۀ هوا و دود مهیا می‌کند. در طرح موتور ملی

دیزل این شبیه‌سازی به وسیلهٔ نرم‌افزار جی‌تی-پاور[1] از بستهٔ نرم‌افزاری جی‌تی-سوئیت[2] انجام شد. نتیجهٔ این محاسبات تعیین ابعاد هندسیِ مجاری و احجام ورودی (مجموعهٔ تنفس) و خروجی (مجموعهٔ تخلیه) است.

۳-۳- تحلیل سه بعدی جریان هوا در چندراههٔ ورودی

در این تحلیل، رفتار سیالاتی هوا در چندراههٔ هوا بررسی می‌شود. اهداف این محاسبه کمینه کردن افت فشار مسیر، جلوگیری از شکل‌گیری گردابه‌های موضعی، کمینه کردن احتمال پس‌زدن جریان از استوانه‌ها به چندراهه است. اصول محاسباتی این تحلیل بسیار شبیه به محاسبات دینامیک سیالات در چندراههٔ دود است. همچنین با توجه به برگشت گازهای خروجی در این موتور، توزیع یکنواخت این جریان به استوانه‌ها بررسی می‌شود.

در پیش-پردازش این محاسبات از نرم‌افزار هایپرمش[3] و برای پردازش از نرم‌افزار فلوئنت[4] استفاده شد. در روند طراحی موتور ملی دیزل، حلقهٔ محاسبه و اصلاح هندسه چندین بار تکرار شد تا در نهایت طراحی مناسب حاصل شد. در شکل **Error! Reference source not found.**۳-۲ نمونه‌ای از نتایج توزیع سرعت در هنگام تنفس نشان داده شده است.



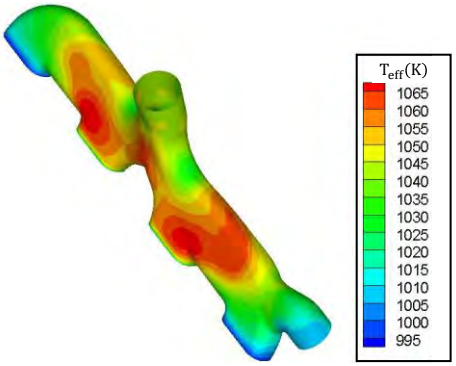
شکل ۳-۲- نمونه‌ای از نتایج توزیع سرعت در چندراههٔ هوا

[1] GT-Power
[2] GT-SUITE
[3] Hypermesh
[4] Fluent

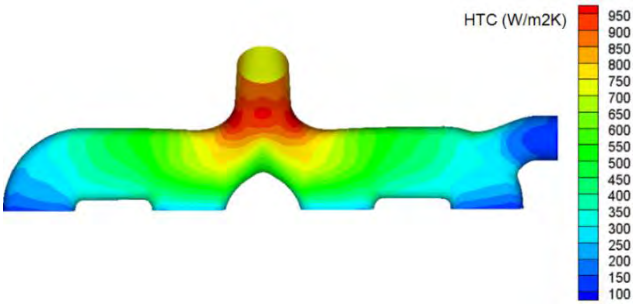
٤-٣- تحلیل سه بعدی جریان در چندراههٔ خروجی و واکنشگر شیمیایی

این تحلیل برای بهینه‌سازی جریان در چندراههٔ خروجی و در ورودی واکنشگر شیمیایی است. اهداف بهینه‌سازی شامل کمینه‌سازی افت فشار، افزایش یکنواختی جریان و فشار در ورود به واکنشگر شیمیایی، از بین بردن احتمال پس زدن جریان در مجاری دود به سمت استوانه‌ها، از بین بردن چرخش‌های موضعی و کاهش سرعت حرکت سیال به کمتر از سرعت صوت است. این تحلیل در واقع ادامهٔ محاسبات یک بعدی تبادل گاز با پیچیدگی شدیدتر و معیارهای متفاوت است. همچنین شرایط مرزی در ورودی مجاری دود از تحلیل یک بعدی گرفته می‌شود. روش کار مانند فعالیت محاسبات تحلیل سه بعدی جریان در مجاری آب خنک‌کاری است، با این تفاوت که در این تحلیل سیال تراکم‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. یکنواخت بودن جریان به لحاظ سرعت و فشار در ورود به واکنشگر امری ضروری است، زیرا در صورت عدم یکنواختی جریان، واکنشگر به صورت نامتقارن مستهلک می‌شود و بازده آن به سرعت کاهش و آلایندگی افزایش می‌یابد.

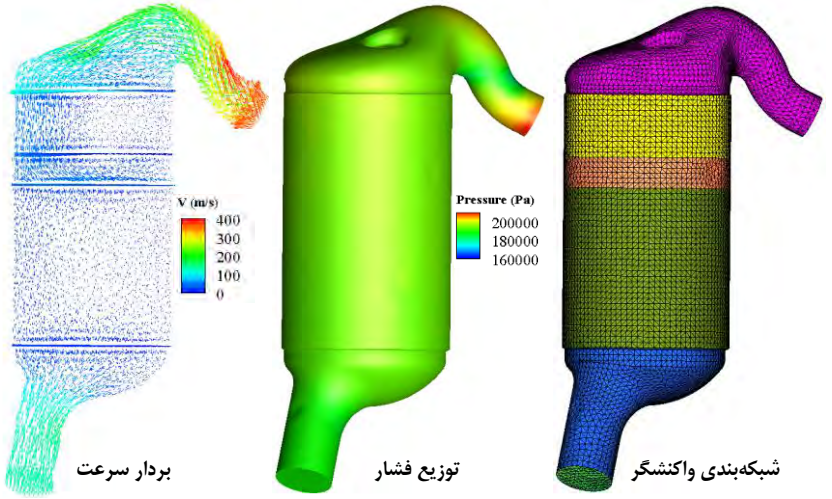
بهترین محل نصب حسگر اکسیژن برای آن که بتوان خوانش صحیحی انجام داد، از نتیجهٔ همین محاسبات به دست می‌آید. از این رو شاخص‌های خاصی روی میدان‌های سرعت و فشار در دهانهٔ ورودی واکنشگر تعریف و محاسبه می‌شود که در طراحی خوب، باید آنها را رعایت کرد. ابزار پیش پردازش، نرم‌افزار هایپرمش است که شبکه‌بندی با آن انجام می‌شود و برای پردازش نیز از نرم‌افزار فلوئنت استفاده می‌شود. در شکل‌های ۳-۳، ۳-۴ و ۳-۵ بترتیب نمودار توزیع دما، ضریب انتقال گرما داخل چندراههٔ دود و توزیع فشار و سرعت داخل واکنشگر شیمیائی موتور نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- توزیع دما داخل چندراههٔ دود



شکل ۳-۴- توزیع ضریب انتقال گرما چندراهۀ دود



شکل ۳-۵- نتایج شبیه‌سازی واکنشگر

۳-۵- محاسبات یک بُعدی خنک‌کاری

تحلیل یک-بعدی مدار خنک‌کاری موتور با هدف ایجاد شناخت کیفی از خنک‌کاری موتور با توجه به نیازهای کمّیِ هر یک از عناصر این مدار انجام می‌شود. تحلیل خنک‌کاری یک-بعدی شامل دو بخش عمده است. در بخش اول محاسبات جریان در مجاری خنک‌کاری بستار و بدنه، الگوسازی می‌شود و در بخش دوم تمام مدار خنک‌کاری خودرویی شبیه‌سازی می‌شود.

در بخش اول مجاری خنک‌کاری داخل موتور و هندسهٔ لایی بستار در الگو لحاظ می‌شود. سپس از محاسبهٔ مشخصات جریان که شامل توزیع فشار، سرعت و شار در هر شاخه است، بهینه‌سازی هندسی مجاری و سوراخ‌های لایی برای پایش جریان و رسیدن به کمترین افت فشار و یکنواخت‌ترین توزیع انجام می‌شود. این تحلیل شامل محاسبات حرارتی نیست.

در بخش دوم تمام مدار خنک‌کاری خودرو به صورت یک–بعدی (شبکه‌ای از لوله‌ها، حجم‌ها، افت فشارها و مقاطع محدود کنندهٔ جریان) الگوسازی و مشخصات جریان در هر قسمت محاسبه می‌شود. اجزاء این مدار شامل تلمبهٔ آب، موتور، مبدل حرارتی، مبدل حرارتی اتاق سرنشین و گرم‌کنِ شیر فشارشکن گاز طبیعی فشرده است. نتیجهٔ محاسبات این بخش، معین شدن نیازمندی‌های عملکردیِ تلمبهٔ آب، نیازمندیِ دفع حرارتیِ مبدل حرارتی و مشخصات جریان در هر جزءِ سامانهٔ خنک‌کاری است. برای این تحلیل در طرح موتور ملی دیزل از نرم‌افزار جی‌تی کول[1] در بستهٔ نرم‌افزاری جی‌تی–سوئیت، استفاده شده است. این محاسبات علاوه بر کاربرد مذکور، برای تهیهٔ اطلاعات شرایط مرزی تحلیل سه–بعدی جریان آب در مجاری بستار و بدنه نیز مورد نیاز است.

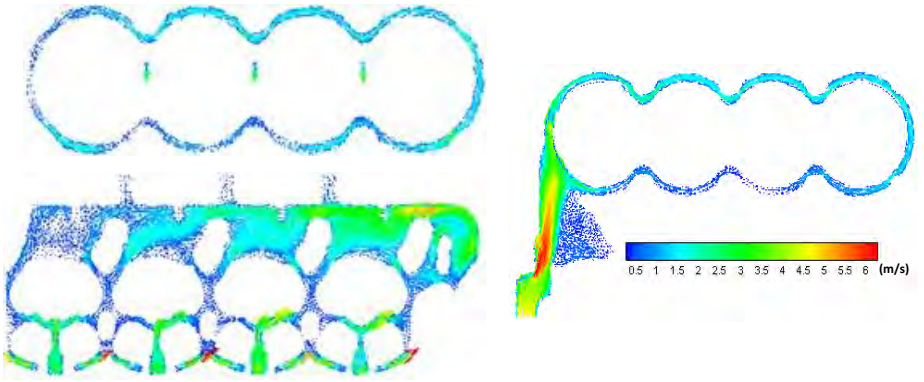
٦-٣- تحلیل سه بعدی جریان سیال خنک‌کننده

این تحلیل در واقع در ادامهٔ محاسبات یک بعدی خنک‌کاری موتور انجام می‌شود. در این شبیه‌سازی، جریان در مجاری خنک‌کاری موتور در بستار و بدنه محاسبه می‌شود و افت فشارها، ضریب انتقال گرما و گردابه‌های احتمالی بررسی می‌شوند. شرایط مرزی از محاسبات یک بعدی که پیشتر ذکر شد، گرفته می‌شود. در طرح موتور ملی دیزل برای پیش پردازش و شبکه‌بندی الگوی سه بعدی از نرم‌افزار هایپرمش و برای پردازش و حل مسأله از نرم‌افزار فلوئنت استفاده شد.

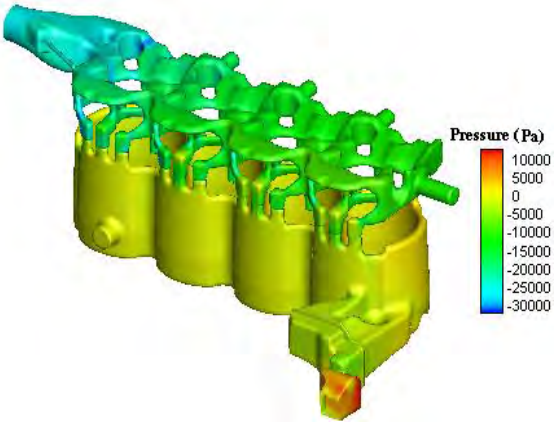
از اهداف مهم این فعالیت کاهش افت فشار در مجراهای خنک‌کاری تا حد ممکن و افزایش سرعت بویژه در مناطقی گرمتر بستار است. علاوه بر این، یکنواخت بودن جریان از مهمترین معیارهایی است که با هدف توزیع یکنواخت حرارت در بدنه و بستار بررسی می‌شود. همچنین به عنوان خروجی این محاسبات، مقادیر ضریب انتقال گرما روی سطوح مجاری خنک‌کاری استخراج می‌شوند تا در تحلیل تنش، تغییر شکل‌های بدنه و بستار استفاده شوند. هر چند که در این شبیه‌سازی انتقال گرما از محفظهٔ احتراق به آب، لحاظ نمی‌شود، اما ضرایب انتقال گرما، که بر اساس محاسبات سیالاتی محاسبه شده، باید در محدودهٔ مجاز قرار گیرد تا از عدم شکل‌گیری نقاط داغ اطمینان حاصل شود.

[1] GT-Cool

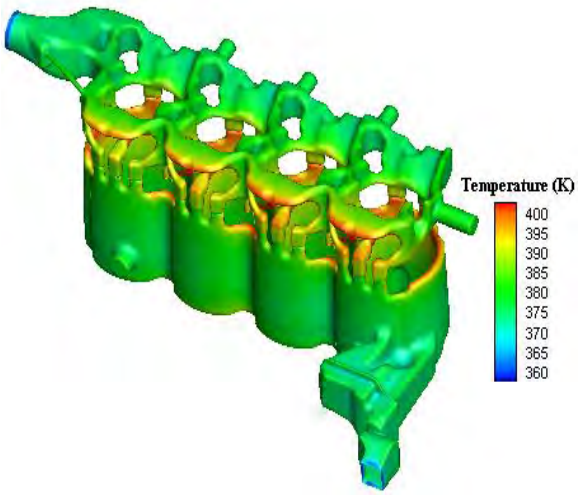
در شکل‌های ۳-۶ تا ۳-۹ نتایج محاسبه شامل توزیع سرعت در چند مقطع راهگاه آب، فشار ایستائی در مجاری خنک‌کاری موتور و توزیع ضریب انتقال گرما دیوارهٔ مجاری خنک‌کاری نشان داده شده است.



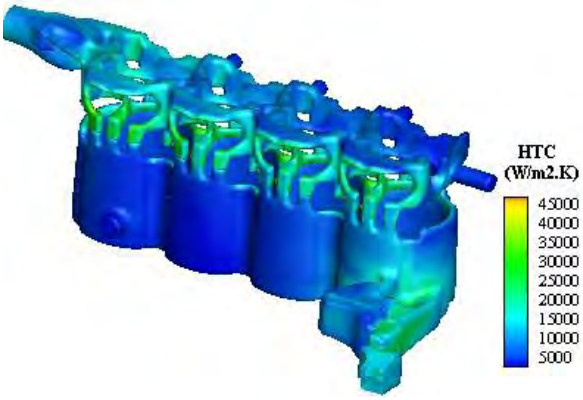
شکل ۳-۶- سرعت داخل راهگاه آب در چند مقطع مختلف



شکل ۳-۷- توزیع فشار ایستائی روی سطح داخلی راهگاه آب



شکل ۳-۸- دما روی سطح داخلی راهگاه آب

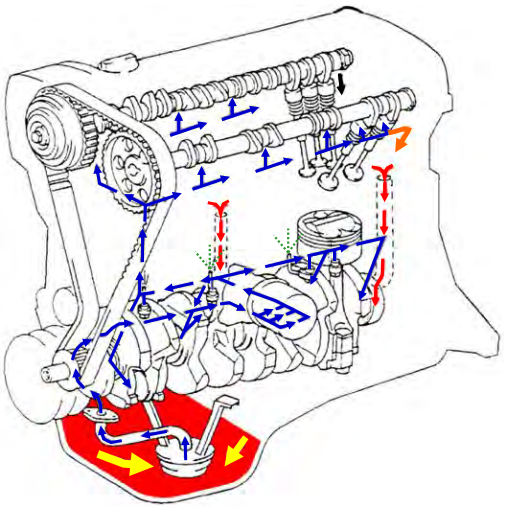


شکل ۳-۹- ضریب انتقال گرما روی سطح داخلی راهگاه آب

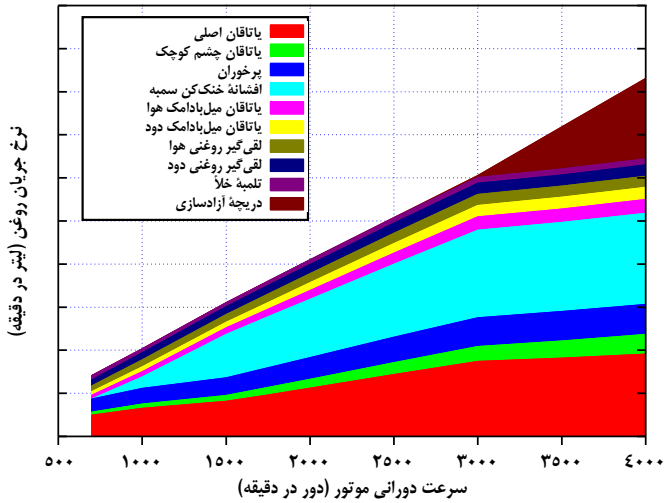
۳-۷- تحلیل یک بعدی روانکاری

تحلیل یک-بعدی مدار روانکاری موتور که در مرحلهٔ طراحی مفهومی موتور انجام می‌شود. هدف از این تحلیل، شناخت کیفیت روانکاری موتور با توجه به نیازهای کمّیِ هر یک از عناصر این مدارها است. تحلیل روانکاری به هدف شناسایی رفتار سامانهٔ روغن‌کاری و هر یک از اجزاء آن انجام شد. این تحلیل نیز به صورت یک-بعدی و با شبیه‌سازی عناصر مدار شامل تلمبهٔ روغن، شیر فشار شکن، یاتاقان‌ها، افشانهٔ خنک‌کن سمبه، مبدل خنک‌کن

روغن، لقی‌گیرهای روغنی، یاتاقان‌ها، پرخوران، تلمبهٔ خلأ ترمز و مجاری اتصال این عناصر به یکدیگر انجام شد. در این تحلیل فشار و شار روغن در هر مقطع از مدار محاسبه می‌شود تا با توجه به مقدار نیاز هر عنصر، مشخصات تلمبه و شیر فشار شکن تعیین شود. این شبیه‌سازی در نرم‌افزار فلومستر با استفاده از ۱۷۷ عنصر شبیه‌سازی انجام شد. در شکل‌های ۳–۱۰ و ۳–۱۱ بترتیب، طرح مدار روانکاری و مصرف روغن هر عضو مدار روانکاری نشان داده شده است.



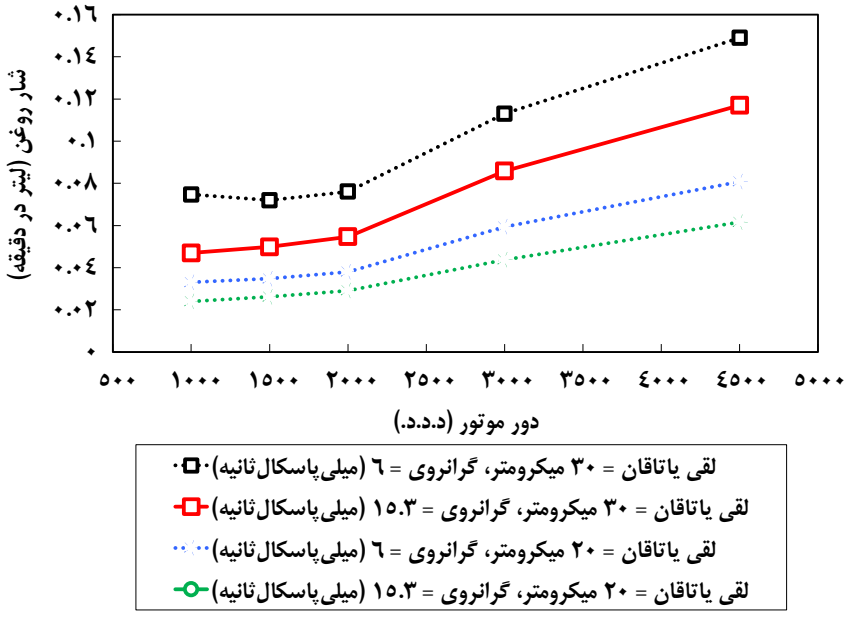
شکل ۳–۱۰– طرح مدار روانکاری، توضیح رنگ‌های شکل: رنگ آبی = روغن پُرفشار، رنگ قرمز = برگشت روغن



شکل ۳-۱۱- مقدار مصرف روغن هر عضو در مدار روانکاری (نمونه‌ای از نتایج تحلیل یک-بعدی مدار روانکاری)

۳-۸- تحلیل یاتاقان‌های میل‌لنگ

هدف این تحلیل محاسبهٔ متغیرهای عملکردی یاتاقان‌های ثابت و متحرک میل‌لنگ شامل بیشینهٔ فشار لایهٔ روغن و کمینهٔ ضخامت آن است. همچنین بار وارد بر یاتاقان به عنوان یکی از معیارهای مهم در طراحی آن محاسبه می‌شود. این محاسبات به روش روغن-پویا و در سرعت‌های مختلف موتور و حالت تمام بار در دماها و فشارهای مختلف روغن انجام می‌شود. این تحلیل‌ها در شرکت ایپکو با استفاده از نرم‌افزار AVL Excite انجام شد. نتایج مصرف روغن یاتاقان‌ها که یکی از خروجی‌های این تحلیل است به عنوان شرایط مرزی در تحلیل یک-بعدی کل مدار روانکاری استفاده می‌شود. در شکل ۳-۱۲، نقشهٔ مصرف روغن یکی از یاتاقان‌ها در شرایط مختلف موتور که تابعی از سرعت، لقی یاتاقان، دمای روغن و فشار تزریق روغن است، مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۱۲- مقدار شار روغن یکی از یاتاقان‌ها در شرایط مختلف در فشار روغن ۱ بار

۹-۳- تحلیل تنش مکانیکی و حرارتی بدنه و بستار موتور

این تحلیل از پیچیده‌ترین و مهمترین محاسبات تفصیلی موتور است که در آن بارهای حرارتی و مکانیکی روی بدنه و بستار اعمال می‌شود. نتایج این تحلیل تنش، تغییر شکل، آب‌بندی لایی، خستگی‌های پربسامد و کم بسامد است. در واقع مقاومت، عملکرد و عمر بدنه و بستار که اصلی‌ترین قطعات موتور اند، در این تحلیل مشخص می‌شود.

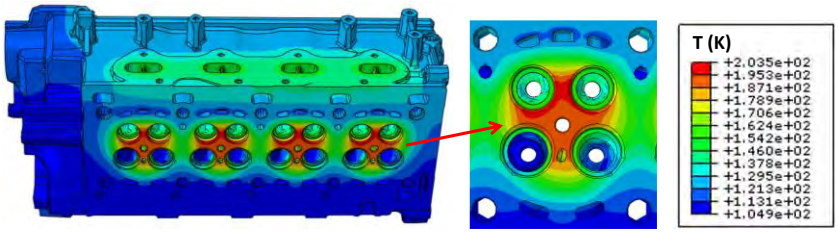
در این محاسبات بارهای حرارتی شامل حرارتِ ایجاد شده از احتراق، انتقال گرما از درگاه‌های دود و هوا، حرارت حاصل از اصطکاک سمبه و حلقه‌ها و استوانه، سهم خنک‌کاری آب و روغن بر فشار حاصل از احتراق، نیروی وارد بر یاتاقان‌های اصلی و نیروی حاصل از تداخل‌های هندسی مورد نیاز روی دیواره‌ها اعمال می‌شود.

بارهای مکانیکی شامل پیش‌بار پیچ‌های بستار و کپه یاتاقان ثابت، برای هم‌بندی اند. این بارگذاری‌های پیچیده با ترکیبی که بدترین شرایط کاری را ایجاد می‌نماید در گام‌های مختلف بر الگو وارد و نتایج تنش و تغییر شکل بررسی می‌شود. همچنین در این مرحله لایی بستار که رفتار غیرخطی آن نیز وارد محاسبات شده است، باید

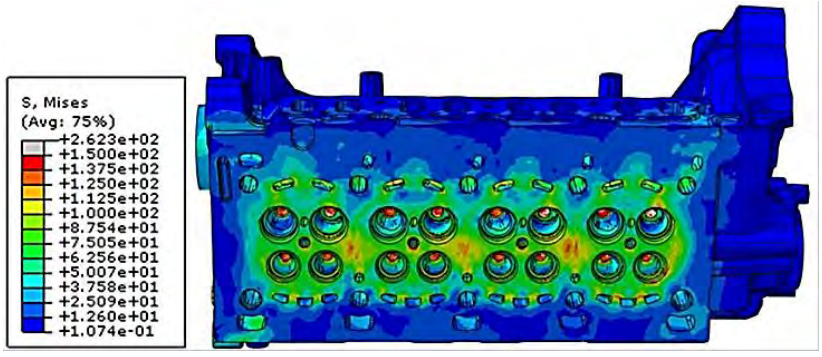
توانایی حفظ آب‌بندی را با معیارهای مشخص شده داشته باشد. در مرحلهٔ محاسبات تنش خواص مواد به صورت غیرخطی و وابسته به دما در شبیه‌سازی اعمال می‌شود.

در مرحلهٔ دوم از محاسبات عمر خستگیِ پُربسامد و کم‌بسامد بدنه و بستار تحت بارگذاری‌های یادشده محاسبه و با معیارها سنجیده می‌شود. در صورت وجود نقاط بیش–تنش یا مناطقی با ضریب اطمینان تنش و خستگی کمتر از حد مجاز، حلقهٔ اصلاح و حل تا رسیدن به طراحیِ نهایی تکرار خواهد شد.

برخی از شرایط مرزی این تحلیل (بارگذاری‌ها) از محاسبات قبلی مانند تحلیل یاتاقان‌ها، تحلیل سه–بعدی جریان آبِ خنک‌کاری و محاسبات تبادل گاز، و برخی دیگر مانند شرایط مرزیِ احتراق با اعمال تغییرات لازم از مخازنی اطلاعاتی که بر اساس شبیه‌سازی‌های قبلی ایجاد شده استخراج و اعمال می‌شود. ابزارِ پیش‌پردازش در این محاسبات نرم‌افزار هایپرمش و ابزارِ تحلیل نرم‌افزار آباکوس[1] بود. برای تحلیل خستگی نیز از نرم‌افزار FEMFAT استفاده شده است. در شکل‌های ۳–۱۳ تا ۳–۱۵ بترتیب توزیع دما روی بستار، تنش متوسط روی بستار و تنش متوسط روی بدنه با تحلیل اجزاء محدود نشان داده شده است.

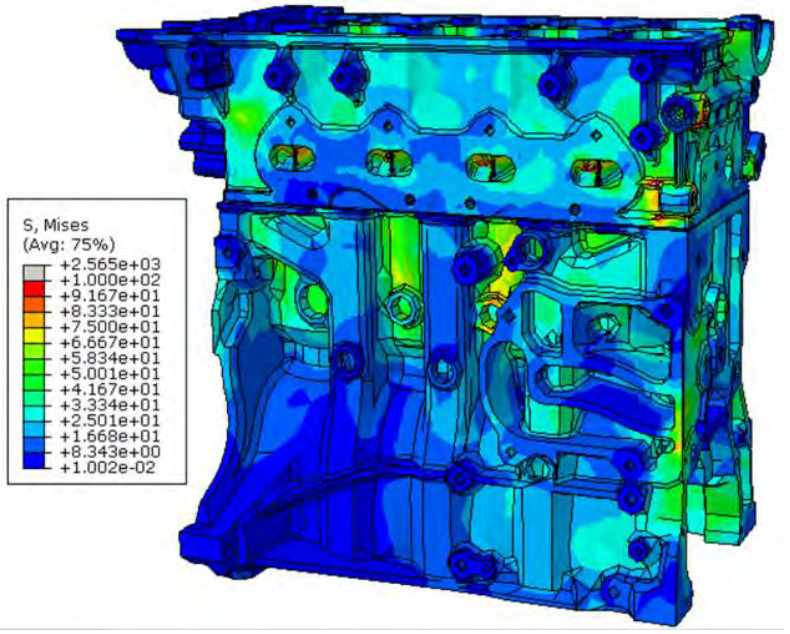


شکل ۳–۱۳– توزیع دما در بستار



شکل ۳–۱۴– نمونه‌ای از نتایج توزیع تنش متوسط روی بستار

[1] ABAQUS

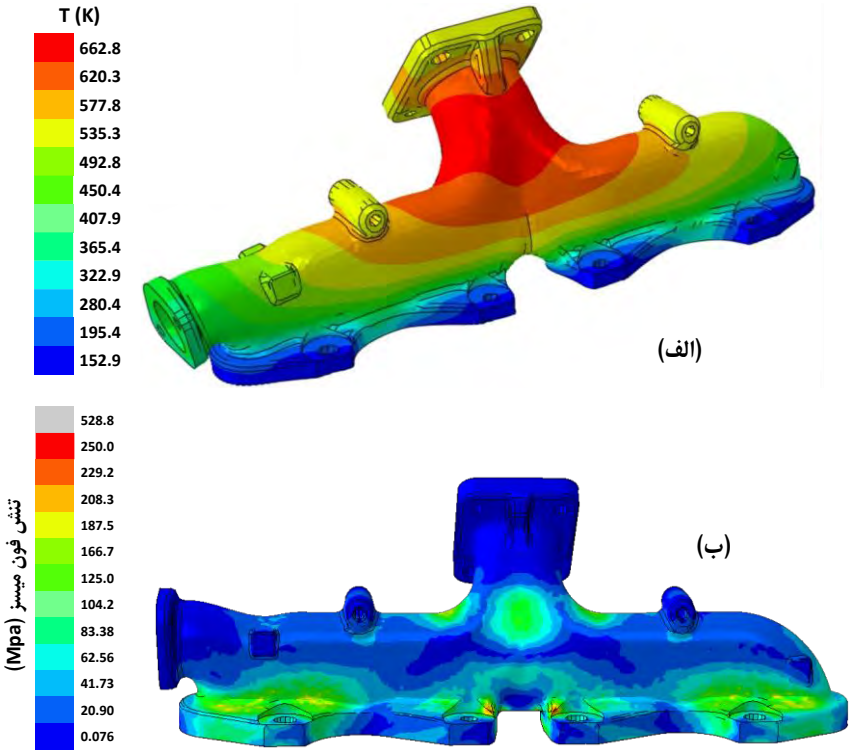


شکل ۳-۱۵- نمونه‌ای از نتایج توزیع تنش متوسط روی بدنه

۳-۱۰- تحلیل تنش مکانیکی و حرارتی چندراهۀ خروجی

اصولِ این تحلیل مانند محاسبات تنشِ گرما-مکانیکی بستار و بدنه است که پیشتر توضیح داده شد. تفاوت اصلی در این تحلیل نحوۀ بارگذاریِ چندراهۀ دود است. هدف از این تحلیل بررسی دوامِ چندراهۀ دود تحت بار حرارتیِ بسیار شدید و بار مکانیکیِ پیچ‌ها است. تنش‌های ایجاد شده در قطعۀ چندراهۀ دود نباید از حد مجازی در محدودۀ تغییر شکل دائمی فراتر رود تا از ایجاد ترک و شکست در قطعه جلوگیری شود. همچنین عمر قطعه با خستگیِ پربسامد محاسبه می‌شود. از طرفی تحت تغییر شکل‌های بزرگی که قطعه در حین کار متحمل می‌شود، آب‌بندی باید حفظ شود و نشتیِ گاز اتفاق نیفتد که این مورد نیز در محاسبات بررسی می‌شود.

شرایط مرزی این محاسبه از تحلیلِ تبادل گاز که با آزمون‌های تجربی اصلاح شده است استخراج می‌شود. در شکل ۳-۱۶ نمونه‌ای از نتایج محاسبات روی چندراهۀ دود موتور ملی دیزل سواری نشان داده شده است.



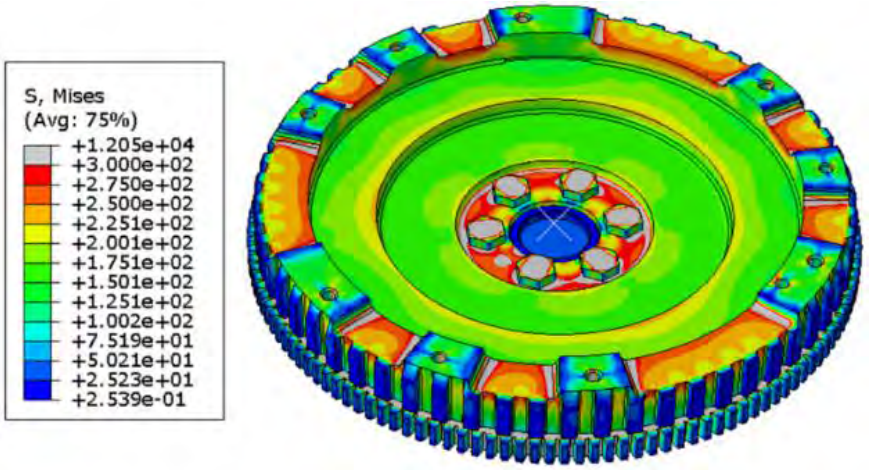
شکل ۳-۱۶- نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی اعمال بار حرارتی به چندراهۀ دود: (الف) توزیع دما، (ب) توزیع تنش

۳-۱۱- تحلیل تنش و خستگی دسته موتورها و نگهدارنده‌ها

دسته موتورها و نگهدارنده‌های موتور از جمله قطعاتی اند که باید علاوه بر وزن موتور، نیروها و شتاب‌های وارد را از خودرو و جاده بر موتور نیز متحمل شوند. در این تحلیل در ابتدا تنشِ وارد بر این قطعات تحت انواعِ بارگذاری‌های تعریف شده، محاسبه و سپس عمر خستگیِ آن‌ها تعیین می‌شود. در این تحلیل تأثیر بارهای وارد بر دسته موتورها بر تغییر شکلِ قطعاتی چون بستار نیز بررسی می‌شود.

۱۲-۳- تحلیل تنش چرخ لنگر

چرخ لنگر قطعه‌ای است که مهمترین وظیفه‌اش یکنواخت کردن حرکت میل‌لنگ به کمک ذخیره و بازیابیِ انرژی دورانی است. به همین دلیل این قطعه معمولاً لختیِ دورانی و جرم سنگینی دارد که همین امر می‌تواند در سرعت‌های تند در قطعه ایجاد تنش نماید. اگر تنشِ تولید شده از حد مجاز عبور کند و قطعه بشکند، با توجه به جرم چرخ لنگر، خطرات و صدمات فراوانی به وجود می‌آید. هدف از این تحلیل محاسبهٔ تنش‌های وارد بر چرخ لنگر در سرعت‌های تُند است تا با معیارهای محاسبات مهندسی از محدودهٔ خطرِ شکست دوری شود. اهمیت این تحلیل به حدی است که تنها به محاسبات اکتفا نمی‌شود و آزمون دوران با سرعت تند روی قطعه انجام می‌شود تا خرابی و شکست آن بررسی شود. نمونه‌ای از نتایج توزیع تنش برای چرخ لنگر در شکل ۳-۱۷، نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷- نمونه‌ای از نتایج توزیع تنش در چرخ لنگر

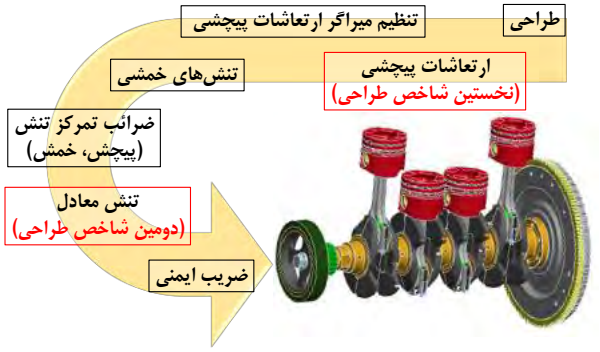
۱۳-۳- تحلیل تنش و ارتعاشات میل‌لنگ

طراحی میل‌لنگ که یکی از مهمترین قطعات موتور است معمولاً در مرحلهٔ طراحی مفهومی انجام می‌شود چرا که مشخصات هندسی آن بر بسیاری از قطعات دیگر همچون بدنه، چرخ لنگر و میراکنندهٔ ارتعاشات پیچشی تأثیر می‌گذارد.

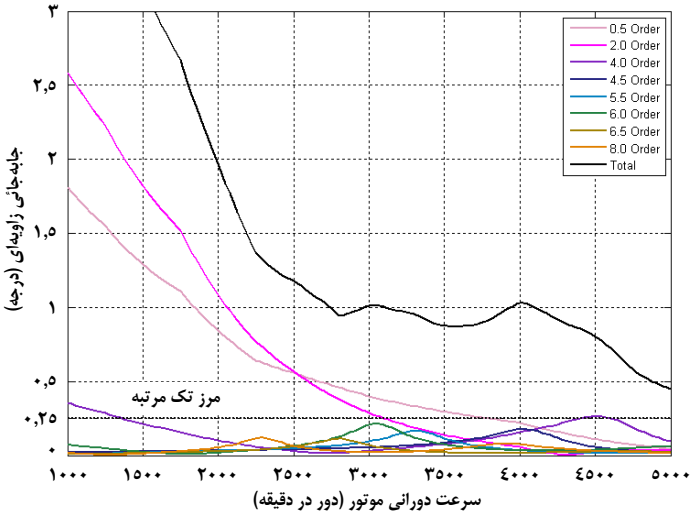
این تحلیل در واقع ترکیبی از تحلیل یک-بعدی و سه-بعدی است. در ابتدا میل‌لنگ با ساده‌سازیِ فیزیکی و ریاضی به صورت صفحه و میله، شبیه‌سازی شد تا ارتعاشات خمشی و پیچشی آن محاسبه شود. در این مرحله مشخصات مورد نیاز طراحی میراکنندهٔ ارتعاشات پیچشی و چرخ لنگر معین می‌شود. این مشخصات با معیارهای

استاندارد پیچش مجاز میل‌لنگ تعیین می‌شود. سپس تنش تولید شده در میل‌لنگ در اثر پیچش و خمش با نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس محاسبه و هندسهٔ آن برای تحمل تنش‌های وارده با در نظر گرفتن معیارهای مجاز تعیین می‌شود.

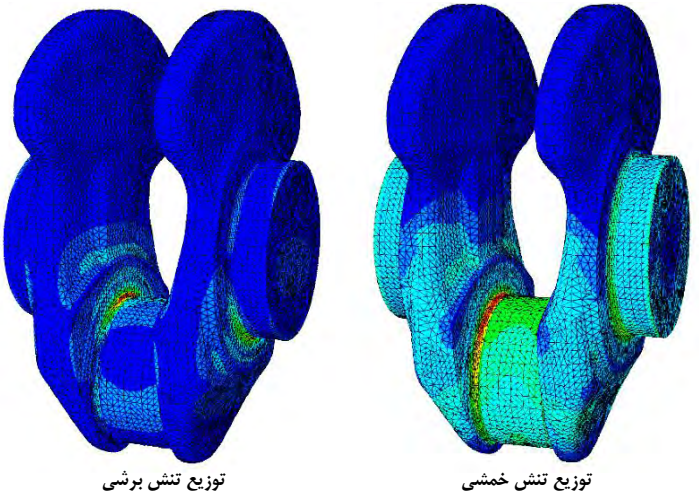
در انتها خستگیِ پربسامد میل‌لنگ تحت بارهای تناوبی و با اعمال ضرایب اطمینانِ کافی هندسهٔ میل‌لنگ محاسبه و نهایی می‌شود. این تحلیل، پیچیدگی‌ها و ظرافت‌های خاصی دارد که با نرم‌افزار داخلی ایپکو بر اساس ترکیب محاسبات یک و سه بُعدی انجام شده است. در شکل‌های ۳-۱۸، ۳-۱۹ و ۳-۲۰ بترتیب روند محاسبات ارتعاشاتی و تنشیِ میل‌لنگ، جابه‌جائی زاویه‌ای (پیچش) سر میل‌لنگ و نحوهٔ توزیع تنش‌های خمشی و برشی در لنگ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۸- روند محاسبات ارتعاشاتی و تنشیِ میل‌لنگ



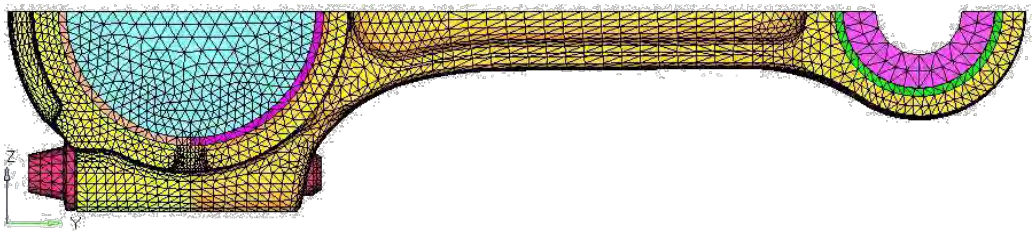
شکل ۳-۱۹- جابه‌جائی زاویه‌ای (پیچش) سر میل‌لنگ



شکل ۳-۲۰- نحوهٔ توزیع تنش‌های خمشی و برشی در لنگ

۱۴-۳- تحلیل تنش دسته سمبه

دسته سمبه در موتور احتراق داخلی به عنوان قطعه‌ای دینامیکی وظیفهٔ انتقال نیروهای ایجاد شده را در محفظهٔ احتراق به میل‌لنگ بر عهده دارد. از این رو در تحلیل تنشی دسته سمبه علاوه بر نیروهای احتراقی و ایستایی، نیروهای دینامیکی ناشی از جرم قطعات متحرک نیز باید محاسبه شود. برای محاسبات اجزاء محدود با توجه به وجود تقارن هندسی و شرایط مرزی از شبیه‌سازی یک‌چهارم استفاده شده است؛ شبیه‌سازی اجزاء محدود در نرم‌افزار پیش‌پردازش هایپرمش در شکل ۳-۲۱ قابل مشاهده است. در تهیه شبیه‌سازی اجزاء محدود، از اجزاء هرمی مثلث القاعدهٔ مرتبهٔ دوم استفاده شد. برای بررسی توزیع فشار تماسی از اجزاء تماسی استفاده شده است.



شکل ۳-۲۱- شبیه‌سازی اجزاء محدود دسته سمبه

این قطعه واسط میان سمبه و میل‌لنگ موتور است که از یک طرف به واسطهٔ سمبه، حرکت رفت و برگشتی دارد و از طرف دیگر به‌واسطهٔ میل‌لنگ حرکت دورانی دارد. بنابراین در محاسبهٔ نیروهای لختی علاوه بر جرم مجموعهٔ سمبه (سمبه و حلقه‌های آن)، حدوداً یک‌سوم جرم دسته سمبه بر اساس معادلهٔ (۳-۱) منظور می‌شود:

$$F_i = m_0 R\omega^2(1+\lambda) \qquad (۳-۱)$$

که R: شعاع لنگ، ω: سرعت دورانی میل‌لنگ، λ: بلندی یا نسبت شعاع لنگ به طول ساق دسته سمبه (فاصله مرکز به مرکز دو چشم بزرگ و کوچک دسته سمبه)، m_0: جرم سمبه و قسمتی از سمبه که حرکت رفت و برگشتی دارد و از معادلهٔ (۳-۲) قابل محاسبه است.

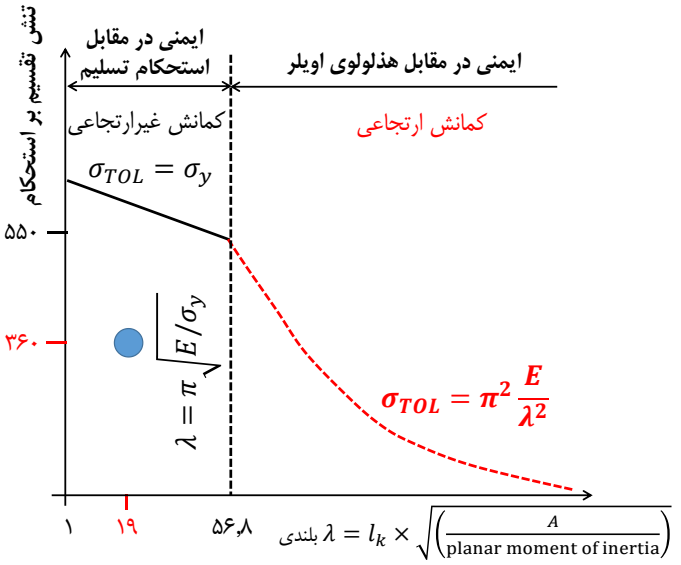
$$m_0 = m_p + m_{cr} \qquad (۳-۲)$$

$$m_{cr.o} = \frac{L_1}{L_{cr}} \times m_{cr} \qquad (۳-۳)$$

که L_1: فاصلهٔ مرکز جرم تا مرکز چشم بزرگ دسته سمبه، L_{cr}: فاصلهٔ مرکز به مرکز دو چشم بزرگ و کوچک دسته سمبه و m_{cr}: جرم دسته سمبه اند. با توجه به اینکه در معادلهٔ (۳-۱) نیروی لختی با توان دوم دور موتور وابستگی مستقیم دارد، در دورهای تندتر مقدار این نیرو چشمگیر خواهد بود. یکی از متغیرهای اساسی مغایرت بین

موتورهای دیزلی و بنزینی در بیشینهٔ دور طراحی شدهٔ موتور است که در موتورهای دیزلی کُندتر از موتورهای بنزینی است. بیشینهٔ دور طراحی شده برابر ۴۶۰۰ د.د.د. است که در محاسبهٔ نیروهای لختی لحاظ شده است.

در موتور دیزل سواری، بیشینه فشار محفظهٔ احتراق در تحلیل کمانش ساق دسته سمبه باید در نظر گرفته شود. در تحلیل کمانش با در نظر گرفتن چهار حالت شرایط مرزی تکیه‌گاهی ستون‌ها، دو حالت دو سر مفصلی و دو سر گیردار باید بررسی شود. در هر حالت که مقدار ضریب اطمینان در برابر پدیدهٔ کمانش کوچک‌تر باشد، معیار طراحی سطح مقطع ساق دسته سمبه خواهد بود. در شکل ۳-۲۲، یک نمونه از محاسبهٔ تحلیل کمانش بر اساس بیشینه تنش فشاری محاسبه شده در ساق دسته سمبه قابل مشاهده است.

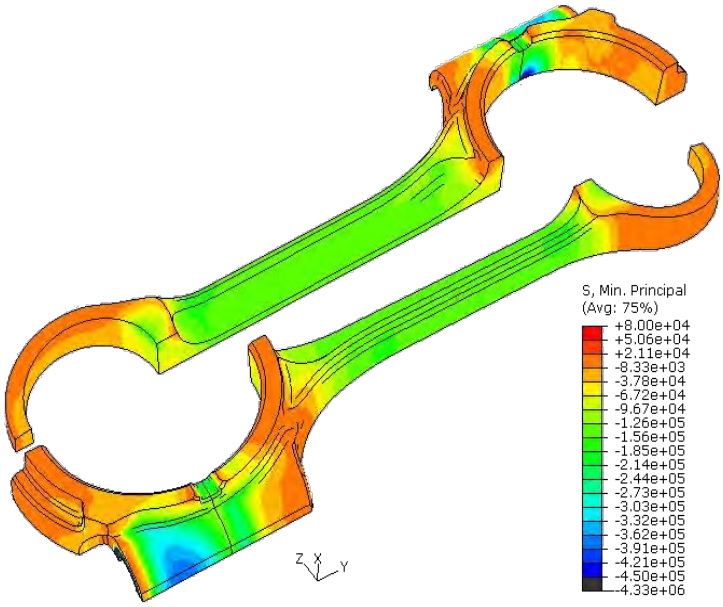


شکل ۳-۲۲- وضعیت ساق دسته سمبه در برابر پدیدهٔ کمانش

که E: ضریب یانگ، σ_y: تنش تسلیم، A: مساحت اند. برای محاسبهٔ بیشینهٔ تنش‌های اصلی در مجموعه، نقطهٔ مکث بالا برای محاسبهٔ نیروهای لختی و فشار ناشی از احتراق در نظر گرفته می‌شود. در این نقطه نیروی لختی و فشار احتراق بیشینه اند.

اعمال پیش‌بار در ساق پیچ دسته سمبه باعث به وجود آمدن تنش‌های فشاری در ناحیهٔ زیر گل پیچ می‌شود. بنابراین بر اساس جدول استاندارد پیچ طراحی شده، بیشینه و کمینهٔ مقدار پیش‌بار پیچ برای بررسی تنش‌های فشاری و توزیع فشار تماسی بین اجزاء در این تحلیل بررسی می‌شوند.

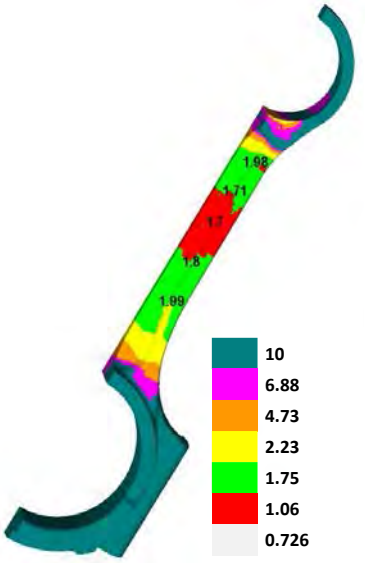
تداخل هندسی اجزاء در محل یاتاقان چشم بزرگ و سوراخ چشم کوچک در مقدار بیشینهٔ خود برای بررسی تنش و در مقدار کمینه برای بررسی تأمین حداقل فشار تماسی لازم برای جلوگیری از جدایش سطوح در نظر گرفته می‌شود. محاسبات تنش در شرایط مرزی و بارگذاری مختلف با نرم‌افزار آباکوس انجام شده است که در شکل ۳-۲۳ یک نمونه از نتایج محاسبه قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲۳- تنش فشاری در دسته سمبه

با توجه به این مسأله که ساق و کپهٔ دسته سمبه تحت اثر بارهای دینامیکی است، تحلیل خستگی پربسامد ضروری است. بدین منظور از نرم‌افزار تجاری فِمفَت[1] برای محاسبهٔ کمینهٔ ضریب اطمینان خستگی در نقاط مختلف دسته سمبه استفاده شده است. تنش‌های کمینه و بیشینهٔ محاسبه شده در مرحلهٔ قبلی با نرم‌افزار آباکوس به عنوان تنش‌های عامل خستگی وارد این نرم‌افزار شده و با در نظر گرفتن مشخصات کامل ماده و شرایط فیزیکی قطعه، محاسبات ضریب اطمینان دوام انجام می‌شود که یک نمونه از نتایج محاسبهٔ تحلیل خستگی را می‌توان در شکل ۳-۲۴ مشاهده نمود.

[1] Finite Element Method Fatigue (FEMFAT)



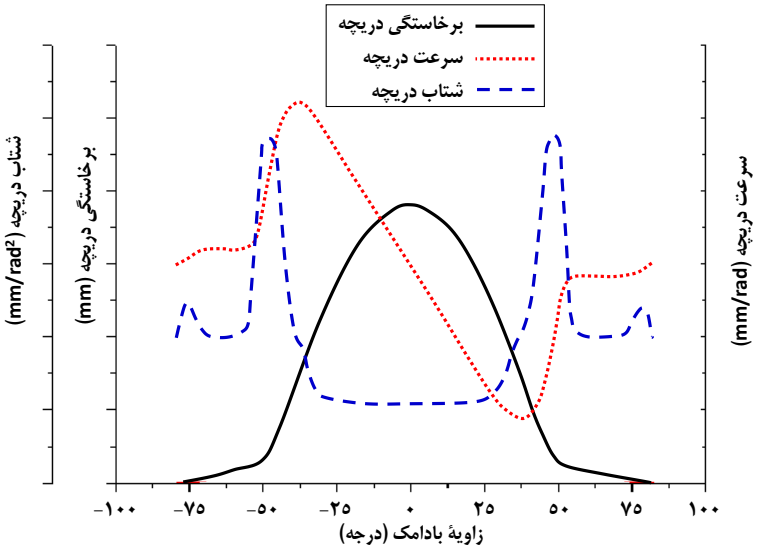
شکل ۳-۲۴- ضریب اطمینان خستگی پربسامد دسته سمبه

۳-۱۵- تحلیل حرکتی بادامک و دریچه

در این تحلیل هدف اصلی طراحی نیم‌رخ بادامک به گونه‌ای است که معیارهای شتاب، سرعت، و تنش تماسی را برآورده سازد. در این تحلیل دریچه، ساز و کار آن، و بادامک شبیه‌سازی می‌شود. نتایج این مرحله نمودارهای شتاب، سرعت، برخاستگی و تنش تماسی است. سپس بهینه‌سازی قسمت‌های مختلف نمودارهای مذکور با بیش از ده معیار که از تجربه و الگوبرداری به دست آمده است، انجام می‌شود. در تمام مراحل بهینه‌سازی باید سطح زیر نمودار برخاستگیِ دریچه، بیشینه مقدار باشد تا بیشترین بازده تنفسی در تحلیل‌های یک-بعدی تبادل گاز حاصل شود.

معمولاً چند رفت و برگشت محاسباتی بین گروه تحلیل بادامک و تبادل گاز انجام می‌شود تا در نهایت نیم‌رخ بادامک طراحی شود. در طرح موتور دیزل سواری، برای این تحلیل از نرم‌افزار ZUCK که نرم‌افزار تخصصی تحلیل و طراحی بادامک موتور است، استفاده شد.

در شکل ۳-۲۵ نمونه‌ای از نتایج شتاب، سرعت و برخاستگی دریچه، نشان داده شده است. البته نتایج این تحلیل با نتایج محاسبات دینامیکی ساز و کار دریچه که در مرحلهٔ محاسبات تفصیلی انجام می‌شود، مقایسه خواهد شد تا از دقت و صحت آن اطمینان حاصل شود.

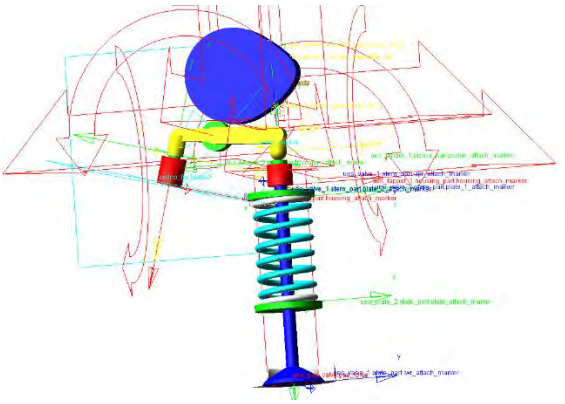


شکل ۳-۲۵- نمونه‌ای از نتیجهٔ محاسبات سینماتیکی بادامک و دریچه

۳-۱۶- تحلیل نیرویی ساز و کار دریچه‌ها

بعد از تحلیل حرکتی بادامک و دریچه که در محاسبات مفهومی تشریح شد، باید محاسبات دینامیکی که شامل بیشتر جزئیات هندسی و فیزیکی ساز و کار دریچه است و در آن تغییر شکل قطعات به علت نیروها نیز لحاظ شده است، انجام شود. هدف از این محاسبات، تحلیل دقیق ساز و کار دریچه با در نظر گرفتن تمام اجزاء از جمله میل‌بادامک است.

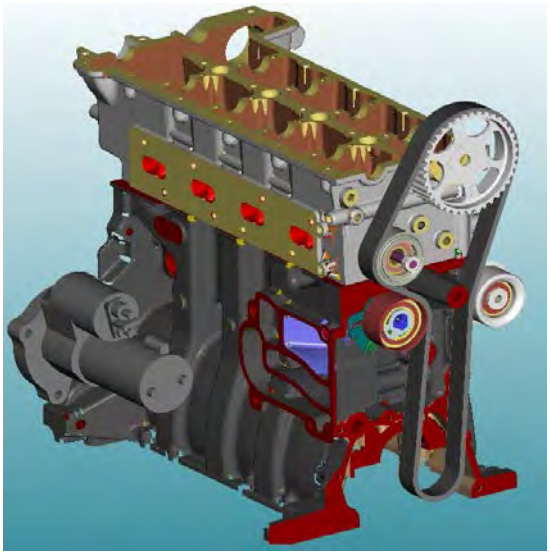
در این تحلیل ترکیبی از دینامیک چند جرمی و اجزاء محدود استفاده می‌شود. نتیجهٔ این محاسبات، نمودارهای شتاب، سرعت و نیروی هر قطعه و تغییر شکل آن‌ها است. اگر به معیارهای مجاز سرعت، شتاب و تنش یا تغییر شکل، دست یافته نشود آنگاه حلقه‌های اصلاح و حل، چندین بار تکرار خواهند شد. در شکل ۳-۲۶، طرح ساز و کار دریچهٔ موتور ملی در نرم‌افزار ADAMS Engine که پردازش‌گر اصلیِ این تحلیل است، نشان داده شده است. همچنین تحلیل‌های اجزاء محدود به وسیلهٔ پیوند داخلی با نرم‌افزار آباکوس انجام شد.



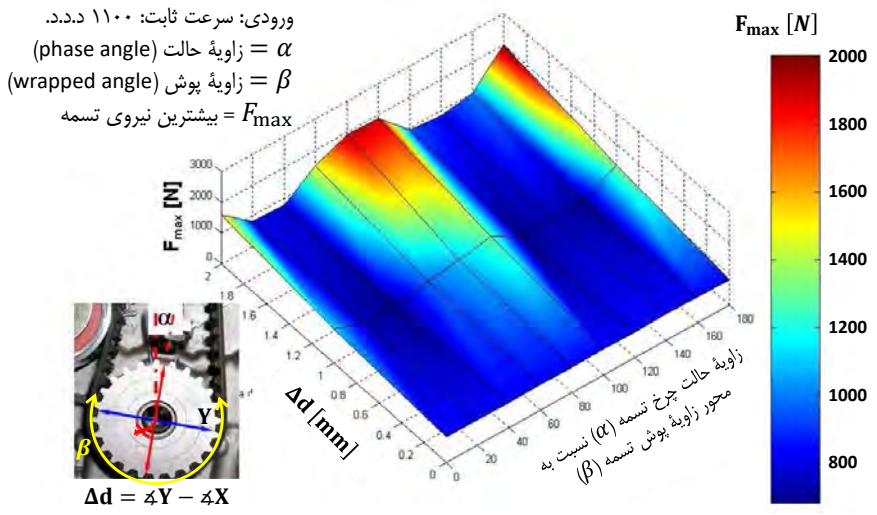
شکل ۳-۲۶- ترکیبِ روش اجزاء محدود و دینامیک چند جرمی برای تحلیل ساز و کار دریچه

۳-۱۷- تحلیل تسمهٔ زمانبندی

در ابتدا با بهره‌گیری از معادلات حرکت و همچنین تجربه‌های پیشین، طرح مناسب برای مکان هرزگرد، تسمه سفت کن خودکار و نوع تسمهٔ زمانبندی پیشنهاد می‌شود. بعد از تأیید نهایی طرح به وسیلهٔ طراح و همچنین سازندهٔ تسمهٔ زمانبندی، ادامهٔ تحلیل‌ها روی مجموعهٔ تسمهٔ زمانبندی انجام می‌شود. برای انتخاب طرح مناسب معمولاً چندین بار تحلیل‌های حرکتی انجام می‌شوند تا طرح مناسب مورد تأیید هر سه بخش، انتخاب شود. پس از آن تحلیل‌های زمانبر نیرویی انجام می‌شود. در شکل‌های ۳-۲۷ و ۳-۲۸ نمونهٔ طرح و نتایج تحلیل تسمهٔ زمانبندی قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲۷- طرح اولیه برای تسمهٔ زمانبندی



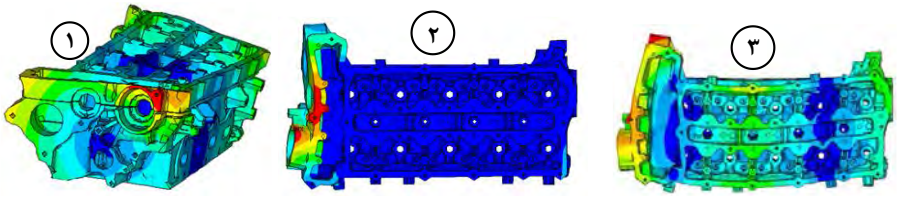
شکل ۳-۲۸- نمونه‌ای از نتایج تحلیل دینامیکی تسمهٔ زمانبندی

۳-۱۸- تحلیل صدا و ارتعاش بدنه، بستار و محفظهٔ روغن

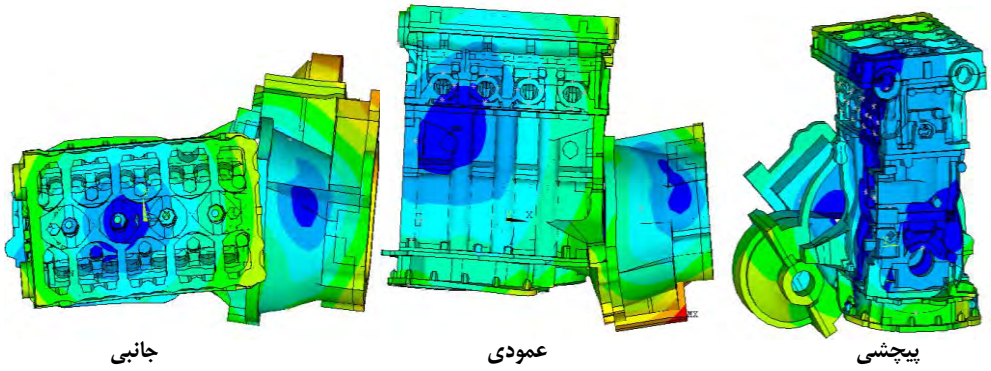
بخش‌هایی از قطعات موتور که سطح بزرگ دارند، مستعد ارتعاش شدید و در پی آن صدای ناشی از ارتعاش اند. به همین دلیل بدنه، بستار و محفظهٔ روغن باید از لحاظ رفتار صدا و ارتعاش بررسی شوند. به طور کلی محاسبات از دیدگاه صدا و ارتعاش برای اجزای مختلف موتور شامل دو بخش اصلی است:

در بخش اول بسامدها و شکل ارتعاش طبیعی قطعات و مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. در این مرحله، طراحی هندسی قطعات به گونه‌ای اصلاح می‌شود که بسامد طبیعی هر قطعه در فاصلهٔ مجاز از بسامد تحریک حاصل از انواع و اقسام نیروهای موتور قرار گیرد. همچنین با توجه به شکل ارتعاش، ممکن است اضافه کردن یک نگهدارنده یا هر گونه تقویت سازهٔ قطعهٔ مورد بررسی، ضروری باشد.

در بخش دوم سطح صوت برخاسته از هر قطعه محاسبه و برای کاهش آن بهینه‌سازی انجام می‌شود. برای تحلیل بسامدهای طبیعی از نرم‌افزار آباکوس و برای تحلیل سطح صدا از نرم‌افزار انسیس و نرم‌افزار داخلی ایپکو استفاده می‌شود. به عنوان نمونه، نتایج تحلیل بستار و مجموعهٔ موتور و جعبه دنده در شکل‌های ۳-۲۹ , ۳-۳۰، نشان داده شده است.

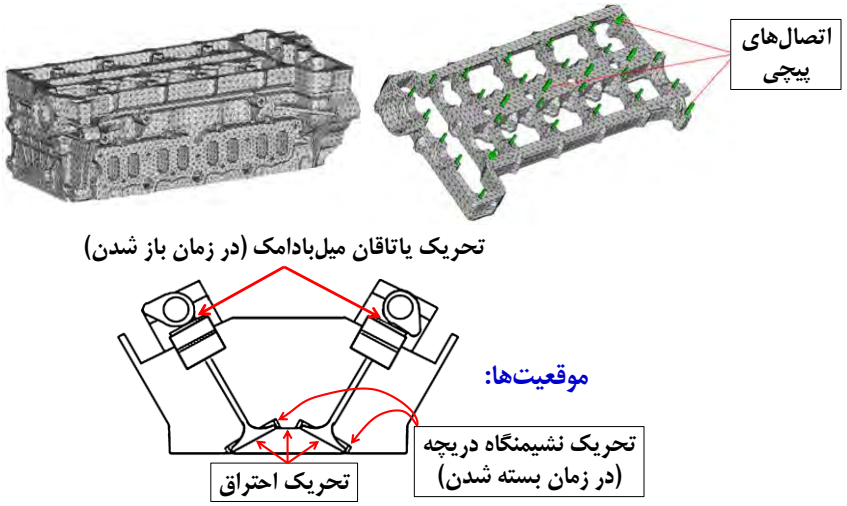


شکل ۳-۲۹- شکل‌های مختلف نوسان اول تا سوم بستار

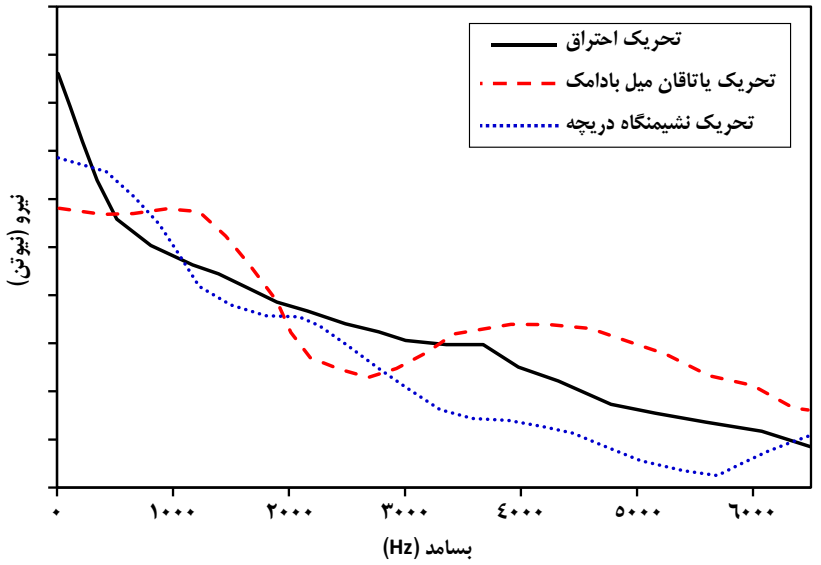


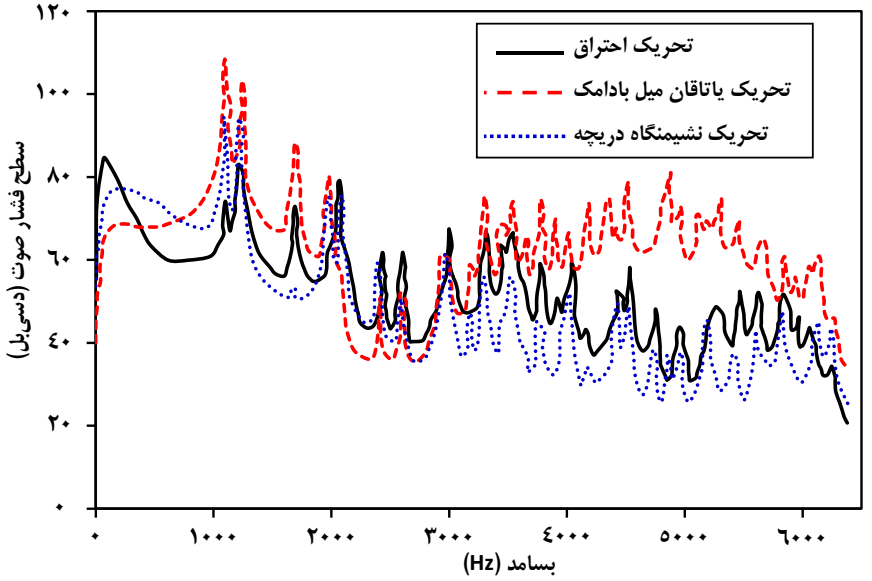
شکل ۳-۳۰- شکل‌های مختلف نوسان اول تا سوم مجموعه موتور و جعبه دنده

برای تحلیل صدای مزاحم در بستار و قاب میل‌بادامک، ابتدا نیروهای وارد شده به آن شامل نیروی احتراق، نیرو در محل یاتاقان‌های میل‌بادامک و نشیمنگاه دریچه شبیه‌سازی می‌شوند و با روشی که در بخش دوم محاسبات صدا و ارتعاش بیان شد، سطح صدا به دست می‌آید. شکل‌های ۳-۳۱ , ۳-۳۲ شبیه‌سازی در این قسمت را نشان می‌دهند. روش تحلیل برای بدنه و محفظهٔ روغن نیز مشابه روش بستار است.



شکل ۳-۳۱- طرح بستار، قاب میل‌بادامک و نیروهای وارد بر آن

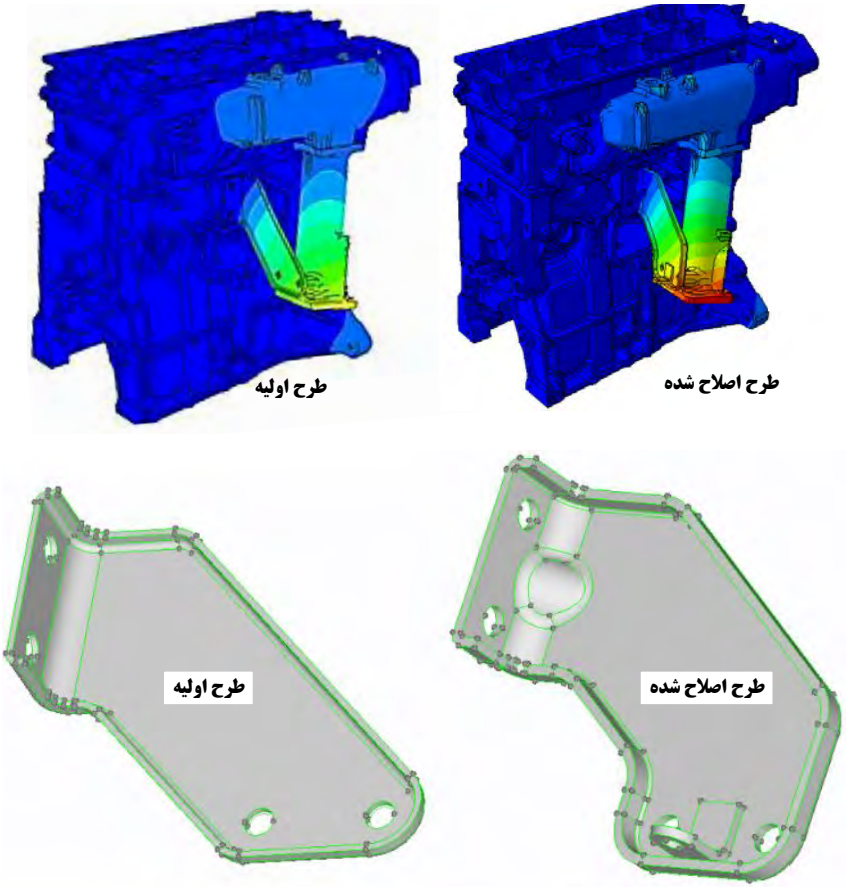




شکل ۳-۳۲- نمونه نیروها و سطح صدای بستار و قاب میل‌بادامک

۱۹-۳- تحلیل ارتعاشی مجموعهٔ قطعات چندراههٔ ورودی هوا

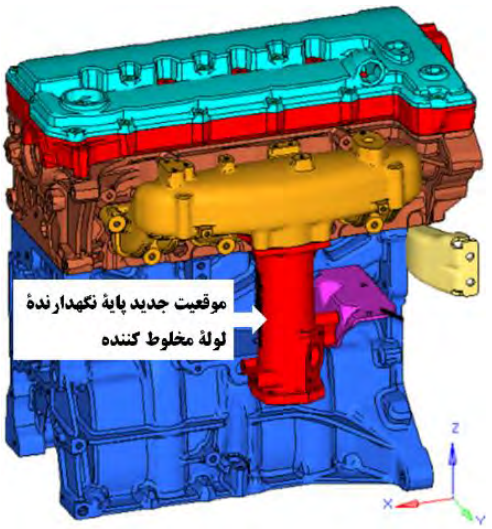
مجموعهٔ چندراههٔ ورودی شامل دریچهٔ گاز، لولهٔ مخلوط‌کننده، نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده و چندراههٔ ورودی است. در این تحلیل بسامدها و شکل حالات طبیعی[1] قطعات و مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. با بررسی نتایج تحلیل طراحی هندسی قطعات به گونه‌ای اصلاح می‌شود که بسامد طبیعی هر قطعه در فاصلهٔ مجاز از بسامد تحریک نیروهای موتور قرار گیرد. به عنوان نمونه، نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده در چند مرحله بهینه‌سازی شده تا تحت تحریک ارتعاشات موتور دچار تشدید نشود. این بهینه‌سازی شامل بهبود طرح نگهدارنده و در مرحلهٔ بعد تغییر محل آن است. اثر تغییر طرح در شکل نوسان ارتعاشات مجموعهٔ چندراههٔ ورودی در شکل ۳-۳۳ آمده است.



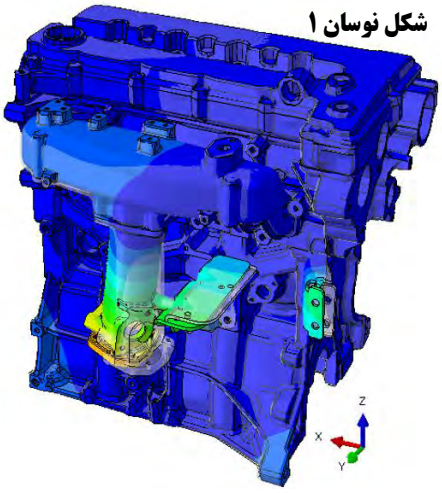
شکل ۳-۳۳- اثر تغییر طرح نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده در ارتعاشات مجموعهٔ چندراههٔ ورودی

[1] Natural mode shape

در این مرحله اثر تغییر محل نگهدارنده در شکل نوسان و بسامد طبیعی مجموعهٔ چندراههٔ ورودی بررسی شده است. نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده و مجموعهٔ گازهای برگشتی در این طرح مشترک اند. شکل‌های ۳-۳۴ و ۳-۳۵، بترتیب اثر تغییر محل نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده را در ارتعاشات مجموعهٔ چندراههٔ ورودی و نحوهٔ نوسان اول مجموعهٔ چندراههٔ ورودی هوا را با پایهٔ نگهدارندهٔ بهینه نشان می‌دهند.



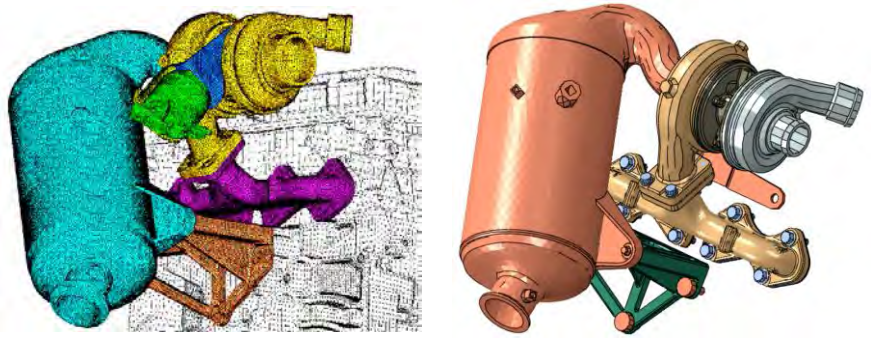
شکل ۳-۳۴- اثر تغییر محل نگهدارندهٔ لولهٔ مخلوط‌کننده در ارتعاشات مجموعهٔ چندراههٔ ورودی



شکل ۳-۳۵- نحوهٔ نوسان اول مجموعهٔ چندراههٔ ورودی هوا با پایهٔ نگهدارندهٔ بهینه

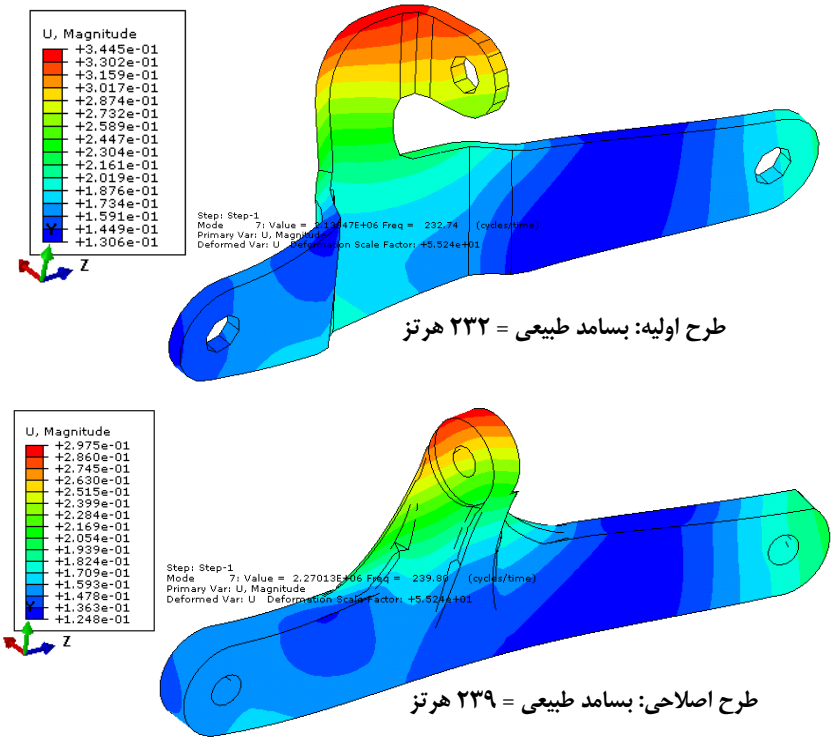
۳-۲۰- تحلیل ارتعاشی مجموعهٔ قطعات چندراههٔ خروجی دود

مجموعهٔ قطعات چندراههٔ خروجی دود شامل چندراههٔ خروجی، پرخوران، واکنشگر و نگهدارنده‌های آن است. در این مجموعه، جرم سنگین واکنشگر همراه با نوع اتصال آن به بدنه و همچنین نوع اتصال پرخوران به بدنه، از جمله موارد تأثیرگذار در ارتعاشات کم‌بسامد مجموعه است که باید تحلیل شوند. شکل ۳-۳۶، مجموعهٔ قطعات چندراههٔ خروجی دود را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۶- مجموعهٔ قطعات چندراههٔ خروجی دود

به عنوان نمونه، طراحی و جنس نگهدارندهٔ پرخوران در حین تکامل موتور به منظور افزایش بسامد طبیعی و فاصله با بسامد کاری موتور تغییر یافته است. با تغییر جنس آن از فولاد به چدن و استفاده از طرح جدید نگهدارنده، بسامد طبیعی آن از ۲۳۲ به ۲۳۹ هرتز افزایش یافته است. شکل ۳-۳۷، نشان دهندهٔ طرح اولیه و اصلاح شدهٔ نگهدارنده پرخوران است.



شکل ۳-۳۷- طرح اولیه و اصلاح شدهٔ نگهدارندهٔ پرخوران

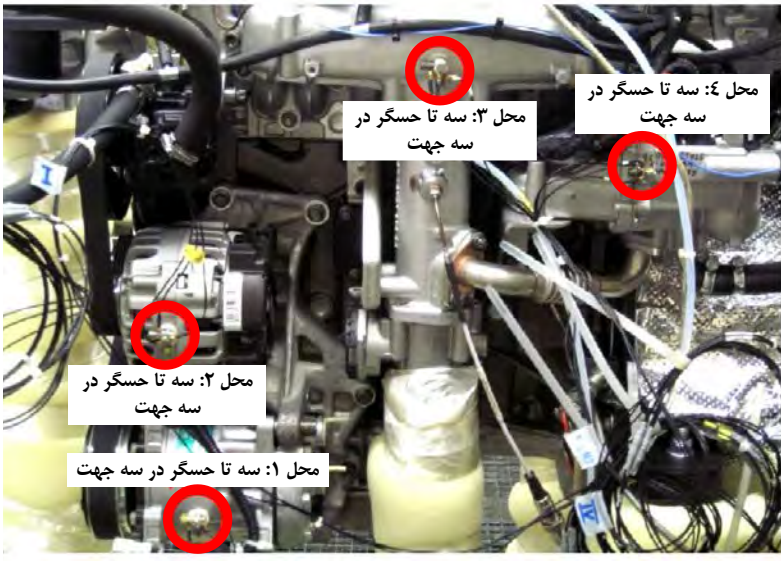
۳-۲۱- آزمون‌های صدا و ارتعاش موتور

در اتاق آزمون با نصب شتاب‌سنج، ارتعاشات قطعات مختلف موتور اندازه‌گیری می‌شود. قطعاتی مانند پایه‌ها از نظر خستگی ارتعاشی لازم است، ارزیابی شوند. قطعاتی مانند محفظهٔ روغن با سطوح بزرگی که دارند، از نظر تولید صدا مهم اند. در این آزمون‌ها متغیرهایی مانند بسامد تشدید، سرعت نوسان سطوح و بیشینهٔ دامنهٔ ارتعاشات اندازه‌گیری می‌شوند.

علاوه بر ارتعاشات، اندازه‌گیری صدای موتور در اتاق آزمون با رویهٔ استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمون سطح صدای کلی موتور در شرایط مختلف بار و سرعت موتور در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر اندازه‌گیری سطح صدای کلی، شناسایی منابع صدا و رتبه‌بندی اجزاء موتور از نظر تولید صدا در این طرح انجام گرفته است. شرح مختصر چند نمونه از آزمون‌های صدا و ارتعاش بدین شرح است:

آزمون ارتعاشی

برای اندازه‌گیری سطح ارتعاشات قطعات مختلف موتور آزمون ارتعاشی انجام می‌گیرد. همان طوری که اشاره شده قطعاتی مانند پایهٔ نگهدارندهٔ مجموعهٔ پرخوران، لولهٔ سامانهٔ برگشت گازهای خروجی از نظر دوام ارتعاشی ارزیابی می‌شوند و قطعاتی مانند محفظهٔ روغن، درپوش‌ها و بدنه باید به لحاظ تولید صدا بررسی شوند. با نصب شتاب‌سنج‌ها در نقاط مختلف در شرایط بارگذاری و دور موتور متفاوت، ارتعاشات اندازه‌گیری و نتایج تحلیل می‌شوند و در صورتی که ارتعاشات از حد مجاز بیشتر باشند، طراحی اصلاح می‌شود. شکل ۳–۳۸، نقاط نصب حسگرهای شتاب‌سنج را در آزمون ارتعاشی نشان می‌دهد.



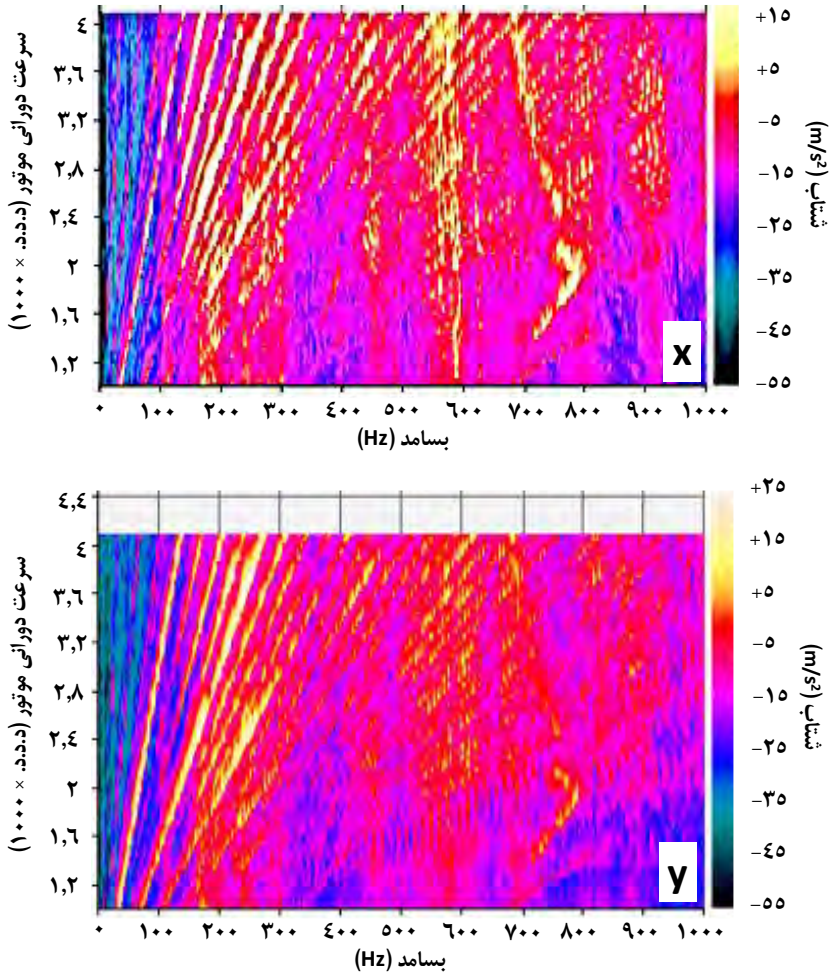
شکل ۳–۳۸– نقاط نصب حسگرهای شتاب‌سنج در آزمون ارتعاشی

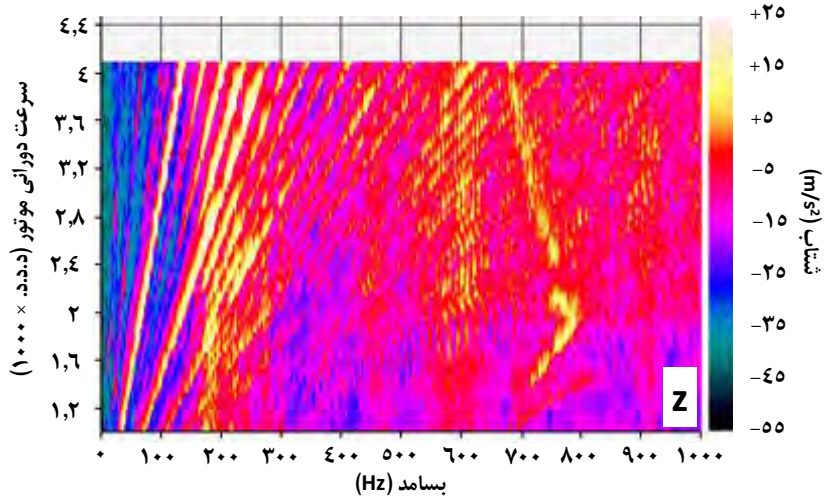
(الف) چهار محل نصب حسگرهای شتاب‌سنج روی چندراههٔ ورودی، پودمان بازخورانی گازهای خروجی، مولد برق و چگالندهٔ هوا

شکل ۳-۳۸- نقاط نصب حسگرهای شتاب‌سنج در آزمون ارتعاشی

(ب) محل نصب حسگر ارتعاشی روی دریچهٔ هدر پرخوران

یکی از موارد مهم در این طرح، لرزش سامانهٔ برگشت گازهای خروجی بود. این سامانه با دو لوله به چندراههٔ دود و لولهٔ مخلوط‌کننده متصل می‌شود. این لوله‌ها به علت طول بلند و دمای داغ در معرض خستگی ارتعاشی اند. برای اطمینان از عملکرد و دوام آنها لازم بود آزمون ارتعاشی برای آنها انجام شود. در شکل ۳-۳۹، حسگر شتاب‌سنج نصب شده روی لولهٔ سامانهٔ برگشت گازهای خروجی سمت چندراههٔ دود و نتایج آزمون قابل مشاهده است.


سرعت دورانی موتور (د.د.د. × ۱۰۰۰)
۴
۳,۶
۳,۲
۲,۸
۲,۴
۲
۱,۶
۱,۲
x
۰ ۱۰۰ ۲۰۰ ۳۰۰ ۴۰۰ ۵۰۰ ۶۰۰ ۷۰۰ ۸۰۰ ۹۰۰ ۱۰۰۰
بسامد (Hz)
+۱۵ +۵ −۵ −۱۵ −۲۵ −۳۵ −۴۵ −۵۵
شتاب (m/s²)
سرعت دورانی موتور (د.د.د. × ۱۰۰۰)
۴,۴
۴
۳,۶
۳,۲
۲,۸
۲,۴
۲
۱,۶
۱,۲
y
۰ ۱۰۰ ۲۰۰ ۳۰۰ ۴۰۰ ۵۰۰ ۶۰۰ ۷۰۰ ۸۰۰ ۹۰۰ ۱۰۰۰
بسامد (Hz)
+۲۵ +۱۵ +۵ −۵ −۱۵ −۲۵ −۳۵ −۴۵ −۵۵
شتاب (m/s²)



شکل ۳-۳۹- نتایج آزمون تشدید ارتعاشی دریچهٔ هدر

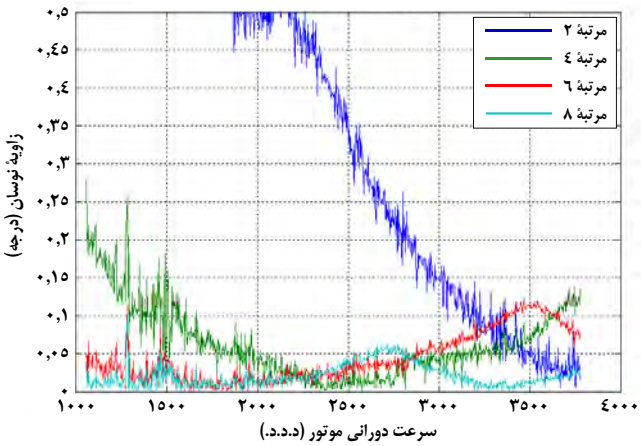
آزمون دوام تشدید ارتعاشی

این آزمون برای اندازه‌گیری بسامد طبیعی قطعات مختلف موتور و صحه‌گذاری محاسبات مرحلهٔ طراحی است. همان طور که گفته شد، بسامد طبیعی قطعات باید به حد کافی از بسامد نیروهای اصلی موتور فاصله داشته باشند تا در حین کارکرد به تشدید نرسند. این امر در مرحلهٔ طراحی در نظر گرفته می‌شود، اما اگر به دلیل محدودیت-های طراحی نتوان بسامد طبیعی آنها را به خارج از محدودهٔ کاری موتور منتقل کرد، باید دوام آنها در شرایط کاری موتور بررسی شود. به همین دلیل لرزش قطعه با شتاب‌سنج سه جهتی، ثبت و بسامد طبیعی آن محاسبه می‌شود. در مرحلهٔ بعد با در نظر گرفتن عمر بی‌پایان برای آن، کل موتور در نقاط تشدید شناسایی شده تحت آزمون دوام قرار می‌گیرد تا صحت عملکرد قطعه تا پایان آزمون، ارزیابی شود. در انتها اگر قطعهٔ مورد نظر، آزمون دوام را با موفقیت طی کند، دارای اطمینان کافی برای کاربرد در موتور است.

آزمون اندازه‌گیری پیچش میل‌لنگ

هدف از این آزمون انتخاب جاذب ارتعاشات پیچشی مناسب در محدودهٔ طراحی انجام شده برای میل‌لنگ است. با نصب یک مبدل اندازه‌گیر زاویه در محل پایهٔ قطعهٔ جاذب ارتعاشات پیچشی سرعت لحظه‌ای میل‌لنگ اندازه‌گیری می‌شود. با تحلیل سرعت موتور به ازای هر نیم درجه از میل‌لنگ و ثبت نوسان‌های دور موتور می‌توان به پیچش میل‌لنگ رسید. شرایط آزمایش به صورت پیمایش دور موتور در حالت تمام بار و نیمه بار از دور ۱۰۰۰ تا

۴۰۰۰ د.د.د. است. همراه با داده‌های آزمون دور موتور نیز ثبت خواهد شد. مقدار پیچش کل میل‌لنگ و سهم مرتبه‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ پیچش میل‌لنگ نسبت به دور موتور رسم می‌شود. پیچش بیشینهٔ مجاز میل‌لنگ در مرتبه‌های مشخص شده نباید از ۰٫۲ درجه بیشتر باشد. در شکل ۳–۴۰ نمونهٔ نتایج این آزمون نشان داده شده است.

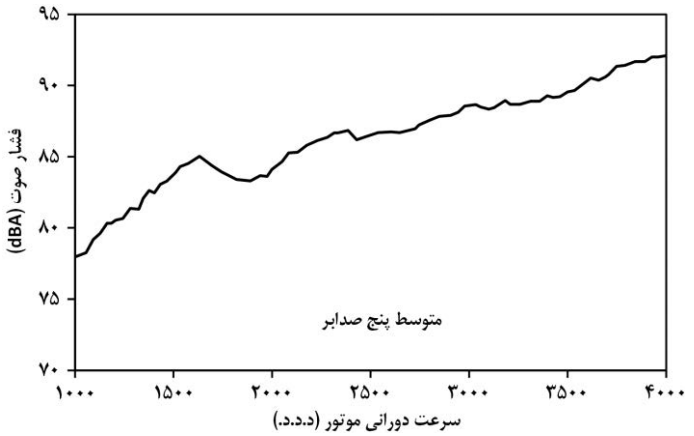


شکل ۳–۴۰– نتایج آزمون ارتعاش لولهٔ سامانهٔ برگشت گازهای خروجی

آزمون اندازه‌گیری سطح صدای موتور

برای اندازه‌گیری سطح صدای کلی موتور از اتاق آزمون بدون پژواک یا نیمه پژواک استاندارد استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری در اطراف موتور در فاصلهٔ یک متری صدابَر[1] در جهت‌های مختلف نصب می‌شوند. در شرایط دور و بار مختلف، صدای موتور با صدابرها ثبت و سطح صدای کلی موتور محاسبه می‌شود. شکل ۳–۴۱، اتاق آزمون نیمه پژواک صدای موتور را نشان می‌دهد.

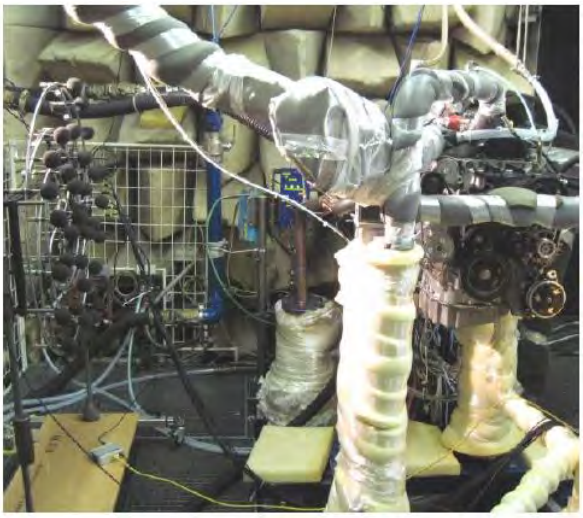
[1] Microphone

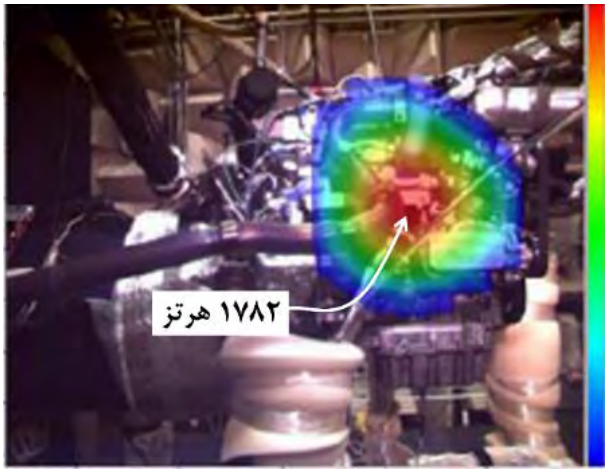


شکل ۳-۴۱- اتاق آزمون نیمه پژواک صدای موتور

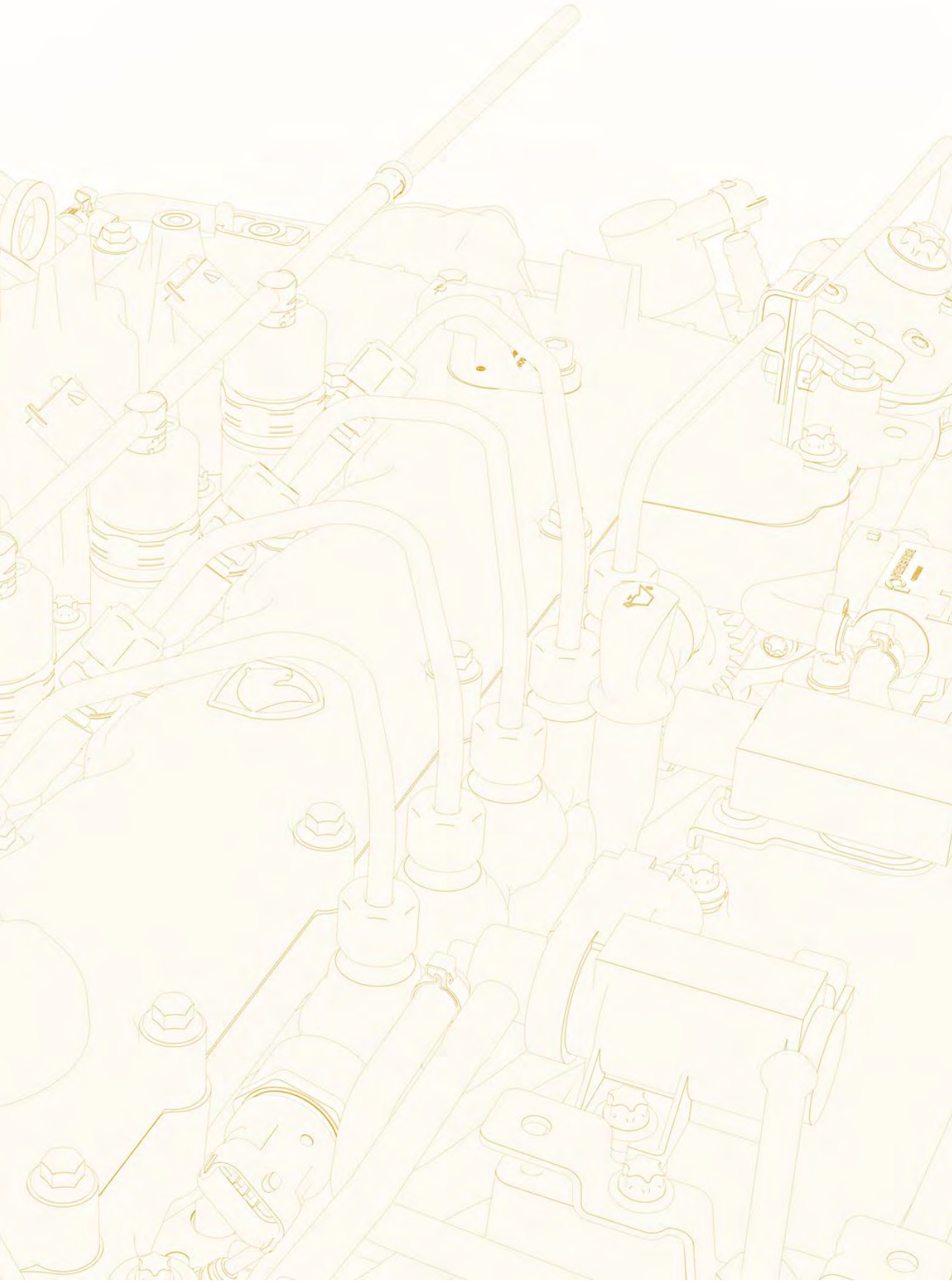
شناسایی منابع صدا

برای شناسایی منابع صدا و رتبه‌بندی قطعات موتور از نظر تولید صدا از روش اندازه‌گیری شدت صدا یا عکس برداری صوتی با مجموعهٔ چیدمان صدابرها استفاده می‌شود. در شکل ۳-۴۲، اندازه‌گیری و نمونهٔ نتایج نشان داده شده است.





شکل ۳-۴۲- اتاق آزمون نیمه پژواک صدای موتورت شناسایی منابع صدا



فصل چهارم

اصول طراحی موتور دیزل سواری

۱-٤- پیشگفتار

در این فصل کارهای اصلی برای طراحی موتور ملی دیزل سواری[1] شرح داده می‌شود. گزارش‌های طراحی بر اساس سامانه‌های موتور اند و هر سامانه به صورت کامل و همراه با ریزه‌کاری‌ها شرح داده می‌شود. در طراحی تفصیلی کلیهٔ فعالیت‌های دو بعدی قطعات با اصول مهندسی همزمان و در نظر گرفتن بیشترین استفاده از تجربه‌ها در خط همبندی و داشته‌های سازندگان تولید انبوه انجام می‌شود. در این بخش از طراحی، جزئیات دقیقی از قطعه بر روی نقشه برای ساخت ارائه می‌شود. قطعات موتور در واحد طراحی به چهار گروه اصلی تقسیم می شوند. هر گروه نیز دربردارندهٔ سامانه‌های تعریف شده با وظایف مشخص است. چهار گروه یادشده عبارتند از: قطعات پایینی، بالایی، کناری و مدیریت موتور

گروه قطعات پایینی موتور

قطعات پایینی موتور شامل تمام قطعات زیر لایی بستار تا پایین‌ترین نقطهٔ موتور است. بدنهٔ موتور، میل‌لنگ، سنبه، دسته سنبه، یاتاقان‌ها، قاب نردبانی، محفظهٔ روغن، تلمبهٔ روغن، افشانهٔ روغن، چرخ تسمهٔ سر

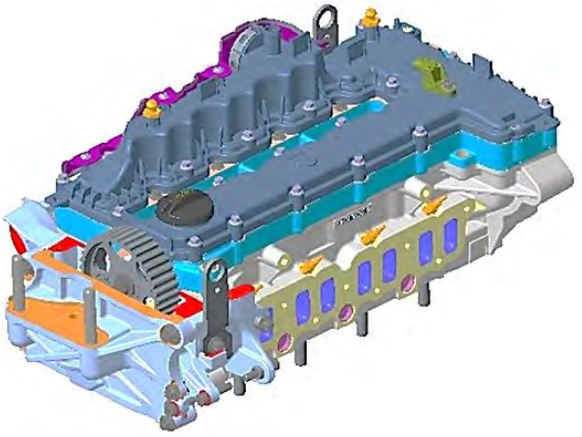
[1] Diesel national engine of passenger cars

میل‌لنگ و میراکنندهٔ نوسانات پیچشی میل‌لنگ از جمله قطعات این مجموعه‌اند. شکل ۴-۱، طرحی از گروه قطعات پایینی موتور را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱- گروه قطعات پایینی موتور

گروه قطعات بالایی موتور

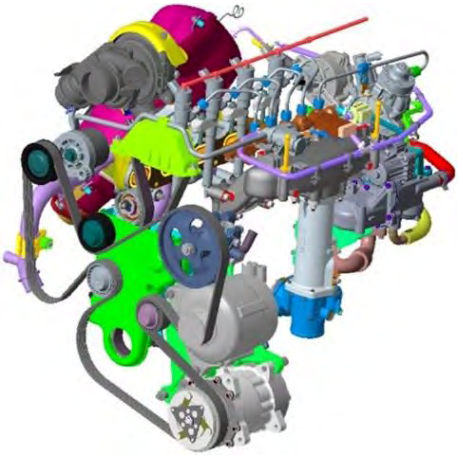
قطعات بالایی موتور شامل تمام قطعات از لایی بستار تا بالای موتور است. بستار، میل‌بادامک، قاب نردبانی بالا، درپوش موتور، چرخ تسمه‌های سر میل‌بادامک، دریچه‌های ورودی و خروجی، نشیمنگاه دریچه‌ها، فنرها و لایی بستار از جمله قطعات این مجموعه‌اند. طرحی از مجموعهٔ قطعات بالایی موتور در شکل ۴-۲، نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- گروه قطعات بالایی موتور

گروه قطعات جانبی موتور

قطعات جانبی موتور شامل تمام قطعاتی ا ست که به بدنه و ب ستار ب سته می شوند. چندراهه‌های ورودی و خروجی، واکنشگر شیمیایی، مولد برق[1]، مجموعهٔ خنک‌کنندهٔ روغن و تلمبهٔ آب، صافی روغن، هرزگردها، تسمه‌ها، تسمه سفت‌کن‌ها، دسته موتور و مجموعهٔ سوخت‌رسانی از جمله قطعات این گروه اند. شکل ۴-۳، طرحی از قطعات جانبی موتور را نشان می‌دهد.

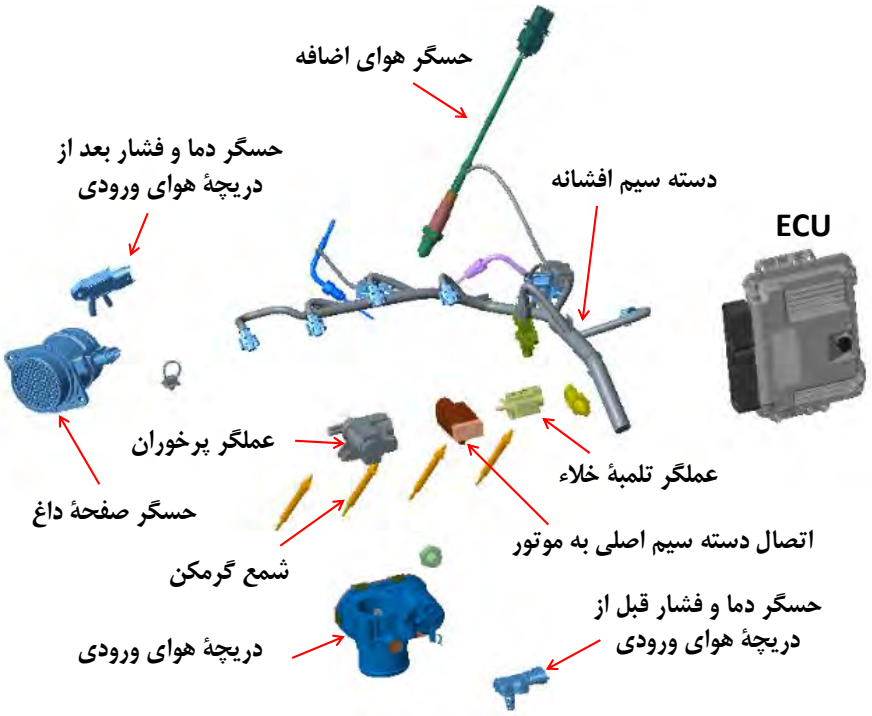


شکل ۴-۳- گروه قطعات جانبی

[1] Alternator

گروه مدیریت موتور

قطعات مدیریت موتور شـــامل مجموعهٔ رایانهٔ موتور، عملگرها و حســـگرها به صـــورت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری اند. شکل ۴-۴، طرحی از قطعات مدیریت موتور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- گروه مدیریت موتور

هر گروه از قطعات موتور به سامانه‌های مجزا تقسیم‌بندی می‌شوند. هر سامانه وظیفه‌ای مشخص در موتور و هر قطعه نیز وظیفهٔ مشخص در سامانه دارد. فهرست سامانه‌ها و گروه‌بندی موتور دیزل سواری مطابق جدول ۴-۱ بدین شرح است:

جدول ۴-۱- فهرست سامانه‌ها و گروه‌بندی موتور دیزل سواری

بسته‌بندی	قاب‌ها و نگه‌دارنده‌ها	ساز و کار میل‌لنگ
همبندی محفظهٔ لنگ	سامانهٔ تجهیزات جانبی	سامانهٔ دریچه‌ها
سامانهٔ زمان‌بندی[1]	سامانهٔ روانکاری	سامانهٔ ورودی
سامانهٔ پاشش سوخت	سامانهٔ هوای پرخورانی	سامانهٔ خروجی
سامانهٔ خنک‌کاری	سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی	همبندی بستار
سامانه‌های تنفس	سامانهٔ مدیریت و برق موتور	تجهیزات جانبی
چنگک[2]	جعبه دنده	ابزارها

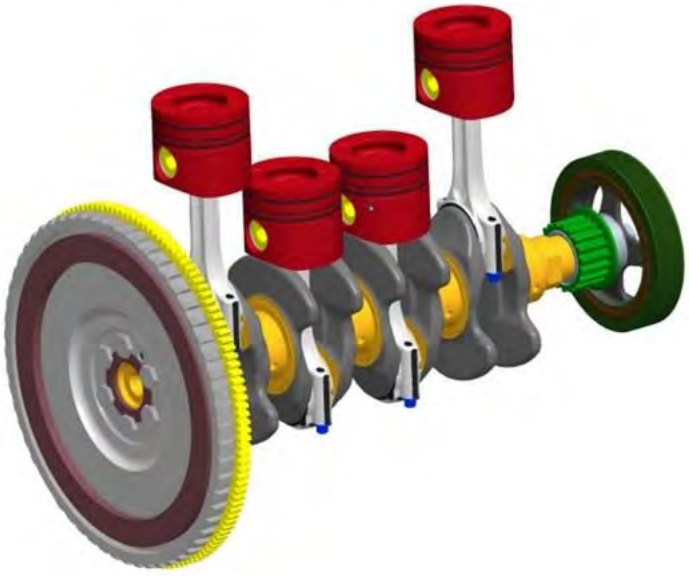
در ادامه شرح چگونگی طراحی هر گروه ارائه می شود. در نخ ستین گام طراحی و تو سعهٔ موتور، فهر ست کامل قطعات طراحی[3]، برای تمام سامانه‌ها و قطعات آن مشخص می‌شود.

۲-٤- طراحی قطعات پایینی موتور

ساز و کار لنگ

این مجموعه شامل میل‌لنگ و قطعات متصل به آن است. وظیفهٔ این ساز و کار تبدیل حرکت رفت و برگشتی به حرکت دورانی با آهنگی یکنواخت و انتقال آن به ساز و کارهای دیگر به صورت مؤثر است. این قطعات تحت بارهای شدید پویای مکانیکی و گرمایی اند که طراحی حساسی دارند. کوچکترین آسیب در اجزای این ساز و کار ممکن است به فروپاشی کامل قوای محرکه بینجامد. در این مجموعه علاوه بر نیاز به مستحکم کردن قطعات از طریق افزایش ضخامت‌ها، محدودیت فضاییِ در اختیار و جرم قطعات نیز برای این مجموعه اهمیت دارد. این مجموعه در فضای محدود محفظهٔ لنگ قرار دارد. شکل ۴-۵، طرحی از ساز و کار لنگ موتور را نشان می‌دهد.

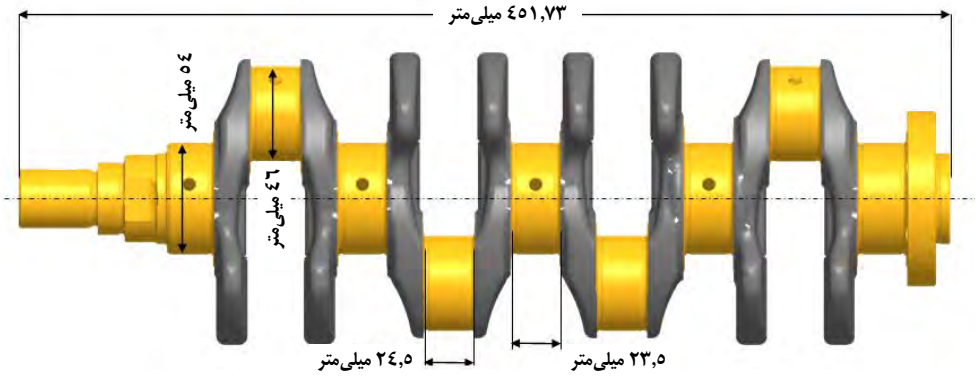
[1] Timing drive
[2] Clutch
[3] Bill of Material (BOM)



شکل ۴-۵- سازوکار لنگ

میل‌لنگ

وظیفهٔ میل‌لنگ، تبدیل حرکت رفت و برگشتی سنبه به حرکت دورانی یکنواخت است. این کار با استفاده از لنگ‌هایی که با توجه به ترتیب احتراق ا ستوانه‌ها چیده شده‌اند، انجام می شود. افزون بر آن، وظیفهٔ انتقال حرکت چرخشی به سایر ساز و کارها مانند سامانهٔ انتقال قدرت، قطعات جانبی، ساز و کار دریچه‌ها و تلمبهٔ روغن نیز از جمله وظایف میل‌لنگ است. شکل ۴-۶، برخی اندازه‌های اصلی روی میل‌لنگ موتور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶- میل‌لنگ موتور دیزل سواری

ضربه‌های فشاری سنبه به واسطهٔ دسته سنبه بر میل‌لنگ وارد می‌شود. این ضربه‌ها موجب خمش میل‌لنگ می‌شـود. از سـویی دیگر مقاومت قطعات متصـل در دو سـر در مقابل چرخش قرار دارد که باعث پیچش در آن می شود. تنش‌های حا صل از این نیروها با ا ستفاده از روش‌های نوین محا سبات مهند سی برر سی می شود که در جای خود بررسی خواهند شد.

سرفصل‌های طراحی میل‌لنگ

- فرایند ساخت میل‌لنگ از نوع آهنگری فولاد با هشت جرم متعادل‌کننده است.
- میل‌لنگ پنج یاتاقان ثابت دارد که نورد عمیق شده است و سطوح آنها سخت‌کاری شده‌اند.
- محورهای اصـلی از طریق مسـیرهایی از بدنهٔ موتور، روغنکاری می‌شـود و روغنکاری محورهای متحرک از مسیرهای تراشکاری شده در میل‌لنگ است.
- چرخ لنگر با شش عدد پیچ به میل‌لنگ وصل است.
- بر روی میل‌لنگ قطعات تلمبهٔ روغن، چرخ‌دنده زمان‌بندی و چرخ تسمهٔ انتهای میل‌لنگ نصب می‌شوند.
- اتصال تلمبهٔ روغن با میل‌لنگ به صورت مستقیم و به‌وسیلهٔ دو سطح تراشکاری شده بر روی میل‌لنگ است.

جدول ۴-۲، ویژگی‌های میل‌لنگ موتور را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- ویژگی‌های میل‌لنگ

جنس	C۳۸Mo	قطر محور متحرک	۴۶ میلی‌متر
روش ساخت	آهنگری	پهنای محور متحرک	۲۴,۵ میلی‌متر
طول پیمایش	۸۲,۵ میلی‌متر	شعاع نورد متحرک	۱,۷۵ میلی‌متر
قطر محور ثابت	۵۴ میلی‌متر	پهنای یاتاقان متحرک	۱۸,۹۵ میلی‌متر
پهنای محور ثابت	۲۳,۵ میلی‌متر	ضخامت یاتاقان متحرک	۱,۵ میلی‌متر
شعاع نورد عمیق	۱,۷۵ میلی‌متر	لقی در یاتاقان متحرک	۲۴-۶۸ میکرومتر
پهنای یاتاقان ثابت	۱۸ میلی‌متر	تعداد یاتاقان متحرک	۱ عدد
ضخامت یاتاقان ثابت	۲ میلی‌متر	شعاع جرم‌های متعادل‌کننده	۷۱ میلی‌متر
لقی در یاتاقان ثابت	۳۰-۶۸ میکرومتر	ویژگی‌های پیچ چرخ‌تسمه[1]	M ۱۶ × ۱,۵
تعداد یاتاقان ثابت	۳ عدد	ترتیب احتراق	۱-۳-۴-۲
موقعیت یاتاقان فشاری[2]	یاتاقان اصلی شمارهٔ ۴		

چون بیشینهٔ فشار محفظهٔ احتراق موتور دیزل بسیار قوی است و محدودیت فضا نیز وجود دارد، جنس میل‌لنگ از فولاد ریزهم‌بستهٔ C۳۸Mo با عملیات حرارتی ویژه است. ساخت آن نیز با روش آهنگری گرم است. به خاطر فشار شدید در هنگام احتراق به سطح یاتاقان‌ها، برای پیشگیری از لهیدگی، سطوح سختکاریِ القایی می‌شوند. جدول ۴-۳ ترکیب عنصری مادهٔ میل‌لنگ (C۳۸Mo) را نشان می‌دهد.

[1] Pulley
[2] Thrust bearing

جدول ۴-۳- ترکیب عنصری مادهٔ میل‌لنگ (CIETL-۱۴۳۸)

عنصر شیمیائی	مقدار (٪)	عنصر شیمیائی	مقدار (٪)
کربن (C)	۰,۴ تا ۰,۳۵	مولیبدن (Mo)	۰,۰۸ تا ۰,۰
سیلسیوم (Si)	۰,۶۵ تا ۰,۵	نیکل (Ni)	۰,۲ تا ۰,۰
منگنز (Mn)	۱,۵ تا ۱,۲	مس (Cu)	۰,۲۵ تا ۰,۰
گوگرد (S)	۰,۰۶۵ تا ۰,۰۴۵	وانادیوم (V)	۰,۱۲ تا ۰,۰۸
فسفر (P)	۰,۰۲۵ تا ۰,۰۱۵	آلومینیوم (Al)	۰,۰۳ تا ۰,۰۱
کروم (Cr)	۰,۳ تا ۰,۰	نیتروژن (N)	۰,۰۲ تا ۰,۰۱

بعد از محاسبات و شبیه‌سازی رایانه‌ای، مادهٔ یاد شده و خواص مکانیکی آن تأیید شد. در جدول ۴-۴، خواص مکانیکی این ماده موجود است:

جدول ۴-۴-خواص مکانیکی میل‌لنگ

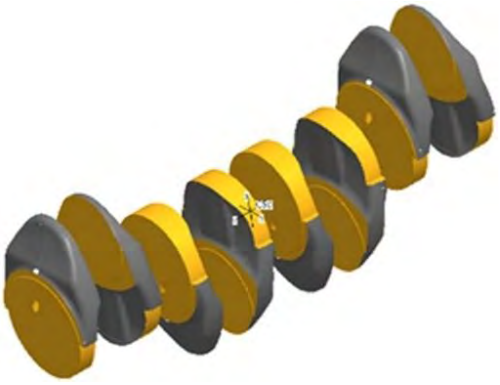
ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
استحکام کششی (N/mm^2)	۸۵۰-۱۰۰۰	سختی (برینل)	۲۵۰-۳۰۰
استحکام تسلیم (N/mm^2)	۵۵۰	افزایش طول[1] (٪)	۸

[1] Elongation

طراحی وزنه‌های تعادل میل‌لنگ

آنچه در طراحی میل‌لنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار اســت یکنواختی حرکت دورانی اســت که در کاهش صدا و لرزش بسیار مؤثر است. این مهم با طراحی مناسب وزنه‌های تعادل دست یافتنی است. به همین خاطر از هشت جرم تعادل برای هم وزنی میل‌لنگ خانوادهٔ موتور ملی دیزل سواری استفاده شد. در طراحی وزنه‌های تعادل سعی بر این است که حجم تراشکاری به حداقل ممکن برسد که با تلاش فراوان، طراحی وزنه‌ها بدون تراشکاری سطوح خارجی انجام پذیرفت. این نکته در قیمت تمام شدهٔ قطعه، تأثیر چشمگیری دارد.

شکل‌های ۴–۷ و ۴–۸، بترتیب بازوهای متصل‌کنندهٔ وزنه‌های تعادل و وزنه‌های تعادل میل‌لنگ را نشان می‌دهند. البته باید یادآوری شــود که میل‌لنگ با روش آهنگری ســاخته می‌شــود و وزنه‌های تعادل و بازوهای متصل‌کنندهٔ آنها، همگی با میل لنگ یکپارچه‌اند.



شکل ۴–۷– بازوهای متصل‌کنندهٔ وزنه‌های تعادل

شکل ۴–۸– وزنه‌های تعادل

برای حذف تراشکاری شعاع انتهای وزنه‌های تعادل، محاسبات رواداشتی بین قطعات متحرک، سطوح خام بدنهٔ موتور و سطوح آهنگری وزنه‌های تعادل میل‌لنگ باید انجام شوند تا در بدترین شرایط رواداشتی، اندازه‌ها و موقعیت قرارگیری میل‌لنگ، دارای فاصلهٔ کافی برای جلوگیری از برخورد میل‌لنگ و قطعات کناری باشد.

محاسبات و بررسی فاصلهٔ کمینهٔ میل‌لنگ با سنبه در هنگامی که سنبه در نقطهٔ مکث پایین قرار دارد و دیوارهٔ محفظهٔ لنگ که در شکل موسوم به کمانچه با لحاظ نمودن بیشینهٔ رواداشت آهنگری نشان داده شده است با حذف فرایند تراشکاری شعاع خارجی وزنه‌های تعادل می‌توان به فاصلهٔ مورد نیاز دست یافت. همچنین محاسبات نشان داد که موازنهٔ[1] به دست آمده به مقدار ۷۲ درصد دارای حد قابل قبول از برای موازنهٔ ارتعاشات و نوفه است. روش محاسبهٔ مقدار موازنه به این صورت است که میل‌لنگ به دو بخش جرم لنگ و جرم موازنه‌کننده تقسیم می‌شود. در این تقسیم‌بندی جرم دورانی دسته سنبه نیز جزء جرم‌های لنگ لحاظ می‌شود. با محاسبهٔ مجموع حاصل‌ضرب مقدار جرم‌ها در فاصلهٔ مرکز جرم برای جرم‌های لنگ و جرم‌های موازنه‌کننده و تقسیم این دو مقدار بر یکدیگر، مقدار موازنه محاسبه می‌شود.

سخت‌کاری میل‌لنگ

میل‌لنگ باید هم در محورهای ثابت و محورهای متحرک به مقدار ۵۵ راکوِل سی[2] سختکاری شود.

بررسی خستگی میل‌لنگ

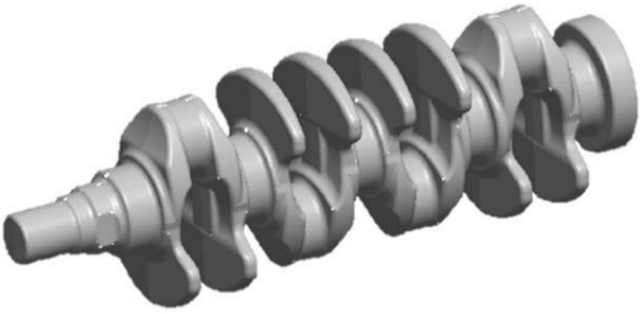
طبق محاسبات کمینهٔ مقاومت به خستگی مورد نیاز در نواحی که به نورد عمیق نیاز دارد، ۸۵۰ مگاپاسکال است. شایان ذکر است که فرایند نورد عمیق از جمله فعالیت‌هایی است که مسئولیت اجرای آن به طور کامل با سازنده است. سازنده پس از ساخت نمونه‌های اولیهٔ میل‌لنگ، تعدادی از میل‌لنگ‌ها را به این فعالیت تخریبی اختصاص می‌دهد تا با اعمال تعدادی نیروهای پیش محاسبه شدهٔ نورد عمیق و آزمون‌های خستگی، به ویژگی‌های مورد نیاز نورد عمیق شامل نیروهای مورد نیاز و نیز چرخه‌های اعمالی دست یابد. بنابر این برای افزایش ضریب اطمینان خستگی میل‌لنگ، عملیات نورد عمیق در گوشه‌ها انجام می‌گیرد. این کار باعث ایجاد تنش‌های پسماند می‌شود و تا ۸۰٪، ضریب اطمینان خستگی را افزایش می‌دهد.

---

[1] Balancing
[2] Rockwell C Hardness (HRC)

طراحی میل‌لنگ آهنگری (خام و تراشکاری شده)

در طراحی میل‌لنگ آهنگری باید هم بر مقدار اضافه تراش‌های مورد نیاز در تمام نواحی تراشکاری دقت کافی داشت و هم بر فرایند آهنگری و محدودیت‌های این فرایند توجه شود. شکل ۴-۹، میل‌لنگ آهنگری شدهٔ خام و تراشیده‌شده را نشان می‌دهد.



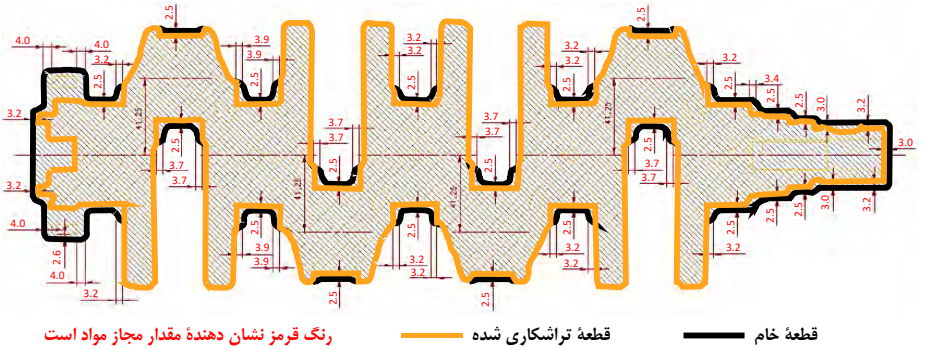
(الف)

(ب)

شکل ۴-۹- میل‌لنگ: (الف) میل‌لنگ آهنگری شدهٔ خام، (ب) میل‌لنگ تراشکاری شده

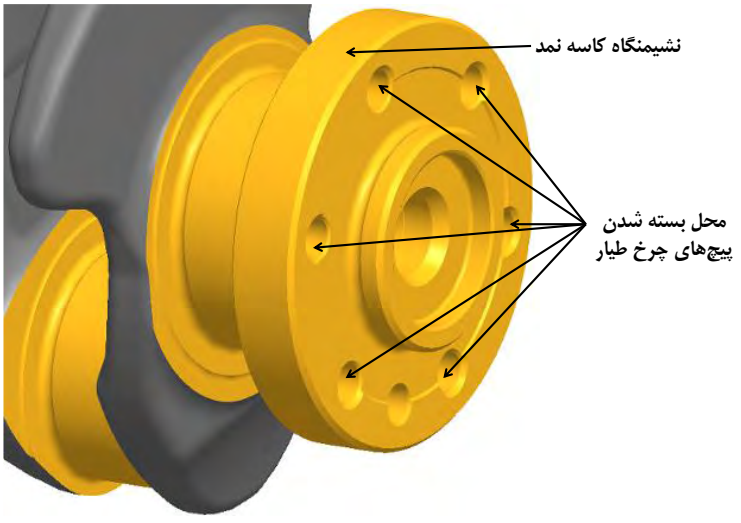
مقدار اضافه تراش مورد نیاز باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که رواداشت‌های قطعهٔ آهنگری و تراشکاری شده را پوشش دهد. برای قطعهٔ آهنگری شده، مقدار اضافه‌تراش باید به گونه‌ای باشد که در بدترین شرایط رواداشتی، مقدار کافی اضافه تراش باقی بماند. همچنین از دیدگاه کلی مقدار اضافه تراش باید کمینهٔ مقداری باشد که از نظر وزن و جرم مواد بکار رفته در میل‌لنگ آهنگری، بصرفه باشد. مقدار ۲,۵ میلی‌متر در راستای شعاعی و ۳,۲ میلی‌متر در راستای محوری مقدار قابل قبول برای اضافه تراش میل‌لنگ است. شکل ۴-۱۰، مقایسهٔ ماده

خام و میل‌لنگ ترا شکاری را ن شان می‌دهد. شکل مذکور ن شان می‌دهد که چگونه در تمام نواحی، ا ضافه تراش مورد نیاز وجود دارد.

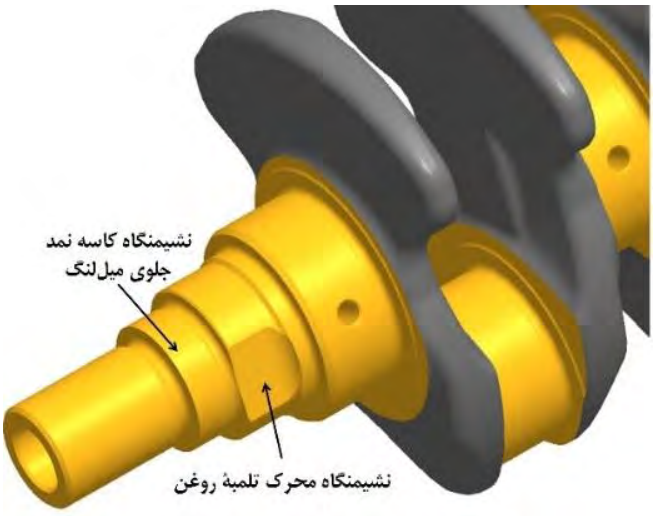


شکل ۴-۱۰- اضافه تراش‌های میل‌لنگ

صفحه ات صال عقب میل‌لنگ محل ات صال چرخ لنگر با شش پیچ ا ست. سطح خارجی آن نیز ن شیمنگاه کاسه نمد عقب میل‌لنگ است که نشت‌بندی محفظهٔ لنگ را به بیرون عهده دار است. شکل ۴-۱۱، صفحهٔ اتصال عقب میل‌لنگ را نشان می‌دهد. دو سطح صاف دماغهٔ میل‌لنگ، تلمبهٔ روغن را می‌چرخاند و سطح صیقلی جلوی آن نشیمنگاه کاسه نمد جلوی میل‌لنگ است که در پوسته تلمبهٔ روغن جای دارد. شکل ۴-۱۲، دماغهٔ میل‌لنگ و محل نشیمنگاه کاسه نمد جلوی آن را نشان می‌دهد.



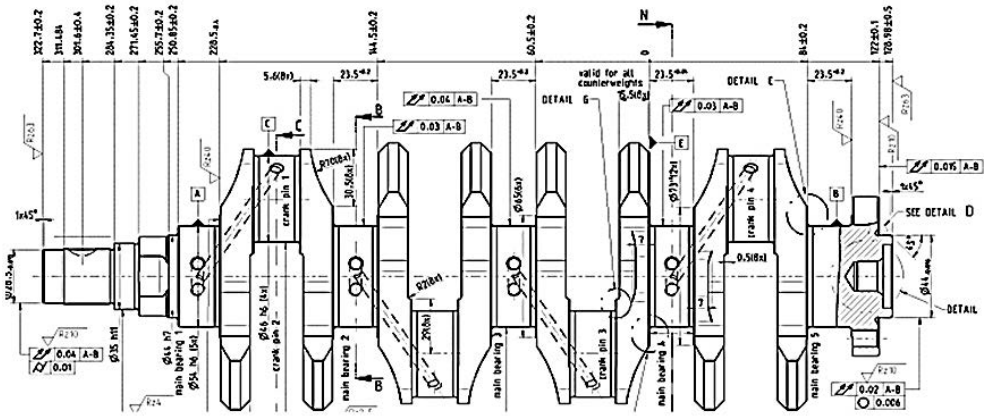
شکل ۴-۱۱- صفحه اتصال عقب میل‌لنگ



شکل ۴-۱۲- دماغهٔ میل‌لنگ

پس از تکمیل طراحی سه بُعدی، با نظر کارشناسان طراحی و محاسبات مهندسی، تمامی موارد بررسی می‌شوند. در صورت توافق کامل، طراحی سه بُعدی تأیید و نقشهٔ نهایی منتشر می‌شود. نقشه با استفاده از شبیه‌سازی سه بعدی ایجاد می‌شود و تمامی نکات مورد نیاز برای ساخت قطعه مانند ماده، روش ساخت، استانداردهای ساخت، استانداردهای کیفی و رواداشت‌ها روی آن نوشته می‌شود. برای میل‌لنگ اولیه که به طور کامل از شمش[1] تراشکاری می‌شود، نقشه‌ای جداگانه و در مرحلهٔ بعد نقشهٔ دیگری برای میل‌لنگ تولید شده به روش آهنگری تهیه می‌شود. در شکل ۴-۱۳، نمایی از نقشهٔ میل‌لنگ مشاهده می‌شود.

[1] Billet



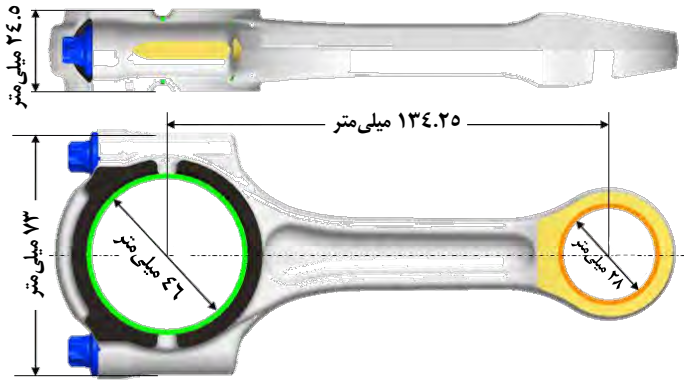
شکل ۴-۱۳- نمایی از نقشهٔ میل‌لنگ اولیه

دسته سنبه

دسته سنبه واسط سنبه و میل‌لنگ است که به دلیل حرکت پیچیدهٔ آن، حرکت رفت و برگشتی سنبه به میل‌لنگ انتقال می‌یابد. در واقع بخشی از جرم دسته سنبه جزء جرم‌های رفت و برگشتی است و بخش دیگر آن جزء جرم‌های دورانی است. لذا سبکی آن مهم است. برای کاهش وزن دسته سنبه معمولاً سعی می شود مواد با استحکام قوی و هندسهٔ مناسب (مثلاً شکل سطح مقطع ساق که به صورت I طراحی می‌شود) به کار گرفته شود که این دو عامل در طراحی دسته سنبهٔ موتور دیزل سواری در نظر گرفته می‌شود.

محاسبهٔ طول دسته سنبه (فاصلهٔ مرکز چشم‌های کوچک و بزرگ) از نخستین محاسبات طراحی ساز و کار لنگ است. طول دسته سنبه مؤلفه‌ای هندسی است و معمولاً سعی می شود نسبت آن به شعاع لنگ حدود ۳٫۳ باشد. اما همیشه رعایت این نسبت ممکن نیست چرا که شعاع لنگ پیش از طول دسته سنبه معین می شود و ارتفاع تراکم سنبه نیز به عوامل متعددی بستگی دارد. در موتور دیزل سواری این نسبت ۳٫۲۵ قرار داده شد که نسبت بسیار مناسبی است.

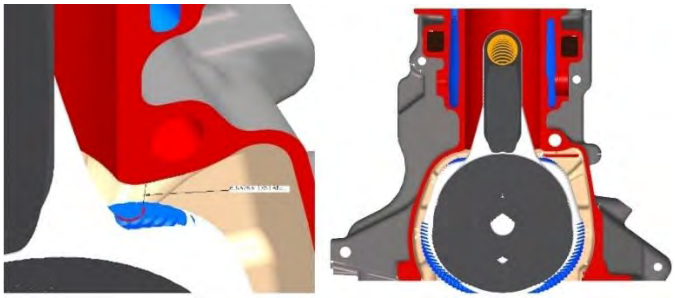
پس از محاسبهٔ طول، قطر چشم کوچک و قطر چشم بزرگ با توجه به محدودیت‌های طراحی، پهنای یاتاقان تعیین می‌شود. پهنای چشم بزرگ با توجه به محور میل‌لنگ مشخص می‌شود و شکل چشم کوچک نیز با توجه به شکل داخلی سنبه طراحی می‌شود. شکل ۴-۱۴، اندازه‌های اصلی روی دسته سنبه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴- دسته سنبه

بارهای پویای شدید حاصل از اختراق که بر دسته سنبه وارد می‌آیند، طراحی آن را پیچیده می‌سازند. طراحی تفصیلی تنها ایجاد طرحی که قابلیت حمل بار دارد نیست، بلکه باید هزینه، قابلیت ساخت و همبندی نیز در نظر گرفته شود.

با توجه به حرکت پیچیدهٔ دسته سنبه و فضای محدود در اختیار، یکی از بررسی‌های مهم و بنیادین در طراحی این قطعه، بررسی فاصلهٔ کمینه با دیواره محفظهٔ لنگ است. شکل موسوم به کمانچه که پیمایش این حرکت را نشان می‌دهد، در شکل ۴-۱۵، نشان داده شده است.



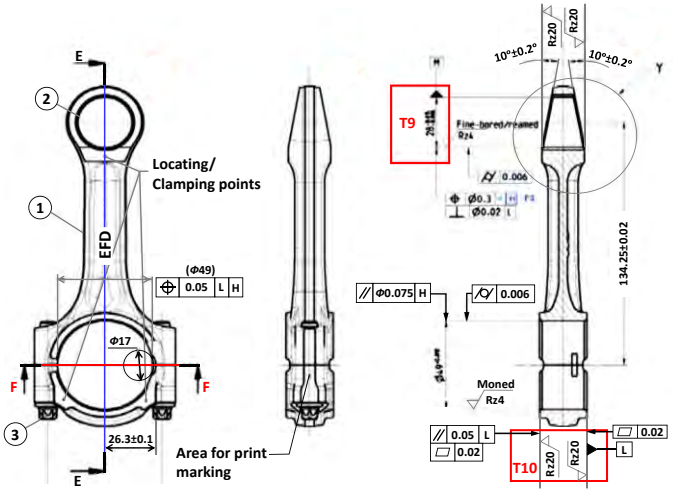
شکل ۴-۱۵- منحنی کمانچه

برای کاهش هزینهٔ تولید و کاهش حجم عملیات تراشکاری، مادهٔ خاصی انتخاب شد که علاوه بر استحکام کافی، شکست‌پذیر باشد. این ماده که با علامت C۷۰ شناخته می شود، از رایج‌ترین مواد برای دسته سنبه‌هایی

ا ست که از روش آهنگری گرم تولید می شوند. با این انتخاب، تعداد عملیات تراشکاری کاهش می‌یابد و همبندی دقیق کپه و دسته سنبه نیز تند و با دقت انجام می‌گیرد. افزون بر آن، می‌توان از یک پیچ سادهٔ ارزان به جای پیچ‌های گران قیمت استفاده کرد.

روش شکستن بدین صورت است که ابتدا قطعه تراشکاری اولیه می‌شود و سپس با استفاده از پرتو نور[1]، دو خط بسیار نازک و کم عمق در دو طرف چشم بزرگ ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از یک قطعهٔ گوه‌ای شکل که با اعمال نیرو و با سرعتی خاص وارد چشم بزرگ می‌شود، قطعه می‌شکند و کپه از دسته جدا می‌شود.

طراحی دسته سنبه با تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های دقیق رایانه‌ای با اعمال بارهای ثابت و پویا از نظر ایستایی و خستگی بررسی می شود. یکی دیگر از عوامل مهم در طراحی دسته سنبه، طراحی پیچ است. کوچکترین آسیب یا اختلال در عملکرد پیچ ممکن است به خرابی کامل قوای محرکه بینجامد. نتایج محاسبات پیچ نیز در تحلیل رایانه‌ای بررسی می شود. پیچ طراحی شده، پیچی M۸ دنده‌ریز با گام ۱ و طبقهٔ ۱۰,۹ به طول ۴۵ میلی‌متر است که با روش پایش نقطهٔ تسلیم پیچ بسته می‌شود. این روش از دقیق‌ترین روش‌های بستن پیچ است که امروزه در صنعت خودروسازی و قوای محرکه متداول شده است. شکل ۴-۱۶، نقشهٔ دسته سنبه را نشان می‌دهد. ترتیب مراحل بستن پیچ عبارت است از: مرحلهٔ اول: بستن با گشتاور ۱۰ نیوتن‌متر، مرحلهٔ دوم: بستن با گشتاور ۲۵ نیوتن‌متر و نهایتاً مرحلهٔ سوم بستن با پایش نقطهٔ تسلیم.



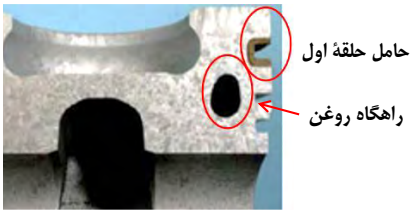
شکل ۴-۱۶- نقشهٔ دسته سنبه

[1] Laser

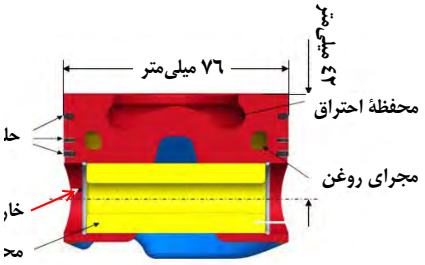
مجموعهٔ سنبه

سنبه از حساس‌ترین و پیچیده‌ترین قطعات موتور است. سنبه در واقع همان عضو لغزنده در ساز و کار لنگ است که تحت شدیدترین بارهای مکانیکی و حرارتی است. اهمیت این قطعه، خودرو سازان را بر آن داشته است تا از دانش سازندگان و متخصصان در این زمینه بهره جویند.

این قطعه علاوه بر دارا بودن استحکام کافی باید کمترین وزن ممکن را برای کاهش مصرف سوخت، ارتعاش و اصطکاک داشته باشد. سنبهٔ موتور دیزل سواری ملی از جنس آلومینیوم‌های پری‌اوتکتیک است و با روش ریخته‌گری در قالب فلزی تولید می شود. مانند بیشتر سنبه‌ها، این سنبه نیز دارای دو حلقهٔ فشاری و یک حلقهٔ روغنی است. به خاطر فشار شدید احتراق، از یک حامل حلقه از جنس چدن در محل حلقهٔ اول استفاده خواهد شد. همچنین به خاطر دمای داغ تاج سنبه، یک راهگاه روغن که با استفاده از افشانهٔ خنک‌کن سنبه تغذیه می‌شود، در زیر تاج سنبه و پشت حلقه‌ها تعبیه می‌شود. شکل ۴-۱۷، برخی اندازه‌های روی سنبه را نشان می‌دهد.



(محل حامل حلقهٔ اول و راهگاه روغن)



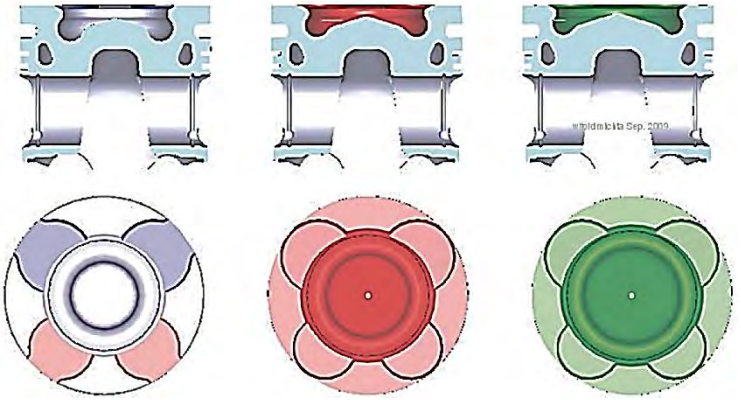
(برخی ابعاد و قسمت‌های مختلف سمبه)

شکل ۴-۱۷- سنبهٔ موتور دیزل سواری

تاج سنبه در قوای محرکه دیزل جایگاه محفظهٔ احتراق را دارد و شکل آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه عمدتاً از محفظهٔ احتراق اُمگا شکل[1] استفاده می شود که ساخت آن پیچیدگی‌های خاص خود را دارد اما از نظر احتراق و حد آلودگی، این طرح بهترین است. مهمترین کارِ گروه طراحی در طراحی تاج سنبه، بررسی فاصلهٔ دریچه‌ها و طراحی حفره‌های مورد نیاز برای حفظ فاصلهٔ تاج با دریچه‌ها است. مواردی مانند شکل محفظهٔ احتراق و بررسی حرکت جریان در فصل توسعهٔ احتراق توضیح داده می‌شود.

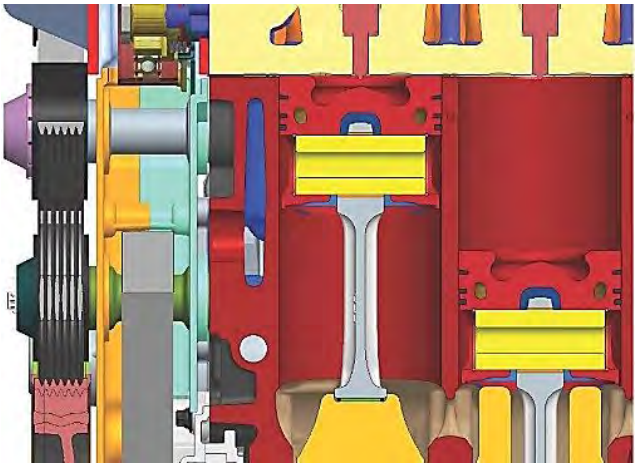
[1] Omega shape (ω)

چون پس از آزمون احتراق ممکن است نیاز به تغییر جزئی در شکل تاج سنبه باشد، چند طرح را واحد احتراق پیش بینی می‌کند که آزمون‌ها با اولین طرح آغاز می‌شود و در صورت نیاز طرح‌های دیگر مورد آزمون قرار می‌گیرند. شکل ۴-۱۸، طرح‌های مختلف تاج سنبه را نشان می‌دهد.



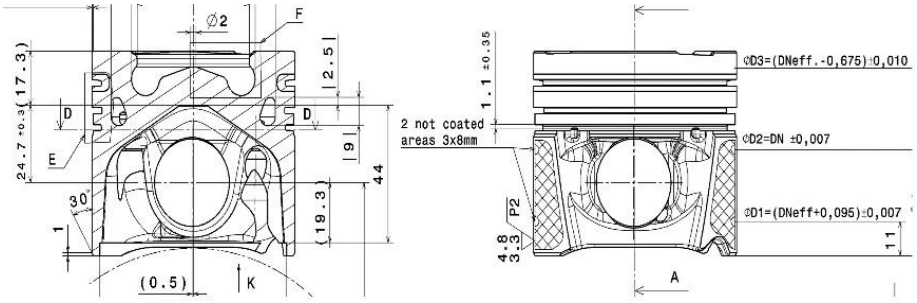
شکل ۴-۱۸- شکل‌های مختلف تاج سنبه

آنچه از نظر هندسی مهم است بررسی فاصلهٔ سنبه با بدنهٔ موتور، میل‌لنگ، دسته سنبه، دریچه‌ها و بستار است. شکل ۴-۱۹، چگونگی بررسی سه بعدی با قطعات کنار سنبه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۹- بررسی فاصلهٔ سنبه با قطعات مجاور

پس از تکمیل طراحی سه بعدی، در جلسه‌ای با حضور کارشناسان طراحی و محاسبات مهندسی ، تمامی موارد مرور و بررسی می شود. در صورت توافق همه افراد، طراحی سه بعدی تأیید و نهایی می شود و نقشه بر اساس آن منتشر می شود. نقشه با استفاده از طرح سه بعدی ایجاد می شود و تمامی نکات مورد نیاز برای ساخت قطعه بر روی آن ذکر می‌شود که از جمله می‌توان به مادّه، روش ساخت، استانداردهای ساخت، استانداردهای کیفی و رواداشت‌ها اشاره نمود. تصاویری از نقشه در شکل ۴-۲۰، نشان داده شده است.



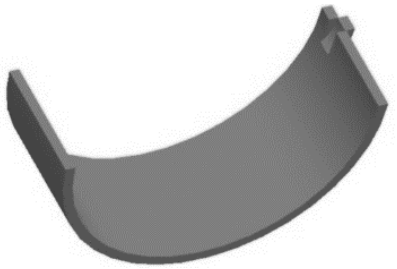
شکل ۴-۲۰- نمایی از نقشهٔ سنبه

یاتاقان‌ها

ابعاد یاتاقان‌ها با توجه به بارهای وارد برآن و شرایط روانکاری در واحد محاسبات مهندسی مشخص می‌شود. سپس با توجه به مقدار تحمل بار مواد مختلف، مادهٔ مناسب انتخاب می‌شود. یاتاقان‌های ثابت با توجه به شرایط روانکاری بهتر و بارهای ضعیف‌تر، از نوع دولایه با شالودهٔ آلومینیومی اند. اما چون یاتاقان بالایی دسته سنبه، زیر فشار مستقیم احتراق است، از نوع سه لایه با شالودهٔ فولادی و پوشش خاص روی سطح یاتاقان است. این در حالی است که یاتاقان پایینی آن از نوع دو لایه است.

شرایط طراحی یاتاقان‌ها بر مبنای فشار و بار وارد بر آن‌ها و بر اساس بیشینهٔ فشار احتراق است. مقدار لقی مورد نیاز ابعاد اصلی یاتاقان از طرف واحد طراحی در اختیار سازنده قرار می‌گیرد و سازندهٔ این قطعه، مواد پیشنهادی و نقشهٔ قطعه را ارائه می‌دهد. یاتاقان دسته سنبه و یاتاقان‌های ثابت بالایی دارای یک رنگ‌بندی و یاتاقان ثابت پایینی دارای سه رنگ بندی اند تا لقی مورد نیاز را تأمین نمایند.

شکل ۴-۲۱، پوستهٔ یاتاقان متحرک و جدول ۴-۵، ویژگی‌های یاتاقان‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۲۱- پوستهٔ یاتاقان متحرک

جدول ۴-۵- ویژگی‌های یاتاقان‌ها

پهنای یاتاقان ثابت	۱۸ میلی‌متر	موقعیت یاتاقان فشاری	یاتاقان اصلی شمارهٔ ۴
ضخامت یاتاقان	۲ میلی‌متر	ضخامت یاتاقان متحرک	۱,۵ میلی‌متر
لقی در یاتاقان ثابت	۳۰-۶۸ میکرومتر	لقی در یاتاقان متحرک	۲۴-۶۸ میکرومتر
تعداد یاتاقان‌های ثابت	۳ عدد	تعداد یاتاقان متحرک	۱ عدد

چرخ تسمهٔ میل‌لنگ

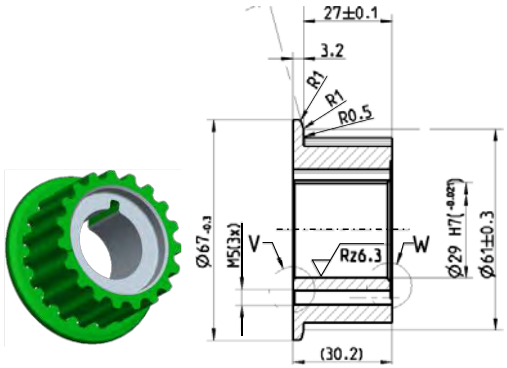
چرخ‌دندهٔ سر میل‌لنگ، تغییر اندکی نسبت به موتور ملی دارد. شکل ۴-۲۲، چرخ تسمهٔ میل‌لنگ را نشان می‌دهد. تنها تغییر آن چگونگی همبندی است که از حالت فشاری به حالت انطباق عبوری تغییر کرده است تا در خدمات پس از فروش برای درآوردن و جازدن آن مجبور به خراب کردن قطعه نگردند و به آسانی تعویض و تعمیرات انجام شود. این قطعه به روش گَرد مواد[1] تولید می‌شود.

در انتخاب چرخ‌دنده، اولویت انتخاب با قطعه‌ای است که بیشترین اشتراک را با ویژگی‌ها و تعداد دندانه‌های موتور ملی داشته باشد. برای تغییر نوع انطباق از فشاری به جذب و روان باید نیرویی محوری که از طرف پیچ چرخ تسمه به چرخ تسمه منتقل می‌شود، به دیوارهٔ چرخ دنده نیز وارد شود و بدین وسیله، چرخ‌دنده در محل خود ثابت شود. لذا تحلیل مقاومتی برای قطعهٔ چرخ دنده لازم بود و انجام شد.

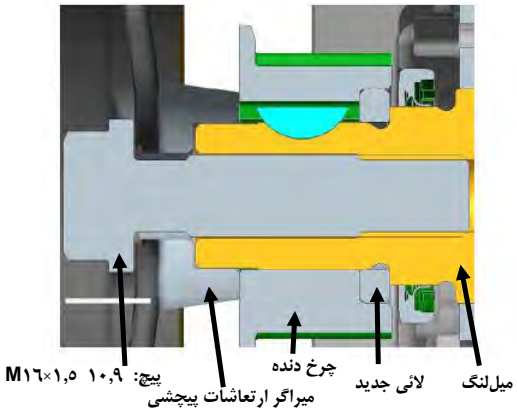
مقطع اتصال چرخ تسمهٔ سر میل‌لنگ، چرخ‌دندهٔ سر میل‌لنگ، میل‌لنگ و پیچ چرخ تسمه در شکل ۴-۲۳، مشاهده می‌شود. نیروی پیچ از طریق چرخ تسمه به چرخ‌دنده، و قطعهٔ واسط انتهای چرخ‌دنده و سپس به میل‌لنگ

[1] Powder metallurgy

منتقل می‌شود. استفاده از قطعهٔ واسط به این دلیل است که نیروی وارد شده به چرخ‌دنده در سطح بزرگتری توزیع و مقدار تنش در چرخ‌دنده ضعیف شود تا از حد تنش مجاز قطعه فراتر نرود. لایی‌های[1] اصطکاکی موجود در طرفین نیز باعث ایجاد افزایش ضریب عدم لغزش می‌شود. در طرح قبل موقعیت‌گیری چرخ تسمه، وابسته به ابعاد و رواداشت‌های لایی، چرخ‌دنده و دیوارهٔ تکیه‌گاهی میل‌لنگ است که باید تمامی این ابعاد در حین طراحی با محاسبات رواداشتی بررسی گردند.



شکل ۴-۲۲- چرخ تسمهٔ میل‌لنگ



شکل ۴-۲۳- مقطع اتصال چرخ تسمه به میل‌لنگ

[1] Washer

میراگر نوسان‌های پیچشی[1]

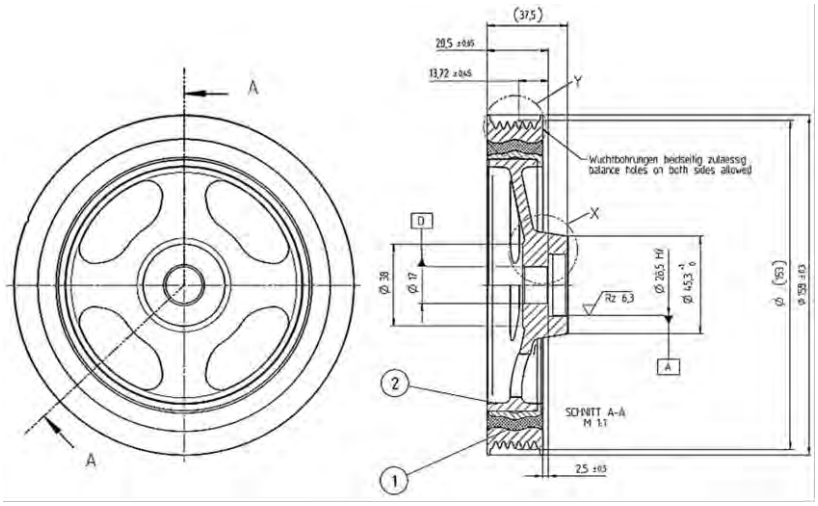
میراگر نوسان‌های پیچشی مشابه قطعهٔ استفاده شده در موتور ملی است و تنها قسمت لاستیک میراگر و قطر خارجی چرخ تسمهٔ آن تغییر کرده است تا با شرایط جدید تطبیق یابد. جنس چرخ تسمه و مغزی از چدن GJL۲۵۰ است.

منظور از مشابه بودن با موتور ملی تشابه ساختاری و نوع آن است و از نظر ابعادی و عملکردی دارای اختلاف است؛ به این مفهوم که با تغییر ویژگی‌های ساز و کار لنگ و عملکرد موتور نسبت به موتور ملی باید تحلیل، محاسبات و همچنین آزمون‌های طراحی قطعه از ابتدا انجام گیرد که محاسبات طراحی و آزمون‌های عملکردی بر عهدهٔ شرکت تأمین‌کنندهٔ این قطعه بوده است. شکل ۴-۲۴، میراگر نوسان‌های پیچشی همراه با نخستین ویژگی‌ها (آغاز طراحی) و جدول ۴-۶، را نشان می‌دهند.

جدول ۴-۶- میراگر نوسان‌های پیچشی

ویژگی	مقدار	واحد
گشتاور لختی حلقهٔ خارجی:	۰,۰۰۳	$kg.m^2$
گشتاور لختی لاستیک و نگهدارندهٔ آن:	۰,۰۰۱۰۹	$kg.m^2$
ضریب میرائی نسبی:	۱,۲۶	
بسامد:	۴۲۵	Hz
میرائی مطلق:	۰,۵	N.m.s/rad

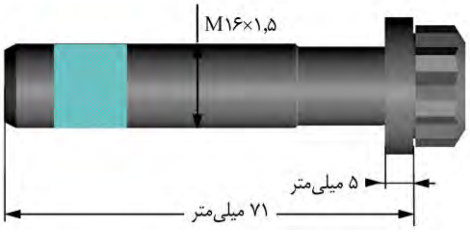
[1] Torsional Vibration Damper (TVD)



شکل ۴-۲۴- میراگر نوسان‌های پیچشی همراه با نخستین ویژگی‌ها (آغاز طراحی)

پیچ میراگر نوسان‌های پیچشی

این پیچ برای بستن و نگه داشتن میرانهٔ ارتعاشی و چرخ تسمهٔ میل‌لنگ از طریق اصطکاک ناشی از نیروی پیش بار حا صل از سفت کردن پیچ ا ست. شکل ۴-۲۵، پیچ میراگر نو سان‌های پیچ شی را ن شان می‌دهد. پیچ انتخاب شده یک پیچ M۱۶ دنده ریز با گام ۱,۵ از طبقهٔ ۱۰,۹ است که دارای لایی با ضخامت ۵ میلی‌متر است.



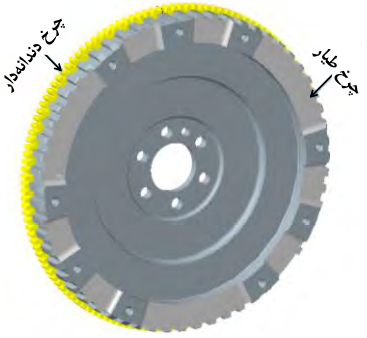
شکل ۴-۲۵- پیچ میراگر نوسان‌های پیچشی

چرخ لنگر و چرخ دندانه‌دار

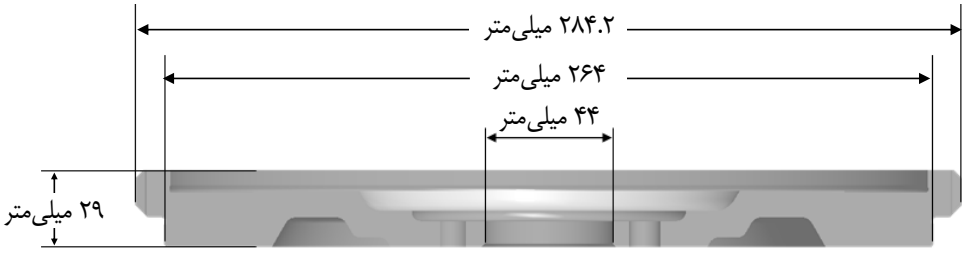
چرخ لنگر دو وظیفه بر عهده دارد: یکی ذخیرهٔ انرژی دورانی برای ایجاد یکنواختی دور و گشتاور خروجی موتور و دیگری انتقال گردش از راه‌انداز[1] به موتور در موقع آغاز به کار خودرو است. با توجه به تحلیل‌ها و انطباق

[1] Starter

با چنگک[1] از چرخ لنگر با ویژگی‌های جدول ۴-۷ استفاده می‌شود. شکل ۴-۲۶، چرخ لنگر را نشان می‌دهد. در خصوص اتصال چرخ لنگر به میل‌لنگ به دلیل افزایش گشتاور، نیاز به اتصالات قویتری است برای این کار از پیچ با طبقهٔ ۱۰,۹ همراه با پایش نقطهٔ تسلیم استفاده می‌شود. مادهٔ چرخ لنگر، چدن GJL۳۰۰ است که کاملاً مشابه چرخ لنگر موتور ملی است. شکل ۴-۲۷، ابعاد اصلی چرخ لنگر موتور را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۲۶- چرخ لنگر



شکل ۴-۲۷- ابعاد اصلی چرخ لنگر

[1] Clutch

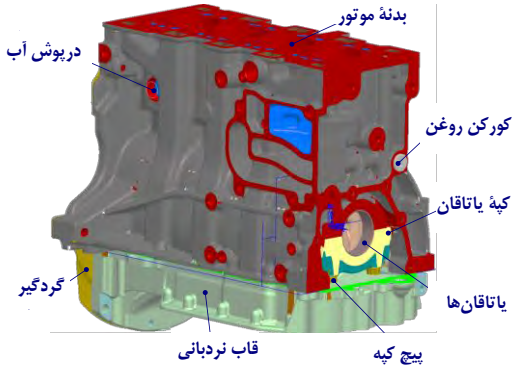
جدول ۴- ۷- ویژگی‌های چرخ لنگر موتور

گشتاور لختی:	۰٫۰۸۷ kg.m^2	تعداد دندانه‌های راه‌انداز:	۱۳۶
تعداد پیچ:	۶ × M ۱۰	قطر خارجی دندهٔ راه‌انداز:	۲۹۱ میلی‌متر
جنس:	GJL۳۰۰	قطر خارجی چرخ لنگر:	۲۸۴ میلی‌متر

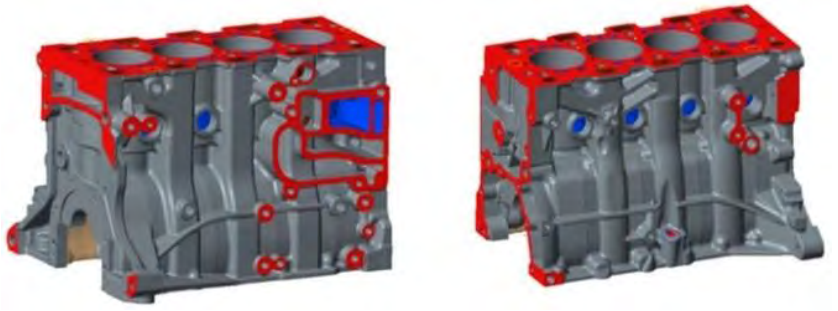
گشتاور لختی مورد نیاز برای موتور دیزل بزرگتر از موتور اشتعال جرقه‌ای همسان است. در آغاز طرح، برای نخستین موتور از چرخ لنگر موتور ملی استفاده شد ولی پس از تحلیلی کامل، برای آزمون دوام و سرعت‌های بحرانی از چرخ لنگر با طراحی جدید و گشتاور لختی مورد نیاز موتور دیزل سواری استفاده شد.

بدنهٔ موتور

جنس بدنهٔ موتور از چدن ریخته‌گری GJL۲۵۰ است که این جنس با توجه عملکرد قطعه (بدنهٔ اصلی موتور و نگهدارنده قطعاتی همچون دسته موتور، تلمبهٔ روغن، سامانهٔ تلمبهٔ آب و خنک‌کن روغن)، استحکام لازم و آسانی ساخت (مشابه بدنهٔ موتور ملی) انتخاب شده است. این مجموعه مطابق شکل‌های ۴-۲۸ و ۴-۲۹، شامل قطعاتی بدین شرح است:

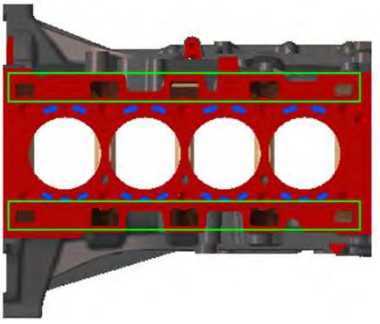


شکل ۴-۲۸- مجموعهٔ بدنهٔ موتور



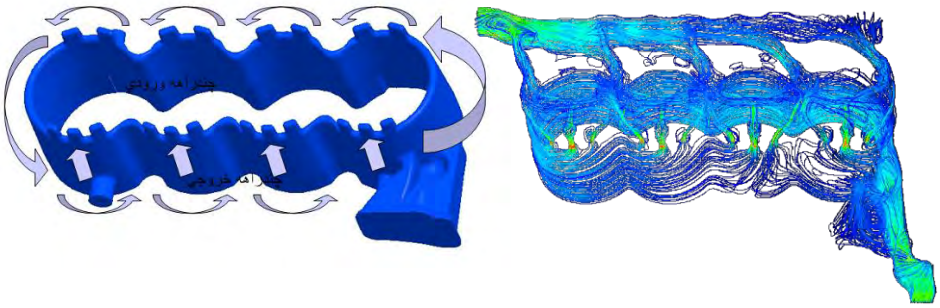
شکل ۴-۲۹- محل هم‌بندی قطعات مختلف بر روی بدنه

برای اتصال قطعات مختلف (سامانهٔ برگشت گازها، دسته موتور و مخلوط کن) بر روی بدنه، فضا و سوراخ رزوهٔ پیچ منا سب آن قطعه، بر روی بدنه ایجاد شد. ده م سیر برگ شت روغن با توجه به ف ضای موجود و شرایط موتور به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بیشترین بازده را در شرایط شیب روی داشته باشند. شکل ۴-۳۰، مسیرهای برگشت روغن نشان داده شده است.



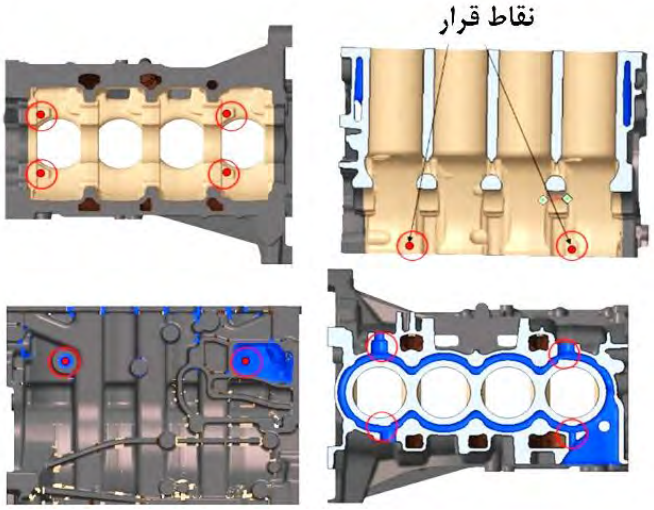
شکل ۴-۳۰- مسیرهای برگشت روغن

طراحی ماهیچهٔ آبگرد در چندین مرحلهٔ طراحی، بهینه شد. در شکل ۴-۳۱، مسیر حرکت آب در ماهیچهٔ آبگرد بدنه و محل ورود به بستار نشان داده شده است. جریان آب به صورت عرضی است که با موتور ملی متفاوت است. در موتور ملی جریان آب با طرح طولی لحاظ شده بود.



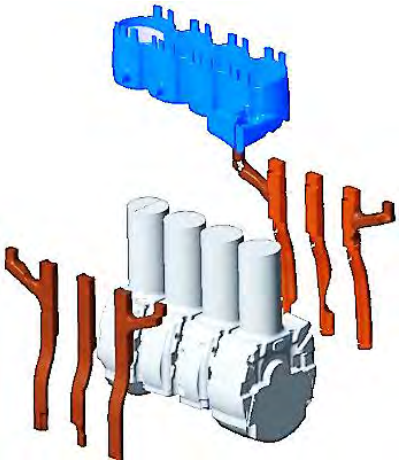
شکل ۴-۳۱- مسیر عبور آب از محفظهٔ آبگرد

بدنهٔ موتور دیزل سواری ملی به گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت تولید را در خط تراشکاری تأمین‌کننده بدنهٔ موتور ملی با کمترین تغییرات داشته باشد. در شکل ۴-۳۲، نقاط قرار و مرجع ریخته‌گری بدنهٔ موتور دیزل سواری ملی نشان داده شده است که کاملاً مشابه بدنهٔ موتور ملی است.

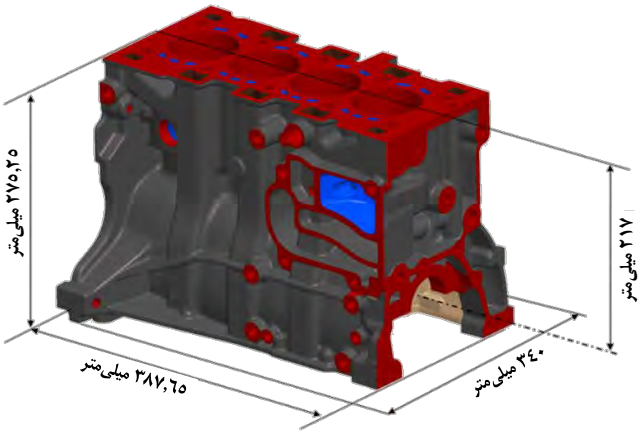


شکل ۴-۳۲- نقاط قرار و مرجع ریخته‌گری بدنه

در شکل ۴-۳۳، بدنهٔ موتور دیزل سواری ملی به همراه ماهیچه‌های آن و در شکل ۴-۳۴، ابعاد بدنهٔ موتور نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۳۳- ماهیچه‌های بدنهٔ موتور



شکل ۴-۳۴- ابعاد بدنهٔ موتور

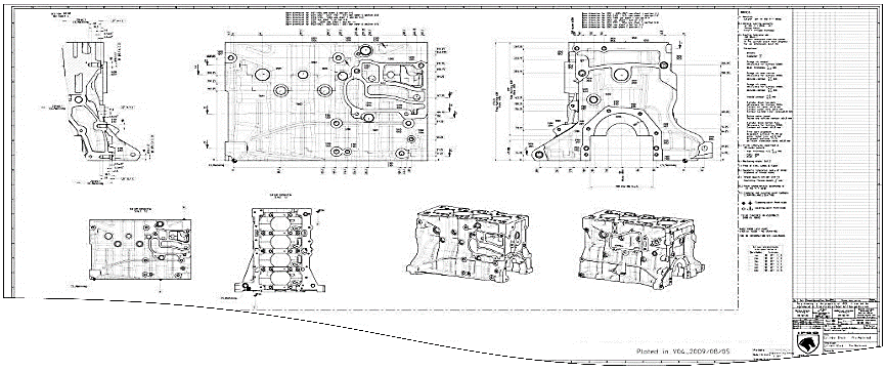
ویژگی‌های کلی بدنهٔ موتور در جدول ۴-۸ بدین شرح خلاصه شده است:

جدول ۴-۸- ویژگی‌های بدنهٔ موتور

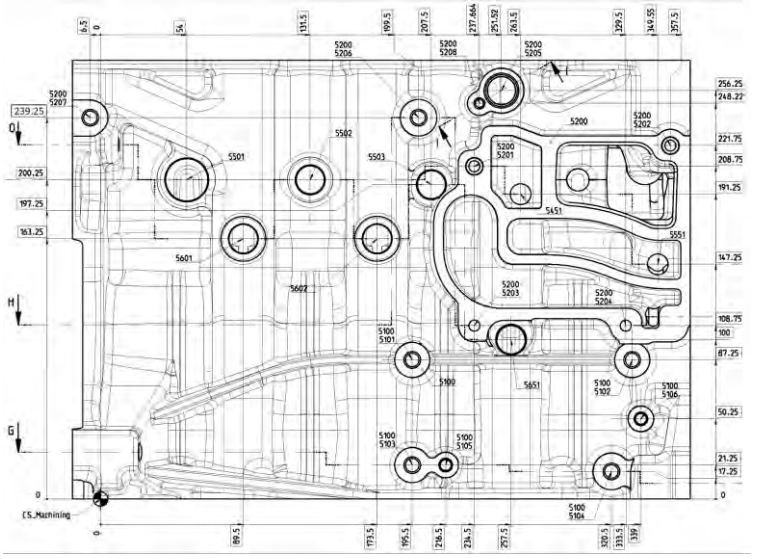
ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
ماده	DIN-EN ۱۵۶۱:۱۹۹۷ GJL۲۵۰	قطر محل نشست میل‌لنگ	۵۸ میلی‌متر
فرآیند تولید	ریخته‌گری ماسه‌ای	ارتفاع (از محور میل‌لنگ تا سطح بالایی)	۲۱۷ میلی‌متر
سازندهٔ نمونه‌سازی	Grainger & Worrall Limited	پیچ کپه‌ها	۱۰ عددت M۱۲ سطح ۱۰,۹
سازندهٔ نهایی	IKCI	پیچ بستار	۱۰ عددت M۱۲ سطح ۱۰,۹
ضخامت دیواره‌ها	۴ ±۰,۵ میلی‌متر	طول کلی	۳۸۷,۶۵ (مشابه موتور ملی)
فاصلهٔ استوانه‌ها	۸۴ میلی‌متر	جرم قطعه تمام شده بدون کپه‌ها	۴۲,۵۸ کیلوگرم
قطر استوانه	۷۶ میلی‌متر		

پس از پایان طراحی سه بعدی قطعات با مرور خواسته‌های طراحی، نقشهٔ سه‌بعدی نهایی می‌شود. در تهیه نقشه موارد بسیار مهمی مانند رواداشت‌های ابعادی و هندسی، صافی سطوح و مراجع تراشکاری باید در نظر گرفته شـــود. برای تعیین دقیق این موارد باید عوامل مختلفی چون عملکرد مورد نیاز در موتور، قابلیت تولید، امکانات تولید کنندگان موجود و هزینه را در نظر گرفت.

با چنین رویکردی نخســتین ویرایش نقشــهٔ بدنهٔ موتور نیز پس از چند بار بازخورد و تصــحیح، تهیه و تأیید شد. در شکل‌های ۴-۳۵ و ۴-۳۶، بترتیب نقشهٔ کلی بدنهٔ موتور و نمایی از نقشه بدنهٔ موتور از طرف پودمان روغن نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۳۵- نقشهٔ کلی بدنهٔ موتور



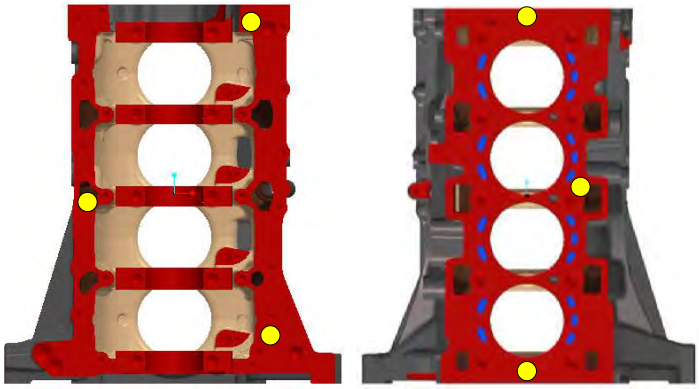
شکل ۴-۳۶- نمایی از نقشه بدنهٔ موتور از طرف پودمان روغن

آزمون‌هایی که برای تأیید قطعه باید انجام شوند بدین شرح اند:

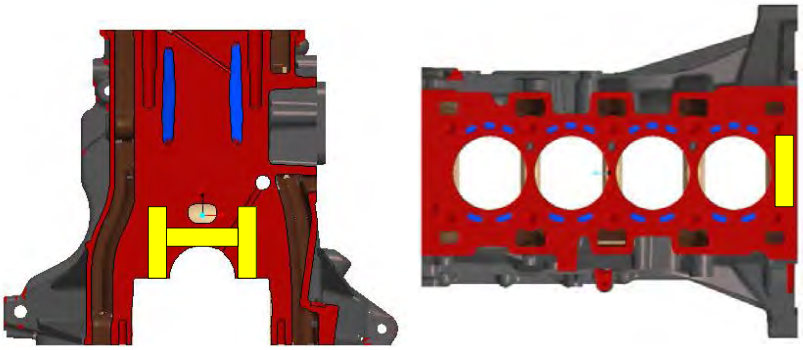
مقدار تخلخل و عیوب ریخته‌گری طبق اسـتاندارد ASTM E۱۵۵ [1]باید بررسـی شـود. از تخلخل با قطر بیش از ۰٫۱ میلی‌متر که موجب تشدید خستگی در قطعه می شود، باید دوری شود. سختی مورد نیاز برای قطعه،

[1] American Society for Testing and Materials (ASTM)

۲۱۰ برینل است که محل آزمون‌ها در شکل ۴–۳۷ مشخص شده است. استحکام کششی قطعه طبق استاندارد برابر با ۲۶۰ N/mm^2، استحکام خستگی آن برای سطح بالایی ۱۰۵ N/mm^2 و برای سطح استوانه‌ها برابر ۸۵ N/mm^2 است. در شکل ۴–۳۸، موقعیت نمونه آزمون کشش نشان داده شده است.



شکل ۴–۳۷– موقعیت نمونه آزمون سختی سنجی



شکل ۴–۳۸– موقعیت نمونه آزمون کشش

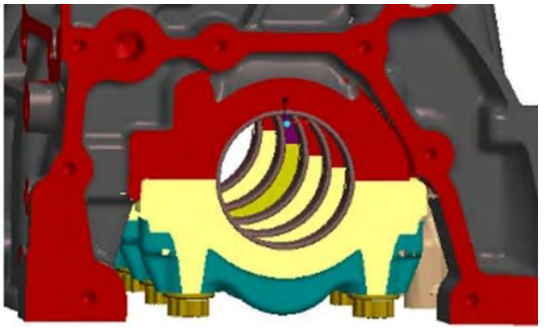
تمام قطعات باید تحت آزمون نشتی قرار گیرند. شرایط این آزمون طبق جدول ۴–۹ بدین شرح است:

جدول ۴-۹- شرایط آزمون نشتی

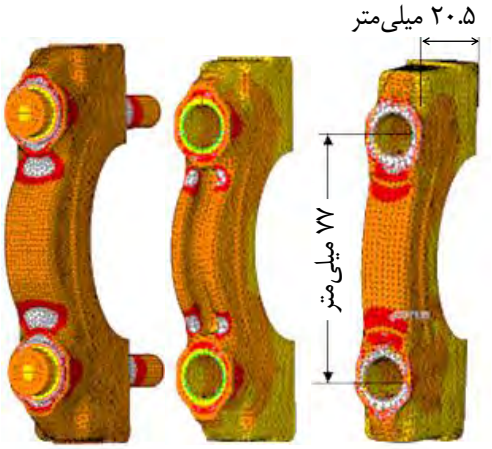
روش اختلاف فشار با استفاده از هوا (قطعهٔ خام)	فشار آزمون (bar)	نشتی بیشینهٔ مجاز (cm^3/min)
محفظهٔ آبگرد	۲	کمتر از ۷
مسیر روغن پرفشار	۴	کمتر از ۵
مسیر روغن کم فشار	۰٫۵	کمتر از ۲۵

کپهٔ یاتاقان‌ها

در شکل ۴-۳۹، موقعیت همبندی کپهٔ یاتاقان‌ها نشان داده شده است. جنس کپهٔ یاتاقان‌ها از چدن GJS ۴۰۰ است که استحکام لازم را در برابر فشار احتراق شدید موتور دارا است. همان طور که در شکل ۴-۴۰، مشخص است طراحی کپه با توجه به تحلیل‌ها در چند مرحله تغییر نمود تا به طراحی بهینه رسید. طراحی پیچ کپه بر اساس نیروهای وارد به مجموعه، محاسبه و انتخاب می‌شود.



شکل ۴-۳۹- موقعیت همبندی کپهٔ یاتاقان

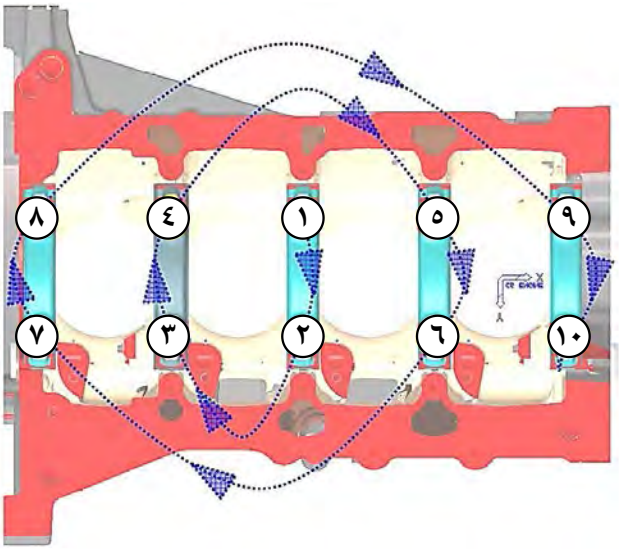


شکل ۴-۴۰- طرح‌های مختلف کپهٔ یاتاقان‌ها

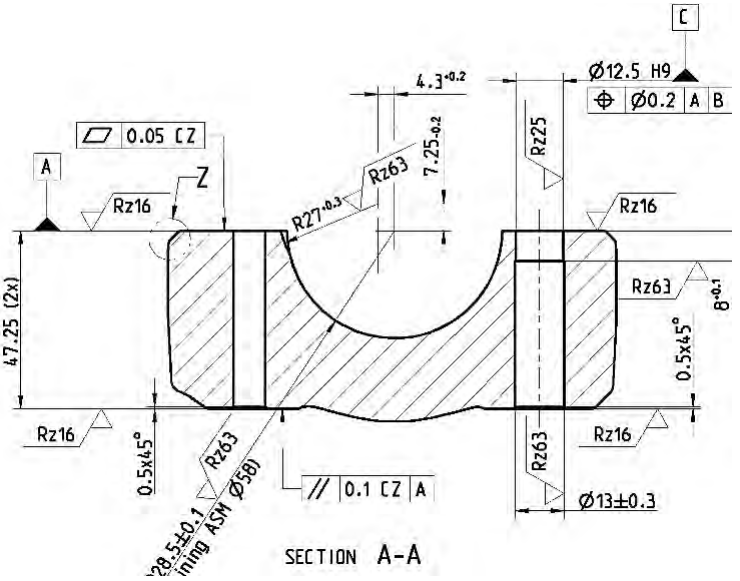
طبق محاسبات، پیچ کپه از نوع M۱۲ سطح ۱۰,۹ است. در خط تولید این پیچ‌ها (۱۰ عدد) باید همزمان بسته شود ولی در مرحلهٔ تولید نمونه، به خاطر عدم وجود دستگاه مورد نیاز، پیچ‌ها باید بترتیب خاصی بسته شوند تا موجب اعوجاج نشود. در شکل ۴-۴۱، این ترتیب و در شکل ۴-۴۲، نمایی از نقشهٔ کپه نمایش داده شده است.

ترتیب مراحل بستن پیچ عبارتست از:

۱. بستن با گشتاور ۲۵ نیوتن- متر
۲. بستن با گشتاور ۵۵ نیوتن- متر
۳. بستن با پایش نقطهٔ تسلیم



شکل ۴-۴۱- ترتیب بستن پیچ‌های کپه

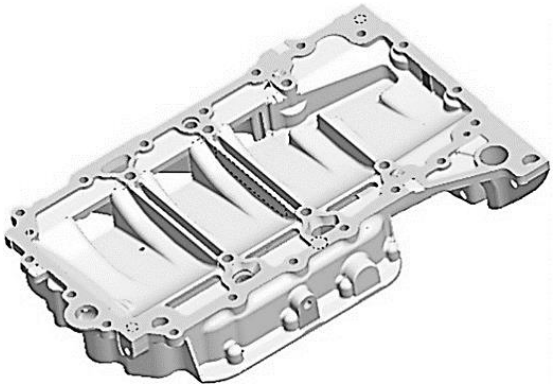


شکل ۴-۴۲- نمایی از نقشهٔ کپه

قاب نردبانی و صفحهٔ گردگیر

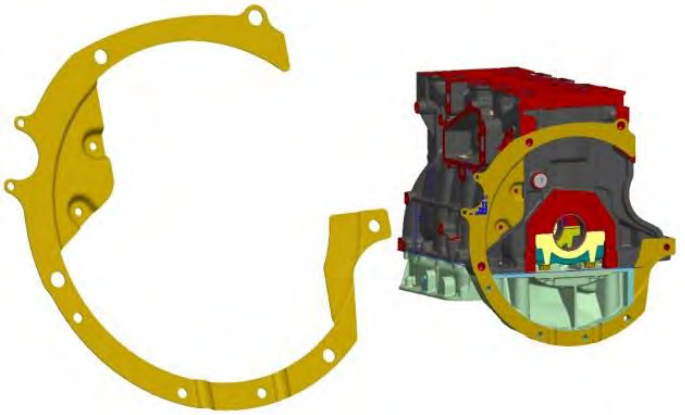
عملکرد اصلی قاب نردبانی افزایش استحکام و بهبود رفتار ارتعاشی مجموعهٔ بدنهٔ موتور است که این هدف از طریق اتصال عرضی دو دیوارهٔ دامن بدنه تأمین می‌شود. عملکرد دیگر آن جدا کردن محفظهٔ لنگ از روغن است. قاب نردبانی از جنس آلومینیوم و به‌صورت ریخته‌گری تحت فشار مشابه با موتور ملی است. با وجود تغییراتی که در سنجهٔ روغن[1] و مسیر برگشت روغن جدا شده از بخار ایجاد شده است، طراحی به گونه‌ای است که تغییری در این قطعه انجام نشود. در شکل ۴-۴۳، قاب نردبانی نشان داده شده است. این قطعه با چهارده پیچ M۶ و شش پیچ M۸ به بدنهٔ موتور متصل می‌شود.

صفحهٔ گردگیر از جنس ورق فولادی به ضخامت ۱٫۵ میلی‌متر است که برای جلوگیری از ورود گرد و غبار به محفظهٔ چنگک استفاده می‌شود. با توجه به تجربهٔ موتور ملی، طراحی این قطعه به گونه‌ای بهینه شده است که فاصلهٔ کافی بین این قطعه و چرخ لنگر وجود داشته باشد تا از برخورد آن‌ها و ایجاد صدای مزاحم جلوگیری شود. در شکل ۴-۴۴، صفحهٔ گردگیر نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۳- قاب نردبانی

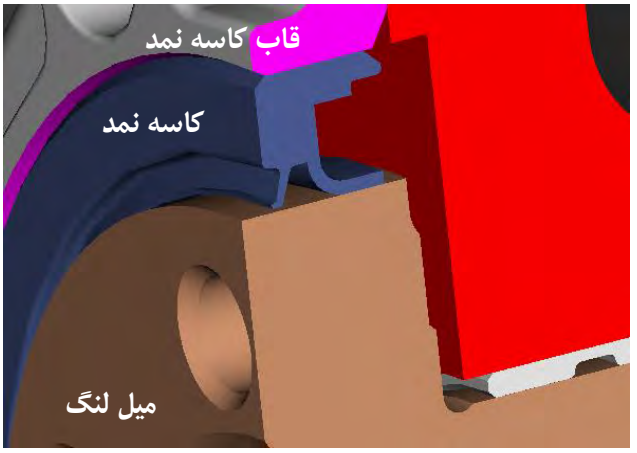
[1] Oil dipstick



شکل ۴-۴۴- صفحهٔ گردگیر

قاب کاسه نمد عقب

این قطعهٔ آلومینیومی وظیفهٔ نگهداشـــتن کاســـه نمد انتهای میل‌لنگ را دارد و انتهای محفظهٔ لنگ را نیز مسدود می‌کند. این قطعه کاملاً مشابه موتور ملی است و تغییری در طراحی آن ایجاد نشده است. در شکل ۴-۴۵، کاسه نمد میل‌لنگ و در شکل ۴-۴۶، قاب کاسه نمد میل‌لنگ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۵- کاسه نمد میل‌لنگ

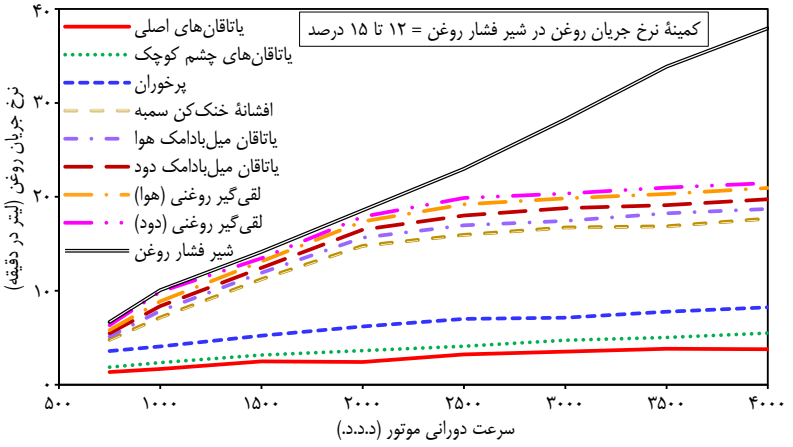
شکل ۴-۴۶- قاب کاسه نمد میل‌لنگ

مجموعهٔ روانکاری

این مجموعه شامل تلمبهٔ روغن، صافی روغن، محفظهٔ نگهداری روغن و لولهٔ مکش روغن در گروه قطعات پایینی اســـت. قطعات این مجموعه در گروه‌های قطعات بالایی و جانبی قرار دارد. وظیفهٔ این مجموعه روانکاری قســـمت‌های مختلف و همچنین کاهش دمای قطعات اســـت. در طراحی این مجموعه گام اول تحلیل‌های یک بُعدی است که مقدار مصرف روغن، مسیرها و ظرفیت آن را مشخص می‌کند. دمای عملکرد این مجموعه از ۴۰- تا ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد در نظر گرفته شده ا ست. در ادامه تو ضیح اجمالی برای هر یک از قطعات این مجموعه ارائه شده است. در شکل ۴-۴۷، مجموعهٔ روانکاری نشان داده شده است.

مقدار جریان روغن را در مصرف‌کننده‌های موتور در دورهای مختلف طبق شکل ۴-۴۸، گروه محاسبات مهندسی اعلام کرد. بررسی‌ها نشان دادند تلمبهٔ روغن و افشانهٔ خنک‌کن روغنی، تغییراتی جزئی نسبت به موتور ملی نیاز دارند. لذا قطعات دوباره طراحی و آزمون شدند.

شکل ۴-۴۷- مجموعهٔ روانکاری

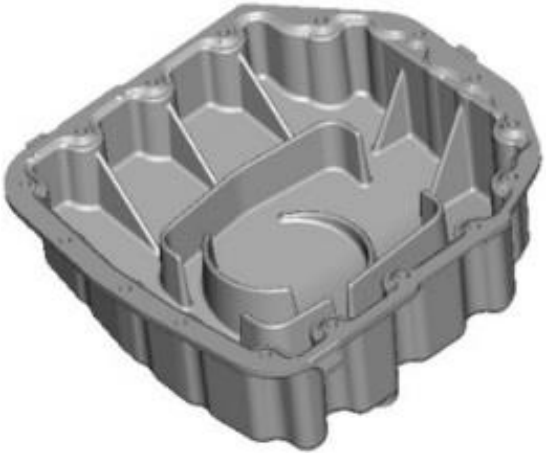


شکل ۴-۴۸- مصرف روغن در قطعات مختلف

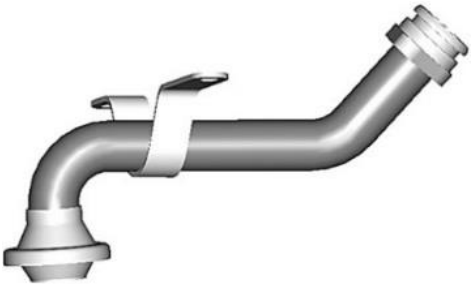
محفظهٔ روغن

وظیفهٔ این قطعه نگهداری و ذخیره و خنک کردن روغن اســـت. در طراحی این قطعه، فاصـــلهٔ پیچ‌ها از یکدیگر با توجه به شرایط لایی و مادّهٔ آن که به‌صورت چسب مایع است، تعیین می‌شود. حجم روغن موتور نیز بر ا ساس آزمون‌های موتور در شیب‌های متفاوت به چهار طرف و م صرف‌کننده‌های روغن م شخص می شود. این قطعه که مشابه موتور ملی است از آلومینیوم و با روش ریخته‌گری تحت فشار تولید می‌شود. شکل ۴-۴۹، محفظهٔ روغن را نشان می‌دهد.

وظیفهٔ لولهٔ مکش روغن، انتقال روغن از داخل محفظه به تلمبهٔ روغن اسـت. تمامی قسـمت‌های آن دارای پوشش روی اند تا در محیط روغن دچار خوردگی نشوند. این قطعه نیز مشابه موتور ملی است. شکل ۴-۵۰، لولهٔ مکش روغن را نشان می‌دهد.



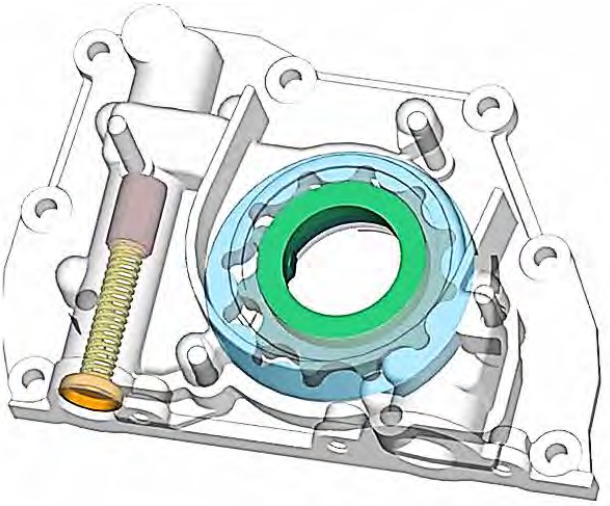
شکل ۴-۴۹- محفظهٔ روغن



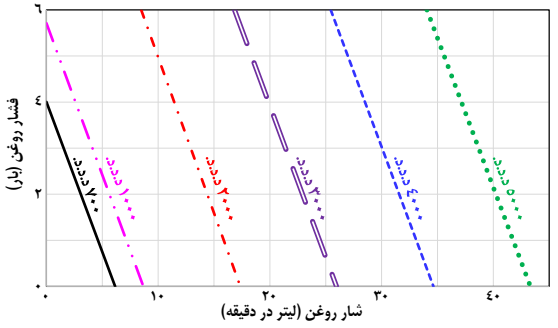
شکل ۴-۵۰- لولهٔ مکش روغن

تلمبهٔ روغن

وظیفهٔ این قطعه، تأمین روغن مورد نیاز موتور برای روانکاری و خنک‌کاری است. شار تلمبهٔ روغن در موتور دیزل حدود ۲۰ درصد بیشتر از موتور EF۷ است. دلیل این افزایش شار، افزایش مصرف‌کننده‌ها مانند تلمبهٔ خلأ است. در شکل ۴-۵۱، تلمبهٔ روغن نشان داده شده است. با استفاده از فرضیات طراحی مفهومی و تحلیل یک بعدی جریان برای به دست آوردن مصرف روغن موتور، الگوی سه‌بعدی اولیه تهیه و برای تحلیل آماده شد که با توجه به بررسی‌ها، تلمبهٔ روغن مناسب و قابل استفاده برای موتور دیزل سواری ملی با افزایش ضخامت چرخ‌دنده‌ها به مقدار ۲ میلی‌متر نسبت به موتور EF۷ انتخاب شد. برای شباهت در همبندی، پوستهٔ بیرونی تلمبه مشابه EF۷ است. شکل ۴-۵۲، شار روغن را در دورهای مختلف، از تلمبهٔ روغن نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵۱- تلمبهٔ روغن

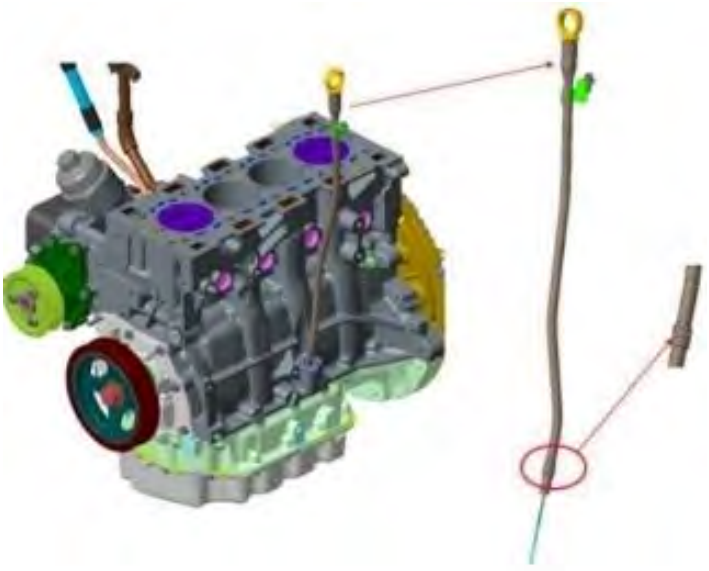


شکل ۴-۵۲- شار روغن در دورهای مختلف از تلمبهٔ روغن

مجموعهٔ سنجهٔ روغن و افشانه‌های خنک‌کنندهٔ سنبه

مجموعهٔ سنجهٔ روغن در سمت چندراههٔ ورودی قرار دارد و از طریق یکی از مسیرهای برگشتی به محفظهٔ روغن راه می‌یابد. مسیر سنجهٔ روغن برخلاف موتور ملی، خارج از محفظهٔ موتور است و در یک غلاف فولادی قرار می‌گیرد. این طراحی دارای دقت و عملکرد بهتری در خصوص خوانش سطح و آب‌بندی است. در شکل ۴-۵۳، این مسیر مشخص شده است. سنجه کاملاً فلزی است و یک پله برای جلوگیری از پاک شدن روغن هنگام بیرون آوردن آن، دارد. همچنین غلاف نیز با آب‌بند حلقه‌ای به بدنه متصل می‌شود و چسب از این ناحیه حذف شده است.

با توجه به وجود مسیر حرکت روغن در سنبهٔ موتور دیزل، در افشانهٔ خنک‌کننده، تغییری در مسیر پاشش داده شده است تا در تمام مسیر حرکت سنبه، روغن به داخل مجرای خنک‌کننده در سنبه وارد شود. همچنین از آب بند حلقه‌ای برای جلوگیری از نشتی این قطعه استفاده می‌شود. شکل ۴-۵۴، افشانهٔ خنک‌کنندهٔ سنبه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵۳- سنجهٔ روغن

شکل ۴-۵۴- افشانهٔ خنک‌کنندهٔ سنبه

پودمان صافی و خنک‌کن روغن

این پودمان با مجاورت آب و روغن موجب خنک شدن روغن می شود و در قسمت دیگر صافی روغن قرار دارد که روغن پاک را به موتور می‌فرستد. در شکل ۴-۵۵، قسمت‌های مختلف این مجموعه نمایش داده شده است. پودمان صافی و خنک‌کن روغن مشابه موتور ملی است اما چهار تغییر مهم دارد:

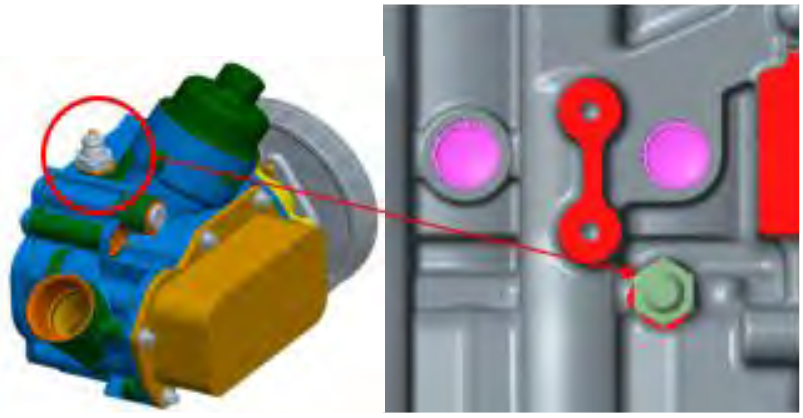
۱- انتقال حسگر فشار روغن به بدنهٔ موتور و استفاده از مسیر آن برای رساندن روغن پاک به پرخوران. در شکل ۴-۵۶، موقعیت جدید و قبلی حسگر فشار روغن مشخص شده است.

۲- افزایش لایه‌های خنک‌کن روغن از ۱۰ به ۱۴ لایه، زیرا در موتور دیزل روغن داغتر از موتور ملی EF۷ است.

۳- کاهش قطر چرخ تسمه آب از ۱۴۰ میلی‌متر به ۹۰ میلی‌متر. تولید حرارت در دورهای کُند در موتورهای دیزل زیاد است لذا به شار آب خنک‌کاری شدیدتری نیاز است.

۴- تعداد پره‌های تلمبهٔ آب از ۶ به ۸ پره افزایش یافت. تا شار تلمبهٔ آب موتور دیزل حدود ۱۵ درصد بیشتر از موتور EF۷ باشد. زیرا در موتور دیزل بازخورانی گازهای خروجی، دمای آب را افزایش می‌دهد.

شکل ۴-۵۵- پودمان صافی و خنک‌کن روغن



شکل ۴-۵۶- موقعیت حسگر فشار روغن

حسگر فشار روغن

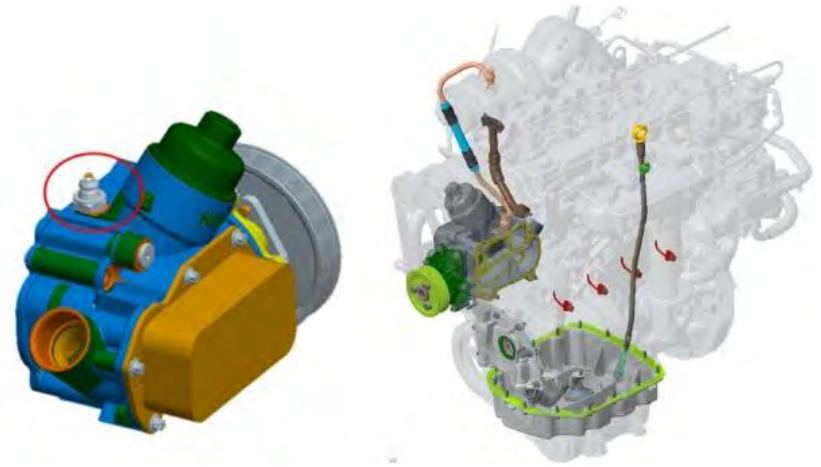
حسگر فشار روغن موتور دیزل مشابه موتور EF۷ از موتور TU۵ انتخاب شد که دلیل آن محدودهٔ عملکرد آن بود. همچنین موقعیت آن از پودمان روغن نسبت به بدنهٔ موتور تغییر کرد و بر روی راهگاه اصلی روغن، انتقال یافت. در این قسمت دسترسی بهتری در زمان همبندی و تعمیرات وجود دارد.

کاسه نمدهای جلو و عقب

کاسه نمدهای جلو و عقب میل‌لنگ مشابه موتور ملی اند. با وجود تغییرات کلی میل‌لنگ، محل نشست کاسه نمدها ثابت نگه داشته شده است تا بتوان از قطعات یکسان استفاده کرد.

لوله‌های روغن پرخوران

برای محافظت بیشتر از یاتاقان‌های حساس پرخوران لازم است روغن پاک به آن‌ها برسد. به همین دلیل مسیر روغن‌رسانی به پُرخوران از محل قبلی حسگر روغن است تا روغن پاک را بعد از صافی به یاتاقان‌های پرخوران برساند. برگشت روغن پرخوران به یکی از مسیرهای برگشت روغن بدنه متصل است. شکل ۴-۵۷، مسیر روغن پُرخوران را نشان می‌دهد.

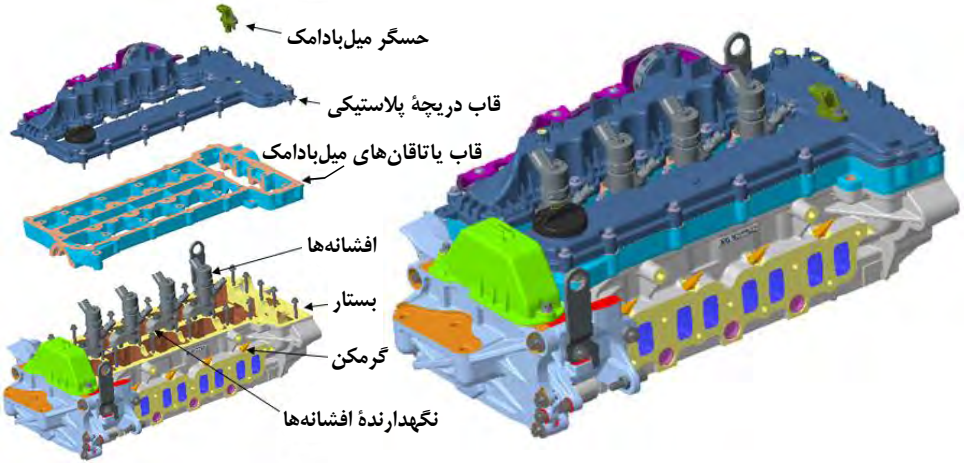


شکل ۴-۵۷- مسیر روغن پُرخوران

۴-۳- طراحی قطعات بالایی موتور

مجموعهٔ بستار شامل قطعاتی از قبیل بستار، قاب یاتاقان‌های میل‌بادامک و درپوش موتور است. در این موتور از قاب یاتاقان‌های میل‌بادامکِ یک تکه و قاب دریچهٔ پلاستیکی استفاده شده است. مجموعهٔ بستار، شامل دو

میل‌بادامک هوا و دود و چهار دریچه برای هر استوانه است. دراین سامانه، افشانه‌ها در مرکز بستار با سامانهٔ مسیر مشترک سوخت قرار گرفته‌اند و شمع گرمکن نیز در بین درگاه‌های ورودی قرار می‌گیرد. *شکل ۴-۵۸، مجموعهٔ بستار را نشان می‌دهد.*

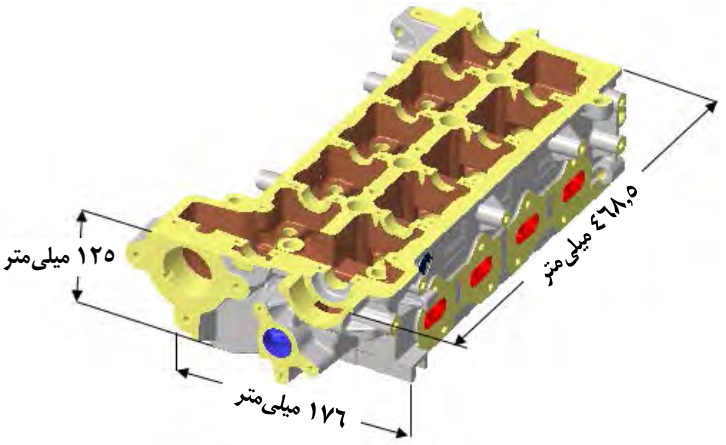


شکل ۴-۵۸- مجموعهٔ بستار

بستار

در طراحی بستار باید تمامی ابعاد هندسی قطعاتی که در اتصال مستقیم با بستار اند، بررسی شوند. *شکل ۴-۵۹، نمای کلی و ابعاد اصلی بستار موتور دیزل* را نشان می‌دهد. فهرست این اندازه‌ها بدین شرح است:

۱) قطر دریچه
۲) جابه‌جایی دریچه
۳) زاویهٔ دریچه نسبت به محور استوانه
۴) به‌کاراندازی دریچه (استکانی روغنی و انگشتی)
۵)) طرح پیچ‌های بستار
۶) ارتفاع بستار
۷) موقعیت افشانه‌ها
۸) طرح محفظهٔ احتراق
۹) سامانهٔ روغن‌کاری
۱۰) سامانهٔ خنک‌کاری
۱۱) طرح به‌کاراندازی میل‌بادامک (زنجیر یا تسمه)
۱۲) فرآیند تراشکاری
۱۳) راهبرد همبندی بستار



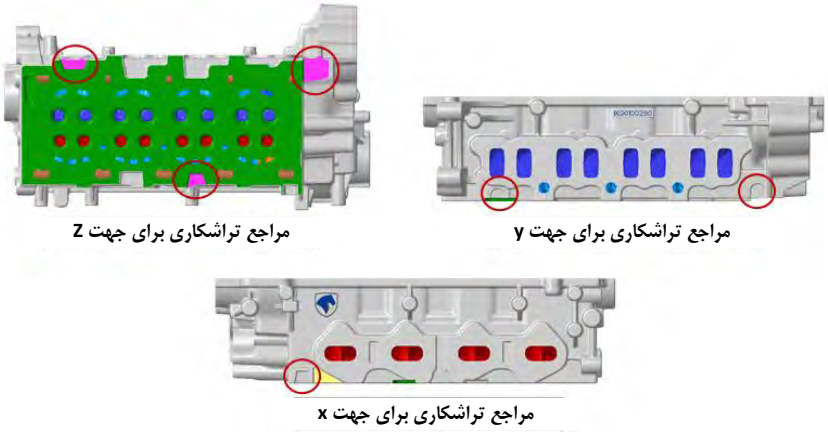
شکل ۴-۵۹- نمای کلی و ابعاد اصلی بستار موتور دیزل

برخی از ورودی‌های طراحی بستار موتور ملی دیزل بدین شرح اند:

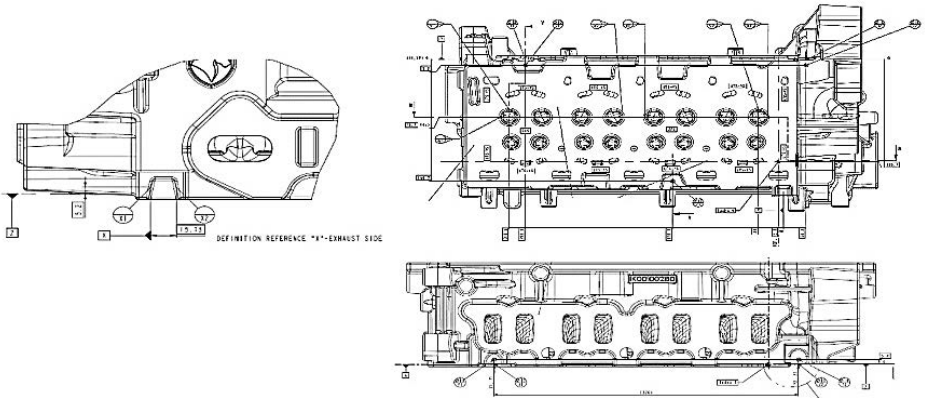
- ایجاد نقاط مبنای ریخته‌گری در قطعه بر اساس بازخورد سازنده
- توسعهٔ محصول با مشخص شدن تأمین‌کننده‌های لایی بستار، استکانی روغنی و انگشتی
- قرارگیری چرخ زمان‌بندی در سمت میل بادامک ورودی
- طراحی الگوی پیچ‌های اتصالات پایه نگهدارندهٔ تلمبهٔ روغن فرمان
- طراحی قطعهٔ ریخته‌گری و ماهیچه‌ها با توجه به بازخوردهای سازنده
- طراحی الگوی پیچ‌ها در قاب نگهدارندهٔ میل‌بادامک با در نظر گرفتن محدودیت‌های لایی

مبناهای تراشکاری بستار

در شکل ۴-۶۰ می‌توان مبناهای تراشکاری بستار را که با توجه به بازخورد سازندهٔ تولید انبوه ایجاد شده‌اند مشاهده کرد. همچنین شکل ۴-۶۱ نمایی را از مبناهای ریخته‌گری و تراشکاری در نقشه نشان می‌دهد.



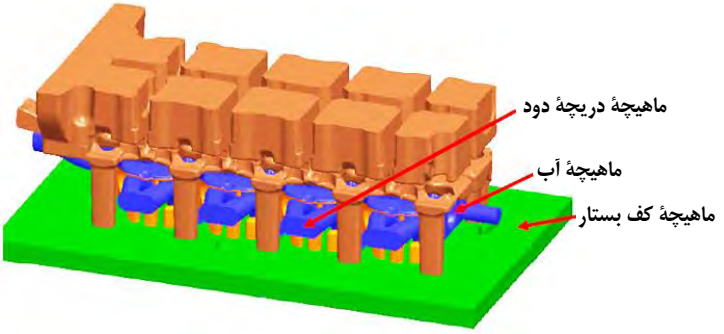
شکل ۴-۶۰- مبناهای ریخته‌گری بر اساس بازخورد سازندهٔ تولید انبوه



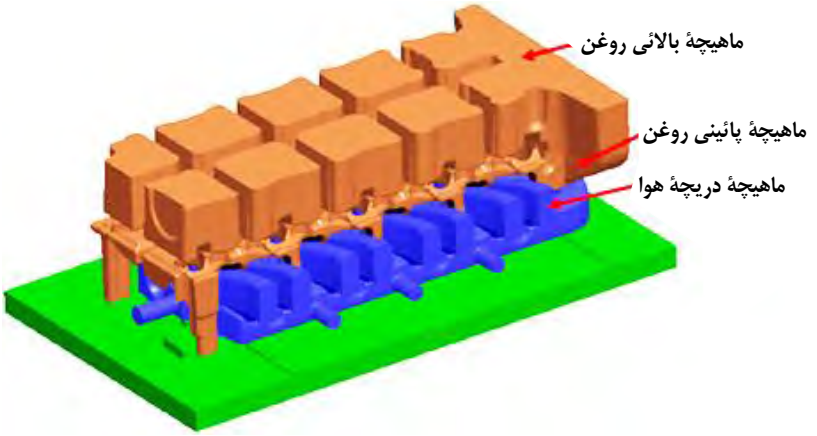
شکل ۴-۶۱- نمایی از مبناهای ریخته‌گری و تراشکاری در نقشه

ماهیچه‌های بستار

در شکل‌های ۴-۶۲ و ۴-۶۳، می‌توان ماهیچه‌های به کار رفته در طراحی بستار موتور دیزل را مشاهده کرد:



شکل ۴-۶۲- ماهیچه‌های سمت خروجی بستار



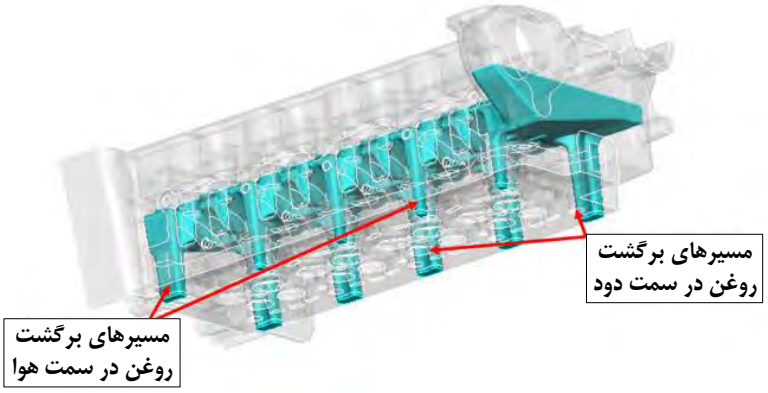
شکل ۴-۶۳- ماهیچه‌های سمت ورودی موتور

ماهیچه‌های روغن

ماهیچهٔ روغن برای تخلیهٔ روغن از بستار در نظر گرفته شده است و در طراحی آن باید فضای کافی برای جریان آزاد روغن به سمت پایین پیش‌بینی شود. در این موتور از دو سوی بستار، مجموعاً ۱۰ راهگاه جریان آزاد روغن در نظر گرفته شده است و این اطمینان را به وجود می‌آورد که همهٔ روغن انتقال‌یافته به بستار، پس از روغن‌کاری یاتاقان‌ها براحتی به سمت پایین تخلیه می‌شود.

در طراحی ماهیچهٔ روغن باید توجه کرد که برحسب شیب جاده، موتور می‌تواند موقعیت زاویه‌ای مختلفی داشته باشد. بنابر این در هر موقعیت زاویه‌ای موتور، باید امکان جریان آزاد روغن در نظر گرفته شود و همهٔ مسیرهای تخلیهٔ روغن به سوی راهگاه‌ها از شیب مناسب برخوردار باشند. در شکل‌های ۴-۶۴ و ۴-۶۵، مسیرهای برگشت روغن از بستار مشاهده می‌شوند. این مسیرها در سمت خروجی به خاطر وجود بخارهای زیاد بیشتر اند.

شکل ۴-۶۴- ماهیچهٔ روغن (بالایی و پایینی)

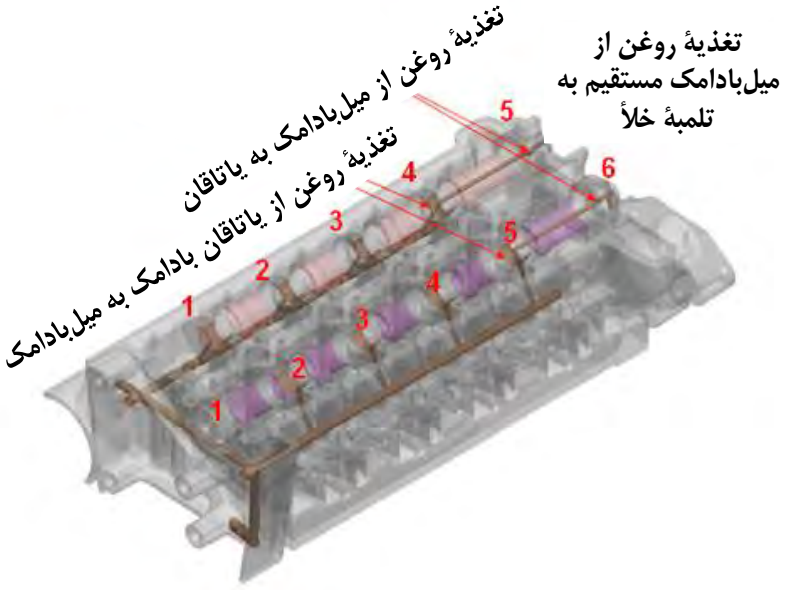


شکل ۴-۶۵- مسیرهای برگشت روغن از بستار

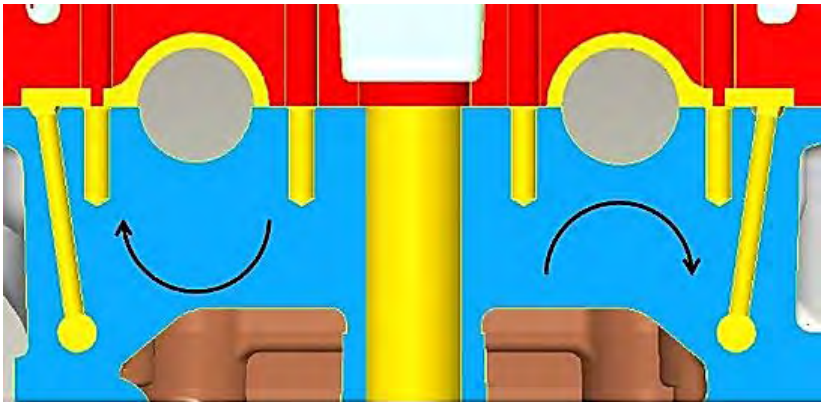
سامانهٔ روغن‌کاری در بستار

برخی از ویژگی‌های سامانهٔ روغن‌کاری در بستار بدین شرح اند:

- سامانهٔ روغن‌کاری در بستار مطابق شکل ۴-۶۶ است و تلمبهٔ خلاء و یاتاقان‌های انتهای میل‌بادامک هوا و دود از مسیر داخل میل‌بادامک روغن کاری می‌شوند. با این طرح حجم تراشکاری در بستار کاهش می‌یابد. شکل ۴-۶۷، تراشکاری مسیر روغن‌رسانی به یاتاقان‌های میل‌بادامک‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶۶- سامانهٔ روغن‌رسانی به یاتاقان‌های میل‌بادامک



شکل ۴-۶۷- تراشکاری مسیر روغن‌رسانی به یاتاقان‌های میل‌بادامک‌ها

سامانهٔ خنک‌کاری بستار

طراحی ماهیچهٔ آب برای بستار یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی محسوب می‌شود. برای طراحی آن، موارد متعددی باید به‌طور همزمان رعایت شود تا نتیجه‌ای جامع و با کمترین عیب و نقص از نظر تولید و عملکرد به‌دست آید. این ماهیچه در واقع فضای خالی را برای جریان آب در بستار فراهم می‌کند.

در شکل ۴-۶۸، مسیرهای عبور جریان آب را در بستار می‌توان مشاهده کرد. در موتور دیزل مایع خنک‌کننده از بدنهٔ استوانه و از سمت خروجی به بستار وارد و با عبور عرضی از سمت ورودی جمع و از بستار خارج می‌شود.

برخی فعالیت‌های انجام شده بر روی ماهیچه آب برای بهبود سامانهٔ خنک‌کاری که در شکل ۴-۶۹، با شماره مشخص شده‌اند، بدین شرح است:

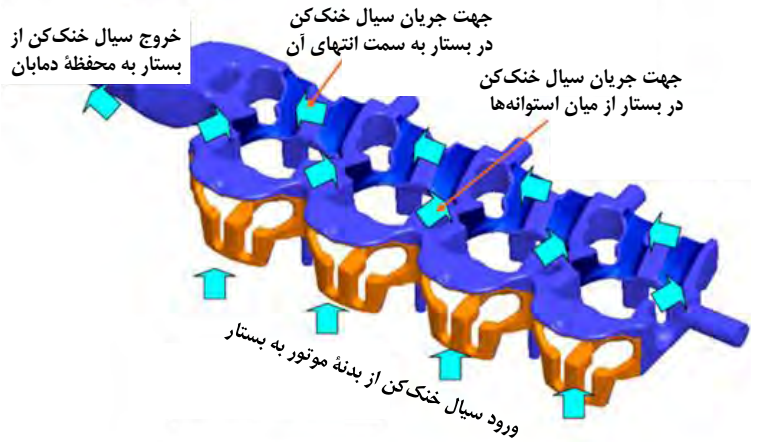
۱- اصلاح منطقهٔ میان پیچ بستار و درگاه ورودی بر اساس درخواست تولیدکننده

۲- افزایش نگهدارنده‌های ماهیچه برای محافظت در حین ریخته‌گری

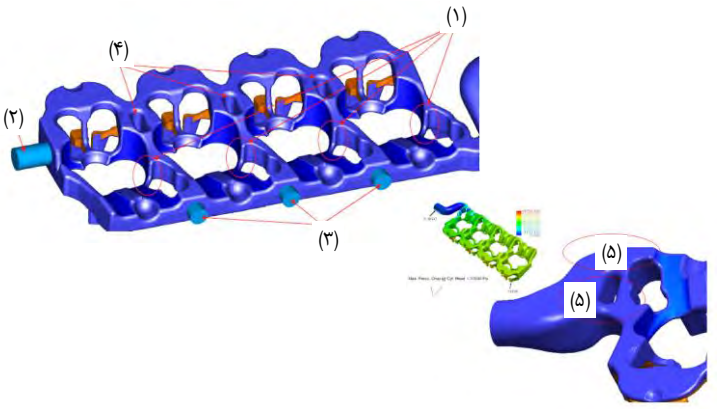
۳- افزایش خروجی‌های گازهای تولیدی در حین فرآیند ریخته‌گری

۴- اصلاح مناطق برای افزایش استحکام ماهیچه و افزایش استحکام ساختاری بستار

۵- اصلاح طرح براساس بازخورد محاسبات مهندسی



شکل ۴-۶۸- ماهیچهٔ آب بستار و برای جریان آب در آن

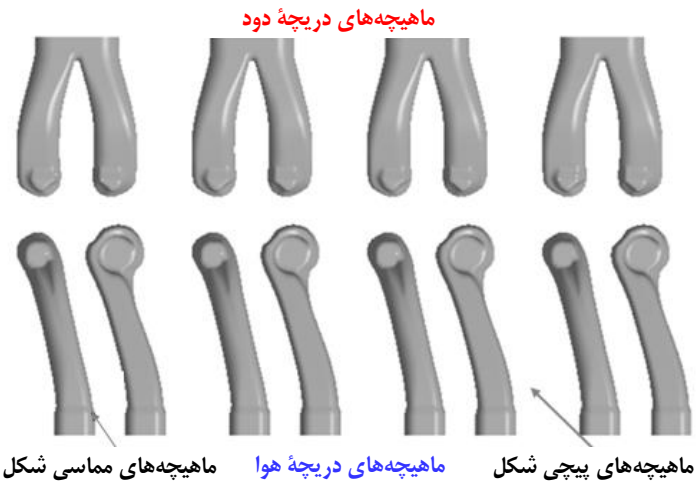


شکل ۴-۶۹- اصلاح طرح بر اساس افزایش بازده سامانهٔ خنک‌کاری

ماهیچهٔ درگاه‌های ورودی و خروجی

ماهیچهٔ دریچه‌های دود بر اساس طرح نوع راهگاه مشترک[1] طراحی شده‌اند. طرح راهگاه مشترک بدین صورت است که دو راهگاه دود یک استوانه، قبل از اتصال به چندراههٔ دود، به هم وصل می‌شوند و سپس وارد چندراهه می‌شوند. ماهیچهٔ دریچه‌های ورودی برای تأمین چرخش مناسب در دورهای مختلف از دو نوع ماهیچهٔ مختلف و جداگانه استفاده *شده* است تا بتوان در دورهای مختلف موتور و بر اساس نیاز به چرخش هوای ورودی و یا ورود مستقیم آن نیازهای بازده تنفسی موتور را تأمین کرد. همچنین وجود دو نوع ماهیچه ورودی باعث جریان چنبره‌ای در محفظهٔ احتراق می‌شود.

یکی از فعالیت‌هایی که برای بهبود بازده تنفسی موتور انجام می‌گیرد، توسعهٔ مسیر خروجی محصولات احتراق است که اگر طراحی دریچهٔ خروجی بخوبی انجام شود، در دورهای تند که مراحل چهارگانه سریع‌تر انجام می‌شوند، دود (مخلوط سوخته شده) بهتر از محفظهٔ احتراق خارج می‌شود و این عمل به بهبود بازدهٔ تنفسی می‌انجامد. شکل ۴–۷۰، *چیدمان* ماهیچه‌های درگاه را در بستار نشان می‌دهد.



شکل ۴–۷۰– چیدمان ماهیچه‌های درگاه در بستار

[1] *Siamese*

ویژگی‌های تولیدی قطعه

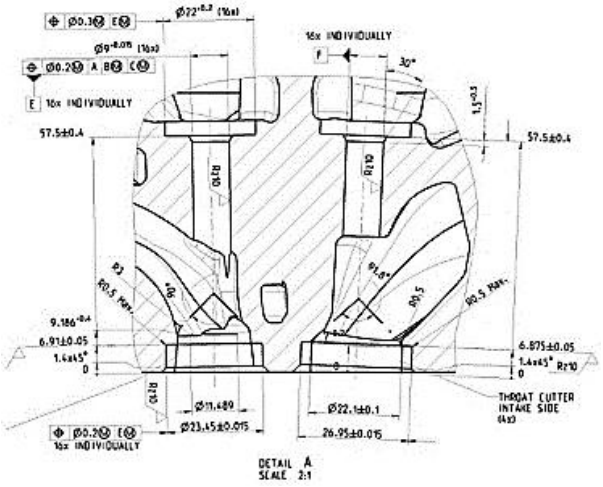
طراحی قطعه بستار در موتور دیزل بر اساس تولید به روش ریخته‌گری ثقلی در قالب فلزی است. البته در مراحل اولیه طرح با توجه به نمونه‌سازی سریع قطعه و اینکه قطعات در مدت زمان کمتری باید آمادهٔ آزمون گردند، قالب به روش سریع ساخته و از موادی با دوام ضعیف‌تر استفاده می‌شود. مادهٔ این قطعه، AlSi ۷MgCu۰,۵T۷ بر اساس استاندارد بین المللی DIN است. همچنین به منظور دست‌یابی به خواص مکانیکی بهتر و آرمانی، عملیات حرارتی T۷ برای این محصول پیش‌بینی شده است. با توجه به این شرایط، طبق جدول ۴-۱۰، ویژگی‌هایی بدین شرح از قطعه مورد انتظار است:

جدول ۴-۱۰- خواص مکانیکی بستار

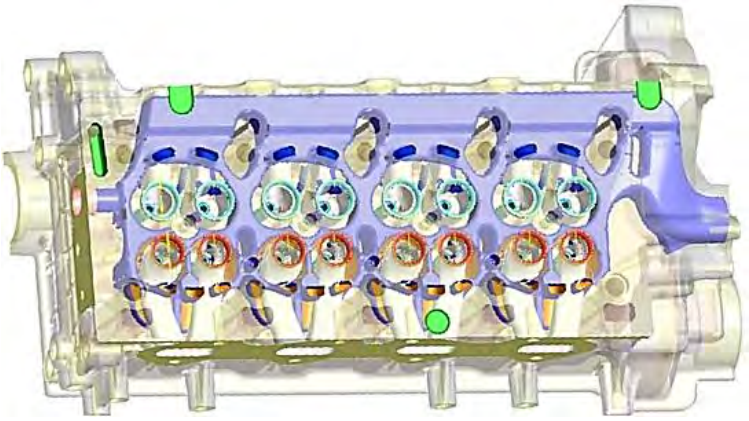
بیشترین استحکام کششی (در سمت محفظهٔ احتراق[1]):	۲۵۰ ± ۵۰ مگاپاسکال
استحکام تسلیم (در سمت محفظهٔ احتراق):	۲۱۰ ± ۱۰ مگاپاسکال
کمینه افزایش طول (در سمت محفظهٔ احتراق):	۳٪ در دمای اتاق[2]
کمینه افزایش طول (در سمت کپهٔ یاتاقان میل‌بادامک[3]):	۱٪

پس از نهایی شدن طراحی قطعه برای ریخته‌گری، نقشه‌های تراشکاری بستار بر اساس فرآیند تراشکاری مورد نظر تهیه می‌شود و در ضمن بحث و تبادل نظر با سازنده از لحاظ توانایی تولید، نهایی می‌شود. تراشکاری محل نشیمنگاه دریچه و راهگاه آن، تراشکاری محفظهٔ احتراق و محل قرارگیری میل‌بادامک جزء مناطق حساس در نقشهٔ بستار اند. در شکل‌های ۴-۷۱ و ۴-۷۲ برخی از این مناطق نشان داده شده‌اند.

[1] In flame deck
[2] Room Temperature (RT)
[3] In upper deck



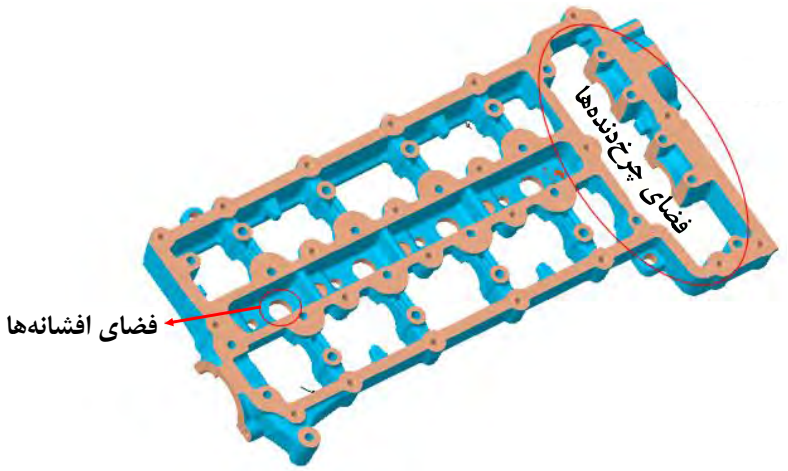
شکل ۴-۷۱- نمایی از منطقه نشیمنگاه و راهنمای دریچه



شکل ۴-۷۲- نمایی از بستار موتور

قاب یاتاقان‌های بادامک

این قطعه به عنوان قابی برای نگهداری میل‌بادامک‌های تنفس و تخلیه طراحی شده است. هر میل‌بادامک برای محکم شدن بر روی بستار نیاز به ۵ عدد یاتاقان دارد و ساخت هر یک از آن‌ها به اندازهٔ ساخت یک قطعهٔ کامل زمانبر است. در صورتی که با طراحی یکپارچه، زمان لازم برای ریخته‌گری و تراشکاری کاهش می‌یابد. ضمن آن که برای تقویت استحکام بستار و کاستن از ارتعاش آن، مفید است. فضای موجود در وسط قطعه برای دسترسی به افشانه‌ها در نظر گرفته شده است. فضای باز انتهای قاب کپهٔ یاتاقان برای قرارگیری چرخ دندهٔ انتهای میل‌بادامک‌ها و چرخ دندهٔ تلمبهٔ سوخت است. شکل ۴-۷۳، قاب کپهٔ یاتاقان‌ها را نشان می‌دهد.

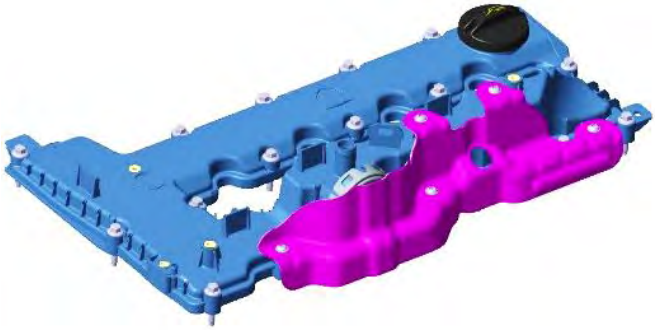


شکل ۴-۷۳- قاب کپهٔ یاتاقان‌ها

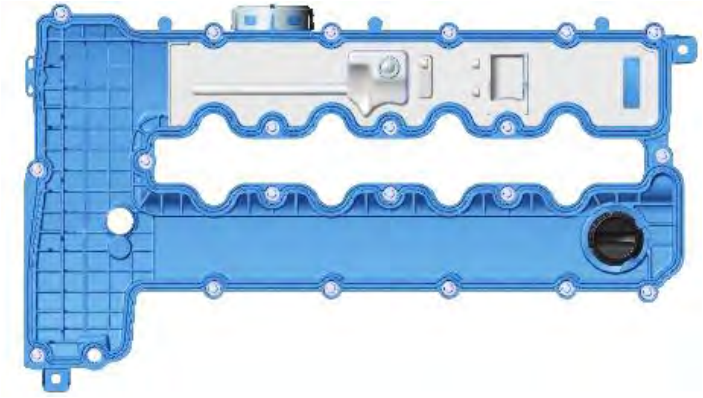
درپوش دریچه‌های پلاستیکی

در این قطعه، بخش ورودی بخار روغن، مجموعهٔ جداکننده روغن، شیر تنظیم فشار محفظهٔ لنگ و حسگر میل‌بادامک طراحی شده است. همچنین در بخش میانی این قطعه برای دسترسی به افشانه‌ها بدون باز کردن درپوش، تغییراتی ایجاد شد. در طراحی این قطعه، از نمای زیرین، چند بازوی ضربدری برای کاهش ارتعاش و صدا منظور شده است.

این قطعه باید طوری طراحی شود تا بتوان به وسیلهٔ آن لرزش و سر و صدای ناشی از موتور را نیز مهار کند و در دمای حدود ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد بدون مشکل کار کند. در شکل‌های ۴-۷۴ و ۴-۷۵ می‌توان نماهایی را از بالا و پایین این قطعه مشاهده کرد.



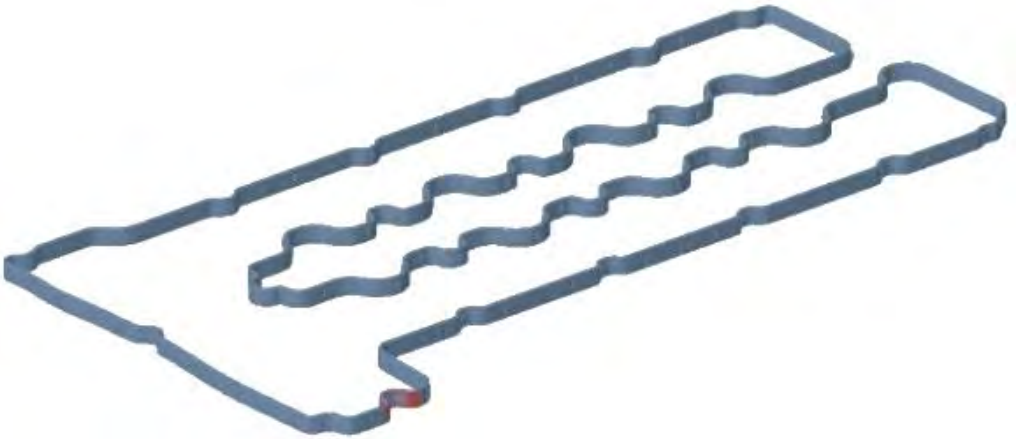
شکل ۴-۷۴- نمای بالایی درپوش بستار و دریچه‌ها



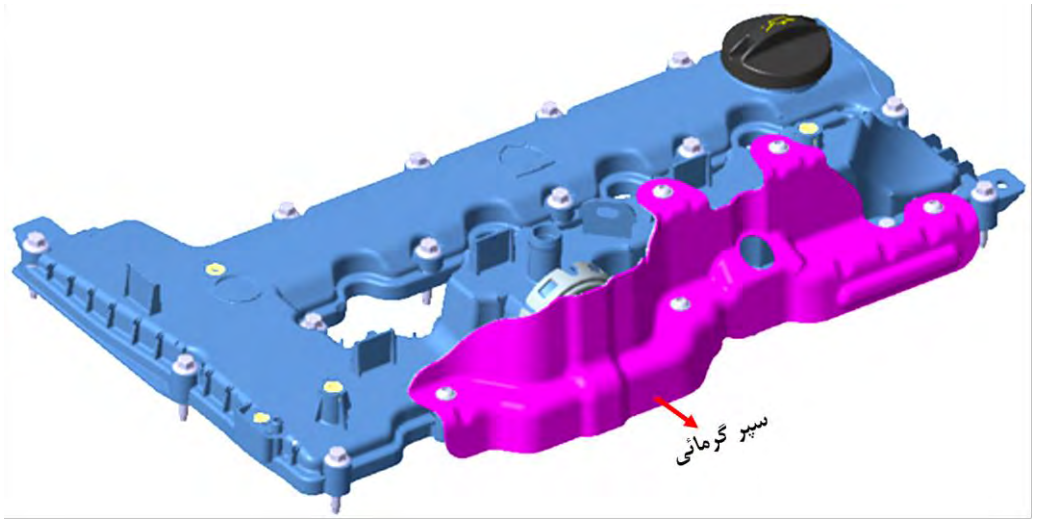
شکل ۴-۷۵- نمای زیرین درپوش بستار و دریچه‌ها

آب‌بند استفاده شده برای درپوش دریچه‌ها از نوع لاستیک اتیلن اکریلیک[1] است که در شکل ۴-۷۶ می‌توان نمایی را از آن مشاهده کرد. در شکل ۴-۷۷ می‌توان سپر گرمایی را، برای جلوگیری از تابش پرخوران روی درپوش دریچه‌ها، مشاهده کرد.

[1] Ethylene acrylic elastomers (AEM rubbers)



شکل ۴-۷۶- آب‌بند لاستیکی درپوش دریچه‌ها



شکل ۴-۷۷- سپر گرمایی

مادهٔ مورد استفاده در این قطعه PA ۶,۶ با ۳۰ درصد الیاف است. تقریباً تمامی درپوش‌های پلاستیکی موتورها از این ماده استفاده می‌کنند. علاوه بر ابعاد و رواداشت هندسی قطعه که روی نقشه وجود دارند، جدول کامل قطعات زیر مجموعهٔ این قطعه در نقشه طبق جدول ۴-۱۱، بدین صورت است:

جدول ۴-۱۱- توضیحات نقشه‌ت درپوش دریچه‌ها

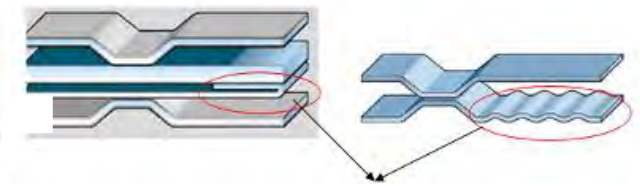
شماره	تعداد	قطعه	شرح
۱۰	۱	قطعهٔ تهویه‌کنندهٔ بخارات محفظهٔ لنگ[1]	PA66 GF35
۹,۲	۱	صفحهٔ نگهدارنده	PA66 GF30
۹,۱	۱	جداکننده[2]	AEM 60 shore
۸	۱	فنر	Steel 1.4310
۷	۱	قطعهٔ صافی روغن	PA66 GF35 / AEM 60 shore
۶	۵	پیچ	Steel EJOT-WN5461. Finish ZiNi 8µm
۵	۱	سپر گرمایی[3]	Aluminium 0.5 mm A199.5
۴	۱	لایی	AEM 60 shore
۳	۲۱	پیچ/غلاف	Steel DIN EN ISO 898-1 class 10.9 except tensile load min. 15200N Finish: DIN ISO 10683 non-electrolytically applied zinc and alu flanke coating with organic topcoat (black)
۲	۱	غلاف	
۱,۳,۳	۱	پشم[4]	PET
۱,۳,۲	۱	درب ضربه‌ای[5]	PA66 GF35
۱,۳,۱	۱	ضربه‌گیر	PA66 GF35
۱,۳	۱	قسمت ضربه‌گیر	
۱,۲	۱	قسمت دریچهٔ چتری	PA66 GF35 / FMVQ
۱,۱		سپرک[6]	
۱		قالپاق قسمت دریچه‌ها	PA66 GF35

[1] Positive Crankcase Ventilation (PCV)
[2] Diaphragm
[3] Heatshield
[4] Fleece
[5] Impact lid
[6] Baffle

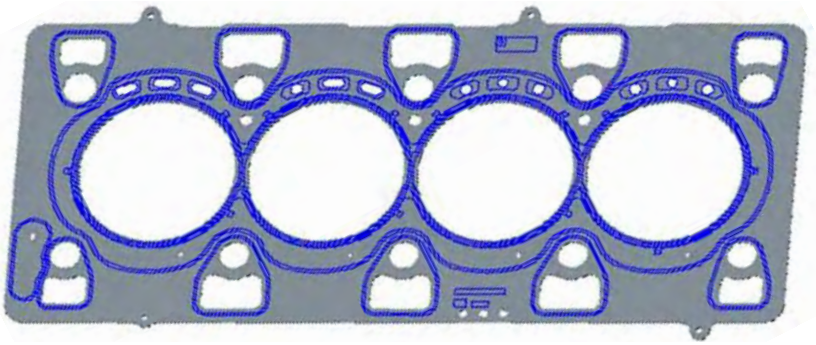
لایی بستار

لایی بستار از جنس فولاد چندلایه است. این لایی‌ها از چند لایهٔ فولادی تشکیل شده‌اند که معمولاً با ترکیبی الاستومری، پوشش داده می‌شوند. ترکیب لایی‌های فولادی چندلایه به طور کلی با ترکیب نوع الیافی تفاوت دارد. لایی‌های الیافی از یک لایهٔ فولادی برش‌خورده تشکیل شده‌اند که مواد الیافی در دو طرف این لایهٔ فولادی قرار می‌گیرند و دایره‌های فلزی که مقاومت در برابر حرارت و فشار را افزایش می‌دهند در اطراف محفظهٔ احتراق استوانه‌ها قرار می‌گیرند. در لایی‌های چندلایهٔ فولادی با توجه به این که جنس لایه‌ها از فولاد فنر است، در هنگام بستن پیچ‌ها، آب‌بند از منطقهٔ برآمدگی فشرده می‌شود و نیروی واکنشی از طرف آب‌بند به اطراف وارد می‌شود که این امر، خود باعث بهبود نشتی در اطراف مجاری آب، روغن و نیز در اطراف محفظهٔ احتراق می‌شود. شکل‌های ۴-۷۸ و ۴-۷۹، لایی بستار و *جزئیات موجگیر آن را نشان می‌دهند.*

نکتهٔ دیگر برای این نوع از لایی، استفاده از پوشش‌های لاستیک نیتریل بوتادین[1] در نواحی که نیاز به آب‌بندی است. استفاده از این پوشش سبب می‌شود که فرورفتگی‌های ریز و خرد را که روی سطح بستار و یا بدنه پس از فرآیند تراشکاری ایجاد می‌شود، پر شوند و بدین ترتیب آب‌بندی بهتری به‌دست آید.

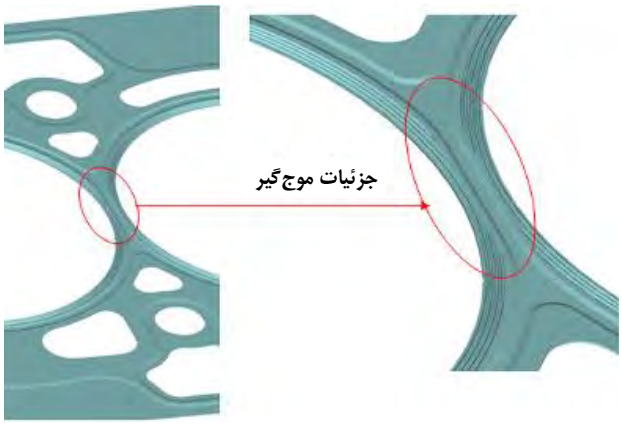


قسمت‌هائی که برای جلوگیری از اتصال کامل لایه‌ها به یکدیگر طراحی شده‌اند



شکل ۴-۷۸- لایی فلزی چند لایهٔ بستار

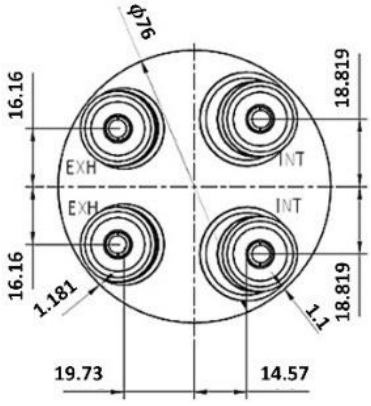
[1] Nitrile Butadiene Rubber (NBR)



شکل ۴-۷۹- جزئیات موجگیر لایی بستار

چیدمان دریچه‌ها

چیدمان دریچه‌ها در موتور دیزل به حداکثر قطر دریچه‌ها و حداقل ضخامت دیواره لازم بین دریچه‌ها (مادهٔ بین حلقهٔ نشیمنگاه دریچه‌ها) برای رسیدن به خصوصیات دوام در برابر خستگی مکانیکی گرمایی[1]، بستگی دارد. در شکل ۴-۸۰ می‌توان این چیدمان را مشاهده کرد. در این موتور از دو دریچهٔ ورودی و دو دریچهٔ خروجی استفاده شده است تا بازده تنفسی بهتری نسبت به موتورهای ۸ دریچه داشته باشد. ضمن اینکه در این طرح با کوچک شدن قطر دریچه عملاً لختی باز و بست آن‌ها کاهش می‌یابد.



شکل ۴-۸۰- چیدمان دریچه‌ها

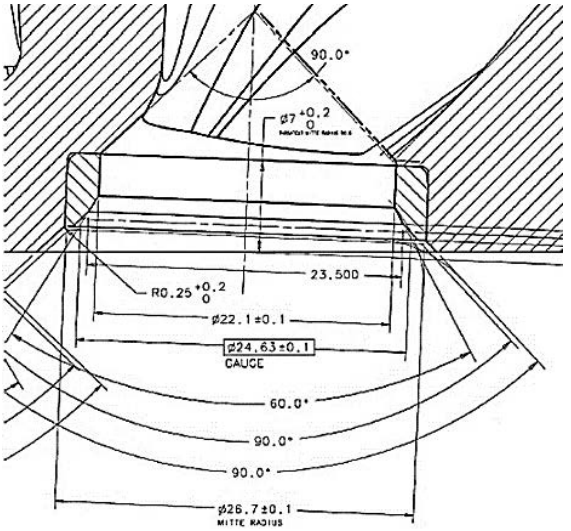
[1] Thermo-mechanical fatigue

نشیمنگاه دریچه‌های ورودی

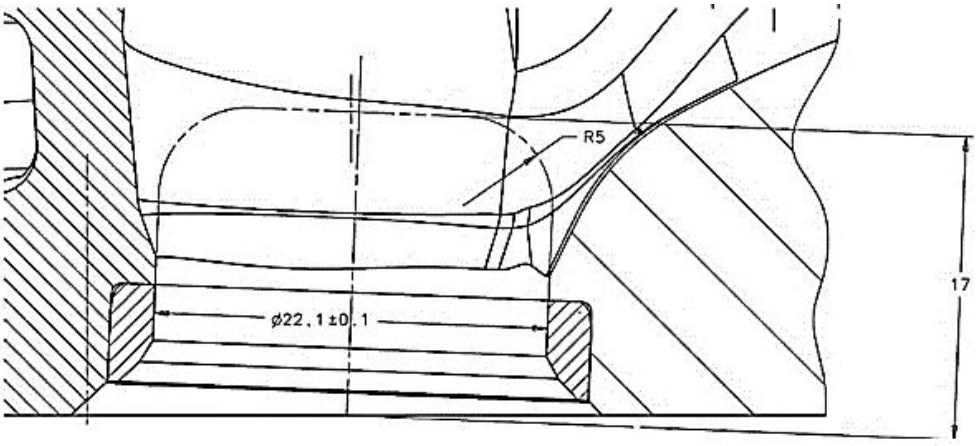
در جدول ۴-۱۲ و شکل‌های ۴-۸۱ و ۴-۸۲، ویژگی‌ها و اندازه‌های نشیمنگاه ورودی را می‌توان ملاحظه کرد.

جدول ۴-۱۲- ویژگی‌های نشیمنگاه ورودی

ویژگی	شرح	ویژگی	شرح
جنس	Bleistahl AR۱۸	نسبت بتا ($Dv^2/Dbore^2$)	۰,۱۹۱
راهنمای مواد	Bleistahl Brass guide MS۱۷۶	قطر ساق دریچه	۵ میلی‌متر
سازنده	Bleistahl (Germany)	زوایهٔ دریچه	۹۰ درجه
قطر سر دریچه	۲۶,۱۵ میلی‌متر	بیشترین برخاستگی دریچهٔ هوا	۸,۲ میلی‌متر
قطر داخلی نشیمنگاه (Dv)	۲۳,۵ میلی‌متر		



شکل ۴-۸۱- طرح نشیمنگاه هوا برای درگاه مماسی



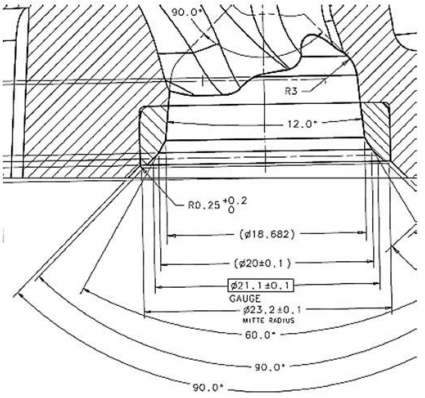
شکل ۴-۸۲- طرح نشیمنگاه هوا برای درگاه چرخشی

نشیمنگاه دریچه‌های خروجی

در جدول ۴-۱۳ و شکل ۴-۸۳، ویژگی‌ها و اندازه‌های نشیمنگاه دود را می‌توان دید.

جدول ۴-۱۳- ویژگی‌های نشیمنگاه خروجی

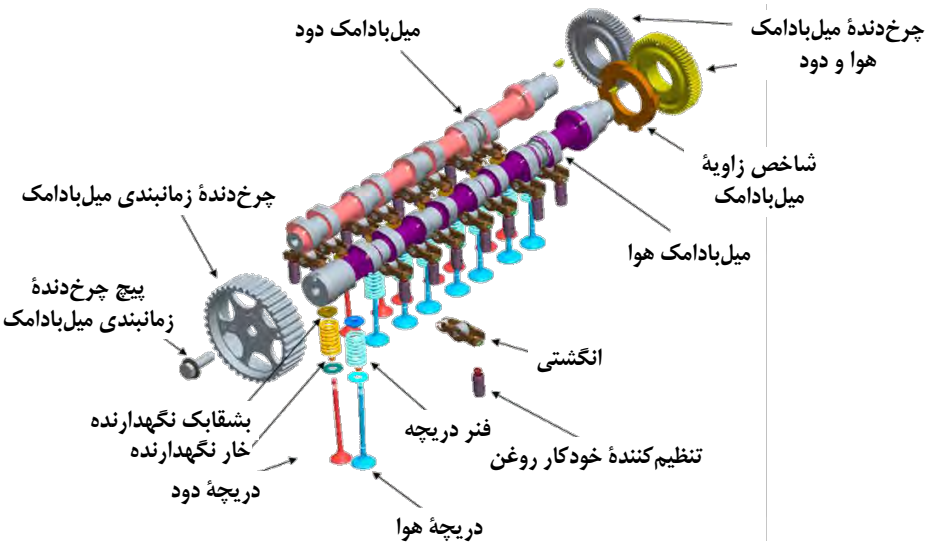
ویژگی	شرح	ویژگی	شرح
جنس	Bleistahl AR۲۰	نسبت بتا ($Dv^2/Dbore^2$)	۰,۱۳۸
راهنمای مواد	Bleistahl Brass ۱۷۶ guide MS	قطر ساق دریچه	۵ میلی‌متر
سازنده	Bleistahl (Germany)	زوایهٔ دریچه	۹۰ درجه
قطر سر دریچه	۲۲,۶ میلی‌متر	بیشترین برخاستگی دریچهٔ دود	۸,۳۳ میلی‌متر
قطر داخلی نشیمنگاه (Dv)	۲۰,۰۰ میلی‌متر		



شکل ۴-۸۳- طرح نشیمنگاه دود

سامانهٔ دریچه‌ها

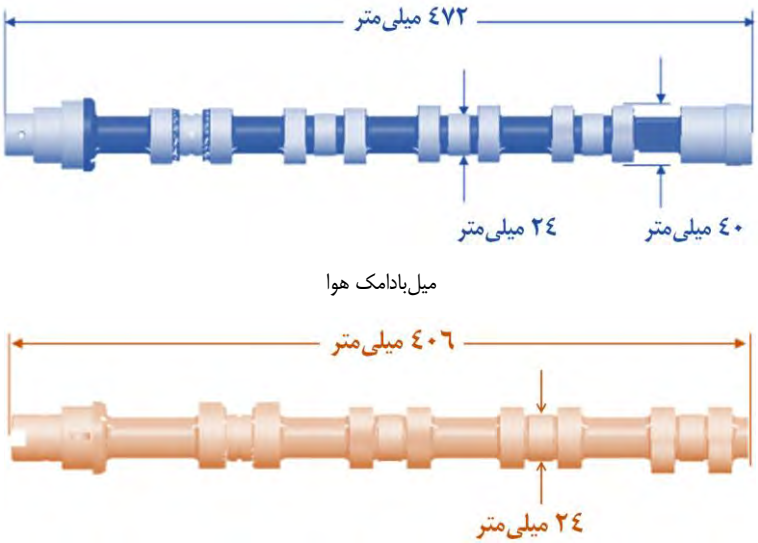
این مجموعه شامل قطعاتی است که برای باز و بسته کردن دریچه‌های دود و هوا به کار می‌روند و باعث ورود مخلوط برای احتراق و خروج دود از موتور می‌شوند که در این مجموعه برخی از قطعات که فناوری جدیدی دارند، برای کارکرد بهتر این مجموعه به کار رفته‌اند که در ادامه توضیحات بیشتری برای آن‌ها ارائه می‌شود. شکل ۴-۸۴، نمای کلی از سامانهٔ دریچه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۴-۸۴- نمای کلی از سامانهٔ دریچه‌ها

میل‌بادامک‌های هوا و دود

در طراحی میل‌بادامک موتور دیزل از روش ریخته‌گری سرمایشی[1] برای تولید استفاده می‌شود. برای میل‌بادامک‌های تبریدی، سردکاری[2] در فرآیند ریخته‌گری در حالی انجام می‌شود که قطعاتی آهنی در اطراف نوک‌های (دماغه‌های) بادامک قرار داده می‌شوند (ایجاد چدن سفید). در نتیجه سختی سطحی در قسمت نوک بادامک و در حدود ۵۵–۴۵ راکول سی به دست می‌آید. مزیت این روش رسیدن به سختی مورد نظر بدون نیاز به عملیات سخت‌کاری است. با این وضعیت نیاز به سخت‌کاری سطحی در حین فرآیند تراشکاری از بین می‌رود. از نظر تجهیزات و هزینه نیز مقرون به صرفه خواهد بود. شکل ۴–۸۵، برخی اندازه‌های میل‌بادامک‌های هوا و دود را نشان می‌دهد.



شکل ۴–۸۵– میل‌بادامک‌های هوا و دود

[1] *Chilled cast*
[2] *Chilling*

کیفیت سطوح در میل‌بادامک

مقدار زبری میل‌بادامک در مقاطع مختلف بدین شرح در نظر گرفته شده است:

برای سطوح ریختگی: Rz = ۱۵۰

برای سطوح بادامک‌ها: Rz = ۳

برای سطوح یاتاقان‌ها: Rz = ۲

این اعداد با توجه به سطوح درگیر مقابل و نیز بر اساس توانایی فرآیند تولید مشخص شده است.

کیفیت سطوح تراشکاری شده

کلیه سطوح باید عاری از هر گونه تخلخل، ترک یا تراشه باشد. برای تأیید قطعه، تمامی آزمون‌ها را باید سازنده انجام دهد.

ویژگی‌های مادهٔ میل‌بادامک

مادهٔ استفاده شده برای این قطعه چدن خاکستری است که باید بر اساس استاندارد *EN-GJS-۶۰۰* یا DIN EN ۰۲-۲۰۰۳:۱۵۶۳ باشد. جدول‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ به ترتیب ترکیب عنصری ماده میل‌بادامک و سختی در نواحی مختلف قطعه را نشان می‌دهند.

جدول ۴-۱۴- ترکیب عنصری ماده میل‌بادامک بر حسب درصد

کربن	سیلیسیوم	منگنز	فسفر	گوگرد	منیزیم
۳,۴ تا ۳,۸	۱,۷ تا ۲,۶	۰,۹	۰ تا ۰,۱	۰ تا ۰,۰۱۵	۰,۰۳ تا ۰,۰۸

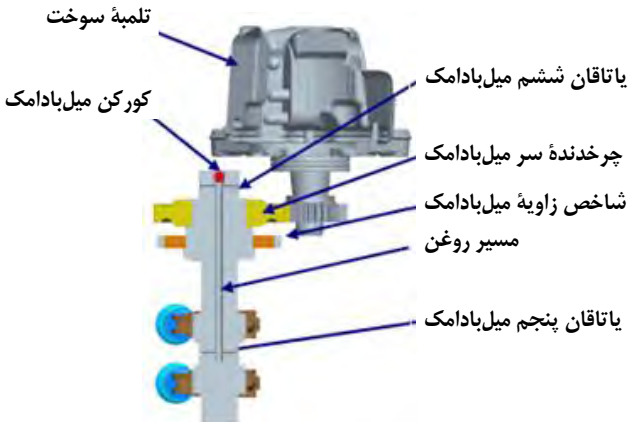
جدول ۴-۱۵- سختی در نواحی مختلف قطعه

ناحیه	مقدار
سختی عمومی	۲۰۰-۳۵۰ برینل
بیشینهٔ سختی مرکز قطعه	۳۰۰ برینل
کمینهٔ سختی نوک بادامک	۴۵ راکول سی در عمق ۴ میلی‌متر
کمینهٔ سختی در ناحیهٔ شیب[1] بادامک	۴۵ راکول سی در عمق ۲ میلی‌متر
کمینهٔ سختی در روی دایرهٔ مبنا	۴۰ راکول سی در عمق ۲ میلی‌متر

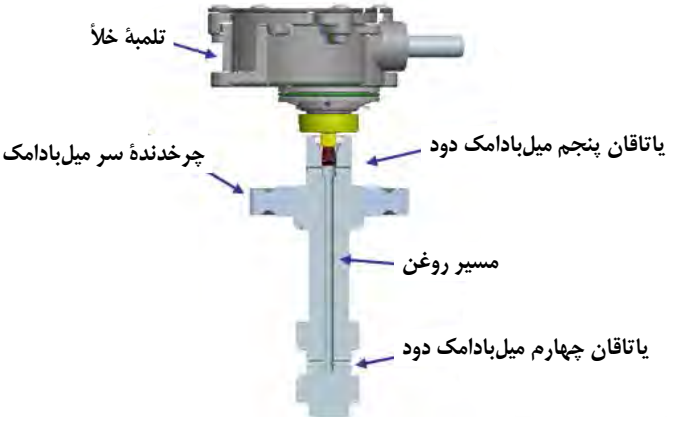
مسیر روغن‌کاری یاتاقان‌های میل‌بادامک

روغن‌کاری در ۵ یاتاقان اول از طریق بستار انجام می‌شود. اما در میل‌بادامک هوا به دلیل محدودیت‌های جانمایی و ریخته‌گری در بستار، برای یاتاقان ششم از انتهای میل‌بادامک تا یاتاقان پنجم که از بستار روغن آن تأمین می‌شود، سوراخکاری شده و روغن به‌وسیلهٔ دو سوراخ عمودی دیگر که بر روی یاتاقان‌های پنجم و ششم ایجاد شده است، به یاتاقان آخر می‌رسد. انتهای این سوراخ نیز با یک ساچمهٔ فولادی بسته می‌شود. در شکل‌های ۴-۸۶ و ۴-۸۷، نمای برش خوردهٔ *مسیر روغن‌رسانی در میل‌بادامک‌های هوا و دود*، نشان داده شده است.

[1] Ramp



شکل ۴-۸۶- نمای مسیر روغن‌رسانی در میل‌بادامک ورودی



شکل ۴-۸۷- نمای مسیر روغن‌رسانی در میل‌بادامک خروجی

روشـــی مطابق با همین میل‌بادامک برای میل‌بادامک خروجی در نظر گرفته شـــده اســـت با این تفاوت که روغن از انتهای میل‌بادامک خروجی برای تلمبهٔ خلأ هم فرستاده می‌شود.

انطباقات در میل‌بادامک دیزل

با توجه به عملکرد قطعه، در نواحی مختلف آن باید انطباقات ویژه‌ای در نظر گرفته شود. برای مثال برای یاتاقان‌های میل‌بادامک به دلیل اینکه نیاز به لایهٔ روغن برای روغن‌کاری یاتاقان‌ها داریم، انطباق از نوع آزاد در نظر گرفته شده است (φ۲۶ e۷/H۷). محل نشست چرخ‌دنده روی میل‌بادامک‌ها انطباق فشاری (φ۳۵ s۶/H۶) و برای محل نشست شاخص زاویهٔ سر میل‌بادامک روی میل‌بادامک انطباق جذب و روان (φ۴۳ h۷/N۷) در نظر گرفته شده است.

محاسبهٔ نیروی فشاری بین میل‌بادامک و چرخ‌دندهٔ میل‌بادامک

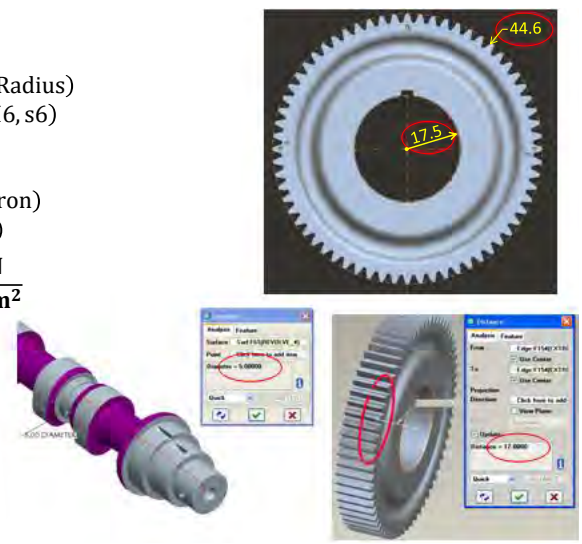
محاسبهٔ نیروی لازم برای فشردن چرخ‌دنده روی میل‌بادامک، با توجه به معادله‌های موجود در کتاب‌های طراحی انجام شد. شکل ۴-۸۸، محاسبهٔ نیروی فشاری را بین میل‌بادامک و چرخ‌دندهٔ میل‌بادامک نشان می‌دهد.

$r = 17.5\ \text{mm}$
$r_i = 2.5\ \text{mm}$
$r_o = 44.6\ \text{mm (max. Radius)}$
$\delta_{\max} = 0.059\ \text{mm (H6, s6)}$
$\nu_i = 0.25\ \text{(Cast Iron)}$
$\nu_o = 0.31\ \text{(Steel)}$
$\text{E}_\text{i} = 150\ \text{GPa (Cast Iron)}$
$\text{E}_\text{o} = 210\ \text{GPa (Steel)}$

$$\Rightarrow \mathbf{P = 127.29\ \frac{N}{mm^2}}$$

$r = 17.5\ \text{mm}$
$l = 17\ \text{mm}$
$\mu = 0.22\ \text{mm (max.)}$
$F = P \times 2\pi r l \times \mu$

$$\Rightarrow \mathbf{F_{max} = 52.3\ kN}$$

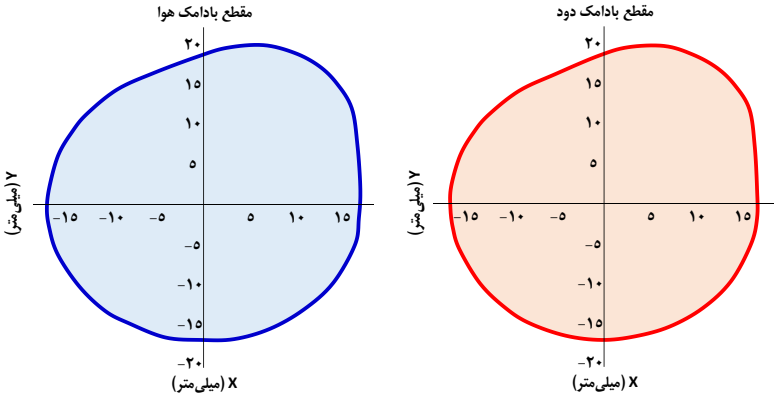


شکل ۴-۸۸- محاسبهٔ نیروی فشاری بین میل‌بادامک و چرخ‌دندهٔ میل‌بادامک

این مقدار کمینه و بیشینهٔ نیرو برای انتخاب و طراحی سامانهٔ فشارچرخ‌دنده در خط تراشکاری و یا همبندی استفاده می‌شود.

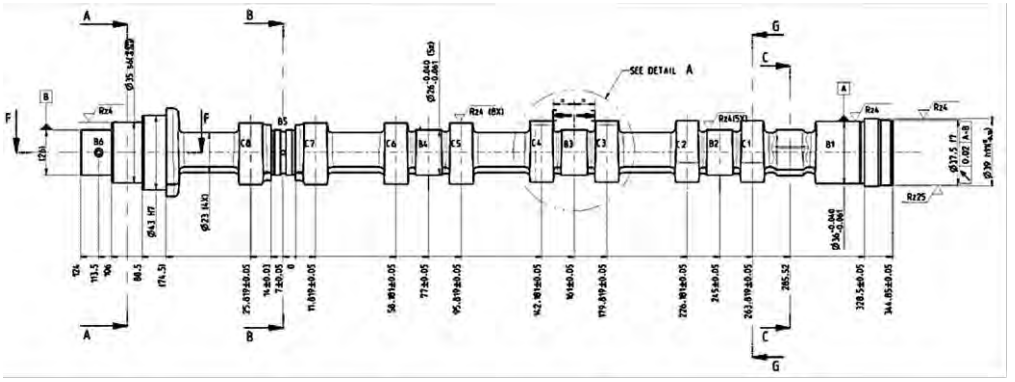
طراحی منحنی بادامک‌ها

لحظهٔ باز شـــدن و مدت زمان باز بودن دریچه به شـــکل بادامک بســـتگی دارد، همچنین طراحی منحنی بادامک بر سرعت نشست دریچه تأثیر بسزایی خواهد داشت. طراحی منحنی بادامک‌ها را گروه شبیه‌سازی انجام می‌دهد. این منحنی به عنوان ورودی برای بخش طراحی به کار گرفته خواهد شـد. شـکل ۴-۸۹، *مقطع بادامک هوا و دود را نشان می‌دهد.*

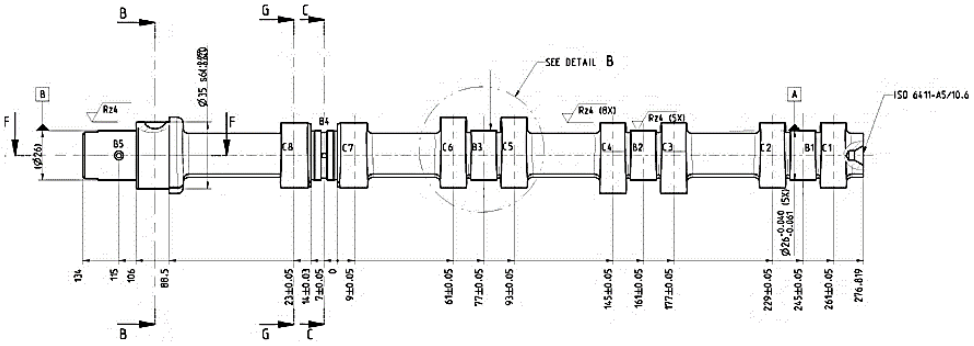


شکل ۴-۸۹- مقطع بادامک هوا و دود

برای ابعاد هندسی و رواداشت‌های قطعه می‌توان به شکل‌های ۴-۹۰ و ۴-۹۱، رجوع کرد و در بخش اطلاعات نقشه هم می‌توان برخی موارد را که برای تولید و سازنده مهم است به دست آورد. البته برخی موارد وجود دارد که برای کل قطعات میل‌بادامک یکسان است مانند مقدار مجاز تراشکاری که بین ۲ تا ۳ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴-۹۰- نماهایی از میل‌بادامک هوا



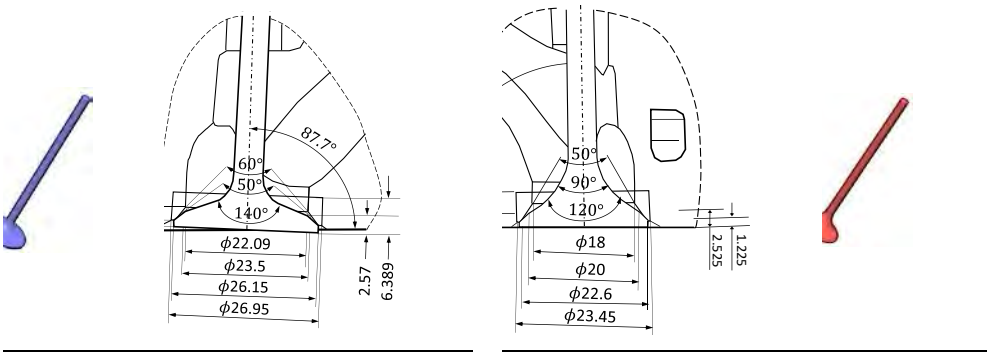
شکل ۴-۹۱- نماهایی از میل‌بادامک دود

دریچهٔ دود و هوا

طبق مطالعات در خصوص تعداد دریچه‌ها، استفاده از سامانهٔ ۱۶ دریچه به منظور کاهش مصرف سوخت و افزایش عملکرد بویژه در دورهای تند، در موتور تثبیت شـد. قطر دریچهٔ هوا مطابق با اسـتانداردهای روز به اندازهٔ ۲۶,۱۵ میلی‌متر اسـت که با در نظر گرفتن قطر دریچهٔ دود به اندازهٔ ۲۲,۶ میلی‌متر، نسـبت قطر دریچهٔ ورودی به خروجی در بازهٔ موتورهای روز دنیا قرار می‌گیرد. شـکل ۴-۹۲ و جدول ۴-۱۶، ویژگی‌های کلی دریچه‌های دود و هوا را نشان می‌دهند.

جدول ۴-۱۶-ویژگی‌های هندسی دریچه‌های دود و هوا

ویژگی (میلی‌متر)	دریچهٔ دود	دریچهٔ هوا
قطر دریچه	۲۲,٦	۲٦,۱۵
قطر داخلی نشیمنگاه	۲۰,۰۰	۲۳,۵
نسبت بتا	۰,۱۳۸	۰,۱۹۱
قطر ساق دریچه	۵,۰	۵,۰
زاویهٔ نشیمنگاه	۹۰	۹۰
بیشترین مقدار بازشدن دریچه‌ها	۸,۳۳	۸,۲

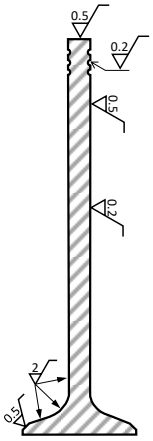


دریچهٔ هوا　　دریچهٔ دود

شکل ۴-۹۲- اندازه‌های کلی از دریچه‌های دود و هوا

کیفیت سطوح در دریچهٔ موتور ملی دیزل

مقدار زبری در نظر گرفته شده برای سطوح مختلف در شکل ۴-۹۳، نشان داده شده است:



برای سطوح عمومی دریچه: Ra = ۲

برای محل نشست دریچه روی نشیمنگاه: Ra = ۰,۵

برای ساق دریچه: Ra = ۰,۲

برای ناحیهٔ بالای ساق دریچه: Ra = ۰,۵

برای محل نشست خار روی دریچه: Ra = ۰,۲

شکل ۴-۹۳- نمایی از دریچه

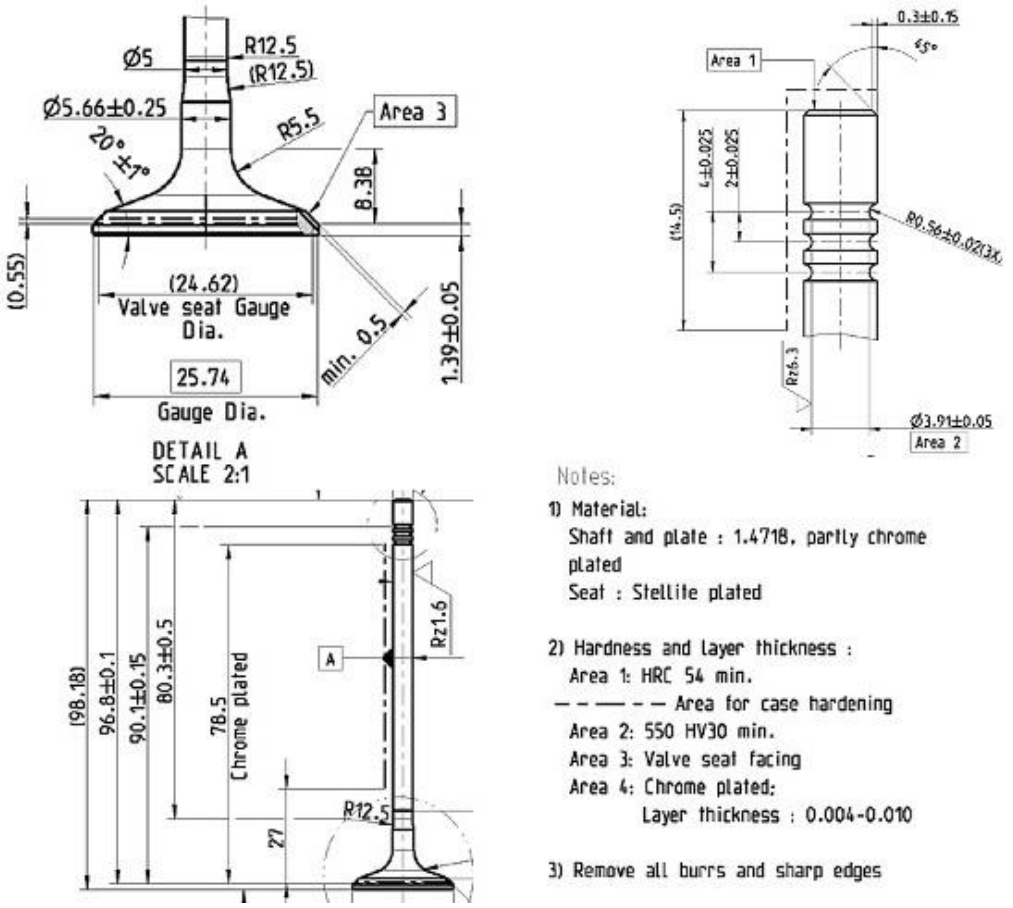
ویژگی‌های جنس دریچه

در دریچهٔ ورودی هوا، طراحی مطابق با استفاده از یک مادهٔ یکپارچه صورت گرفته است. برای این قطعه فولاد بر اساس استاندارد EN۱,۴۷۱۸ انتخاب شده است. اما دریچهٔ دود از دو مادّه تشکیل شده است که برای بخش ساق آن ماده‌ای مشابه با دریچهٔ هوا و برای قسمت سر دریچهٔ دود از فولاد EN۱,۴۸۸۲ استفاده می‌شود و با جوش اصطکاکی به هم متصل می‌شوند. سختی نواحی مختلف قطعه طبق *جدول ۴–۱۷* بدین شرح است:

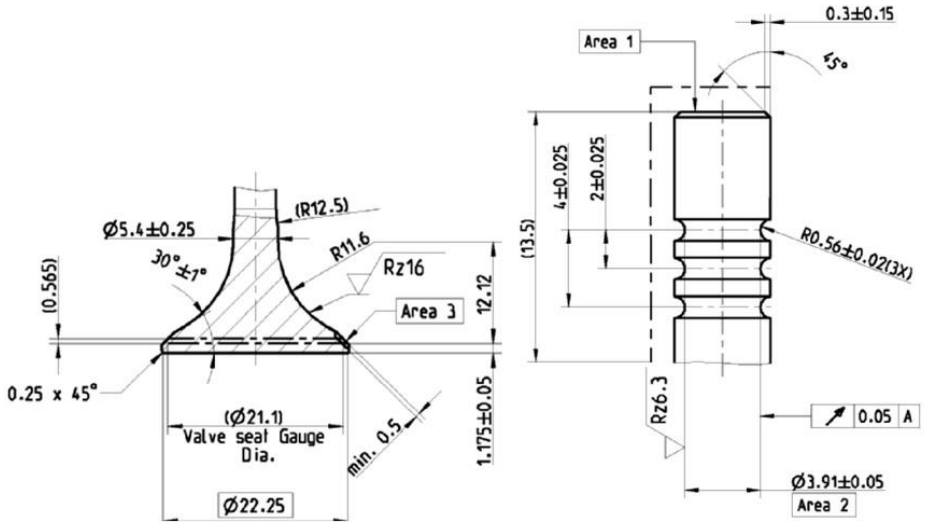
جدول ۴–۱۷– کمینهٔ سختی نواحی مختلف قطعه

ناحیهٔ نشست دریچه روی نشیمنگاه:	۳۵ راکول سی در عمق ۰,۵ میلی‌متر
ناحیهٔ بالای ساق دریچه:	۵۴ راکول سی
ناحیهٔ خار دریچه:	۵۵۰ ویکرز با ۳۰ کیلوگرم نیرو

دیگر ویژگی‌ها و اطلاعات مهم که برای ساخت قطعه مورد نیاز سازنده است نیز در توضیحات نقشه موجود است که در شکل‌های ۴–۹۴ و ۴–۹۵ می‌توان آن را مشاهده کرد.

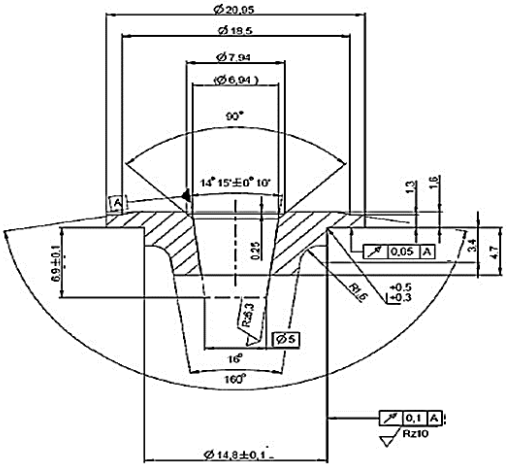


شکل ۴-۹۴- نماهایی از دریچهٔ ورودی هوا



شکل ۴-۹۵- نماهایی از دریچهٔ گازهای خروجی

قطعهٔ دیگر در این سامانه، بشقابک فنر دریچه است. در شکل ۴-۹۶، نمایی از قطعهٔ برش خوردهٔ بشقابک نگهدارندهٔ فنر دریچه نشان داده شده است.



شکل ۴-۹۶- نقشهٔ بشقابک نگهدارندهٔ فنر دریچه

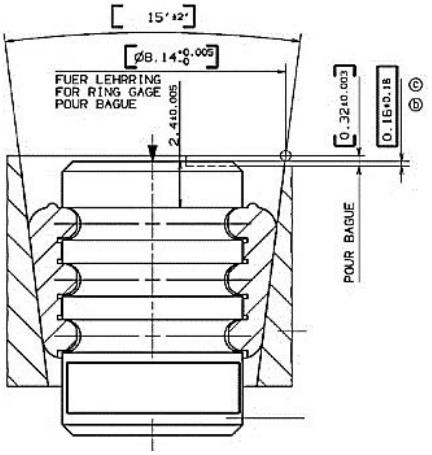
جرم تقریبی بشقابک فنر دریچه ۶٫۹ گرم است. ویژگی‌های جنس این قطعه بدین شرح است:

- ۱٫۷۲۲۷ (۴۲CrMo۵۴)
- ۱٫۱۱۳۲ (C۱۵E۲C)
- ۱٫۰۳۰۱ (C۱۰)

بشقابک نگهدارندهٔ فنر دریچه به روش شکل‌دهی سرد[1] ساخته می‌شود.

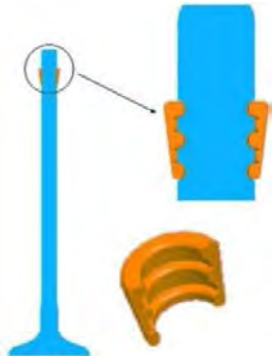
خار نگهدارندهٔ دریچه

از قطعات دیگر سامانهٔ دریچه‌ها که نقشهٔ آن را سازنده باید تهیه کند، خار سه شیارهٔ دریچه است. وظیفهٔ این خار نگهداشتن دریچه است. یکی از نکات مهم در طراحی این قطعه استفاده از سه شیار است که دلیل اصلی آن کمک به چرخش دریچه به منظور سایش یکنواخت نشیمنگاه است. شکل‌های ۴-۹۷ و ۴-۹۸، نماهایی از خار نگهدارندهٔ دریچه را نشان می‌دهند. همچنین شکل ۴-۹۹، چیدمان قطعات سامانهٔ دریچه‌ها را نشان می‌دهد.

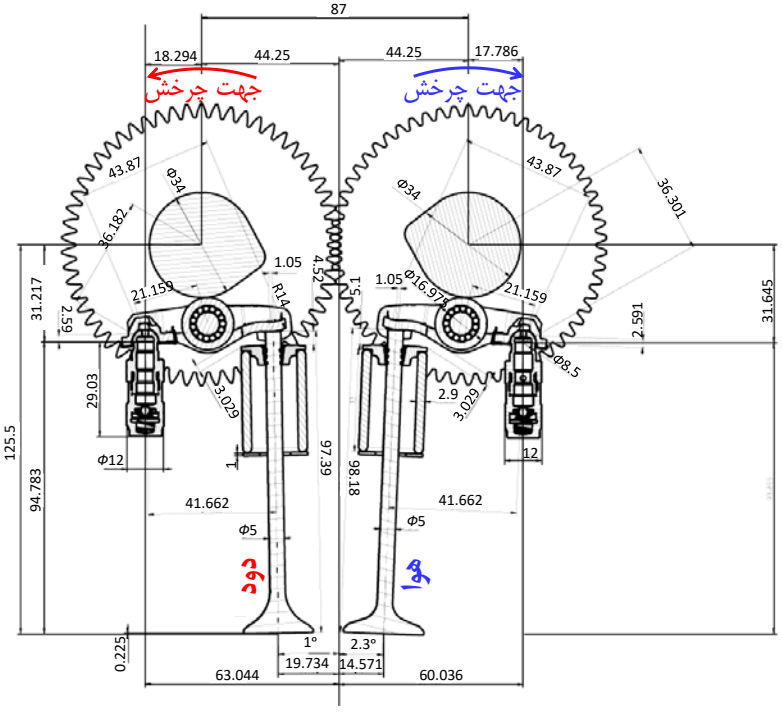


شکل ۴-۹۷- نمایی از خار نگهدارندهٔ دریچه

[1] *Cold forming*



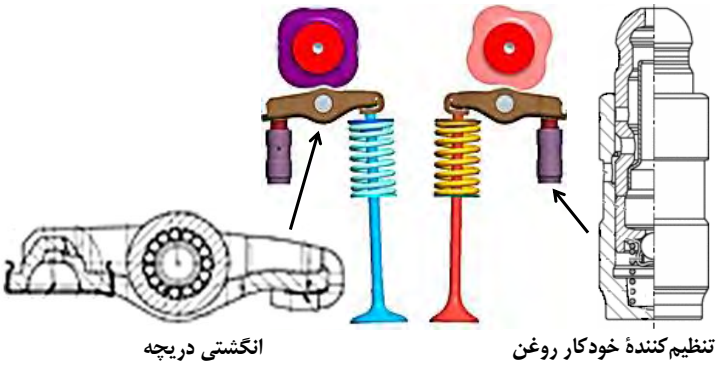
شکل ۴-۹۸- خار سه شیار برای دریچه



شکل ۴-۹۹- چیدمان قطعات سامانهٔ دریچه‌ها

سامانهٔ انگشتی

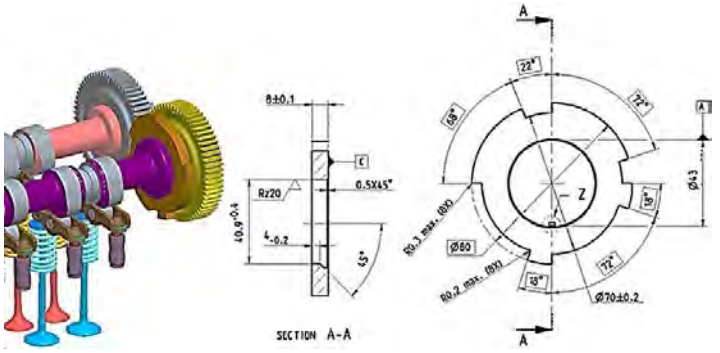
مجموعهٔ ساز و کار دریچه‌ها در موتور دیزل دارای سامانهٔ انگشتی است که این سامانه شامل انگشتی و تنظیم‌کنندهٔ خودکار روغنی است. وظیفهٔ این سامانه، تنظیم لقی دریچه در شرایط مختلف کارکرد و نیز پس از ایجاد سایش در مجموعه است. شکل ۴-۱۰۰، نمایی را از سامانهٔ انگشتی در موتور دیزل نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰۰- نمایی از سامانهٔ انگشتی در موتور دیزل

شاخص زاویه یا حسگر میل‌بادامک

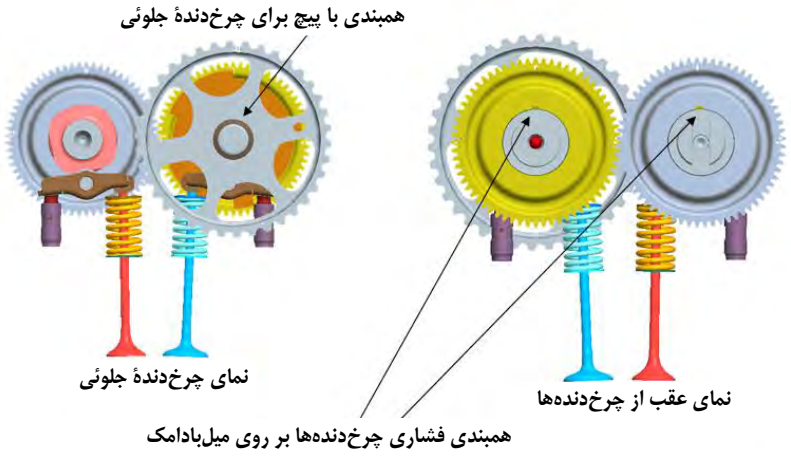
در انتهای میل‌بادامک هوا یک قطعه به نام شاخص زاویهٔ میل‌بادامک وجود دارد که حسگر میل‌بادامک می‌تواند از طریق این قطعه موقعیت میل‌بادامک و در نتیجه وضعیت استوانه‌ها را تشخیص دهد. همان طور که در شکل ۴-۱۰۱ مشاهده می‌شود، طراحی قطعه طوری است که با عبور این چرخ از روبه‌روی حسگر میل‌بادامک که بر روی درپوش دریچه‌ها نصب می‌شود، حسگر می‌تواند موقعیت میل‌بادامک را در هر استوانه تشخیص دهد.



شکل ۴-۱۰۱- شاخص زاویهٔ میل‌بادامک

چرخ دندهٔ میل‌بادامک

برای به حرکت در آوردن میل‌بادامک خروجی از چرخ دنده استفاده شده است. این چرخ دنده‌ها در انتهای میل‌بادامک‌های ورودی و خروجی قرار گرفته‌اند و به صورت فشاری اتصال می‌یابند. میل‌بادامک ورودی نیز، نیروی محرک خود را به وسیلهٔ تسمه و چرخ دنده‌ای که در ابتدای آن قرار گرفته است، به دست می‌آورد. شکل ۴-۱۰۲، چگونگی قرارگیری چرخ دنده‌ها را بر روی میل‌بادامک نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰۲- چگونگی قرارگیری چرخ دنده‌ها بر روی میل‌بادامک

٤-٤- طراحی قطعات جانبی موتور

مجموعهٔ خروجی گاز

این مجموعه شامل قطعاتی است که امکان خروج گازهای سوخته و نسوخته را به بیرون محفظهٔ احتراق و بستار از راه دریچه‌ها فراهم می‌آورد. بخشی از این گازهای خروجی که داغ و پرفشار اند، به پرخوران برای ایجاد چرخش پرهٔ گردا برای حرکت تنجار انتقال داده می‌شوند. چندراههٔ دود با توجه به طول و قطر آن امکان خروج گاز را به صورت سریع و کامل در دورهای مختلف موتور فراهم می‌کند.

از طرفی هنگامی که گازهای خروجی احتراق بسیار داغ اند، آلاینده‌های خروجی از جمله اکسیدهای ازت افزایش می‌یابد. برای حل این مشکل در این نوع موتور از سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی استفاده شده است که در آن محصولات احتراق در مسیری به چندراههٔ ورودی برگشت داده می‌شوند تا دمای احتراق کاهش یابد. همچنین در طراحی واکنشگر توجه به این نکته حائز اهمیت است که واکنشگر باید به چندراههٔ دود نزدیک باشد. به طوری

که در مدت زمان کوتاه‌تری به دمای مورد نیاز برای واکنش‌های شیمیایی برسد. بازده واکنشگر بشدت به دمای خروجی وابسته است. در موتورهای پرخوران، مهم آن است که کمترین انتقال حرارت در راهگاه و چندراهه انجام گیرد تا بیشترین انرژی موجود در ورودی گردا به دست آید. شکل ۴-۱۰۳، سامانهٔ خروجی موتور دیزل را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱۰۳- سامانهٔ خروجی

چندراههٔ دود

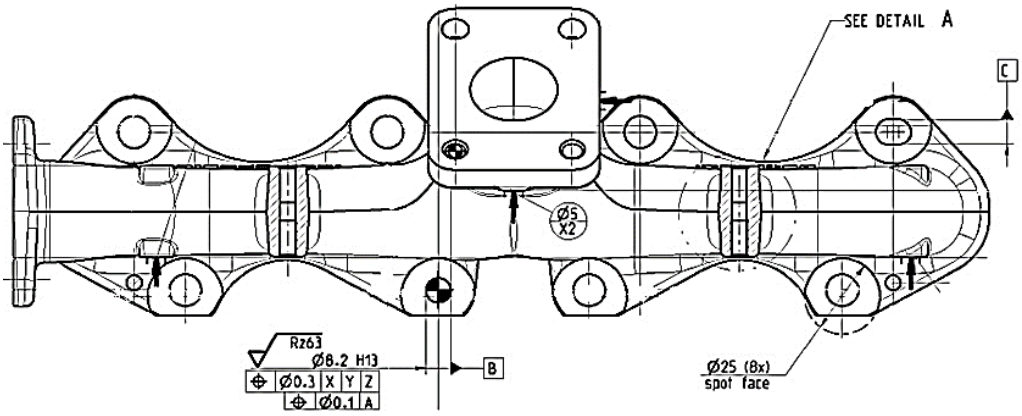
این نوع چندراههٔ دود، چندراههٔ ۴ به ۱ است که شکل آن متأثر از فضای موجود برای نصب بر روی بستار، اتصال به پرخوران و مسیر ورودی به سامانهٔ بازگشت گازهای خروجی است. شکل ۴-۱۰۴، چندراههٔ خروجی موتور دیزل را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱۰۴- چندراههٔ خروجی

چندراهۀ چدنی دود به روش ریخته‌گری تولید می‌شود. این ماده با توجه به دما و فشار شدید گازهای خروجی انتخاب شده است و تأمین‌کننده تمامی ویژگی‌های مورد انتظار طراح است. لایی چندراهۀ دود، فلزی است. این نوع لایی دارای آب‌بندی بهتری نسبت به نمونه‌های نرم است و استحکام گرمایی قوی دارد.

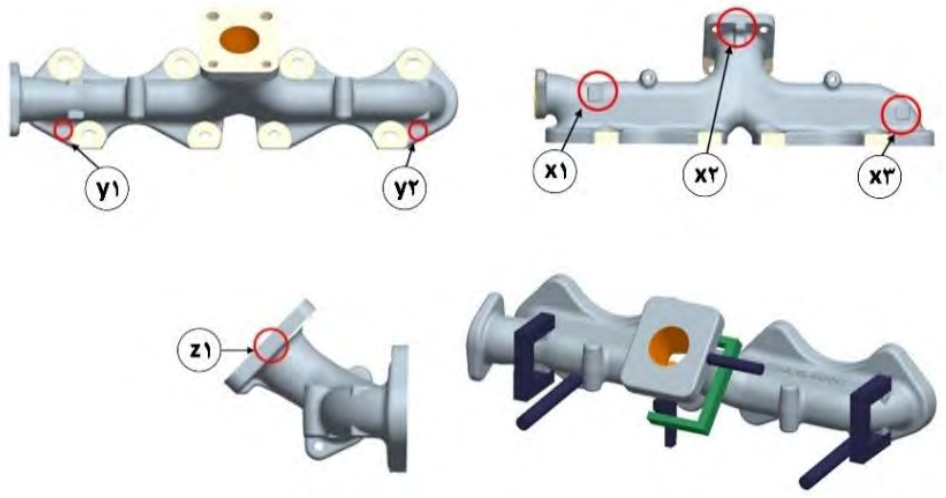
ویژگی‌هایی ار قبیل استحکام، سختی، رفتار ارتعاشی و سر و صدا، رفتار حرارتی، سایش و خستگی در حین فرآیند توسعۀ محصول بررسی می‌شوند. برای این منظور شبیه‌سازی‌های لازم اجرا و در آزمون‌های موتور صحه‌گذاری می‌شوند. مادۀ استفاده شده برای چندراهۀ دود GJV-۴۰۰ است. جرم قطعۀ ریخته‌گری ۲٫۷ کیلوگرم و بعد از تراشکاری به ۲٫۲ کیلوگرم خواهد رسید. برای اتصال چندراهه به بستار از هشت پیچ دوسر رزوۀ M۸ به همراه مهره استفاده شده است.

شش عدد از سوراخ‌ها به‌صورت گرد و با قطری بزرگتر از پیچ، یکی با قطر کوچکتر و رواداشت بسته و یکی از سوراخ‌ها به‌صورت لوبیایی افقی در نظر گرفته شده است که امکان نصب چندراهۀ دود را بر روی بستار فراهم می‌کند. این نوع چیدمان باعث قرارگیری دقیق قطعه بر روی بستار خواهد شد. شکل ۴–۱۰۵، نمایی را از چگونگی رواداشت‌گذاری برای قرارگیری چندراهۀ دود روی بستار نشان می‌دهد.



شکل ۴–۱۰۵– نمایی از چگونگی رواداشت گذاری برای قرارگیری چندراهۀ دود روی بستار

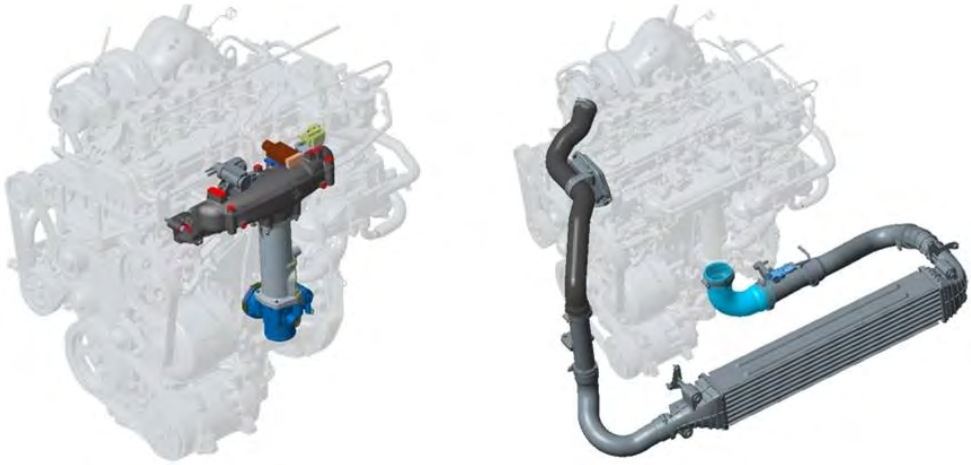
چندراهۀ دود از لحاظ موقعیت قرارگیری برای تراشکاری حائز اهمیت است. به همین دلیل مراجع ریخته‌گری از اهمیت خاصی برخوردار است. مراجع در نظر گرفته شده در شکل ۴–۱۰۶، نشان داده شده‌اند. در نهایت قطعه موقعیت دهی و محکم می‌شود تا امکان تراشکاری را فراهم آورد.



شکل ۴-۱۰۶- مبناهای تراشکاری و چگونگی قرارگیری چندراههٔ دود

مجموعهٔ ورودی هوا

وظیفهٔ مجموعهٔ ورودی هوا، هوا رسانی به محفظهٔ احتراق است. هوا از طریق جلوی موتور وارد جعبهٔ صافی هوا و با پرخوران به داخل موتور مکش می‌شود. شکل ۴-۱۰۷.Error! Reference source not found، سامانهٔ ورودی چندراههٔ ورودی را نشان می‌دهد. چون دمای هوای خروجی از تنجار به دلیل افزایش فشار، گرمتر از حد مطلوب است، با خنک‌کن، سرد می‌شود زیرا گرم بودن هوای ورودی سبب کاهش بازده تنفسی خواهد شد. در قسمت مخلوط‌کن، گازهای برگشتی از چندراههٔ دود با هوای تازه مخلوط و وارد چندراههٔ ورودی می‌شوند. *جدول ۴-۱۸، ویژگی‌های مجموعهٔ ورودی را نشان می‌دهد.*

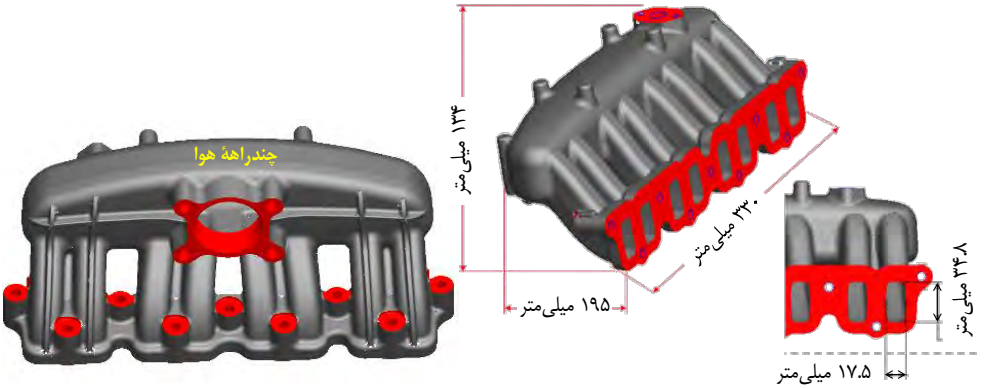


شکل ۴-۱۰۷- سامانهٔ ورودی چندراههٔ ورودی

جدول ۴-۱۸- ویژگی‌های مجموعهٔ ورودی

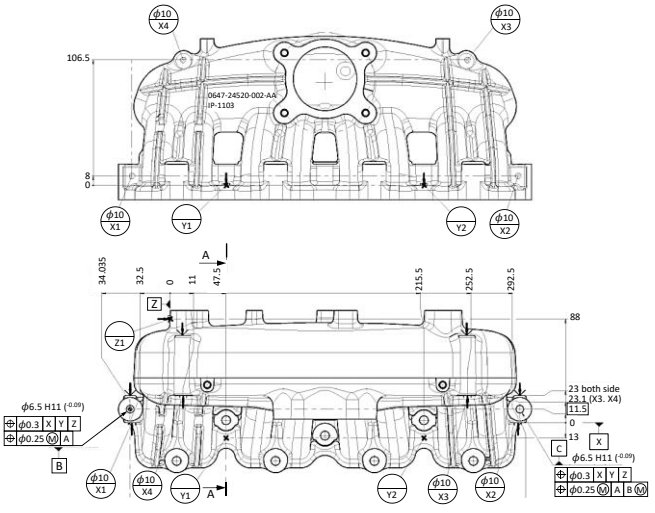
ویژگی کلی	هر راهگاه مسیری جدا بدون سامانه‌ای برای ایجاد گردباده
جنس چندراههٔ ورودی	همبستهٔ آلومینیوم (AlSi ۱۰Mg)
جنس لولهٔ مخلوط کن	
طول راه‌گاه	۸۵ میلی‌متر
حجم محفظهٔ آرامش	تقریباً ۹ لیتر
نوع لایی	فلزی تک لایه
حسگر جرم سنج هوای ورودی	HFM-BOSCH ۰ ۲۸۰ B۰۷ ۲۸۷
بیشینه شار جرمی هوای ورودی	۴۸۰ کیلوگرم در ساعت
تنظیم دریچهٔ گاز	برقی
قطر دریچهٔ گاز	۵۲ میلی‌متر
تأمین‌کنندهٔ دریچهٔ گاز	شرکت بوش
شکل هندسی و حجم جعبهٔ صافی هوا	چهارگوش با ۶٫۵ لیتر حجم

چندراهۀ ورودی، وظیفۀ توزیع هوای متراکم ورودی به استوانه‌ها را بر عهده دارد. با توجه به دمای هوای خروجی از خنک‌کن میانی و ورودی به موتور دیگر نیازی به جنس با استحکام قوی نیست و معمولاً از پلاستیک‌های خاص و یا آلومینیوم که انتقال گرمای بهتری را در مقایسه با چدن دارند، استفاده می‌شود. در چندراهۀ ورودی همانند چندراهۀ خروجی، اندازۀ قطر و طول چندراهه به منظور توزیع یکنواخت هوا بین استوانه‌ها، مهم است. شکل ۴-۱۰۸، نماهایی از چندراهۀ ورودی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰۸- چندراهۀ ورودی

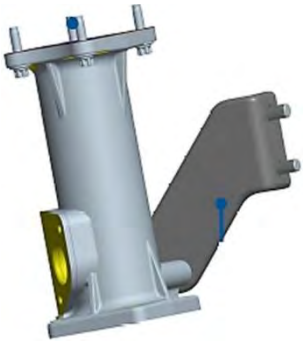
حسگر دما و فشار روی خروجی خنک‌کنندۀ میانی، برای تخمین شار هوای ورودی است. شکل ۴-۱۰۹، نمایی از نقشۀ چندراهۀ هوا را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰۹- نمایی از نقشۀ چندراهۀ هوا

مخلوط کن هوا

این قطعه وظیفهٔ اختلاط هوای ورودی را با گازهای برگشتی از چندراههٔ دود بر عهده دارد. برگشت گازهای خروجی سبب رقت مخلوط هوا و سوخت و در نتیجه کاهش دمای احتراق (به دلیل عدم واکنش گازهای برگشتی در محفظهٔ احتراق) و کاهش تولید اکسیدهای ازت می‌شود. شکل ۴-۱۱۰، مخلوط کن هوا را نشان می‌دهد.

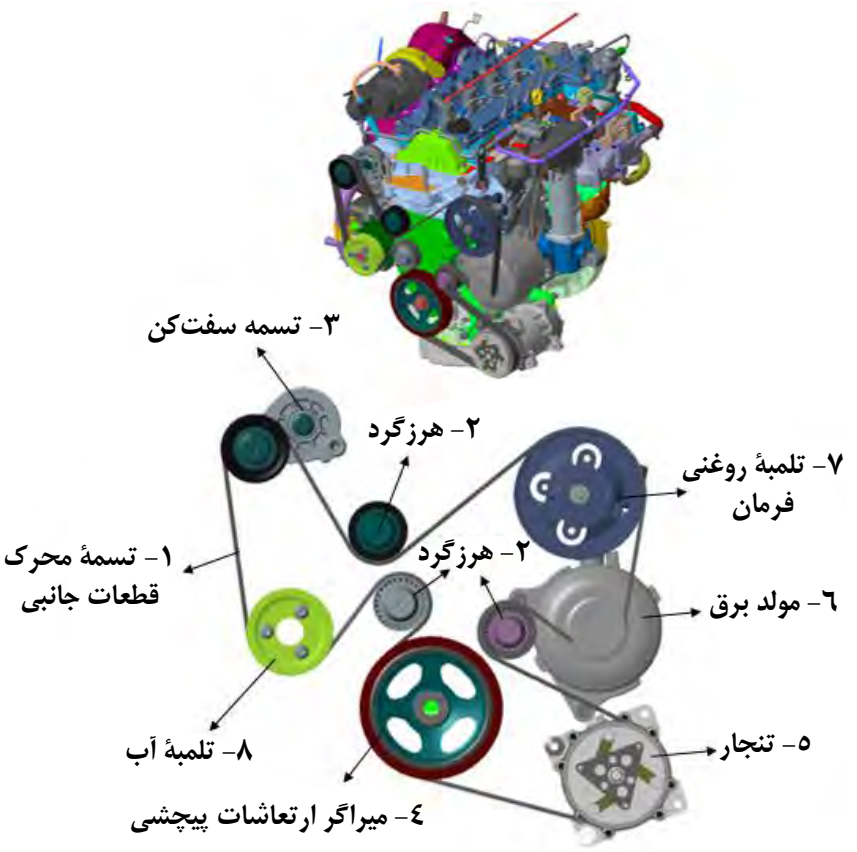


شکل ۴-۱۱۰- مخلوط کن هوا

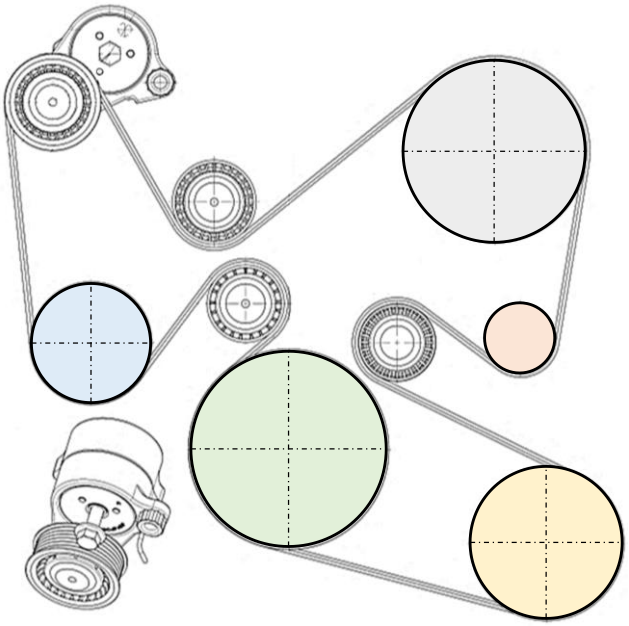
سامانهٔ محرک تسمه‌ای قطعات جانبی[1]

این سامانه برای به حرکت در آوردن قطعات مولد برق، تنجار، تلمبهٔ آب و تلمبهٔ روغن[2] فرمان با تسمه در نظر گرفته شده است که نیروی حرکتی خود را از میل‌لنگ می‌گیرد. میرانهٔ ارتعاش پیچشی، ارتعاش پیچشی میل‌لنگ حاصل از نیروی احتراق بر روی سنبه را جذب و حرکت را به تسمه و اجزا مذکور منتقل می‌کند. در این سامانه از سه عدد هرزگرد برای تنظیم زاویهٔ تسمه با چرخ تسمه‌ها و همچنین کاهش ارتعاشات تسمه استفاده شده است. افزایش زاویهٔ تسمه با چرخ تسمه‌ها باعث بهبود انتقال گشتاور به مصرف‌کننده‌ها می‌شود. همچنین هرزگردها با کاهش طول آزاد تسمه، باعث کاهش لرزش تسمه می‌شوند که نتیجه آن افزایش طول عمر تسمه و جلوگیری از بیرون پریدن تسمه از داخل شیارها است. شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۱۲، سامانهٔ محرک تسمه‌ای را به ترتیب در ۳ و ۲ بُعد نشان می‌دهند.

[1] Front End Accessory Drive (FEAD)
[2] Hydraulic pump



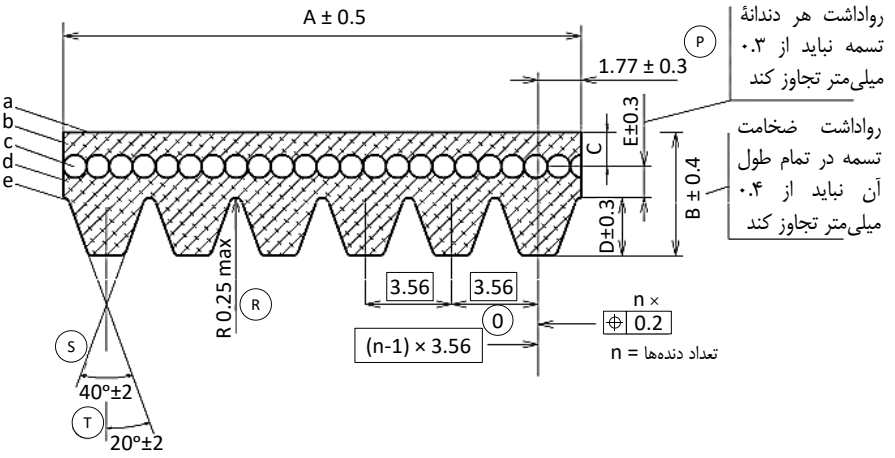
شکل ۴-۱۱۱- سامانهٔ محرک تسمه‌ای (۳ بُعدی)



شکل ۴-۱۱۲- سامانهٔ محرک تسمه‌ای (۲ بُعدی)

در این سامانه از تسمهٔ ۶ شیاره با جنس EPDM[1] به طول ۲۲۹۰ میلی‌متر استفاده شده است. شکل ۴-۱۱۳، تسمهٔ محرک قطعات جانبی را نشان می‌دهد.

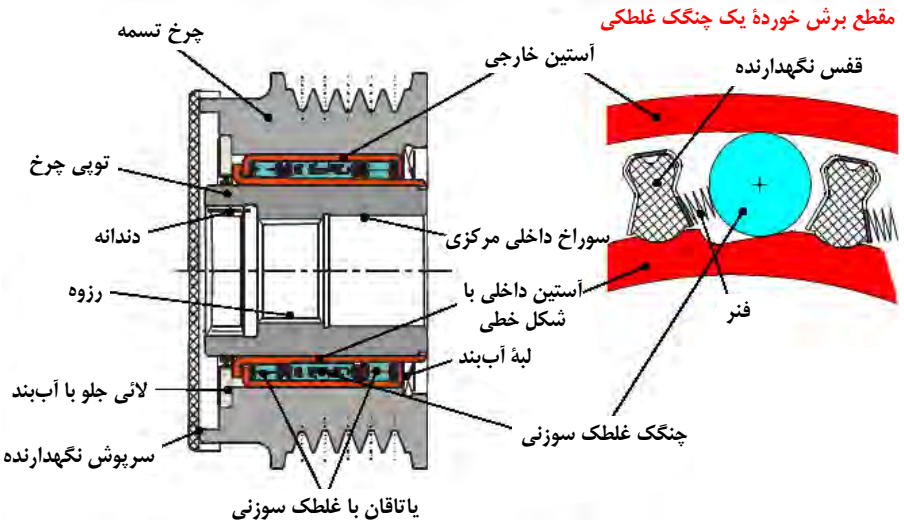
[1] Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)



شکل ۴-۱۱۳- تسمهٔ محرک قطعات جانبی

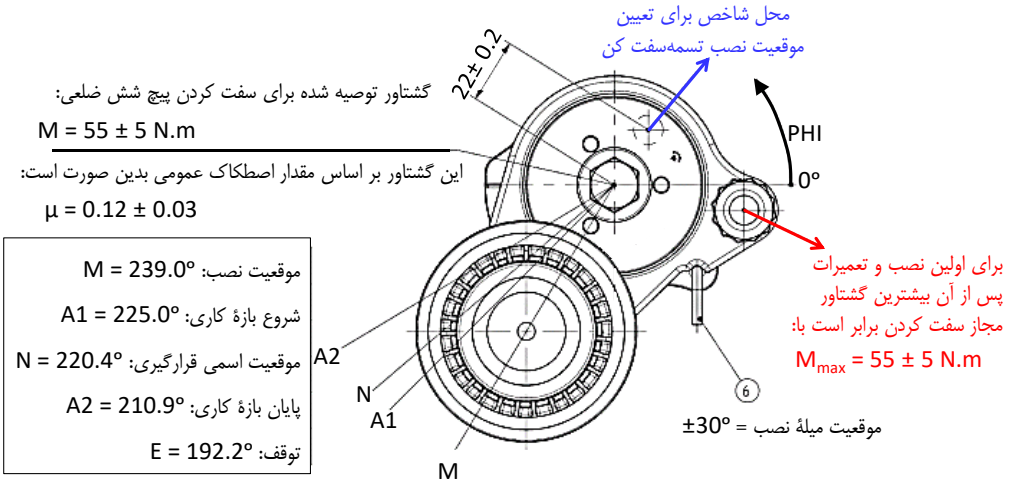
یکی دیگر از فناوری‌های مورد استفاده در این سامانه، استفاده از چرخ تسمهٔ مولد برق تندتر[1] است. چرخ تسمهٔ مولد برق، کوچکترین چرخ تسمهٔ مجموعهٔ محرک تسمه‌ای است، لذا به لحاظ سرعت دورانی تندترین است و بنابراین ارتعاشات سر میل‌لنگ کاملاً بر حرکت آن مؤثر است. چرخ تسمهٔ مولد برق تندتر، مانند یک چنگک یکطرفه عمل می‌کند. زمانی که چرخ تسمهٔ مولد برق به دلیل ارتعاشات سرمیل‌لنگ در خلاف جهت حرکت می‌کند (در حد چند درجه) چرخ تسمهٔ مولد برق تندتر، اتصال چرخ تسمه را از مولد برق قطع می‌نماید. شکل ۴-۱۱۴، چرخ تسمهٔ مولد برق را نشان می‌دهد.

[1] Over running Alternator Pulley (OAP)

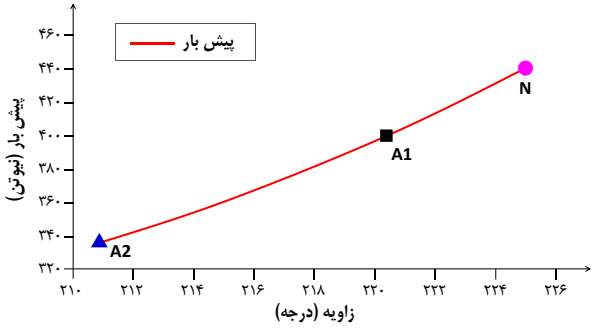


شکل ۴-۱۱۴- چرخ تسمهٔ مولد برق

پس از تحلیل مقدار کشش مورد نیاز تسمه، این کشش با تسمه سفت‌کن (شکل ۴-۱۱۵)، در موقعیت‌های مختلف اهرم تسمه سفت‌کن به صورت نمودار شکل ۴-۱۱۶، ایجاد می‌شود.



شکل ۴-۱۱۵- تسمه سفت‌کن



شکل ۴-۱۱۶- کشش تسمه

در طراحی سامانهٔ محرک تسمه‌ای، شرایط ذکر شده در جدول ۴-۱۹، حالت بهینهٔ طراحی است.

جدول ۴-۱۹- شرایط بهینهٔ طراحی سامانه محرک تسمه‌ای

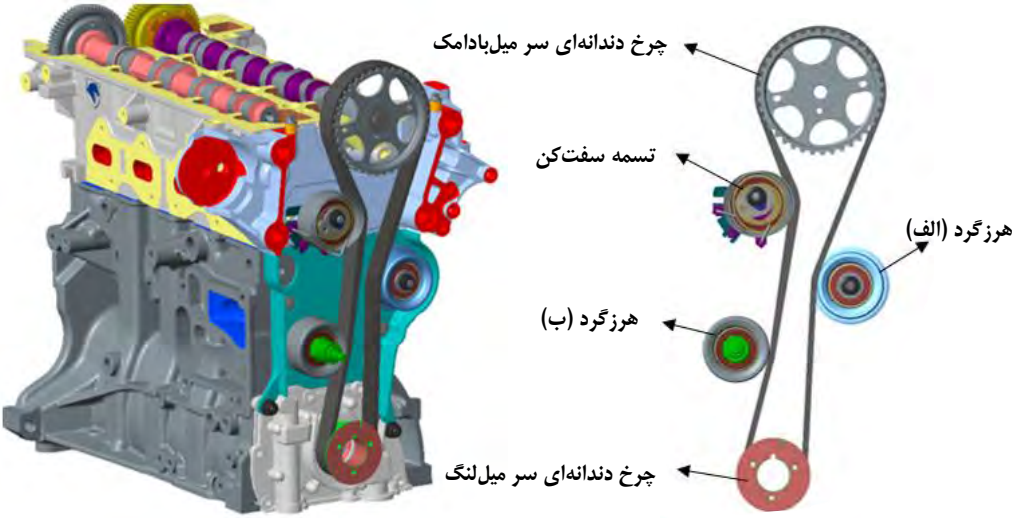
چرخ تسمه	زاویهٔ درگیری[1]	نسبت انتقال	قطر چرخ تسمه
میل‌لنگ	°۱۸۰ >	-	۱۳۰ > میلی‌متر
مولد برق	°۱۵۰ >	۳,۰ت ۲,۵	۵۰ > میلی‌متر
فرمان روغنی[2]	°۹۰ >	۱,۳ت ۱,۱	۱۰۰ > میلی‌متر
تهویهٔ مطبوع	°۹۰ >	۱,۲ت ۱,۱	۱۰۰ > میلی‌متر
تلمبهٔ آب تخت / شکل‌دار	°۴۰ > / °۲۰ >	۱,۴ت ۱,۱	۱۰۰ > میلی‌متر
پنکه	°۳۰ >	۱,۳ت ۱,۱	۱۰۰ > میلی‌متر
هرزگرد تسمه سفت‌کن (تماس/استاندارد)	°۱۵-°۱۰ / °۳۰ >	مهم نیست	۵۰ > میلی‌متر / ۶۵ > میلی‌متر

[1] Wrap angle
[2] Power steering

در سامانهٔ محرک تسمه‌ای، قطر چرخ تسمهٔ میرانهٔ ارتعاشات از ۱۴۰میلی‌متر در موتور EF7 به ۱۵۰ میلی‌متر در موتور ملی دیزل سواری افزایش پیدا کرد که دلیل آن افزایش بازده تنجار خنک‌کن[1] با توجه به کاهش دور موتور دیزل است. همچنین قطر چرخ تسمهٔ تنجار خنک‌کن نیز از ۱۱۹ میلی‌متر به ۱۱۲ میلی‌متر کاهش پیدا کرد. در این سامانه و بر پایهٔ شبیه‌سازی‌های مدار خنک‌کاری، قطر چرخ تسمهٔ تلمبهٔ آب از ۱۴۰ میلی‌متر در موتور EF7 به ۹۰ میلی‌متر در موتور دیزل سواری کاهش یافت تا شار آب ۱۵۰ لیتر در دقیقه با تلمبهٔ آب در سرعت ۴۰۰۰ د.د.د. موتور تأمین شود.

سامانهٔ زمان‌بندی موتور

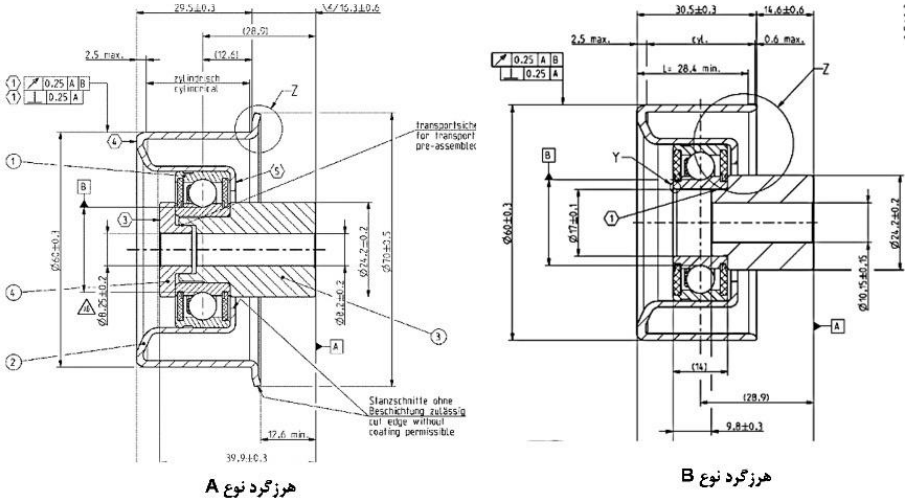
به طور کلی وظیفهٔ سامانهٔ زمان‌بندی واسطهٔ بین سامانهٔ ساز و کار دریچه‌ها و میل‌لنگ است. در شکل ۴-۱۱۷، چیدمان کلی سامانهٔ زمان‌بندی موتور دیزل ملی را مشاهده می‌کنید. همان طور که مشخص است این سامانه از دو هرزگرد و یک تسمه سفت‌کن به اضافهٔ چرخ دندهٔ سر میل‌بادامک هوا و چرخ دندهٔ سر میل‌لنگ تشکیل شده است. طول تسمه ۹۸۱ میلی‌متر است.



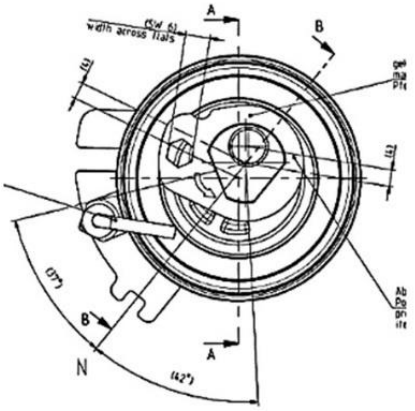
شکل ۴-۱۱۷- ویژگی‌های سامانهٔ زمان‌بندی

[1] Compressor cooler

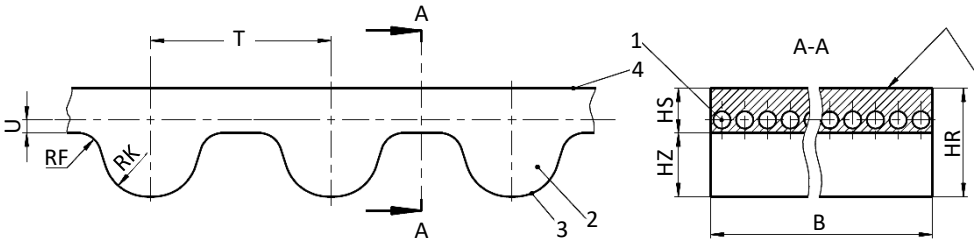
برای رسیدن به زاویهٔ درگیری مناسب بین تسمه و قطعات چرخنده، از دو نوع هرزگرد (شکل ۴–۱۱۸) به همراه یک تسمه سفت‌کن (شکل ۴–۱۱۹) استفاده شده است که روی بدنهٔ موتور، جانمایی شده‌اند.



شکل ۴–۱۱۸– هرزگرد سامانهٔ زمان‌بندی



شکل ۴–۱۱۹– تسمه سفت‌کن



Belt specification:	LXR	Base height:	HS = 2.35 ± 0.15 mm
Part No. IKCO:	IK00057780	Tooth height:	HZ = 3.35 ± 0.10 mm
Profile specification:	HTDA	Root radius:	RF = 1.20 mm
Number of belt teeth:	103	Top radius:	RK = 2.30 mm
Belt length:	LW = 981.075 mm	Weight:	105 ± 10 g
Belt pitch:	T = 9.525 mm	Tensile strength:	1440 ± 250 N/mm
Belt width:	B = 24.00 ± 0.50 mm	Tooth shear resistance:	130 ± 35 N/mm
Pitch line difference:	U = 0.686 mm	Hardness belt edge:	83 ± 5 Shore A
Belt height:	HR = 5.70 mm	Belt stiffness:	470 ± 50 N/mm

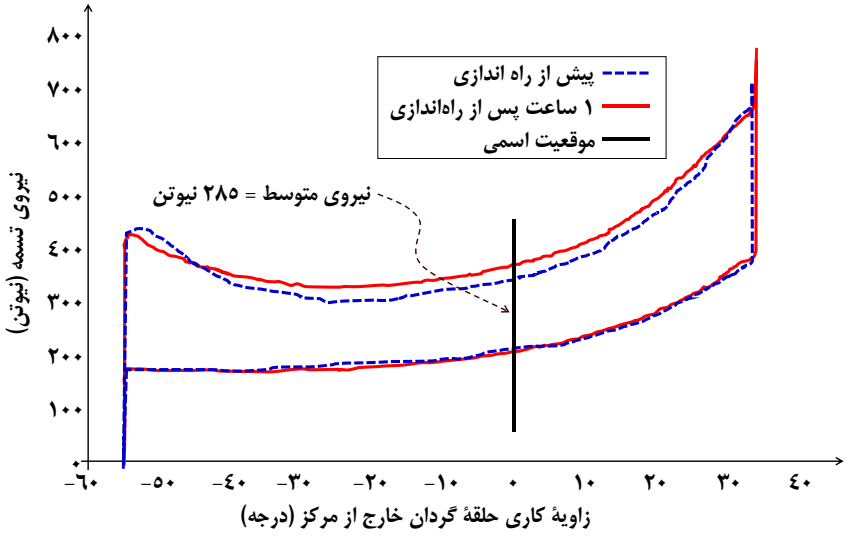
شکل ۴-۱۲۰- شکل خم دندانه به همراه اندازه‌های آن

در شکل ۴-۱۲۰، تسمهٔ زمان‌بندی از نوع گشتاور قوی[1] نشان داده شده است. طول تسمه ۹۸۱ میلی‌متر است. مواد انتخاب شده برای این تسمه شامل الیاف شیشه، لاستیک از نوع HNBR[2] و چندآمیدی است. این مواد قابلیت بهترین عملکرد را در بازهٔ دمائی ۱۶۵ تا ۵۰- درجهٔ سانتی‌گراد دارند. *در شکل ۴-۱۲۱، کشش حاصل از تسمه سفت‌کن و در* جدول ۴-۲۰، ویژگی‌های مواد استفاده شده برای تسمه *مشاهده می‌شود.*

جدول ۴-۲۰- ویژگی‌های مواد استفاده شده برای تسمه

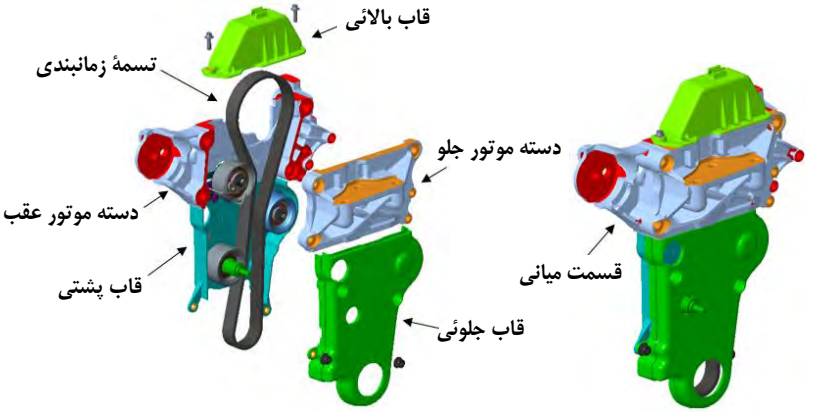
عضو کششی	الیاف شیشه
لاستیک	HNBR
پوشش پشت و روی تسمه	چند آمیدی

[1] High Torque Drive (HTD)
[2] Hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber (HNBR)



شکل ۴-۱۲۱- نمودار تسمه سفت‌کن

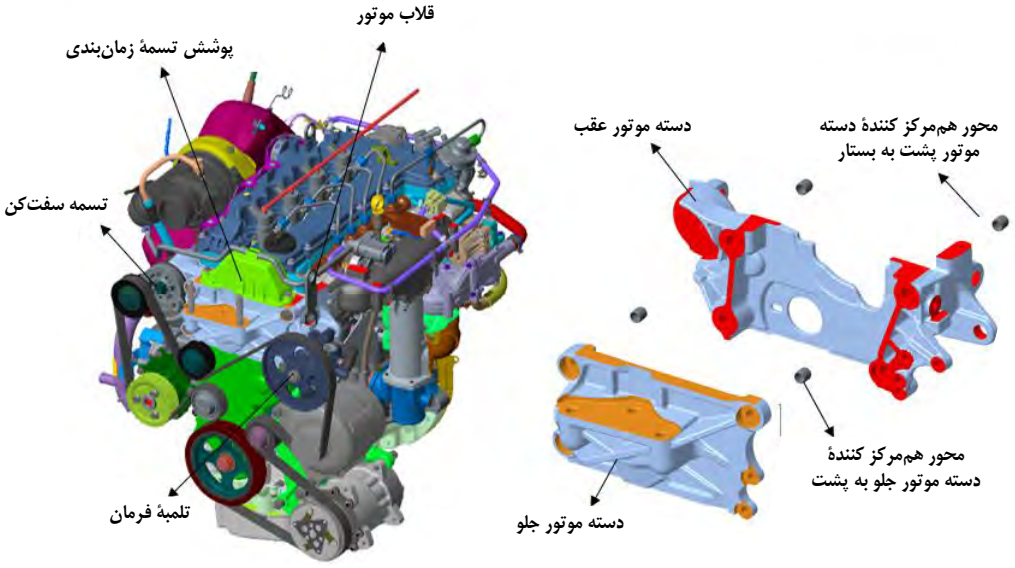
در سامانهٔ زمان‌بندی برای افزایش عمر تسمه، باید این سامانه از عوامل آب و هوایی از جمله غبار، رطوبت و آب محافظت شود. لذا از پوشش‌های پلاستیکی از جنس PA6 6,6 GF ٪۳۰ در این سامانه استفاده می‌شود. مطابق شکل ۴-۱۲۲، از سه قاب پلاستیکی برای این منظور استفاده شده است: یکی در بالا، یکی در پایین و یک قاب هم در پشت. در قسمت میانی سامانه، مجموعهٔ دسته موتور عقب و جلو از تسمهٔ زمان‌بندی محافظت می‌نمایند.



شکل ۴-۱۲۲- پوشش‌های پلاستیکی سامانهٔ زمان‌بندی

نگهدارنده‌های دسته موتور

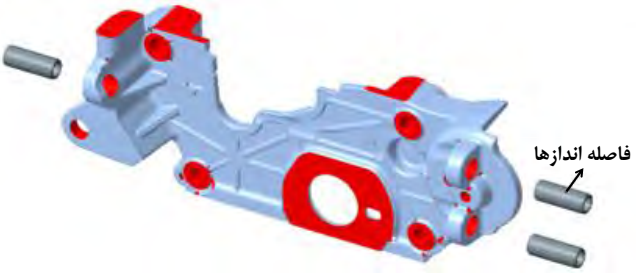
به طور کلی وظیفهٔ نگهدارنده‌های دسته موتور انتقال ضربات ناشی از احتراق، تحمل وزن و تحمل شرایط مختلف مانند شرایط جاده، شتابگیری سریع، ترمزهای ناگهانی و تعویض دنده است. نگهدارنده‌های دسته موتور دیزل نسبت به موتور ملی، تغییرات اندکی دارند. شایان ذکر است که موتور دیزلی نیز مانند موتور ملی دارای دو نگهدارنده دسته موتور است. در شکل ۴-۱۲۳، دسته موتور دیزل مشاهده می‌شود که مانند موتور ملی از دو قسمت جلو و عقب تشکیل یافته است.



شکل ۴-۱۲۳- نگهدارنده‌های دسته موتور

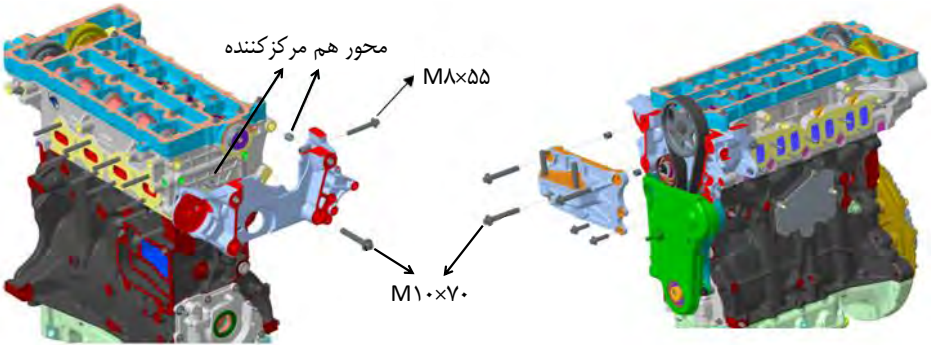
نگهدارندهٔ دسته موتور باید طوری طراحی شود تا بتوان به وسیله آن لرزش و سر و صدای ناشی از موتور را نیز مهار کرد. این قطعه باید بتواند در شرایط دمایی حدود ۱۴۰ درجهٔ سانتیگراد کارکرد مناسبی داشته باشد.

همانطور که در شکل ۴-۱۲۴، مشاهده می‌شود دسته موتور عقب در حین اتصال به بستار، وظیفهٔ نگهداری و اتصال قطعات تسمه سفت‌کن، تلمبهٔ فرمان، قلاب موتور و درپوش تسمهٔ زمانبندی بالا را نیز دارد. دسته موتور عقب به‌وسیلهٔ دو شاخص هم مرکز کننده از روبرو، به همراه سه فاصله انداز از دو سو به بستار اتصال می‌یابد و برای اتصال دسته موتور جلو به عقب نیز از دو هم مرکز کننده استفاده شده است.



شکل ۴-۱۲۴- دسته موتور عقب

مطابق شکل ۴-۱۲۵، برای اتصال دسته موتورها به بستار از چهار پیچ M۱۰×۷۰ از روبرو و سه پیچ M۸×۵۵ برای کناره‌ها استفاده شده است.



شکل ۴-۱۲۵- چگونگی اتصال دسته موتورها

در طراحی دسته موتورها برای استحکام بیشتر، چندین برآمدگی و بازوی ضربدری شکل برای کاهش ارتعاش و بهبود استحکام برشی در آن‌ها استفاده شده است و برای کم کردن جرم از همبستهٔ آلومینیوم با عملیات حرارتی ویژه استفاده شده است.

مادهٔ این قطعه AlSiYMg۰٫۶-T۶ بر اساس استاندارد EN DIN۱۷۰۷ است. جدول ۴-۲۱، ویژگی‌های مادهٔ دسته موتور را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲۱- ویژگی‌های مادهٔ دسته موتور بر حسب درصد (AlSi۷Mg۰٫۶)

آلومینیوم:	*پایه*	*منگنز:*	*۰٫۱*
سیلیسیوم:	*۷٫۵-۶٫۵*	*منیزیم:*	*۰٫۷-۰٫۴۵ (۰٫۷-۰٫۵)*
مس:	*۰٫۰۵ (۰٫۰۳)*	*روی:*	*۰٫۰۷*
آهن:	*۰٫۱۹ (۰٫۱۵)*	*تیتانیوم:*	*۰٫۲۵-۰٫۰۸ (۰٫۱۸-۰٫۱)*

عملیات حرارتی در نظر گرفته شده برای این ماده T۶ است. طبق جدول ۴-۲۲، برخی از ویژگی‌های مکانیکی این ماده عبارت است از:

جدول ۴-۲۲- *برخی از ویژگی‌های مکانیکی مادهٔ دسته موتور*

مقاومت کشش نهایی	*۳۲۰ مگاپاسکال*
حد تسلیم	*۲۴۰ مگاپاسگال*
سختی	*۱۰۰ برینل*

برخی از شاخص‌های طراحی در انتخاب ماده برای این قطعه عبارت اند از:

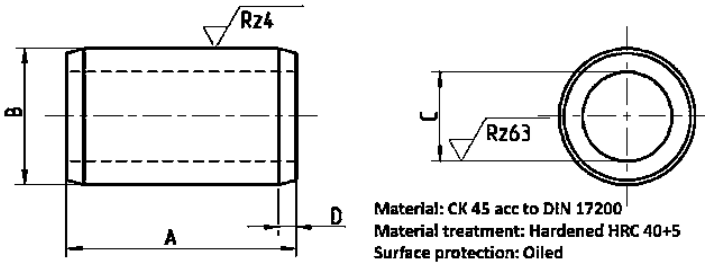
۱. مقاومت به خوردگی این همبسته‌ها در تمام محیط‌های طبیعی به علت وجود منیزیم

۲. توانایی روان شدن و مقاومت به ترک گرم به علت وجود سیلیسیم که خاصیت مذاب رسانی آلومینیوم را در قالب بهبود می‌بخشد. همچنین وجود ذرات سخت سیلیسیم در ریزساختار این همبسته، تراشکاری آن را مشکل می‌نماید.

۳. عناصر دیگر از قبیل آهن، مس، منیزیم، نیکل و روی برای دستیابی به خواص مکانیکی یا ریخته‌گری بهینه، به آن‌ها اضافه می‌شود.

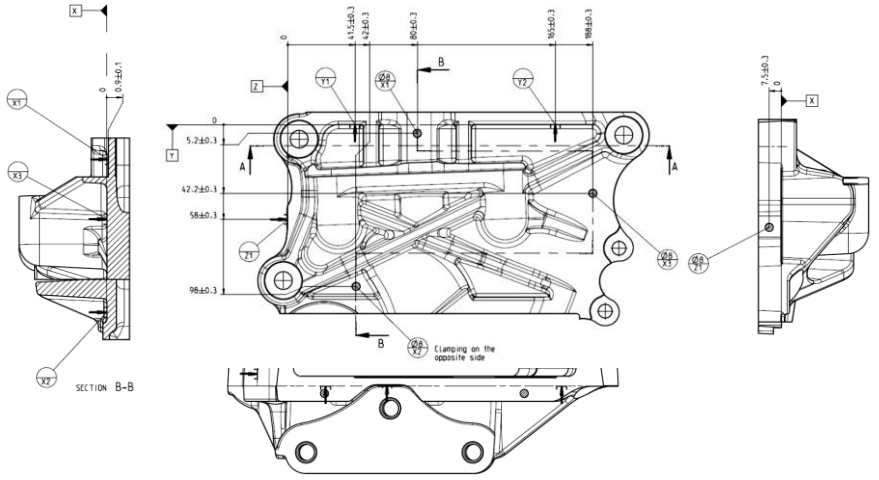
۴. با توجه به استانداردهای زیست محیطی نباید از برخی مواد مانند سرب، جیوه، کادمیوم و کروم شش ظرفیتی در ترکیب همبسته استفاده شود.

در روش تولید این قطعه با توجه به جنس آن و نیاز به عملیات حرارتی مورد نظر ریخته‌گری ثقلی در قالب فلزی در نظر گرفته شده است. *دلیل انتخاب ریخته‌گری در قالب فلزی، سرعت فرآیند برای تولید و قیمت مناسب‌تر آن در تولید انبوه است. جنس بکار رفته در خارهای هم مرکز کننده و فاصله اندازها فولاد CK45 است که سختی آن با عملیات حرارتی به ۴۰ راکول سی خواهد رسید.* شکل ۴-۱۲۶، خارهای دسته موتور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲۶- خارهای دسته موتور

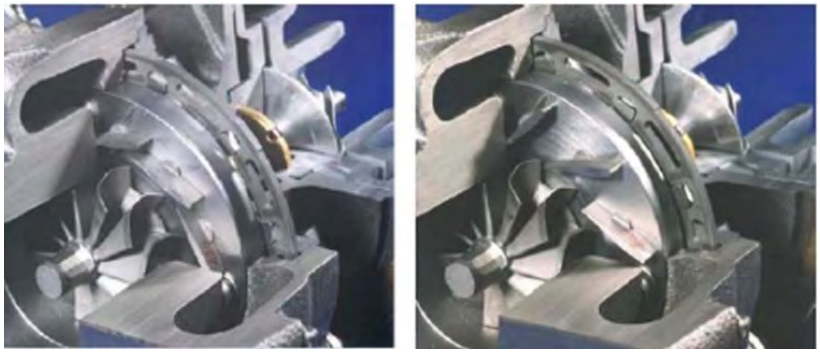
برای ابعاد و رواداشت‌های هندسی قطعات می‌توان به نقشه‌های آن‌ها رجوع کرد. برخی از نماهای نقشه دو بعدی و موقعیت دهی آن‌ها برای تراشکاری در ادامه قابل مشاهده است. در شکل ۴-۱۲۷، نقشه دو بعدی برای موقعیت‌دهی تراشکاری دسته موتور جلو نشان داده شده است.



شکل ۴- ۱۲۷- نقشه دو بعدی برای موقعیت دهی تراشکاری دسته موتور جلو

پرخوران

پرخوران موتور دیزل سواری از نوع پرخوران هندسه متغیر[1] است. در این پرخوران، تغییر زاویهٔ پره‌ها در گردا باعث ایجاد اختلاف فشار و تغییر لختی حرکتی دود ورودی به پره‌های ثابت گردا می‌شود. از برتری‌های این نوع پرخوران، کاهش تأخیر در مدار قرار گرفتن پرخوران و افزایش نسبت فشار است. شکل ۴-۱۲۸، پرخوران هندسه متغیر را نشان می‌دهد.

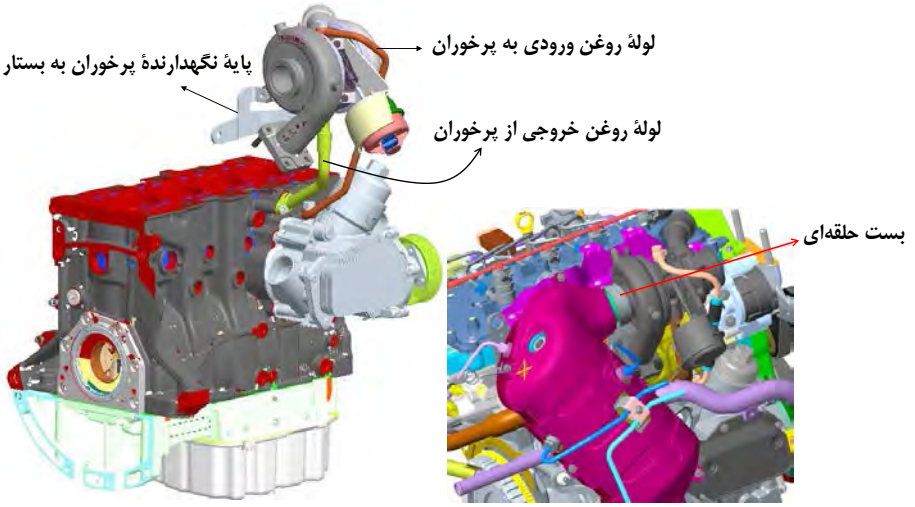


شکل ۴-۱۲۸- پرخوران هندسه متغیر

روغن ورودی به پرخوران از پودمان خنک‌کاری روغن[2] است که دلیل آن، رساندن روغن کاملاً پاک به پرخوران برای حفاظت از یاتاقان‌های محور پرخوران است. روغن خروجی از پرخوران به بدنهٔ موتور انتقال می‌یابد. اتصالات لولهٔ روغن ورودی از نوع پیچ سوراخ دار[3] است و اتصال لولهٔ خروجی روغن از نوع اتصال دهنه[4] است. برای کاهش لرزش، پرخوران با یک نگهدارندهٔ فلزی به بستار متصل شده است. اتصال پرخوران به راهگاه خروجی با چهار عدد پیچ stud M۸ است، در این اتصال از آب بند استفاده نمی‌شود که دلیل آن سطح اتصال مناسب و پُر شدن این ناحیه با دوده و در نتیجه حذف نشتی بدون نیاز به قطعهٔ آب‌بند است.

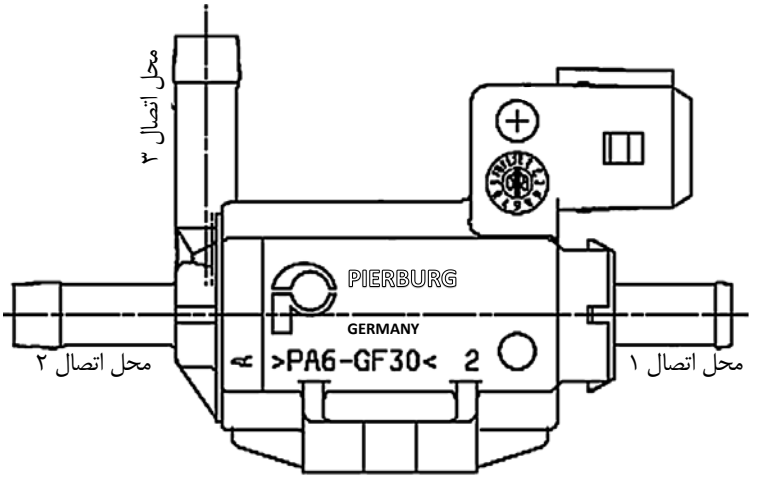
خروجی گردا به لولهٔ دود و واکنشگر شیمیایی با یک اتصال V CLAMP انجام می‌گیرد. در این اتصال از یک آب بند فلزی نیز استفاده شده است. در این اتصال چون یک قطعهٔ فلزی به یک قطعهٔ چدنی متصل است، وجود آب‌بند الزامی است. شکل ۴-۱۲۹، اتصالات پرخوران را نشان می‌دهد.

[1] Variable Geometry Turbocharger (VGT)
[2] Oil module
[3] Banjo *bolt*
[4] *Flange*



شکل ۴- ۱۲۹- اتصالات پرخوران

خلأ مورد نیاز برای عملگر پرخوران با تلمبهٔ خلأ و پایش مقدار آن با یک شیر *آهنربایی* انجام می‌شود. این شیر تنظیم مقدار خلأ مورد نیاز عملگر را انجام می‌دهد. شکل ۴-۱۳۰، شیر آهنربایی[1] را نشان می‌دهد.



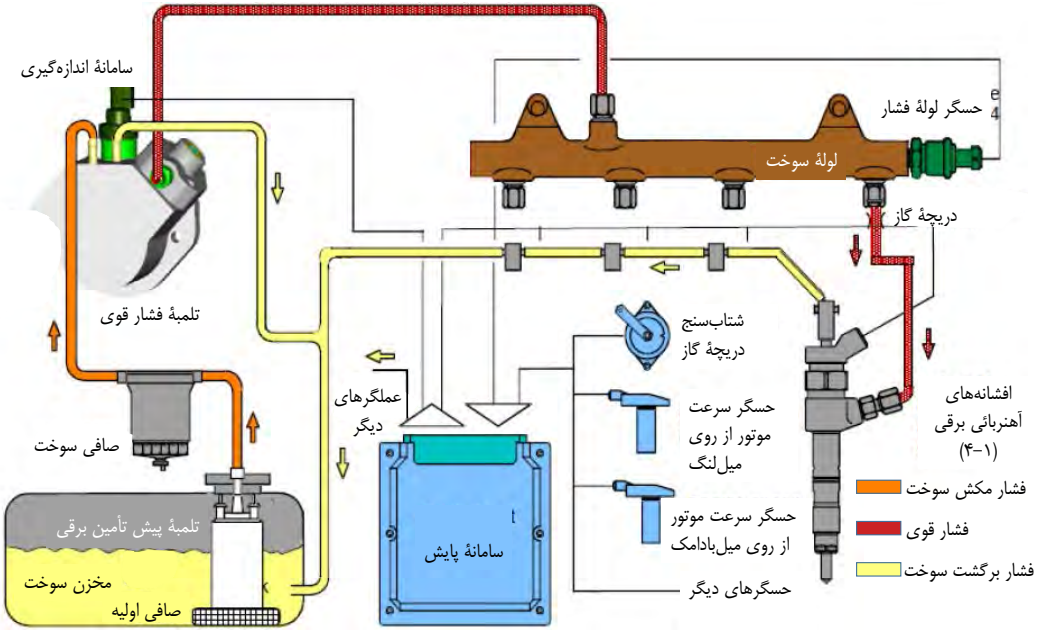
شکل ۴-۱۳۰- *تلمبهٔ خلأ* و شیر آهنربایی

[1] Selonieid valve

سامانهٔ سوخت‌رسانی

یکی از علل موفقیت استفاده از موتور دیزل بر روی خودروهای سواری، به انتخاب صحیح در طراحی سامانهٔ سوخت‌رسانی برمی‌گردد. افزایش فشار سوخت تا بیش از ۱۶۰۰ بار در سامانه‌های جدید سوخت‌رسانی این امکان را برای این نوع از خودروها ایجاد می‌کند تا از قابلیت‌های بهبود فرآیند احتراق که منجر به کاهش آلودگی، ارتعاش و صدا و مصرف سوخت می‌شود، برخوردار شوند. مهمترین این تغییرات نسبت به موتورهای دیزل نسل قبلی استفاده از سامانهٔ چندراههٔ مشترک[1] و تغییر در وظایف تلمبهٔ تزریق سوخت است.

در این سامانه بر خلاف سامانه‌های نسل قبل، زمان‌بندی ارسال سوخت به عهدهٔ تلمبهٔ سوخت نیست و با سامانهٔ مدیریت موتور انجام می‌شود. همچنین چگونگی پاشش سوخت که در هر چرخهٔ موتور در کسری از ثانیه صورت می‌گیرد، خود دارای مراحلی است. این مراحل با افشانه‌های دارای سیم‌پیچ آهنربایی پایش می‌شوند. در شکل ۴-۱۳۱، طرح سامانهٔ سوخت‌رسانی دیده می‌شود و در جدول ۴-۲۳، فهرست قطعات ذکر شده است.



شکل ۴-۱۳۱- طرح سامانهٔ پاشش سوخت

[1] Common *rail*

جدول ۴-۲۳- فهرست قطعات سامانهٔ سوخت‌رسانی

تلمبهٔ سوخت:	*Injector pump*	*لوله‌های سوخت فشار قوی:*	*High pressure lines*	
افشانهٔ سوخت:	*injector*	*حسگر فشار چندراههٔ سوخت:*	*Rail pressure sensor*	
چندراههٔ سوخت:	*Fuel Rail*	*شمع گرمکن:*	*Glow Plug*	
نگهدارندهٔ افشانهٔ سوخت:	*Injector holder*	*صافی سوخت:*	*Fuel Filter*	

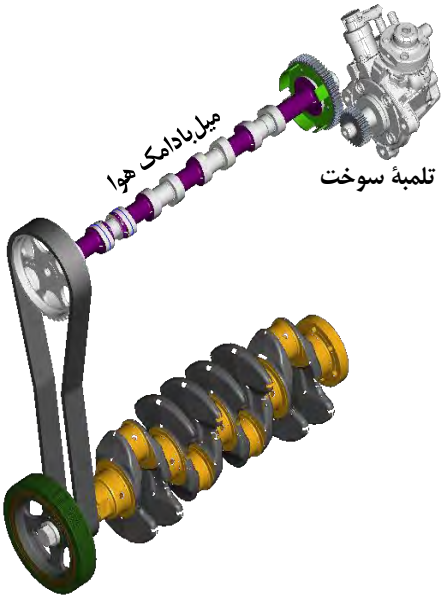
امتیازهای استفاده از سامانهٔ چندراههٔ مشترک

۱. فشار قوی این تزریق موجب ارسال سوخت به‌صورتی همگن به دور از نوسان فشار سامانه‌های نسل قبلی و ریزتر شدن واحدهای سوخت تزریق شده می‌شود. ریزتر شدن قطره‌های سوخت موجب تعدد ملکول‌های فعال در احتراق می‌شود. افزایش تعداد ملکول‌های فعال در فضای احتراق، موجب دسترسی آسان‌تر و سریع‌تر ملکول‌های هیدروکربن و اکسیژن به یکدیگر می‌شود. این دسترسی موجب شکست تعداد بیشتری از پیوندهای کربن–هیدروژن در فاصلهٔ زمانی کوتاه‌تری می‌شود و در نتیجه نیروی تولید شده به دلیل این پدیده، به مقدار قابل توجهی بزرگتر می‌شود.

۲. در سامانهٔ چندراههٔ مشترک امکان تزریق سوخت به‌صورت چند مرحله‌ای برای کاهش صدای احتراق و کیفیت آن وجود دارد.

۳. در این سامانه می‌توان زمان شروع تزریق را تنظیم کرد.

به دلایل توضیح داده شده، این سامانه تأثیر بسزایی نیز در تأمین اهداف آلودگی دارد. در شکل ۴-۱۳۲، نمایی از این سامانه را می‌توان دید.



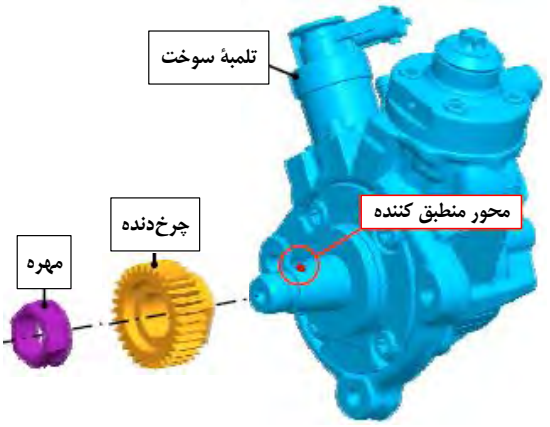
شکل ۴-۱۳۲- نمایی از سامانهٔ پاشش سوخت

تلمبهٔ سوخت

تلمبه‌های سوخت طراحی شده قبلی دارای سه سنبه بودند ولی نمونه طراحی شده با یک سنبه که در این موتور بکار رفته است دارای اصطکاک کمتری است، لذا گشتاور اصطکاکی این تلمبه‌ها کوچکتر است. این نمونه قادر خواهد بود مقدار بیشینهٔ فشار را تا ۱۶۰۰ بار تأمین نماید. این تلمبه بر روی بستار نصب می‌شود و با میل‌بادامک ورودی می‌چرخد. این تلمبه قادر خواهد بود در محدودهٔ دمایی ۱۲۰ تا ۴۰- درجه سانتیگراد کار کند. همچنین توجه به این نکته مهم است که در زمان نصب، سمبهٔ تلمبهٔ سوخت و سمبهٔ موتور در نقطهٔ مکث بالا قرار داشته باشند. در شکل ۴-۱۳۳، چگونگی اتصال تلمبهٔ سوخت به سامانهٔ زمان‌بندی نشان داده شده است. جدول ۴-۲۴، ویژگی‌های سامانهٔ سوخت‌رسانی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲۴- ویژگی‌های سامانهٔ سوخت‌رسانی

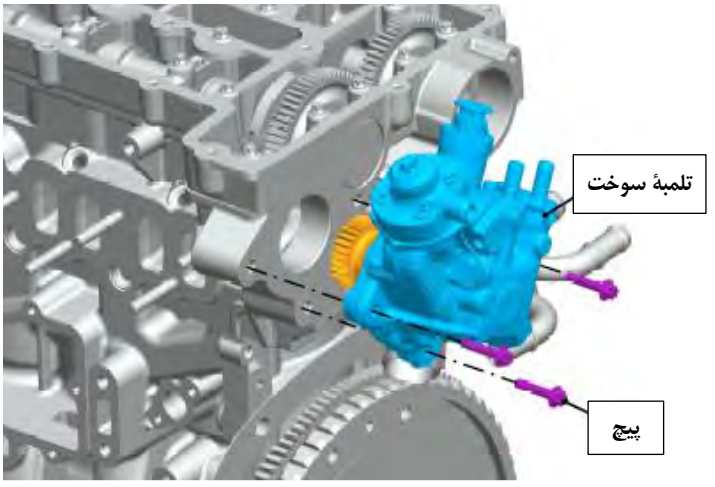
سازنده:	شرکت بوش	نسبت رانش چندراههٔ مشترک:	۱ به ۱ دور موتور
فشار چندراههٔ مشترک:	۱۶۰۰ بار	واحد مدیریت موتور:	بوش EDC۱۷
موقعیت چندراههٔ مشترک:	در پشت بستار	چندراهه:	آهنگری شده، روی بستار



شکل ۴-۱۳۳- چگونگی اتصال تلمبهٔ سوخت به سامانهٔ زمان‌بندی

جانمایی نصب تلمبهٔ سوخت

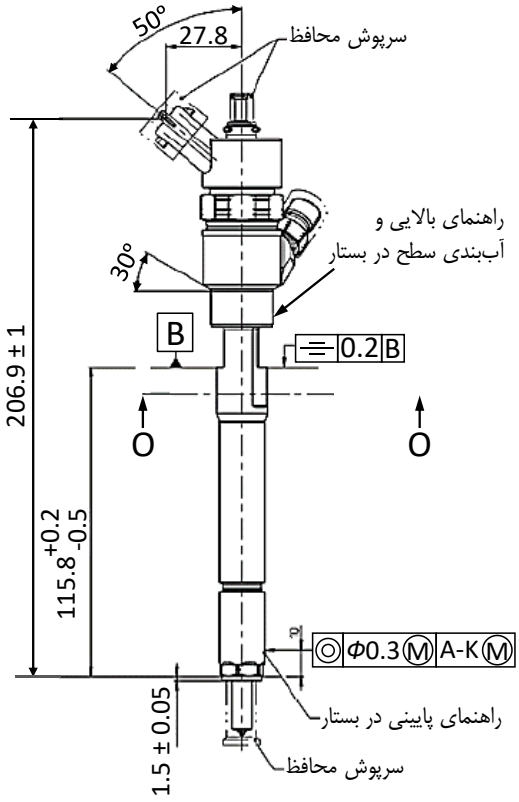
تلمبهٔ سوخت پس از نصب چرخ دندهٔ اتصال به میل‌بادامک بر روی بستار سمت ورودی هوا با رعایت زمان‌بندی چرخ دنده نسبت به زمان‌بندی اصلی موتور انجام و نصب می‌شود. در شکل ۴-۱۳۴، چگونگی جانمایی تلمبهٔ سوخت نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳۴- چگونگی جانمایی تلمبهٔ سوخت

افشانهٔ سوخت

تزریق سوخت در این سامانه به صورت مستقیم انجام می‌شود. در شکل ۴–۱۳۵، ابعاد کلی این افشانه دیده می‌شود.

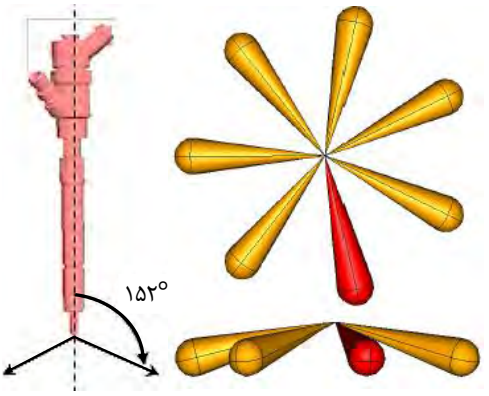


شکل ۴–۱۳۵– افشانهٔ سوخت

این افشانه‌ها از نوع سیم‌پیچ آهنربایی است و در مرحلهٔ توسعهٔ احتراق از افشانه‌های با تعداد سوراخ‌های متفاوت و همچنین زوایای پاشش مختلف مطابق جدول ۴–۲۵ استفاده شده است که در نهایت افشانهٔ ۸ سوراخ بهترین شرایط احتراقی را فراهم نمود. شکل ۴–۱۳۶، زاویهٔ پاشش سوخت را نشان می‌دهد. در این سامانه، افشانه‌ها به صورت عمودی در مرکز هر استوانه در بستار قرار گرفته‌اند. این امر به این منظور است که بتوان پاشش سوخت را به صورت یکنواخت در فضای محفظهٔ احتراق ایجاد کرد. در این طرح‌ها، زاویهٔ پاشش سوخت ۱۵۲ و ۱۴۸ درجه در نظر گرفته شده بود که در نهایت افشانهٔ ۸ سوراخ با زاویهٔ ۱۵۲ درجه تأیید شد. شکل ۴–۱۳۷، جهت جریان گردبادی را نشان می‌دهد.

جدول ۴–۲۵– جدول انتخاب الگوی پاشش[1]

شمارهٔ الگوی پاشش سوخت	شار (میلی‌لیتر در دقیقه) × زاویهٔ پاشش × تعداد سوراخ
۱	۶ × ۱۵۲° × ۷۵۰
۲	۷ × ۱۵۲° × ۶۵۰
۳	۷ × ۱۴۸° × ۷۵۰
۴	۷ × ۱۵۲° × ۷۵۰
۵	۸ × ۱۵۲° × ۷۵۰



شکل ۴–۱۳۶– زاویهٔ پاشش سوخت

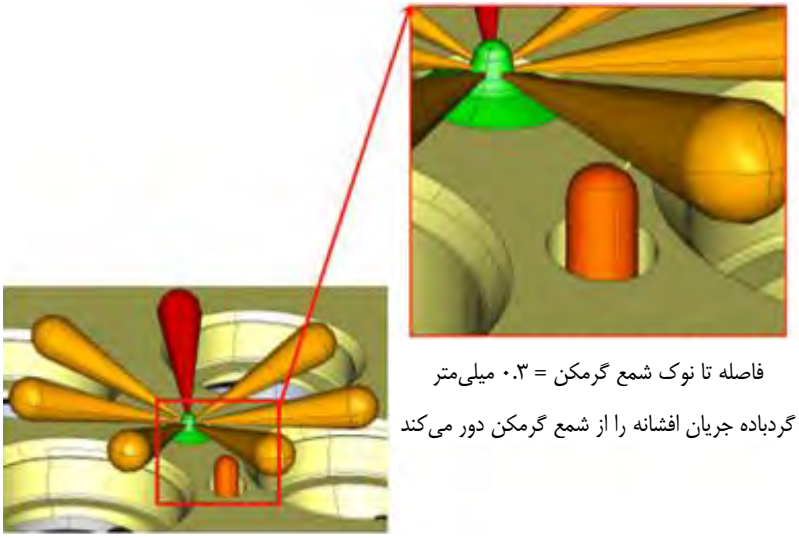
[1] Spray pattern

شکل ۴-۱۳۷- جهت جریان گردبادی

علاوه بر تعداد سوراخ‌های افشانه، یکی از نکات مهمی که در کیفیت احتراق مؤثر است، طراحی موقعیت شمع حرارتی است. طراحی باید به گونه‌ای که جهت جریان گردبادی باعث دور شدن فوارهٔ سوخت از شمع گرم‌کن شود.

علاوه بر این، عدم تقسیم‌بندی مناسب و برخورد مسیر جریان پاشش به شمع گرمکن، همگن بودن مخلوط را از نظر دمایی و ایجاد آلاینده‌ها (بویژه دوده) تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی بیش از حد زیاد شدن این فاصله، حالت راه‌اندازی سرد[1] موتور را دشوار می‌کند. لذا فاصلهٔ مورد نظر را باید پیش‌بینی کرد. این فاصله در عمر شمع گرمکن نیز مؤثر است. در طراحی، این فاصله ۰٫۳ میلی‌متر با در نظرگرفتن ۱۵ درجه زاویهٔ پاشش است. شکل ۴-۱۳۸، موقعیت شمع گرم‌کن را نشان می‌دهد.

[1] Cold start



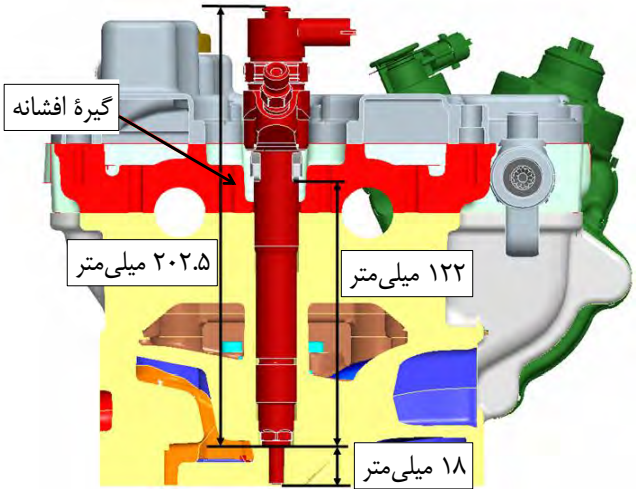
فاصله تا نوک شمع گرمکن = ۰.۳ میلی‌متر

گردباده جریان افشانه را از شمع گرمکن دور می‌کند

شکل ۴-۱۳۸- موقعیت شمع گرم‌کن

جانمایی نصب افشانه

در شکل‌های ۴-۱۳۹ و ۴-۱۴۰، چگونگی نصب و همبندی افشانه بر روی بستار دیده می‌شود:



شکل ۴-۱۳۹- چگونگی قرارگیری افشانه در داخل بستار

شکل ۴-۱۴۰- چگونگی بستن افشانه‌ها روی بستار

زمان‌بندی پاشش سوخت

برای دستیابی به بهترین وضعیت تولید توان و به طور همزمان رعایت استانداردهای آلودگی و صوتی، طراحی موتور در شرایط بارگذاری‌های مختلف بار و دور به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده است که پاشش سوخت در یک بار تزریق صورت گیرد. به عنوان مثال، جدول‌های ۴-۲۶ و ۴-۲۷، بیانگر دو رویهٔ ارسال سوخت به محفظهٔ احتراق است.

در گام‌های اول و دوم، ارسال سوخت به منظور شروع احتراق و کاهش صدای موتور اند و در گام بعد (مرحلهٔ پاشش اصلی[1])، احتراق اصلی به طور متصل آغاز می‌شود و افزایش فشار با شیب ملایم‌تر تکمیل می‌شود. در گام پایانی، *پسا* پاشش[2] برای سوختن هیدروکربن‌های باقیمانده تزریق می‌شود. شایان ذکر است همان طوری که در جدول مشخص شده، بر حسب دور موتور ممکن است تزریق در پنج یا دو یا سه مرحله صورت گیرد. به عنوان مثال دو رویهٔ پاشش سوخت برای موتورهای اولیه آزمایش و کیفیت احتراق آن‌ها بررسی شد. شکل ۴-۱۴۱، چگونگی زمان‌بندی پاشش سوخت را نشان می‌دهد. جدول‌های ۴-۲۶ و ۴-۲۷ زمان‌بندی پاشش سوخت را نشان می‌دهند.

[1] Main injection
[2] *Post* injection

شکل ۴-۱۴۱- چگونگی زمان‌بندی پاشش سوخت

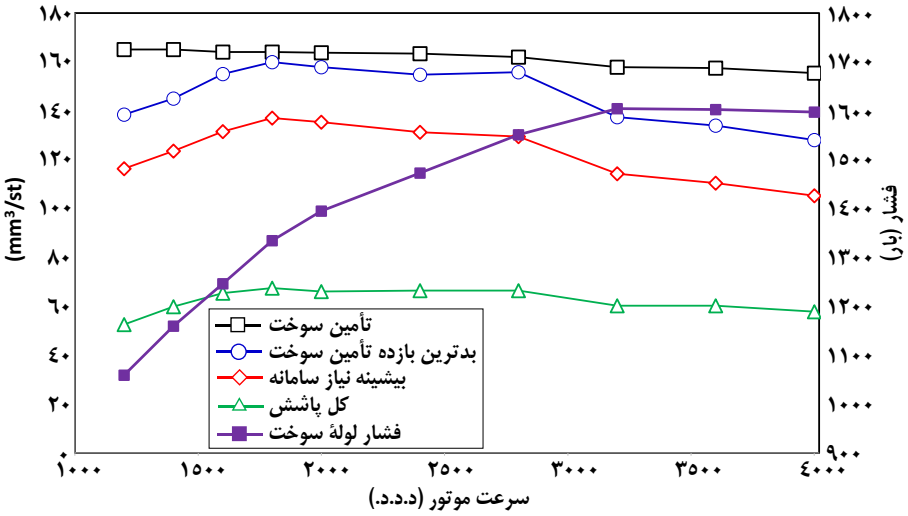
جدول ۴-۲۶- زمان‌بندی پاشش سوخت (متغیر ۱)

فشار مسیر	بار	۱۰۷۰	۱۲۶۰	۱۴۵۰	۱۵۴۰	۱۶۰۰					
دور موتور	د.د.د.	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۴۰۰	۲۸۰۰	۳۲۰۰	۳۶۰۰	۴۰۰۰
پیش پاشش نخست	st/mm^3	۴۲	۴۹	۵۶	۵۸	۵۸	۵۸	۵۷	۵۶	۵۶	۵۴
پیش پاشش دوم		۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵
پاشش اصلی		۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
پس پاشش نخست		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پس پاشش دوم		۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
پس پاشش سوم		۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲

جدول ۴-۲۷- زمان‌بندی پاشش سوخت (متغیر ۲)

فشار مسیر	بار	۱۰۷۰	۱۲۶۰	۱۴۵۰	۱۵۴۰	۱۶۰۰					
دور موتور	د.د.د.	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۴۰۰	۲۸۰۰	۳۲۰۰	۳۶۰۰	۴۰۰۰
پیش پاشش نخست	st/mm^3	۳۶	۴۲.۷	۴۹.۴	۵۱.۱	۵۰.۹	۵۰.۳	۴۸.۷	۴۷.۱	۴۶.۶	۴۴
پیش پاشش دوم		۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵
پاشش اصلی		۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
پس پاشش نخست		۶	۶.۳	۶.۶	۶.۹	۷.۱	۷.۷	۸.۳	۸.۹	۹.۴	۱۰
پس پاشش دوم		۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
پس پاشش سوم		۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲

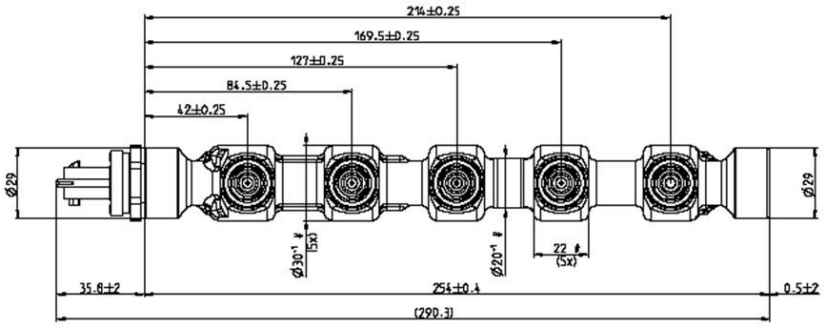
همانطور که در شکل ۴-۱۴۲ دیده می‌شود بیشینهٔ نیاز سامانه کمتر از بدترین بازده تأمین سوخت است لذا با توجه به بیشترین جریان سوخت تحویلی با تلمبهٔ سوخت، این تلمبه می‌تواند با ضریب اطمینان مناسب، سوخت مورد نیاز را برای پاشش تأمین نماید.



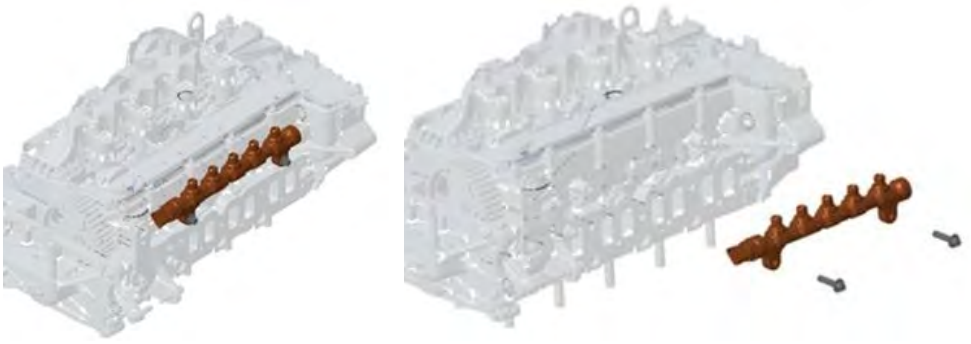
شکل ۴-۱۴۲- نتایج شبیه‌سازی سوخت ارسالی

لولهٔ چندراههٔ سوخت

لولهٔ چندراههٔ سوخت یکی دیگر از قطعاتی است که در این سامانه استفاده می‌شود. این قطعه با دو پیچ در سمت ورودی و بر روی بستار نصب می‌شود. حجم چندراههٔ سوخت ۱۸ سانتیمتر مکعب و قطر داخلی آن ۱۰ میلی‌متر است. این قطعه نیز برای کارکرد در دمایی بین ۱۴۰ تا ۴۰- درجهٔ سانتیگراد طراحی شده است. حسگر فشار نیز در انتهای آن قرار گرفته است. فشار نامی چندراههٔ سوخت ۱۶۰۰ بار در نظرگرفته شده است و روش ساخت قطعه چندراههٔ سوخت آهنگری است. مهمترین وظیفهٔ این قطعه تحویل سوخت تحت فشار قوی به افشانهٔ سوخت است. یعنی افشانه‌ها می‌توانند به طور مشترک و با فشاری همسان از آن تغذیه نمایند. شکل ۴-۱۴۳، لولهٔ چندراههٔ سوخت را نشان می‌دهد. همچنین چگونگی قرارگیری چندراهه در بستار در شکل ۴-۱۴۴، نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴۳- لولهٔ چندراههٔ سوخت



شکل ۴-۱۴۴- چگونگی قرارگیری چندراهه در بستار

بست افشانهٔ سوخت

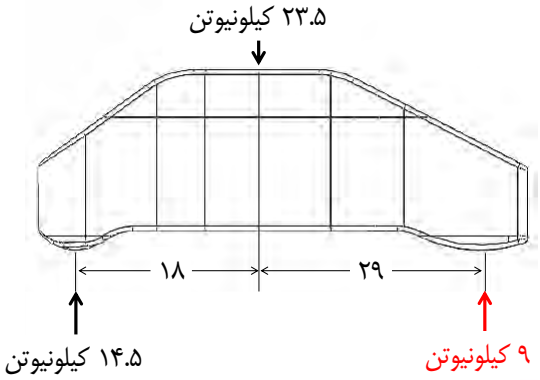
وظایف این قطعه عبارت است از:

۱. انتقال نیروی نگهدارنده به افشانه

۲. ثابت ماندن افشانه بدون اعمال نیروی خمشی با رعایت رواداشت‌های ابعادی بین افشانه و سوراخ قرارگیری در بستار

در بررسی نیروهای اعمال شده به دو سوی بست افشانه با توجه به نیروی احتراق، مشخص می‌شود مقدار نیروی لازم برای نگهداشتن افشانه ۹ کیلونیوتن است. مطابق شکل ۴-۱۴۵، نیروی پیچ با توجه به

گشتاور اعمالی ۲۳٫۵ کیلونیوتن است و لذا واکنش این نیرو در تکیه گاه ۱۴٫۵ کیلونیوتن خواهد بود. جدول ۴-۲۸، ویژگی‌های مواد بست افشانهٔ سوخت را نشان می‌دهد.

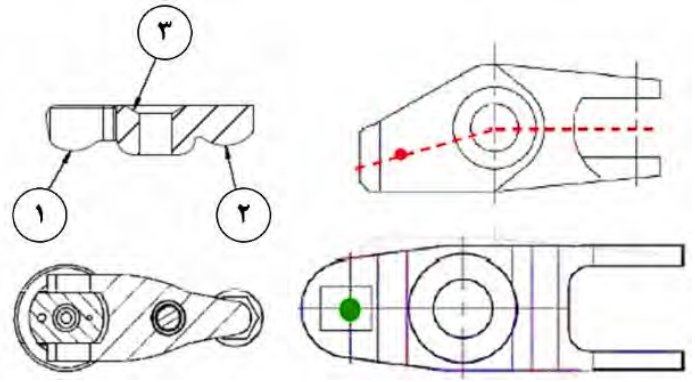


شکل ۴-۱۴۵- نمای نگهدارندهٔ افشانهٔ سوخت

جدول ۴-۲۸- ویژگی‌های مواد بست افشانهٔ سوخت

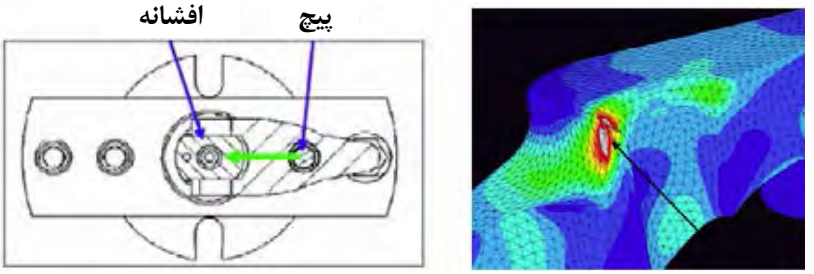
ویژگی	شرح	ویژگی	شرح
جنس	GX۳۷CrMoV ۱-۵	کمینه استحکام تسلیم با ۰٫۲٪ Rp	۸۰۰ مگاپاسکال
ضریب یانگ	۲۱۰ گیگاپاسکال	استحکام کششی	۱۰۰۰ مگاپاسکال
ضریب پواسون	۰٫۳	روش تولید	ریخته‌گری
سختی	۴۰ت ۳۲ راکول سی		

بیشینهٔ تنش قابل تحمل برای پیچ باید بزرگتر از ۲۳٫۵ کیلونیوتن باشد که پیچ M۸ با سطح ۸٫۸ یا ۱۰٫۹ نیاز طراحی را برآورده می‌کند. محدودهٔ تماس نگهدارنده با افشانه باید یک خط باشد. لذا در بستار یک نقطهٔ تماسی با گوی ایجاد شده است تا از اعمال نیروهای عرضی که باعث خمش و کمانش می‌شوند، جلوگیری شود. در ضمن چگونگی طراحی باید بگونه‌ای باشد که عکس العمل نیروها در عرض متقارن باشند. شکل ۴-۱۴۶، نمای نگهدارندهٔ افشانهٔ سوخت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴۶- نمای نگهدارندهٔ افشانهٔ سوخت

همچنین لازم است تا محل قرارگیری پیچ محکم‌کننده، تا حد امکان نزدیک افشانه باشد تا از اعمال نیروهای تنشی قوی که باعث ایجاد تمرکز تنش بیش از حد مجاز می‌شود، جلوگیری شود. شکل ۴-۱۴۷، تنش اعمالی بر روی نگهدارنده را نشان می‌دهد.

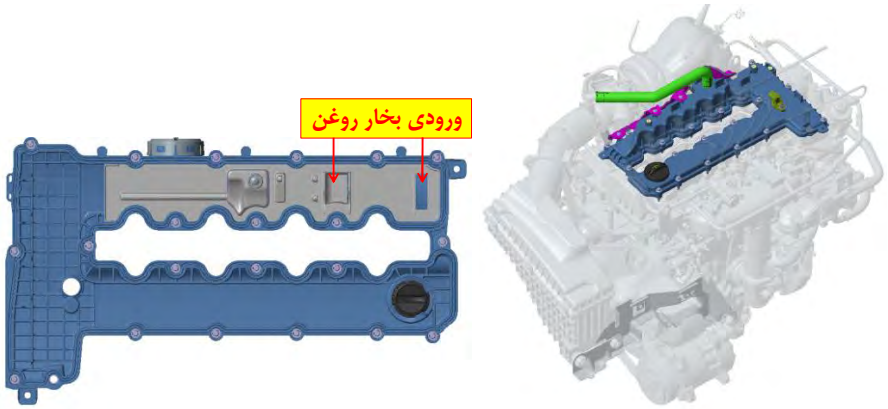


شکل ۴-۱۴۷- تنش اعمالی بر روی نگهدارنده

سامانهٔ تهویهٔ بخار روغن

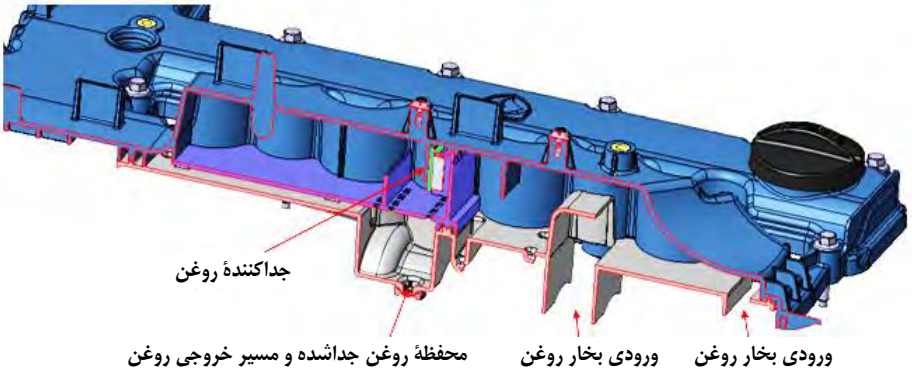
سامانهٔ تهویهٔ محفظهٔ لنگ[1] در موتور دیزل در قسمت درپوش دریچه‌ها قرار گرفته است. این سامانه دارای دو ورودی بخار روغن است. دلیل ایجاد دو ورودی با ابعاد مختلف، حفظ سرعت بخار روغن در ورودی جداکننده‌ها است. شکل ۴-۱۴۸، سامانهٔ تهویهٔ بخار روغن را نشان می‌دهد.

[1] Crankcase Ventilation System (CVS)



شکل ۴-۱۴۸- سامانهٔ تهویهٔ بخار روغن

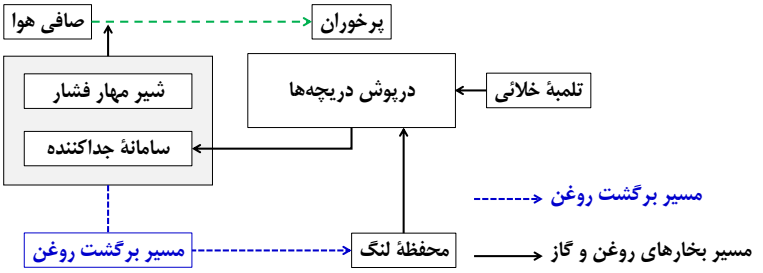
در مرحلهٔ دوم، جدا کردن تمام قطره‌های روغن حتی قطره‌های خیلی ریز است که این کار با سامانهٔ جداکننده انجام می‌شود. در واقع هم بخار جمع شده در زیر درپوش دریچه‌ها و همچنین بخار محفظهٔ لنگ وارد این سامانه می‌شوند. به علت وجود جداکنندهٔ پشمی[1]، در این مرحله تمامی قطرات گرفته شده و از محفظهٔ برگشت به درون محفظهٔ لنگ انتقال می‌یابد. بخاری که ذرات روغن آن تا حد امکان جدا شده است، به سمت پرخوران و هوای ورودی می‌رود و دوباره وارد موتور می‌شود. این فرآیند نیز با شیر تهویهٔ بخار محفظهٔ لنگ، پایش می‌شود. در شکل‌های ۴-۱۴۹ تا ۴-۱۵۱، می‌توان نماهایی از این سامانه را به همراه اشکال قطعات استفاده شده، مشاهده کرد.



شکل ۴-۱۴۹- سامانهٔ تهویهٔ بخار روغن

[1] *Fleece separator*

شکل ۴-۱۵۰- سامانهٔ مهار فشار محفظهٔ لنگ



شکل ۴-۱۵۱- نمودار سامانهٔ تهویهٔ بخار روغن

بازخورانی دود (گازهای خروجی)

به منظور دستیابی به استاندارد اروپا ۵ نیاز است تا از سامانهٔ برگشت گازهای خروجی در موتور استفاده شود. این سامانه متشکل از این قطعات است:

۱. پودمان بازگشت گاز همراه با

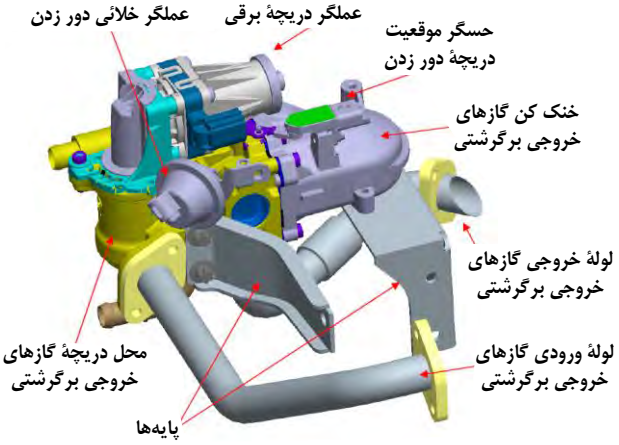
- دریچهٔ سامانهٔ بازخورانی دود همراه با حسگر موقعیت
- خنک‌کن گازها
- مسیر میانبر

۲. لولهٔ سامانهٔ بازخورانی دود از چندراههٔ دود

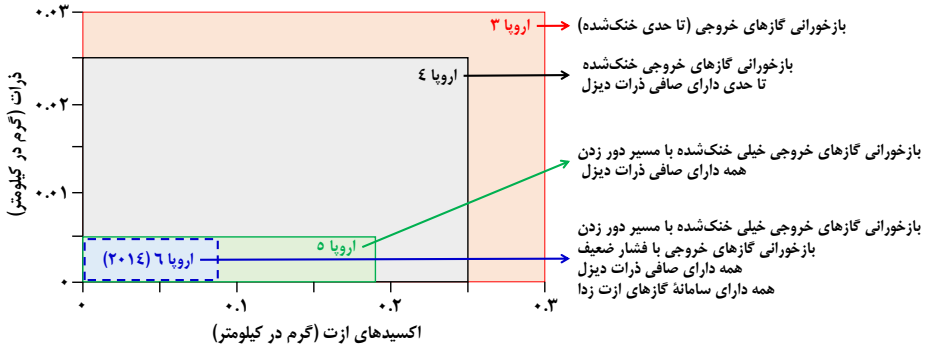
۳. لولهٔ سامانهٔ بازخورانی دود به سمت چندراههٔ هوا

۴. نگهدارنده‌های سامانهٔ بازخورانی دود

شکل ۴-۱۵۲، سامانهٔ بازخورانی گازها را با جزئیات قطعات تشکیل‌دهندهٔ آن نشان می‌دهد. همچنین نمودار سامانهٔ بازخورانی دود در موتور دیزل برای دستیابی به استاندارد اروپایی ۵ در شکل ۴-۱۵۳، نشان داده شده است.

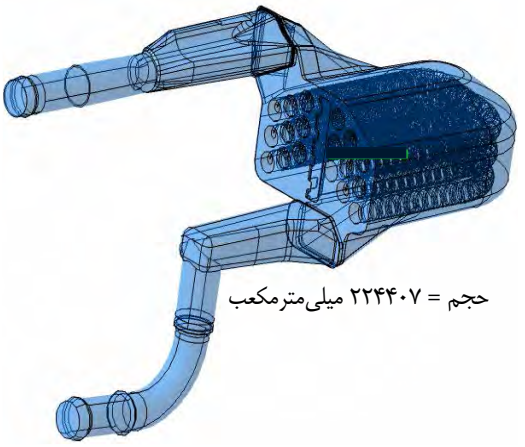


شکل ۴-۱۵۲- سامانهٔ بازخورانی گازها

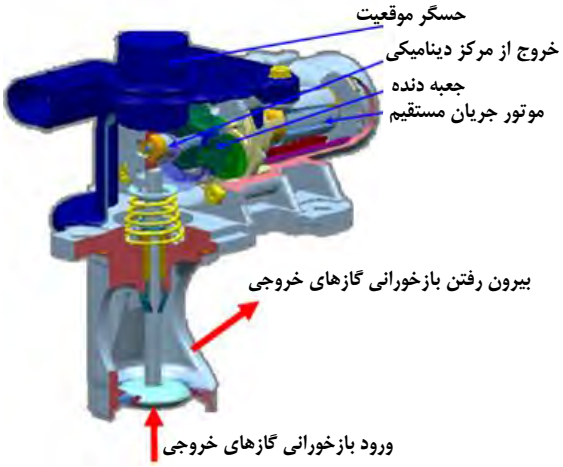


شکل ۴-۱۵۳- نمودار سامانهٔ بازخورانی گازها در موتور دیزل برای دستیابی به استاندارد اروپایی ۵

به منظور دستیابی به استاندارد اروپای ۵ نیاز است تا مقدار آلایندهٔ اکسید ازت که در اثر دمای داغ فرآیند احتراق به وجود می‌آید، کاهش یابد. برای این منظور از سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی استفاده می‌شود. بسته به شرایط مختلف کارکرد موتور، فرمان فعال‌سازی این سامانه از واحد مدیریت موتور صادر می‌شود که این فرمان باعث تحریک دریچهٔ مهارکننده وضعیت می‌شود. برای دستیابی به استاندارد آلایندگی اروپا ۵، استفاده از سامانهٔ خنک‌کن دود خروجی به همراه مسیر میانبر الزامی است. شکل ۴-۱۵۴، شکل و حجم مبدل حرارتی سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی را نشان می‌دهد. همچنین دریچهٔ تنظیم سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی در شکل ۴-۱۵۵، نشان داده شده است.



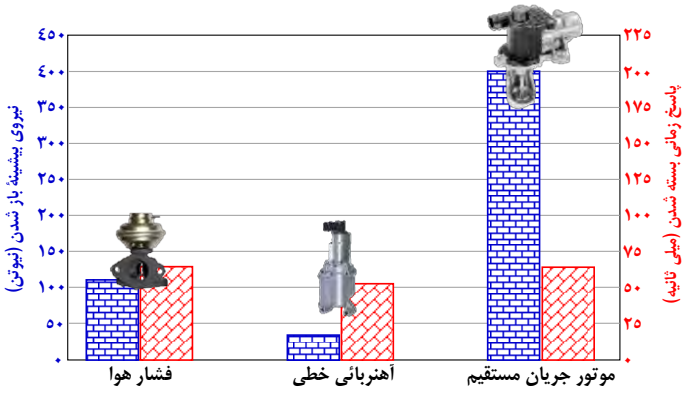
شکل ۴-۱۵۴- حجم مبدل حرارتی سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی



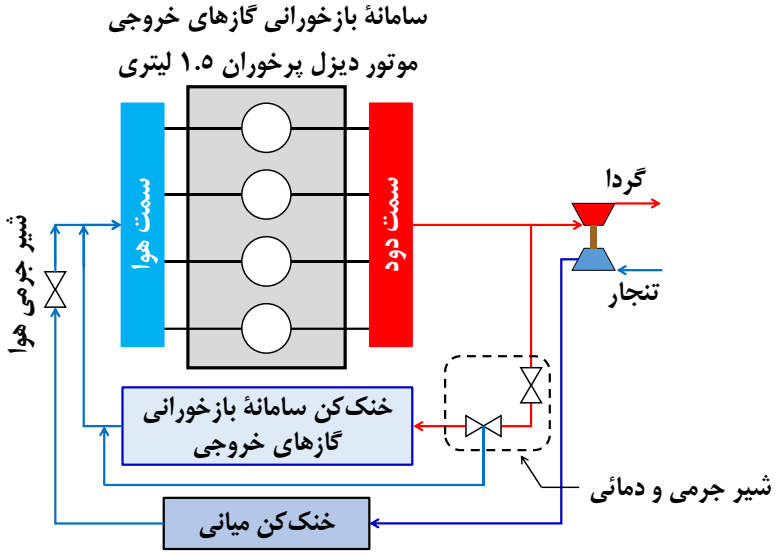
شکل ۴-۱۵۵- دریچهٔ تنظیم سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

با توجه به نمودار ارایه شده در شکل ۴-۱۵۶، مشاهده می‌شود که به طور کلی سه نوع دریچهٔ تنظیم‌کنندهٔ جریان دود وجود دارد: دریچه با تحریک هوایی[1]، دریچه با تحریک آهنربایی، دریچه با تحریک موتور جریان مستقیم دنده‌دار. در این میان نوع تحریک با موتور جریان مستقیم دنده‌دار، هم دارای نیروی بازکنندهٔ دریچهٔ قویتر و هم زمان پاسخ‌گویی کوتاهتر نسبت به موارد دیگر است، ضمن اینکه می‌توان ارتفاع بلند شدن دریچه را نیز تنظیم کرد. در موتور دیزل سواری از این نوع دریچه استفاده شده است. شکل ۴-۱۵۷، نمای سامانهٔ بازخورانی دود را نشان می‌دهد. در دورهای مختلف موتوری خاص، مقدار شار جرمی بازخورانی گازهای خروجی با توجه به فشار مؤثر متوسط ترمزی، دور موتور و شار جرمی هوا در جدول ۴-۲۹، قابل مشاهده است. برای موتور دیزل سواری این مقادیر پس از تنظیم شدن موتور استخراج می‌شود.

[1] Pneumatic



شکل ۴-۱۵۶- مقایسهٔ سازوکارهای دریچهٔ تنظیم سامانهٔ بازخورانی دود

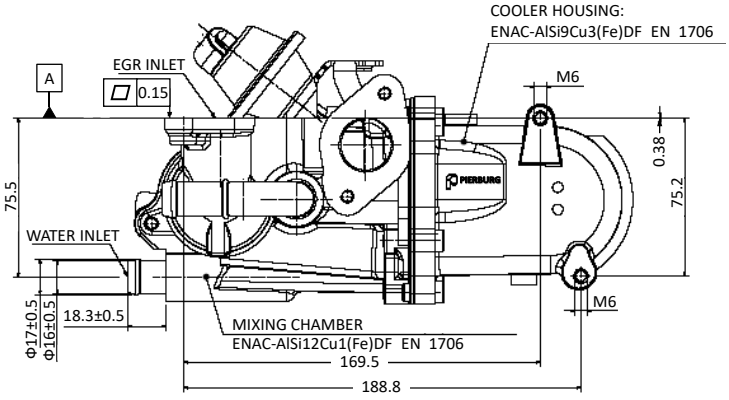


شکل ۴-۱۵۷- نمای سامانهٔ بازخورانی دود

جدول ۴–۲۹– نرخ بازخورانی گازهای خروجی

سرعت (rpm)	فشار مؤثر متوسط ترمزی (bar)	شار جرمی بازخورانی دود (kg/h)	سهم بازخورانی گازهای خروجی (٪)	دمای گاز ورودی به خنک‌کن (°C)	دمای خروجی از خنک‌کن (°C)	توان خنک‌کن (kW)
۱۶۳۰	۶٫۸۷	۲۵٫۵	۲۷	۴۳۰	۱۵۰	۲٫۳
۱۹۹۰	۷٫۴	۵۲٫۵	۳۵	۴۲۰	۱۴۵	۴٫۶
۲۹۵۰	۶٫۲	۶۴٫۵	۲۹	۵۰۰	۱۶۰	۷
۲۹۵۰	۹٫۵	۶۰	۳۰	۵۲۰	۱۶۵	۶٫۸

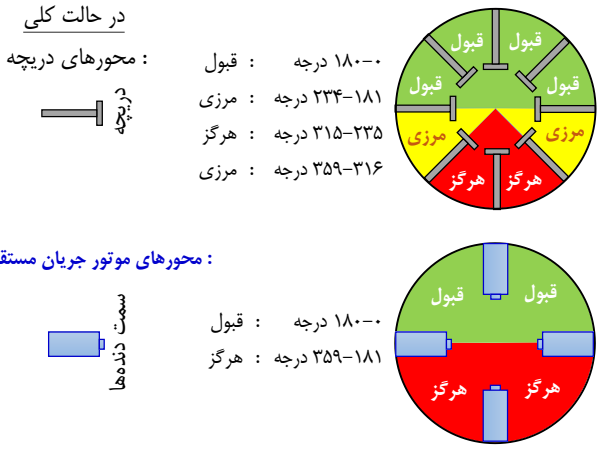
با توجه به حجم و ابعاد موتور و ویژگی‌های مولد حرارتی برقی گازهای خروجی، مبدل حرارتی مورد نیاز سامانه انتخاب شده است. این روش مبدل حرارتی از نوع آب خنک است و باعث کاهش حدود ۳۰۰–۲۰۰ درجه‌ای دمای گازهای خروجی موتور می‌شود. شکل ۴–۱۵۸، ابعاد سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی را نشان می‌دهد.



شکل ۴–۱۵۸– ابعاد سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

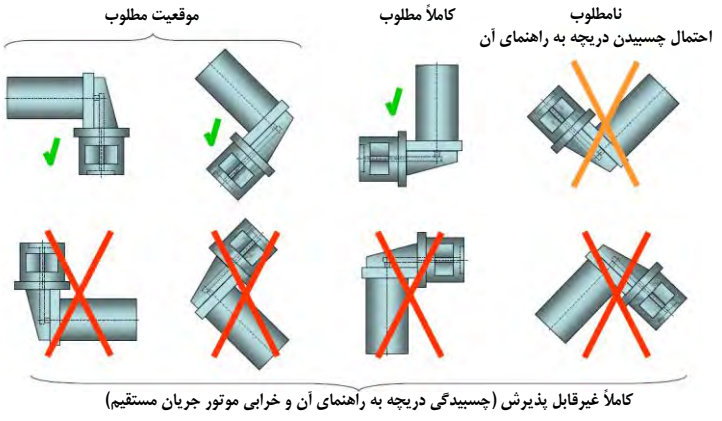
چگونگی جانمایی سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

مختصات مرکز ثقل سامانه به نحوی محاسبه شده است تا از لحاظ جانمایی و راستای قرارگیری آن و دریچهٔ تنظیم‌کننده برقی آن مطابق شکل ۴-۱۵۹ باشد.



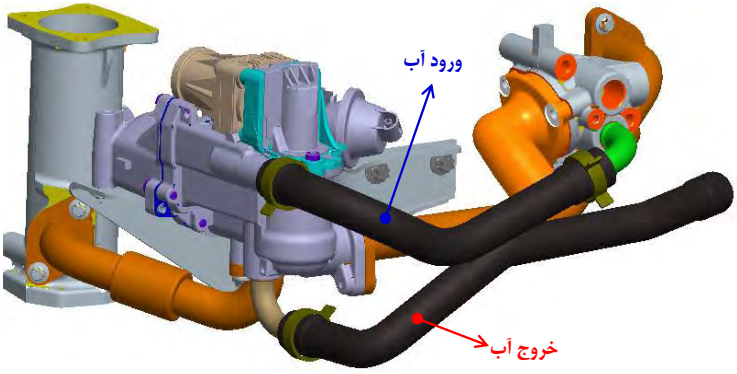
شکل ۴-۱۵۹- وضعیت قرارگیری دریچه و موتور جریان مستقیم به صورت جداگانه

در شکل ۴-۱۶۰، وضعیت قراگیری مجموعهٔ دریچه و موتور جریان مستقیم دیده می‌شود. در وضعیت‌هایی که به عنوان نامطلوب ذکر شده است، احتمال گیر کردن دریچه با راهنما وجود دارد.

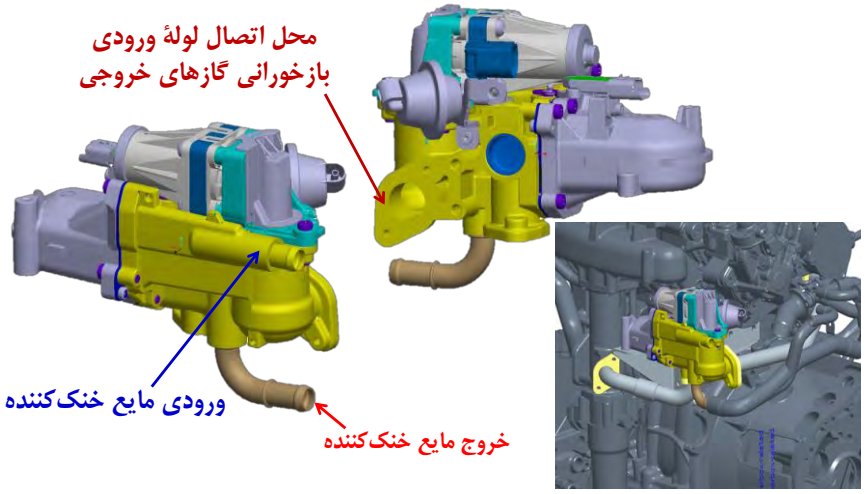


شکل ۴-۱۶۰- وضعیت قرارگیری دریچه و موتور جریان مستقیم به صورت هم‌بندی شده

مایع خنک‌کننده از پوستهٔ دمابان به سمت این سامانه حرکت می‌کند و بعد از عبور از مبدل حرارتی داخل سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی، به محل ورودی آب در تلمبهٔ آب برمی‌گردد. شکل‌های ۴-۱۶۱ و ۴-۱۶۲، بترتیب وضعیت قرارگیری لوله‌های ورود و خروج آب و جانمایی سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی را نشان می‌دهند.

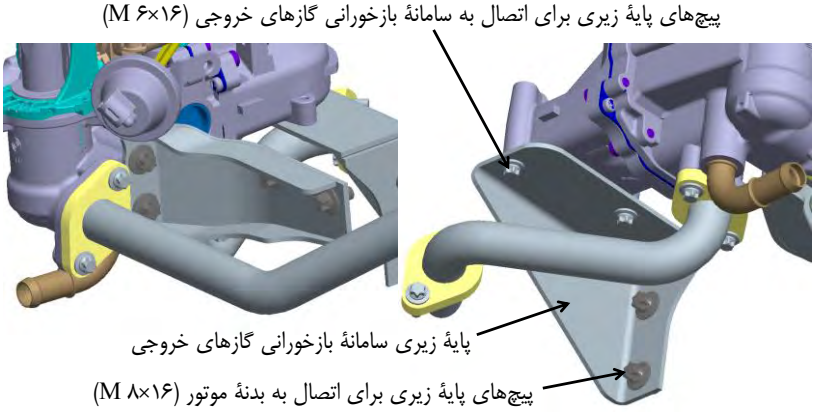


شکل ۴-۱۶۱- وضعیت قرارگیری لوله‌های ورود و خروج آب



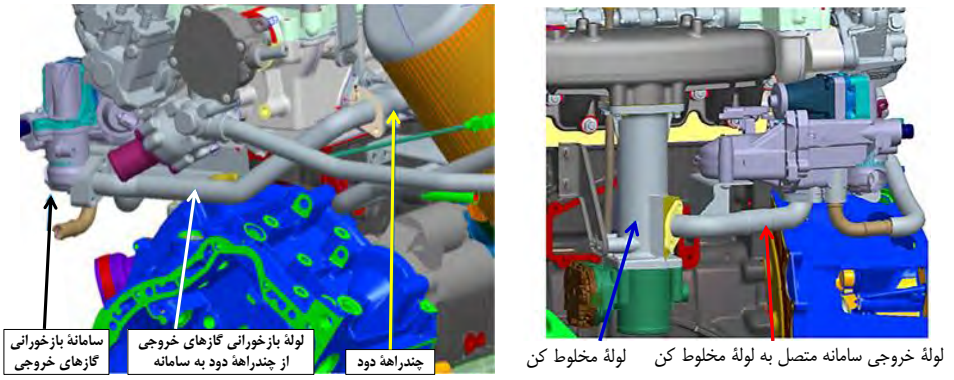
شکل ۴-۱۶۲- جانمایی سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

دو عدد پایه برای نصب سامانه به بدنهٔ موتور طراحی شده است که این دو عدد پایه برای تحمل نیروهای وارد بر آن و ارتعاشات مولد برقی مناسب است. شکل ۴-۱۶۳، چگونگی جانمایی پایه‌های سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶۳- چگونگی جانمایی پایه‌های سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

در شکل ۴-۱۶۴ و جدول ۴-۳۰، ویژگی‌های لوله‌های بکار رفته در سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی ذکر شده است.



شکل ۴-۱۶۴- لولهٔ خروجی از سامانه و اتصال آن به همراه جدول ویژگی‌ها

جدول ۴-۳۰- برخی ویژگی‌های لولهٔ بازخورانی گازهای خروجی

ویژگی	شرح
اتصال لولهٔ EGR به مخلوط کن چندراههٔ هوا	دو عدد پیچ M۶×۱ (متصل به EGR)
اتصال لولهٔ EGR به EGR	دو عدد پیچ M۶×۱ (متصل به EGR)
قطر داخلی	۲۴ میلی‌متر
بیشینهٔ دمای گازهای خروجی در خروجی سامانه	۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد
فشار گاز خروجی	۱-۳ بار (مطلق)
دمای محیط (بدون گرمای تابشی موتور)	۶۰ تا ۴۰- درجهٔ سانتیگراد
مواد	فولاد زنگ نزن
لایی	لایی فلزی تخت (برای هر دو اتصال)
طرح مخلوط کن	لولهٔ مخلوط کن بدون منحرف‌کننده
اتصال لولهٔ EGR به مخلوط کن چندراههٔ هوا	دو عدد پیچ M۶×۱ (متصل به EGR)
اتصال لولهٔ EGR به EGR	دو عدد پیچ M۶×۱ (متصل به EGR)
قطر داخلی	۲۴ میلی‌متر (دقیقه)
بیشینهٔ دمای گازهای خروجی در خروجی سامانه	۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد
فشار گاز خروجی	۱-۳٫۹ بار (مطلق)
دمای محیط (بدون گرمای تابشی موتور)	۶۰ تا ۴۰- درجهٔ سانتیگراد
مواد	فولاد زنگ نزن
لایی	لایی فلزی تخت (برای هر دو اتصال)

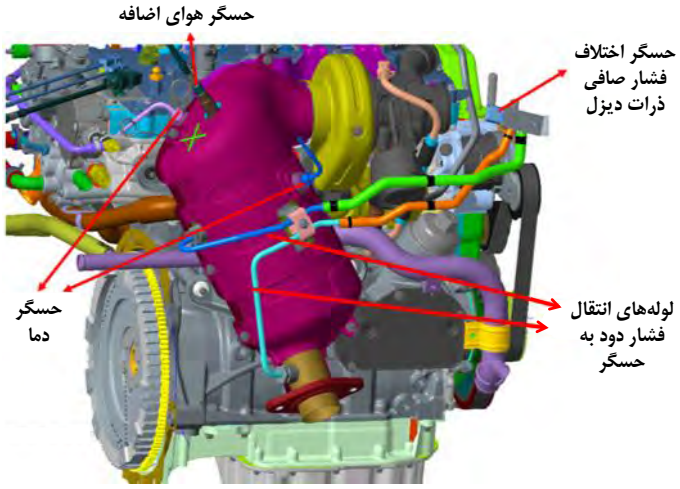
مجموعهٔ واکنشگر

واکنشگر شیمیایی از قطعات مهم در خودروی دیزل است. در واقع موتور دیزل علاوه بر واکنشگر به یک جمع‌کنندهٔ دوده (کربن) نیز مجهز است. دود خروجی از پرخوران در ابتدا وارد واکنشگر اکسیدکنندهٔ دیزل[1] برای حذف آلاینده‌های هیدروکربن و مونوکسیدکربن می‌شود و پس از آن وارد صافی ذرات دیزل[2] برای جمع‌آوری کربن‌های نسوخته می‌شود. هنگامی که ظرفیت صافی ذرات دیزل تکمیل شد که معمولاً نزدیک به ۲۰۰ کیلومتر از پیمایش خودرو می‌شود، پسا تزریق سوخت در محفظهٔ احتراق پس از تزریق اصلی انجام می‌شود تا این سوخت به داخل صافی ذرات دیزل منتقل و باعث سوخته شدن این کربن‌ها شود و صافی ذرات دیزل تخلیه که به عملیات بازتولید[3] شناخته می‌شود.

شکل‌های ۴-۱۶۵ و ۴-۱۶۶، بترتیب واکنشگر موتور دیزل و حسگرهای واکنشگر را نشان می‌دهند.

شکل ۴-۱۶۵- سفالینهٔ واکنشگر موتور دیزل

[1] Diesel Oxidation Catalyst (DOC)
[2] Diesel Particulate Filter (DPF)
[3] Regeneration



شکل ۴-۱۶۶- حسگرهای واکنشگر

طریقه شناسایی پر شدن صافی ذرات دیزل از طریق حسگر اختلاف فشار قبل و بعد از صافی ذرات دیزل است. همچنین از حسگرهای دما برای تنظیم دمای دود حین عملیات بازتولید استفاده می‌شود. ویژگی‌های آجرهای واکنشگر طبق جدول ۴-۳۱، بدین شرح است:

جدول ۴-۳۱- ویژگی‌های سفالینهٔ واکنشگر

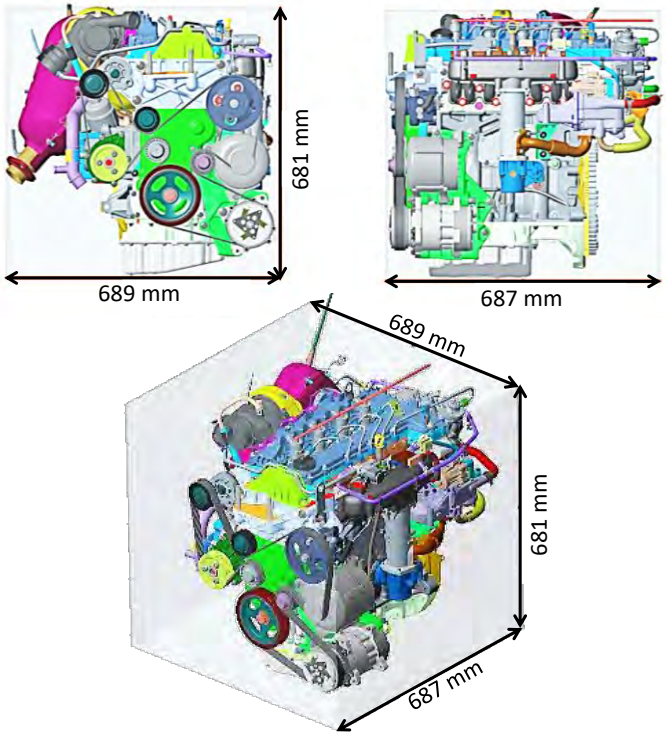
	صافی ذرات دیزل		
	واکنشگر اکسیدکنندهٔ دیزل	ناحیهٔ جلو (۵۰٪)	ناحیهٔ پشت (۵۰٪)
فناوری	DiSiC HP ۵۸٪	DiSiC HP ۵۸٪	DiSiC HP ۵۸٪
تعداد خانه‌ها در هر اینچ مربع[1]	۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰
ضخامت دیواره (میلی‌متر)	۰,۱۵۲	۰,۴۰۶	۰,۴۰۶
بار (کیلوگرم در متر مکعب)	۳,۵۳۱	۱,۷۶۶	۱,۷۶۶
نسبت فلزات گروه پلاتینیوم	۰:۱:۲	۰:۱:۲	۰:۱:۲
قطر (میلی‌متر)	۱۴۳,۸۱	۱۴۳,۸۱	۱۴۳,۸۱
طول (میلی‌متر)	۶۶	۷۶,۲	۷۶,۲
چگالی (گرم در لیتر)	۴۳۸	۴۳۸	۴۳۸
طول اتصال		۵ ± ۲ میلی‌متر	

جانمایی موتور در خودرو

جانمایی موتور دیزل سواری در خودرو سورن بررسی شد. در موضوع جانمایی، طراح باید بدقت باز و بسته کردن قطعات و مجموعه‌هایی را که در تعمیرات نیاز به باز و بسته شدن دارد در نظر گیرد؛ همچنین موضوع دیگر قرارگیری قطعات مختلف و رعایت فاصلهٔ آن‌ها با قطعات داغ، متحرک و حساس بسیار اهمیت دارد. به عنوان مثال حداقل فاصلهٔ قرارگیری اتصالات برقی و لوله‌های سوخت‌رسانی نسبت به سامانهٔ دود و واکنشگر شیمیایی باید بر اساس استانداردهای طراحی لحاظ شود. این شرایط مرزی در جانمایی موتور دیزل در نظر گرفته شده است. زاویهٔ قرارگیری موتور بر روی خودرو سورن مانند موتور ملی لحاظ شده است تا نقاط نشست موتور یکسان باشد و

[1] Cells per square inch (cpsi)

بتوان دســـته موتورها را با حداقل تغییر لحاظ نمود. ولی محل قرارگیری ســـامانهٔ دود و هوا با موتور ملی متفاوت ا ست بدین معنی که وقتی درِ محفظهٔ جلوی موتور باز می شود ابتدا سامانه مکش هوا دیده می شود ولی در موتور ملی سامانهٔ دود در دید اولیه قرار دارد. ابعاد کلی موتور در شکل ۴-۱۶۷ دیده می‌شود.

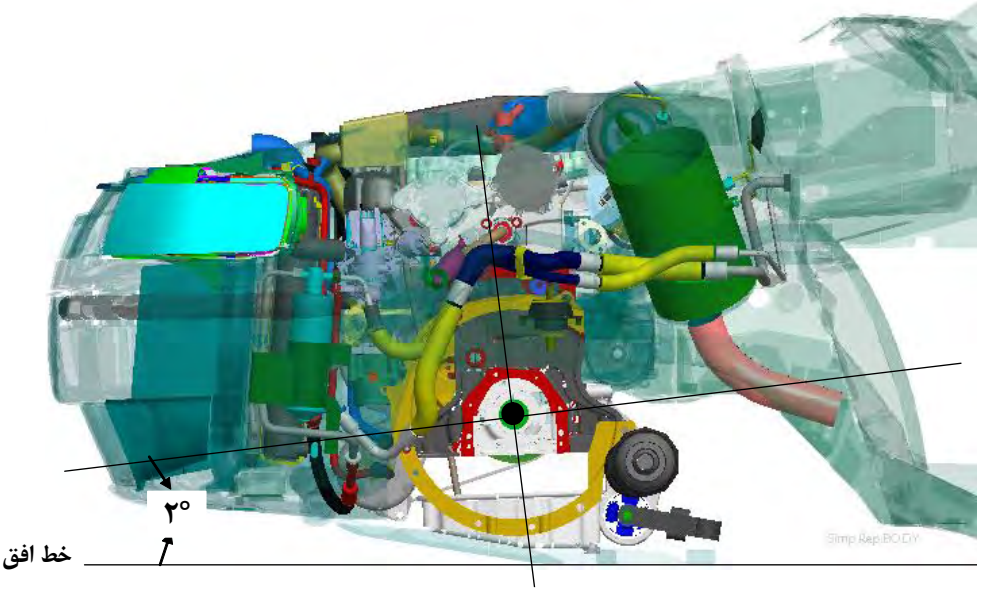


شکل ۴-۱۶۷- ابعاد کلی موتور دیزل سواری

شکل ۴-۱۶۸ تطابق موتور را با خودرو سمند نشان می‌دهد. نقاط نشست دسته موتور و جانمایی فضای اطراف بدنهٔ خودروی سمند به عنوان نقاط ثابت در نظر گرفته شد.

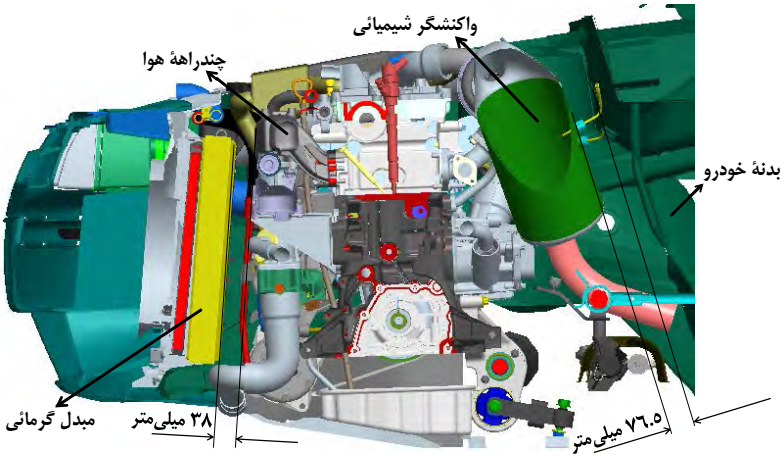
شکل ۴-۱۶۸- تطابق موتور با خودرو سمند

در شکل ۴-۱۶۹ زاویهٔ قرارگیری موتور نشان داده شده است که نسبت به سطح افق با زاویهٔ ۲ درجه نصب شده است.

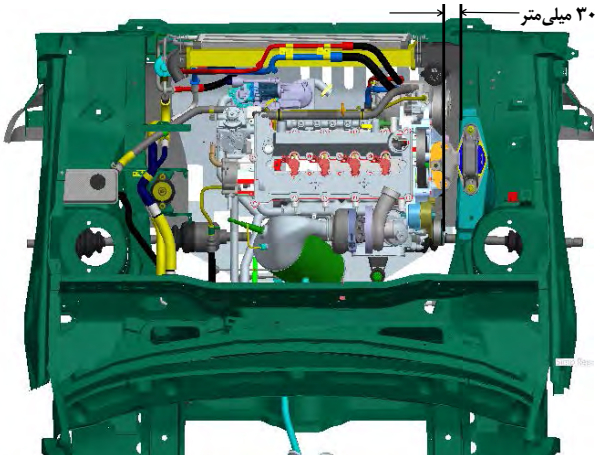


شکل ۴-۱۶۹- زاویهٔ قرارگیری موتور در خودرو سمند

شکل ۴-۱۷۰، فاصلهٔ قرارگیری واکنشگر شیمیایی تا بدنهٔ خودرو را ۷۶٫۵ میلی‌متر و فاصلهٔ چندراههٔ هوا از مبدل آب را ۳۸ میلی‌متر نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴-۱۷۱، نشان می‌دهد که ۳۰ میلی‌متر آخرین نقطهٔ هرزگرد سامانهٔ محرک قطعات جانبی تا بدنهٔ خورو فاصله دارد.

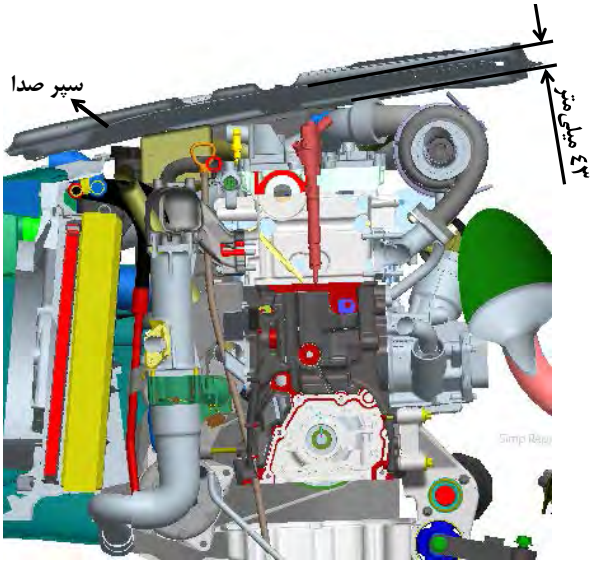


شکل ۴-۱۷۰- فاصلهٔ واکنشگر شیمیایی تا بدنهٔ خودرو

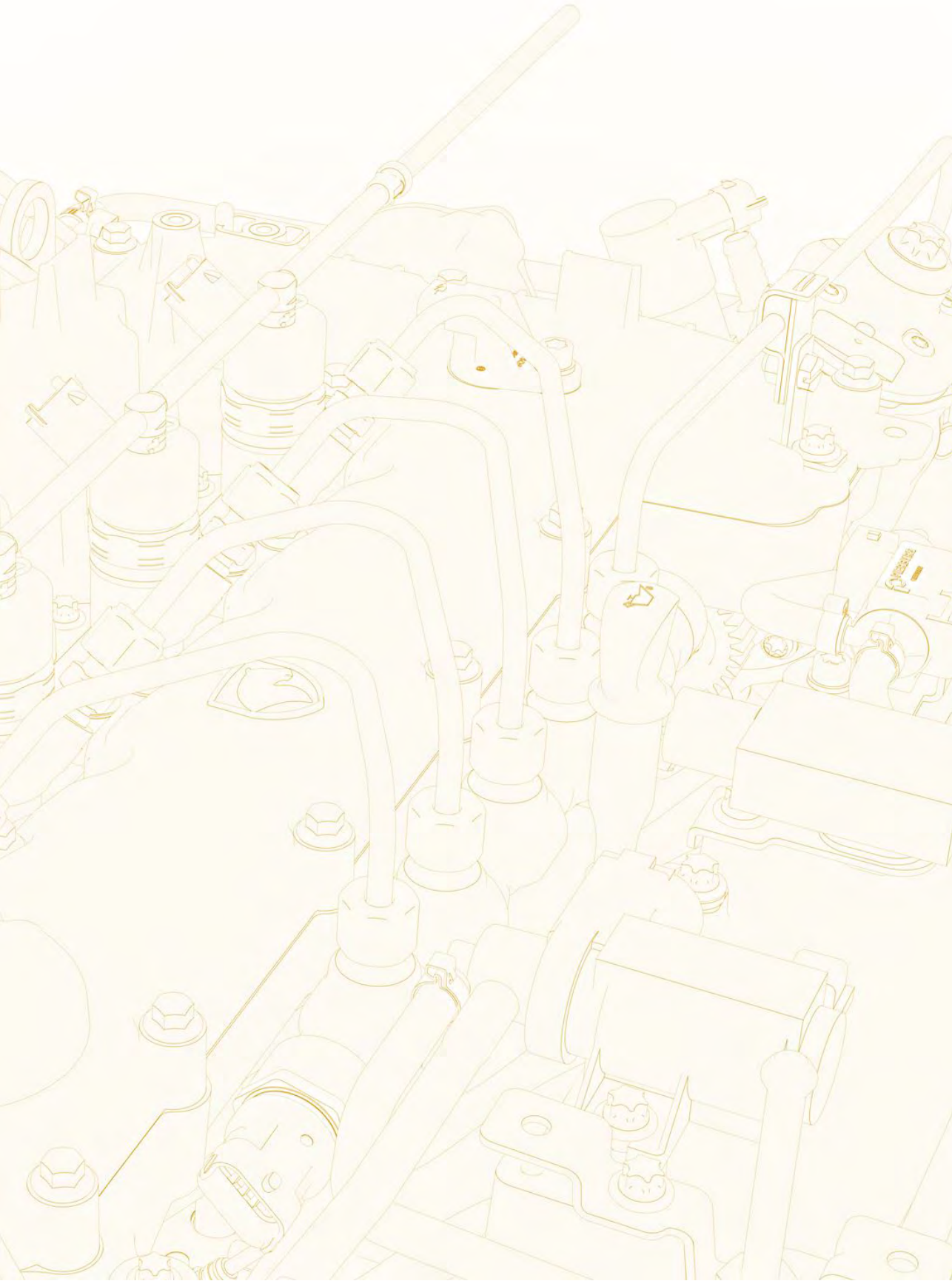


شکل ۴-۱۷۱- فاصلهٔ آخرین نقطهٔ هرزگرد سامانهٔ محرک قطعات جانبی تا بدنهٔ خورو

شکل ۴-۱۷۲ فاصلهٔ آخرین نقطهٔ لولهٔ پرخوران را تا عایق صدای نصب شده در زیر درِ موتور ۴۳ میلی‌متر نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۷۲- فاصلهٔ آخرین نقطهٔ لولهٔ پرخوران تا عایق صدای نصب شده در زیر درب محفظهٔ موتور



فصل پنجم

جانمایی و تطابق موتور

۵-۱- پیشگفتار

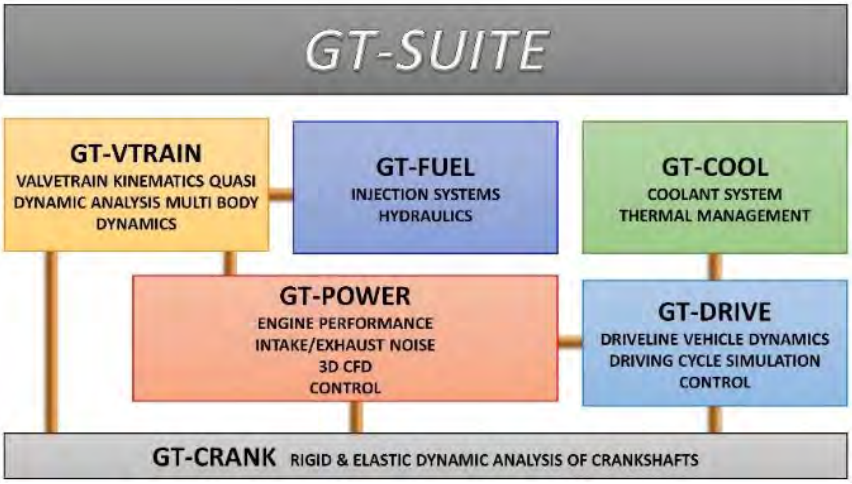
جانمایی و تطابق قوای محرکه برای استفاده از بهترین شرایط و فضا به منظور چیدمان موتور و جعبه‌دنده و متعلقات آنها تأثیر مهمی دارد. در این زمینه باید از کارائی سامانه‌های مختلف موتور و خودرو آگاهی کامل داشت و تا بتوان با چینشی مناسب، کارکرد سامانه‌ها را آسان کرد. در طرح موتور ملی دیزل سواری روی خودروی سمند سورن با توجه به اینکه بدنه و پیکرهٔ خودرو موجود بود، تأثیر جانمایی و تطابق قوای محرکه بسیار مهم و پیچیده است؛ زیرا باید با توجه به محدودیت‌های موجود، سامانه‌های حجیم بخوبی جانمائی شوند. محاسبات جانمایی باید بر اساس محدودیت‌ها و مطابق با فضای موجود در بدنهٔ خودرو باشد. همچنین برای جانمایی قطعات مختلف، باید برخی مقررات نیز رعایت شوند.

۵-۲- طراحی جعبه دندهٔ متناسب

ویژگی‌های متفاوت موتور ملی دیزل نسبت به موتورهای استفاده شده در شرکت ایران‌خودرو، به سبب توان و گشتاور قوی موتور موجب شد طراحی و بکارگیری سامانهٔ انتقال قدرت جدیدی متناسب با ویژگی‌های این موتور به عنوان یکی از الزامات این طرح در نظر گرفته شود.

سامانهٔ انتقال قدرت جدید باید به‌گونه‌ای طراحی شود تا موارد مختلفی مانند شروع به حرکت خودرو در شرایط مختلف مناسب باشد، همچنین باید معیارهای آلایندگی و مصرف سوخت را رعایت و تأمین نماید تا بر اساس طراحی پیشنهادی، خودرو توانایی رسیدن به بیشینهٔ سرعت را داشته باشد. برای اینکه طراحی و تولید جعبه دنده از لحاظ اقتصادی و فنی توجیه پذیر باشد، باید در حد امکان تلاش شود تا سطح تغییرات به کمترین مقدار ممکن برسد.

طراحی اولیهٔ سامانه انتقال قدرت بر اساس شبیه‌سازی‌های شرکت FEV و با نرم‌افزار GT-Suite مطابق شکل ۵–۱ انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا خودرو سورن در ابزار طراحی GT-Drive شبیه‌سازی و سپس همهٔ معیارهای طراحی برای دستیابی به مقادیر بهینهٔ نسبت دنده‌های جعبه‌دنده و نسبت دنده‌های تفاضلی مطالعه و بررسی شدند.



شکل ۵–۱– ساختار نرم‌افزار شبیه‌سازی GT-Suite

پس از شبیه‌سازی، نتایج آن را با آزمون‌های مختلف برروی خودروی مرجع بررسی می‌کنند. این فرآیند برای ارزیابی خودرو در زمینه‌های عملکرد[1] ، راه‌اندازی در سر بالایی[2] و مصرف سوخت شامل این موارد می‌شود:

۱. حداقل زمان برای سرعت ۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت

۲. حداقل زمان ممکن برای طی مسافت ۱۰۰۰ متر

[1] Performance
[2] Hill start

۳. چرخه‌های مصرف سوخت

۴. شیب روی در شیب‌های مختلف

۵. بیشینهٔ سرعت خودرو

۶. آزمون‌های انعطاف‌پذیری (کشسانی)

بر ا ساس تعریف مح صول، این موتور با سوخت دیزل کار می‌کند و روی خودرو سورن ن صب و ا ستفاده می‌شود. در تعیین اهداف طراحی نیز، عملکرد قوای محرکهٔ موتور بر اساس موتور با سوخت دیزل است.

با توجه به داده‌های محاسباتی و تجربی، مجموعهٔ جعبه‌دنده برای خودرو تعریف شد. جدول ۵-۱، نسبت دنده‌ها را برای جعبه دندهٔ موتور ملی دیزل سواری نشان می‌دهد:

جدول ۵-۱- نسبت دنده‌های موتور ملی دیزل سواری

شمارهٔ دنده	نسبت دنده	شمارهٔ دنده	نسبت دنده
دندهٔ ۱:	۳,۴۵	دندهٔ ۴:	۰,۸۲۲
دندهٔ ۲:	۱,۸۷	دندهٔ ۵:	۰,۶۵۹
دندهٔ ۳:	۱,۱۵۶	دنده عقب:	۳,۷۹

۳-۵- شاخص‌های راحتی رانندگی

جعبه‌دندهٔ متناسب با موتور ملی دیزل از جعبه‌دنده‌های متناسب با موتورهای دیزل هم رده الگوبرداری شد. با توجه به جدید بودن موتور، قرار شد این موتور، روی خودرو سمند سورن نصب شود. از همان آغاز تعیین نیازمندی‌های موتور از دیدگاه خودرو و سامانهٔ انتقال قدرت که همان راحتی رانندگی[1] است، مدّ نظر قرار گرفت. در این راستا ارزیابی‌های نهایی مانند آزمون در حالت خلاص[2]، آزمون راه‌اندازی موتور در شرایط محیطی مختلف، ارتعاشات و تکان‌های ناشی از تغییر بار موتور و . . . تعریف و نحوهٔ اجرای آن‌ها تعیین شد. در این فرآیند، شاخص‌های قابل

[1] Drivability
[2] Coast down

هدف‌گذاری همراه با توضیحات کافی در خصوص چگونگی و چرایی تأثیر این عوامل بر رفتار خودرو نیز وجود دارد (نوعی انتقال دانش فنی در نحوهٔ اجرای فرآیند گنجانده شده است).

٤-٥- جانمایی و تطابق موتور روی خودرو

جانمایی موتور بر روی خودرو شامل مواردی بدین شرح است:

۱. سامانهٔ خنک‌کاری

۲. سامانهٔ نگهدارنده‌های قوای محرکه (دسته موتور)

۳. سامانهٔ مجرای دود

۴. سامانهٔ هوای ورودی به موتور

۵. سامانهٔ سوخت‌رسانی موتور

٥-٥- سامانهٔ خنک‌کاری در طرح موتور ملی دیزل سواری

سامانهٔ خنک‌کاری در طرح دیزل باید متناسب با نیازمندی‌ها و مقدار مبادلهٔ گرما از موتور، محاسبه و طراحی شود. با توجه به اینکه در موتور دیزل، علاوه بر قطعات معمول، سامانهٔ خنک‌کاری گازهای دود نیز مبادلهٔ گرمایی دارد، لذا علاوه بر محاسبات و شبیه‌سازی، الگوبرداری از موتورهای هم رده نیز انجام شد. سامانهٔ خنک‌کاری خودرو دیزل از قطعاتی بدین شرح تشکیل شده است:

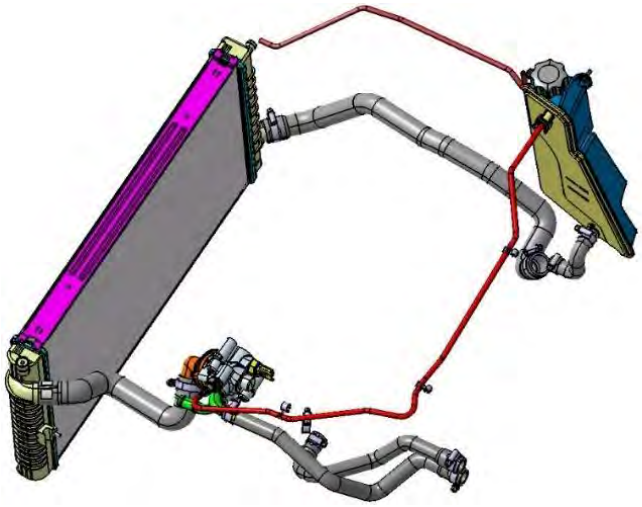
- شلنگ‌های آب ورود و خروج برای سه قطعه: مبدل گرمایی، بخاری و سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی
- مبدل گرمایی
- تلمبهٔ آب[1]
- دمابان[2]
- مخزن انبساط[3]

[1] Water pump
[2] Thermostat
[3] Expansion tank

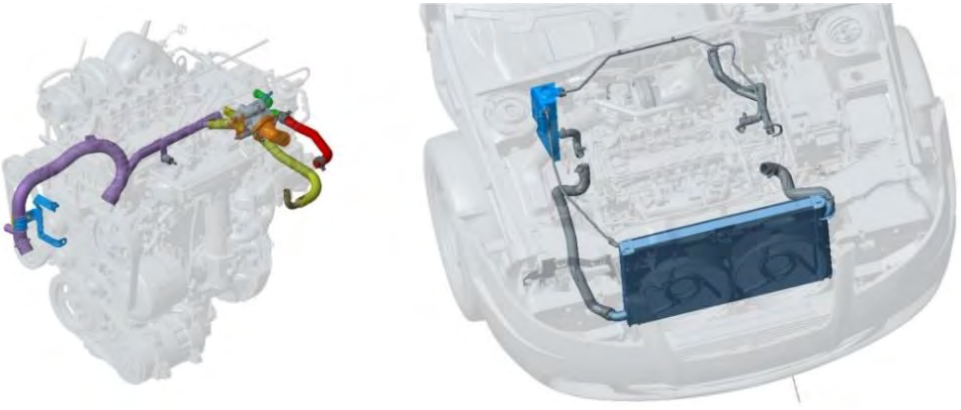
سامانهٔ خنک‌کاری، سامانه‌ای با قابلیت هواگیری پیو سته و دارای مخزن انب ساط ا ست. مبدل گرمایی این طرح برا ساس شرایط آب و هوایی ک شور و نیازهای گرمائی موتور و خودرو، طراحی و انتخاب شد. پس از تعیین معیارهای ا صلی طراحی و الگوبرداری مانند موتور ملی EF۷، از توانایی سازندگان داخلی ا ستفاده شد. طراحی و ساخت این مبدل گرمایی در داخل ک شور به‌طور کامل برنامه‌ریزی شد؛ بنابراین از خروج مبلغ چ شمگیری ارز به خارج از کشور جلوگیری شد. برای جلوگیری از تغییرات عمده در قسمت سینی پنکه، سعی شد انتخاب و چیدمان قطعات بگونه‌ای باشند که نیاز به تغییرات و یا طراحی دوباره و ساخت مجموعهٔ سینی پنکه نباشد. (شکل‌های ۵-۲ تا ۵-۴)

شکل ۵-۲- جانمایی سینی و جلوی پنجره

سامانهٔ خنک‌کاری با استفاده از نرم افزارهای محاسباتی و شبیه‌سازی مانند GT-Cool و فلوئنت شبیه‌سازی شد، به‌طوری که م شخ صات عملکردی و طراحی بی شتر قطعات از جمله مبدل گرمایی، مخزن انب ساط م شخص شد.



شکل ۵-۳- نمای اتصال مبدل گرمایی و مخزن انبساط و دمابان



شکل ۵-۴- نمای مبدل گرمایی و مخزن انبساط به همراه شلنگ‌های آب روی موتور

رویهٔ آزمون سامانهٔ خنک‌کاری در سطح خودرو با توجه به اقلیم آب و هوایی کشور ایران مانند دمای محیط، رطوبت و ارتفاع تدوین شده است. بر همین اساس در سامانهٔ خنک‌کاری در سطح قطعات و همچنین سامانه‌های خودرو، آزمون‌های صحه‌گذاری تعریف و انجام می‌شود.

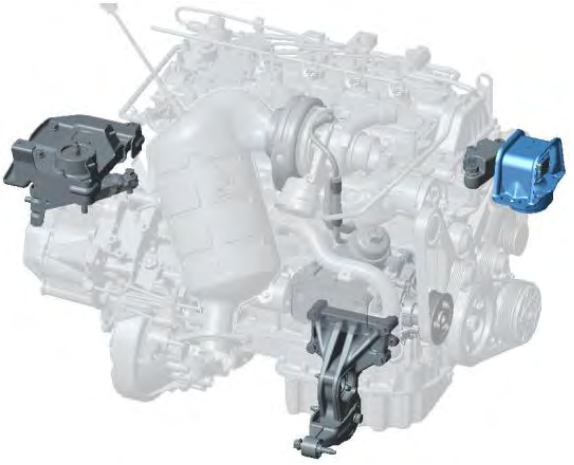
٦-٥- سامانهٔ نگهدارندهٔ موتور

با توجه به این که در طرح دیزل، قوای محرکهٔ جدیدی برای بدنهٔ سمند سورن طراحی شد، سامانهٔ نگهدارندهٔ قوای محرکه از اصلی‌ترین سامانه‌های دارای تغییر بود. این سامانه از یک‌سو وظیفهٔ نگهداری مجموعهٔ قوای محرکه شامل موتور، جعبه‌دنده و ملحقات آن‌ها و از سویی دیگر جذب ارتعاشات و ضربات ناشی از عملکرد، حرکت و دوران موتور را برعهده دارد. از این رو نخستین مراحل طراحی، نیازمند مطالعهٔ مفهومی[1] و طراحی کلی اجزای سامانهٔ نگهدارندهٔ قوای محرکه است.

در فرآیند طراحی این سامانه، ابتدا با توجه به مشخصات وزنی مورد نظر و قوای محرکهٔ دیزل، موقعیت نگهدارنده‌ها روی بدنه محاسبه شد و پس از محاسبات مختلف طراحی و در نظر گرفتن محدودیت تغییرات، بهترین موقعیت استقرار دسته موتورها بر روی بدنه، تعریف شد.

با توجه به این که موقعیت جدید نگهدارندهٔ موتور منجر به ایجاد تغییر در بدنهٔ خودرو می‌شود، تلاش برای استفاده از نشیمنگاه فعلی موتور ملی آغاز و در نهایت با کمترین تغییرات در نگهدارنده‌های قبلی موتور ملی EF۷ استفاده شد.

بدین منظور طرحی را شرکت مشاور AVL Schrick و همچنین طرح‌هایی را کارشناس سامانهٔ مرکز تحقیقات ارایه دادند؛ (شکل ۵-۵). با بررسی کارشناسی و توجه به تسهیل فرآیند ساخت، نصب و انعطاف طرح‌ها، طرح پیشنهادیِ مرکز تحقیقات تأیید و مراحل طراحی نهایی آن آغاز شد.



[1] Concept study

شکل ۵-۵- طرح نشیمنگاه دسته موتور

شایان ذکر است که طراحی موقعیت استقرار نگهدارنده‌ها روی بدنهٔ خودرو با توجه به تأثیر قوی آن بر انتقال ارتعاش و سر و صدا به داخل خودرو و سرنشین آن انجام می‌شود. از مزایای بارز طرح پذیرفته شده، می‌توان به قابلیت استفاده از دسته موتور یکپارچه روی نشیمنگاه جدید اشاره کرد.

پس از این مرحله که موقعیت و طرح کلی نشیمنگاه دسته موتور نهایی شد، طراحی خواص نگهدارنده‌های لاستیکی و طراحی دسته موتورهای فلزی که قوای محرکه را به نگهدارنده‌های لاستیکی و نهایتاً به بدنهٔ خودرو متصل می‌کنند، آغاز شد. تحلیل‌ها و محاسبات مهندسی لازم برای طراحی این قطعات انجام شده است. در ادامه، فهرستی از این محاسبات و تحلیل‌ها بیان شده است:

۱- طراحی کامل و نهایی نشیمنگاه جدید دسته موتور با توجه به مقاومت لازم و قابلیت ساخت و هم‌بندی

۲- شبیه‌سازی کامل نشیمنگاه جدید تحت شرایط مختلف (نصب هر دو قوای محرکهٔ قدیم و جدید)

۳- شبیه‌سازی و محاسبات مهندسی نگهدارنده‌های لاستیکی قوای محرکه شامل:
   - شبیه‌سازی ایستایی
   - شبیه‌سازی شبه‌ایستایی[1]
   - شبیه‌سازی کیفی
   - شبیه‌سازی حالت خلاص
   - شبیه‌سازی حالت بار بیشینه[2]
   - محاسبهٔ رفتار سامانه در برابر تحریک عمودی موتور[3]
   - محاسبهٔ رفتار سامانه در حالت راه‌اندازی[4]

۴- طراحی و پیشنهاد چند ترکیب مختلف از خواص نگهدارنده‌های لاستیکی قوای محرکه، برای استفاده در آزمون‌ها برای یافتن بهترین ترکیب

۵- طراحی و شبیه‌سازی مهندسی دسته موتورهای فلزی جدید

[1] Quasi static or extreme drive maneuvers
[2] Full load run up
[3] Engine bounce behavior
[4] Engine start behavior

شایان ذکر است که یکی از فعالیت‌های وابسته به طراحی این سامانه، آزمون‌های سرو صدا و ارتعاشات[1] کامل خودروی سمند سورن موجود و همچنین شبیه‌سازی کامل سر و صدا و ارتعاش داخلی خودروی سمند سورن به کمک شبیه ساز VINS است که در طراحی نگهدارنده‌های لاستیکی قوای محرکهٔ موتور دیزل استفاده شده است.

با این شبیه سازی، نقاط ضعف صدا و ارتعاش خودروی سمند سورن و علت آن‌ها که ناشی از سامانه‌های مختلف است، مشخص شد. با توجه به یافتن منبع اصلی هر ارتعاش یا سر و صدای اضافیِ سامانهٔ نگهدارنده‌های قوای محرکه، تغییرات لازم برای هر یک از اجزای سامانه، مشخص و برای موتور جدید مجدداً طراحی شد.

با توجه به مشکلات ناشی از پارگی نگهدارندهٔ لاستیکی در بسیاری از سمندهای موجود و همچنین مزایای دیگر استفاده از نوآوری جدید دسته موتورها، در مرحلهٔ بعدی طرح پیشنهادی، استفاده از مجموعهٔ دسته موتور یکپارچه بررسی شد. با توجه به مزایای این طرح، توسعهٔ این نوع دسته موتور در برنامهٔ سامانهٔ نگهدارنده‌های قوای محرکه در طرح دیزل قرار گرفت.

پس از اتمام طراحی هندسی مجموعه، شبیه سازی‌های مهندسی و محاسبات آن برای نهایی سازی طرح انجام شد. سرانجام مجموعهٔ دسته موتور یکپارچه برای استفاده روی خودرو در تولید انبوه به عنوان یک قطعه با نوآوری جدید استفاده شد. در شکل ۵-۵، طرح این قطعه که در کنار قطعات قبلی حذف شده در مجموعهٔ جدید قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

به طور کلی در طرح دیزل سعی شد با توجه به اینکه سر و صداهای موتور زیاد است با استفاده از شبیه‌سازی‌های مهندسی مشکلات سر و صدا و ارتعاشات خودرو بهبود یابد که این مهم با استفاده از طرح جدید دسته موتور یکپارچه، وضع همبندی بهتر و همچنین دوام بیشتر نگهدارندهٔ لاستیکی تا حدی بهتر شده است.

۷-۵- سامانهٔ مجرای دود در موتور ملی دیزل

وظیفهٔ سامانهٔ مجرای دود[2] را می‌توان بدین شرح بیان کرد:

۱. انتقال گازهای حاصل از احتراق داخلی موتور از چندراههٔ دود به انتهای خودرو

۲. کاهش صدای حاصل از تخلیهٔ گازهای خروجی

[1] Noise, Vibration, and Harshness (NVH)
[2] Exhaust

برای طراحی سامانهٔ مجرای دود منا سب با شرایط خودرو و موتور، محدودیت‌ها و معیارهای فراوانی وجود دارد که طراح باید آنها را در نظر قرار دهد؛ از آن جمله می‌توان به مواردی بدین شرح اشاره کرد:

۱. فشار برگشتی مجاز[1]

۲. سطح مجاز صدا در خروجی مجرای دود و داخل خودرو

۳. شار جرمی گازهای احتراق

۴. جانمایی و چیدمان[2]

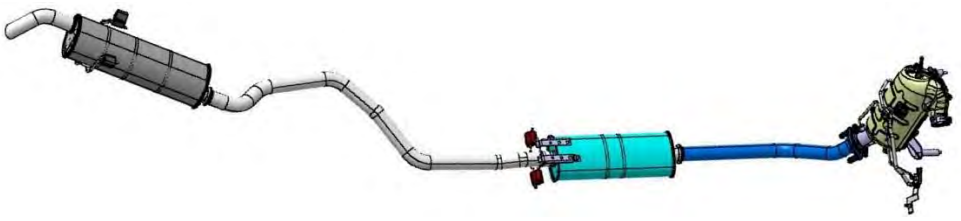
۵. محدودیت‌های ساخت و همبندی

۶. هزینهٔ تمام‌شده

با توجه به معیارهای طراحی یادشده، این فرآیندها برای دستیابی به طرحی مطلوب انجام شد:

بررسی جانمایی سامانه

با هدف به حداقل رساندن تغییرات بدنه، از طرح و مسیر سامانهٔ مجرای دود موتور ملی EF۷ (شکل ۵-۶) با اندکی تغییر ا ستفاده شد. به طوری که قطعهٔ وا سط انعطاف‌پذیر حذف شد. این اجزاء عبارتند از: ۱. لولهٔ جلویی مجرای دود، ۲. لولهٔ میانی جلو، ۳. منبع میانی، ۴. منبع انتهایی و ۵. بست و اتصالات



شکل ۵-۶- طرح سامانهٔ مجرای دود سمند با موتور دیزل

[1] Allowable back pressure
[2] Packaging & Layout

الگوبرداری سامانهٔ تخلیه دود نمونه: قطر لوله و اندازه‌های انباره

الگوبرداری از روش‌های متداول برای ارائهٔ طرح اولیه اســت. همان‌طور که در جدول ۵–۲ بیان شــده، چند خودرو در ردهٔ مشابه انتخاب و سامانهٔ مجرای دود (شکل ۵–۶) آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. سپس ابعاد اولیه برای سامانه پیشنهاد شد.

جدول ۵–۲– مقایسه سامانهٔ مجرای دود خودرو در ردهٔ مشابه

خودرو	حجم نهایی (لیتر)	مجرای دود انتهایی (لیتر)	مجرای دود میانی (لیتر)	قطر لوله (میلی‌متر)	حجم (لیتر)
خودرو سمند	۱۳٫۳	۹٫۶	۳٫۷	۵۰–۴۵	۱٫۸۱
رنو لاگونا	۱۷	۸٫۵	–	۵۲	۱٫۷۳
سورن دیزل	۱۳٫۳	۹٫۶	۳٫۷	۵۰–۴۵	۱٫۸۱

تحلیل محاسباتی و مهندسی سامانهٔ دود

در این مرحله سامانهٔ مجرای دود با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی و متغیرهای قطر لوله‌ها، اشکال مختلف انباره و تعداد سوراخ‌ها برروی معیارهای طراحی (پس‌فشار و سطح آلایندگی صوتی خروجی) بررسی شد. چون محاسبات تک بعدی خیلی دقیق نیستند، نمی‌توان پاسخ نهایی را بر مبنای نتایج شبیه‌سازی محاسبه کرد. به همین علت برای هریک از اجزاء (منبع میانی و انتهایی) دو یا سه شکل پیشنهاد شد.

آزمون کارایی سامانهٔ دود

در این مرحله نمونه‌های ساخته شدهٔ روی خودرو، نصب و با معیارهای دما، افت فشار و سطح آلایندگی صوتی در خروجی مجرای دود و داخل اتاق با یکدیگر مقایسه شدند. در پایان، دو نمونه از لحاظ کارایی در محدودهٔ مجاز قرار گرفتند. در نهایت نمونه‌ای که از لحاظ ساخت مقرون به صرفه‌تر بود، به عنوان طرح نهایی انتخاب شد.

۸-۵- سامانهٔ هوای ورودی به موتور

مهمترین وظیفهٔ سامانهٔ هوای ورودی موتور جلوگیری از ورود گرد و غبار به داخل موتور، استوانه‌ها و تأمین هوای مورد نیاز موتور است. مجموعهٔ صافی هوا به‌عنوان صداگیر نیز عمل می‌کند و سهم بسزایی در کاهش صدای داخل و خارج خودرو دارد.

بنابراین می‌توان گفت فرآیند طراحی سامانهٔ هوای ورودی به موتور بسیار پیچیده است و تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر محدودیت‌های جانمایی، نیازمندی‌های موتور از نظر شار هوای ورودی، بیشینهٔ افت فشار مجاز در سامانه، بازدهٔ تنفسی و اهداف صدا و ارتعاش قرار دارد.

مطالعهٔ جانمایی و راهکار اولیهٔ سامانهٔ هوای ورودی به موتور

با توجه به مطالعات انجام‌شده، الگوبرداری و محدودیت‌های جانمایی، صافی هوای موتور انتخاب شد. اجزای سامانهٔ هوای ورودی به موتور عبارتند از:

۱. مجموعهٔ لولهٔ ورودی هوا به هواکش، که از گلویی و لولهٔ ورودی هوا به هواکش متصل شده است.

۲. مجموعهٔ صافی هوا که از قاب بالایی، پایینی و کاغذ صافی هوا تشکیل شده است.

۳. مجموعهٔ پایهٔ نگهدارندهٔ صافی هوا که از پایهٔ فلزی و قطعهٔ لاستیکی نگهدارنده تشکیل شده است.

۴. شارسنج هوا

۵. لولهٔ واسط هواکش به پرخوران

طراحی محاسبات مهندسی

الگو برداری اولیه یکی از روش‌های کاربردی وکم هزینه برای بدست آوردن تخمین اولیه از طرح در سامانهٔ جدید ا ست. از مزایای الگوبرداری کاهش زمان و هزینهٔ طراحی از سامانه‌هایی م شابه سامانهٔ مورد نظر ا ست و بدین ترتیب طرح اولیهٔ سامانه (شکل ۵-۷) را می‌توان تهیه نمود.

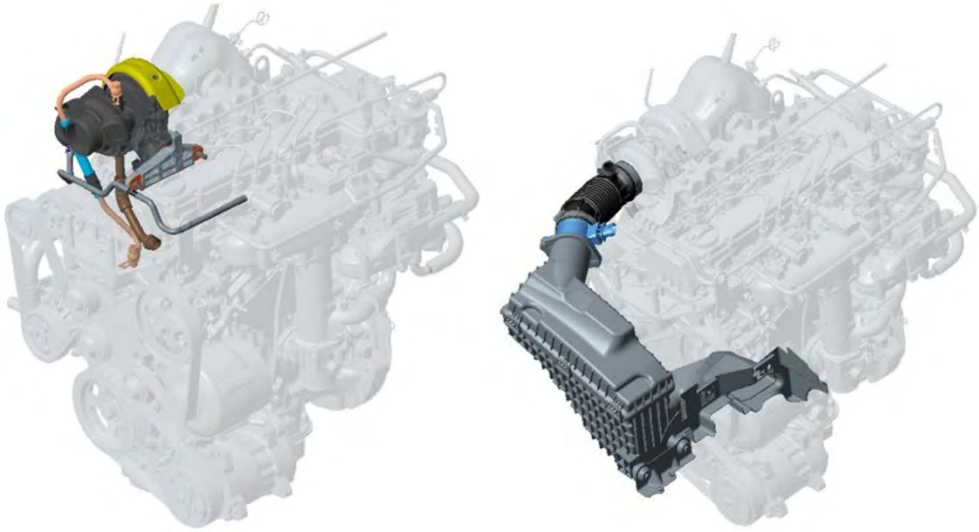
برای انتخاب سامانهٔ هوای ورودی، خودروهای هم‌ردهٔ سمند سورن با حجم موتوری تقریباً یکسان الگوبرداری شد، نتایج اولیه نشان می‌دهد که برای موتوری با حجم تقریبی ۱٫۵ لیتری صافی هوای مورد نیاز حدود ۴ لیتر است و بیشینهٔ قطر ذرات گذرنده از صافی هوا، حدود ۷۰ میکرون است.

علاوه بر بررسی خودروی همرده از طرح مجموعه هوای موتور EF۷ نیز الگو برداری شد. لولهٔ ورودی هوای اولیه با قطر ۶۰ میلی‌متر، صافی هوای اولیه با حجم ۵٫۵ لیتر و لولهٔ واسطهٔ صافی هوا به دریچهٔ گاز با قطر ۵۴ میلی‌متر با توجه به نتایج الگوبرداری و همچنین محدودیت‌های جانمایی انتخاب گردید.

تحلیل اولیهٔ سامانهٔ یادشده با استفاده از نرم‌افزار GT-Power نشان می‌دهد که طرح[1] نیاز به تغییرات اساسی دارد. با توجه به تأثیر هر یک از معیارهای یادشده، طرح دوم با ویژگی‌هائی بدین شرح انتخاب شد:

لولهٔ ورودی هوا با قطر ۶۰ میلی‌متر، صافی هوا با حجم ۵٫۵ لیتر و لولهٔ واسطه صافی هوا به شارسنج هوا با قطر ۵۲ میلی‌متر.

[1] Model



شکل ۵-۷- طرح اولیه برای تحلیل عددی

با استفاده از سامانهٔ جدید و نرم افزار GT-Power تغییرات دو معیار مهم بازدهٔ تنفسی و سطح صدای ورودی هوا، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد با تغییرات جدید در چندراههٔ هوای ورودی به موتور، سطح صدا در این قسمت بیشتر از مقدار مورد نظر در سرعت دورانی مورد نظر می‌شود. بنابراین ایجاد تغییرات در طرح اجتناب‌ناپذیر است.

در این مرحله، به آثار سطح صدا، بازدهٔ تنفسی و تأثیر متقابل این دو بر یکدیگر توجه شد. به‌طور مثال وجود لوله‌ای در صافی هوا باعث می شود تا سطح صدا کاهش پیدا کند. چون قراردادن این لوله در قسمت پاک صافی هوا (قسمت بالایی) موجب افت بازدهٔ تنفسی و کاهش طول عمر موتور می‌شود، این لوله در قسمت پایینی صافی قرار داده شد. پس از تحلیل و بهینه‌سازی سامانه، نتایج یادشده تأیید و بدین ترتیب نمونهٔ اولیهٔ صافی هوا با توجه به نتایج الگو برداری، تحلیل عددی، نیازمندی‌های موتور، محدودیت‌های جانمایی و م سایل طراحی برای ساخت نمونه، نهایی شد.

طراحی برای ساخت

در این مرحله قطعات مجموعهٔ سامانهٔ هوای ورودی موتور بر اساس معیارهایی نظیر بازده، افت فشار و . . . پایش می‌شوند. سپس روی سکوی آزمایش و خودرو نصب می‌شوند تا آزمون‌های سطح صدا به طور عملی اجرا شود. نتایج حاصل نشان داد که در محدودهٔ مشخص بسامدی، تشدید وجود دارد که برای از بین بردن آن باید طراحی صداگیرها اصلاح شود. با آزمایش مجدد و تحلیل عددی الگو و درنظرگرفتن محدودیت‌های متعدد جانمایی، یک نمونه صداگیر ساخته و روی سامانهٔ هوای ورودی موتور نصب شد. آزمون اندازه‌گیری مقدار صدا دوباره انجام شد و خوشبختانه نتایج آن با اهداف موردنظر تطابق داشت. در نتیجه، طرح نهایی با صداگیر تأیید شد و برای تولید انبوه در اختیار سازنده قرار گرفت.

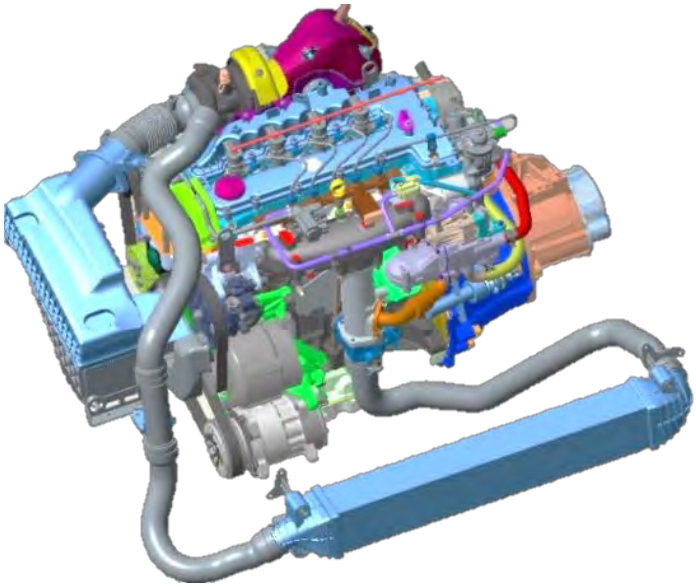
نظریات قطعه ساز و طرحی نهایی

در این مرحله، با توجه به نهایی شدن طرح و برگزاری جلساتی دربارهٔ نیازمندی‌های فنی مشتری، سازنده، نظریات نهایی خود را برای تأمین این نیازها و دریافت تأییدیهٔ آزمون‌های آینده به طراح منتقل کرد. همچنین تغییرات مورد نظر را سازنده روی نقشه، اعمال کرد و برای انتشار نهایی در اختیار طراح قرار داد.

۹-۵- سامانهٔ هوارسانی

هوای خروجی از پرخوران موتور داغ است و برای اینکه به عنوان هوای ورودی موتور استفاده شود باید با مبدلی گرمایی به نام خنک‌کن میانی[1] تبادل گرما نماید تا هوای با دمای مناسب به موتور وارد شود. شکل ۵-۸، طرح کلی سامانهٔ هوارسانی را نشان می‌دهد.

[1] Inter Cooler



شکل ۵-۸- طرح کلی سامانهٔ هوارسانی

۵-۱۰- سامانهٔ سوخت‌رسانی موتور

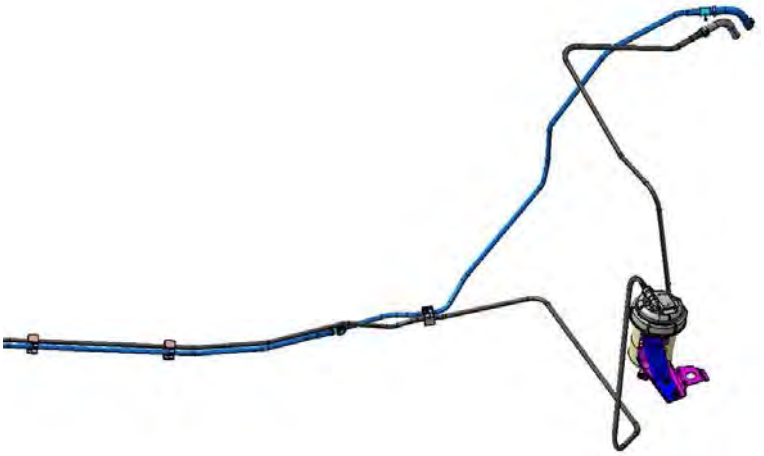
سامانهٔ سوخت‌رسانی در طرح دیزل از نوع با لولهٔ برگشت با تلمبهٔ سوخت داخل مخزن[1] و مجهز به صافی سوخت تعریف شده است. تلمبهٔ سوخت داخل مخزن وظیفهٔ تأمین شار و فشار سوخت از مخزن تا تلمبهٔ فشار قوی[2] را بر عهده دارد (فشاری حدود ۳٫۸ تا ۴ بار). همچنین صافی سوخت قبل از موتور نصب می‌شود و مجهز به حسگر سطح آب است. قطعات سامانهٔ سوخت‌رسانی عبارتند از:

- مخزن سوخت
- لولهٔ گلویی پُرکن مخزن و اتصالات آن به بدنه
- شلنگ لاستیکی پرکن و بست‌های آن
- صافی سوخت
- تلمبهٔ سوخت داخل مخزن
- شیر یک سویه

[1] In-tank pump
[2] High pressure pump

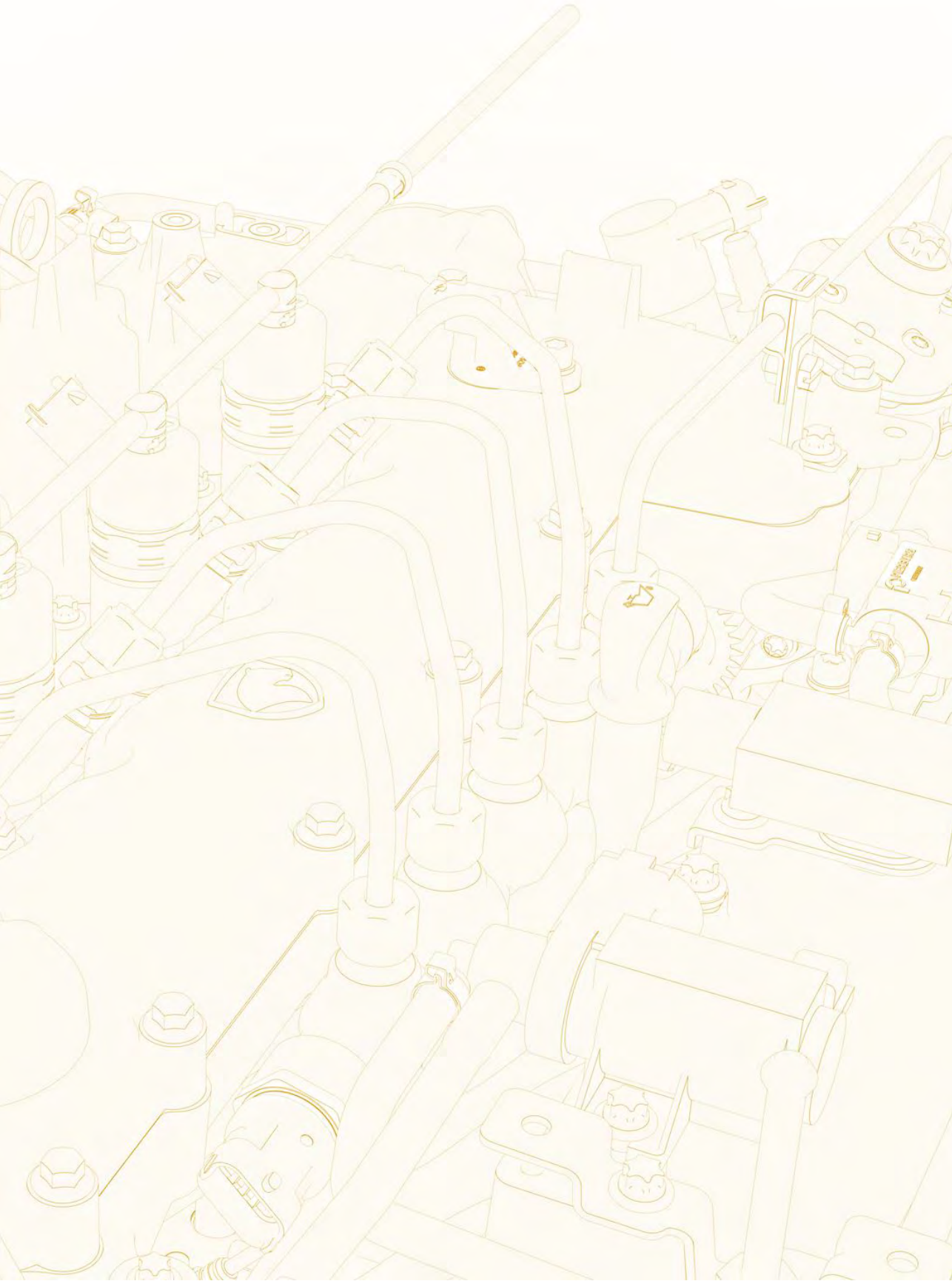
- لوله‌های رفت و برگشت سوخت
- سه راهی مسیر برگشت سوخت
- بست‌های نگهدارندهٔ لولهٔ سوخت، زیر بدنه و در طول مسیر از مخزن تا محفظهٔ موتور

در مورد لوله‌های طرح جدید، محدودیت‌ها و الزامات وابسته به واحد قوای محرکه (شامل قطر و مشخصات هندسی لوله‌ها و نیز مشخصات اتصالات ساده) بر مبنای استانداردهای پژو–سیتروئن[1] به شرکت سازنده اعلام شد. شرکت سازنده با توجه به مسائل جانمایی، محدودیت‌ها و الزامات یادشده مسیر لوله‌ها را طراحی کرد. سامانه‌ها و نقشه‌های تهیه شده پس از بررسی و آزمون‌های اولیه منتشر و برای نمونه سازی در اختیار سازنده قرار داده شد. شکل ۵–۹، مدار سوخت‌رسانی از مخزن تا تلمبهٔ فشار قوی را نشان می‌دهد.



شکل ۵–۹– مسیر سوخت‌رسانی از مخزن تا تلمبهٔ فشار قوی

[1] PSA Peugeot Citroen



فصل ششم

نگاشت و سامانهٔ مدیریت موتور

۱-٦- پیشگفتار

افزایش توان خروجی و راحتی رانندگی، افزایش طول‌عمر موتور و همچنین کاهش مصـــرف ســـوخت و آلاینده‌ها از مهمترین اهداف عملکردی موتورهای احتراق داخلی اســـت. طراحی بهینهٔ بخش‌های مختلف موتور و استفاده از سوخت و روانساز مناسب، شرط اولیهٔ رسیدن به این اهداف است. اما شرط لازم، استفاده از سامانهٔ مدیریت موتور مناســب و بهینه اســت. وظیفهٔ ســامانهٔ مدیریت موتور، بکارگیری عملگرهای مختلف با اســتفاده از اطلاعات دریافتی از حسگرها است تا کارکرد موتور در تمام نقاط کاری، در حالت بهینهٔ ممکن باشد. هرچه سطح انتظارات و اهداف عملکردی موتور بالاتر باشد؛ به همان نسبت، سامانهٔ مدیریت موتور قوی‌تری لازم است.

انتخاب مناسب قطعات سامانهٔ مدیریت موتور، شرط لازم برای دستیابی به اهداف مورد نظر است. همچنین شـــرط کافی در این زمینه، بهره‌گیری از راهبردهای بهینهٔ مدیریت موتور اســـت. بجرأت می‌توان گفت که اگر در زمینهٔ طراحی و پیاده سازی راهبردهای مدیریت موتور دقت کافی صورت نگیرد، ارتقای سخت‌افزاری سامانه‌های مدیریت موتور نتیجه‌ای جز افزایش قیمت تمام شده بدون افزایش کیفیت محصول نخواهد داشت. بدین منظور باید نگاشت و تنظیم راهبردهای مدیریت موتور بر حسب شرایط محیطی مورد نظر شامل تغییرات دمایی، تغییرات ارتفاع، شـیب جاده‌ها، تنوع سـوخت‌های مورد اسـتفاده و عادت‌های رانندگی انجام شـود. در این صـورت می‌توان اطمینان داشت که در تمامی شرایط کاری، دستیابی به اهداف صورت می‌پذیرد.

انحصاری بودن سامانهٔ مدیریت هوشمند موتور در نزد چند شرکت و عدم تسلط سازندگان داخلی بر ساختار آن، معمولاً شـرایط یک جانبه‌ای را به آنان تحمیل می‌کند. در این میان، فرآیند نگاشـت و تنظیم رایانهٔ موتور، از شرایط نامساعدتری برخوردار است، زیرا این فرآیند را معمولاً شرکت‌های واسط زیرمجموعهٔ تأمین‌کنندگان سامانهٔ مدیریت موتور و معمولاً در خارج از کشـور به دور از شـرایط جغرافیایی واقعی بازار مصـرف داخلی انجام می‌دهند. همچنین اغلب در را ستای کاهش هزینه و زمان نگا شت یا به‌وا سطهٔ عدم ت سلط کار شنا سان بر جزئیات فرآیند نگاشت و تنظیم رایانهٔ موتور، امکان دستیابی کامل به اهداف مورد نظر فراهم نمی‌شود.

با آگاهی از نواقص و ضـعف‌های موجود در بازار ایران و در راسـتای ارتقای دانش مدیران و کارشـناسـان مدیریت هو شمند موتور، این فصل تدوین شده ا ست و امید می‌رود این اقدام زمینهٔ خودباوری را هر چه بیشتر در بین کارشناسان و مدیران را فراهم کند و در نهایت باعث طراحی معماری قطعات سامانهٔ مدیریت موتور و همچنین اجرای فرآیند نگاشت و تنظیم رایانهٔ موتور در بازار ایران شود.

۲-٦- معرفی اجزای سامانهٔ مدیریت موتورهای دیزل

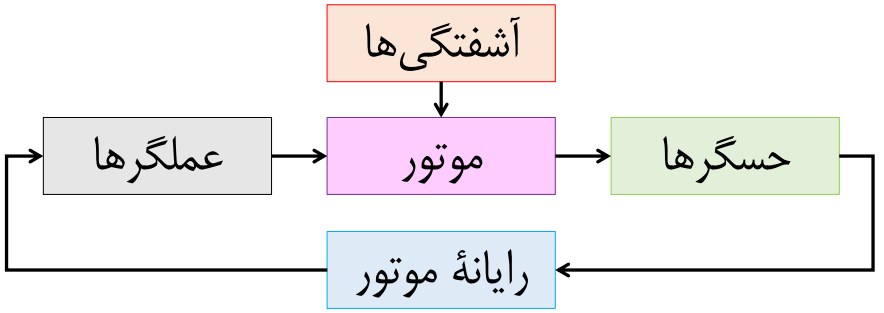
سالها ست که کشورهای پیشرفته به ا ستفاده از موتورهای دیزل روی آورده‌اند که یکی از دلایل آن بزرگتر بودن نسـبت تراکم موتورهای دیزل و در نتیجه بازدهٔ گرمایی اسـت. لزوم کاهش مصـرف سـوخت و همچنین استانداردهای سختگیرانهٔ آلایندگی باعث استفاده از سامانه‌های پیشرفتهٔ مدیریت هوشمند شده است. وظیفه اصلی سـامانه‌های مدیریت موتور، پاسـخ به چالش میان بهبود عملکرد و دوام موتور، با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی و عوامل اقتصادی است.

در انتخاب معماری اجزای سامانهٔ مدیریت موتور، م سائل مختلفی مانند حداقل‌های لازم برای د ستیابی به اهداف طرح، جانمایی و قیمت اجزای مختلف بررسی می‌شود. در سامانه‌های مختلف مدیریت موتور، از حسگرها و عملگرهای بسیار زیادی استفاده شده است. در این بخش فهرستی از حسگرها و عملگرهای متداول در موتورهای دیزل معرفی شده است و مهمترین کاربردهای هر یک توضیح داده شده است. با استفاده از توضیحات ذکر شده، امکان انتخاب معماری اجزای سامانهٔ مدیریت موتور با توجه به اهداف مورد انتظار از این سامانه فراهم می‌شود.

۳-٦- معرفی سامانهٔ مدیریت موتور

به‌طورکلی، هر سـامانهٔ مدیریت هوشـمند را می‌توان به بخش‌های واحد تحت مدیریت، حسـگرها، مغز هو شمند و عملگرها تق سیم نمود. به عنوان مثال، اگر عملکرد ان سان هنگام رانندگی خودرو (واحد تحت مدیریت) در نظر گرفته شود، ابتدا و ضع موجود را چشم (حسگر) م شاهده می‌کند. سپس اعصاب علایم آن را به مغز (مغز

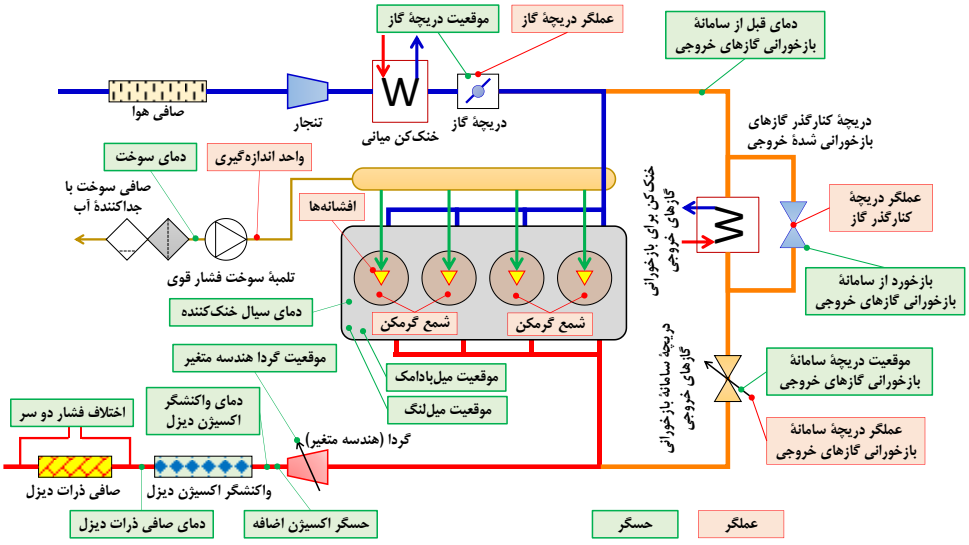
هوشمند) منتقل می‌کند. مغز براساس منطق موجود در آن، اطلاعات دریافتی را پردازش و فرمان جدید را از طریق اعصاب به پاها و دست‌ها (عملگرها)، منتقل می‌کند. این حلقه به صورت لحظه‌ای و دائم تکرار می شود. در همهٔ سامانه‌های تحت مدیریت هوشمند نظیر موتورهای احتراق داخلی، مشابه همین رویه انجام می‌شود. **Error! Reference source not found.**چنین حلقه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱- کلیات سامانهٔ مدیریت موتور

هر سامانهٔ مدیریت موتور[1] شامل حسگرها[2]، عملگرها[3] و رایانهٔ مدیریت موتور[4] (به اصطلاح رایانهٔ موتور)، است. در **Error! Reference source not found.**، طرحی از حسگرها و عملگرهای متداول در موتورهای دیزل دیده می‌شود.

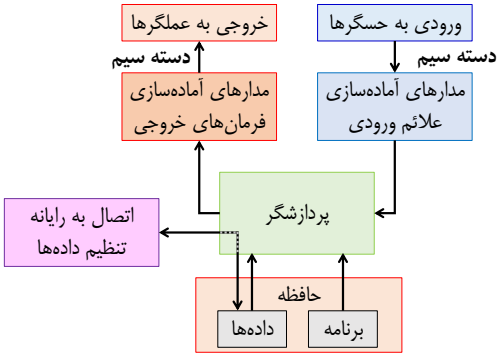
[1] Engine Management System (EMS)
[2] Sensors
[3] Actuators
[4] Engine Control Unit (ECU)



شکل ۶-۲- طرح از حسگرها و عملگرهای متداول در موتورهای دیزل

٤-٦- معرفی رایانهٔ موتور

رایانهٔ موتور، مغز متفکر و فرماندهٔ مجموعهٔ مدیریت هوشمند است. رایانهٔ موتور از بخش‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مختلفی تشکیل شده است. علایم حسگرها به رایانهٔ موتور می‌رود و پس از پردازش و اجرای راهبردهای منطقی و محاسباتی موجود در برنامهٔ نرم‌افزاری، در نهایت فرمان‌های لازم به عملگرها ارسال می‌شود. در **Error! Reference source not found.**، طرحی از بخش‌های مختلف رایانهٔ موتور ملاحظه می‌شود.



شکل ۶-۳- طرح بخش‌های مختلف رایانهٔ موتور

در **Error! Reference source not found.**، نمونه‌ای از رایانهٔ موتور مورد استفاده در موتورهای دیزل نشان داده شده است.

شکل ۶-۴- نمونه‌ای از رایانهٔ موتور مورد استفاده در موتورهای دیزل (سازنده: بوش)

۶-۵- برخی از ویژگی‌های فنی رایانهٔ موتور

سوزن‌های ورودی و خروجی

تعداد سوزن‌های ورودی و خروجی رایانهٔ موتور و نوع علامت ارسالیِ آنها مهم است. هر چه تعداد سوزن‌ها بیشتر باشد، امکان پشتیبانی از حسگرها و عملگرهای بیشتری وجود دارد. معمولاً اندازهٔ سوزن‌هایی که به منبع تغذیه دستگاه متصل است، بزرگتر است چون جریان بیشتری را عبور می‌دهند.

بازهٔ ولتاژ کاری

معمولاً مرز بیشینه و کمینه برای ولتاژ تغذیهٔ رایانهٔ موتور وجود دارد (به عنوان مثال ۸ تا ۱۴ ولت). البته خارج از این بازه تضمینی برای عملکرد مناسب رایانهٔ موتور وجود ندارد.

بازهٔ دمای کاری

سازندگان رایانهٔ موتور، در یک بازهٔ دمایی مشخص، عملکرد مناسب آن را تضمین می‌کنند. دمای محیط اطراف رایانهٔ موتور، به دمای درونی آن که مهمتر است، تبدیل می‌شود.

محافظت از رایانهٔ موتور

معمولاً برای محافظت از رایانهٔ موتور از ا ستانداردهای بین المللی به عنوان مبنا ا ستفاده می شود. به عنوان مثال، ا ستاندارد IP6K9K به معنی عدم ورود گرد و غبار و آب به درون رایانهٔ موتور ا ست. در نشریه‌های سازمان IEC[1]، دو خاصیت ذکر شده برای بدنهٔ قطعات برقی، به وسیلهٔ دو عدد نشان داده می‌شود. عدد اول، نشان دهندهٔ سطح بسته بودن دستگاه در مقابل ورود اجسام خارجی به داخل بدنه و همچنین تماس با قطعات برق دار یا متحرک ا ست و عدد دوم نشان دهندهٔ سطح آب‌بندی د ستگاه در مقابل نفوذ آب ا ست. این دو عدد، همراه با دو حرف IP بکار می‌روند که طبق تعریف IEC جانشین واژهٔ International Protection ا ست. برخی ا سناد فنی IP را مخفف Ingress Protection تفسیر نموده اند و در بعضی از مدارک فنی از آن به عنوان Index of Protection یاد شده ا ست. آنچه مسلم ا ست این ا ست که IP محتوای هر سه واژهٔ یاد شده را شامل می شود. بنابراین با استفاده از دو عدد، درجهٔ حفاظت تجهیزات برقی در مقابل ورود اجسام خارجی و آب به داخل بدنهٔ آن تعریف می‌شود. اگر دستگاهی فاقد یکی از دو خاصیت فوق باشد، بجای یکی از اعداد حرف X بکار می‌رود.

نرم‌افزار رایانهٔ موتور

نرم‌افزار رایانهٔ موتور در حافظهٔ آن ذخیره می شود که همیشه و به صورت حلقه‌ای با پردازنده اجرا می شود. نرم‌افزار رایانهٔ موتور از تعداد زیادی تابع تشکیل شده است که هر یک از توابع وظیفهٔ محاسبات خاصی را بر عهده دارد. معمولاً هر یک از سازنده‌های رایانهٔ موتور، تقسیم‌بندی خاص خود را برای نرم‌افزار مستقر در رایانهٔ موتور دارند. در بخش‌های بعدی، مهمترین راهبردهای موجود در نرم‌افزار رایانهٔ موتورهای دیزل تقسیم‌بندی و معرفی می‌شوند و روش‌های نگاشت و تنظیم مهمترین راهبردها برای رسیدن به اهداف مورد انتظار تشریح می‌شوند.

٦-٦- حسگرهای رایج در موتورهای دیزل

مهمترین حسگرهای استفاده شده در سامانهٔ مدیریت موتورهای دیزل بدین شرح است:

- حسگر دور موتور
- حسگر زاویهٔ میل‌بادامک
- حسگر شار جرمی هوای ورودی
- حسگر موقعیت گردای هندسه متغیر[2]
- حسگر فشار چندراههٔ سوخت
- حسگر دمای سوخت

[1] International Electrotechnical Commission (IEC)
[2] Variable Geometry Turbocharging (VGT)

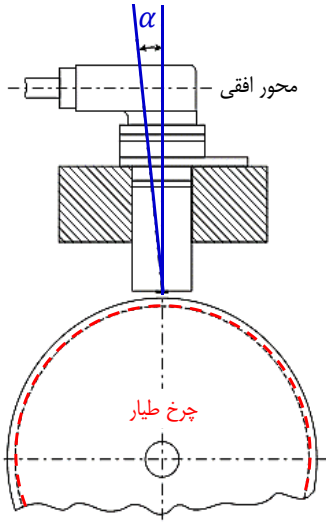
- حسگر فشار و دمای هوای چندراههٔ ورودی
- حسگر دمای آب خنک‌کاری
- حسگر مقدار گشودگی دریچهٔ گاز
- حسگر مقدار گشودگی دریچهٔ بازخورانی گازهای خروجی
- حسگر اکسیژن قبل از واکنشگر شیمیایی
- حسگر دمای گازهای مجاری دود
- حسگر اختلاف فشار دو طرف صافی ذرات دیزل

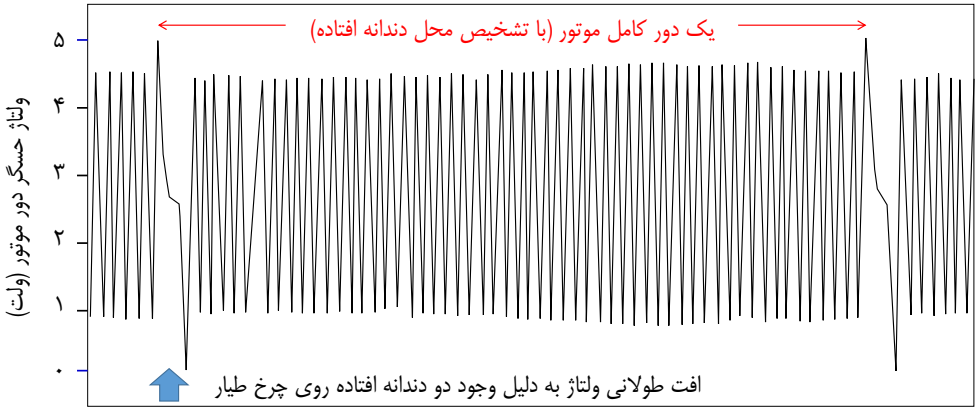
در ادامهٔ این بخش، به معرفی این حسگرها و کاربرد هر یک از آنها پرداخته می‌شود.

حسگر دور موتور

از این حسگر برای خوانش دور موتور استفاده می‌شود. این حسگر از داخل دارای سیم پیچی است که به دور آهنربای دایم وصل شده است و در جلوی دندانه‌های چرخ زمان‌بندی[1] روی چرخ طیار با فاصله هوایی معین قرار می‌گیرد. در اثر چرخیدن چرخ طیار و قرارگیری بخش برآمده از دندانه‌های آن، شارهای آهنربایی قطع شده و جریان برقی ایجاد می‌شود. علامت خروجی حسگر دور موتور به‌صورت سینوسی است و دو دندانهٔ افتاده چرخ لنگر در علامت خروجی مشخص می‌شود. در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر دور موتور و علامت خروجی آن نشان داده شده است.

[1] Trigger wheel





شکل ۶-۵- نمایی از حسگر دور موتور و علامت خروجی آن به همراه علامت پاشش افشانه‌ها

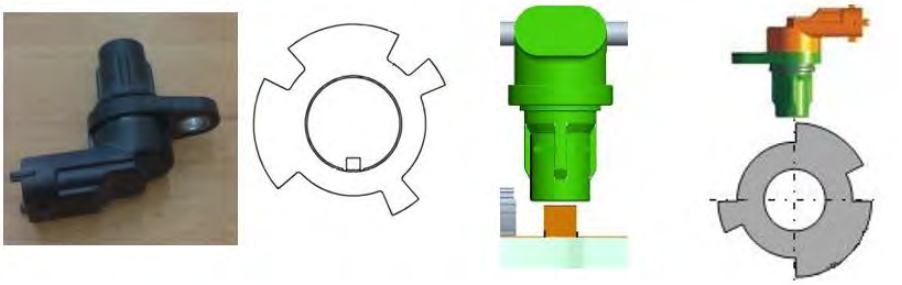
حسگر زاویهٔ میل‌بادامک

با گردش چرخ هدف[1] از مقابل حسگر و بسته به شکل قطعه قرار گرفته در جلوی حسگر با فاصله هوایی معین، میدان آهنربایی می‌تواند تقویت یا ضعیف شود. این فرایند باعث تولید علامت می‌شود و در نهایت این

[1] Target wheel

علامت به حسگر اثر هال[1] درون حسگر میل‌بادامک می‌رسد. خروجی حسگر اثر هال برابر با صفر یا ولتاژ تغذیه خواهد بود. بنابراین خروجی حسگر میل‌بادامک به‌صورت پله‌ای است.

از مزایای بهره‌گیری از حسگر میل‌بادامک می‌توان به شناسایی استوانهٔ[2] در وضعیت احتراق اشاره نمود. از سوی دیگر، استفاده از چرخ هدف و حسگر زاویهٔ میل‌بادامک در موتورهای دارای زمان‌بندی متغیر دریچهٔ[3] هوا یا دود ضروری است. در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر میل‌بادامک به همراه چرخ هدف نشان داده شده است.



شکل ۶-۶- نمایی از حسگر میل‌بادامک و چرخ هدف

حسگر شار جرمی هوای ورودی (حسگر صفحهٔ داغ)

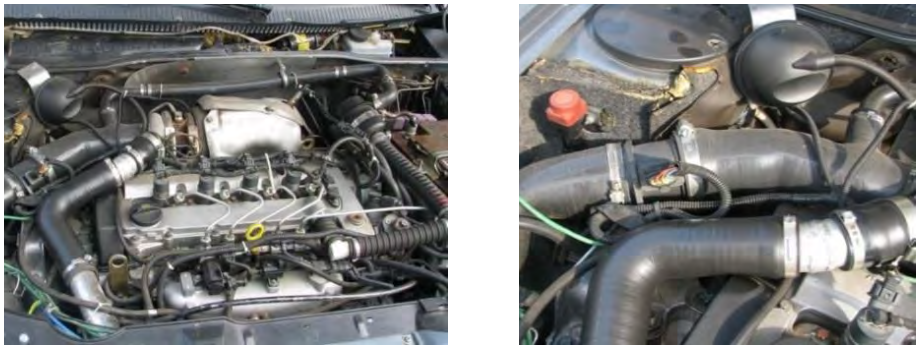
حسگر شار جرمی هوای ورودی[4]، مسیری با دو مجرای عبور هوا دارد که یکی از آنها هوای خالص را به سمت حسگر هدایت می‌کند و دیگری هوای همراه با آب و ذرات گرد و غبار را به خارج می‌فرستد و اجازهٔ ورود آنها را به مسیر منتهی به حسگر نمی‌دهد. این کار با کمک گرفتن از نیروی گریز از مرکز روی می‌دهد. در **Error! Reference source not found.**، نمایی کلی از حسگر شار جرمی هوای ورودی و در **Error! Reference source not found.**، نماهای مختلف این حسگر نشان داده شده است. همچنین در **Error! Reference source not found.**، نماهایی از نصب حسگر صفحهٔ داغ بر روی خودرو نشان داده شده است.

[1] Hall effect
[2] Cylinder
[3] Variable Valve Timing (VVT)
[4] Hot Film Air Mass Meter (HFM)

شکل ۶-۷- نمایی کلی از حسگر صفحهٔ داغ

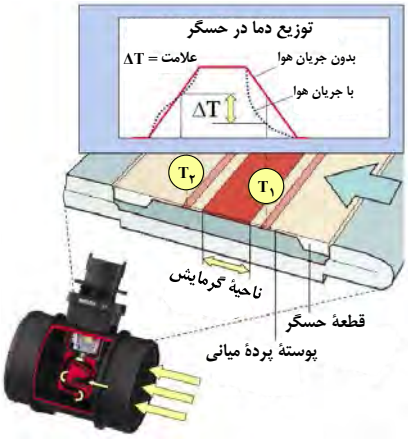
نمای روبه‌رو　　نمای بالا　　نمای پشت

شکل ۶-۸- نماهای مختلف حسگر صفحهٔ داغ



شکل ۶-۹- نماهایی از نصب حسگر صفحهٔ داغ بر روی خودرو

بخشی از کل هوای ورودی به استوانهٔ مسیر اصلی صفحهٔ داغ، از روی قطعهٔ حسگر (که در مسیر میان‌گذر قرار دارد) می‌گذرد. علاوه بر آن، یک لایه بر روی حسگر قرار گرفته است و ناحیه‌ای از آن که از مرکز به‌طور متقابل و سعت دارد گرم می شود و البته ح سگرهای دما نیز در آن نواحی تعبیه شده‌اند. با مهار دما از طریق گرم کردن ناحیهٔ محصور شده به دو حسگر دما و البته در صورت نبود جریان هوا، توزیع دما در آن ناحیه، متقارن است. اما زمانی که هوا از درون حسگر عبور کند، ناحیهٔ بالادست خنک و توزیع دما از حالت متقارن دور می‌شود. بنابراین اختلاف دمای خوانده شده از دو حسگر متناسب با شار جرمی هوای عبوری از حسگر است. این تناسب در آزمایشگاه سازندهٔ حسگر تنظیم می‌شود. در **Error! Reference source not found.**، نمایی از اصول عملکرد صفحهٔ داغ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۰- نمایی از اصول عملکرد حسگر صفحهٔ داغ

با توجه به لزوم خوانش صحیح مقدار هوای ورودی به موتور، باید تأثیرات ناشی از نوسان فشاری ایجاد شده در مسیر هوای ورودی بر روی اندازه‌گیری شار جرمی هوا به‌وسیلهٔ حسگر صفحهٔ داغ در نظر گرفته شود. بنابراین، نیاز است که راهبرد تصحیح نوسان فشار برای خوانش دقیق شار جرمی هوا را صفحهٔ داغ به کار گیرد. در ادامه، روش نگاشت و تنظیم راهبرد جبران‌سازی نوسان فشار هوا تشریح خواهد شد.

کاربردهای مهم

حسگر صفحهٔ داغ برای اندازه‌گیری شار جرمی هوای تازهٔ ورودی موتور به کار می‌رود. این حسگر به‌طور همزمان، توانایی اندازه‌گیری دمای هوای عبوری از خود را نیز دارد. این حسگر دما، در داخل صفحهٔ داغ و بر روی

حسگر صفحهٔ داغ نصب شده است و از نوع ضریب دمائی منفی[1] است. شار جرمی هوای ورودی، یکی از ورودی‌های مهم برای دستیابی به احتراق مناسب و کاهش آلاینده‌های خروجی موتور است. بنابراین، خوانش صحیح شار جرمی هوا برای گذراندن استانداردهای مختلف آلایندگی ضروری است. به عبارت دیگر، کیفیت احتراق و آلاینده‌های خروجی موتور با توجه به مقدار هوای ورودی و گازهای خروجی برگشتی به موتور تعیین می‌شود. کاهش (ویا افزایش) شار جرمی هوای ورودی واقعی به موتور نسبت به مقادیر تنظیم شده، موجب ایجاد خطا در راهبردهای مهار مقدار هوا و گازهای برگشتی می‌شود که این عامل سبب تغییر کیفیت احتراق موتور و نیز تغییر مقادیر آلاینده‌های خروجی (بویژه آلاینده‌های دوده و اکسیدهای ازت که با یکدیگر در تقابل اند) می‌شود. افزایش شار جرمی هوای ورودی و یا کاهش مقدار گازهای برگشتی، باعث بهبود کیفیت احتراق و کاهش آلاینده‌های دوده و از سوی دیگر افزایش آلایندگی اکسیدهای ازت می‌شود. علاوه بر آلایندگی، خوانش نادرست شار جرمی هوا باعث تغییر قابلیت رانندگی موتور نیز خواهد شد. به عنوان مثال، در شرایط تمام بار از دور موتورهای کُند، با توجه به اعمال راهبرد محدودسازی مقدار دوده، خوانش نادرست مقدار هوا به کمک صفحهٔ داغ، باعث کاهش گشتاور خروجی موتور می‌شود.

برخی از مشخصه‌های فنی

- یکی از مشخصه‌های مهم صفحهٔ داغ، بیشینهٔ افت فشار آن است و هر چه کمتر باشد مناسب‌تر است.
- بازهٔ اندازه‌گیری شار جرمی هوای ورودی، ۴۸۰–۸ کیلوگرم در ساعت است.
- قابلیت اندازه‌گیری جریان برعکس تا ۴۰– کیلوگرم در ساعت
- محدودیت‌هایی برای اندازهٔ ذرات هوای ورودی وجود دارد.
- محدودیت‌هایی برای ورود روغن و آب و دیگر سیالات مهاجم به این حسگر وجود دارد.
- محدودیت‌هایی برای نحوهٔ نصب این حسگر وجود دارد.
- محدودیت‌هایی برای فاصلهٔ محل ورود بازخورانی دود و گازهای محفظهٔ لنگ تا این حسگر وجود دارد.
- این حسگر باید به شکل عمودی نصب شود.
- از جانمایی این حسگر در نزدیکی و مجاورت موتور به دلیل لرزش و نوسان زیاد فشار باید پرهیز نمود.
- از مجاورت این حسگر با منابع تولید گرما باید پرهیز نمود.
- برای جلوگیری از تداخل امواج برقی، از مجاورت این حسگر با سایر قطعات برقی مانند شیر برقی باید دوری نمود.

[1] Negative Temperature Coefficient (NTC)

حسگر فشار و دمای هوای چندراههٔ ورودی

در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر فشار و دمای چندراههٔ ورودی نشان داده شده است. عملکرد این حسگر به روش مقاومت پیزو[1] است. از این حسگر برای اندازه‌گیری فشار مطلق چندراههٔ هوا و دمای آن استفاده می‌شود. خوانش صحیح مقدار فشار و دمای ورودی به موتور، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد خروجی موتور دارد. به عنوان مثال، در شرایط تمام بار، تنظیم دقیق فشار پرخوران، باعث دستیابی به بیشترین گشتاور خروجی با در نظرگرفتن محافظت از قطعات برای افزایش دوام موتور خواهد شد.

کارآیی دیگر این حسگر، محاسبهٔ مقدار شار بازگردانی دود است. از علامت دمای آن هم در متغیرهای اصلاحی توابع رایانهٔ موتور استفاده می شود. شایان ذکر است که بیشینهٔ بازهٔ فشار بسته به نوع موتور (بنزینی- دیزلی- تنفس طبیعی- پرخوران) تغییر می‌کند. همچنین حداکثر فشار چند راههٔ دود نیز در انتخاب حسگر مؤثر خواهد بود.

شکل ۶-۱۱- نمایی از حسگر فشار و دمای چندراههٔ ورودی

برخی از مشخصه‌های فنی

نمونه‌ای از مشخصه‌های فنی حسگر فشار چندراههٔ هوا در **Error! Reference source not found.**، ذکر شده است. همچنین نمونه‌ای از منحنی مشخصه‌های حسگرهای فشار و دمای چندراههٔ هوا در **Error! Reference source not found.**، نشان داده شده است.

[1] Piezo resistive

جدول ۶-۱- نمونه‌ای از مشخصه‌های فنی حسگر فشار چندراهۀ هوا

ویژگی	نشانه	مقدار			واحد
		کمینه	نوع	بیشینه	
بازۀ فشار	P_{abs}	۲۰		۳۰۰	kPa
بازۀ دما	T	-۴۰		۱۳۰	°C
ولتاژ تغذیه	U_S	۴,۷۵	۵	۵,۲۵	V
جریان تغذیه در U_S = 5 V	I_S	۶	۹	۱۲,۵	mA
جریان بار خروجی	I_L	-۱		۰,۵	mA
مقاومت بار به U_S یا به زمین	$R_{pull-up}$ $R_{pull-down}$	۵ ۱۰			kΩ kΩ
ظرفیت بار	C_L			۱۲	nF
زمان پاسخ	$T_{10/90}$			۱	ms
مرز پائین در U_S = 5 V	$U_{out.min}$	۰,۲۵	۰,۳	۰,۳۵	V
مرز بالا در U_S = 5 V	$U_{out.min}$	۴,۶۵	۴,۷	۴,۷۵	V
مقاومت بیرونی نسبت به زمین U_S باز	R_{IO}	۱	۱,۶	۲	kΩ
مقاومت بیرونی نسبت به زمین U_S باز	R_{hi}	۱	۱,۶	۲	kΩ

تابع تبدیل حسگر فشار = $U_{out} = (c_1 . p_{abs} + c_0) . U_S$

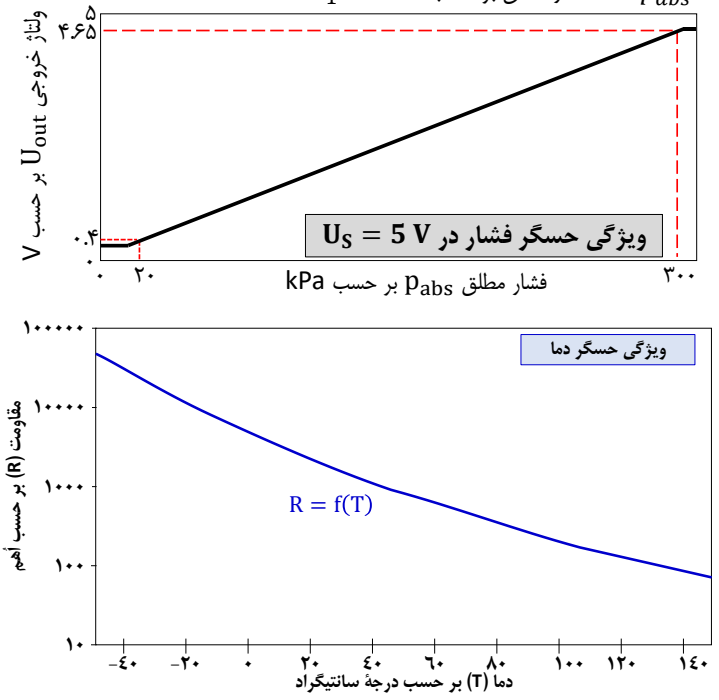
U_{out} = ولتاژ خروجی علامت بر حسب V

U_S = ولتاژ تغذیه بر حسب V

p_{abs} = فشار مطلق بر حسب V

c_0 = ۵.۴ /۲۸۰

c_1 = ۰.۸۵ /۲۸۰ kPa^{-1}



شکل ۶-۱۲- نمونه‌ای از منحنی مشخصه‌های حسگرهای فشار و دمای چندراههٔ هوا

موقعیت نصب

به منظور دور بودن از درگاه‌های ورودی[1] و همچنین جلوگیری از ورود مایع و نو سان گذرای نا شی از باز و بسته شدن دریچهٔ گاز، محل نصب این حسگر به دور از دریچهٔ گاز ا ست و معمولاً در بالاد ست چندراههٔ هوای ورودی قرار می‌گیرد.

[1] Internal ports

حسگر دمای آب خنک‌کاری

این حسگر معمولاً در محل محفظهٔ دمابان نصب می‌شود و از نوع ضریب دمائی منفی است یعنی با افزایش دما، مقدار مقاومت آن کاهش می‌یابد. از مزایای بهره‌گیری از این حسگر می‌توان به شناسایی دمای سیال خنک کن موتور در رایانهٔ موتور و نمایش آن در نمایشگر جلوی راننده (IP) برای آگاهی راننده و یا ارسال اطلاعات دمای سیال خنک‌کن برای پودمان[1] تهویه مطبوع ا شاره نمود. همچنین بـ سیاری از راهبردهای رایانهٔ موتور برای مهار مناسب موتور (مانند راهبردهای راه‌اندازی سریع و گرمایش بهینهٔ موتور) وابسته به مقدار دمای آب خنک‌کاری اند. در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر دمای آب خنک‌کاری نشان داده شده است.

شکل ۶-۱۳- نمایی از حسگر دمای آب خنک‌کاری

حسگر مقدار گشودگی دریچهٔ گاز

وظیفهٔ اصلی این حسگر، تعیین زاویهٔ گشودگی دریچهٔ گاز است.

حسگر مقدار گشودگی دریچهٔ بازخورانی دود

مشابه حسگر مقدار گشودگی دریچهٔ گاز، وظیفهٔ اصلی این حسگر، تعیین مقدار گشودگی دریچهٔ بازخورانی دود است.

حسگر موقعیت پرخوران هندسه متغیر

[1] Module

از این حسگر برای اندازه‌گیری موقعیت پره‌های گردا برای دستیابی به فشار پرخورانی مطلوب استفاده می شود. با ا ستفاده از اطلاعات این ح سگر، اثر تغییر ف شار تلمبهٔ خلا و یا روادا شت[1] ساخت پرخوران در تنظیم موقعیت پرخوران هند سه متغیر حذف می شود و مهار ف شار پرخوران، آ سان‌تر می شود. البته در موتور فعلی، این حسگر به کار نرفته است.

حسگر فشار چندراههٔ سوخت

از این حسگر برای اندازه‌گیری فشار سوخت در محل لولهٔ سوخت استفاده می‌شود. در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر فشار چندراههٔ سوخت نشان داده شده است.

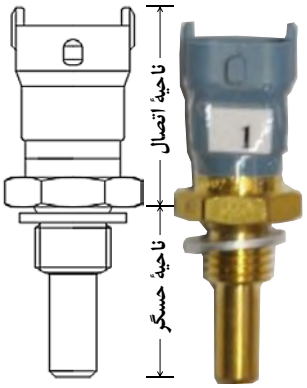
شکل ۶-۱۴- نمایی از حسگر فشار چندراههٔ سوخت

مقدار پاشش سوخت از افشانه[2] متأثر از فشار سوخت در چندراههٔ سوخت است. یعنی با افزایش فشار پاشش سوخت و ثابت ماندن زمان بلند شدن سوزن افشانه، مقدار پاشش سوخت از افشانه افزایش می‌یابد. بنابراین داشتن اطلاعات صحیح از مقدار فشار سوخت دارای اهمیت بسزایی است. از سوی دیگر، افزایش فشار سوخت، مقدار سر و صدای موتور را بیشتر می‌کند اما منجر به گردافشانی بهتر سوخت پاشیده شده از افشانه‌ها می شود و در نتیجه اختلاط سوخت و هوا را بهبود می‌دهد. بنابراین افزایش ف شار سوخت، باعث کاهش آلاینده‌هایی همچون دوده و مونوکسید کربن می‌شود.

حسگر دمای سوخت

[1] Tolerance
[2] Injector

در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر دمای سوخت نشان داده شده است. خوانش صحیح مقدار دمای سوخت، تأثیر زیادی بر اعمال راهبردهای تصحیح مقدار پاشش سوخت دارد. به عنوان مثال، دمای سوخت در تنظیم مقادیر پیش پاشش‌ها[1] (که سهم بسزایی در مهار آلایندگی و صدای موتور دارند)، مؤثر است.



شکل ۶-۱۵- نمایی از حسگر دمای سوخت

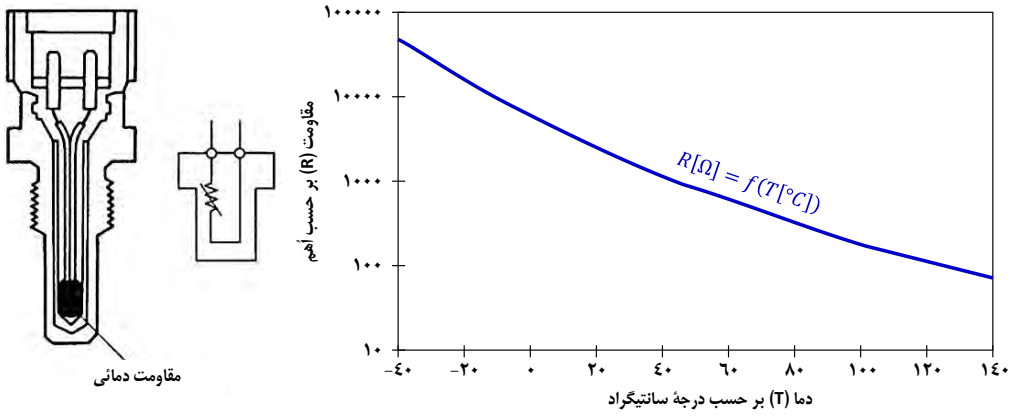
برخی از مشخصه‌های فنی

ولتاژ نامی این حسگر ۵ ولت است. ثابت زمانی این حسگر (در صورت غوطه وری در آب/روغن از دمای ۲۰ تا ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد) برابر با ۱۵ ثانیه است. محدودیت‌هایی در مقدار لرزش حسگر در محل نصب وجود دارد. نمونه‌ای از بازهٔ دمایی کارکرد حسگر دمای سوخت در **Error! Reference source not found.** ذکر شده است. در **Error! Reference source not found.**، نمونه‌ای از منحنی مشخصهٔ حسگر دمای سوخت نشان داده شده است.

جدول ۶-۲- نمونه‌ای از بازهٔ دمای کاری حسگر دمای سوخت

بخش	بازهٔ کاری عادی	بازهٔ کاری زمان کوتاه
ناحیهٔ اتصال	۱۳۰ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد / ۲۰ ساعت
ناحیهٔ حسگر	۱۴۰ تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد	۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد / ۱۰۰ ساعت

[1] Pilot injection



شکل ۶-۱۶- نمونه‌ای از منحنی مشخصهٔ حسگر دمای سوخت

حسگر اکسیژن قبل از واکنشگر شیمیایی

در **Error! Reference source not found.**، نمایی از حسگر اکسیژن نشان داده شده است. برای دانستن مقدار دقیق اضافه هوا[1] باید از این حسگر استفاده نمود. از یک گرمکن برای گرمایش سرامیک این حسگر استفاده می‌شود. برخی از مشخصه‌های فنی حسگر اکسیژن در **Error! Reference source not found.** ذکر گردیده است.

[1] Lambda

شکل ۶-۱۷- نمایی از حسگر اکسیژن

جدول ۶-۳- برخی از مشخصه‌های فنی حسگر اکسیژن

نقطهٔ کاری	۷۵۰ °C	۷۸۰ °C
ولتاژ اسمی	۹ V	۷٫۵ V
توان اسمی گرمکن	۱۰W، ۹V، در تعادل گرمایی با دود در ۳۵۰°C	۷٫۵ W، ۷٫۵ V، در تعادل گرمایی با هوا
کمینه مقاومت سرد گرمکن	۲٫۱ Ω در دمای ۴۰ °C-	۱٫۸ Ω
دمای قطعهٔ حسگر در گاز خروجی	≥ ۸۵۰ °C	≥ ۹۳۰ °C
دمای شش گوشهٔ محفظهٔ حسگر	≥ ۵۷۰ °C	≥ ۶۰۰ °C
دمای قطعهٔ حسگر در گاز خروجی	≥ ۹۸۰ °C	≥ ۱۰۳۰ °C
دمای شش گوشهٔ محفظهٔ حسگر	≥ ۶۳۰ °C	≥ ۶۸۰ °C

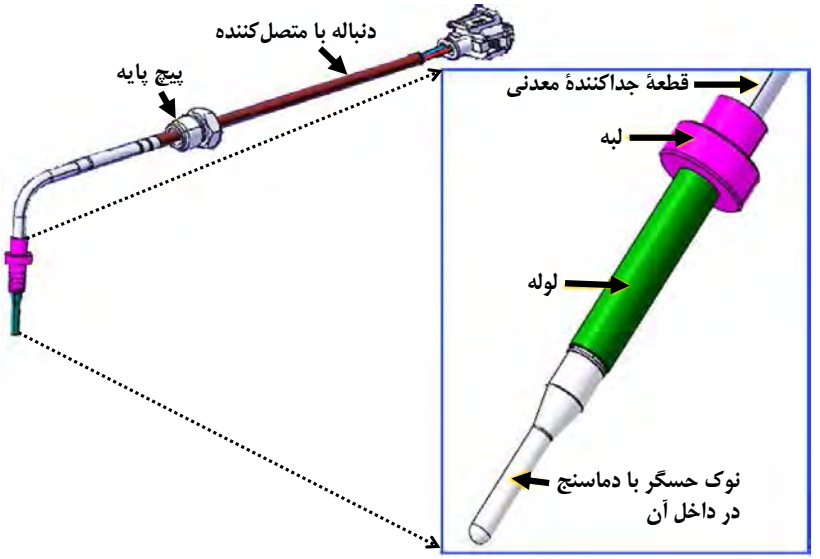
حسگر دمای گازهای مجرای دود

در Error! Reference source not found.، نمایی از حسگر دمای دود نشان داده شده است. این حسگر قبل از واکنشگر شیمیایی و همچنین قبل از صافی ذرات دیزل قرار می‌گیرد. برخی از علل استفاده از این حسگر بدین شرح است:

محافظت از واکنشگر و صافی دوده در زمان‌هایی که دمای آنها از مقدار مجاز بیشتر می‌شود.

دریافت بازخورد از این حسگر در زمان‌هایی که راهبرد احیای صافی دوده عمل می‌کند.

بازهٔ کاری این حسگر بسته به تغییرات دمای گازهای خروجی انتخاب می‌شود. این بازه در موتورهای امروزی معمولاً از ۴۰- تا ۱۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد است.

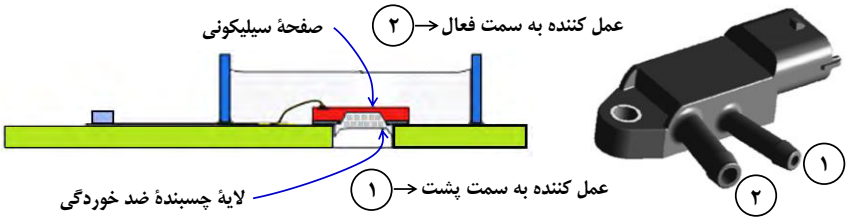


شکل ۶-۱۸- نمایی از حسگر دمای گازهای مجاری دود

حسگر اختلاف فشار دو طرف صافی دوده

این حسگر برای اندازه‌گیری اختلاف فشار دو طرف صافی دوده بکار می‌رود. اگر رسوب دوده در صافی ذرات دیزل بیش از حد مجاز شود، این حسگر افت فشار بیش از اندازهٔ صافی ذرات دیزل را تشخیص می‌دهد و راهبرد احیای آن فعال می شود. در Error! Reference source not found.، نمایی از حسگر اختلاف فشار دو طرف صافی ذرات دیزل و اصول عملکرد آن نشان داده شده است. بازهٔ اختلاف فشار اندازه‌گیری شدهٔ این

حسگر به حجم و هندسهٔ صافی ذرات دیزل وابسته است. به عنوان مثال، بازهٔ صفر تا ۱۰۰ کیلو پاسکال برای اندازه‌گیری اختلاف فشار دو طرف صافی ذرات دیزل کافی به نظر می‌رسد.



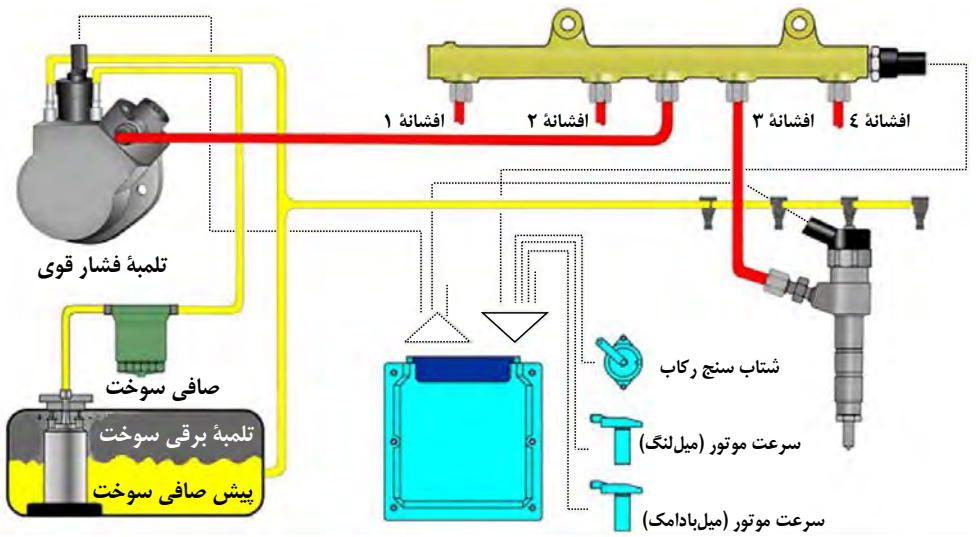
شکل ۶-۱۹- نمایی از حسگر اختلاف فشار دوطرف صافی دوده

۶-۷- معرفی عملگرهای متداول در موتورهای دیزل

مهمترین عملگرهای استفاده شده در سامانهٔ مدیریت موتورهای دیزل بدین شرح است:

- افشانه‌های سوخت
- دریچهٔ گاز برقی
- پودمان بازخورانی دود
- شیر برقی بازخورانی دود
- شیر برقی پرخوران هندسه متغیر
- شمع گرمکن و واحد مهار آن
- عملگر مهار شار سوخت

در ادامهٔ این بخش، به معرفی این عملگرها و کاربرد هر یک از آنها پرداخته می‌شود. **Error! Reference source not found.**، نمایی از سامانهٔ پاشش سوخت را نشان می‌دهد



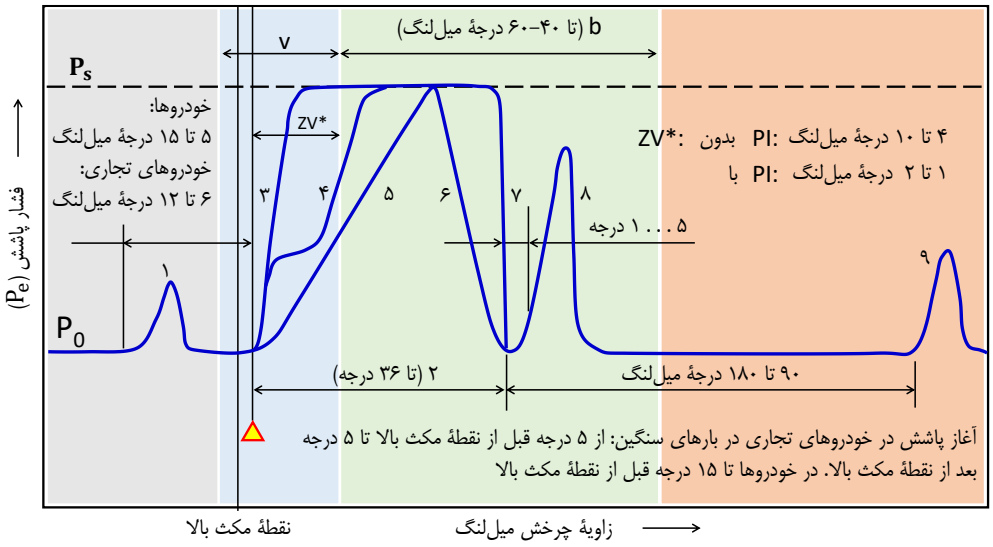
شکل ۶-۲۰- نمایی از سامانهٔ پاشش سوخت

افشانه‌های سوخت

کارکرد افشانه بر اساس ولتاژ ارسالی و به‌صورت اعمال بیشینهٔ ولتاژ و حفظ قله[1] و سپس کاهش ولتاژ است. عملگر افشانهٔ سوخت اهمیت بسزایی در گشتاور خروجی، سطح آلایندگی و نوفهٔ موتور داراست. برای این منظور، افشانه باید جوابگوی تعداد و مقادیر مطلوب درخواستی پیش پاشش، پاشش اصلی و پس پاشش باشد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

با افزایش آلایندگی خودروها و همچنین افزایش نسبت توان خروجی به حجم موتور، قابلیت پشتیبانی همزمان تعداد بیشتری از افشانه‌ها و همچنین نیاز به عملکرد افشانه‌ها در فشارهای قویتر لولهٔ سوخت، بیشتر شده است. امروزه افشانه‌های از نوع سیم پیچی و پیزو بیشتر رواج دارند.

[1] Peak & Hold



شکل ۶-۲۱- نمایی از داده‌های پاشش سوخت در طول چرخهٔ کاری موتور

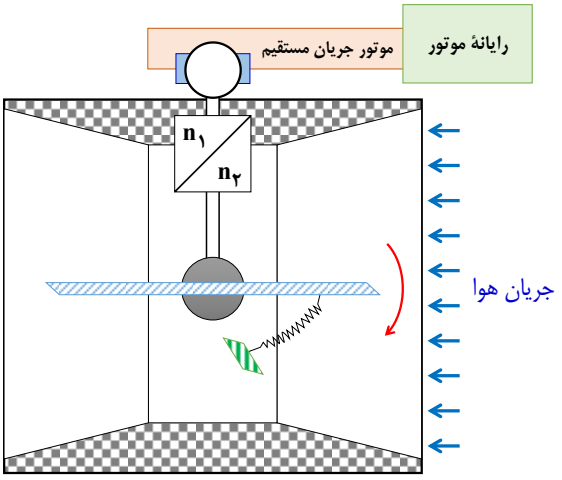
دریچهٔ گاز برقی

دریچهٔ گاز موتور دیزل در شـــرایط عادی، در وضـــعیت کاملاً باز قرار دارد. وجود دریچهٔ گاز برای تأمین اختلاف فشار برای کارکرد بازگردانی دود لازم است. به عبارت دیگر، تنظیم دریچهٔ هوا برای ایجاد خلأ نسبی در داخل چندراههٔ هوا برای ایجاد جریان گازهای برگشـــتی خروجی به داخل چندراهه صـــورت می‌پذیرد. همچنین در شـــرایط احیاء صـــافی دوده نیز می‌توان از حالت باز دریچهٔ هوا برای گرم‌تر کردن هوای ورودی به موتور اســـتفاده نمود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

پودمان دریچهٔ گاز شامل این بخش‌ها است:

- عملگر[1] (دربرگیرنده موتور جریان مستقیم و چرخ دنده دو مرحله‌ای)
- صفحهٔ دریچه گاز[2]
- حسگر موقعیت دریچه گاز[3]

[1] Actuator
[2] Throttle plate
[3] Throttle position sensor

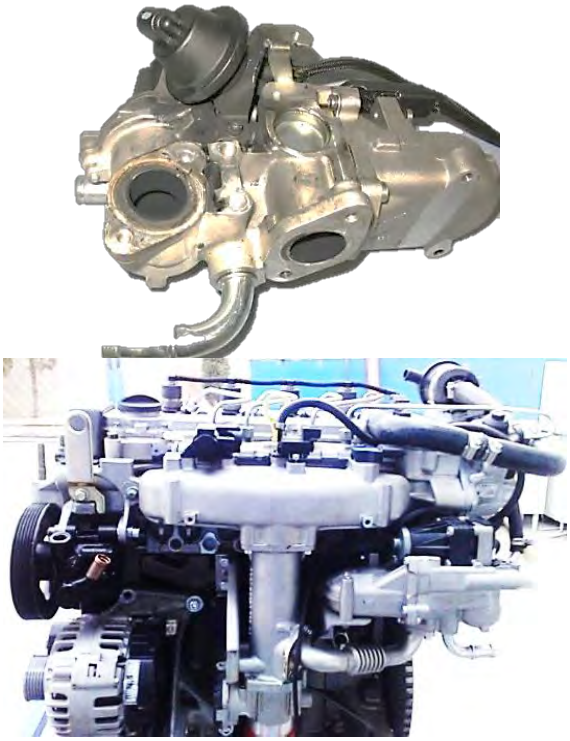


شکل ۶-۲۲- نمایی از عملگر دریچهٔ گاز برقی

پودمان بازخورانی دود

پودمان بازخورانی دود برای بازگرداندن گازهای احتراقی به هوای ورودی و خنک کردن آن برای مهار آلایندگی اکسیدهای ازت بکار می‌رود. مهار اکسیدهای ازت تنها در نقاط داخل چرخهٔ رانندگی صورت می‌پذیرد و در همهٔ نقاط کاری موتور، نیاز به بازگرداندن گازهای خروجی نیست. پودمان بازخورانی دود همانند دریچهٔ گاز، دارای عملگر و حسگر خوانش موقعیت دریچه است که عملگر آن، وظیفهٔ حرکت دادن شیر ورودی برای وارد کردن گازهای برگشتی را بر عهده دارد و موقعیت شیر بازخورانی دود با استفاده از حسگر این پودمان تعیین می‌شود.

Error! Reference source not found. را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲۳- نمایی از پودمان بازخورانی دود

شیر برقی بازخورانی دود

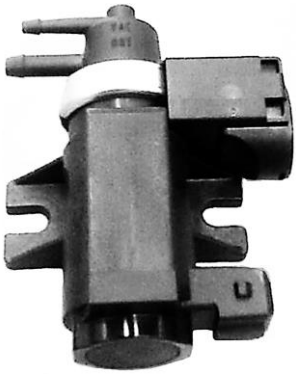
برای باز کردن مسیر خنک‌کاری سامانهٔ بازگردانی دود، از این عملگر استفاده می شود. برای این منظور، از خلاء ایجاد شدهٔ تلمبهٔ خلاء استفاده می‌شود. خنک‌کاری گازهای برگشتی تأثیر بسزایی بر تنظیم مقادیر آلایندگی موتور دارد. علاوه بر آن، عدم خنک‌کاری گازهای برگشتی به موتور و داغ بودن دمای آن در مسیر عبور از سامانهٔ بازخورانی دود، می‌تواند باعث آسیب به موتور جریان مستقیم این سامانه شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۲۴- نمایی از عملگر شیر برقی بازخورانی دود

شیر برقی پرخوران هندسه متغیر

برای تنظیم پرخوران هندسه متغیر، در زاویهٔ مورد نیاز و ایجاد فشار پرخورانی مطلوب، از این عملگر استفاده می‌شود. این شیر سیم‌پیچ دار با توجه به مقدار مطلوب زاویهٔ پرخوران هندسه متغیر، فشار خلاء لازم را برای حرکت اهرم متصل تنظیم می‌کند.

کارکرد مناسب این شیر برقی، تأثیر اصلی را بر مهار فشار پرخورانی و در نتیجه کارکرد مناسب موتور دارد. در صورتی که مقدار خلاء لازم برای تنظیم پرخوران هندسهٔ متغیر بیش از مقدار مورد نیاز باشد، باعث ایجاد فشار پرخورانی بیش از حد، افزایش فشار پشت موتور، آسیب به پرخوران و حتی آسیب به سامانهٔ هوای ورودی و موتور خواهد شد. از سوی دیگر، خلاء کمتر از مقدار لازم، باعث کاهش فشار پرخورانی و در نتیجه کاهش عملکرد موتور خواهد شد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲۵- نمایی از عملگر پرخوران هندسه متغیر

شمع گرم‌کن و مدیریت آن

این عملگر در داخل محفظهٔ احتراق قرار می‌گیرد و به منظور گرم کردن مخلوط هوا و سوخت درون محفظهٔ احتراق اســتفاده می‌شــود. این فرایند گرمایش، بویژه در دماهای کمتر از صــفر درجه، اهمیت پیدا می‌کند زیرا در دماهای بسیار سرد، امکان روشن شدن موتور بدون استفاده از شمع گرمکن[1] میسر نیست. همچنین استفاده از شــمع گرمکن برای پیش گرمایش محفظهٔ احتراق در دماهای ســرد تأثیر محســوســی بر آلایندگی خروجی موتور خواهد داشت. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۲۶- نمایی از عملگر شمع گرم کن

[1] Glow plug

مشخصه‌های مهم

- مدت زمان لازم برای رسیدن دمای نوک شمع گرمکن به دمای مورد نظر (معمولاً داغتر از ۹۰۰ درجه سانتیگراد)
- کوچک بودن و قابلیت جانمایی آن در محفظهٔ احتراق
- مصرف کم انرژی در زمان عملکرد
- داغترین دمای مجاز برای نوک شمع گرمکن
- دوام عملکردی در طول زمان
- دوام مکانیکی در طول زمان
- قابلیت اجرایی کردن گرمکن از نوع پس‌گرمکن[1] و گرمکن میانی[2]
- فراهم آوردن امکان لرزش و آلودگی کمتر در شرایط دور آرام سرد[3]
- قابلیت استفاده در موتورهای با نسبت تراکم کمتر از ۱۶
- ولتاژکاری (این قطعه معمولاً با ولتاژ بیش از ۱۱ ولت کار می‌کند اما در نمونه‌های جدیدتر ولتاژ کاری به ۷ ولت نیز می‌رسد).

انواع شمع گرمکن

شمع‌های گرمکن معمولاً به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند: الف: فلزی و ب: سرامیکی

برای موتورهای با نسبت تراکم بیشتر از ۱۶، استفاده از شمع گرم‌کن سرامیکی توصیه می شود. گرمترین دمای مجاز برای نوک شمع گرم‌کن سرامیکی، حدود ۲۰۰ درجهٔ سانتیگراد از نوع فلزی بیشتر است. گرمتر بودن دمای شمع گرمکن سرامیکی منجر به کاهش آلاینده‌های خام خروجی موتور و همچنین نو سان کمتر دور موتور در شرایط دور آرام در مقایسه با شمع گرمکن فلزی می شود. از سوی دیگر، مدت عمر شمع گرمکن سرامیکی، حدود ۴ برابر شمع گرم‌کن فلزی در شرایط کاری مشابه است.

[1] Post heater
[2] Intermediate heater
[3] Cold idle

مدیریت شمع گرم‌کن

معادل انگلیسی این قطعه glow control unit است و در واقع یک کلید برقی است که وظیفهٔ تحریک شمع‌های گرمکن را در شرایط مختلف کاری بر عهده دارد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد. از جمله مزایای استفاده از این قطعه در موتور می‌توان به مواردی اشاره نمود:

- نسبت قیمت به کارایی مناسب به دلیل فناوری استاندارد این قطعه در اروپا
- تحقق دادن به الزام عیب‌یابی دائمی اروپا[1]
- تحقق دادن به نیازهای موتور در شرایط مختلف کاری
- تحقق دادن به فرایند گرم کردن در شرایط pre & post & intermediate glow

شکل ۶-۲۷- نمایی از واحد مدیریت شمع گرم کن

عملگر مهار شار سوخت

این عملگر روی تلمبهٔ پرفشار سوخت قرار دارد و مهار شار سوخت را انجام می‌دهد. بنابراین با افزایش مصرف سوخت شاهد ضعف فشار سوخت نخواهیم بود و با کاهش مصرف سوخت، فشار لولهٔ سوخت قوی نخواهد شد. به عبارت دیگر، این عملگر با تنظیم شار عبوری سوخت، فشار سوخت مطلوب را در لولهٔ سوخت فراهم

[1] European On-Board Diagnostics (EOBD)

می‌آورد. خرابی این شیر باعث عدم ایجاد پاشش لازم سوخت و درنتیجه کارکرد نامناسب موتور خواهد شد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۲۸- نمایی از عملگر مهار شار سوخت

با توجه به توضیحات ارائه شده، اجزای مختلف سامانهٔ مدیریت موتورهای دیزل بررسی شد. با آنها امکان انتخاب معماری اجزای سامانهٔ مدیریت موتور با توجه به اهداف مورد انتظار از این سامانه فراهم می‌شود. در ادامه، مهترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل به عنوان یکی از مهمترین بخش‌های سامانهٔ مدیریت موتور، تحلیل و بررسی شده است.

۶-۸- مهمترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل

در این بخش، مهمترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل بررسی شده‌اند. در ابتدا حالت‌های کاری مختلف موتورهای دیزل معرفی می شوند. در ادامه، راهبردهای اصلی سامانه تبادل گاز موتور، شامل مهار مقدار هوا، مهار مقدار فشار پرخورانی، شبیه سازی گرماپویای سامانهٔ ورودی و خروجی و همچنین احیای صافی دوده بیان خواهد شد. سپس راهبردهای قابلیت رانش‌پذیری معرفی می شوند و در انتهای این بخش، راهبردهای تصحیح پاشش سوخت موتورهای دیزل به اختصار معرفی خواهند شد.

حالت‌های کاری موتورهای دیزل

حالت‌های کاری موتور دیزل با توجه به سامانه پس پالایشی استفاده شده تعریف می شود. تغییرات عمده اعمالی در راهبردهای موتور دیزل با تغییر حالت کاری، شامل توابع پاشش سوخت، توابع تنظیم مقدار هوا و فشار پرخورانی است. مهمترین حالت‌های کاری موتورهای دیزل شامل این موارد است:

- **حالت عادی:** این حالت، حالت اصلی و عمدهٔ کاری موتور دیزل است. در این حالت کاری، پاشش سوخت در چند مرحله (شامل پیش پاشش و پاشش اصلی) صورت می‌پذیرد. مهار مقدار گازهای برگشتی فعال است و فشار پرخورانی نیز با توجه به الزامات آلایندگی و مصرف سوخت تنظیم می‌شود.
- **حالت احیای صافی دوده:** در صورت استفاده از صافی دوده در سامانه خروجی موتور، از این حالت برای سوزاندن دوده‌های جمع شده در صافی استفاده می‌شود. در این حالت کاری، با توجه به نقطهٔ کاری موتور، فقط از یک پیش پاشش، پاشش اصلی و دو پس پاشش استفاده می‌شود. علاوه بر افزودن پس پاشش، تغییراتی در زاویهٔ پاشش‌ها نیز اعمال می‌شود. در این حالت کاری، تنظیم‌کننده گازهای برگشتی غیرفعال است و مهار فشار پرخورانی با توجه به مقدار هوای مورد نیاز در هرنقطهٔ کاری و تعیین دمای گازهای خروجی مناسب برای سوزاندن دوده‌های صافی تعیین می‌شود.
- **حالت گرمایش سریع:** تغییر حالت کاری عادی به حالت احیای صافی دوده، باید به گونه‌ای صورت پذیرد که تغییر شدیدی در عملکرد موتور ایجاد نشود. حالت گرمایش سریع، در واقع بین حالت‌های عادی و احیای صافی دوده است و باید به گونه‌ای تنظیم شود که تغییر حالت کاری عادی به حالت احیای صافی دوده برای راننده محسوس نباشد. در این حالت کاری، از یک پیش پاشش، پاشش اصلی و یک پس پاشش استفاده می‌شود. علاوه بر آن، تنظیم‌کننده گازهای برگشتی می‌تواند غیرفعال باشد و فشار پرخورانی نیز با توجه به نقطهٔ کاری موتور و دمای گازهای خروجی تنظیم می‌شود.

راهبردهای سامانه تبادل گاز موتور

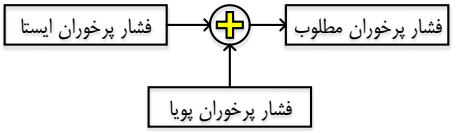
توابع سامانهٔ تبادل گاز، وظیفه اصلی ارائه اطلاعات را در مورد مقدار جرم هوای ورودی موتور و تنظیم مقادیر مطلوب هوا برعهده دارند. این کار به گونه‌ای صورت می‌پذیرد که آلایندگی خروجی و مصرف سوخت حداقل ممکن باشد. در این بخش، راهبردهای اصلی سامانه تبادل گاز شامل مهار مقدار هوا، مهار مقدار فشار پرخورانی، شبیه‌سازی گرماپویای سامانه ورودی و خروجی و همچنین احیای صافی دوده بیان خواهد شد.

راهبرد مهار فشار پرخوران

هدف از مهار فشار پرخوران، دستیابی به کمینهٔ مصرف سوخت و آلایندگی و همچنین محافظت از قطعات موتور ا ست. با تنظیم بهینهٔ این راهبرد، افزایش سریع ف شار پرخوران و همچنین گ شتاور پایدار در دور و بارهای مختلف موتور ایجاد می شود که در نهایت موجب افزایش بازده موتور نیز خواهد شد. برای مهار ف شار پرخوران از دریچهٔ هدر و یا هند سه متغیر گردا ا ستفاده می شود. راهبرد مهار ف شار پرخوران شامل توابع: تعیین مقدار مطلوب فشار پرخوران، مهار حلقهٔ باز فشار پرخوران و مهار حلقهٔ بسته فشار پرخوران است.

تعیین مقدار فشار پرخوران مطلوب

مقدار پایهٔ فشار پرخوران مطلوب، وابسته به سرعت موتور و مقدار پاشش سوخت تعیین می شود. سپس مقدار پایه وابسته به متغیرهای مختلف اصلاحی تصحیح می شود و در ادامه با اضافه شدن مقدار فشار پرخوران پویا، مقدار نهایی فشار پرخوران مطلوب به دست می‌آید. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



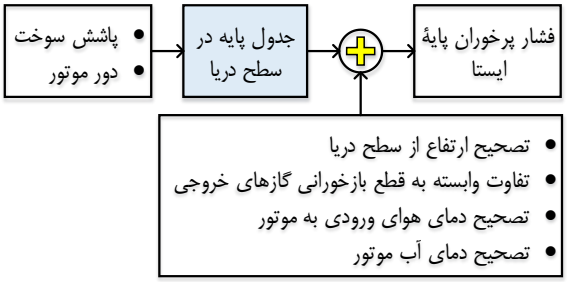
شکل ۶-۲۹- روندنمای تعیین مقدار فشار پرخوران مطلوب

مقدار فشار پرخوران مطلوب از یک مؤلفهٔ ایستا و یک مؤلفه پویا تشکیل شده است. محاسبهٔ مقدار فشار پرخوران مطلوب از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

- محاسبهٔ مقدار فشار پرخوران ایستا
- تصحیح فشار پرخوران ایستا
- محاسبهٔ فشار پرخوران پویا

محاسبهٔ مقدار فشار پرخوران ایستا

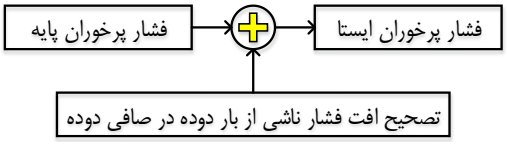
مقدار پایهٔ فشار پرخوران در سطح دریا از جدول پایه در شرایطی که بازخورانی دود به موتور وجود داشته باشد، تعیین می‌شود. در شرایط نبود بازخورانی دود، مقدار تصحیح جمعی به مقدار پایهٔ فشار پرخوران افزوده می‌شود. در ادامه، ضریب تصحیح ارتفاع نیز در مقدار پایه اعمال می‌شود. در نهایت، مقدار پایهٔ فشار پرخوران مطلوب، با تصحیحات ناشی از دمای موتور و دمای هوای ورودی به موتور اصلاح می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳۰- روندنمای محاسبهٔ مقدار فشار پرخوران ایستا

اصلاح فشار پرخوران ایستا نسبت به بار دوده

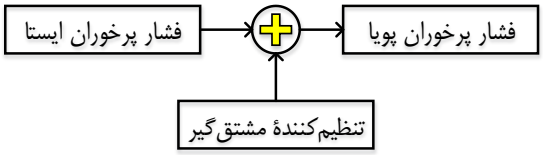
هنگام استفاده از یک صافی دوده، نسبت فشار گردا یا شار حجمی عبوری از پایین دست گردا، به بار صافی دوده وابسته می شود. مقدار پایهٔ فشار پرخوران ایستا وابسته به بار صافی دوده، دوباره اصلاح می شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد. تعیین مقدار مطلوب فشار پرخوران ایستا در سایر حالت‌های کاری، دقیقاً مشابه حالت عادی است.



شکل ۶-۳۱- روندنمای اصلاح فشار پرخوران ایستا نسبت به بار دوده

محاسبهٔ فشار پرخوران پویا

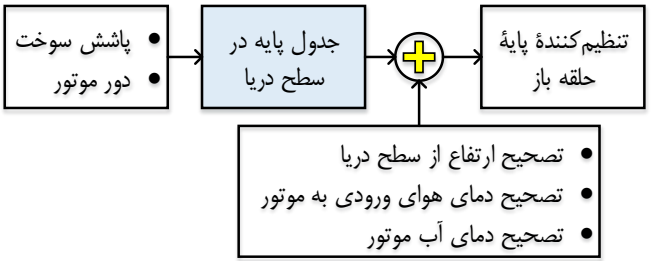
مقدار فشار پرخورانی پویا، از مشتق مقدار فشار پرخورانی ایستا به دست می‌آید. این قابلیت در نرم‌افزار وجود دارد که بتوان بر اساس دمای کاری موتور ضریب تصحیح تنظیم‌کنندهٔ مشتق‌گیر برای بازه‌های کاری متفاوت اعمال شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳۲- روندنمای محاسبهٔ فشار پرخوران پویا

تنظیم‌کنندهٔ حلقهٔ باز فشار پرخوران

با توجه به سرعت موتور و مقدار پاشش سوخت، مقدار تنظیم‌کننده حلقه باز به دست می‌آید. در ابتدا مقدار تنظیم‌کننده پایه در سطح دریا از نقشهٔ پایه با توجه به مقدار پاشش سوخت و دور موتور تعیین می شود. سپس مقدار تنظیم‌کننده پایه، با اعمال ضریب تصحیح ارتفاع و همچنین به کمک مقادیر اصلاحی دمای موتور و دمای هوای ورودی به موتور تصحیح می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد. مقدار تنظیم‌کنندهٔ حلقه باز فشار پرخوران در سایر حالت‌های کاری، مشابه حالت عادی تعیین می‌شود.

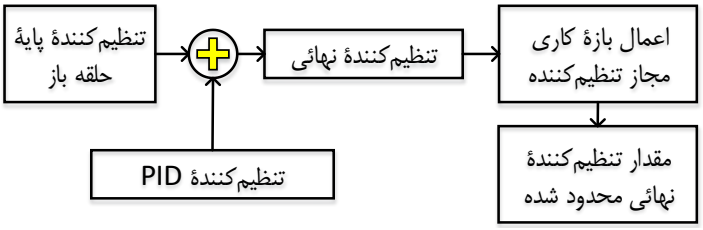


شکل ۶-۳۳- روندنمای تنظیم‌کنندهٔ حلقه باز فشار پرخوران

تنظیم‌کنندهٔ حلقه بستهٔ فشار پرخوران

وظیفهٔ تنظیم‌کنندهٔ حلقه بستهٔ فشار پرخوران، رساندن سریع فشار واقعی به فشار پرخوران مطلوب و مهار نوسان آن است. برای تنظیم حلقه بستهٔ فشار پرخوران، از تنظیم‌کننده PID استفاده می شود. این کار به صورت موازی با تنظیم حلقه باز انجام می‌شود به صورتی که مؤلفه‌های مهاری حلقه بسته و حلقه باز با یکدیگر جمع می شوند و خروجی نهایی تنظیم‌کننده به دست می‌آید. متغیر خروجی تنظیم‌کننده فشار پرخوران در واقع موقعیت نسبی عملگر است که مقدار بیشینهٔ آن در هر حالت کاری به کمک مقادیر یک جدول محدود می‌شود.

Error! Reference source not found. را نشان می‌دهد.

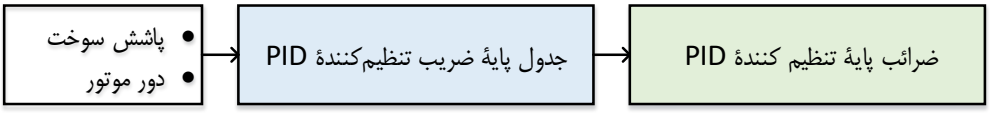


شکل ۶-۳۴- روندنمای تنظیم‌کنندهٔ حلقه بستهٔ فشار پرخوران

بخش‌های اصلی تنظیم‌کنندهٔ فشار عبارتند از:

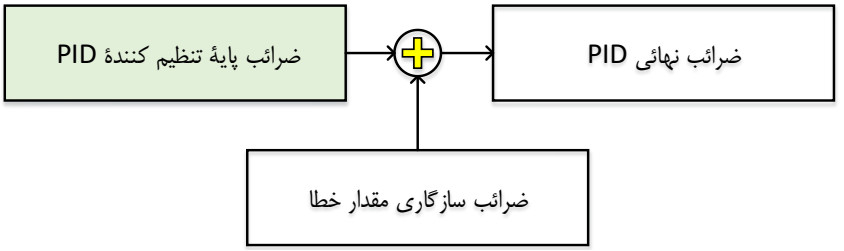
- محاسبهٔ اختلاف فشار پرخوران واقعی و مطلوب
- سازگاری ضرایب تنظیم‌کننده
- تعیین محدودیت‌های تنظیم‌کننده

در ابتدا ضرایب تنظیمی PID با استفاده از جداول پایهٔ هر ضریب در هر حالت کاری به دست می‌آید. این جداول بر حسب دور موتور و پاشش سوخت تنظیم شده اند. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



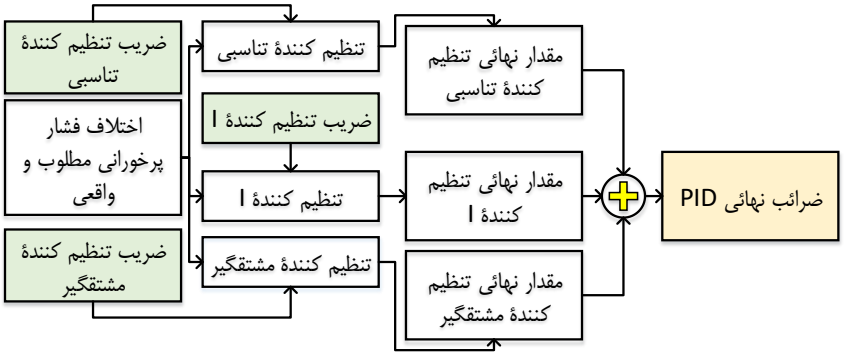
شکل ۶-۳۵- روندنمای بخش‌های اصلی تنظیم‌کنندهٔ فشار

در ادامه، به منظور دستیابی به مؤلفه‌های PID، بازه‌هایی برای ارزیابی خطای فشار پرخورانی واقعی از مطلوب درنظرگرفته می شود. برای هریک از بازه‌های خطایی (خطای مثبت، خطای منفی و خطای صفر) ضرایبی درنظر گرفته شده است. در نهایت با اعمال این ضرایب در ضرایب PID حاصل از جداول پایه، مقدار سازگار شده مؤلفه‌های PID به دست خواهد آمد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



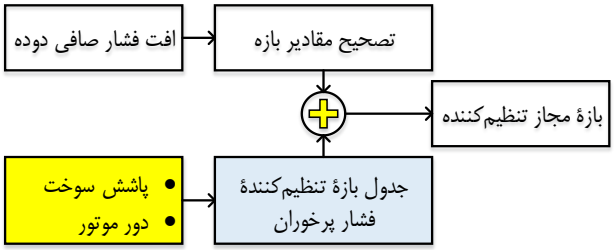
شکل ۶-۳۶- روندنمای تعیین ضرایب PID

به هنگام تغییرات سریع نقطهٔ کاری برای جلوگیری از افزایش بیش از حد جزء I تنظیم‌کننده، مقدار مطلوب فشار پرخورانی به صورت صافی شده با مقدار واقعی مقایسه می‌شود. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳۷- روندنمای مقایسهٔ فشار پرخورانی به صورت صافی شده با مقدار واقعی

در بخش نهایی، مقادیر مجاز بیشینه و کمینهٔ خروجی تنظیم‌کننده با استفاده از جداول پایه در هر نقطهٔ کاری، تعیین می‌شود. در ادامه با توجه به افزایش فشار پایین دستِ گردا به دلیل وجود صافی دوده در مسیر خروجی دود، مقدار تنظیم‌کننده (مجموع حلقه باز و حلقه بسته) تصحیح می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۳۸- روندنمای مقادیر مجاز بیشینه و کمینهٔ خروجی تنظیم‌کننده

راهبرد مهار مقدار گازهای بازخورانی

این راهبرد شامل دو تابع اصلی مهار مقدار هوای ورودی و همچنین مهار خنک‌کاری گازهای برگشتی است.

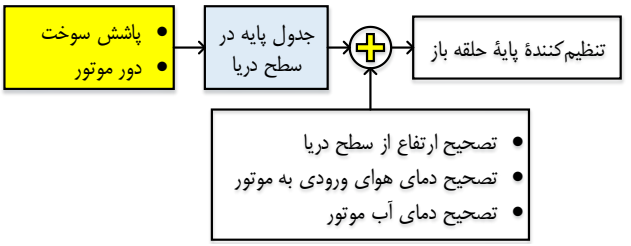
تنظیم هوای ورودی

تابع AirCtl مقدار هوای ورودی را به موتور برای داشتن احتراق مطلوب تنظیم می‌کند. مقدار گازهای بازخورانی به طور غیر مستقیم از طریق مقدار هوا تعیین می‌شود. در یک نقطهٔ کاری ثابت، افزایش مقدار هوای مطلوب باعث کاهش گازهای بازخورانی می‌شود و برعکس. مقدار هوای مطلوب می‌تواند با تنظیم حلقه باز، تنظیم حلقه بسته یا ترکیبی از هر دو تنظیم شود. در واقع تنظیم‌کنندهٔ مقدار گازهای بازخورانی، موقعیت تنظیم دریچهٔ بازخورانی دود و دریچهٔ گاز را محاسبه می‌کند. تنظیم مقدار گاز بازخورانی شامل توابع تعیین مقدار هوای مطلوب، تنظیم‌کنندهٔ دریچهٔ هوا، تنظیم‌کنندهٔ دریچهٔ گازهای بازخورانی خروجی و شرایط خنک‌کاری گازهای بازخورانی است.

راهبرد تعیین شار جرمی هوای ورودی مطلوب مشابه راهبرد تعیین فشار مطلوب پرخوران است. موقعیت نسبی مطلوب عملگرهای بازخورانی دود و دریچهٔ گاز بر حسب درصد بیان می‌شوند. مقدار ۱۰۰٪ برای شیر بازخورانی دود نشان می‌دهد که شیر بسته است و بیشترین مقدار هوای تازه وارد موتور می‌شود. به همین ترتیب صفر درصد نشان می‌دهد که شیر بازخورانی دود کاملاً باز است و کمترین مقدار هوای تازه وارد موتور می‌شود. مقدار ۱۰۰٪ برای دریچهٔ گاز، نشان دهنده باز بودن کامل دریچهٔ گاز است که در این حالت نیز بیشینهٔ مقدار هوای تازه، وارد موتور می‌شود.

تنظیم حلقه باز هوای ورودی

این تابع مقدار اولیه تنظیم‌کننده حلقه باز را برای بازخورانی دود محاسبه می‌کند. مقدار تنظیم‌کنندهٔ پایه، وابسته به سرعت موتور و مقدار پاشش سوخت تعیین می‌شود و سپس تصحیحات راجع به اصلاح مقدار تنظیم‌کننده در نقطهٔ کاری ثابت اعمال می‌شود. عوامل تأثیرگذار شامل ارتفاع از سطح دریا، دمای آب موتور و دمای هوای ورودی به موتور است. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

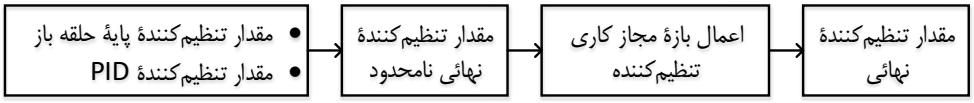


شکل ۶-۳۹- روندنمای تنظیم حلقه باز هوای ورودی

هنگامی که حالت کاری تغییر کند، مقدار پیش تنظیم حالت کاری عادی به مقدار پیش تنظیم حالت کاری مورد نظر (حالت احیا و یا گرمایش سریع صافی دوده) با یک شیب منا سب تغییر خواهد یافت. مقدار پیش تنظیم حالت کاری احیا و یا گرمایش سریع صافی دوده همانند حالت کاری عادی به دست می‌آید. یعنی مقدار تنظیم حلقه باز از جدول پایهٔ آن حالت کاری استخراج و تصحیحات مختلف دمایی و فشاری بر روی آن اعمال می‌شود.

تنظیم حلقه بستهٔ هوای ورودی

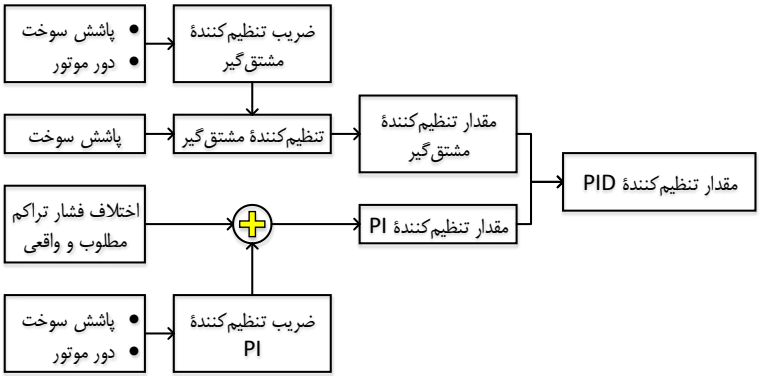
تنظیم‌کنندهٔ بازخورانی گاز خروجی وظیفهٔ تنظیم مقدار هوای ورودی اندازه‌گیری شده را برای مطابقت با مقدار هوای مطلوب بر عهده دارد. یک تنظیم‌کنندهٔ PI برای تنظیم حلقه بستهٔ مقدار هوا استفاده می‌شود که به صورت موازی با یک پیش تنظیم‌کنندهٔ حلقه باز اجرا می‌شود. متغیرهای تصحیح تنظیم حلقه بسته و حلقه باز با یکدیگر جمع می‌شوند. علاوه بر این، یک جزء تنظیم حلقه باز پویا نیز برای متغیرهای تصحیح به خروجی تنظیم‌کننده اضافه می‌شود. با توجه به رفتار غیرخطی سامانهٔ تنظیم‌کننده، متغیرهای تنظیم‌کننده و اجزای پیش تنظیم پویا با توجه به نقطهٔ کاری تنظیم می‌شوند. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۰- روندنمای مهار تنظیم بستهٔ هوای ورودی

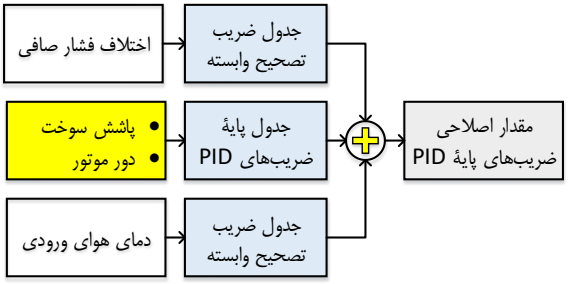
اگر دریچهٔ هوا نصب شده باشد، متغیر تصحیح تنظیم‌کننده، به یک متغیر تصحیح برای شیر بازخورانی گاز خروجی و یک متغیر تصحیح برای دریچهٔ هوا تقسیم می‌شود. متغیرهای تصحیح در واقع موقعیت‌های نسبی مطلوب عملگرهایند و به صورت درصد تعیین می‌شوند.

در ابتدا اختلاف مقدار واقعی و مطلوب هوا به عنوان متغیر ورودی برای مؤلفه P و I و متغیر پاشش به عنوان ورودی جزء DT1 استفاده می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



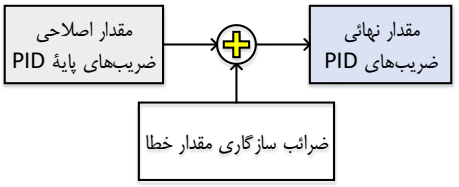
شکل ۶-۴۱- روندنمای تعیین مقدار تنظیم‌کنندهٔ PID

مقدار پایه برای تمامی شاخص‌های PID از یک جدول پایه به دست می‌آیند و شاخص تصحیح دمای ورودی و همچنین شاخص تصحیح مقدار گرفتگی صافی دوده، در این مقدار پایه اعمال می‌شود. در ادامه ضرایب شاخص‌های P، I و DT1 تنظیم‌کننده، از سازگاری مقادیر پایهٔ اصلاح شده به دست می‌آیند. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



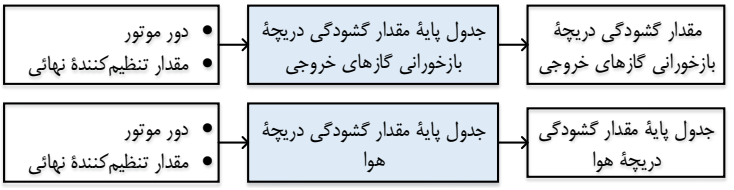
شکل ۶-۴۲- روندنمای مقدار اصلاحی ضریب‌های پایهٔ PID

برای سـازگاری مؤلفه‌های PID، بازه‌هایی برای ارزیابی اختلاف مقدار هوای واقعی و مطلوب در نظر گرفته می‌شود. برای هر یک از بازه‌های اختلاف (خطای مثبت، خطای منفی و خطای صفر) ضرایبی درنظر گرفته شده است. در نهایت با اعمال این ضرایب در ضرایب PID حاصل از جداول پایه، مقدار سازگار شده مؤلفه‌های PID به دست خواهد آمد. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۳- روندنمای اعمال ضرایب سازگاری بر ضرایب PID

با توجه به مقادیر مجاز بیشینه و کمینهٔ خروجی تنظیم‌کننده، مقدار تنظیم‌کننده (مجموع حلقه باز و حلقه بسته) محدود می‌شود. متغیر تصحیح دریچهٔ بازخورانی دود از جدول پایه و متغیر تصحیح دریچهٔ هوا نیز از جدول پایهٔ متناظر با آن و با استفاده از خروجی نهایی تنظیم‌کننده و دور موتور محاسبه می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۴- روندنمای تعیین مقدار گشودگی دریچهٔ هوا و EGR

برای سایر حالت‌های کاری، مراحل تنظیم دقیقاً مشابه با حالت کاری عادی تنظیم‌کننده است.

مدیریت دریچهٔ خنک‌کن بازخورانی دود

به منظور تغییر درجهٔ گرما گاز خروجی بازخورانی شـــده، جریان عبوری گازها از بازخورانی دود می‌تواند از میان یک خنک‌کن هدایت شـود. دریچهٔ خنک‌کن می‌تواند در دو موقعیت باز یا بسـته قرار گیرد. سـه معیار تنظیم برای باز یا بســـته بودن خنک‌کن بازخورانی دود در حالت کاری عادی بر اســـاس تعیین حالت دریچهٔ خنک‌کن عبارتند از:

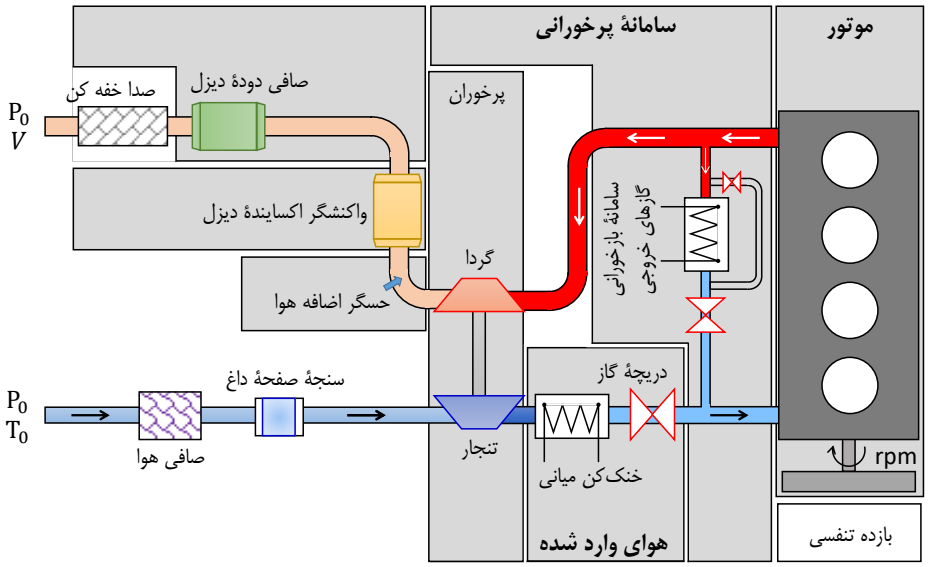
- با توجه به مقدار پاشش سوخت با استفاده از وامانی[1] وابسته به سرعت موتور.
- با توجه به دمای موتور با استفاده از وامانی وابسته به مقدار پاشش سوخت.
- در صورت راه اندازی سرد موتور

راهبرد شبیه‌سازی جریان در مسیر هوا و دود موتور

اطلاعات جریان در مسیر هوا و دود موتور به عنوان ورودی در بسیاری از راهبردهای سامانهٔ مدیریت موتور در نظر گرفته می‌شـــود. با توجه به عدم امکان اســـتفاده از حســـگرهای زیاد در ســـامانهٔ ورودی و خروجی موتور، شبیه‌سازی تقریبی اطلاعات جریان در مسیر هوا و دود موتور، به عنوان یکی از راهبردهای اصلی سامانهٔ مدیریت موتور ا ست. شبیه سازی متغیرهای مختلف سامانه ورودی و خروجی در موتور دیزل، به کمک مقادیر جداول پایهٔ شرایط کاری مرجع و اعمال ضرایب تصحیح شرایط مختلف کاری موتور انجام می‌شود.

این راهبرد شامل دو بخش شبیه‌سازی سامانه ورودی و خروجی موتور است و علاوه بر محاسبهٔ متغیرهای مختلف که حسگر خوانش نمی‌کند، مقادیر جایگزین خوانش حسگرهای مختلف نیز با این راهبرد محاسبه و اعمال می‌شـوند. نمایی از بخش‌های مختلف مسـیر هوا و دود در **Error! Reference source not found.** نشـان داده شده است.

[1] Hysteresis



شکل ۶-۴۵- نمایی از بخش‌های مختلف مسیر هوا و دود موتور

شبیه‌سازی شار بالادست چندراههٔ هوای ورودی

این تابع وظیفهٔ محا سبهٔ مقدار شار هوای عبوری را از بالاد ست چندراههٔ هوای ورودی با ا ستفاده از مقدار شار خوانده شدهٔ حسگر صفحهٔ داغ و مقادیر حسگر فشار و دمای پایین د ست خنک‌کن میانی، بر عهده دارد. با توجه به امکان ذخیرهٔ هوا در حجم مسیر هوای ورودی از صافی تا خنک‌کن میانی، مقدار هوای پایین دست خنک‌کن میانی (شار جرمی بالادست چندراههٔ هوای ورودی) می‌تواند در حالت گذرا با مقدار صفحهٔ داغ تفاوت داشته باشد. هر چند که این مقدار اختلاف قابل توجه نیست، ولی برای رسیدن به استانداردهای آلایندگی سختگیرانه‌تر نیاز است تا مقدار دقیق هوا محاسبه شود. شایان ذکر است که معادلات این بخش از قوانین مکانیک، ترمودینامیک و چهارچوب توابع شرکت بوش[1] استخراج شده اند:

$$m_{21} = \frac{P_{21}V_{21}}{RT_{21}} \qquad (۶-۱)$$

$$AFS_{dmAFSCor} - m_{21} = ASMod_{dmIntMnfUs} \qquad (۶-۲)$$

[1] Bosch function frames

متغیر	توضیح
P_{21}	فشار پرخورانی بالادست خنک‌کن میانی
T_{21}	دمای بالادست خنک‌کن میانی
V_{21}	حجم محفظهٔ مکش (از تنجار تا چندراهه)
$AFS_{dmAFSCor}$	جرم هوای خوانده شدهٔ حسگر صفحهٔ داغ
m_{21}	جرم هوای محاسبه شده در محفظهٔ مکش
$ASMod_{dmIntMnfUs}$	اختلاف هوای حسگر صفحهٔ داغ و هوای محاسبه شده در حالت گذرا

شار مرجع وارد شده به موتور

وظیفهٔ این تابع به دست آوردن مقدار شار مرجع هوای وارد شده به موتور با استفاده از مقادیر بازده تنفسی است. این شار در حالتی است که بازخورانی دود بسته است. مقدار پایهٔ بازده تنفسی موتور را ضریب K_{BAS} به دست می‌دهد که برابر با نسبت جرم هوای ورودی به موتور به جرم هوای قابل ورود به موتور در شرایط استاندارد است. مقدار پایه بازده تنفسی موتور با کمک جدول پایه بر اساس دور موتور و پاشش سوخت محاسبه می شود. برای به دست آوردن بازده تنفسی موتور می‌توان از مقدار بازده تنفسی پایه استفاده کرد.

$$v_{22,ref} = 0.5 K_{BAS}\, n_{Eng} V_{Eng} \qquad (۶-۳)$$

در ادامه با توجه به بسته بودن دریچهٔ بازخورانی دود می‌توان شرایط بالادست خنک‌کن میانی را (با توجه به باز بودن کامل دریچهٔ هوا) با شرایط ورودی به چندراهه تقریباً یکسان فرض نمود: $v_{22} = v_{21}, P_{22} = P_{21}, T_{22} = T_{21}$

در نهایت مقدار شار جرمی مرجع ورودی به چندراههٔ ورودی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$m_{22,ref} = 0.348\, P_{21}\, K_T\, K_{BAS}\, v_{21} T_{21}^{-1} \qquad (۶-۴)$$

K_T ضریب اصلاح تأثیر دما بر بازده تنفسی است. برای افزایش دقت در محاسبهٔ بازده تنفسی، باید هم زمان با نگاشت جدول پایهٔ بازده تنفسی، جدول دمای مرجع نیز ثبت شود تا بر اساس معادلهٔ (۶-۵) برای K_T قابلیت تعمیم شبیه‌سازی بهبود یابد.

$$K_T = 1 + K_{Tcor} \frac{T_{21} - T_{Ref}}{T_{Ref}} \qquad (۶-۵)$$

توضیح	متغیر	توضیح	متغیر
حجم چندراههٔ ورودی موتور مرجع:	$v_{22,ref}$	دمای بالادست خنک‌کن میانی مرجع:	T_{Ref}
حجم موتور:	V_{Eng}	مقدار پایه بازده تنفسی:	K_{BAS}
دور موتور:	n_{Eng}	ضریب تصحیح دما:	K_T
فشار پرخورانی بالادست خنک‌کن میانی:	P_{21}	ضریب وزنی تصحیح دما:	K_{TCor}
دمای بالادست خنک‌کن میانی:	T_{21}	شار جرمی در حالت بسته بودن بازخورانی دود:	$m_{22,ref}$
شار حجمی بالادست خنک‌کن میانی:	v_{21}		

شبیه‌سازی شار ورودی (مخلوط هوا و گاز بازخورانی) به موتور

در این تابع مقادیر شار جریان ورودی به موتور و در نتیجه مقدار شار بازخورانی دود و همچنین مقدار دمای ورودی به موتور (پایین د ست چندراهه) به د ست می‌آید. با توجه به فعال بودن بازخورانی دود در بسیاری از نقاط عملکردی موتور، ضریب تصحیح دمایی فعال بودن بازخورانی دود در مقدار مرجع شار پایین دست چندراههٔ ورودی اعمال خواهد شد.

$$kMsFlw_{\ TCor} = kMsFlwEGR_{\ TCor} \frac{T_{22} - T_{22,Ref}}{T_{22,Ref}} + 1 \qquad (۶-۶)$$

توضیح	متغیر
دمای چندراههٔ ورودی	T_{22}
دمای چندراههٔ ورودی مرجع	$T_{22,Ref}$
ضریب وزنی تصحیح دمایی وابسته به فعال بودن بازخورانی دود	$kMsFlwEGR_{\ TCor}$
ضریب تصحیح دمایی وابسته به فعال بودن بازخورانی دود	$kMsFlw_{\ TCor}$

تابع شبیه سازی بازخورانی دود، دمای پایین د ست بازخورانی دود را برای تأثیر دهی آن بر دمای ورودی به موتور محاســبه می‌کند. باید دقت کرد که حل معادلات پیوســتگی و انتقال گرما برای نقطهٔ اختلاط (محل ورود بازخورانی دود به چندراههٔ هوای ورودی) انجام می‌شــود. در معادلهٔ پیوســتگی، مقدار شــار جرمی ورودی به موتور برابر حاصل‌جمع شار جرمی بالادست چندراههٔ هوای ورودی و شار جرمی بازخورانی دود است:

$$m_{22} = m_{21} + m_{EGR} \qquad (۶-۷)$$

که m_{22} شار جرمی ورودی به موتور، m_{21} شار جرمی پایین دست خنک‌کن میانی و m_{EGR} شار جرمی بازخورانی دود اند. با توجه به اینکه مقدار شار مرجع هوای ورودی به موتور در هر نقطهٔ کاری مشخص است، بنابراین مقدار اختلاف شار مرجع و شار فعلی موتور (که فقط شامل هوای پایین دست خنک‌کن میانی است)، مقدار شار بازخورانی دود را مشخص می‌سازد. در معادلهٔ انتقال گرما نیز مقادیر شار جرمی و دماهای وابسته با یکدیگر متصل می‌شوند.

$$m_{22}C_pT_{22} = m_{21}C_PT_{21} + m_{EGR}C_pT_{EGR} \qquad (۶-۸)$$

شایان ذکر است که این معادله با استفاده از یکسان فرض کردن مقادیر Cp ساده سازی شده است (هرچند که این امکان وجود دا شت که به وا سطه یک جدول جداگانه، مقادیر تخمینی این متغیر نیز به کار گرفته شود). از سوی دیگر بازده بازخورانی دود نیز با ا ستفاده از یک جدول وابسته به شار بازخورانی دود تعیین می شود. بنابراین می‌توان با استفاده از بازده بازخورانی دود، معادله ای برای دماهای ورودی و خروجی موتور استخراج نمود:

$$T_{31} - T_{EGR} = \eta_{EGR}(T_{31} - dT_{Eng}) \qquad (۶-۹)$$

برای حل معادلات نیاز است که در ابتدا مقدار T_{22} برابر مقدار پیش فرض (دمای هوای ورودی) قرار گیرد و معادلات بترتیب حل شود. (مقدار تفاوت C_P نیز قبلاً در ضریب ت صحیح محا سبهٔ جرم هوای ورودی اعمال شده است)

شبیه‌سازی تنجار

با استفاده از مقادیر فشار قبل و بعد از تنجار و شار عبوری از تنجار با استفاده از حسگرهای موجود، می‌توان متغیرهایی نظیر نسبت فشار و کار تنجار را محا سبه نمود. از این مقادیر برای به د ست آوردن مقدار دمای خروجی گردا در مسیر خروجی موتور استفاده خواهد شد.

شبیه‌سازی دود خروجی موتور

مقادیر آلاینده‌های اکسیدهای ازت، دوده و همچنین دما و شار خروجی موتور با استفاده از تنظیم مناسب جداول، در این تابع شبیه سازی می شود. از مقادیر آلاینده‌ها در توابعی نظیر احیای صافی دوده استفاده می شود. مقدار آلاینده اکسیدهای ازت با توجه به جدول پایه و همچنین تصحیح ناشی از مقدار بازخورانی دود ورودی به موتور تعیین می شود. برای به دست آوردن مقدار آلاینده دوده، ابتدا مقدار پایه از جدول استخراج می شود. سپس تصحیح ناشی از مقدار اضافه هوا و مقدار بازخورانی دود ورودی به موتور در آن اعمال می‌شود.

در این قسمت مقدار دمای بالادست چندراهۀ خروجی (خروجی موتور) و شار خروجی موتور برای به دست آوردن سایر دماها در سامانه خروجی نیز شبیه سازی می شود. در واقع این قسمت از تابع با استفاده از جداول پایه تنظیم شده و اعمال ضرایب اصلاحی، مقادیر متغیرهای مختلف را به دست می‌آورد. به عبارت دیگر، برای هر یک از شاخص‌های اصلاحی مقدار شار ورودی به موتور (fac_{m22}) و زمان شروع پاشش اصلی (fac_{SOI}) یک جدول پایه بر اساس دور موتور و مقدار پاشش در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار افزایش دمای حاصل از احتراق سوخت نیز (dT_{Eng}) به کمک مقادیر جدول پایه به دست می‌آید.

$$dT = dT_{\mathrm{Eng}}\, fac_{m22}\, fac_{SOI} + dT_{Eng} \qquad (۶-۱۰)$$

که dT_{Eng} افزایش دمای حاصل از احتراق سوخت، fac_{m22} ضریب تصحیح ناشی از جرم هوای ورودی به موتور، fac_{SOI} ضریب تصحیح ناشی از زاویهٔ پاشش اصلی، T_{22} دمای هوای ورودی به موتور و T_{ExhMn} دمای گاز خروجی موتور اند. مقدار شار خروجی موتور نیز برابر با حاصل‌جمع شار ورودی به موتور و شار سوخت مصرفی است:

$$m_{ExhMn} = m_{IntMn(22)} + m_{Fuel} \qquad (۶-۱۱)$$

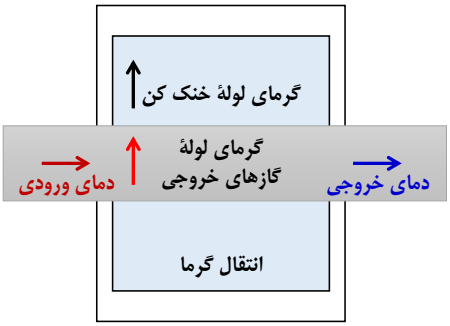
که m_{ExhMn} شار خروجی موتور، $m_{IntMn(22)}$ شار ورودی به موتور و m_{Fuel} سوخت مصرف شده در فرایند احتراق اند.

شبیه‌سازی دمای پایین دست گردا

دمای پایین دست گردا با استفاده از بازده پرخوران و محاسبهٔ کار تنجار محاسبه می‌شود. مقدار بازده پرخوران برابر حاصل ضرب بازده گردا و تنجار خواهد بود. آنچه اهمیت دارد این است که پیش از تنظیم بازده گردا، باید مقادیر ضریب انتقال گرما، Cp و خواص هندسی، به گونه‌ای تنظیم شوند که انتقال گرمای گردا بدرستی محاسبه شود. معمولاً در شرایطی که از کار نکردن گردا مطمئنیم، مقادیر انتقال گرما محاسبه می‌شوند.

شبیه‌سازی دما در نقاط مختلف مسیر دود

از طریق این تابع می‌توان دماهای نقاط مختلف مسیر خروجی و همچنین دیواره‌های لولهٔ گازهای خروجی را با ا ستفاده از معادلات انتقال گرما به د ست آورد. برای تنظیم شبیه سازی دما، حسگرهای دما در نقاط مختلف مسیر دود نصب می‌شود و در نهایت، صحت شبیه‌سازی دماها نیز ارزیابی می‌شود. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۶- طرح کلی شبیه‌سازی دما در نقاط مختلف مسیر دود

$$dQ_{in} = dm_{EG}\, Cp_{EG}\, T_{in} \qquad (۶-۱۲)$$

$$T_{out} = \frac{dQ_{in} - dQ_{EGwall}}{dm_{EG}} Cp_{EG} \qquad (۶-۱۳)$$

$$\frac{dT_{wall}}{d_t} = \frac{dQ_{EGwall} - dQ_{wallEnv}}{dm_{pipe}} C_{pipe} \qquad (۶-۱۴)$$

متغیر	توضیح	متغیر	توضیح
Q_{EGwall}	گرمای انتقالی از گاز به دیواره	Q_{in}	گرمای ورودی
T_{wall}	دمای دیوارهٔ لوله	m_{EG}	شار جرمی گاز
$Q_{wallEnv}$	گرمای انتقالی از دیواره به محیط	Cp_{EG}	ظرفیت گرمایی ویژهٔ گاز
C_{pipe}	ظرفیت گرمایی ویژه لوله	T_{in}	دمای گاز در ورودی لوله
		T_{out}	دمای گاز در خروجی لوله

شبیه‌سازی فشار در نقاط مختلف مسیر دود

با استفاده از مقدار افت فشار در یک لوله و داشتن مقدار فشار در یک سوی آن، می‌توان فشار را در سوی دیگر محاسبه نمود. فشار بالادست گردا، یکی از مهمترین متغیرهایی است که برای تنظیم آن دقت زیادی لازم است. مقدار افت فشار در یک لوله بدین شرح محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = \rho \frac{\lambda L}{d} \frac{c^2}{2} \qquad (۶-۱۵)$$

که ΔP افت فشار در لوله، λ ضریب اصطکاک بلازیوس، L طول لوله، d قطر لوله، ρ چگالی گاز خروجی و c سرعت گاز خروجی اند. مقدار ضریب اصطکاک بلازیوس و عدد رینولدز بدین شرح محاسبه می‌شوند:

$$\lambda = 0.3164/\sqrt[4]{Re} \qquad (۶-۱۶)$$

$$Re = 4\dot{V}\rho/\pi\eta d \qquad (۶-۱۷)$$

که Re عدد رینولدز، $\dot{V}$ شار حجمی گاز خروجی و η ضریب گرانروی گاز خروجی اند. مقدار افت فشار در سامانهٔ خروجی بدین شرح قابل محاسبه است:

$$\Delta P = KF_{Geo}F_{\rho}F_{\eta}\dot{V}^{\frac{7}{4}} \qquad (۶-۱۸)$$

که F_{Geo} ضریب تصحیح هندسی، F_{ρ} ضریب تصحیح دمایی- فشاری چگالی و F_{η} ضریب تصحیح دمایی- فشاری گرانروی اند. مقدار شار حجمی جریان خروجی بدین شرح قابل محاسبه است:

$$\dot{V} = \dot{m}_{EG}RT/P = (\dot{m}_{Air} - \dot{m}_{Fuel})RT/P \qquad (۶-۱۹)$$

که $\dot{m}_{EG}$ شار جرمی گاز خروجی، R ثابت گاز، T دمای گاز خروجی، P فشار گاز خروجی، $\dot{m}_{Air}$ شار جرمی مخلوط ورودی به موتور و $\dot{m}_{Fuel}$ شار جرمی سوخت مصرفی اند.

تخمین زمان سپری شده از خاموش شدن موتور و مقدار خنک شدن اجزا

از تقسیم مقدار دمای موتور در هنگام راه اندازی مجدد به دمای موتور در خاموشی قبلی، نسبتی حاصل می شود که هر چه این نسبت کمتر باشد، یعنی موتور بیشتر خنک شده و زمان بیشتری از خاموشی آن گذشته است. این نسبت به عنوان ورودی به یک جدول زمانی داده می‌شود و زمان خاموش ماندن موتور از این جدول به دست خواهد آمد.

با توجه به بیشتر بودن ظرفیت گرمایی لوله نسبت به گازهای دود، آنچه در محاسبات حل گذرا اهمیت دارد، تخمین دمای لوله‌ها در زمان راه‌اندازی دوباره است. نیمه عمر خنک شدن هرکدام از لوله‌ها به کمک آرایه‌های جدول، قابل تعیین خواهد بود.

مقدار نیمه عمر برای هر لوله با تقریب خوبی برابر با زمانی است که برای رسیدن دمای لوله به نصف فاصله‌اش در لحظهٔ خاموش شدن تا دمای محیط نیاز دارد. به عنوان زمان نیمه عمر می‌توان از این معادله استفاده کرد:

$$y = y_0 b^t \ (0 < b < 1) \qquad (۶-۲۰)$$

$$T_{half} = \frac{\log 0.5}{\log b} \qquad (۶-۲۱)$$

شبیه‌سازی دمای نقاط مختلف مسیر دود در ابتدای راه اندازی موتور

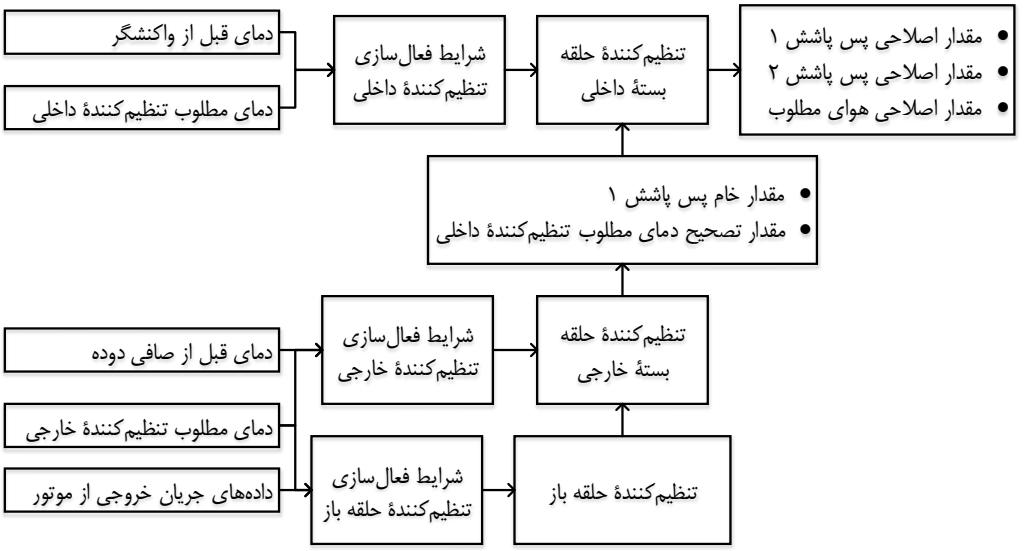
در این تابع با استفاده از مقدار دمای موتور در هنگام خاموش شدن موتور و همچنین مقدار نیمه عمر خنک‌کاری ویژهٔ هر لوله می‌توان مقادیر دمای هریک از بخش‌های سامانهٔ دود را در شرایط راه اندازی محاسبه نمود.

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-\frac{t}{\tau}\ln 2} = \Delta T_0 2^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (۶-۲۲)$$

با نصب حسگر دما در نقاط مختلف مسیر دود، می‌توان مقدار نیمه عمر خنک‌کاری ویژهٔ هر قسمت را محاسبه نمود. همچنین می‌توان زمان خاموش بودن موتور را با استفاده از این شبیه‌سازی ارزیابی نمود.

راهبرد تنظیم دمای گازهای خروجی

در این تابع هدف اصلی، تنظیم دمای بالادست صافی (پایین دست واکنشگر) است. برای این منظور از دمای بالادست صافی و تصحیح پس پاشش ثانویه استفاده می‌شود. تنظیم دمای بالادست گردا نیز در یک حلقه تنظیمی داخلی با تصحیح مقدار پس پاشش اولیه و تصحیح مقدار پیش فرض شار هوا انجام می شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۷- روندنمای راهبرد تنظیم دمای گازهای خروجی

راهبرد تنظیم‌کننده در این تابع در سه مرحلهٔ تنظیم حلقه باز، تنظیم حلقه بسته خارجی و تنظیم حلقه بسته داخلی انجام می‌شود:

تنظیم حلقه باز

در این قسمت با استفاده از تحلیل گرما، مقدار پاشش لازم برای افزایش دمای پایین دست واکنشگر شیمیایی به دست می‌آید. مقدار این پاشش با مقداری بیشینه که تحلیل اکسیژن به دست می‌دهد، محدود شده است. خروجی این تنظیم‌کننده معیاری برای تعیین مقدار تصحیح پس پاشش ثانویه است.

تنظیم حلقه بستهٔ خارجی

در این بخش مقدار دمای بالادست صافی تنظیم می‌شود. مقدار دمای مطلوب بالادست صافی در ETCtl_CalcTempDes تعیین می‌شود. این تنظیم از طریق تصحیح در مقدار دمای مطلوب بالادست گردا و مقدار پس پاشش ثانویه انجام می شود. البته همان طور که اشاره شد، تصحیح مقدار پس پاشش ثانویه در این مرحله بر اساس مقدار پاشش لازم محاسبه شده از تنظیم‌کنندهٔ حلقه باز است.

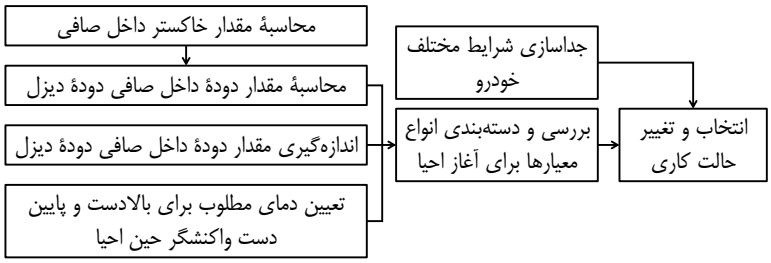
تنظیم حلقه بستهٔ داخلی

در این بخش تنظیم دمای مطلوب بالادست گردا یا بالا دست واکنشگر شیمیایی انجام می شود. برای این منظور از تصحیح مقدار پس پاشش اولیه و همچنین تصحیح مقدار پیش فرض شار هوا (از طریق مقدار بازخورانی دود به کمک تابع AirCtl) استفاده می‌شود.

راهبرد احیای صافی دوده

بزرگترین مشکل موتورهای دیزلی تولید و انتشار ذرات معلق است. بیشترین حجم این ذرات معلق را دوده تشکیل داده است که سرطان زا بودن آن اثبات شده است. به همین سبب در سال ۲۰۰۷ در آمریکا و اروپا برای کاهش انتشار این ذرات معلق، صافی دوده به موتورهای دیزلی اضافه شد. صافی دوده بیش از ۹۹٪ ذرات معلق را جذب می‌کند. بعد از گذشت یک مدت مشخص از کارکرد موتور، ظرفیت جمع‌آوری دوده در صافی تکمیل می‌شود که در این حالت نیاز است تا دوده‌های داخل صافی با یک راهبرد مشخص، سوزانده شوند.

در این بخش راهبرد احیای صافی دوده بیان خواهد شد. در ابتدا برای برآورد مقدار بار دوده جمع شده در صافی، از دو روش شبیه‌سازی و اندازه‌گیری به کمک حسگر فشار استفاده می‌شود. در ادامه شرایط مختلف برای شروع فرایند احیا سنجیده می‌شود و در نهایت حالت کاری عادی به حالت کاری احیا تغییر می‌یابد. شکل ۶-۴۸- روندنمای راهبرد احیای صافی دوده را نشان می‌دهد.

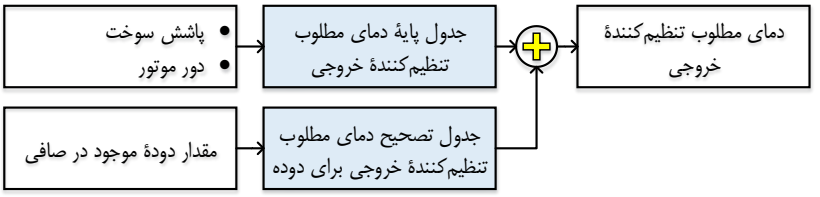


شکل ۶-۴۸- روندنمای راهبرد احیای صافی دوده

تعیین دمای مطلوب برای بالا و پایین دست واکنشگر شیمیایی

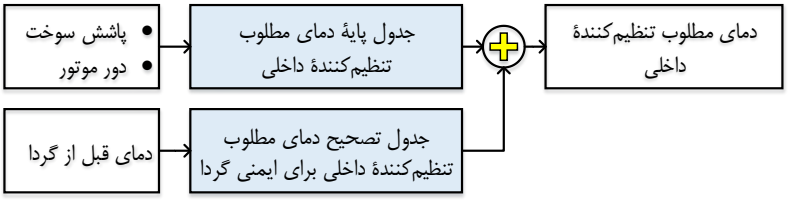
این تابع وظیفهٔ تعیین دمای مطلوب بالادست و پایین دست واکنشگر شیمیایی را در حین احیا بر عهده دارد. دمای بالادست واکنشگر در تنظیم‌کنندهٔ حلقه بستهٔ داخلی و دمای پایین دست آن (بالادست صافی دوده) در تنظیم‌کنندهٔ حلقه بستهٔ خارجی و تنظیم‌کنندهٔ حلقه باز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

می‌توان با کمک جدول پایه دمای مطلوب تنظیم‌کننده خارجی بر اساس دور و بار موتور و جدول تصحیح دمای تنظیم‌کنندهٔ خارجیِ دوده بر اساس مقدار دودهٔ ذخیره شده در صافی، به تعیین دمای مطلوب بالادست صافی پرداخت. هر چند امکان تغییر جدول پایه در یک حالت کاری و یا مرحلهٔ کاری دیگر نیز وجود دارد. البته با این کار امکان بهره‌گیری از جدول تابع دوده از بین می‌رود. شکل ۶-۴۹- روندنمای تعیین دمای مطلوب پایین دست واکنشگر شیمیایی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۴۹- روندنمای تعیین دمای مطلوب پایین دست واکنشگر شیمیایی

با کمک جدول پایه دمای مطلوب تنظیم‌کنندهٔ داخلی و جدول تصحیح دمای تنظیم‌کنندهٔ داخلی حفاظت گردا نیز می‌توان دمای مطلوب بالادست واکنشگر شیمیایی را تعیین نمود. جدول پایه تابع دور و بار موتور و جدول تصحیح تابعی از یکی از اجزاء جدول دمایی (دمای قبل گردا) است. شکل ۶-۵۰- روندنمای تعیین دمای مطلوب بالا دست واکنشگر شیمیایی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۰- روندنمای تعیین دمای مطلوب بالا دست واکنشگر شیمیایی

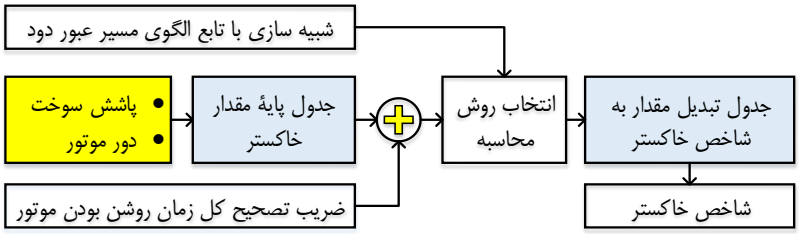
اندازه‌گیری دوده و خاکستر

خاکستر و دوده اساساً مواد مختلفی اند، اما هر دو در صافی دوده جمع می‌شوند. خارج کردن هر یک از این مواد از صافی دوده نیاز به فرآیندهای کاملاً متفاوت دارد. به‌طور معمول دوده از طریق سوختن و احیاء صافی خارج می‌شود ولی خاکستر غیرقابل احتراق است و باید با استفاده از تمیزکاری از صافی تخلیه شود.

دوده بعنوان نتیجه احتراق ناقص، عمدتاً از کربن تشکیل شده است، اما حاوی هیدروکربن‌های دیگر ناشی از سوخت، روغن موتور، سولفات‌ها و مقدار کمی خاکستر است. دوده به دلیل رنگ تیرهٔ آن براحتی از خاکستر متمایز می‌شود. در مقایسه، خاکستر از نظر رنگ بسیار روشن‌تر است و از اجزای فلزی تشکیل شده که غیرقابل احتراق اند. اگرچه بسیاری از منابع به تولید خاکستر کمک می‌کنند، اما منبع اصلی تولید خاکستر، روغن موتور و افزودنی‌های آن است.

محاسبهٔ مقدار خاکستر و شاخص تأثیر آن در محاسبهٔ نرخ دوده

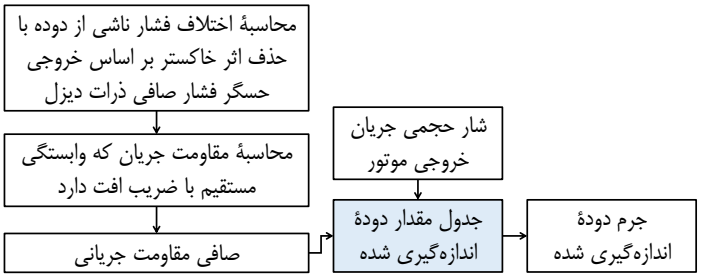
وظیفهٔ این تابع محاسبهٔ مقدار خاکستر و شاخص تأثیر آن است (که در محاسبهٔ نرخ دوده تأثیر گذار خواهد بود). مقدار خاکستر می‌تواند از دو روش مختلف محاسبه شود: مقدار شبیه‌سازی شده خاکستر از تابع شبیه‌سازی سامانهٔ خروجی و یا بر مبنای دور و بار موتور (جدول پایه) و ضریب تصحیح زمان سپری شده از روشن ماندن موتور. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۱- روندنمای شاخص خاکستر

محاسبهٔ بار موجود بر روی صافی با استفاده از حسگر اختلاف فشار صافی دوده

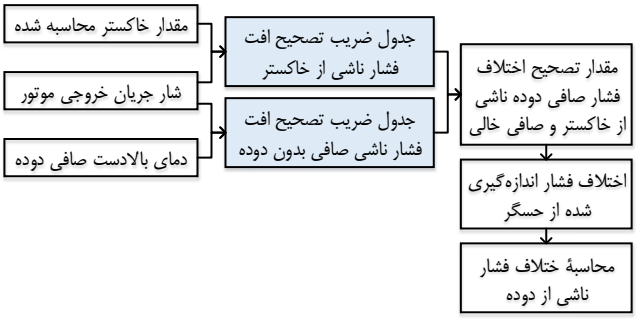
این بخش، شامل محاسبهٔ ریز ذرات (PM) (شامل دوده و خاکستر) است و این کار با استفاده از حسگر اختلاف فشار صافی دوده و حجم خاکستر محاسبه شده انجام می شود. در نهایت، خروجی اصلی این تابع مقدار جرم دوده خواهد بود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۲- روندنمای محاسبهٔ بار موجود بر روی صافی

محاسبهٔ سهم دوده در اختلاف فشار

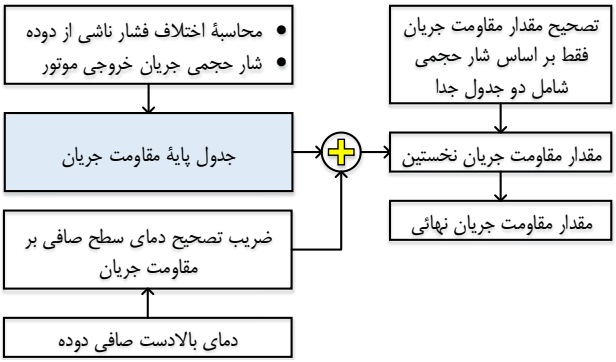
سهم خاکستر و سهم اجزاء خود صافی دوده با استفاده از جداول، از کل اختلاف فشار صافی دوده کم می‌شود تا سهم دوده در اختلاف فشار مشخص شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۳- روندنمای محاسبهٔ سهم دوده در اختلاف فشار

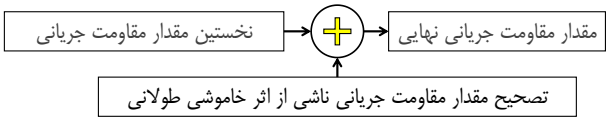
محاسبهٔ مقاومت جریانی

مقدار پایهٔ مقاومت جریانی یا با استفاده از جدول تابع اختلاف فشار و شار حجمی، تعیین می‌شود و یا به طور مستقیم از حاصل تقسیم اختلاف فشار به حجم صافی دوده محاسبه می‌شود. با فرض حالت اول، اصلاحات دمایی و شار عبوری نیز در مقدار مقاومت جریانی اعمال می شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۴- روندنمای محاسبهٔ مقاومت جریانی

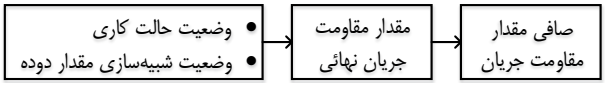
اگر موتور برای مدت طولانی خاموش باشد، مقاومت جریانی می‌تواند در زمان روشن کردن موتور نسبت به زمانی که موتور خاموش شده است، به طور قابل توجهی ضعیف‌تر باشد. برای تصحیح اثر این پدیدهٔ خاموشی طولانی، تفاوت مقاومت جریانی قبل و بعد از خاموش شدن موتور تعیین می‌شود و به عنوان جبران‌کنندهٔ اصلاحی به مقاومت جریانی فعلی اضافه شده است. **Error! Reference source not found.**را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۵- روندنمای تأثیر خاموشی طولانی

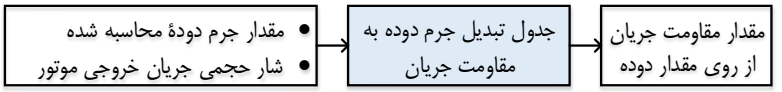
صافی مقدار مقاومت جریانی

در صورتی که حالت کاری موتور در حالت احیا قرار داشته باشد یا وضعیت محاسبهٔ مقدار دوده از طریق شبیه‌سازی فعال باشد، این بخش به عنوان اصلاح کنندهٔ نهایی مقدار مقاومت جریانی استفاده می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۶- روندنمای اصلاح کنندهٔ نهائی مقدار مقاومت جریانی

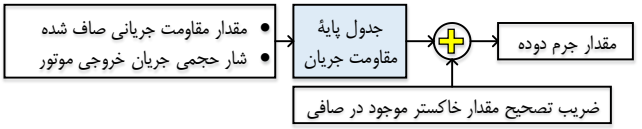
در صورتی که شرایط فوق برای صافی کردن مقاومت جریانی برقرار نبا شد، از جدول تبدیل جرم دوده به مقاومت جریانی استفاده می‌شود. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۵۷- روندنمای تعیین مقدار مقاومت جریان از روی مقدار دوده

محاسبهٔ جرم دوده بر اساس مقاومت جریانی و شار حجمی

پس از محاسبهٔ مقاومت جریانی صافی شده، مقدار پایه جرم دوده با جدول محاسبه می‌شود. با ضرب مقدار پایهٔ جرم دودهٔ محاسبه شده در ضریب تصحیح مقدار خاکستر موجود در صافی، مقدار جرم دوده به دست خواهد آمد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

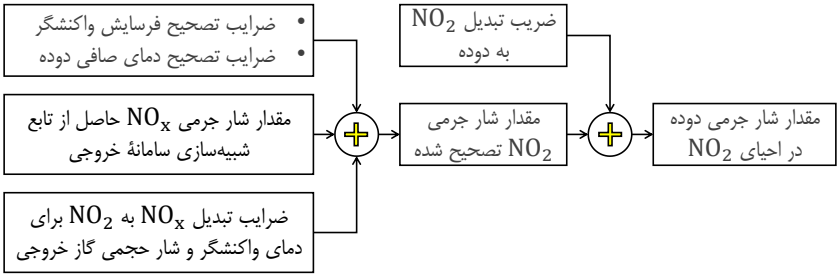


شکل ۶-۵۸- روندنمای محاسبهٔ جرم دوده بر اساس مقاومت جریانی

محاسبهٔ مقدار دوده موجود در صافی دوده

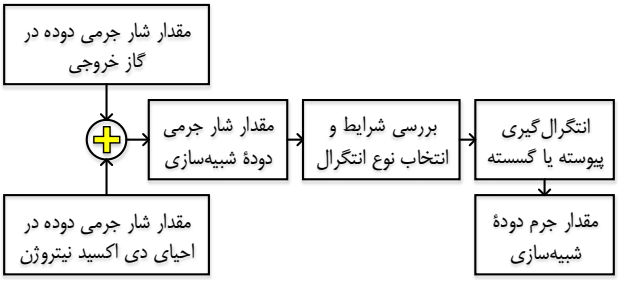
این تابع وظیفهٔ شبیه‌سازی مقدار دوده را هم در زمان نشستن دوده و هم در زمان احیا بر عهده دارد. در ابتدا وضعیت احیا به کمک دی‌اکسید ازت شناسایی می‌شود و نرخ احیای دوده به کمک دی‌اکسید ازت نیز محاسبه می‌شود. برای محاسبهٔ مقدار دوده احیا شده در واکنش تبدیل دی‌اکسید ازت به مونو اکسید ازت، ضرایب تصحیح فرایش واکنشگر و دمای صافی دوده در مقدار شار جرمی دی‌اکسید ازت اعمال می شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

$$C_{(s)} + 2NO_2 \rightarrow CO_2 + 2NO \qquad (۶-۲۳)$$



شکل ۶-۵۹- روندنمای محاسبهٔ مقدار دودهٔ موجود در صافی دوده

در ادامه مقدار شار جرمی دوده تبدیل شده ناشی از فرایند احیای دی‌اکسید ازت از مقدار شار جرمی دوده در گاز خروجی (که قبلاً در تابع شبیه سازی سامانهٔ خروجی به د ست آمده ا ست) کم می شود. سپس شرایط فرایند احیای موفق و یا ناقص ماندن آن در گذ شته، برر سی می شود و بر طبق این شرایط، نوع انتگرال‌گیری م شخص خواهد شد. در نهایت محا سبهٔ مقدار جرم دوده در صافی انجام می شود. روندنمای محا سبهٔ مقدار جرم دوده در صافی در شکل ۶-۶۰، نشان داده شده است.

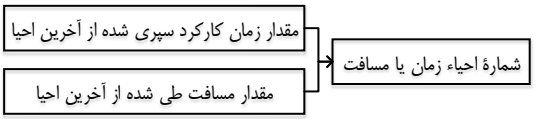


شکل ۶-۶۰- روندنمای محاسبهٔ مقدار جرم دوده در صافی

تعیین شرایط مختلف بار صافی و اقدامات مقتضی برای احیا

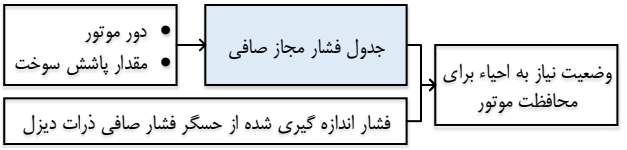
این تابع وظیفهٔ محاسبهٔ درخواست فعالسازی احیای صافی دوده را بر مبنای زمان کارکرد، مسافت طی شده (مقدار مصرف سوخت) از آخرین احیای موفق و یا ملاحظات محافظت موتور بر عهده دارد. همه این ملاحظات به موازات محاسبهٔ مقدار دودهٔ ذخیره شده است. قسمتی از این بخش به مقایسهٔ زمان گذشته از آخرین احیای موفق با آستانه‌ها می‌پردازد. قسمت دیگر مسافت طی شده از آخرین احیای موفق را با آستانه‌ها مقایسه می‌کند.

همهٔ درخواست‌های صادره برای وقوع احیا در قالب یک متغیر شمارهٔ احیا اعلام می‌شود. عدد نسبت داده شده به این متغیر این امکان را فراهم می‌کند که متناسب با نوع و منبع درخواست، اقدامات جداگانه‌ای صورت گیرد. برای مثال دو عدد مختلف می‌تواند به وقوع دو حالت عملکرد مختلف بینجامد. شکل ۶-۶۱- روندنمای تعیین شرایط مختلف بار صافی و اقدامات مقتضی را برای احیا نشان می‌دهد.



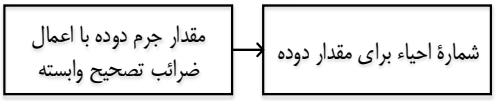
شکل ۶-۶۱- روندنمای تعیین شرایط مختلف بار صافی و اقدامات مقتضی برای احیا

در ادامه هرگاه اختلاف فشار در صافی دوده از مقدار بیشینه‌ای بیشتر شود، درخواست احیا از دید محافظت موتور صادر می‌شود. این آستانه‌ها خود تابع دور موتور و پاشش اند. شکل ۶-۶۲ روندنمای تعیین وضعیت نیاز به احیاء را برای محافظت موتور نشان می‌دهد.



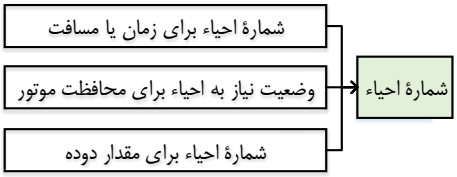
شکل ۶-۶۲- روندنمای تعیین وضعیت نیاز به احیاء برای محافظت موتور

همچنین بر اساس مقدار دوده صافی، شرایط موجود در بازه‌های مختلف بررسی می‌شود و یک متغیر شماره احیا معرفی می‌شود. روندنمای تعیین شمارهٔ احیاء برای مقدار دوده در شکل ۶-۶۳ نشان داده شده است.



شکل ۶-۶۳- روندنمای تعیین شمارهٔ احیاء برای مقدار دوده

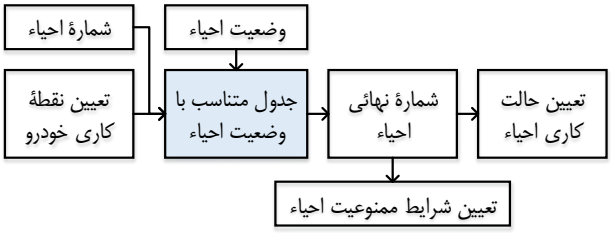
در نهایت با توجه به شـــماره‌های احیای به دســـت آمده و همچنین وضـــعیت نیاز به احیا برای محافظت از موتور، شمارهٔ احیا به دست خواهد آمد. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶۴- روندنمای تعیین وضعیت نیاز به احیا برای محافظت از موتور

انتخاب و تغییر حالت کاری

این تابع علاوه بر دسته بندی و تشکیل حالت درخواستی برای احیا، وظیفه پایش زمان احیای انجام شده و ثبت احیای موفق را نیز بر عهده دارد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶۵- روندنمای تعیین شرایط ممنوعیت احیاء

با کمک جدول متناسب با وضعیت احیا طبق شکل قبل، هر شماره احیا به یک حالت بالقوهٔ کاری احیا تبدیل می‌شود. قبل از تعیین حالت نهایی احیا، باید شرایط ممنوعیت احیا نظیر محافظت قطعات و ... نیز در نظر گرفته شود.

راهبردهای راحتی رانندگی

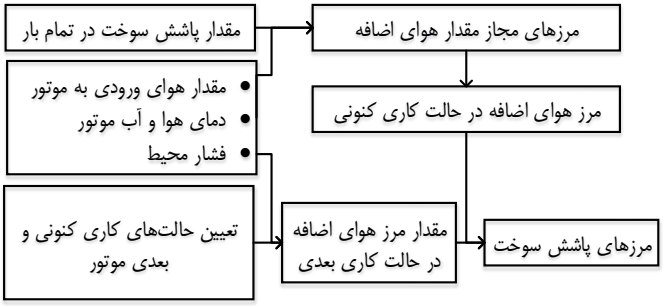
این بخش به شکل‌گیری ساختار گشتاور در موتور دیزل و راهبرهای مهار مقدار پاشش و یا گشتاور موتور و همچنین بهبود راحتی رانندگی خودرو می‌پردازد. در ابتدا محدودیت‌های اعمالی بر پا شش سوخت و گشتاور برای مهار مقدار دوده خروجی از موتور و جلوگیری از آسیب به موتور و قطعات مختلف آن بیان می شود. سپس ساختار شکل گیری مقدار پاشش سوخت از گشتاور درخواستی راننده توضیح داده می شود. در نهایت راهبرد بهبود راحتی رانندگی خودرو شامل گشتاور جبرانی متعلقات، راه اندازی سرد و مهار سرعت بیان می‌شود.

راهبرد محدودیت مقدار دوده

یکی از موارد مهم در تولید آلاینده‌ها، پایش دوده است. دوده معمولاً در اثر کم بودن نسبت هوا به سوخت ایجاد می شود. مقدار دوده در شرایط کاری مختلف باید محدود شود به طوری که بتوان آن را به سطح استانده مورد نظر رساند. برای افزایش گشتاور خروجی در موتورهای دیزل، سوخت بیشتری تزریق می‌شود. افزایش مقدار پاشش سوخت با هدف افزایش گشتاور تا جایی مجاز است که مقدار دوده از حد مجازش بیشتر نشود. بنابراین با نگاه اول به نظر می‌رسد که محدودیت گشتاور به علت دوده برای شرایط تمام بار باشد. ولی اینگونه نیست و در حالت‌های گذرا که راننده اهرم گاز را فشار می‌دهد، نیاز است که سوخت با مراقبت بیشتری تزریق شود تا مقدار دوده زیاد نشود. بنابراین با وجود اینکه در چرخهٔ رانندگی استاندارد اروپا شرایط کارکرد تمام بار موتور وجود ندارد اما پایش مقدار سوخت به منظور جلوگیری از افزایش دوده در حالت‌های گذرا ضروری است. برای این منظور جدول محدودیت اضافه هوا به‌صورت دو بعدی و تابع دور و مقدار هوای موجود در محفظهٔ احتراق در نظر گرفته شده است و باید تنظیم شود. این تابع از این بخش‌های اصلی تشکیل شده است:

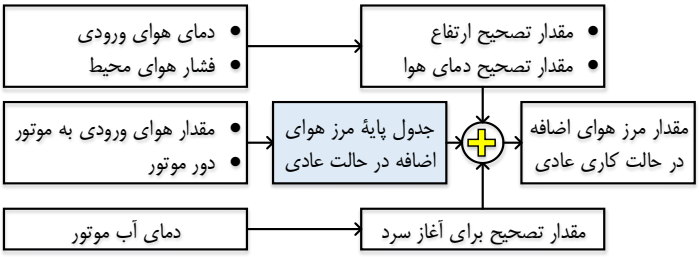
- تشخیص حالت‌های کاری موتور
- انتخاب متغیرهای حدی بالا و پایین برای محدود کردن مقدار اضافه هوا: این متغیرها می‌توانند برای حالت‌های کاری مختلف موتور، مقادیر مختلفی داشته باشند.
- محاسبهٔ مقدار محدودیت دوده برای حالت کاری فعلی: این مقدار، سوخت مجاز بیشینه را برای داشتن مقدارآلایندگی دوده در حد قابل قبول در حالت کنونی مشخص می‌سازد.
- محاسبهٔ مقدار محدودیت دوده در حالت بعدی: مقدار محدودیت دوده برای حالت کاری بعدی (مورد نظر) موتور محاسبه می‌شود. این مقدار، حداکثر سوخت مجاز را برای داشتن مقدار آلایندگی دوده در حد قابل قبول در حالت بعدی مشخص می‌سازد.
- محاسبهٔ مقدار سوخت مجاز: پس از محاسبهٔ مقدار محدودیت اضافه هوا و با استفاده از نسبت درست[1] تعریف شده، محدودیت مقدار سوخت تعیین می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

[1] Stoichiometric



شکل ۶-۶۶- روندنمای تعیین مرزهای پاشش

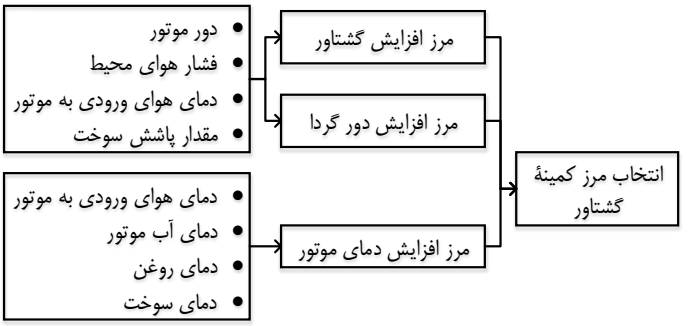
در این راهبرد، با تنظیم مقدار کمینهٔ اضـــافه هوا در شـــرایط مختلف، از تولید بیش از حد دوده و احتراق نامناسب جلوگیری می‌شود. مقادیر اضافه هوای کمینه بر اساس دور موتور و مقدار هوای ورودی به موتور از جدول پایه محا سبه می شود. در ادامه، این مقدار پایه به کمک ت صحیح دمای آب موتور، دمای هوای ورودی به موتور و ارتفاع از سطح دریا ا صلاح می شود و مقدار نهایی در حالت کاری عادی به د ست می‌آید. برای سایر حالت‌های کاری، فقط از مقدار جدول پایهٔ هر حالت کاری ا ستفاده می شود و ت صحیح دمای هوا در مقدار محدودیت ا ضافه هوا اعمال نمی‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶۷- روندنمای تعیین مقدار مرز هوای اضافه

راهبرد اعمال محدودیت گشتاور برای محافظت از موتور

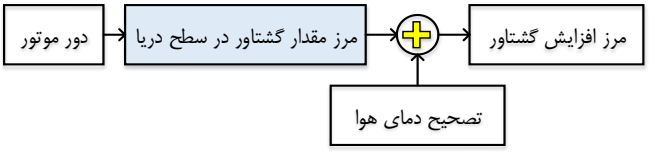
برای جلوگیری از افزایش گشـــتاور خروجی، دور گردا، دور موتور و همچنین دمای موتور از مقادیر مجاز آنها در شرایط بار کامل، مقدار بیشینهٔ گشتاور (پاشش سوخت) محدود می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۶۸- روندنمای تعیین انتخاب مرز کمینهٔ گشتاور

محدودیت افزایش گشتاور

در این بخش، مقدار پاشش سوخت بیشینه بر حسب دور موتور در حالت بار کامل محدود می‌شود. نگاشت این جدول در دورهای مختلف با هدف جلوگیری از افزایش گشتاور خروجی، بیشینهٔ فشار داخل استوانه و بیشینه دما و فشار بالادست گردا از حد مجاز خود انجام می‌شود. شایان ذکر است که نگاشت این جدول در شرایط سطح دریا انجام می شود. به منظور جلوگیری از افزایش فشار داخل استوانه، در دماهای کاری سرد موتور و یا محیط، ضریب تصحیح دمایی با استفاده از جدول برای محدودیت گشتاور اعمال می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

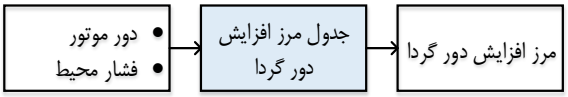


شکل ۶-۶۹- روندنمای تعیین مرز افزایش گشتاور

محدودیت افزایش دور گردا

برای جلوگیری از افزایش دور گردا از حد مجاز، مقدار گشتاور در حالت بار کامل به کمک جدول محدود می‌شود. در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا به دلیل کاهش فشار هوای ورودی، برای رسیدن به نسبت فشار مطلوب،

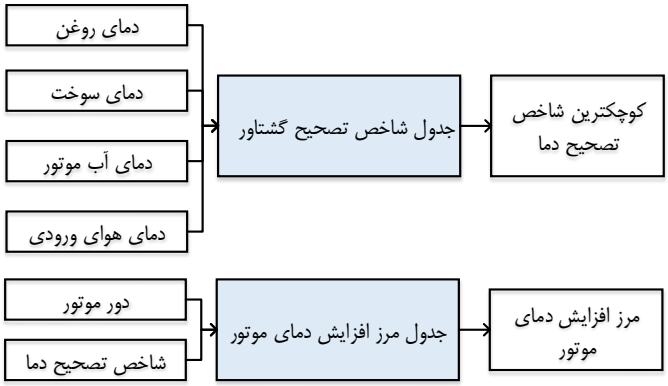
دور گردا افزایش می یابد. بنابراین نگاشـــت این جدول با هدف جلوگیری از افزایش بیش از حد دور گردا در ارتفاع‌های مختلف انجام می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۷۰- روندنمای تعیین مرز افزایش دور گردا

محدودیت افزایش دمای موتور

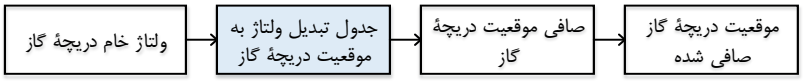
برای اعمال محدودیت دمای موتور، شاخص‌های ا صلاحی دمای آب، دمای روغن، دمای سوخت و دمای هوا با هم مقایســه و کمترین مقدار به عنوان شـاخص اصـلاحی درنظر گرفته می‌شـود. **Error! Reference source not found.** را نشـان می‌دهد. در نهایت مقدار گشـتاور محدود شـده در هر نقطه با اسـتفاده از جدول تنظیم می‌شود.



شکل ۶-۷۱- روندنمای محدودیت افزایش دمای موتور

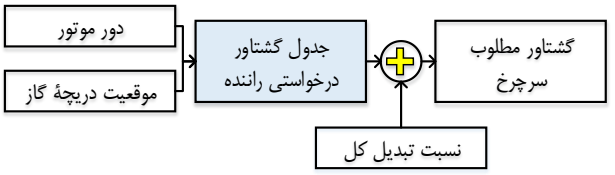
ساختار شکل‌گیری مقدار پاشش بر اساس گشتاور مورد نیاز راننده

در این قسمت مسیر شکل گیری مقدار پا شش سوخت بر ا ساس مقدار فشردن اهرم گاز برر سی می شود. مقدار ولتاژ اهرم گاز، با ا ستفاده از جدول، خطی و در ادامه صافی می شود تا موقعیت اهرم به صورت درصد تعیین شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۷۲- ساختار شکل‌گیری مقدار پاشش

در ادامه، تقاضای راننده برای مقدار گشتاور درخواستی محاسبه می شود. مقدار گشتاور موتور با توجه به موقعیت اهرم و دور موتور با استفاده از جدول پایه محاسبه می‌شود. در ادامه برای جبران تلفات گشتاور اصطکاکی موتور و سامانهٔ انتقال قدرت، مقدار گشتاور اصطکاکی و گشتاور سامانه‌های جانبی در محاسبهٔ گشتاور سرچرخ اعمال می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

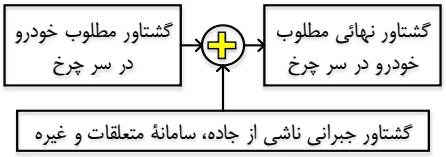


شکل ۶-۷۳- روندنمای تعیین گشتاور مطلوب سرچرخ

این امکان وجود دارد تا مقدار گشتاور درخواستی را خود راننده و یا سامانهٔ تنظیم سرعت خودکار انجام دهد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

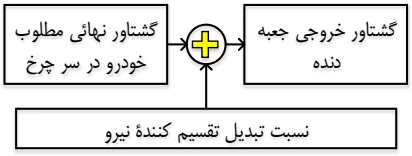
شکل ۶-۷۴- روندنمای انتخاب گشتاور مطلوب سر چرخ

در ادامه، تغییرات ناگهانی گشتاور مثل گشتاور تنجار خنک‌کن در محاسبهٔ گشتاور درخواستی اعمال می‌شود که مقدار گشتاور جبرانی به نقطهٔ کاری موتور بستگی دارد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



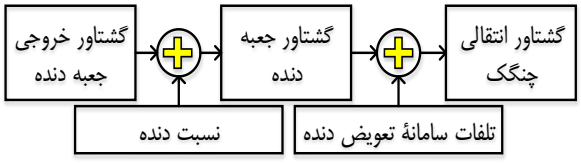
شکل ۶-۷۵- روندنمای چگونگی تأثیر گشتاور جبرانی روی گشتاور سرچرخ

در ادامه، مقدار گشتاور سرچرخ به کمک نسبت تبدیل تقسیم‌کننده[1] به گشتاور خروجی جعبه‌دنده تبدیل می‌شود. ملاحظات راجع به محافظت از تفاضلی نیز صورت می‌پذیرد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۷۶- روندنمای گشتاور خروجی جعبه‌دنده

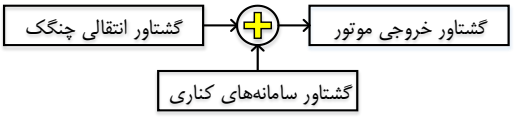
همچنین، مقدار گشتاور خروجی جعبه‌دنده با توجه به نسبت دنده و با اعمال تلفات سامانه، تبدیل به گشتاور انتقالی چنگک می‌شود. همچنین ملاحظات راجع به محافظت از جعبه‌دنده نیز صورت می‌پذیرد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۷۷- روندنمای تعیین گشتاور انتقالی چنگک

در قسمت بعدی، مقدار گشتاور موتور (میل لنگ) با توجه به گشتاور سامانه‌های جانبی موتور و از طریق مقدار گشتاور چنگک به دست می‌آید. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

[1] Power differentiator



شکل ۶-۷۸- روندنمای تعیین مقدار گشتاور موتور با توجه به گشتاور سامانه‌های جانبی

قبل از اعمال تصحیح رانش‌پذیری خودرو، مقدار گشتاور نهایی درخواستی راننده از موتور به دست می‌آید. این گشتاور به کمک بازه‌های گشتاوری دیگر تعیین می‌شود، بدین صورت:

مقدار گشتاور درخواستی راننده پس از کم شدن گشتاور اصطکاکی موتور به یک مقدار گشتاور داخلی تبدیل و به عنوان یک محدودیت درنظرگرفته می‌شود. مقدار گشتاور مهار کننده سرعت خودرو پس از جمع شدن با مقدار گشتاور سامانه‌های جانبی که باید جبران شود، محدودیت دیگری به وجود می‌آورد. مقدار محدودیت گشتاور اعمالی برای محافظت موتور و قطعات نیز به عنوان محدودیت دیگر درنظرگرفته می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۷۹- روندنمای انتخاب کوچکترین مقدار به عنوان گشتاور درخواستی

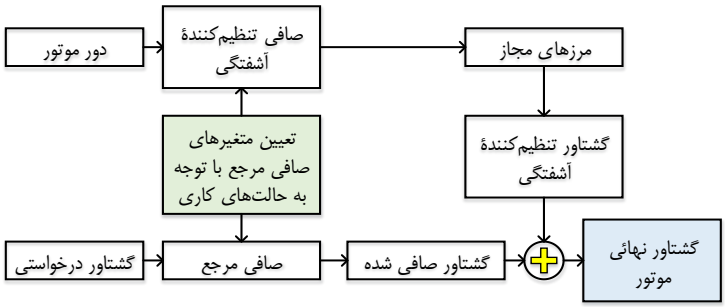
تابع ASD با صاف کردن مقدار گشتاور درخواستی راننده و محدود کردن تغییرات ناگهانی گشتاور، از وقوع تکانه‌های شدید جلوگیری می‌کند و باعث بهبود رانش‌پذیری خودرو می شود. برای این منظور، یک صافی مرجع برای گشتاور درخواستی راننده اعمال می‌شود. رانش‌پذیری وسیلهٔ نقلیه به کمک تعریف متغیرهایی برای این صافی مرجع تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تعریف و اعمال هر یک از این متغیرها در صافی مرجع باعث امکان‌پذیری تنظیم متناسب با حالت‌های کاری مختلف خودرو مانند فشرده شدن چنگک می‌شود.

با توجه به بازخورد تغییر مرحلهٔ نوسان سرعت موتور به گشتاور خروجی از صافی مرجع، نوسان دور موتور و تکانه‌های مختلف به صورت فعال کاهش می‌یابد. برای بررسی شرایط ورودی برای تصمیم‌گیری دربارهٔ انتخاب متغیرها، این حالت‌های کاری ارزیابی می‌شود:

- مداخلهٔ گشتاور خارجی
- سامانهٔ انتقال قدرت باز یا بسته
- حالت‌های مختلف درگیری و نوع چنگک

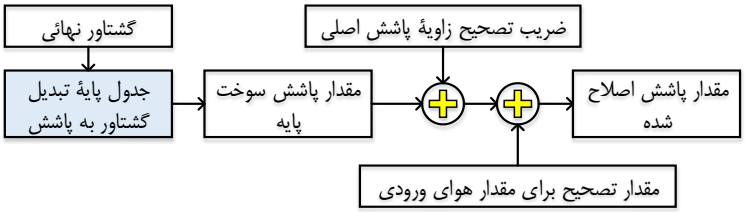
- حالت‌های مختلف جعبه‌دنده

Error! Reference source not found. را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸۰- روندنمای تعیین گشتاور نهایی موتور

مقدار گشـــتاور نهایی موتور در تابعی به نام CnvSet_Trq2q، با اســـتفاده از جدول پایه به مقدار پاشـــش سوخت تبدیل می شود. این مقدار پا شش بعد از اعمال ت صحیحات زاویهٔ پا شش ا صلی و مقدار هوای ورودی به موتور به عنوان مقدار نهایی پاشش معرفی می‌شود. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸۱- روندنمای مقدار اصلاح برای پاشش

راحتی رانندگی

راحتی رانندگی به عنوان یکی از مهمترین بخش‌های نگاشت خودرویی است. راحتی رانندگی مطلوب، یعنی رانندگی مطمئن و احساس رفاه راننده در شرایط مختلف رانندگی نظیر شتابگیری، کاهش سرعت، حرکت خز شی و تغییر ناگهانی اهرم گاز (رانندگی در رفت و آمد شهری) به نحوی که خودرو تکان محسوسی نداشته باشد و تغییر موقعیت مطلوب حاصل شود. بدیهی است انتخاب قطعات تأثیر گذار مناسب نظیر دسته موتور، سامانهٔ چنگک و ... می‌تواند کمک شایانی در ایجاد راحتی رانندگی مطلوب نماید. برای د ستیابی به راحتی رانندگی مطلوب، باید تغییر گشتاور موتور به نحوی مدیریت شود که از تغییر ناگهانی شدید در وضعیت رانندگی جلوگیری شود.

گشتاور مصرفی متعلقات

یکی از موارد مهم در دا شتن راحتی رانندگی مطلوب، محا سبه و اعمال گ شتاور و سایل جانبی نظیر سامانهٔ تهویه، پروانه خنک‌کن، مولد برق، فرمان و ... اســـت، به گونه‌ای که در هنگام فعال شـــدن این متعلقات، راحتی رانندگی خودرو و رفاه راننده تحت تأثیر قرار نگیرد. با توجه به م صرف گ شتاور مح سوس این متعلقات، باید مقدار گشتاور از قبل پیش بینی شده باشد تا با اعمال یک راهبرد معین و جبران افت گشتاور، از افت دور موتور در هنگام فعال شدن آنها جلوگیری شود. گشتاور مصرفیِ وسایل جانبی با گشتاور درخواستی راننده جمع می‌شود و در نهایت مقدار پاشش سوخت برای دستیابی به مجموع گشتاور درخواستی مدیریت می‌شود.

به منظور جبران گشتاور مصرفی در لحظه فعال شدن متعلقات، راهبرد ذخیره گشتاور اعمال می شود. مدت زمان اعمال راهبرد ذخیره گشتاور و مقدار ذخیره گشتاور به نحوی تنظیم می‌شود که در حالت بی باری، دور موتور افت محسوسی نداشته باشد. در ادامه این بخش، راهبرد عملکردی اجزای مختلف به همراه نتیجه نگاشت گشتاور مصرفی هر یک آمده است.

پروانهٔ خنک‌کن

برای خنک کردن سیال خنک کاری موتور، از دو پروانه همزمان و دو سرعته ا ستفاده می شود. پروانه‌ها در دمای آب ۹۵ درجه سانتیگراد با دور کند روشن شده و با کاهش دمای آب به ۹۰ درجه خاموش می‌شوند. دور تند نیز در دمای ۱۰۲ درجه فعال و در دمای ۹۵ درجه غیرفعال می‌شـود. علاوه بر موارد ذکر شـده، زمانیکه خنک‌کن فعال شـود و یا خطای حسـگر دمای آب ثبت شـود، دور کند پروانه‌ها فعال می‌شـود. همچنین، پروانه‌ها صـرفاً در حالت موتور روشـن فعال می‌شـوند مگر در حالتی که پس از خاموش کردن موتور، دمای آب از مقداری مشـخص قابل تنظیم داغتر یا خطای حسگر دمای آب ثبت شده با شد که در این حالت، به مدت مشخصی (تابع دمای آب) دور کند پروانه‌ها فعال خواهد بود به شـــرط آنکه ولتاژ منبع تغذیه[1] از یک مقدار مشـــخص قابل تنظیم (۱۱ ولت) بیشـتر باشـد. از سـه کلید برقی[2] برای مهار پروانه‌ها اسـتفاده می‌شـود که یکی از کلیدهای برقی برای عیب‌یابی استفاده می شود. ذخیره گشتاور مورد نیاز موتور در حالت بی باری موتور حین فعال شدن پروانه‌ها در دو حالت دور کند و دور تند به گونه‌ای تنظیم می‌شود که دور موتور افت کمی داشته باشد.

[1] Battery
[2] Relay

سامانهٔ تهویه

خنک‌کن خودرو را رایانهٔ موتور مهار می‌کند. شرایط فعال شدن خنک‌کن تهویه بدین شرح است:

- درخواست راننده (فشرده شدن کلید تهویهٔ مطبوع A/C)
- زمان مشخصی (بر حسب ارتفاع و دمای راه اندازی) از روشن شدن موتور گذشته باشد (به منظور پایدار شدن دور موتور– حدود ۲۰ ثانیه در دمای راه اندازی ۲۰ درجه)
- دمای سیال خنک کننده در یک بازهٔ مشخص باشد (به عنوان مثال بیشتر از ۵ و کمتر از ۱۱۳ درجه)
- فشار گاز خنک‌کن در یک بازهٔ مشخص باشد (بین ۸ تا ۳۱ بار). البته با توجه به نوع کلید فشار استفاده شده در این موتور که از نوع دو مرحله‌ای است، عملاً این راهبرد غیرفعال است. چرا که کلید صرفاً دو مقدار فشار را ارائه می‌دهد که برابر ۱۳ و ۲۶ بار تنظیم شده است. یعنی حتی اگر گاز در مسیر نباشد، فشار اعلام شده به رایانهٔ موتور ۱۳ بار خواهد بود. در صورتی که خطای کلید فشار گاز مبرد ثبت شود، خنک‌کن غیرفعال می‌شود.
- در شرایط شتابگیری که سرعت خودرو از حدی مشخص، کمتر باشد و موتور در حالت تمام بار قرار می‌گیرد (نیاز به بیشینهٔ گشتاور)؛ به مدت مشخصی (مثلاً ۱۰ ثانیه) خنک‌کن خاموش می‌شود.
- با اعمال راهبرد ذخیرهٔ گشتاور مناسب (مقدار و الگوی تنظیمی)، هنگام فعال شدن خنک‌کن، افت دور موتور بسیار کم خواهد بود.

فرمان روغنی

با توجه به استفاده از تلمبهٔ روغن برای فرمان، مقدار گشتاور مصرفی این تلمبه نیز باید به طور مناسب انتخاب شده باشد. لذا با تنظیم مقدار گشتاور ذخیره و گشتاور مصرفی، نتیجه مطلوب از نظر تنظیم دور آرام و عدم نوسان دور موتور به دست خواهد آمد. نحوهٔ وارد مدار نمودن تلمبهٔ فرمان روغنی نیز با چرخاندن غربیلک فرمان و یا نگهداشتن آن در انتهای مسیر حرکتی‌اش است.

مولد برق

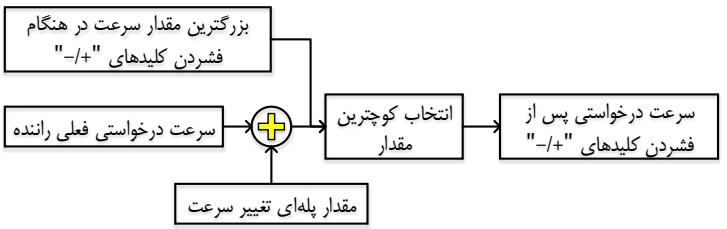
با توجه به مقدار بار اعمالی از طرف مصرف‌کننده‌های برقی، یک علامت پیوسته از سمت مولد برق به رایانهٔ موتور ارسال می شود. مقدار این علامت (درجهٔ مصرف گشتاور مولد برق برحسب نیاز) از ۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر خواهد بود. این علامت به دو صورت خام و صافی شده برای تعیین مقدار کاهش گشتاور مولد برق در دور موتورهای مختلف، استفاده می شود. در نهایت بر حسب مقدار گشتاور مصرفی مولد برق، با تنظیم مناسب مقدار پاشش سوخت، از افت دور موتور در دور آرام جلوگیری می‌شود.

تنظیم‌کنندهٔ سرعت درخواستی

بر خلاف خودروهای مجهز به موتور اشتعال جرقه‌ای که تنظیم توان موتور و در نتیجه شتاب حرکت در آنها وابستگی مستقیم با وضعیت دریچهٔ گاز دارد، ابزار موتور دیزل برای رسیدن به گشتاور و توان مورد نیاز، تنظیم مقدار پاشش سوخت درون استوانه است. برای دستیابی به سرعت مورد نیاز و در نتیجه اعمال شتاب مطلوب به خودرو عملاً باید از ابزار پاشش به عنوان اصلی‌ترین خروجی سامانهٔ تنظیم سرعت استفاده نمود. اصلی ترین وظیفه سامانهٔ تنظیم سرعت درخواستی، ایجاد حالت‌های مختلف شتاب‌گیری در راستای رسیدن به سرعت مطلوب و ثبات وضعیت در سرعت درخواستی است.

با فشردن دکمه ON، سامانه برای قرارگیری در حالت‌های مختلف تنظیم سرعت درخواستی[1] در حالت آماده به کار[2]، قرار می‌گیرد. با فشردن دکمهٔ Set، ضمن قرارگرفتن سرعت فعلی خودرو به عنوان سرعت درخواستی از سامانهٔ سرعت درخواستی، وضعیت در حالت تنظیم سرعت درخواستی (ثبات سرعت) قرار می‌گیرد.

پس از قرارگیری در حالت سرعت درخواستی (یعنی یکبار فشردن کلید Set در یک چرخهٔ رانندگی)، با فشردن دکمه TIP-UP مشروط بر اینکه سرعت خودرو در بازهٔ مجاز TIP-UP قرار داشته باشد، می‌توان به تنظیم سرعت درخواستی از سامانهٔ سرعت درخواستی پرداخت. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



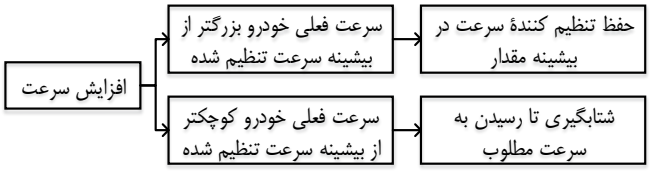
شکل ۶-۸۲- روندنمای تعیین سرعت درخواستی

همانطور که در شکل پیدا ست، با هربار فشردن دکمهٔ TIP-UP، مقدار ثابتی با سرعت فعلی خودرو جمع می‌شود و در صورت بیشتر شدن سرعت مجموع از سرعت لحاظ شده در سامانهٔ سرعت درخواستی، این سرعت به

[1] Crouse speed
[2] Stand by

عنوان سرعت درخواستی جدید ثبت می‌شود. البته امکان افزایش سرعت لحاظ شده در سرعت درخواستی با هر بار فشار دادن دکمهٔ Tip-Up نیز وجود دارد. نحوهٔ عملکرد دکمهٔ TIP-DOWN هم مشابه TIP_UP است.

در حالتی که هیچ فرمان داخلی یا خارجی (منظور فرمان‌های دستی یا خودکار است) مانعی برای حالت شتابگیری ایجاد نکند، عملیات شتابگیری تا رسیدن به سرعت بیشینه شتابگیری ادامه پیدا می‌کند و سپس سامانهٔ سرعت درخواستی به ثبات سرعت خودرو اقدام می‌نماید. یعنی هرگاه سرعت خودرو از سرعت قبلی لحاظ شده در سامانهٔ سرعت درخواستی بیشتر شد، سرعت فعلی، به طور خودکار جایگزین سرعت لحاظ شده قبلی می شود. **Error! Reference source not found.**، بیانگر منطق این راهبرد است.



شکل ۶-۸۳- روندنمای افزایش سرعت تا رسیدن به سرعت درخواستی

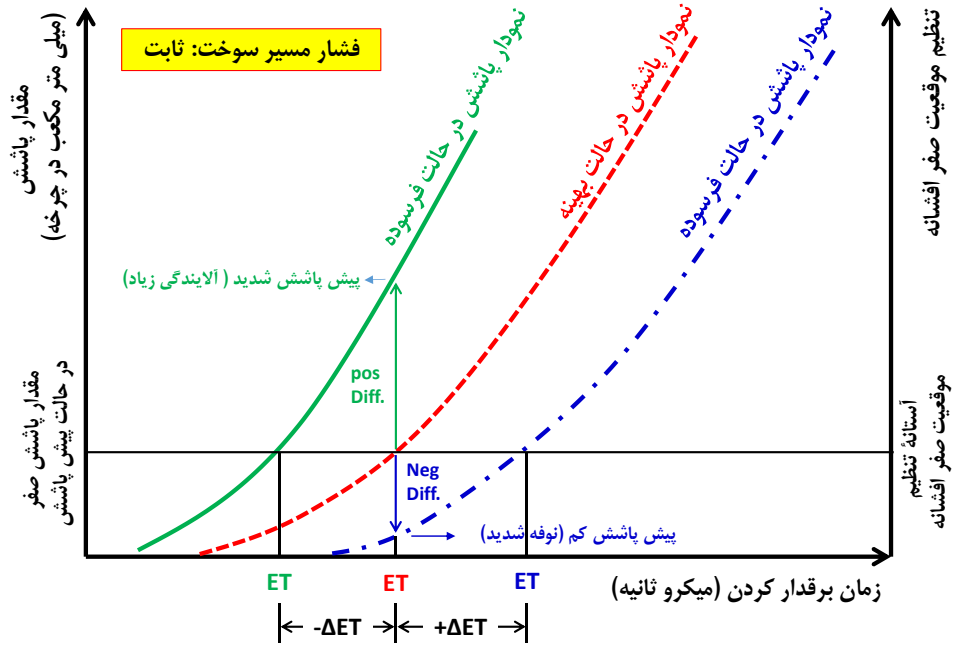
راهبردهای تصحیح پاشش سوخت

در این بخش مهمترین راهبردهای تصحیح پاشش سوخت شامل راهبرد تنظیم موقعیت صفر افشانه، راهبرد اصلاح پاشش به دلیل امواج فشاری در چندراههٔ سوخت، راهبرد تطبیق سوخت و هوا، راهبرد پاشش صفر، راهبرد تنظیم پاشش سوخت یکسان در استوانه‌ها و راهبرد تنظیم مقدار پاشش سوخت معرفی می‌شوند.

راهبرد تنظیم موقعیت صفر افشانه

به سبب گوناگونی تولید در ساخت افشانه و نوک آن و همچنین افت عملکرد آنها در طول زمان، همواره مقدار دقیق سوخت به عنوان پیش پاشش که مورد نظر است در محفظهٔ احتراق پاشیده نمی‌شود بلکه مقدار پاشش به عنوان پیش پاشش می‌تواند بیشتر و یا کمتر از مقدار مطلوب باشد. در حقیقت راهبرد تنظیم موقعیت صفر افشانه، به منظور پایداری در سطح آلایندگی و کاهش صداهای ناهنجار موتور تلاش می‌کند که مقدار سوخت در مرحله پیش پاشش مطابق مقدار اسمی آن باشد یعنی همان مقداری که رایانهٔ موتور فرمان آن را ارسال نموده

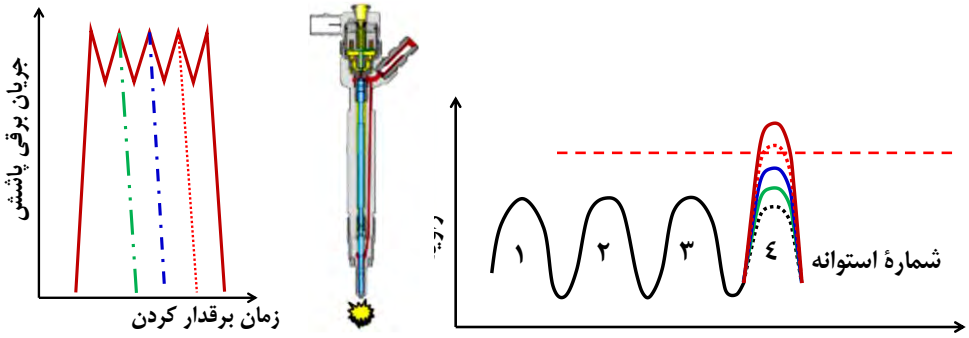
اسـت. همچنین این رفتار باید در طول عمر افشـانه ثابت باقی بماند. در عمل این تغییرات از طریق تغییر در زمان برقدار کردن افشانه[1] صورت می‌گیرد. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸۴- تشریح تأثیر تغییر موقعیت باز شدن افشانه در عملکرد آن

این راهبرد در زمان‌هایی که خودرو در حال حرکت اســت ولی راننده اهرم گاز را فشــار نمی‌دهد، می‌تواند فعال شود. در آن شرایط زمان برقدار شدن هر یک از افشانه‌ها به‌طور مستقل اضافه می شود و اگر دور موتور افزایش نیافت مشخص می شود که سوختی از افشانه پاشیده نشده است. زمان برقدار شدن البته با گام‌های مشخص، افزایش می‌یابد تا وقتی که افزایش دور موتور محسوس باشد. این نقطه به عنوان نقطهٔ جدید شروع به حرکت سوزن افشانه منظور می شود. سپس زمانبندیِ پاشش سوخت با این موقعیت جدید در محاسبات منظور می‌شود. شکل ۶-۸۵- نحوهٔ عملکرد تنظیم مقدار صفر سوخت[2] را نشان می‌دهد.

[1] Energizing time
[2] Zero-fuel quantity calibration (ZFC)



شکل ۶-۸۵- نحوهٔ عملکرد تنظیم مقدار صفر سوخت

راهبرد اصلاح پاشش به دلیل امواج فشاری در چندراههٔ سوخت

با هر پاشش، امواج رفت و برگشتی فشار در چندراههٔ سوخت منتشر می شوند و در نتیجه موجب تغییر در مقدار پاشش سوخت بعدی خواهند شد. دو راه حل برای غلبه بر مشکل اشاره شده وجود خواهد داشت. یکی آنکه برای هر یک از پاشش‌ها (شامل پیش پاشش- پاشش اصلی- پس پاشش) جداول جداگانه ای بر اساس زمان برقرار کردن افشانه و مقدار پاشش اختصاص داده شود. راه حل دوم آن است که تغییرات مقدار پاشش از طریق طرحی جبران شود که به مشخصه امواج یعنی دما و فشار سوخت- مقدار پاشش سوخت و زمان بین دو پاشش بستگی داشته باشد.

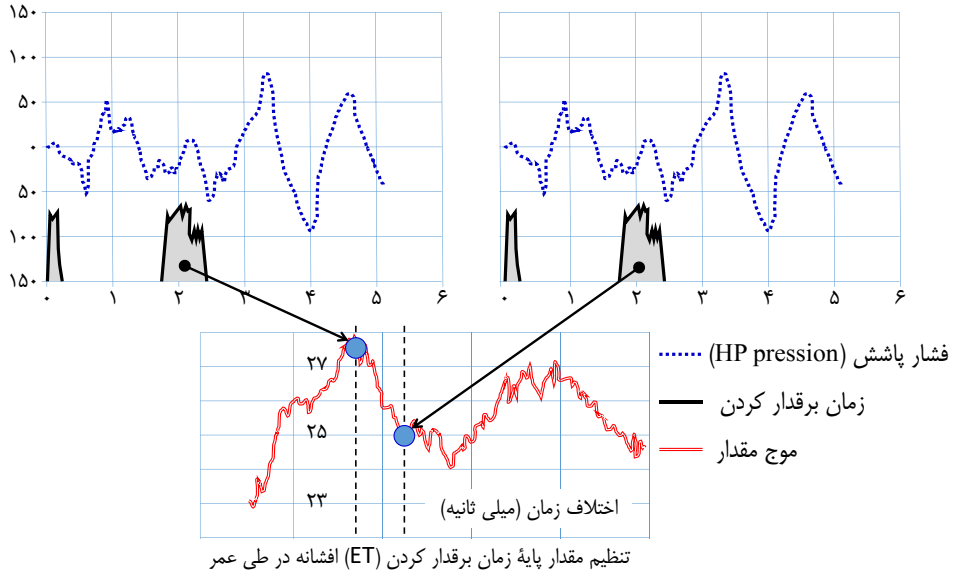
بنابر توضیحات ذکرشده، به واسطهٔ هر پاشش، امواج فشاری در لوله‌های پرفشار انتشار یافته و مقدار پاشش‌های بعدی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. با توجه به این که فشار درنظرگرفته شده در طول مدت برقرار شدن افشانه، همان فشار اندازه‌گیری شده در وقفه‌های پیش از وقوع هر پاشش است، بنابراین دو راه حل ذکر شده را می‌توان به این صورت خلاصه نمود:

از یک جدول دیگر زمان برقرارشدن افشانه برای پاشش‌های بعدی استفاده کرد.

از طریق یک شبیه سازی تصحیح امواج فشاری[1] که به سرعت موج (فشار و دمای سوخت)، دامنه موج (مقدار پاشش) و تغییر مرحله (زمان بین دو پاشش) بستگی دارد، تغییرات مقدار پاشش را از بین برد.

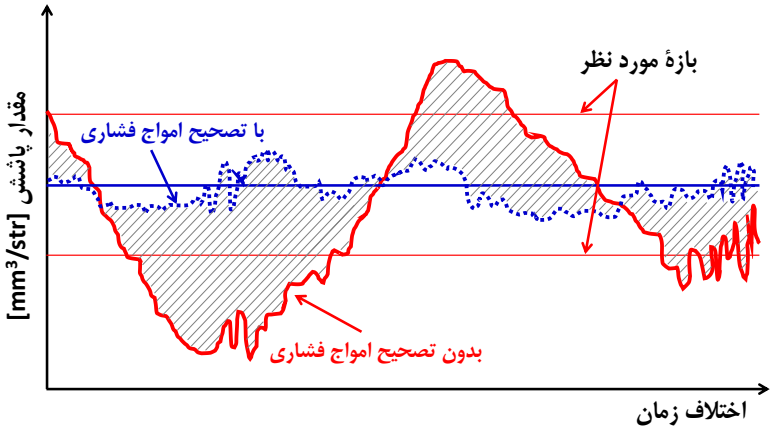
[1] Pressure wave correction

همان‌گونه که در **Error! Reference source not found.** مشاهده می‌شود به دلیل وجود نوسان فشار در پاشش سوخت، با تغییر زمان پاشش دوم، تأثیر این امواج بر مقدار پاشش نمایان می شود. (در حالت اول مقدار پاشش برابر ۲۷ و در حالت دوم و پاشش زودتر نسبت به حالت اول، مقدار پاشش برابر ۲۵ شده است.)



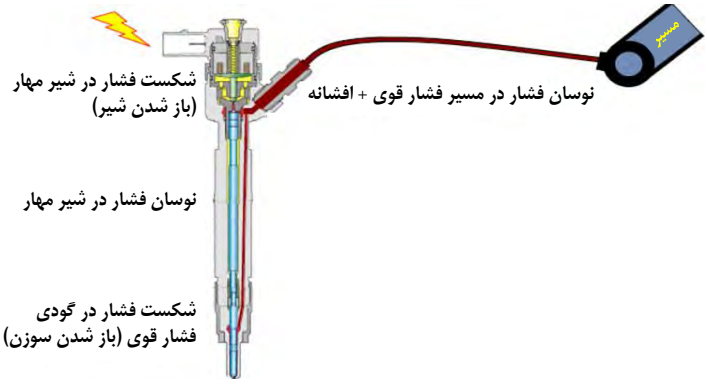
شکل ۶-۸۶- تأثیر نوسان فشار خط پاشش سوخت بر مقدار پاشش سوخت

بنابراین لازم اســت تا با روش مناســبی تأثیر این امواج را بر پاشــش‌های بعدی از بین برد. در **Error! Reference source not found.** یکی از روش‌های رسیدن به این هدف به کمک روش تصحیح امواج فشاری نشان داده شده است که در آن، مقدار پاشش پایدار را تغییر زمان پاشش به وجود می‌آورد.



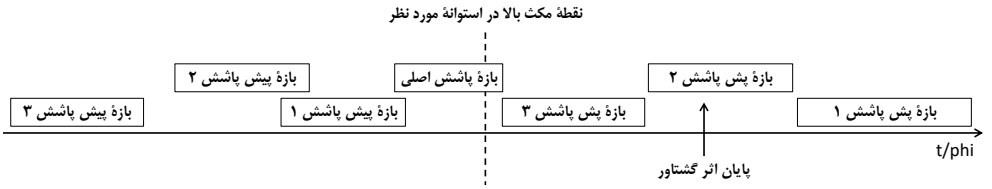
شکل ۶–۸۷– شکل ۰.۱ تصحیح امواج فشاری در چندراههٔ پاشش سوخت

در **Error! Reference source not found.** عوامل به وجود آوردن نو سان ف شاری در اف شانه ن شان داده شده است که مهمترین آنها باز و بسته شدن سوزن افشانه است.



شکل ۶–۸۸– مهمترین عوامل به وجود آوردن نوسان فشار

در اینجا لازم ا ست ترتیب پا شش‌ها در یک چرخه بیان شود که با توجه به شکل ۶–۸۹، به ترتیب عبارتند از: پیش پاشش ۳، پیش پاشش ۲، پیش پاشش ۱، پاشش اصلی، پس پاشش ۳، پس پاشش ۲، پس پاشش ۱.

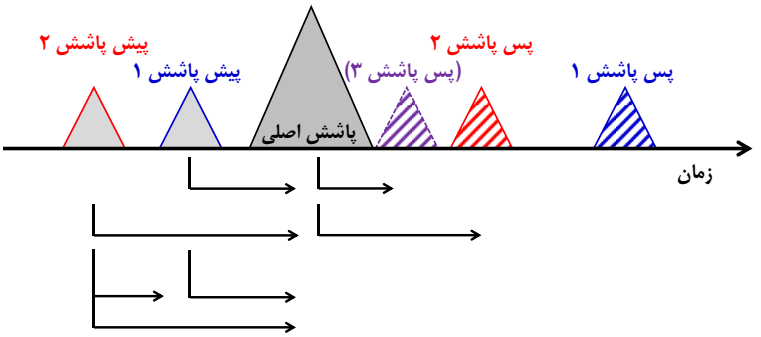


شکل ۶-۸۹- ترتیب پاشش‌ها در یک چرخهٔ کاری موتور

با توجه به مقدار و فاصله بین هریک از پاشش‌ها، ممکن است حالات مختلفی در مورد تأثیر و یا عدم تأثیر آنها بر یکدیگر به وجود آید. حالاتی که یک پاشش بر روی پاشش بعدی تأثیرگذار است:

- پیش پاشش ۲ بر پیش پاشش ۱
- پیش پاشش ۲ بر پاشش اصلی
- پیش پاشش ۱ بر پاشش اصلی
- پیش پاشش ۱ و ۲ بر پاشش اصلی
- پاشش اصلی بر پس پاشش ۲ یا ۳

Error! Reference source not found. نشان می‌دهد.

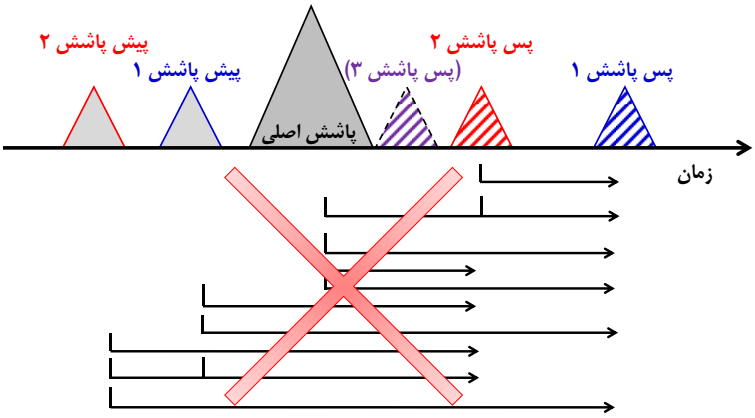


شکل ۶-۹۰- موارد تأثیرگذاری پاشش‌های مختلف بر روی یکدیگر

حالاتی که یک پاشش بر روی پاشش بعدی تأثیر ندارد:

- کلیهٔ پاشش‌ها بر پس پاشش
- کلیهٔ پیش پاشش‌ها بر پس پاشش‌ها

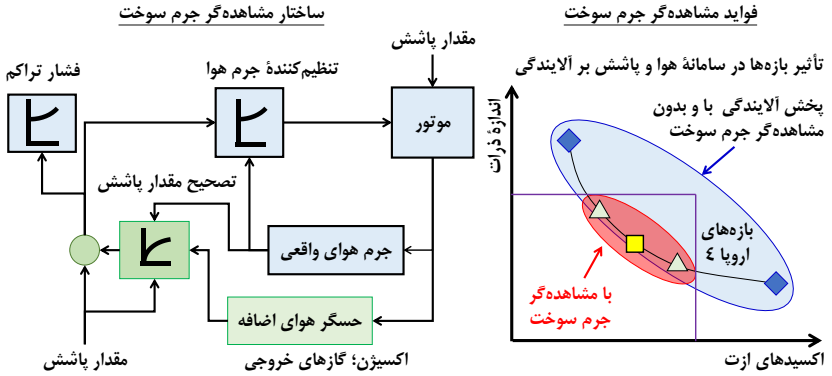
Error! Reference source not found. نشان می‌دهد.



شکل ۶-۹۱- موارد عدم تأثیر پاشش‌های مختلف بر روی یکدیگر

راهبرد تطبیق سوخت و هوا

وظیفهٔ این راهبرد، تعیین مقدار خطای موجود در مقدار هوا و پا شش سوخت بر ا ساس تفاوت بین علامت اضافه هوای اندازه‌گیری شده و اضافه هوای شبیه‌سازی شده و اصلاح آن است. تفاوت میان این دو مقدار اضافه هوا، به عنوان ورودی به یک تنظیم‌کنندهٔ PI وارد می‌شـــود. مهمترین مزیت اســـتفاده از این راهبرد، امکانپذیری تنظیم مقدار آلایندگی در حد استاندارد است. **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد.



شکل ۶-۹۲- اثر راهبرد تطبیق سوخت و هوا در تنظیم مقدار آلایندگی

در این راهبرد با دریافت بازخورد کم یا زیاد بودن از حسگر اضافه هوا، مقدار هوا یا سوخت در شرایط مختلف کاری موتور به مقدار مطلوب نزدیکتر می‌شود.

راهبرد پاشش صفر

این راهبرد در مواقعی وارد عمل می‌شود که فشار سوخت در چندراههٔ سوخت افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته و عملاً امکان کم کردن آن فشار بویژه در سامانه‌هایی که مجهز به دریچهٔ اطمینان[1] در چندراههٔ سوخت نیستند، به‌طور مکانیکی وجود ندارد. در این وضعیت، با سازوکاری که در طراحی افشانه اندیشیده شده است، بدون آنکه سوختی از افشانه درون محفظهٔ احتراق پاشیده شود با بازگرداندن سوخت به مسیر برگشت سوخت فشار سوخت در چندراههٔ سوخت کاهش می‌یابد. در ادامه این سازوکار، بدین شرح، توضیح داده شده است:

- **وضعیت نخست:** بدون پاشش سوخت و عدم کاهش فشار در چندراههٔ سوخت با فشار قوی

در این وضعیت افشانه برقدار نشده است. سوزن افشانه بسته است و پاشش سوختی وجود ندارد. هیچگونه تغییر فشاری در چندراههٔ سوخت با فشار قوی وجود ندارد. سه نیرویی که بر روی سوزن افشانه عمل می‌کنند عبارتند از:

۱- نیروی سیال که از سطح بالایی بر روی سوزن اعمال می‌شود.

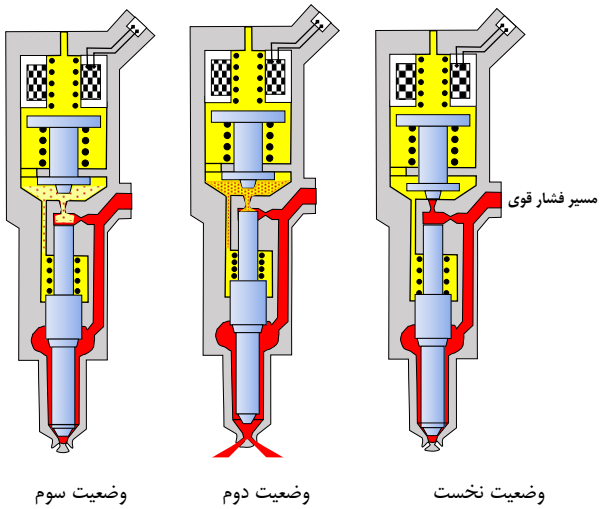
۲- نیروی سیال که از سطح پایینی بر روی سوزن اعمال می‌شود.

۳- نیروی فنر

- **وضعیت دوم:** برقدار کردن افشانه، دریچه باز است و فشار سوخت در حجم تنظیم که در ناحیهٔ بالای سوزن است کاهش می‌یابد.
- **وضعیت سوم:** چون نیروهای فشار سیال که از پایین اعمال می‌شود، بزرگتر از جمع نیروی فنر و نیروی وارده از سطح بالایی می‌شود، سوزن افشانه به سمت بالا حرکت می‌کند و پاشش سوخت رخ می‌دهد.

در این وضعیت، زمان برقدار کردن افشانه خیلی کوتاه است به‌طوری که نیروهای فشار سیال از نیروی فنر تجاوز نمی‌کند. بنابراین سوزن باز نمی‌شود اما فشار سوخت در ناحیه بالای سوزن کاهش می‌یابد. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

[1] Pressure relief valve



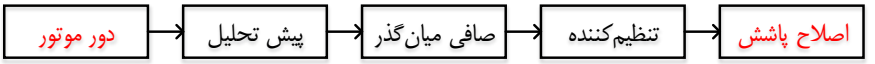
شکل ۶-۹۳- سه وضعیت عملکرد افشانهٔ سوخت

راهبرد تنظیم پاشش سوخت یکسان در استوانه‌ها

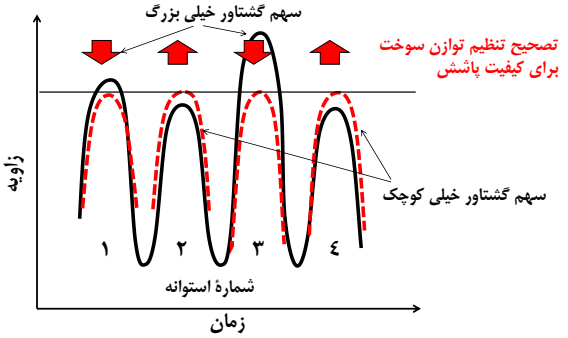
به دلیل تنوع در تولید افشـانه‌ها و نوک آن، بسـیار محتمل اسـت که توزیع سـوخت در اسـتوانه‌های مجزا، به‌طور یکسان صورت نگیرد. به همین دلیل راهبرد مذکور سعی در جبران این تفاوت‌ها دارد که با کمک داده‌های حسگر دور موتور انجام می شود. در واقع وظیفهٔ واکنشگر سوختی[1] خنثی کردن نوسان در گشتاور تولیدی موتور است. این نوسان به علت اختلاف در شتاب‌های احتراق در هر استوانه ناشی می‌شود.

انحراف محاسبه شده از اطلاعات به دست آمده از احتراق (که خود را در علامت دور موتور نشان می‌دهد) به صورت متغیر (FBC_WheelLrnOut) به چندین تنظیم‌کنندهٔ PI داده می شود که خروجی این تنظیم‌کننده‌ها مقدار پاششی است که باید در هر استوانه اصلاح شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

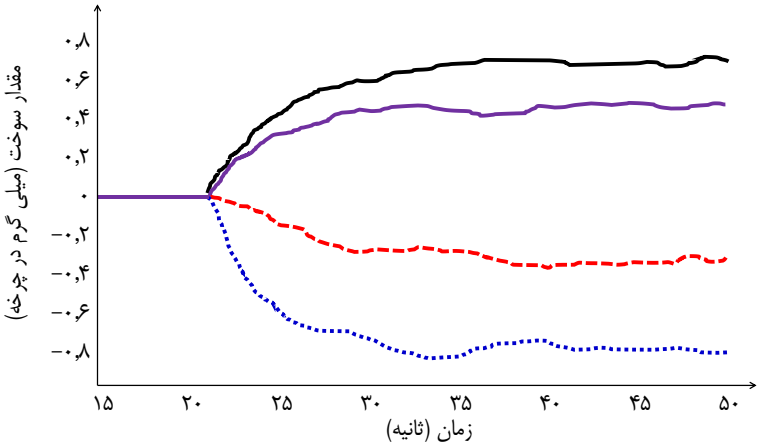
[1] Fuel-Borne Catalyst (*FBC*)



(الف) مراحل تنظیم توازن سوخت



(ب) تنظیم پاشش با زاویه



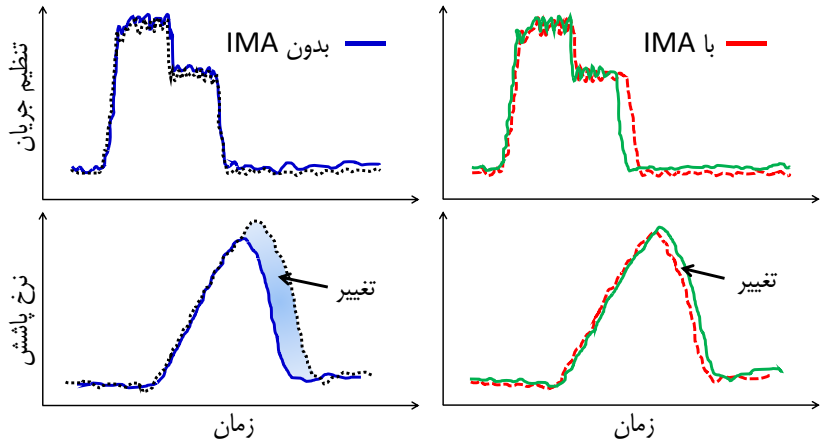
(ج) تنظیم توازن سوخت

شکل ۶-۹۴- نمایشی از راهبرد واکنشگر سوختی

راهبرد تنظیم مقدار پاشش

یکسان نبودن مشخصه‌های ابعادی افشانه‌های ساخته شده در خط تولید، امری طبیعی و موضوعی اجتناب ناپذیر است. برای آنکه این انحراف تأثیر کمتری بر نتایج آزمون آلایندگی خودرو داشته باشد باید شمارهٔ

افشانه‌های موتور را به نرم‌افزار رایانهٔ موتور شناساند. این شماره که در انتهای خط تولید و پس از آزمون‌های روی افشانه به دو صورت عددی و رمزمیله حک می شود و می‌تواند به کمک دستگاه رمزخوان یا به صورت دستی در جداول رایانهٔ موتور ثبت شود. با این کار انحراف پاشش سوخت از مقدار مطلوب کاهش می‌یابد و افشانه مطابق با فرمان ارسالی از رایانهٔ موتور عمل می‌کند. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۹۵- اثر راهبرد تنظیم مقدار پاشش سوخت در کاهش انحراف پاشش سوخت

در بحثی که گذشت، مهمترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل، بررسی شد. در ادامه، مبانی نگاشت و تنظیم مهمترین راهبردهای رایانهٔ موتورهای دیزل بررسی خواهد شد.

۹-۶- مبانی نگاشت و تنظیم رایانهٔ موتورهای دیزل

در این بخش، مبانی نگاشت و تنظیم رایانهٔ موتورهای دیزل شامل روشهای نگاشت و تنظیم فشار پرخوران مطلوب، ضریب تصحیح خوانش صفحهٔ داغ، مقدار شار هوای ورودی به موتور، مقدار پاشش سوخت مطلوب، زمانبندی پاشش سوخت، فشار مطلوب چندراههٔ سوخت و راه اندازی سرد بررسی شده‌اند.

نگاشت فشار پرخوران مطلوب

با بسته شدن پره‌های پرخوران، اجازه عبور گازهای احتراقی از مسیر مجرای دود سخت‌تر و در نتیجه بخشی از انرژی جنبشی گازها به پره‌های پرخوران منتقل می‌شود. این فرایند منجر به تُندشدن دور پرخوران و در

نهایت افزایش فشـار هوای ورودی پس از تنجار می‌شـود. مقدار فشـار پرخوران مطلوب با در نظر گرفتن همزمان مقدار دوده، مصرف مخصوص سوخت و گشتاور موتور تعیین می‌شود.

با افزایش ارتفاع از سطح دریا یا کاهش فشار محیط، برای رسیدن به فشار پرخوران مطلوب به نسبت فشار بیشتری نیاز است. این نسبت فشار بیشتر باعث افزایش دور پرخوران خواهد شد. با توجه به اینکه حسگر دور پرخوران روی موتورهای تولیدی نصـب نمی‌شـود، رایانهٔ موتور قادر به پایش دور گردا نیسـت ولی می‌توان مقدار پاشـش سـوخت را بر حسـب ارتفاع محدود نمود تا دور پرخوران زیاد نشـود. برای اخذ اسـتاندارد آلایندگی در ارتفاع‌های بالاتر از سطح دریا، مقدار فشار پرخوران با توجه به فشار مجاز بیشینهٔ دورن استوانه و دور مجاز بیشینهٔ پرخوران افزایش می‌یابد.

معیارهای تنظیم فشار پرخوران در نقاط خارج از چرخهٔ رانندگی

در نقاط خارج از چرخهٔ رانندگی، تنظیم حلقه بستهٔ شار هوای ورودی غیرفعال است و جریان بازخورانی دود هم قطع می شود. در این شرایط، مقدار مصرف سوخت و دوده خروجی کاهش می‌یابد و آلاینده اکسیدهای ازت افزایش می‌یابد. افزایش این آلاینده به دلیل اینکه غالبا نقاط مذکور در خارج از شـهر رخ می‌دهد، اهمیت چندانی ندارد. سپس در این نقاط، بیشترین فشار پرخورانی که گشتاور بیشینه هر پاشش را تأمین کند و یا به عبارت دیگر مصرف سوخت کمینه را داشته باشد، به عنوان فشار پرخوران مطلوب در هر نقطه در نظر گرفته می‌شود. همچنین مهارکننده فشار پرخوران در تمامی آزمونها غیرفعال می شود و مقادیر تنظیم حلقه باز فشار پرخوران برای رسیدن به فشار پرخوران مطلوب در جداول قرار داده می‌شود. محدودیت‌های اصلی در این شرایط، عدم افزایش دور گردا، دما و فشار قبل از گردا، بیشینه فشار درون استوانه و دمای بعد از تنجار است.

معیارهای تنظیم فشار پرخوران در نقاط داخل چرخهٔ رانندگی

در نقاط داخل چرخهٔ رانندگی، تنظیم حلقه بستهٔ شار هوای ورودی فعال است. بنابراین در یک نقطه ثابت، با افزایش فشـار پرخوران مطلوب، مقدار بازخورانی دود افزایش می‌یابد و اضـافه هوا ثابت می‌ماند (در صـورت خوانش صحیح مقدار شار هوای ورودی با حسگر صفحهٔ داغ). لذا انتظار می‌رود که با افزایش فشار پرخوران در نقاط داخل چرخهٔ رانندگی، مقدار دوده افزایش و اکسیدهای ازت کاهش یابد. توضیح آنکه تغییر فشار پرخوران در بازه‌ای انجام می شود که گشتاور بیشینه هر پاشش را تأمین کند (کمینه مصرف سوخت ویژه). بنابراین نگاشت فشـار پرخوران در نقاط داخل چرخهٔ رانندگی در بازه‌ای که گشـتاور خروجی ثابت می‌ماند با اندازه‌گیری همزمان اکسیدهای ازت و دوده و توجه همزمان به این دو متغیر صورت می‌گیرد.

تصحیح نگاشت فشار پرخوران مطلوب در ارتفاع‌های مختلف

فشار پرخوران مطلوب در شرایط سطح دریا به عنوان جدول پایه در نظر گرفته می شود و فشار پرخوران مطلوب جدید در بالاترین ارتفاع ممکن (فشار محیط حدود ۷۰ کیلوپا سکال) در جدول فشار پرخوران مطلوب در ارتفاع زیاد قرار می‌گیرد. روش نگاشت فشار پرخوران مطلوب در هر دو ارتفاع مشابه روش ارائه شده در بخش‌های قبل است. همچنین مقادیر مهارکنندهٔ حلقه باز فشار پرخوران نیز در دو جدول مجزا قرار داده می شود. نکته مهم دیگر اینکه برای تنظیم فشار پرخوران مطلوب لازم است که راهبرد محدود کردن دوده فعال باشد. زیرا در غیر این صورت، مقدار اضافه هوا در یک مقدار پا شش ثابت برابر با مقدار نهایی و واقعی خود نخواهد بود و به عبارت دیگر نقطه کاری متفاوتی خواهد بود.

نگاشت ضریب تصحیح خوانش حسگر شار هوا

مقدار هوای تازهٔ ورودی به موتور را حسگر صفحهٔ داغ اندازه‌گیری می‌کند. اما در این اندازه‌گیری، خطای ناشی از رفت و برگشت هوا وجود دارد. بنابراین با استفاده از ضریب اصلاح خوانش صفحهٔ داغ، تأثیرات نوسان جریان هوا در مسیر هوای ورودی از بین برده می شود. برای نگاشت ضریب تصحیح خوانش حسگر شار هوا، از دستگاه آزمایشگاهی اندازه‌گیری شار هوای ورودی استفاده می شود. برای جلوگیری از تأثیر نوسان جریان هوا در مسیر هوای ورودی، دستگاه اندازه‌گیری شار هوای ورودی دور از موتور نصب می‌شود.

نگاشت مقدار هوای ورودی به موتور

مقدار اکسیدهای ازت با مقدار دوده در تقابل است. به عبارت دیگر، با افزایش شار هوای تازه ورودی به موتور، مقدار دوده موتور کاهش یافته و اکسیدهای ازت افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش شار هوای ورودی مطلوب و کاهش نرخ بازخورانی دود، بازده گرمایی موتور بهبود یافته و باعث کاهش مصرف سوخت می شود. بنابراین در هر نقطه از دور و بار موتور، شار هوای ورودی مطلوب برای رسیدن به مقادیر بهینهٔ آلایندگی و مصرف سوخت، تنظیم می‌شود. تنظیم شار هوای ورودی مطلوب با استفاده از تنظیم همزمان دریچهٔ گاز و دریچهٔ بازگردانی دود انجام می‌شود.

نگاشت مقدار پاشش سوخت و زمان‌بندی آن

مقدار کل پاشش سوخت از افشانه برابر با مجموع پاشش سوخت‌های پیش پاشش، پاشش اصلی و پس پاشش است. با توجه به استاندارد آلایندگی و مقدار قابل قبول نوفهٔ موتور، تعداد پیش‌پاشش و پس‌پاشش سوخت تغییر می‌کند. تعداد پیش‌پاشش بیشینه و پس‌پاشش قابل تنظیم در نرم‌افزار رایانهٔ موتور برابر ۳ است.

هدف از پیش‌پاشش سوخت، آماده‌سازی محفظهٔ احتراق برای داشتن احتراق مناسب در زمان پاشش سوخت اصلی است و مهمتر از آن کاهش شیب افزایش فشار درون استوانه و در نتیجه کم شدن صدای ناهنجار موتور (در فاصلهٔ بین پیش پاشش و پاشش اصلی) است. بنابراین مقدار پیش‌پاشش سوخت با هدف مهار نرخ افزایش فشار درون استوانه تنظیم می‌شود. شایان ذکر است که مقدار پاشش سوخت در مرحلهٔ پیش‌پاشش بسیار کمتر از پاشش اصلی است.

هدف اصلی از پس‌پاشش، افزایش دمای واکنشگر و صافی ذرات دیزل و در نتیجه سوخته شدن دوده‌های انباشته شده در صافی ذرات دیزل است. بنابراین مقدار پس‌پاشش سوخت با هدف مهار دمای دود تنظیم می‌شود.

زمانبندی پاشش اصلی سوخت به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که بیشینهٔ فشار داخل استوانه در بازهٔ ۱۵–۱۰ درجه پس از نقطهٔ مکث بالا قرار گیرد. زمانبندی بین پاشش‌ها نیز مهم است. به عنوان مقادیر اولیه، برای دماهای خنک، فاصلهٔ بین پیش پاشش اول و پاشش اصلی، حدود ۱ میلی‌ثانیه و پیش پاشش دوم تا پیش پاشش اول حدود ۸۰۰ میکروثانیه تنظیم می‌شود. با افزایش دما فاصلهٔ زمانی بین پاشش‌های مختلف افزایش می‌یابد.

نگاشت فشار مطلوب چندراههٔ سوخت

با افزایش فشار سوخت، مقدار نوفهٔ موتور افزایش می‌یابد اما باعث کاهش قطر ذرات سوخت و در نتیجه بهبود اختلاط سوخت و هوا و در نهایت کاهش آلاینده‌های دوده و مونواکسیدکربن می شود. بنابراین، مقدار فشار چندراههٔ سوخت با هدف دستیابی به مقادیر بهینهٔ آلایندگی و نوفهٔ خروجی موتور تنظیم می‌شود.

نگاشت راه اندازی سرد و شمع گرم کن

راه اندازی سرد در دماهای مختلف آب و هوایی (بسته به شهر یا کشوری که خودرو برای تردد در آن مکان طراحی شده است) انجام می‌شود. برای موتور دیزل ملی، راه‌اندازی در دماهای بیشتر از منفی پنج درجهٔ سانتیگراد بدون استفاده از شمع گرمکن صورت می‌گیرد. اما به دلیل وجود شمع گرم کن در خودرو، تنظیم پایه بر اساس استفاده از شمع گرمکن صورت می‌گیرد و سپس برای حالت بدون شمع گرمکن، بهبودهای لازم انجام می شود. راهبرد کلی تنظیم سوخت در هنگام راه‌اندازی موتور به این صورت است که گشتاور پایه راه‌اندازی موتور از جدولی که تابع دمای آب و دور موتور است، محاسبه و اعمال می‌شود.

در فرآیند پیش گرمایش، لازم است که شمع گرمکن در مدت زمان مشخصی به دمای کارکردش برسد. بسته به نوع شمع گرمکن انتخاب شده، دمای شمع گرمکن متفاوت است. مثلاً برای شمع گرمکن GLP4، دمای بیشینه حدود ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد است و این دما بوضوح از رنگ شمع قابل شناسایی است. پس از سپری شدن

زمان گرمایش، ولتاژ شمع گرمکن با کمک کلید برقی مخصوص کاهش می‌یابد تا ضمن مهار دمای آن، ولتاژ منبع تغذیه موتور نیز افت چندانی نداشته باشد. در هنگام راه اندازی موتور، ولتاژ شمع گرم کن برابر با مقدار بیشینه تنظیم می‌شود، زیرا پاشش سوخت از افشانه، دمای شمع گرمکن را خنک می‌کند.

بعد از روشن شدن موتور، مرحله پس گرمایش شمع گرم کن شروع می‌شود که دوباره ولتاژ کاهش داده می‌شود. پس‌گرمایش در کاهش مقدار هیدروکربن‌های نسوخته و نیز پایداری دور آرام مؤثر است. پس گرمایش، حدود ۳۰ ثانیه بعد از روشن شدن موتور ادامه دارد ولی اگر با قطع فرآیند پس‌گرمایش شمع گرم کن نوسان دور موتور زیاد شود، مدت زمان پس‌گرمایش افزایش داده می‌شود. با افزایش مدت زمان گرمایش شمع گرم کن، عمر این قطعه کاهش می‌یابد. بویژه اگر راننده بلافاصله بعد از راه اندازی سرد به وضعیت تمام بار برود، با افزایش دمای محفظهٔ احتراق، دمای نوک شمع گرمکن افزایش می‌یابد و مواد داخل آن آسیب می‌بینند و لازم است که زمان پس‌گرمایش کاهش یابد.

شمع گرمکن در انواع دیگری هم وجود دارد که می‌تواند با ولتاژهای کم (مثلاً ۵ ولت) کار کند و زمان پیش گرمایش بسیار کوتاهی (مثلاً حدود ۱ ثانیه) داشته باشد و البته دماسنجی که در نوک شمع قرار دارد، دمای شمع گرمکن را به صورت حلقه بسته تنظیم می‌کند.

نگاشت محدودسازی دوده

دوده معمولاً در اثر کم بودن نسبت هوا به سوخت ایجاد می‌شود. مقدار دوده در شرایط کاری مختلف باید محدود شود به طوری که بتوان مقدار کل دوده را به سطح استاندارد مورد نظر رساند. در موتورهای دیزل برای افزایش گشتاور خروجی موتور، مقدار پاشش سوخت افزایش می‌یابد. افزایش مقدار سوخت برای افزایش گشتاور خروجی موتور تا جایی ادامه می‌یابد که مقدار دوده از حد مجازش بیشتر نشود. با نگاه اول به نظر می‌رسد که محدودیت گشتاور خروجی موتور با هدف محدودسازی دوده، دربارهٔ شرایط تمام بار باشد. اما در حالت‌های گذرا که راننده اهرم گاز را رها می‌کند و دوباره آنرا فشار می‌دهد نیاز است که تزریق سوخت با مدیریت قویتری انجام شود تا مقدار دوده زیاد نشود. بنابراین با وجود اینکه در چرخه استاندارد آلایندگی اروپا شرایط کارکرد تمام بار موتور وجود ندارد، اما پایش مقدار تزریق سوخت به منظور جلوگیری از افزایش دوده در شرایط گذرا انجام می‌شود. برای این منظور، جدول محدودیت مقدار اضافه هوا به صورت دو بعدی (تابع دور و مقدار هوای موجود در محفظهٔ احتراق) در نظر گرفته شده است. این جدول به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که مقدار دوده در شرایط گذرا از حد مجاز خود بیشتر نشود.

۱۰-۶- ابزارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری عملیات نگاشت

در صنعت خودروسازی، نیاز به بهبود قابلیت رانندگی، کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و همچنین افزایش سطح امنیت خودروهای هوشمند، روز به روز افزایش می‌یابد. این نیازها به معنی بکار بردن توابع و قواعد پیچیدهٔ مهار در واحدهای پایشی و همچنین تنظیم دقیق و بهینه‌سازی این قواعد برای موتور و خودروهای مختلف است.

نرم‌افزار اینکا

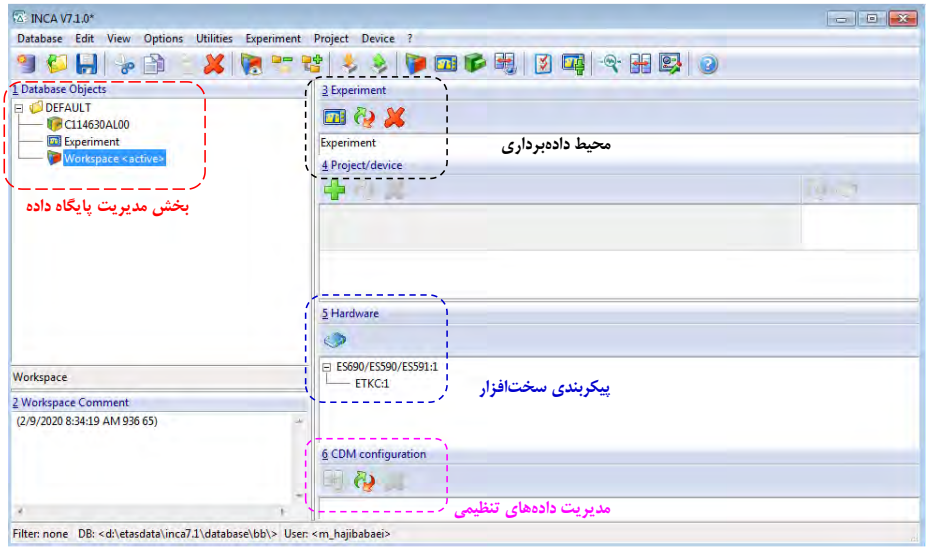
رایانهٔ موتور با استفاده از تحلیل اطلاعات حسگرها، فرمان بهینه را به عملگرها ارسال می‌کند. هدف از تنظیم رایانهٔ موتور، یافتن جداول بهینه برای ارسال فرمان مناسب به عملگرها است. برای اجرای عملیات نگاشت لازم است که متغیرهای رایانهٔ موتور در هر لحظه قابل نمایش و ذخیره باشند و ضمناً بتوان مقادیر جداول رایانهٔ موتور را به‌صورت لحظه‌ای تغییر داد. نرم‌افزار اینکا[1] (زینه‌بندی یکپارچه) یکی از رایج‌ترین نرم‌افزارها برای این منظور است. این نرم‌افزار توسط شرکت اِتاس[2] توسعه داده شده است. نرم‌افزار اینکا برای تنظیم، عیب‌یابی و اعتبارسنجی سامانه‌های برقی خودرو بسیار انعطاف‌پذیر است. شکل ۶-۹۶، بخش‌های مختلف نرم‌افزار اینکا را نشان می‌دهد.

اینکا یک سامانهٔ اندازه‌گیری تنظیمی و عیب‌یابی است که در فرآیند تنظیم واحد پایش، اندازه‌گیری و ارزیابی داده‌ها و همچنین مستندسازی نتایج تنظیم استفاده می‌شود. نرم‌افزار اینکا شامل پودمان‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است و امکان داده‌برداری جامع، پیش تنظیم طرح‌های توابع در رایانه، وارد کردن برنامهٔ رایانهٔ موتور، تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده[3]، مدیریت داده‌های تنظیمی[4] و همچنین بهینه‌سازی خودکار متغیرهای رایانهٔ موتور را برای کاربر فراهم می‌کند. نرم‌افزار اینکا همچنین قادر است با دیگر تجهیزات آزمایشگاهی (مانند نرم‌افزار پوما[5] مخصوص لگام ترمز موتور) متصل شود تا بدین وسیله امکان اجرای خودکار آزمون‌های نگاشت با امکان تغییر و ذخیره‌سازی متغیرهای رایانهٔ موتور با نرم‌افزار لگام ترمز فراهم شود. در **Error! Reference source not found.**، بخش‌های مختلف استفاده شده در نرم‌افزار اینکا توضیح داده شده است.

[1] Integrated Calibration (INCA)
[2] ETAS
[3] Measurement Data Analysis (MDA)
[4] Calibration Data Management (CDM)
[5] PUMA

جدول ۶-۴- علائم اختصاری

نام بخش	شرح	تعریف
DBM	Database Manager	مدیریت بانک داده
HWC	Hardware Configuration	پیکربندی سخت‌افزار
EXP	Experiment	محیط داده‌برداری
CDM	Calibration Data Management	مدیریت داده‌های زینه‌بندی



شکل ۶-۹۶- بخش‌های مختلف نرم‌افزار اینکا

مدیریت پایگاه داده

هدف اصلی DBM ذخیره‌سازی همه داده ها در طول فرآیند تنظیم با روش معین (Workspace، Experimentها و طرح‌ها) در یک Database و مدیریت آنها در یک سازماندهی خوب و شفاف است. اطلاعات سخت‌افزار استفاده شده برای اتصال با رایانهٔ موتور، Experiment یا همان محیط داده‌برداری و همچنین پوشه‌های برنامه رایانهٔ موتور (پوشه‌های hex و a2l) در محیط Workspace ذخیره می‌شوند.

پیکربندی سخت‌افزار

در این بخش، مدیریت و ایجاد پیکربندی سـخت‌افزار برای Workspace فعال انجام می‌شـود. به عبارت دیگر سخت‌افزار ETAS ا ستفاده شده برای ات صال با اینکا در این بخش معرفی می شود. شایان ذکر ا ست که امکان انتخاب بیش از یک سـخت‌افزار نیز وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان به صـورت همزمان ES590 (برای ات صال با رایانهٔ موتور) و LA4 (برای خوانش مقدار ا ضافه هوا) را انتخاب نمود. اهمیت این قابلیت، در داده‌برداری همزمان متغیرهای مختلف است.

محیط داده‌برداری

محیط داده‌برداری که به نام بخش Experiment شـناخته می‌شـود برای اندازه‌گیری و تنظیم متغیرها و دسته‌بندی آنها در پنجره‌های مختلف، مانند ولتاژنما[1] نمایش میله‌ای و جداول است. محیط داده‌برداری می‌تواند در ابتدا به صـورت کاملاً خام باشـد یعنی شـامل هیچ یک از متغیرها، جداول، نمودارها و . . . نباشـد و یا می‌توان از محیط داده‌برداری که قبلاً آماده شده فراخوانی و استفاده نمود.

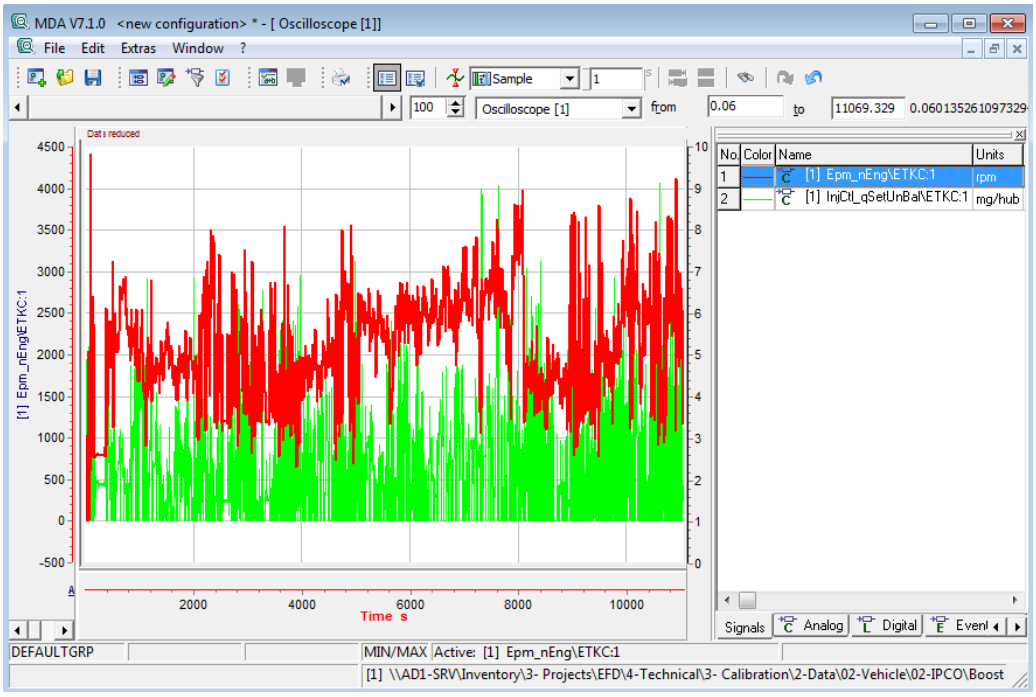
مدیریت داده‌های تنظیمی

برای مدیریت اطلاعات تنظیمی از این پودمان استفاده می‌شود. در انتهای تنظیم هر مجموعه تنظیمی (مثلاً تنظیم شبیه سازی مسیر ورودی هوا) که شامل یک یا چند تابع ا ست، مجموعه متغیرهای تنظیم شده به صورت یک پوشـهٔ dcm. تهیه شـده و در اختیار مدیر تنظیم قرار می‌گیرد. بدیهی اسـت که هر پوشـه پس از آزمون‌های متعدد و گزارش‌های آن از صـحه‌گذاری تنظیم مناسـب، تهیه خواهد شـد. مدیر تنظیم هر طرح بعد از بررسـی گزارش‌های ارائه شده، تصمیم به انتشار پوشهٔ dcm. و یا اصلاح آن خواهد گرفت. در حالت استاندارد یک پوشهٔ hex. نهایی بر اساس یک پوشهٔ hex. اولیه و تعداد زیادی از پوشه‌های dcm. (که در طی فرایند تنظیم و به دست کارشناسان مختلف تهیه شده‌اند)، تولید می‌شود و در اختیار مشتری قرار خواهد گرفت.

[1] Oscilloscope

نرم‌افزار مدا

نرم افزار مدا[1] (MDA) یک ابزار برون خط[2] برای نمایش و تحلیل داده‌های ذخیره شـــده با پســـوند dat. است. در این نرم‌افزار می‌توان داده‌ها را به صورت اسیلوسکوپ، داده‌های آماری، مقدارهای عددی و جداول نشان داد. می‌توان بعد از ساختن یک MDA پیکربندی آنرا در قالب xda. ذخیره کرد و دوباره فراخوانی نمود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۹۷- مدیریت داده‌های تنظیمی

[1] Measure Data Analyzer (MDA)
[2] Offline

۱۱-٦- عیب‌یابی

یکی از فعالیت‌های مهم در فرآیند نگاشت موتور، ارزیابی و تأیید عملکرد رایانهٔ موتور از نظر عیب‌یابی[1] است. عیب‌یابی به دو دستهٔ خطاهای برقی[2] و خطاهای نامعقول[3] تقسیم می‌شود. خطاهای برقی برای حسگرها و عملگرها که از طریق دسته سیم به رایانهٔ موتور اتصال دارند، تعریف می‌شود. خطاهای نامعقول هم به حسگرها و هم به برخی متغیرها برمی‌گردند. خطاهای نامعقول حسگرها مانند زمانی که ولتاژ حسگر در بازهٔ مجاز قرار دارد ولی سخت‌افزار عیب‌یابی عدد معقولی را نشان نمی‌دهد. خطاهای نامعقول برخی متغیرها مانند فشار پرخوران که می‌تواند منشائی غیر از حسگر یا عملگر داشته باشد مثلاً در صورت بروز نشتی هوا از لوله‌های هوا، فشار پرخوران با فشار درخواستی از رایانهٔ موتور برابر نیست و خطا ثبت می‌شود.

پس از بروز خطا، برای اطمینان از عدم عملکرد صحیح موتور، باید به راننده هشدارهای لازم داده شود که معمولاً این هشدارها از طریق چراغ عیب[4] به راننده می‌رسد. خطاهایی که در موتور به وجود می‌آیند از نظر اهمیت در دسته‌های مختلفی قرار می‌گیرند. دسته خطا در اصل مبین راهبرد روشن شدن و خاموش شدن چراغ عیب پس از بروز و ثبت خطا در حافظهٔ رایانهٔ موتور است.

راهبرد مدیریت چراغ عیب

بر حسب دستهٔ خطا، این حالات می‌تواند برای روشن و خاموش شدن چراغ عیب رخ دهد:

۱. خطا در حافظه ثبت می‌شود ولی موجب روشن شدن چراغ عیب نمی شود (خطای ثبت شده صرفاً با دستگاه عیب‌یاب قابل نمایش است). مثال این نوع دسته، خطای بیشینه دور موتور است.

۲. چراغ عیب پس از گذشت زمان مشخصی از ثبت خطا روشن می‌شود. این دسته بیشتر برای خطاهایی است که اثر مستقیم روی آلایندگی و ایمنی موتور دارند مثل خطای افشانه‌ها.

۳. چراغ عیب تابع زمان نیست بلکه در صورت تکرار خطا در چرخه‌های بعدی رانندگی روشن می‌شود. تعداد چرخه‌های رانندگی را مطابق استاندارد می‌توان ۲ یا ۳ چرخه در نظر گرفت که برای موتور فعلی ۲ چرخه در نظر گرفته شده است.

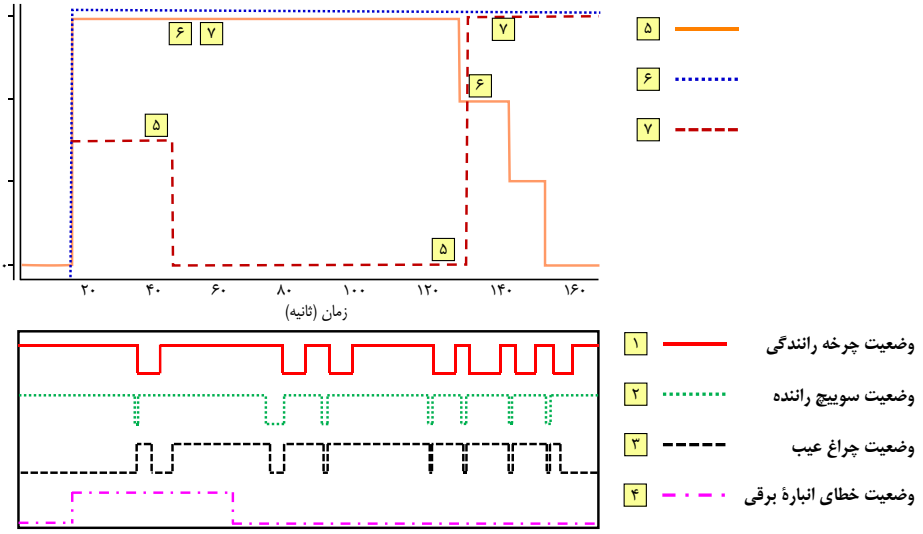
۴. فرآیند خاموش شدن چراغ عیب نیز مشابه موارد قبلی است و پس از رفع عیب[5] صورت می‌گیرد.

---

[1] Diagnosis
[2] Electrical fault
[3] No plausibility
[4] MIL lamp/Check engine
[5] Healing

۵. پاک کردن خطا از حافظهٔ رایانهٔ موتور به کمک دستگاه عیب‌یاب انجام می‌شود. البته مطابق همان دستهٔ خطا، راهبردی در رایانهٔ موتور در نظر گرفته شده که اجازه می‌دهد پس از تعداد مشخصی چرخهٔ گرمایش موتور[1] (معمولاً ۴۰ چرخه)، خطا از حافظه پاک شود.

در **Error! Reference source not found.**، نمونه‌ای از خطای ایجاد شده در دسته ۳ ارائه شده است. در این دسته، پس از دو چرخهٔ رانندگی از ایجاد خطا، چراغ عیب روشن می‌شود. همچنین پس از ۳ چرخهٔ رانندگی از رفع خطا، چراغ عیب خاموش می‌شود.

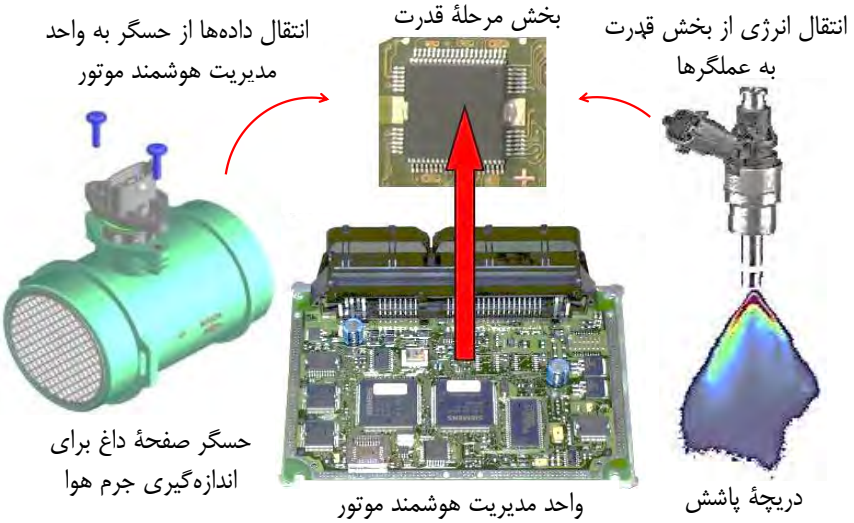


شکل ۶-۹۸- یک نمونه فرایند روش و خاموش شدن چراغ عیب با دسته خطای ۳

خطای برقی

عملکرد رایانهٔ موتور به این صورت است که حسگر، علامت را به رایانهٔ موتور ارسال می‌کند، ریزپردازندهٔ رایانهٔ موتور علامت دریافتی را تحلیل می‌نماید و انرژی لازم را از طریق اعمال ولتاژ روی عملگر تأمین می‌کند. در صورت عملکرد نادرست عملگرها، آلایندگی و حتی ایمنی موتور تحت تأثیر قرار می‌گیرد. لذا عیب‌یابی این عملگرها باید بدرستی انجام شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد.

[1] Warm up cycle



شکل ۶-۹۹- عملکرد رایانهٔ موتور

با توجه به منشاء بروز خطا، چهار نوع خطا برای هر عیب می‌تواند رخ دهد:

۱. خطای بیشینه: در اثر اتصال سیم علامت به سیم تغذیه رخ می‌دهد. در حسگرها، این خطا در صورت قطعی علامت نیز ظاهر می‌شود. در این حالت، ولتاژ ارسالی از حسگر از حد مجاز بیشینه، بیشتر است.

۲. خطای کمینه: در اثر اتصال سیم علامت به زمین این نوع خطا رخ می‌دهد. در این حالت، ولتاژ ارسالی از حسگر از حد کمینه، کمتر است.

۳. خطای علامت: بیشتر در عملگرها این نوع خطا در اثر قطعی علامت رخ می‌دهد.

۴. خطای نامعقول بودن: ولتاژ در بازهٔ مجاز قرار دارد اما مقدار آن درست نیست. عموماً منشاء این خطا، عملکرد نامناسب خود حسگر است.

خطای نامعقول بودن

علاوه بر خطای برقی حسگرها، خطای نامعقول بودن حسگرها نیز برای اغلب حسگرهای در نگاشت موتور انجام شده است. هدف از این عیب‌یابی، حصول اطمینان از عملکرد درست حسگرها و متعاقب آن عملکرد مناسب موتور است. برخلاف خطاهای برقی، خطای نامعقول بودن در یک فرآیند مشخص و تحت شرایط خاصی انجام

می‌شود که وظیفه اصلی کارشناس نگاشت، تعیین و تنظیم درست این شرایط است. چنانکه عدم دقت در تعیین شرایط عیب‌یابی، سبب تشخیص غلط یا عدم تشخیص خطا شود، مشکلات بعدی را به همراه خواهد داشت. حسگرهایی که این نوع عیب‌یابی برای آنها انجام شده عبارتند از:

- اهرم گاز (مقدار خوانده شده از دو مقاومت متغیر[1] همخوانی ندارد)
- کلید ترمز (علامت‌های ارسالی از دو گام کلید با هم برابر نیستند)
- عدم تشخیص یا تشخیص غلط دندانهٔ افتاده روی چرخ هدف. این مشکل می‌تواند در اثر زمان‌بندی غلط یا ایجاد مانع روی چرخ هدف و یا حسگر دور موتور و یا ساخت نامناسب چرخ هدف/ چرخ طیار رخ دهد.
- پایش دریچهٔ هوا (به علت وجود مانعی در مسیر دریچهٔ هوا، خرابی موتور یا فنر دریچهٔ هوا)
- حسگر اکسیژن (اتصال سیم به سیم روی حسگر)
- حسگر دور موتور (قطع و وصل شدن علامت حسگر)
- حسگر میل‌بادامک (قطع و وصل شدن علامت حسگر)
- عدم تطبیق میل‌لنگ و میل‌بادامک (در اثر زمان‌بندی نادرست یا نصب نامناسب نشانگر روی چرخ لنگر)
- فشار چندراههٔ هوا (خرابی حسگر یا خوردگی پایهٔ حسگر)
- سامانهٔ سوخت‌رسانی (مقادیر تصحیحی[2] از حد مجاز کمتر یا بیشتر شده است)
- فشار پرخورانی (در اثر نشتی هوا یا خرابی عملگر یا نشتی در مسیر گازهای خروجی و ... فشار پرخورانی واقعی با فشار مطلوب اختلاف دارد)
- حسگر دمای آب (اختلاف مقدار بیشینه و کمینه دما در یک چرخهٔ رانندگی با مقدار مجاز تفاوت دارد).
- منبع تغذیه (ولتاژ منبع تغذیه کمتر از ۲٫۵ ولت خوانده شده است).
- حسگر سرعت خودرو (به علت نصب جعبه دندهٔ نامناسب)

فرآیند عیب‌یابی

مشاهده می‌شود که تعداد خطاهای قابل تشخیص در رایانهٔ موتور زیاد است و اطمینان از عملکرد صحیح رایانهٔ موتور در قبال هر عیب، نیاز به فرآیند طولانی همراه با دقت نگاشت دارد که این امر برای موتور جاری انجام شده است. در اصل فرآیند عیب‌یابی شامل دو مرحله نگاشت و تنظیم متغیرهای وابسته و مرحلهٔ ارزیابی می‌شود. در مرحلهٔ ارزیابی هدف، بررسی عملکرد درست چراغ عیب است. برای ارزیابی از دو روش استفاده می‌شود: در صورتی که امکان فراهم شدن عینی خطا وجود دارد؛ (مانند قطعی علامت، اتصال کوتاه علامت به زمین و یا تغذیه)

[1] *Potentiometer*
[2] Adaptation values

سعی شده خطا در این شرایط ایجاد شود که به حالت واقعی نزدیک‌تر باشد. برای این کار از یک مبدل واسط[1] سر راه دسته سیم، مابین رایانهٔ موتور و حسگرها و عملگرها استفاده شده است. این مجموعه بین دسته سیم و رایانهٔ موتور قرار می‌گیرد و براحتی به وسیلهٔ کلیدهای تعبیه شده در آن، امکان قطع علامت یا اتصال آن به زمین یا تغذیه فراهم می‌شود. **Error! Reference source not found.** را نشان می‌دهد. این مبدل واسط در شرکت ایپکو ساخته شده است.

شکل ۶-۱۰۰- مبدل واسط رایانهٔ موتور برای عیب‌یابی

روش دوم ایجاد خطا، تغییرات تنظیمی در رایانهٔ موتور (مانند تغییر در آستانه‌های ایجاد خطا) است که در شرایطی که ایجاد عینی خطا مستلزم مدت زمان طولانی و یا غیر ایمن باشد؛ استفاده می‌شود.

پاک شدن خطا

علاوه بر دو روش مطرح شده برای پاک شدن خطاها از حافظه رایانهٔ موتور (استفاده از دستگاه عیب‌یاب و سپری شدن ۴۰ چرخه گرمایش موتور)، قطع برق رایانهٔ موتور (با برداشتن سرمنبع تغذیه یا جداکردن کلید قطع کن اصلی[2]) نیز موجب پاک شدن خطا می‌شود (توضیح اینکه رایانهٔ موتور تا زمان مشخصی پس از خاموشی موتور (در این موتور ۵۰۰ ثانیه)، به منظور انجام دادن برخی محاسبات، فعال است). البته در این حالت علاوه بر خطاها، مقادیر تطبیقی متغیرهای تنظیمی که در حافظهٔ موقت رایانهٔ موتور ثبت شده اند نیز، از بین می‌روند. توضیح اینکه مقادیر تطبیقی در طول زمان و در شرایط رانندگی مختلف رشد می‌کنند و در اصل مقادیر اصلاحی تنظیمی اند. پاک شدن این مقادیر تطبیقی، به معنی اعمال بیشتر راهبردهای تنظیمی است که این امر نیاز به زمان و فرصت کافی دارد. این بدان معنی است که پس از پاک شدن مقادیر تطبیقی، درچرخهٔ رانندگی بعد ممکن است در شرایطی، رانندگی

[1] Breakout box
[2] Double relay

مطلوبی وجود نداشته باشد. لذا استفاده از روش یاد شده برای پاک کردن خطاها به هیچ وجه توصیه نمی‌شود و باید دقت شود که جز در موارد خیلی ضروری (به تشخیص کارشناس)، انجام نشود.

راهبرد قطع برق رایانهٔ موتور به این صورت است که اگر کلید راننده روشن باشد یا مدت مشخصی (۵۰۰ ثانیه) از خاموشی موتور نگذشته باشد، قطع برق آن سبب پاک شدن خطاها و مقادیر تطبیقی می‌شود. اما قطع برق رایانهٔ موتور، پس از زمان مشخص فوق، مشکلی ایجاد نمی کند. لذا توصیه اکید می‌شود که هنگام مراجعه به تعمیرگاه، در صورت نیاز به قطع برق (جداکردن منبع تغذیه یا کلید قطع کن اصلی)، به مدت حداقل ۵۰۰ ثانیه موتور خاموش و پس از آن اقدام شود.

نکته مهم اینکه در صورت قطع برق رایانهٔ موتور، باید یکبار کلید راننده روشن و خاموش شود تا رایانهٔ موتور از حالت قطع برق[1]، خارج شود. در غیر این صورت، در خاموش شدن بعدی موتور باز هم خطاها (در صورت وجود) و مقادیر تطبیقی پاک خواهند شد.

عیوب رایج در موتور دیزل

در این قسمت سعی بر این است که مشکلات عمده به وجود امده در موتور دیزل و دلایل ایجاد آنها به صورت اجمالی بیان شود. در بسیاری از این موارد برای عیب‌یابی قطعه معیوب می‌توان از آزمون حسگرها و عملگرهای تعبیه شده در عیب‌یاب خودرو استفاده نمود.

تراکم ضعیف موتور

تراکم ضعیف موتور باعث می‌شود که گرمای کافی برای احتراق سوخت به وجود نیاید و باعث راه اندازی سخت موتور می‌شود. برای ارزیابی تراکم ضعیف، یک آزمون موتور سرد انجام می‌شود که در این آزمون باید فشار تراکم بین ۲۸۰ تا ۳۲۰ (پوند در اینچ مربع) باشد.

فشار ضعیف سوخت

این مشکل ممکن است هم ناشی از عدم تأمین سوخت به لولهٔ سوخت یا افشانه باشد و هم می‌تواند به دلیل عدم حفظ فشار سوخت در لولهٔ سوخت یا افشانه‌ها به وجود آید. از تلمبهٔ برقی فشار ضعیف در مخزن سوخت برای تأمین سوخت به تلمبهٔ فشار قوی استفاده می‌شود. مقدار فشار سوخت خروجی از تلمبهٔ فشار ضعیف باید حدود ۴ بار باشد. وجود مشکلاتی نظیر گرفتگی لوله‌های سوخت یا صافی سوخت، نشتی در لولهٔ سوخت و یا ضعیف شدن تلمبهٔ

[1] Power fail

فشار ضعیف، وجود هوا در لولهٔ سوخت و . . . می‌تواند موجب افت فشار سوخت مورد نیاز برای تلمبهٔ فشار قوی شود. در ادامه تلمبهٔ فشار قوی، فشار سوخت را تا ۱۶۰۰ بار برای لولهٔ سوخت ایجاد می‌کند. درنهایت باید این فشار قوی در لولهٔ سوخت و افشانه‌ها حفظ شود.

دور موتور کُند به هنگام آغاز

اگر دور موتور در هنگام آغاز موتور خیلی کُند باشد، تلمبه نمی تواند فشار کافی سوخت را برای شروع تزریق ایجاد کند که این موضوع باعث بروز مشکل می‌شود. این مشکل معمولاً بیشتر در ماه‌های سرد سال دیده می‌شود بخصوص اگر منبع تغذیه ضعیف باشد. لذا باید ولتاژ منبع تغذیه در آغاز، به کمتر از ۸ ولت افت نکند. در موارد معدودی، عدم خوانش نامناسب دور موتور به کمک حسگر آن، می‌تواند باعث عدم آغاز و یا طولانی شدن زمان آغاز خودرو شود.

خرابی شمع گرمکن یا کلید برقی آن

برای کمک به فرایند احتراق موتور دیزل بویژه در شرایط هوایی سرد، از شمع گرمکن استفاده می‌شود. وجود مشکل در شمع گرمکن موجب بروز مشکلاتی در هنگام راه‌اندازی موتور دیزل یا کارکرد نامناسب آن هنگام سرد بودن موتور می‌شود.

کیفیت ضعیف سوخت

سوخت دیزل با کیفیت مناسب، عمر تجهیزات تزریق سوخت را طولانی تر می‌کند. کیفیت سوخت ضعیف و در نتیجه، خوردگی دلیل عمدهٔ خرابی افشانه است.

خرابی افشانه تزریق سوخت

عموماً بیشترین خرابی افشانه به این دلیل است که افشانه‌ها دارای جریان برگشتی بیش از حد یا نشتی باشند. این به دلیل قطعات فرسوده‌ای است که باعث می‌شود سوخت بیش از حد از مسیر برگشت افشانه عبور کند و به سمت مخزن باز گردد. در نتیجه فشار لولهٔ سوخت کاهش می‌یابد و تزریق سوخت را دچار مشکل می‌کند. یکی دیگر از مشکلات ناشی از قطعات داخلی فرسودهٔ افشانه، تأخیر در شروع تزریق است که منجر به کاهش نرمی کارکرد موتور به خصوص در دورهای کُند می‌شود.

خرابی تلمبهٔ فشار قوی

اگر تلمبهٔ فشار قوی معیوب باشد، فشار سوخت ضعیف خواهد شد. اگر قطعات داخلی تلمبه خراب شود، باعث می‌شود که ذرات ساییده شده به سامانهٔ سوخت‌رسانی وارد شوند. به طور معمول، این امر باعث ایجاد آسیب به افشانه‌های دیزل می‌شود. معمولاً در اعمال زمان‌بندی درست تلمبهٔ فشار قوی به میل بادامک مشکلی وجود ندارد ولی در موارد معدودی که این مشکل وجود داشته است، افت لحظه‌ای فشار سوخت به خصوص در حالت‌های پُربار موتور به وجود خواهد آمد که باعث ایجاد خطا در رایانهٔ موتور و روشن شدن چراغ پایش خواهد شد.

موتور دیزل دارای یک شیر تنظیم‌کننده فشار است که بر روی تلمبهٔ فشار قوی قرار دارد و یک حسگر فشار نیز روی لولهٔ سوخت نصب شده است. وجود مشکل در هر یک از این موارد باعث عدم تزریق سوخت از افشانه‌ها خواهد شد. به طور کلی، بیشترین خرابی در سامانهٔ فشار قویی سوخت به شیر تنظیم فشار سوخت برمی‌گردد که در ورودی تلمبهٔ فشار قوی قرار دارد و خرابی آن سبب افت فشار سوخت، عدم تزریق سوخت و خاموش شدن موتور می‌شود. کیفیت نامناسب سوخت، دلیل اصلی عملکرد ضعیف شیر تنظیم‌کنندهٔ فشار سوخت است.

مشکل کمبود هوا

کاهش هوای ورودی به موتور به صورت عمده ناشی از وجود نشتی در مسیر هوا و یا گرفتگی صافی هواست که در نتیجه باعث کاهش قدرت موتور و تولید دود زیاد می‌شود. همچنین، یک حسگر جریان در ورودی هوا نیز قرار دارد که خوانش نامناسب هوا در آن باعث بروز مشکل خواهد شد. علاوه بر این وجود مشکل در دریچهٔ هوا نیز می‌تواند سبب بسته شدن ورودی موتور و عدم روشن شدن آن شود.

مشکل پرخوران

در صورت جمع شدن کربن نسوخته بر روی پره‌های پرخوران هندسه متغیر، علائمی نظیر کاهش توان، کاهش شتاب و افزایش دود خروجی از موتور ایجاد شود. همچنین استفاده نامناسب به هنگام سرد بودن موتور و یا عدم تعویض به موقع روغن، موجب گیر کردن پره‌ها و بروز مشکل می‌شود. علاوه بر موارد یاد شده، وجود نشتی در مسیر خلاء پرخوران و یا خرابی شیر برقی خلاء نیز موجب عدم کارکرد پرخوران و کاهش توان موتور خواهد شد.

مشکل بازخورانی دود

پودمان بازخورانی دود (بازیافت گازهای خروجی) با برگرداندن مقداری از گازهای خروجی به داخل چندراههٔ هوا، باعث کاهش سطح آلایندگی اکسیدهای ازت در حین فرایند احتراق در موتور می‌شود که برای گذراندن

استانداردهای آلایندگی سختگیرانه‌تر مورد نیاز است. مشکل عمده‌ای که در پودمان بازخورانی دود به وجود می‌آید، گیر کردن دریچهٔ آن است. در بسیاری از مواقع، این مشکل به دلیل ضعیف شدن موتور DC در این پودمان است. همچنین عبور گاز خیلی داغ و وجود دودهٔ زیاد در گازهای خروجی از موتور نیز می‌تواند موجب گیر کردن دریچهٔ بازخورانی دود شود که باعث احتراق نامناسب در موتور و کاهش عملکرد آن می‌شود.

عیب‌یابی از طریق رنگ دود خروجی از موتور

به طور کلی می‌توان با کمک رنگ دود خروجی از موتور نیز، فرایند عیب‌یابی را دنبال نمود: دود سیاه، دود سفید و دود آبی

دود سیاه

این امر به دلیل عدم تناسب مقدار هوا به سوخت در داخل موتور است. یا سامانهٔ سوخت‌رسانی، سوخت زیادی را به موتور تزریق می‌کند و یا هوای کافی به موتور نمی‌رسد. برخی از عیوب احتمالی عبارتند از:

- افشانه‌های معیوب (باز بودن بیش از حد)
- خرابی تلمبهٔ فشار قوی (ایجاد فشار سوخت بیش از حد)
- گرفتگی صافی هوا و یا نشتی در مسیر هوا
- پرخوران معیوب
- گیرکردن دریچهٔ بازخورانی دود یا دریچهٔ هوا

دود سفید

به طور معمول بدان معنی است که سوخت تزریق شده در استوانه بدرستی نمی‌سوزد.

- زمان‌بندی نامناسب موتور
- زمان‌بندی نامناسب تلمبهٔ فشار قوی
- افشانه‌های معیوب (زمان‌بندی نامناسب تزریق سوخت)
- تراکم ضعیف موتور
- وجود آب و یا بنزین در سوخت

دود آبی

ناشی از راهیابی روغن به داخل موتور است که عموماً به دلیل مشکلات مکانیکی بستار و یا داخل استوانه موتور ایجاد می‌شود.

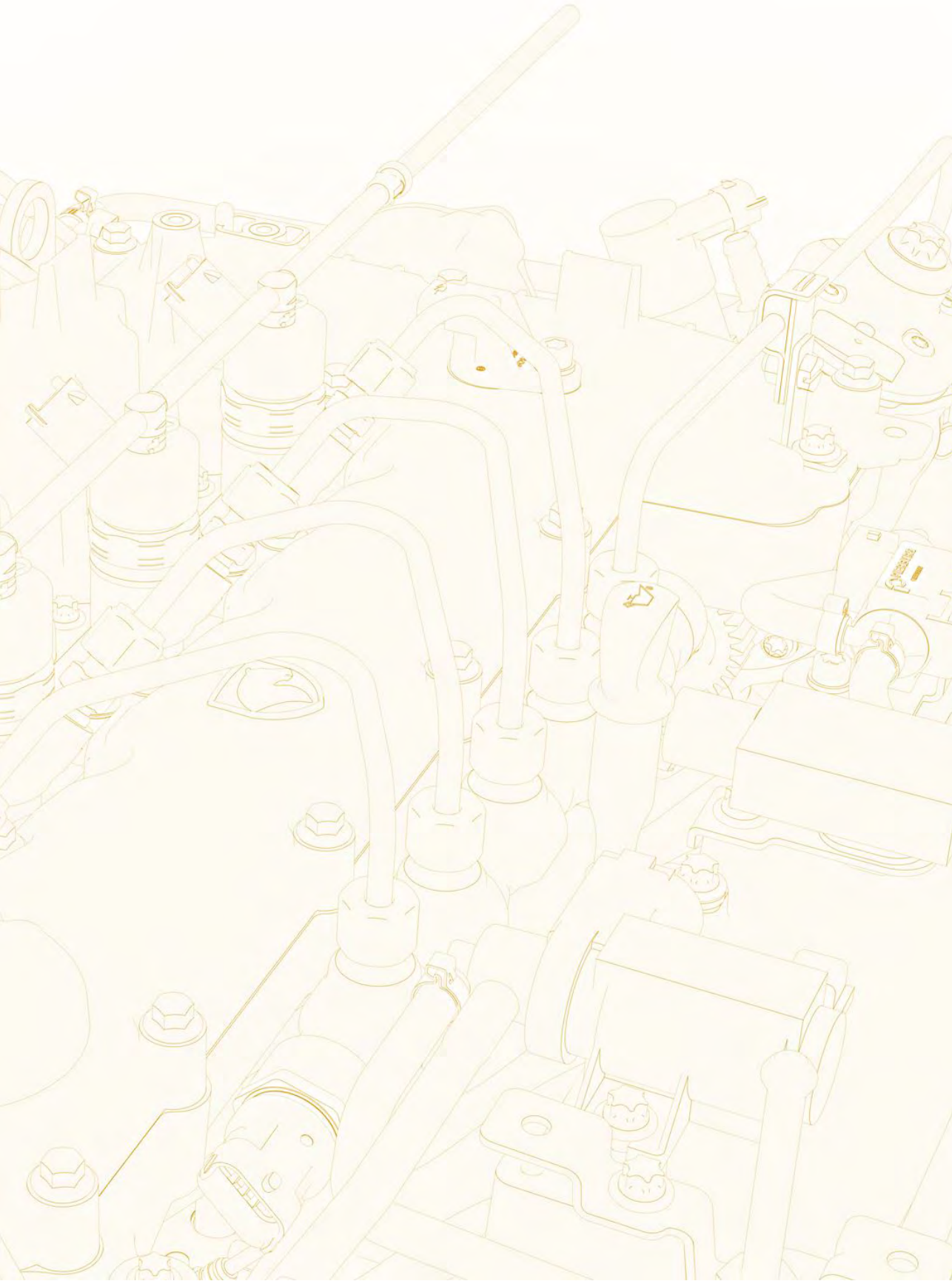
عیب‌یابی از طریق دستگاه عیب‌یاب

به منظور عیب‌یابی سریع موتور دیزل، می‌توان از طریق تعریف آزمون‌های مختلف در دستگاه عیب‌یاب، عملکرد حسگرها و عملگرهای مختلف را ارزیابی کرد. آزمون‌های عملکرد عملگرهای مختلف عبارتند از:

- آزمون پاشش افشانه
- آزمون علامت تنجار خنک‌کن
- آزمون عملگر فشار تراکم پرخوران
- آزمون عملگر شیر برقی تلمبهٔ فشار قوی
- آزمون عملگر شمع گرمکن
- آزمون عملگر دریچهٔ گاز
- آزمون عملگردریچهٔ بازخورانی دود
- آزمون عملگر خنک‌کن بازخورانی دود
- آزمون عملگر پنکه
- آزمون بررسی فشار لولهٔ سوخت
- آزمون بررسی وضعیت تراکم استوانه

علاوه بر آزمون عملگرهای مختلف موتور، علامت‌های مختلف را نیز می‌توان با استفاده از آزمون وابسته بررسی کرد:

- آزمون تلمبهٔ فشار ضعیف
- آزمون قطع سوخت استوانه
- آزمون کلید برقی راه‌اندازی
- آزمون کلید برقی دریچهٔ گازهای خروجی
- آزمون صافی سوخت
- آزمون شمع گرمکن محفظهٔ احتراق
- آزمون نمایشگر مقدار سوخت
- آزمون نمایشگر دمای آب موتور
- آزمون چراغ وجود آب در سوخت
- آزمون چراغ شمع گرمکن
- آزمون چراغ هشدار
- آزمون چراغ دریچهٔ گازهای خروجی
- آزمون چراغ مهار سرعت
- آزمون چراغ تعمیرات



فصل هفتم

فرآیند انتخاب سازندگان و تأمین قطعات

۱-۷- پیشگفتار

یکی از مهمترین کارهای فرآیند توسعهٔ محصول، مدیریت زنجیرهٔ تأمین است. این کار بر کیفیت اجرای طرح و کیفیت نهائی محصول آثار بسیار مهمی می‌گذارد. تجربهٔ طرح موتور ملی دوگانه سوخت و سایر طرح‌های اجرا شده نشان می‌دهد همواره بیشترین دیرکردها در اجرای طرح‌های توسعهٔ محصول، ناشی از فعالیت‌های مدیریت زنجیرهٔ تأمین بوده است. این دیرکردها به طور کلی دو سرچشمه دارند:

- ناتوانی سازندگان داخلی برای همکاری در توسعهٔ محصول جدید و تأمین قطعات با کیفیت
- مدیریت نادرست و نبود مهندسی همزمان در اجرای فعالیت‌های طراحی و تأمین

پیامدهای تجربه شده و قابل پیش‌بینی ناشی از دو سرچشمهٔ یاد شده، بدین شرح اند:

- دیرکرد در تحویل قطعات نمونه و تولید انبوه
- عدم رعایت نیازمندی‌های تولید در طراحی
- چندباره کاری برای صحه‌گذاری
- آشکار شدن ناهماهنگی‌ها و رها کردن همکاری با سازندگان قطعات و حتی شرکت‌های مشاور

انگیزهٔ گروه تأمین، تجزیهٔ مشکلات بود و نمی‌خواست مشکلات طراحی و مشکلات ساخت داخل بر هم افزوده شود. لذا در جایی که هیچ تجربهٔ مناسبی نبود، برای انتقال دانش فنی ساخت، سعی شد قطعه‌ساز باتجربه و

مطمئنی انتخاب و دست سازندهٔ داخلی در دست او گذاشته شود؛ وگرنه احتمال داشت برخی از نواقص ساخت داخل، به حساب طراحی قطعه گذاشته شود و در نتیجه‌گیری کج اندیشی پدید آید.

همکاری نزدیک گروه تأمین و طراحی که منجر به پیوند مؤثر سازنده و گروه طراحی می‌شود، از وقوع بسیاری از این مشکلات پیشگیری می‌کند و از تباه کردن زمان و هزینه پیشگیری می‌کند. پیامد این همکاری، چشم‌پوشی نکردن از خواسته‌های کیفی و کاهش دشواری‌های طرح است. در مقابل، نبود پیوند ممکن است نتایجی را چون کیفیت نامناسب قطعات، ضعف در تولیدپذیری محصول، ضعف در قابلیت تعمیر[1] و گرانی هزینهٔ نگهداری و تعمیر خودرو[2]، در پی داشته باشد.

فرآیند تأمین در طرح‌های مختلف به فراخور شرایط، فرضیه‌ها و بایدهای طرح، نیازمند دگرگونی و بهبود است. بنابراین گروه تأمین، همواره باید بهنگام باشد و بسترهای لازم را برای این کار فراهم کند.

در فرایند تأمین قطعات، اگرچه ممکن است در نخستین مراحل، ساخت برخی قطعات به سازندگان خارجی سپرده شود اما ساخت داخل اولویت دارد. لذا بسیاری از فعالیت‌های گروه تأمین قطعات در این راستا است. در ادامه برخی از این فعالیت‌ها شرح داده‌می‌شوند:

۲-۷- داخلی‌سازی و تأمین قطعات

در دههٔ گذشته وزارت صنایع همواره برای تولیدکنندگان خودرو، سیاست داخلی سازی قطعات را در دستور کار قرار داده است. به همین سبب در صنعت قطعه‌سازی بخش‌های طراحی مهندسی، ساخت و تأمین قطعات خودرو با هدف خودکفایی کارخانه‌ها هرچه بیشتر از قبل پا به صحنه رقابت گذاشته اند. این امر سبب شد که سرمایه‌گذاران بخش خصوصی در داخل کشور، کارگاه‌ها و کارخانه‌ها، توجه ویژه‌ای به این برنامه نشان دهند و با ایجاد خطوط تولید جدید و نوآوری به عمل آمده، باعث ظهور تولید انبوه قطعات خودرو در ایران شوند.

با پیشینهٔ بیان شده، ساخت قطعات خودروها در کشور، بیشتر به مشابه‌سازی و مهندسی معکوس از قطعات از پیش طراحی و تولید شدهٔ سازندگان خارجی معطوف شد. البته نباید فراموش کرد که این بستر با زحمات و تلاش صنعتگران ایرانی برای کسب اطلاعات فنی و مهندسی و پایش کیفیت، بازرسی، افزایش ظرفیت تولید و بهره‌وری آن، آماده شد.

در آغاز پس از پشت سرگذاشتن موفقیت‌های چشمگیر، برای ساخت قطعات خودروسازان مشهور خارجی در ایران و با پشت‌گرمی به تجربهٔ صنعتگران کشور، با هدف طراحی نو و ساخت نخستین موتور پایه گاز سوز سواری،

[1] Reparability
[2] Ownership cost

اولین موتور از خانواده موتور ملی، از همکاری تنگاتنگ سازندگان داخلی بهره گرفته شد و آنان، در این افتخار ملی سهیم شدند. پس از به ثمر نشستن طرح موتور ملی دوگانه سوخت، دومین موتور از این خانواده یعنی موتور ملی دیزل سواری، با هدف توسعهٔ خانواده موتور ملی و بومی‌سازی و تولید موتور دیزل سواری اجرا شد.

۳-۷- انتخاب سازندگان

در این بخش، فرایند انتخاب سازندگان و موضوع‌های این حوزه شرح داده می‌شود. برای انتخاب صحیح سازندگان لازم است تا در آغاز، قطعه‌های مختلف تقسیم‌بندی شوند تا از لحاظ نوع و روش ساخت و مواد بکار رفته در آنها، بهتر بتوان نتیجه‌گیری کرد.

٤-۷- تقسیم‌بندی قطعات

قطعات خام از لحاظ تنوع تولید به قطعات ریخته‌گری چدن، ریخته‌گری آلومینیوم، ریخته‌گری فشاری، ثقلی و در محیط خلأ تقسیم شدند.

همچنین گروه‌های قطعات نهایی عبارتند از:

- قطعات بسپار[1]: شامل لاستیک، پلاستیک، تزئینات و لایی‌ها (درزبندها)
- مجموعه‌های ویژه شامل سامانهٔ زمانبندی متغیر پیوسته (زبمپ)، پودمان روغن و دیگر مجموعه‌ها
- قطعات فلزی ضربی شامل ورق‌های فلزی گردگیر، نگهدارنده‌ها و دیگر قطعات فلزی
- قطعات تراشکاری شامل محورها، خارها، اتصالات و تراشکاری قطعات خام ریخته شده
- قطعات استانده و پیچ و مهره‌ها
- قطعات برقی و سامانهٔ موتور مانند حسگرها و عملگرها

پس از کارشناسی و بررسی، انتخاب سازندگان هر قطعه انجام شد و پس از تأیید مدیران طرح، از سازنده برای حضور در امور تکوین و ساخت داخل طرح دعوت شد. این دعوت نامه را شرکت طراحی مهندسی و تأمین با توافق مدیریت طرح، کتباً به سازنده ارسال کرد.

[1] Polymer

۵-۷- ارزیابی سازندگان

در آغاز طرح و پس از آماده شدن طرح اولیهٔ موتور ملی دیزل و بر مبنای فهرست مواد طرح موتور، گروه‌هایی شامل طراحان، مشاوران و نمایندگان شرکت طراحی مهندسی و تأمین، تشکیل شد. با توجه به سوابق قبلی در تأمین قطعات و اطلاع از ظرفیت‌های موجود در خطوط تولیدی، بخش‌های قطعه‌سازی کشور و توانمندی سرمایه گذاران شناسایی شد.

در مرحلهٔ نخست پس از انتخاب سازنده، گروه کارشناسان متشکل از طراحان قطعهٔ مورد نظر، مشاوران و نمایندهٔ تأمین در شرکت سازنده، حاضر شدند و ضمن برآورد ظرفیت خالی، امکان سنجی و دقت دستگاه‌ها، نوع و فرآیند تولید قطعه، به سازنده معرفی شدند. پس از معرفی، در صورت تأیید گروه کارشناسی و عقد تعهدنامهٔ رازداری، مشخصات اولیهٔ طرح به سازنده ارائه شد.

٦-۷- اعلام رسمی همکاری و بازخوردهای سازندگان

پس از بازبینی اطلاعات داده شده به سازنده، او پاسخ رسمی خود را دربارهٔ همکاری و برداشتن گام‌های بعدی، در نامه‌ای به اعضای طرح اعلام کرد. در طول فرآیند طراحی مفهومی، سازندگان پنج قطعهٔ اصلی، بازخوردهای اولیهٔ خود را مبنی بر تأیید کلیات طرح یا احیاناً پیشنهاد تصحیح ارائه کردند.

از مرحلهٔ طراحی تشریحی و بویژه در مرحلهٔ طراحی جزئیات سازندگان کلیهٔ قطعات، مرحله به مرحله با گروه طراحی موتور در تعامل بودند و پیوسته دیدگاه‌های خود را در راستای امکان‌سنجی ساخت راحت‌تر و ارزان‌تر با توجه به امکانات ساخت خود به آ نها اعلام کردند. البته گروه طراحی با در نظر گرفتن مجموعهٔ دیگر محدودیت‌ها و اهداف در نظر گرفته شده برای موتور، لزوماً همهٔ بازخوردهای سازندگان را نپذیرفت، اما کسب توافق سازنده در هر مرحله از طراحی قطعات، وظیفهٔ طراح بود.

باید به یاد داشت که در آغاز کار، امکان تولید برخی قطعات در داخل کشور وجود نداشت. در این گونه موارد، سازندگانی انتخاب شدند که بتوانند با انتقال فناوری، گرفتن مجوز و سرمایه‌گذاری لازم، اهداف طرح را عملی کنند. در این مورد سفارش ساخت برای سازندهٔ ایرانی فرستاده و از او خواسته شد با برخی از سازندگان انحصاری قطعات در خارج از کشور همکاری کند و گروه طراحی نیز سازندهٔ خارجی را ملزم به اجرای تعهدات و انتقال دانش لازم به سازندهٔ داخلی در هنگام فرآیند توسعهٔ قطعه کرد.

از این رو سازندهٔ داخلی در آغاز با خرید و همبندی قطعات جدا از هم، ساخت را شروع کرد و کم کم با داخلی‌سازی قطعات زیرمجموعه، کیفیت ساخت داخل را بهبود داد و با برنامه‌ای مشخص، همهٔ تولید را داخلی کرد.

۷-۷- تأمین قطعات

در این بخش مراحل تأمین قطعات موتور دیزل سواری از مرحلهٔ نمونه‌سازی تا پیش‌تولید شرح داده می‌شود.

نخستین نمونه‌سازی

پس از بکار بردن بازخوردهای دریافتی از سازندگان و بازبینی نهایی، سفارش ساخت بیش از ۱۵ مجموعه از هر قطعه صادر شد. این تعداد بر اساس ضریب مصرف قطعه در موتور انتخاب شد. بر اساس برنامهٔ طرح، این نمونه‌ها برای آزمون قطعه، همبندی قطعات و اجرای آزمون موتور یا نصب موتور روی خودرو تأمین شدند.

یادآوری می‌شود که گرچه با شبیه‌سازی و محاسبات مهندسی رایانه‌ای در فرآیندی رفت و برگشتی، طراحی به صورت مجازی صحه‌گذاری می‌شد، اما نمونه‌سازی برای آزمون‌های عملی، گریز ناپذیر بود. بنابراین برخی از دستاوردها و کاستی‌های طرح پس از آزمون‌های عملی، قابل دستیابی است. در حقیقت هدف اصلی نخستین نمونه‌سازی، صحه‌گذاری تجربی طراحی است.

نخستین نمونه‌سازی بسیار حساس و گران است؛ زیرا به سبب محدودیت‌های زمانی، بیشتر قطعات از روش‌های تولیدی سریع یا روش‌های تولید ویژه با استفاده از ابزار و قالب‌های نرم تولید می‌شوند؛ بنابراین در این مرحله با استفاده از پایگاه داده‌ای طراح مشاور، عمدهٔ سازندگان نمونه‌ساز در خارج از کشور انتخاب شدند، اما سازندگان داخلی نیز برای همکاری و کسب تجربه به آنها معرفی شدند. در برخی موارد ضمن آن که سازندهٔ داخلی ناظر بر عملیات نمونه‌سازی بود، بخشی از مراحل اولیهٔ ساخت قطعات را سازندهٔ داخلی اجرا کرد و مراحل تکمیلی در محل سازندهٔ نمونه‌ساز خارجی انجام شد. پس از تأمین همهٔ قطعات، موتورها اندک اندک همبندی شدند و آزمون‌های موتور و خودرو شروع شد.

دومین نمونه‌سازی طرح

به هنگام آزمون‌های نخستین نمونه‌سازی، عیب‌هایی آشکار شد که آنها را طراح تصحیح کرد. از سوی دیگر، بر پایهٔ تجربه‌های نخستین نمونه‌سازی قطعات و با شروع طراحی ابزارها و قالب‌های تولید انبوه، سازندگان نیز مجدداً خواستار تغییراتی در طراحی شدند که لزوم بازنگری را در طراحی دوچندان کرد.

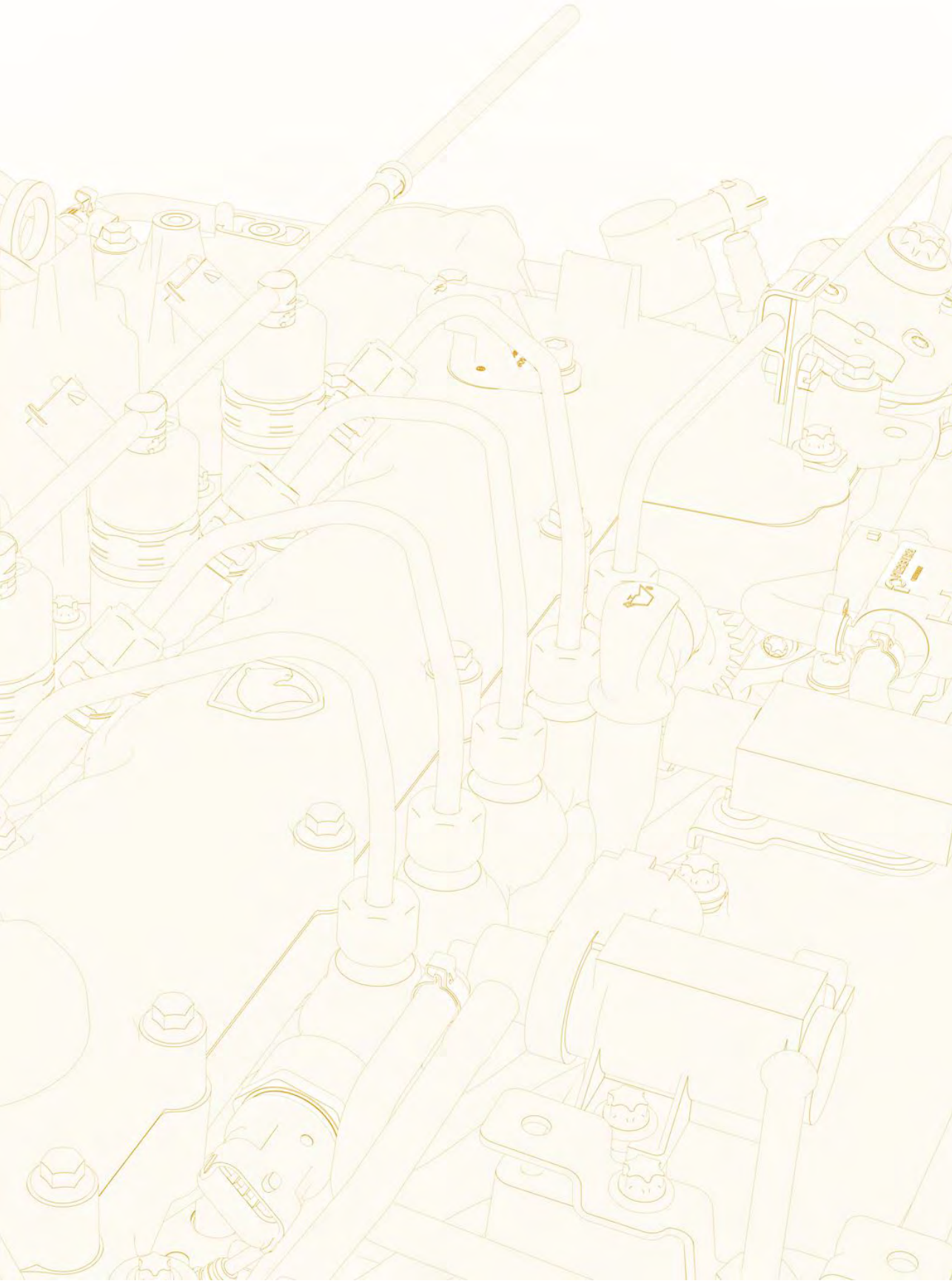
با اعمال آخرین بهبودها، الگوها و نقشه‌های تولید قطعات با ابزارهای تولید انبوه آماده شدند و سازندگان قالب‌ها و ابزارهای تولید انبوه را ساختند. از این رو می‌توان گفت هدف عمده از دومین نمونه‌سازی، ارزیابی دوام قطعات تولیدشده از ابزارهای تولید انبوه و به عبارت دیگر صحه‌گذاری ابزار تولید انبوه است.

در این مرحله ۴۰ مجموعه قطعات موتور سفارش‌گذاری شد که عمدهٔ قطعات را تأمین‌کنندگان نهایی اعم از سازندگان داخلی و خارجی تأمین کردند، گرچه بر خلاف روال معمول و بر اثر تأخیر بیش از حد برخی از سازندگان داخلی، ناچار برخی از قطعات به سازندگان نمونه‌ساز سفارش داده شد.

پیش تولید

در انتهای طرح، سه مرحلهٔ پیش تولید درنظر گرفته شد که هدف از اجرای مراحل اول و دوم، تأیید شاخص‌های کیفی قابلیت تولید خطوط تولید سازندگان و در مرحلهٔ سوم تأیید شاخص‌های کیفی محصول نهایی یعنی موتور و خودرو بود. در مجموع این مراحل، بیش از ۷۰ دستگاه موتور تولید شد و بیش از ۲۰۰۰ ساعت آزمون دوام موتور نیز اجرا شد.

مجموع بازخوردهای ناشی از بازرسی خطوط سازندگان، بررسی گزارش‌های آزمون قطعات، بازرسی و آزمون مجدد نمونهٔ قطعات در ایران خودرو، همبندی قطعات در خطوط تولید و اندازه‌گیری شاخص‌های تکرارپذیری تولید در ایستگاه‌های مختلف، منجر به شناسایی و رفع عیب‌های احتمالی در مواد اولیه، فرآیند تولید و برآورد دقیق ظرفیت تولید خطوط شد.



فصل هشتم

استانداردسازی

۸-۱ - پیشگفتار

یکی از فعالیت‌های مهم و تأثیر گذار در پیشرفت و توسعهٔ سازمان‌ها و کارخانه‌ها، استانداردسازی است. در مفهوم کلمهٔ استاندارد واژه‌هایی چون نظم، ترتیب، روش درست، ساماندهی، آراستگی و حتی پاکیزگی وجود دارد. استاندارد نویسی در واقع تعیین و تدوین ویژگی‌های لازم در تولید یا بهره‌برداری از فرآورده، کالا، جنس یا قطعه و انجام دادن خدمت برای صاحبان حق و ذینفعان با روش‌های مشخص شده و مورد توافق است. به بیان دیگر مدرک استاندارد، سندی است که سازمان، کارخانه و یا شرکتی تصویب و برای استفاده عمومی یا داخلی منتشر می‌کند. در هر مدرک استاندارد مواردی از قبیل قوانین، شیوه نامه‌ها و راهنمایی‌هایی برای انواع فعالیت‌ها یا نتایج آنها شرح داده‌می‌شوند. از مهم‌ترین ویژگی‌های مجموعه استانداردهای یک کارخانه یا سازمان، پیوستگی و اتصال زنجیری آنها به یکدیگر است، به‌گونه‌ای که در کنار هم، مجموعه‌ای از تجربه و دانش فنی شرکت ارائه شود.

استانداردسازی در شرکت ایپکو از سال‌های طراحی و توسعهٔ موتور ملی پایه گاز[1] به طور جدی شروع شد. در آن زمان در شرکت ایران‌خودرو به طور پراکنده شیوه‌نامه‌هایی شبیه استانداردهای کارخانه‌ای تدوین و استفاده می شد، اما مجموعهٔ مدارک ساخت‌یافته‌ای که بتوان نام استاندارد کارخانهٔ ایران‌خودرو را بر آن اطلاق کرد، تدوین نشده بود. طرح موتور ملی فرصت مناسبی برای تدوین بخشی از مجموعهٔ یادشده بود، زیرا در آن فرصت، تعداد زیادی از

[1] National Engine (EF7 engine)

قطعات طراحی و اطلاعات آن‌ها از شرکت مشاور خارجی FEV یا سازندگان خارجی قطعات، دریافت و مستندسازی شد. این مسیر در سال‌های بعد در سایر طرح‌های شرکت ایپکو نیز ادامه داده شد و همچنان در حال پیشرفت و رسیدن به بلوغ است.

چرا به استانداردسازی نیاز است؟ مثال‌هایی بدین شرح دلائل نیاز به استاندارد را بیان می‌کنند:

- در شیوه‌نامهٔ استاندارد، بازهٔ مجاز موارد کیفی در تحویل‌گیری و ساخت قطعات روی نقشه‌ها باید مشخص شوند.
- یا کاستی‌های قابل پیش‌بینی و حد مجاز آنها که معمولاً در تولید انبوه اتفاق می‌افتد، در یک استاندارد باید مشخص شوند.
- همچنین شاخص‌های پذیرش و محدودهٔ مجاز در کیفیت سطح و دیگر موارد کیفی، به طور استاندارد و کمی تعیین شوند.
- همچنین در برخی استانداردهای بین‌المللی به مشخصات و ریزه‌کاری‌های لازم اشاره نشده است و نمی‌توان در نقشه‌ها به آنها استناد کرد. مثلاً ریزساختار مواد مصرفی در هیچ استاندارد بین‌المللی ارائه نشده است، اما لازم است به‌عنوان الگو تدوین و به سازندگان ارائه شود.
- اطلاعات فنی و عملکردی مورد نیاز برای تطبیق قطعات طراحی شده با قطعات تولید شده به صورت انبوه نیز در استانداردهای بین‌المللی وجود ندارند.
- مثال دیگر متعلق به صحه‌گذاری قطعات است که معمولاً در آغاز طرح و پیش از تولید انبوه، برای ارزیابی طراحی استفاده می‌شود. همچنین در مرحلهٔ تولید انبوه و در زمانی که به هر دلیل، از جمله ارزان‌سازی و بهبود قطعات، لازم است تغییری در قطعات حاصل شود، مجدداً نیاز به صحه‌گذاری است. مثلاً زمانی که جنس قطعه یا فرآیند ساخت آن تغییر می‌کند، لازم است مراحل صحه‌گذاری آن تغییر و به طور کامل طی شود. در چنین مواردی لازم است طرح صحه‌گذاری از قبل و به تفکیک قطعات تهیه شده باشد.

تمام این نیازها، الزامی را ایجاد می‌کند که اسنادی پویا و زنده به عنوان استاندارد وجود داشته باشند. به طوری که طبق روشی استاندارد، همواره در حال تکوین و بروزرسانی باشند.

وقتی طرح جدیدی برای تولید یک محصول بر پایهٔ تغییر در محصولات قبلی و یا محصولی کاملاً جدید توسعه می‌یابد، نیاز به بروزآوری استانداردها و یا تدوین استاندارد جدید به وجود می‌آید. براین اساس، در طرح موتور دیزل سواری نیز کار استاندارد نویسی با مرور تمامی استانداردهای قبلی و تعیین نیازمندی‌های جدید آغاز شد. به این ترتیب، استانداردهای مورد نیاز در شش زیر گروه بدین شرح تعیین شدند:

۱. استانداردهای کیفی و صحه‌گذاری
۲. استاندارد مواد
۳. قطعات استاندارد

۴. فرآیندهای استاندارد
۵. استانداردهای عمومی
۶. استانداردهای مهندسی

تمامی استانداردهای مورد نیاز برای طرح موتور دیزل سواری مشخص شدند و کار تدوین یا بروزرسانی آنها با مسئولیت واحد مهندسی محصول آغاز شد. در ادامه انواع استانداردها و فهرست تمامی استانداردهای تدوین شده در طرح، ارائه می‌شوند.

۲-۸- استانداردهای کیفی و صحه‌گذاری

استانداردهای کیفی شامل رویه‌های آزمون‌های مخرب و غیرمخرب، آزمون‌های موتوری، قطعات و استاندارد های پذیرش اند. استانداردهای پذیرش، به شاخص‌های کیفی قطعه اشاره می‌کند و شیوه‌ای برای پایش کیفی قطعات ارائه می‌دهد. در این استانداردها درکنار مقادیر کمّی در قالب جدول ها یا محدوده‌های پذیرش، از شکل‌ها و نقاشی‌های نمادین نیز برای فهماندن بهتر معیارهای کیفی استفاده می‌شود. این استانداردها انواع عیوب قطعات را نشان می‌دهند و لازم است پیوسته بازنگری شوند و به محض ردیابی عیب جدید، در قطعات ارسالی به خط تولید، آن عیب ارزیابی و در ویرایش جدید استاندارد، مشخص شوند. ارزیابی عیوب نیز به سه روش تحلیلی، تجربی و یا آمیزه‌ای از هر دو است.

آزمون‌های موتوری در طرح موتور دیزل، در ۱۲ نشست طولانی، بین واحدهای مهندسی محصول و طراحی و صحه‌گذاری بازنگری شد و به عنوان نخستین گام، آزمون‌های مورد نیاز برای صحه‌گذاری قطعات و مجموعه‌ها جداگانه دسته‌بندی شدند. این کار اهمیت بسیار دارد، چون تغییر دائم بازار مواد اولیه و منابع، تأمین آن‌ها را مشکل می‌کند. لذا مطابق با سرعت تغییرات لازم است زمان صحه‌گذاری کوتاه و در عین حال مطمئن و صحیح باشد.

افسوس که در ایران‌خودرو تغییرات مهندسی از مدیریتی یکپارچه برخوردار نیست و در برخی موارد، سازندگان به دلایلی همچون نبود دسترسی به یک نوع مادهٔ اولیه یا حتی کاهش هزینهٔ تولید، خودسرانه قطعات را تغییر می‌دهند. از طرف دیگر، شرکت سایکو به عنوان پیوند بین ایران‌خودرو با سازندهٔ قطعات نیز، با هدف کاهش قیمت یا افزایش تعداد تولید، سازندگان جدیدی را وارد چرخهٔ تأمین می‌کند که طبعاً قطعات تولیدشدهٔ آن‌ها از نظر مهندسی تغییراتی خواهند داشت. همچنین واحدهای کیفی یا تولیدی در ایران‌خودرو نیز در قالب طرح‌ها و به منظور کاهش خطرپذیری کیفی، برخی تغییرات مهندسی را اعمال می‌کنند و در نهایت نیز واحدهای مهندسی به دلایل مشابه، محصول را تغییر می‌دهند. این در حالی است که طبق استاندارد هر یک از تغییرات، به صحه‌گذاری نیاز دارند. لذا با همکاری تلاشگرانهٔ بخش صحه‌گذاری ایپکو، در قالب استاندارد تغییر سازندگان قطعات موتوری یا فهرست

آزمون‌های موتوری به همراه تمامی رویهٔ آزمون‌هایی که در آن ذکر شده است، منتشر شد. عناوین برخی از استانداردهای تدوین شده در فهرستی طبق جدول ۸–۱ بدین شرح ارائه شده است:

جدول ۸–۱– استانداردهای کیفی و صحه‌گذاری موتوری در طرح موتور دیزل سواری

عنوان استاندارد	شماره	عنوان استاندارد	شماره
طرح صحه‌گذاری قطعات دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۱۰۰۸	آزمون سرعت تند دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۲۰
آزمون دوام بار چرخه‌ای ۸۰۰ ساعت	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۰۵	رویهٔ بررسی دمایی بدنهٔ موتور	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۳۰
رویه‌های اندازه‌گیری اعوجاج استوانهٔ موتور	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۰۷	آزمون ارزیابی ضربان‌های تلمبهٔ روغن	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۲۲
رویه‌های آزمون دوام عمومی دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۱۹	آزمون ضربهٔ عمیق حرارتی دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۱۴
رویهٔ آزمون چرخهٔ دمایی سنبه	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۲۵	آزمون ترک چندراههٔ خروجی موتور	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۱۵
آزمون ضربهٔ حرارتی[1]	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۳۲	آزمون ارزیابی سامانهٔ خنک‌کاری	۱۵۰ ۱۱ ۶ ۰۰۱۳

۸–۳– استانداردهای مواد

این استانداردها شامل ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی، ترکیب شیمیایی و در برخی موارد چگونگی فرآوری و ریزساختار اند. بسته به جنس قطعه و روش‌های تولید به این استانداردها ارجاع می‌شود. گاهی اوقات این استانداردها در قالب و جزئی از استاندارد یک قطعه مثل بستار یا بدنه منتشر می‌شود. در طرح موتور دیزل نیز نیازمندی به انتشار برخی از این استانداردها وجود داشت که برخی از استانداردهای تدوین یا بازنگری شده در جدول ۸–۲ بدین شرح هستند:

[1] Thermal shock test

جدول ۸-۲- استانداردهای مواد در طرح موتور دیزل سواری

عنوان استاندارد	شمارهٔ تخصیصی
نیازمندی‌های موادی همبسته‌های[1] ریخته‌گری فشار قوی ۳Cu۹AlSi	۰۰۱۲ ۱ ۱۱ ۱۵۰
نیازمندی‌های موادی همبسته‌های قالب دائم MgV۷AlSi	۰۰۱۳ ۱ ۱۱ ۱۵۰
نیازمندی‌های موادی همبسته‌های ریخته‌گری گرانشی قالب اصلی Mg۱۰AlSi	۰۰۱۵ ۱ ۱۱ ۱۵۰
نیازمندی‌های موادی فولاد آهنگری ریزهمبسته‌ای BY۶S۷۰C برای دسته سنبه	۰۰۱۶ ۱ ۱۱ ۱۵۰
نیازمندی‌های موادی چدن خاکستری ۲۵۰GJL	۰۰۲۲ ۱ ۱۱ ۱۵۰
نیازمندی‌های موادی چدن خاکستری گره دار ۴۰۰GJS	۰۰۲۳ ۱ ۱۱ ۱۵۰
مشخصات موادی ۸۰ ۶۱۰FKM	۰۰۳۰ ۱ ۱۱ ۱۵۰
مشخصات موادی نشیمنگاه دریچه‌های دود	۱۰۰۵۱ ۱۱ ۱۵۰
مشخصات موادی راهنمای دریچه‌های هوا	۱۰۰۵۶ ۱۱ ۱۵۰

٤-۸- استانداردهای قطعات استاندارد

مهم‌ترین موضوع در استانداردهای قطعات استاندارد، نوشتن شمارهٔ مرجع یا شمارهٔ فنی این قطعات در چارچوب استانداردهای عمومی است. این کار باعث جلوگیری از ارجاع بیش از یک شمارهٔ فنی به قطعه استاندارد می‌شود. منفعت دیگر این است که همهٔ قطعات استاندارد تعریف‌شده در ایران‌خودرو به صورت یکپارچه در اختیار طراح برای انتخاب قرار دارد. تأثیر این امر بر هزینهٔ تمام شدهٔ محصول بسیار زیاد است و در یک طرح به مرتبهٔ صدها میلیون تومان می‌رسد.

به عنوان مثال در طرح دیزل و سایر طرح‌های توسعه‌ای، طراح می‌تواند از پیچ‌هایی استفاده کند که مراحل تأمین و صحه‌گذاری را پیش از این گذرانده‌اند و در مجموعهٔ کارخانه استفاده می‌شوند. البته مواردی نیز وجود دارد که به دلیل الزامات طراحی یکی از مشخصه‌های قطعه، از مقدار تعریف‌شده در استاندارد خارج می‌گردد، که این موارد نیز در ابتدای امر شناسایی می‌شوند و البته در این طرح با توجه به فعالیت‌هایی که در طرح‌های قبلی انجام گرفته بود تنها یکی از استانداردها به نام استاندارد پیچ‌های فولادی لبهٔ بزرگ به شمارهٔ ۱۵۰ ۱۱ ۰ ۰۰۰۸، ویرایش شد.

[1] Alloys

۸-۵- استانداردهای فرآیند

استانداردهای فرآیند برای مواردی است که لازم است فرآیند تولید یک قطعه یا بخشی از آن شفاف‌سازی و در تعریف قطعه به آن اشاره شود. معمولاً در مواردی که یکی از مراحل تولید بر خواص قطعهٔ نهایی تأثیر مهمی دارد یا از پیروی سازنده از یک فرآیند صنعتی اطمینان کامل وجود نداشته باشد یا صحه‌گذاری اجرای صحیح فرآیند دشوار باشد، موارد لازم در استاندارد فرآیند نوشته می‌شوند. در این زمینه نیز در طرح‌های قبلی اقدامات بسیار خوبی انجام گرفته بود. در طرح موتور دیزل نیز واحد مهندسی محصول ضمن بررسی استانداردهای قبلی هرجا که نیاز به بازنگری بود آن را در دستور کار قرار داد. که به عنوان مثال طبق جدول ۸-۳، به استانداردهایی بدین شرح اشاره می‌شود:

جدول ۸-۳- استانداردهای فرایند در طرح موتور دیزل سواری

عنوان استاندارد	شمارهٔ تخصیصی
حفاظت از زنگ‌زدگی	۰۰۰۴ ۳ ۱۱ ۱۵۰
عملیات حرارتی (سخت‌کاری سطحی)	۰۰۰۵ ۳ ۱۱ ۱۵۱
ویژگی‌های کلی آزمون‌های نشتی	۰۰۳۰ ۲ ۱۱ ۱۵۰

۸-۶- استانداردهای عمومی

یکی از مشکلات مهم در بحث استانداردها این است که به دلیل عدم‌دسترسی سریع و آسان به اطلاعات بین‌المللی در ایران، برخی سازندگان و تأمین‌کنندگان قطعات و مجموعه‌ها حتی از انتشار ویرایش جدید استاندارد های بین‌المللی نیز با خبر نمی‌شوند و لازم است ایران‌خودرو در صورت نیاز خودش نسبت به انتشار داخلی آنها به نحوی اقدام و از این طریق سازندگان را نیز وادار به پیروی از آنها نماید. به این ترتیب براساس توافقات قبلی در بین شرکت‌ها و سازمان‌های گوناگون مجموعهٔ صنعتی ایران‌خودرو، مقرر شد با ارائهٔ ویرایش جدید استانداردهای کارخانه‌ای، ویرایش جدید استانداردهای بین‌المللی نیز در مجموعهٔ صنعتی جاری و لازم الاجرا گردد.

فایدهٔ دیگر توافق یاد شده این است که چنانچه به ویرایش جدید استاندارد، نیاز نبود و ویرایش قبلی نیازمندی های فنی محصول را فراهم می کرد، از تحمیل هزینه‌های حاصل از ویرایش جدید به مجموعه، جلوگیری می‌شود.

استانداردهای عمومی شامل تعاریف پایه و حتی شیوهٔ دسته‌بندی استانداردها نیز می‌شوند. جدول ۸-۴، استانداردهای عمومی در طرح موتور دیزل سواری را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۴- استانداردهای عمومی در طرح موتور دیزل سواری

عنوان استاندارد	شمارهٔ تخصیصی
طبقه‌بندی تخلخل‌ها و الزامات قطعات ریخته‌گری	۰۰۱۰ ۱ ۱۱ ۱۵۰
استاندارد قطعات پلاستیکی: نیازمندی‌های موادی و عملکردی	۰۰۱۷ ۱ ۱۱ ۱۵۰

۸-۷- استاندارد های مهندسی

این استانداردها شامل مشخصات فنی قطعات و مجموعه‌های موتوری است. مثلاً فهرست آزمون‌های لازم برای صحه‌گذاری قطعات مهم و شاخص پذیرش هر یک، به صورت مجموعه‌ای پیوسته در استاندارد مهندسی قطعه نوشته می‌شود. گاهی در این نوع از استانداردها، به اطلاعات سازنده نیز نیاز است.

استاندارد مهندسی در شرکت ایران‌خودرو و شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) در برگیرنده و بیانگر تمامی مشخصات و معیارهای فنی مشترک و یا خاص مورد نظر و مورد پذیرش برای قطعه یا مجموعهٔ همبندی است. به طوری که سازندگان و گروه‌های مختلف درگیر و وابسته، با استفاده از این استاندارد بتوانند به صورت هماهنگ تولیدات و محصولات خود را برابر و مطابق با شرایط و معیار پذیرش مورد نظر ارائه دهند.

کارشناسان با استناد به همین استانداردها، معیارهای قابل مشاهده یا قابل اندازه‌گیری را در قطعات بررسی و تطبیق می‌دهند. به عبارت دیگر، استاندارد، معیار و سند مشترکی میان گروه‌های مختلف درگیر با یک قطعه یا مجموعه، برای بیان نیازها و معیارهای فنی لازم است.

معمولاً برای تدوین استاندارد مهندسی ابتدا همهٔ الگوهای شکست یا آسیب قطعه یا مجموعهٔ مورد نظر دربارهٔ عمکرد، دوام، قابلیت تعمیر یا اطمینان، کارایی و تقابل آن با قطعه یا مجموعه‌های وابسته به آن استخراج می‌شود. سپس شرایطی واقعی که در طول عمر قطعه پدید می‌آید، در آزمون‌هایی شبیه‌سازی می‌شوند. در پایان طبق نتایج، شاخص پذیرش یا عدم‌پذیرش قطعه تدوین می‌شود.

در برخی استانداردها تقدم و تأخر آزمون نیز ارائه می‌شود. برای تدوین برخی استانداردها، همکاری بسیارخوبی بین گروه‌های طراحی در ایپکو و شرکت مشاور (AVL-SCHRICK) از یک سو و کارشناسان مهندسی محصول و گاهی کارشناسان سازندهٔ قطعهٔ صورت گرفت. از جملهٔ این استانداردها می‌توان به مواردی طبق جدول ۸–۵ بدین شرح اشاره نمود:

جدول ۸–۵– استانداردهای مهندسی

عنوان استاندارد	شمارهٔ تخصیصی
مشخصات فنی میل‌بادامک‌های ورودی و خروجی موتور دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۱ ۰۰۴۷
پذیرش دریچه‌های دود هوای موتور دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۲ ۱۰۰۵
مشخصات فنی تلمبهٔ روغن دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۴۰۰۵۲
مشخصات فنی چندراههٔ هوای موتور دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۴۰۰۴۸
مشخصات فنی لولهٔ مخلوط کنندهٔ چندراههٔ هوای موتور دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۴۰۰۴۹
مشخصات فنی چرخ لنگر موتور دیزل	۱۵۰ ۱۱ ۲ ۰۰۱۲

در پایان این فصل به عنوان نمونه، متن یکی از استانداردهای جاری شده در شرکت ایران خودرو ارائه می‌شود:

۸–۸– استاندارد مشخصات موادی نشیمنگاه دریچه‌های دود

هدف: این استاندارد مشخصات فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و موادی نشیمنگاه دریچهٔ دود را به شمارهٔ ۱۵۰ ۱۱ ۱۰۰۵۱ نشان می‌دهد.

ترکیب شیمیایی: ترکیب شیمیایی همبستهٔ فلزی گردی[۱] نشیمنگاه دریچهٔ خروجی مطابق جدول ۸–۱ است:

[۱] Powder

جدول ۸-۱- ترکیب شیمیایی همبستهٔ فلزی گردی نشیمنگاه دریچهٔ خروجی

نام عنصر (علامت شیمیایی)	مقدار (٪)	نام عنصر (علامت شیمیایی)	مقدار (٪)
کربن (C)	۸,۰–۳,۱	سیلیسیوم (Si)	۵,۰–۰,۲
کبالت (Co)	۰,۲۲–۰,۱۵	منگنز (Mn)	۵,۱–۳,۰
مولیبدن (Mo)	۵,۴–۵,۲	گوگرد (S)	۷۵–۱۵
تنگستن (W)	۰,۵–۰,۳	مس (Cu)	۰,۲–۰,۱
وانادیوم (V)	۳,۲–۳,۱	آهن (Fe)	تعادلی
کروم (Cr)	۵,۵–۵,۳	دیگر عناصر	کمتر از ۳ درصد

خواص فیزیکی: فرایند تولید شامل مخلوط کردن، فشرده سازی، ذوب سطحی و نفوذ مس است تا خواص فیزیکی عمومی حاصل شود. جدول ۸-۲، خواص فیزیکی همبستهٔ فلزی گردی نشیمنگاه دریچهٔ خروجی را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۲- خواص فیزیکی همبستهٔ فلزی گردی نشیمنگاه دریچهٔ خروجی

چگالی:	$\leq$ ۷,۵ g/cm^3	
هدایت گرمایی:	**دما (کلوین)**	**ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)**
	۲۹۶	۲۸
	۴۷۳	۳۳
	۵۷۳	۳۵
	۶۷۳	۳۶
	۷۷۳	۳۵
ضریب انتقال گرما:	**دما (کلوین)**	**ضریب انبساط گرمایی ($\times 10^{-6}$ 1/K)**
	۵۷۳–۲۹۳	۱۲,۷
	۷۷۳–۵۷۳	۱۳,۶
	۹۷۳–۷۷۳	۱۴,۱

خواص مکانیکی: ویژگی‌های عمومی مکانیکی نشیمنگاه دریچهٔ دود مطابق جدول ۸–۳، بدین شرح است:

جدول ۸–۳– خواص فیزیکی مادهٔ نشیمنگاه دریچهٔ خروجی

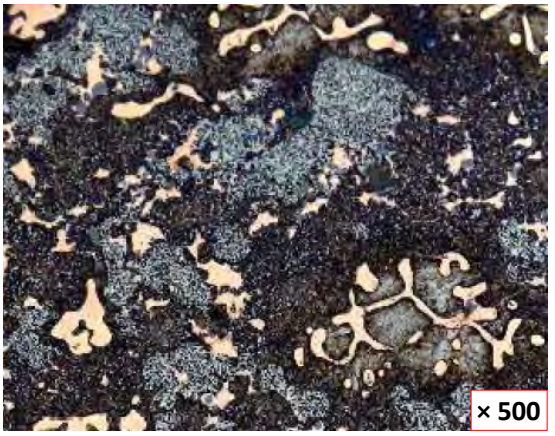
سختی:	بیش از ۴۶۰:	۲,۵HBW۱۸۷,۵
	بیش از ۴۸۰:	۳۰HV
سختی خردشدن شعاعی:	بیش از ۱۰۰۰:	N/mm^2

ماده:

Sintered high speed steel with intermetallic phases, high temperature solid lubricant and copper (HSS STEEL)

ریزساختار:

ساختار شامل مارتنزیت بازپخت شده، کاربیدهای بینیتی–مارتنزیتی به صورت یکنواخت در زمینه به همراه حالت‌های بین فلزی یکپارچه است. بیشتر چاله‌ها و سوراخ‌ها با مس پر شده است. گرافیت‌های آزاد در سرتاسر ساختار پراکنده شده است. شکل ۸–۱، ریزساختار نشیمنگاه دریچه‌های دود را نشان می‌دهد.

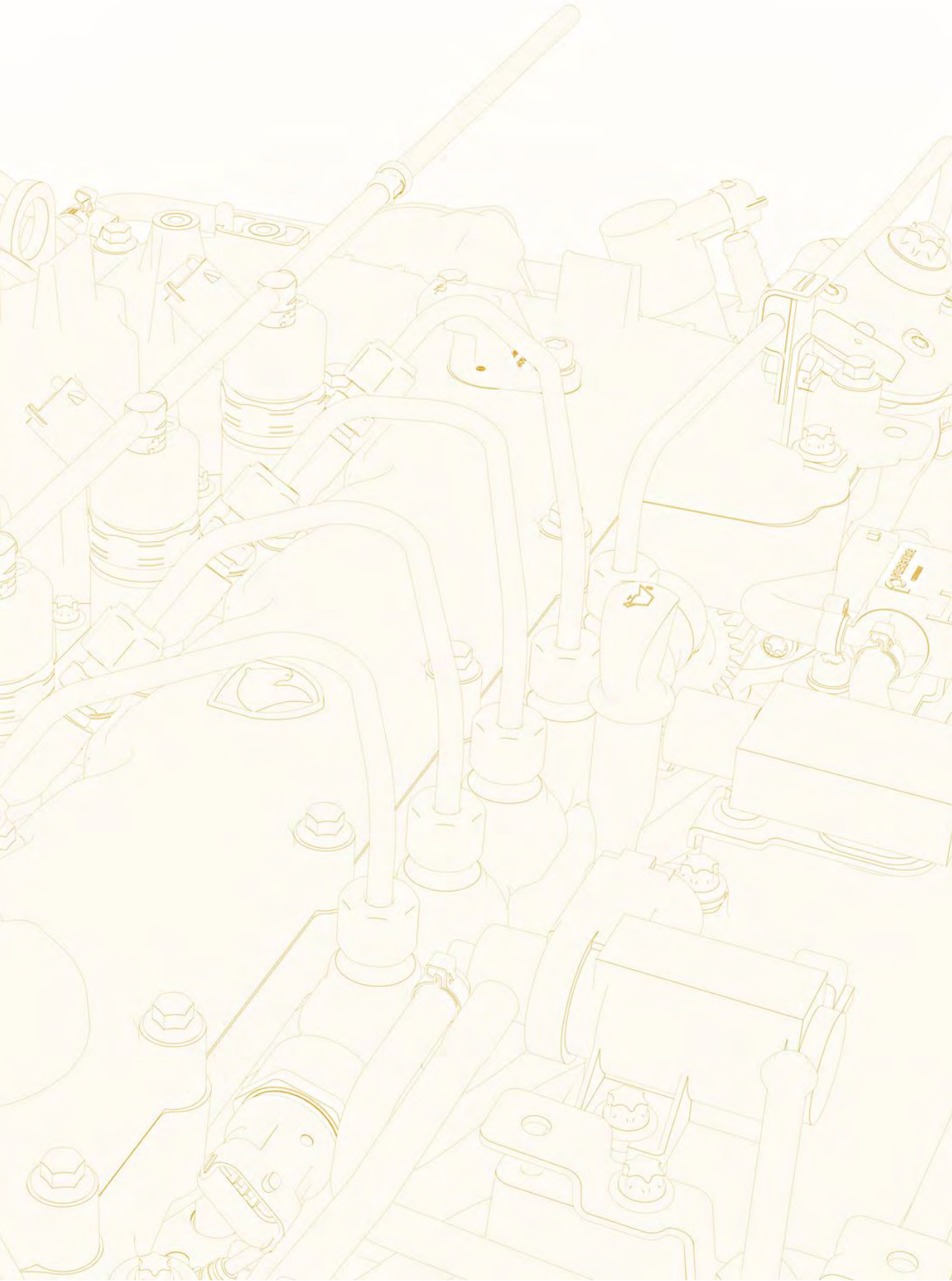


شکل ۸-۱- ریزساختار نشیمنگاه دریچه‌های دود

شاخص پاکی: ابعاد ذرات پس از نخستین تراشکاری (شرایط حمل و نقل به مشتری) بدین شرح است:

- ذرات با ابعاد بیش از ۱۲ میکرون مجاز نیست.
- تعداد ذرات با وزن ۱۰ میلی‌گرم، نباید بیشتر از ۱۶ عدد باشد.

شاخص بازکاری: هر گونه بازکاری بر روی قطعات باید با مجوز نمایندهٔ کیفیت یا مهندسی محصول صورت پذیرد.



فصل نهم

آزمون‌ها و صحه‌گذاری

۱-۹- پیشگفتار

در جوامع صنعتی، مهندسان و مدیران فنی مسئول برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصول تا پیچیده‌ترین سامانه‌هایند. از کار افتادن محصولات و سامانه‌ها موجب بروز اختلال در سطوح مختلفی می‌شود و می‌تواند به عنوان تهدیدی جدی برای جامعه و محیط زیست نیز تلقی شود. از این رو مصرف کنندگان و به طور کلی مردم جامعه انتظار دارند که محصولات و سامانه‌ها پایا و ایمن باشند. بنابراین به عنوان چالشی اساسی چنین مطرح است که قابلیت اطمینان[۱] مجموعه در طول عمر کاری آینده‌اش چه مقداری است و ایمنی آن چقدر است؟

مفهوم واژهٔ صحه‌گذاری[۲] در اصول طراحی یا توسعه محصول جدید[۳] آن است که صحت عملکرد و دوام سامانه‌های مختلف موتور در اتاق آزمون و در قالب شرایط واقعی کارکرد موتور در خودرو بررسی شود و در انتها عملکرد مورد انتظار گروه طراحی از هر قطعه محک بخورد و در صورت نیاز بازخوردهای لازم برای اعمال اصلاحات مشخص شود.

---

[1] Reliability
[2] Validation

[3] New Production Development (NPD)

"عملکرد را میسر کن[1]" این شعار برخی از گروه‌های صحه‌گذاری است که به دنبال آن مفاهیم و معیارهای جدید تعریف می‌شود و چرخهٔ صحه‌گذاری را نسبت به گروه طراحی تکمیل می‌کند. فرایند صحه‌گذاری موتور یکی از مراحل ایجاد و یا توسعهٔ موتور بشمار می‌آید. این فرایند با نگرش عملکردی به مجموعه‌های داخلی موتور و استحکام سازه‌ای موتور، راه را در دستیابی به محصول قابل اعتماد در خط تولید هموار می‌کند. معمولاً نگرش افراد گروه صحه‌گذاری با طراحان در برخی موارد متفاوت است و خوشبختانه این اختلاف سلیقه منجر به توفیق در تولید محصول می‌شود. این تفاوت از آنجا آغاز می‌شود که برخی فرایندها را نمی‌توان از طریق محاسبات در طراحی لحاظ کرد. چرخهٔ فرایند صحه‌گذاری و آزمایش مکانیکی با همکاری گروه‌های طراحی و محاسبات عددی تکمیل می‌شود.

فرایند صحه‌گذاری با توجه به حجم فعالیت‌های طرح متفاوت است و زمینه‌های گوناگون را در بر می‌گیرد. یکی از چندین ابزار صحه‌گذاری، مجموعهٔ آزمون‌های مکانیکی است که بر اساس نوع محصول و سیاست‌گذاری کلان برای آن محصول، مشخص می‌شود. از اینرو تعداد و تنوع آزمون‌ها از لحاظ سطح قابلیت اعتماد محصول، بر قیمت تمام شدهٔ آن می‌تواند اثر گذار باشد. در فرایند "تولید محصول جدید" فعالیت گروه صحه‌گذاری به طور مقطعی از ابتدا آغاز می‌شود و زمانی شکل جدی بخود می‌گیرد که اولین نمونهٔ محصول ساخته شود.

در راستای فرآیند توسعهٔ محصول هر شرکت بر اساس اطلاعات و تجارب دانشی خود، نقشهٔ راه توسعهٔ محصول را به صورت جامع تدوین می‌کند. مرکز تحقیقات موتور ایران‌خودرو (شرکت ایپکو) با همین رویکرد و بر اساس تجربهٔ دانش فنی کسب شده در طرح موتور ملی EF۷ و با همکاری شرکت‌های برجستهٔ مشاور، اقدام به تدوین نقشهٔ راه توسعهٔ موتور ملی دیزل سواری نمود.

این نقشهٔ راه شامل سه مرحله بود:

۱- مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (الف): مرحلهٔ طراحی مفهومی

۲- مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (ب): مرحلهٔ طراحی اصلی

۳- مرحلهٔ توسعهٔ صنعتی‌سازی و پیش تولید[2] و تولید انبوه[3]

مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (الف) با همکاری و مشاوره با شرکت شرِک[4] و حمایت مالی وزارت نفت انجام شد. مرحلهٔ نسل ۱(ب) با اتکا به توانایی داخلی و حمایت مالی مدیریت ارشد گروه صنعتی ایران‌خودرو انجام گرفت.

[1] Make the thing works
[2] PRE Series
[3] Start Of Production (SOP)
[4] AVL SCHRICK

مرحلهٔ صنعتی‌سازی و تولید انبوه به‌علت محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای، جایگزین مرحلهٔ نسل ۲[1] شده است. مرحلهٔ نخست طراحی به صورت موفقیت‌آمیزی انجام شد و بیشتر آزمون‌های دوام با خرابی‌های کمی مواجه شد. در این مرحله به صورت نمونه تعداد ۲۲ موتور و پنج دستگاه خودرو ساخته شد. در مرحلهٔ دوم تعداد ۴۰ دستگاه موتور ساخته شد.

۲-۹- مفاهیم و تعاریف پایه در صحه‌گذاری موتور

قبل از معرفی جزئیات صحه‌گذاری موتور دیزل سواری، شایسته است در این قسمت برخی مفاهیم و تعاریف پایه در صحه‌گذاری، معرفی شوند:

طراحی برنامهٔ صحه‌گذاری

پرداختن به برنامهٔ ساختاریافتهٔ صحه‌گذاری محصول جدید برای تضمین کارکرد، دوام[2] و قابل اعتماد بودن[3] آن محصول جدید است. طرح برنامهٔ صحه‌گذاری[4]، نشان‌دهندهٔ دانش فنی شرکت‌های طراح موتور در موضوعات طول عمر و قابلیت اطمینان محصول نزد مشتری است. برنامهٔ صحه‌گذاری دارای بخش‌های مختلفی همانند آزمون‌های قطعه‌ای، وظیفه‌ای و دوام (موتوری و خودرویی) و همچنین محاسبات قابلیت اطمینان محصول نهائی است.

شکست و واماندگی

در فرایند صحه‌گذاری یک محصول از واژهٔ شکست و واماندگی زیاد استفاده می‌شود. در ادبیات صحه‌گذاری برای واماندگی تعاریف مختلفی وجود دارد:

- رخدادی که در آن محصول مورد نظر یا قطعه نتواند انتظارات و نیازمندهای مشتری را جوابگو باشد، واماندگی نامیده می‌شود. منظور از مشتری، هر گروهی است که در فرایند توسعهٔ محصول مسئول باشد. (طراحی، همبندی، فرایند تولید و بازرسی قبل از تحویل نهائی و خریدار محصول نهائی)

[1] GEN2
[2] Durability
[3] Reliable
[4] Design Validation Plan (DVP)

- رخدادی که به دلیل وجود مغایرت بین اهداف طراح و نتایج حاصل، نشان دهندهٔ لزوم بهبود در طرح باشد، واماندگی نامیده می‌شود.

شکست یا خرابی‌های ناشی از بارهای گرمایی–مکانیکی، فرسودگی و رسوب، به طراحی و محدودیت‌های آن وابسته است. سایش، خراش و الگوهای سایش غیرمعمول و رنگ رفتگی از نشانه‌های مشکلات شدید دوام است.

حالات خرابی

حالتی که در آن قطعه یا مجموعه‌ای نتواند وظیفهٔ مورد نظر خود را بر اساس اهداف از پیش تعیین تعریف شده برآورده سازد، حالت خرابی[1] نامیده می‌شود. طبق تعاریف استاندارد در مراجع سند "حالت شکست بالقوهٔ خرابی در طراحی و تحلیل اثر[2]" منظور از حالات خرابی آن دسته از حالات قطعه یا سامانه است که منجر به بروز نارضایتی نزد مشتری می‌شود و در آن شرایط قطعه نمی‌تواند وظیفهٔ خود را به طور صحیح یا مطلوب انجام دهد.

به عبارت دیگر، به حالاتی که قطعه دچار تغییر وضعیت نسبت به شرایط اولیهٔ طراحی خود شده باشد، حالات خرابی گفته می‌شود. ممکن است در چنین شرایطی قطعه در معرض خطر و پر خطر کردن شرایط کاری مجموعهٔ پیرامون خود قرار گیرد. شایان ذکر است که حالات خرابی متأثر از بازار هدف برای فروش محصول و شرایط مرزی کارکرد موتور است. بر اساس مراجع مختلفی که وجود دارد[3] برای هر قطعهٔ موتوری، حالات خرابی استانداردی را گروه صحه‌گذاری شناسائی و در تدوین برنامه آزمون‌ها به آن توجه می‌کند.

سازوکارهای شکست

استفاده از طرح‌های کاربردی و الگوهای فیزیک شکست، بیشتر مورد علاقه مهندسانی است که به دنبال شناخت سازوکارهای اساسی شکست اند. جدول ۹–۱، مثال‌هایی را برای سازوکارهای شکست و الگوهای وابسته به آن نشان می‌دهد.

[1] Failure mode
[2] Design failure mode and effect analysis (DFMEA)
[3] ASTM G40-2, ASM

جدول ۹-۱- مثال‌هایی برای سازوکارهای شکست و الگوهای وابسته به آن

مثال	عملکرد/ استاندارد قابلیت اطمینان	سازوکار شکست
بارگذاری چرخه‌ای	الگوی خرابی تجمعی و یا گسترش ترک/ الگوی تمرکز تنش در نواحی حساس تغییر در چکش خوری و سایر خصوصیات مواد در طول زمان/ عملکرد	شکست (کاهش استحکام) ناشی از ارتعاشات خوردگی و دمای خنک (خستگی ترد)، دمای چرخهٔ یک، تمرکز بارگذاری
تغییر ناگهانی خواص ماده	از دست رفتن خواص ماده برخلاف الگوی طراحی	تنش اتفاقی یا شکست مبتنی بر ضعف طراحی
شکست در چرخ دنده‌ها	خرابی تجمعی	اصطکاک سایش بیش از اندازه
شکست برقی	افزایش مقاومت در مدارهای برقی	آلودگی ناشی از گرد و خاک و سایر منابع محیطی
رنگ هر سطح رنگ شده	در معرض اشعهٔ ماوراء بنفش تجمعی	محو شوندگی ظاهر
از دست رفتن خواص ماده	تغییر شکل تجمعی تحت تنش ثابت در مواد چندضخامتی	خزش
سوختگی، کنده شدن	اندازه‌گیری اکسایش	خوردگی
از دست رفتن عملکرد	نابودی فنریت و یا نیروی فشاری تحت تنش ثابت	رهایی تنش

سند حالات خرابی طراحی و تحلیل اثرات

سند حالات خرابی طراحی و تحلیل اثرات یکی از اسناد مهم طراحی است که در ابتدای طرح تدوین می‌شود و به عنوان یکی از خروجی‌های مرحلهٔ طراحی مفهومی درون گروه توسعهٔ محصول منتشر می‌شود. این سند تا چند سال از زمان تولید انبوه، می‌تواند بازنگری و اصلاح شود. سند حالات خرابی طراحی و تحلیل اثرات یکی از مهمترین اسناد دانشی طراحان است که به آسیب شناسی حالات مختلف خرابی موتور از سطح سامانه تا سطح قطعه در مراحل مختلف طراحی، محاسبات مهندسی و صحه‌گذاری می‌پردازد و اثرات آنها را به‌طور پیشاپیش با ابزارهای تشخیص مختلف در مراحل توسعهٔ محصول تحلیل می‌کند. از مهمترین مراجع وابسته به DFMEA استاندارد SAE J 1739 است. مهمترین خروجی قابل بررسی در سند حالات خرابی طراحی و تحلیل اثرات "عدد اولویت خطر[1] یا خطرناکی"

[1] Risk Priority Number (RPN)

است که باید کاهش داده شود. عدد اولویت خطر از حاصلضرب سه عدد "شدت[1]"، "وقوع[2]" و "تشخیص[3]" بدست می‌آید.

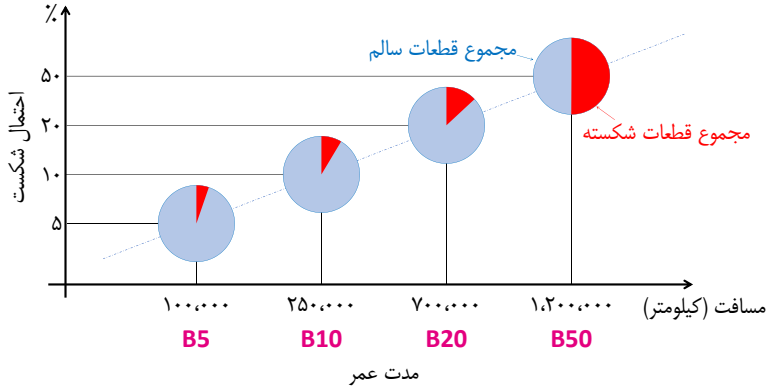
دوام موتور

منظور از "دوام" موتور، ظرفیت آن برای رسیدن به طول عمر مورد نظر است. عامل محدود کنندهٔ طول عمر در موتورها هنگام طراحی بهینه، سایش قطعات است. به عبارت دیگر، قطعات داخلی آن باید نسبت به سایش زود هنگام در حین دوام مقاوم باشند. موتور دیزل سواری باید بتواند از نظر عمر (شروع خرابی قطعات اصلی) همچون دیگر موتورهای خودروهای سواری، دوام داشته باشد. در ادامه تعریف دقیق‌تری از عمر موتور ارائه می‌شود که بتوان مفهومی مانند دوام موتور و عمر آن را با مفاهیم کمی و عددی بیان کرد.

طول عمر موتور

با توافقی که در صنعت خودروسازی شده است، طول عمر موتور، مدت زمانی است که قطعات اصلی متحرک آن همانند میل‌لنگ، یاتاقان‌ها، سمبه‌ها، شیار حلقه‌ها، استوانه و مجموعهٔ میل‌بادامک در اثر سایش و خارج شدن از محدودهٔ مجاز طراحی نیاز به تعویض پیدا می‌کنند. سایش بیش از حد این قطعات موجب ایجاد اثرات و علائمی مانند افزایش شار نشتی گازهای محفظهٔ لنگ، افزایش مصرف روغن، کاهش سطح روغن، افت فشار روغن و افت توان موتور می‌شود. طول عمر موتور بر اساس توافق انجام شده با اعداد B۱۰ یا B۵۰ تعریف می‌شوند. مفهوم B۵۰ برای موتورهای سواری و سبک معرف دوام موتور است. برای چنین موتورهائی مفهوم وابستهٔ B۱۰ برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان آنها در پیمایش‌های بیشتر استفاده می‌شود. برای موتورهای سنگین که کارکردهای طولانی دارند، مفهوم B۵۰ معرف قابلیت اطمینان موتور است. شکل ۹–۱، مفهوم عدد B۱۰ و B۵۰ را بر حسب احتمال خرابی قطعات نشان می‌دهد:

[1] Severity (S)
[2] Occurrence (O)
[3] Detection (D)



شکل ۹-۱- مدت عمر موتور بر حسب مسافت و احتمال شکست

مشکلات پیش رو برای دوام و عمر موتور

به طور کلی تمام مشکلات دوام ناشی از چهار دلیل می‌تواند باشد:

۱ت بارگذاری: بارهای ایستا، پویا و ضربه‌ای ناشی از نیروهای مکانیکی یا گرمایی

۲- طراحی ساختاری اجزا: عیوب طراحی، خطاهای طراح، حالات دیده نشده

۳- مواد: ساختار شیمیایی، فرایند تولید، کیفیت ریزساختار، کیفیت سطح و نگهداری

۴- تولید: روش‌های تولید، همبندی و انتقال

بایدها و قواعد طراحی مقدار دوام

متغیرهای کارایی موتور در طراحی سامانه به نیروی بارگذاری وابسته است و باعث قیدها و محدودیت‌هایی برای طراحی مقدار دوام می‌شود. مهم‌ترین قیود طراحی دوام در جدول ۹-۲ نشان داده شده است:

جدول ۹-۲- متغیرهای عملکرد سامانه برای طراحی دوام سامانه

محدودیت مورد نظر	سامانه یا قطعهٔ وابسته
گشتاور ترمزی موتور:	زنجیرهٔ انتقال قدرت
سرعت متوسط سمبه:	همبندی سمبه، سامانهٔ دریچه‌ها، میل‌لنگ و دسته سمبه، یاتاقان‌ها
فشار بیشینهٔ استوانه:	بستار، همبندی سمبه، میل‌لنگ و دسته سمبه، یاتاقان‌ها، محفظهٔ لنگ
دمای فشار بیشینه:	بستار، همبندی سمبه، سامانهٔ دریچه‌ها، پاشش سوخت
دما و فشار چندراههٔ خروجی:	چندراههٔ خروجی، گردا، سامانهٔ بازخورانی گازهای لنگ
دمای هوای خروجی تنجار:	سامانهٔ خنک‌کن هوای تهویه
نسبت فشار تنجار و سرعت دورانی گردا:	گردا
دفع گرما و دمای سیال خنک‌کن خروجی از موتور:	بستار، همبندی سمبه
دمای گاز خنک‌کن سامانهٔ تهویه:	همبندی سمبه، سامانهٔ بازخورانی گازهای لنگ، سامانهٔ خنک‌کن هوای تهویه
انرژی جنبشی برخورد سمبه:	دیوارهٔ استوانه
بارگذاری سامانهٔ دریچه‌ها:	سامانهٔ دریچه‌ها، یاتاقان‌ها
بارگذاری دودهٔ خروجی موتور:	چندراههٔ ورودی، سامانهٔ پس از احتراق
درصد دودهٔ روغن:	همبندی سمبه، سامانهٔ دریچه‌ها، میل‌لنگ و دسته سمبه، یاتاقان‌ها

مشکل اصلی مهندسان طراح در طراحی مراحل تولید، محاسبهٔ متغیرهای مقدار نیروی منطقی وارد شده یا قیدهای لازم برای رسیدن به کارایی مورد نظر است. به منظور بهینه کردن سامانه مهندسانی که وظیفهٔ آنها بهبود کارایی سامانه است نیاز دارند نقشه‌ای داشته باشندکه درآن مقدار دوام برحسب تابعی از نیروهای وارد شده یا قیدهای طراحی مشخص شده باشد. این نقشه باید شامل متغیرهایی باشد که شامل متغیرهای طراحی و مواد باشد. به طور مشابه باید این رویه را برای بدست آوردن قیمت مناسب و همبندی اجزا تکرار کرد تا بتوان همهٔ متغیرها را در کنار هم جمع کرد. به منظور دستیابی به این نقشه باید متغیرهای سامانه بر پایهٔ داده‌های تجربی با داده‌های عددی شبیه‌سازی شود تا بتوان به نتیجه مطلوب رسید. اگر دوام از پیش تعیین شده به قدر کافی دقیق نباشد که بتواند راضی کننده و در محدودهٔ مجاز باشد، نمی‌توان به کارایی مطلوب و مورد انتظار رسید.

دوام و قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان، احتمال خرابی هر موضوعی را مانند دوام، کارایی، همبندی یا تولید، در زمانی که محصول در حال کار است مشخص می‌کند. احتمال خرابی می‌تواند به دلیل تنوع در تولید انبوه محصولات یا تغییرات محیطی، تغییر کند. دوام یکی از ویژگی‌های محصول است که پایداری سامانه را نشان می‌دهد. اگر محصولی بدرستی کار نکند این مشکل ناشی از کیفیت آن است. اگر محصول بدرستی کار کند ولی در مدت زمان کمی خراب شود این مشکل ناشی از عدم قابلیت اطمینان آن است.

قابلیت اطمینان می‌تواند با استفاده از داده‌های ناشی از استفادهٔ مشتریان از محصول و/یا داده‌های ناشی از توسعه و آزمایش محصول باشد. دوام روی چگونگی حل مشکلات در مرحلهٔ طراحی تمرکز می‌کند، در حالی که قابلیت اطمینان روی شمارش تعداد مشکلات و معایبی تمرکز می‌کند که در طول کار محصول و بعد از مرحلهٔ توسعه دوام است. برای مثال اگر قرار بر آن باشد که طراحی یک سنبه به منظور جلوگیری از ترکیدن آن عوض شود به این کار، کار روی دوام می‌گویند. ولی اگر تمرکز روی آن باشد که نرخ خرابی سنبه‌ها در تعداد تولید محصول، با استفاده‌های مختلف مشتریان گوناگون در طول مسیر مشخصی باشد، این کار به قابلیت اطمینان برمی‌گردد. استفاده از ضریب اطمینان برای رسیدن به هدف در دوام، مطلوب است درحالی که بیان احتمال برای دستیابی به هدف در قابلیت اطمینان، مطلوب است.

آزمون عمر شتاب یافته

آزمون عمر شتاب‌یافته[1] در بررسی دوام و قابلیت اطمینان محصول، باعث رشد و وقوع سریع خرابی‌ها می‌شود تا طراح بتواند مقدار دوام و قابلیت اطمینان را سریع‌تر محاسبه کند. هدف آزمون آزمایشگاهی تسریع شدهٔ مهار شده، رسیدن به نتایجی است که هنگام استفاده به طور واقعی بدست می‌آید با این تفاوت که زمان و هزینه، بسیار کاهش می‌یابد.

در این آزمون ترکیبی از چند نوع تنش تقویت شده و انواع نیروها به سامانه وارد می‌شود و باعث می‌شود که خرابی‌های چندگانه و در زمان‌های مختلف اتفاق می‌افتد. به این نکته باید توجه کرد که به طور کلی با افزایش بیشتر سرعت، داده‌های بدست آمده از حالت واقعی دورتر می‌شوند. در این گونه سامانه‌ها تلاش می‌شود تا بتوان معادله‌ای بین داده‌های آزمایشگاهی و واقعیت پیدا کرد. به همین دلیل برای اصلاح این داده‌ها از عواملی استفاده می‌شود که با مداخلهٔ آنها در داده‌ها، این اطلاعات به داده‌های ناشی از حالت واقعی نزدیک‌تر می‌شود.

آزمون دوام موتور

آزمون دوام موتور بسیار کار توسعه‌پذیر مهمی است که بعد از تولید نمونه‌های اولیه انجام می‌شود. هر تولیدکنندهٔ موتور، آزمون دوام مخصوص خود را بر پایهٔ تجربیات خود انجام می‌دهد. آزمون دوام به موتور و اجزای آن اجازه می‌دهد تا به طور مناسبی زیر بارگذاری مکانیکی و گرمایی شدید در طول تعداد مناسبی چرخهٔ خستگی برود. (چند صد ساعت) آزمون دوام بسته به نوع موتور فرق می‌کند. آزمونی که معمولاً برای دوام انجام می‌شود شامل آزمون زیر بار کامل در آزمایشگاه، سوخت دهی اضافی، چرخه‌های بارگذاری و ... است. یکی از انواع آزمون، آزمون ضربهٔ گرمایی شدید است. در این آزمون تغییرات دما شدید است. توجه شود که بسیاری از آزمایش‌های دوام با توجه به چرخه‌های پیشنهاد شدهٔ ارزیابی لحظه‌ای زیست محیطی[2] است.

موتورهای دیزل جدید به سامانهٔ بازخورانی دود مجهز شده‌اند که همراه با تنظیم‌کننده‌های بسیاری است به همین دلیل نیاز است تا چرخه‌های طولانی مدتی برای آزمایش آنها تعریف شود. این نکته حائز اهمیت است که فشار حداکثر الزاماً در بارگذاری یا قدرت حداکثر اتفاق نمی‌افتد مانند نمونهٔ بارگذاری گرمایی که ممکن است در گشتاور حداکثر به جای قدرت حداکثر اتفاق بیفتد. نکتهٔ مهم دیگر آن است که بتوان اتصال دقیقی بین چرخهٔ آزمایش لگام ترمز موتور و استفاده در شرایط واقعی پیدا کرد تا بتوان بدرستی طراحی را انجام داد. به منظور کاهش زمان آزمون دوام شرایط کاری را در آزمایشگاه شدت می‌بخشند تا سرعت خستگی و سایش افزایش یابد. این کار را با افزایش سرعت موتور، افزایش بارگذاری یا افزایش تعداد چرخه‌های بارگذاری انجام می‌دهند.

[1] Accelerated Life Test (ALT)
[2] Ecological Momentary Assessment (EMA)

در آزمایش وسیلهٔ نقلیه نیاز است تا داده‌های ناشی از متغیرهای مهمی مانند سرعت وسیلهٔ نقلیه، مصرف سوخت، مصرف روغن، سرعت موتور یا گشتاور آن و شتاب برداشته شود و به منظور تحلیل‌های بعدی ذخیره شوند. آزمایش تک تک اجزا و تحلیل موادی و تحلیل روغن موتور نیز از متغیرهای مهم است برای تأیید طراحی انجام شده متناسب با انتخاب مواد و سایش و قابلیت اطمینان. تطبیق دادن این سه گروه داده به منظور پیش‌بینی قابلیت اطمینان بسیار مهم است:

۱. پیش‌بینی مقدار دوام و عمر موتور

۲. پیش‌بینی قابلیت اطمینان موتور

۳. داده‌های قابلیت اطمینان ناشی از استفادهٔ مشتریان

تحلیل دوام سامانه در طراحی موتور

در سامانه‌ای که ورودی آن نیروها باشند برای تحلیل آن سامانه باید تک تک اجزای آن بررسی شود تا:

۱. اندازهٔ اولیه ساختار مشخص شود.

۲. مقاومت ساختار در برابر تنش مشخص شود.

۳. کرنش اجزای اصلی سامانه معلوم شود.

۴. بتوان مقدار دوام و قابلیت اطمینان سامانه را مشخص کرد و کمکی باشد در تعیین قیدهای طراحی و محاسبهٔ مقدار دوام سامانه.

به طور عادی محاسبهٔ مقدار دوام سامانه نیاز به تحلیل کامل به وسیلهٔ اجزاء محدود ندارد. بنابراین جزئیات پیچیدگی هندسی و تمرکز نیروها در نظر گرفته نمی‌شود. تحلیل کردن برای دو هدف انجام می‌شود:

۱. نزدیک شدن به هدف اصلی سامانه با در نظر گرفتن ضریب اطمینان

۲. نزدیک شدن به هدف احتمالی به همراه در نظر گرفتن مفهوم قابلیت اطمینان یا شدت خرابی

نشان دادن مقدار دوام سامانه، نیازمند توسعهٔ سریع و ساده الگوهایی است که بتواند جایگزین طرح کامل اجزاء محدود شود. در تحلیل الگو نباید فقط متغیرهای اسمی مانند خواص مواد در نظر گرفته شود بلکه متغیرهای احتمالی مانند تغییر نیرو و تغییر در خواص ماده که امکان دارد رخ بدهد، باید در طراحی در نظر گرفته شود.

ضربهٔ گرمایی

ضربهٔ گرمایی ناشی از فرآیندی است که درآن اجزا به یک باره تحت تغییر تنش و کرنش گرمایی زیادی قرار می‌گیرند. دلیل آن، تغییرات شدید دمایی ناگهانی در اجزا است. ضربهٔ گرمایی باعث ایجاد تَرَک در قطعه می‌شود. تنش‌هایی که به دلیل ضربهٔ گرمایی در اجزا ایجاد می‌شوند از تنش‌های معمولی در چرخه‌های بارگذاری بیشتر می‌باشند و حتی گاهی اوقات از تنش حد نهایی هم بیشتر می‌شوند. ضربهٔ گرمایی در حقیقت کم‌بسامد بسیار شدید است. مبنای محاسبات برای خرابی می‌تواند تنش یا کرنش باشد ولی کرنش مناسب‌تر است.

خرابی‌های گرمایی – مکانیکی موتور دیزل

یکی از ریشه‌های اصلی خرابی در قطعات موتور، خرابی‌های ناشی از پدیدهٔ نیروهای ایجاد شده در اثر گرما و تغییرات شدید و سریع دما است. به این پدیده "خرابی‌های گرمایی‌ت مکانیکی" گویند. برای این نوع خرابی در موتور دیزل سواری می‌توان خستگی بستار و ترک‌های آن را مثال زد. این نوع خرابی‌ها مهمترین مشکلات در دوام بستار است. مقدار دوام بستار محدود به پدیدهٔ خستگی گرمایی–مکانیکی است. لذا آزمون‌های بستار موتور دیزل سواری به علت فشار قوی احتراق و تغییرات دما و انتقال گرمای شدید، از جمله آزمون‌های بسیار جدی در زمان صحه‌گذاری موتور اند. هدف از این آزمون‌ها ثبت و مهار حداکثر مقدار دمای بستار و تغییرات گرمایی است. دو نوع علت اصلی برای خرابی بستار وجود دارد:

- نخستین علت: ترک‌های ناشی از خستگی پربسامد ناشی از فشار بارگذاری در طرف سرد بستار. به دلیل آن که موتورهای دیزل تحت فشار شدید درون استوانه کار می‌کنند، ترک‌ها در چرخهٔ پربسامد به طور متناوب ایجاد می‌شوند، به طور ویژه این ترک‌ها در ناحیه‌ای که آب در بستار وجود دارد رخ می‌دهند. تنش‌های کششی باقی ماندهٔ زیادی که ناشی از عملیات گرمایی بر روی قطعه است موجب ترک‌هایی در زیر ورودی محل آبگیری می‌شود. نیروهای ناشی از بستن پیچ روی بستار باعث ایجاد تغییر شکل و تنش‌های کششی در محل تَرَک می‌شود. نیروی ناشی از فشار گاز ناشی از احتراق و نیروی گرمایی، تنش کششی را افزایش می‌دهند. از یک استوانه تا استوانه دیگری مقدار تنش وارده می‌تواند بسیار متفاوت باشد چرا که توزیع دمایی از یک جزء تا جزء دیگر یکسان نیست. راه جلوگیری از ایجاد تَرَک، افزایش سختی خمشی در محل تَرَک است تا مقدار خمش را کاهش دهد و تنش‌های باقی‌مانده از عملیات گرمایی را می‌توان با بهتر انجام دادن عملیات گرمایی در طول فرآیند تولید کاهش داد.
- دومین علت: تَرَک ناشی از چرخهٔ کم‌بسامد در پی بارگذاری گرمایی. این بارگذاری گرمایی موجب کرنش موم‌سان زیادی در سمتی که گاز داغ وجود دارد، می‌شود. دمای ناحیهٔ بین دریچهٔ ورودی و خروجی سردتر از ناحیهٔ بین دو دریچهٔ خروجی است، به همین دلیل مادهٔ ناحیهٔ یادشده در چرخه‌های کم‌بسامد، به دلیل تغییرات

دمایی شدید زودتر تَرَک می‌خورد. خستگی گرمایی کم‌بسامد در این ناحیه محدودیتی را برای طراحی موتور در بارگذاری گرمایی ایجاد می‌کند. یکی از راه‌ها برای کم کردن خستگی کم‌بسامد گرمایی جلوگیری از افزایش دمای ماده تا نقطه‌ای است که در آنجا مقدار تنش تسلیم ماده رو به کاهش می‌گذارد.

پدیدهٔ سایش و فرسایش

سایش از بین رفتن مواد در طول زمان است. این پدیدهٔ مخرب، در بسیاری از قطعات موجب محدود شدن عمر آن قطعه می‌شود. اگرچه سایش موتور اغلب به صورت موضعی پدیدار می‌شود، این نکته باید در مراحل اولیه در طراحی موتور در نظر گرفته شود چراکه مدت زمان سایش به طور کامل به بارگذاری روی آن جزء بستگی دارد. یک مهندس طراح نیاز دارد تمام متغیرهای وابسته به سایش موتور را در نظر بگیرد و آن قدر ماهر باشد که بتواند با روش‌های شبیه‌سازی عمر سایش را تخمین بزند. به طور کلی چهار نوع از سایش در موتور وجود دارد: سایش چسبنده[1]، سایش ساینده[2]، سایش خورنده و سایش ضربه‌ای. سایش اجزای موتور معمولاً شامل سه مرحله می‌شود:

۱. زمان راه‌اندازی و شروع به کار موتور که شدیدتر است. دو علت برای سایش شدید در این زمان وجود دارد: نخست اینکه هنوز روغن به دمای مطلوب خود نرسیده است و دوم اینکه قطعات هنوز در اثر گرم شدن اندازه و ابعاد درست و مطلوب خود را برای طراحی نیافته‌اند تا رواداشت قطعات در بازهٔ مناسب قرار گیرد.

۲. حالت پایایی که در آن نرخ سایش در یک مقدار معمولی و ثابت نگه داری می‌شود. پایایی این حالت سایش به این دلیل است که دمای روغن و رواداشت میان قطعات تقریباً ثابت شده است.

۳. زمانی که نرخ سایش در آن بسیار شدید است و در انتها منجر به خرابی سامانه می‌شود. این حالت در زمانی رخ می‌دهد که عمر زیادی از موتور گذشته است و سایش‌های قبلی و کیفیت ضعیف روغن موجب ضعیف شدن سطح قطعه در مقابل سایش شده است.

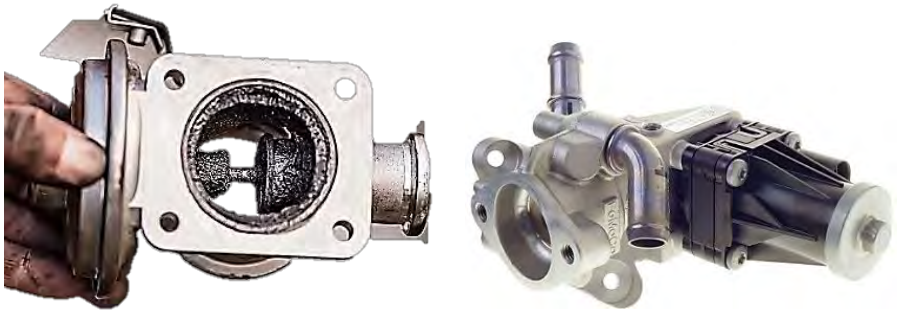
درخواست بررسی مشکل

حال اگر در اثر سایش یا هر علت دیگری در حین آزمون موتور، قطعه یا قطعاتی خراب شدند، مهندس صحه‌گذاری آزمون برای بررسی دقیقتر و مستندسازی مشکل برگه‌ای را به نام برگهٔ درخواست بررسی مشکل[3] صادر می‌کند. بسته به شدت و خطرناکی مشکل حتی ممکن است آزمون متوقف شود. در این حالت یا آزمون به

[1] Adhesive wear
[2] Abrasive wear
[3] Problem Investigation Request (PIR)

طور کامل رد می‌شود و آزمون شکست خورده اعلام می‌شود یا با مجوز مدیر طرح یا مهندس آزمون، قطعهٔ مشکلدار تعویض می‌شود و آزمون ادامه می‌یابد. در هر صورت طبق یک فرایند مشخص باید تمام برگه‌های درخواست بررسی مشکل در جلسات کارشناسان، بررسی و تحلیل و علت خرابی و مشکل ریشه‌یابی شوند. شایان ذکر است که برای تأیید نهایی تمام قطعات در گزارش نهایی صحه‌گذاری[1] کل موتور، باید تمام برگه‌های درخواست بررسی مشکل اصطلاحاً خاتمه‌یافته باشند. این بدین معنی است که از نظر کارشناسان ریشهٔ خرابی و راه حل جلوگیری از آن مشخص و ابلاغ شده است. در ادامه برای نمونه به مشکل پُرتکرار موتور دیزل یعنی گرفتگی شیر تنظیم بازخورانی گازهای خروجی اشاره می‌شود.

گرفتگی شیر تنظیم یکی از مشکلات اساسی در موتورهای دیزل جدید است. عوامل مهم در گرفتگی مسیر شیر شامل سرعت، جرم، زاویه، سختی، فشار بیشینهٔ استوانه و ترکیبات احتراق در گازهای خروجی اند. پژوهشگران دریافتند که مقدار گرفتگی با افزایش سرعت و نیز افزایش چرخه‌های بارگذاری افزایش می‌یابد. زاویهٔ بزرگتر شیر موجب بهبود جریان می‌شود اما ممکن است سبب افزایش چسبندگی شود. تصویر شیر تنظیم بازخورانی گازهای خروجی و گرفتگی لولهٔ آن در شکل ۹-۶، نشان داده شده است.



الف: شیر تنظیم بازخورانی گازهای خروجی ب: تصویر گرفتگی لولهٔ آن به عنوان یک حالت خرابی

شکل ۹-۶- سامانهٔ بازخورانی گازهای خروجی

۹-۳- قابلیت اطمینان موتور دیزل سواری

قابلیت اطمینان اجزا، زیر سامانه‌ها و سامانه‌ها می‌تواند با روش (آزمون پذیرش/رد) و (آزمون تا خرابی) تأیید شوند. آزمون پذیرش/رد به نام (آزمون دیو[2]) شناخته می‌شود. با روش آزمون قبول/رد توزیع خرابی و طول عمر

[1] Validation Conclusion Report (VCR)
[2] Dio test

سامانه در انتهای زمان آزمون نامشخص است. علاوه براین اندازهٔ نمونهٔ مورد نیاز معمولاً تا حد زیادی بزرگ است. در مقابل اگرچه مدت زمان زیادتری برای روش (آزمون تا خرابی) طول می‌کشد ولی می‌توان از نمونه‌هایی با اندازهٔ خیلی کوچکتر استفاده کرد (تا حدود پنجاه درصد کاهش حجم) و می‌توان اطلاعات نرخ خرابی به عنوان تابعی از زمان آزمون به منظور توزیع احتمالی قابلیت اطمینان سامانه‌های مختلف بررسی و مقایسه کرد. برای مثال نرخ خرابی را می‌توان با استفاده از توزیع وایبول شبیه‌سازی کرد. روش آزمون تا خرابی روشی مخرب برای رسیدن به نرخ خرابی است. هزینهٔ آزمون گران است و نیازمند تعداد زیادی نمونه برای رسیدن به داده‌های آماری است. با تعداد نمونهٔ کمتر و عدم اطمینان شدیدتر است. در این حالت شبیه‌سازی احتمالی می‌تواند به ارزیابی کمک کند.

ضریب اطمینان و حاشیهٔ امنیت

از روی تعریف می‌توان گفت ضریب اطمینان و حاشیهٔ امنیت می‌توانند مقادیر دلخواهی داشته باشند تا قابلیت اطمینان اجزای مکانیکی در مرحلهٔ طراحی فراهم شود. ضریب اطمینان میانگین با نسبت استحکام متوسط به تنش متوسط برابر است. ضریب اطمینان میانگین شاخص اندازه‌گیری خوبی برای امنیت است.

تخصیص قابلیت اطمینان و تأثیر آن روی هزینه

زمانی نیاز است که قابلیت اطمینانی را به سامانه تخصیص دهیم که قابلیت اطمینان پیش‌بینی شده یا طراحی شده برای سامانه مناسب نباشد یا وقتی که قابلیت اطمینان اجزای سامانه متعادل نباشند. تخصیص قابلیت اطمینان باعث می‌شود که سامانه به یک تعادل و حالت بهینه‌ای برسد. تخصیص قابلیت اطمینان کمک می‌کند تا از مراحل اولیهٔ سامانه برای قابلیت اطمینان مورد نظر طراحی بشود. کل هزینهٔ سامانه برابر مجموع هزینهٔ تک تک اجزای سامانه ا ست. به طور کلی هزینه با افزایش قابلیت اطمینان به طور نمایی افزایش می‌یابد. ایجاد تعادل بین هزینه و قابلیت اطمینان به‌و سیله تخصیص قابلیت اطمینان و بهینه سازی سامانه اتفاق می‌افتد. دو نوع روش برای تخصیص قابلیت اطمینان وجود دارد:

۱. قوی بودن قابلیت اطمینان هر جزء سامانه، می‌تواند باعث قوی شدن قابلیت اطمینان کلی سامانه شود.

۲. برای اجزایی که بهتر شدن قابلیت اطمینان آن‌ها هزینهٔ گرانی دارد، می‌توان تأثیر کمتری برای افزایش قابلیت اطمینان به آن‌ها داد.

برای این که هزینه به حداقل مقدار ممکن برسد، سعی می‌شود که قابلیت اطمینان هر جزء از سامانه به کمترین مقدار خود برسد تا از طراحی اضافه برای طول عمر جلوگیری شود و تعادلی بین طول عمر اجزای سامانه اعمال شود. برای رسیدن به این نوع بهینه‌سازی اول نیاز است تا معادلهٔ احتمال که بر پایهٔ زمان است برای

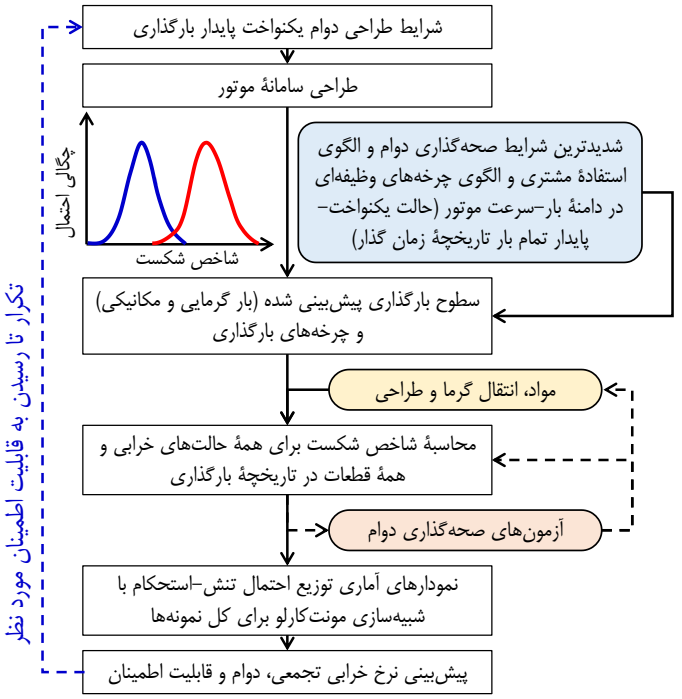
رسیدن به قابلیت اطمینانی که مدت زمان تا خرابی مورد نظر است، بدست آید. توجه شودکه الگوی قابلیت اطمینانی که بر پایهٔ زمان باشد (مانند تابع توزیع ویبول) معمولاً شامل متغیرهای طراحی موتور نمی‌شود. اگر روش محاسبهٔ قابلیت اطمینان رسیدن به قابلیت اطمینان از پیش فرض شده باشد معمولاً باید اجزاء را بازطراحی کرد.

روش طراحی برای قابلیت اطمینان در طراحی سامانه‌های موتور

نکاتی که برای بهینه سازی طراحی برای افزایش قابلیت اطمینان در موتور دیزل باید در نظر گرفته شود در ادامه آمده است.

- با پیوند کارایی موتور و آزمون دوام می‌توان داده‌های قابلیت اطمینان را به منظور کاهش زمان آزمون و پیش‌بینی دقیق‌تر قابلیت اطمینان استفاده کرد.
- ایجاد شبیه‌سازی احتمالی به منظور بررسی پیوستگی و حساسیت طراحی به قابلیت اطمینان.
- تغییر طراحی بر پایهٔ قابلیت اطمینان به کارایی و دوام با استفاده از بررسی احتمالات
- ایجاد قیدها و محدودیت‌هایی برای دوام در طراحی سامانه‌های موتور
- بهینه کردن قابلیت اطمینان سامانه‌های موتور

با استفاده از مقدار قابلیت اطمینان مورد نظر که از پیش هدف‌گذاری شده (مثلاً ۹۹٪)، محاسبهٔ مقدار مورد نیاز برای تداخل منحنی‌های خرابی بر حسب استحکام. مهندس طراح باید نیروها، استحکام و زمان عملکرد را برای رسیدن به قابلیت اطمینان مورد نظر بهینه کند. نیروی مورد نیاز به طور مستقیم روی دوام و قابلیت اطمینان تأثیر دارد. برای رسیدن به نتیجه نهایی ممکن است چندبار مراحل محاسبه تکرار شود. شکل ۹-۷، روش طراحی را برای قابلیت اطمینان در طراحی سامانه‌های موتور نشان می‌دهد.



شکل ۹–۷– روش طراحی برای قابلیت اطمینان در طراحی سامانه‌های موتور

دوام و قابلیت اطمینان دو مفهوم متفاوت اند، هرچند زمانی که حرف از احتمال خرابی زده شود این دو مفهوم بسیار به یکدیگر نزدیک می‌شوند. برای نمونه، مشخصات طول عمر دوام B۱۰ در طول یک میلیون مایل (یا معادل تعداد ساعت کاری موتور) نشان می‌دهد که در حدود ده درصد موتورها خراب می‌شوند. به طور معادل می‌توان گفت قابلیت اطمینان در حدود نود درصد است و یا احتمال خرابی در حدود ده درصد است. الگوی قابلیت اطمینان سامانهٔ موتور می‌تواند با استفاده از توزیع احتمالی متناسب با زمان است به صورت معادلهٔ ریاضی بیان شود.

٤-٩- فعالیت گروه صحه‌گذاری در موتور دیزل سواری

مرکز تحقیقات موتور ایران‌خودرو (شرکت ایپکو) بر ا ساس تجربه دانش فنی ک سب شده در طرح موتور ملی EF۷ و با همکاری شرکت‌های برجستهٔ مشاور اقدام به تدوین نقشهٔ راه تو سعهٔ موتور ملی دیزل سواری نمود. این نقشهٔ راه شامل سه مرحله بود:

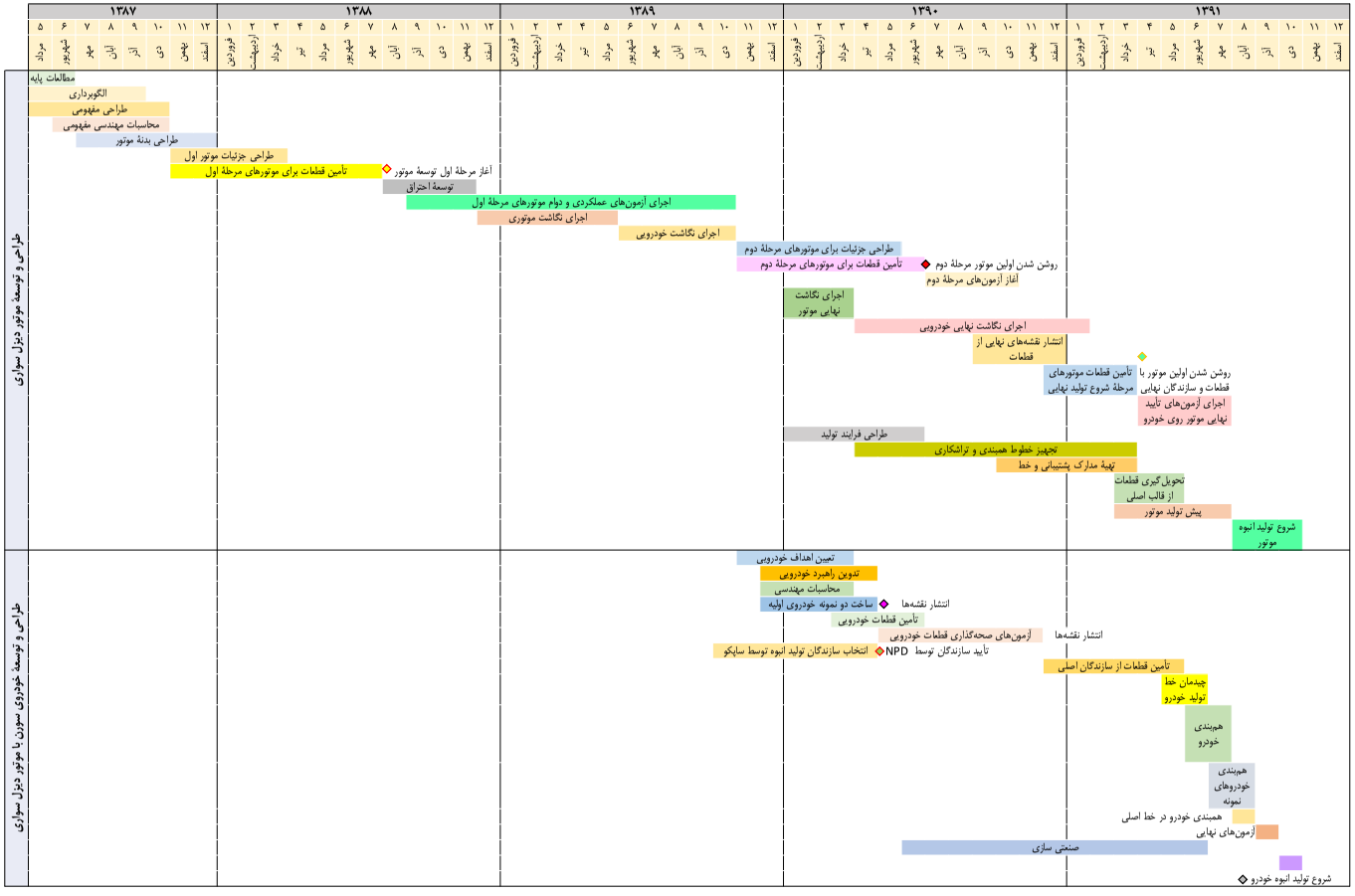
۱- مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (الف): مرحلهٔ طراحی مفهومی

۲- مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (ب): مرحلهٔ طراحی اصلی

۳- مرحلهٔ توسعهٔ صنعتی‌سازی و تولید انبوه

مرحلهٔ تو سعهٔ نسل ۱-الف با همکاری و مشاوره با شرکت AVL SCHRICK و حمایت مالی وزارت نفت انجام گردید. مرحلهٔ نسل ۱-ب با اتکا به توانایی داخلی و حمایت مالی مدیریت ارشد گروه صنعتی ایران‌خودرو انجام گرفت. مرحلهٔ تو سعهٔ صنعتی سازی و تولید انبوه به‌علت محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای، جایگزین مرحلهٔ نسل ۲ شده است.

جزییات زمانی هر یک از مراحل یادشده در نخستین سند برنامهٔ جامع طرح توسعهٔ موتور ملی دیزل در شکل ۹-۸ نشان داده شده ا ست. بر ا ساس این طرح جامع زمان‌بندی، مرحلهٔ نخست طراحی (نسل ۱-الف) به صورت موفقیت‌آمیزی پیش‌رفت و بیشتر آزمون‌های دوام با خرابی‌های کمی انجام شد. در این مرحله به صورت نمونه ۲۲ موتور و پنج د ستگاه خودرو ساخته شد و مرحلهٔ دوم و سوم تو سعهٔ این طرح طبق برنامهٔ زمانی باید تا اوا سط سال ۱۳۹۱ به اتمام می‌ر سید. شکل ۹-۸، برنامهٔ زمانی م صوب طرح تو سعهٔ موتور ملی دیزل سواری را در ابتدای طرح در سال ۱۳۸۷ نشان می‌دهد.



شکل ۹-۸- برنامهٔ زمانی مصوب طرح توسعهٔ موتور ملی دیزل سواری در ابتدای طرح در سال ۱۳۸۷

با اتمام مرحلهٔ نسل ۱ (الف) قرار شد برخی از سامانه‌ها و قطعات موتور که دچار مشکل بودند ، در مرحلهٔ بعدی توسعه تعیین تکلیف شوند. برای برخی از این مشکلات نیاز به استفاده از کمک مشاوران معتبر خارجی بود. فعالیت‌های مهمی همزمان با اتمام طرح در مرحلهٔ نسل ۱ (الف) در شرکت ایپکو صورت گرفت که به‌طور خلاصه عبارتند از:

- ساخت نمایش سه بُعدی اکثر قطعات و انتشار نقشهٔ مرحلهٔ A و فهرست همهٔ قطعات موتور همزمان با اتمام مرحلهٔ اول
- ارائهٔ گزارش صحه‌گذاری موتور در مرحلهٔ اول
- پیگیری علل خرابی‌ها برای بهبود قطعات و بسته شدن درخواست‌های گزارش‌های خرابی قطعات
- پیگیری وضعیت درجه‌بندی تخصصی قطعات از سازنده‌ها
- کاهش بخار محفظهٔ لنگ موتور با تعویض حلقهٔ سمبه
- ارائهٔ برنامهٔ صحه‌گذاری موتور در مرحلهٔ نسل ۱ (ب)، توسعهٔ آزمون‌های جدید و بهبود سطح تجهیزات در راستای توانمندسازی برای آزمون‌های جدید
- جمع‌بندی وضعیت کیفیت طراحی موتور برای بهبودهای احتمالی، همزمان با شروع طرح در مرحلهٔ نسل ۱ (ب)
- مکاتبه با سازنده‌های معتبر برای مشاوره و تأمین قطعات
- بهبود وضعیت زینه‌بندی موتور با اتکا به توان داخلی
- تهیهٔ برنامهٔ زمان‌بندی و هزینهٔ طرح در مرحلهٔ نسل ۱ (ب)
- بهبود وضعیت ارتعاشی موتور برای کاهش شکست نگهدارنده‌های جانبی
- طراحی و ساخت نمونهٔ سامانهٔ تهویهٔ گازهای محفظهٔ‌لنگ
- فعالیت‌هایی برای صنعتی‌سازی، مهندسی و تضمین کیفیت محصول
- تدوین سندهای مهم توسعهٔ محصول برای مستندسازی طرح
- مشاوره با برخی از سازندگان برای حل مشکل برخی از سامانه‌ها یا قطعات مشکل‌دار موتور
- استفاده از سازندهٔ جدید برای پرخوران در مرحلهٔ نسل ۱ (ب)
- تأمین قطعات ۴۰ دستگاه موتور برای مرحلهٔ نسل ۱ (ب)

در آغاز این فصل شرح داده شد که طرح توسعهٔ موتور ملی دیزل سواری یک بار دیگر در اوایل تابستان ۱۳۹۳ از طرف ایران‌خودرو پیگیری گردید. در این مرحله و همزمان با اجرای مرحلهٔ توسعهٔ نسل ۱ (ب)، مدیریت ارشد ایران‌خودرو به عنوان مشتری اصلی این طرح مطرح شد. برای یکپارچه سازی فرایند مدیریتی و تصمیم‌گیری، ساختار

زمانی با نظر مدیریت ارشـــد ایران‌خودرو (معاونت قوای محرکه) و همکاری همهٔ ســـازمان‌ها و گروه‌های مختلف ایران‌خودرو ایجاد شد.

شایان توضیح است که در حال حاضر برای توسعهٔ قوای محرکهٔ دیزل، گروه‌های متعددی با توجه به مسئولیت‌های مختلفشان درگیر این طرح ملی اند. مهمترین گروه‌ها عبارتند از: ایپکو برای طراحی موتور، مرکز تحقیقات ایران خودرو[1] برای طراحی خودرو، ساپکو برای تأمین قطعات و شناسایی سازندگان و مدیریت قوای محرکهٔ سواری سازی برای راه‌اندازی خطوط تولید. همزمان نیز بقیهٔ فرایندها مانند تهیهٔ استانداردها، مجوزها و کیفیت محصول در سازمان‌ها و گروه‌های مسئول شکل گرفت.

تا اواخر تابســـتان ۱۳۹۴ بیش از ۲۰ موتور برای آزمون‌های صـــحه‌گذاری وظیفه‌ای و دوام، هم‌بندی شـــد. همچنین ۸ خودرو برای آزمون‌های خودورییی با همکاری شرکت‌های ایپکو و مرکز تحقیقات خودرویی ایران‌خودرو ساخته و همبندی شد. در ابتدای شروع مرحلهٔ نسل ۱ (ب) و پیشرفت طرح و با شناسایی برخی از مشکلات، همزمان با تأمین بودجه مورد نیاز، قراردادهایی به منظور برون‌ســـپاری برخی از کارها و حل مشـــکلات طرح با مشـــلوران و پیمانکاران خارجی بســـته شـــد. از مهمترین این قراردادها، تکوین زینه‌بندی موتور به کمک شـــرکت بوش و بررســـی مشکلات خودرویی به کمک شرکت FEV است.

در شکل ۹-۹، نحوهٔ تعامل و کار در بین گروه‌های مختلف درگیر در طرح تو سعهٔ قوای محرکهٔ دیزل سواری نشـان داده شـده اسـت. در این نمودار روند همکاری شـرکت‌های اصـلی خارجی و مشـاوران همکار این طرح مانند BOSCH و FEV نشان داده شده که عبارتند از:

۱- IKCO: به عنوان مشـتری و مدیر اصـلی طرح، مسـئول صـنعتی‌سـازی و تولید انبوه قوای محرکهٔ دیزل سواری

۲- IPCO: طراحی موتور

۳- NPD: طراح خودرو

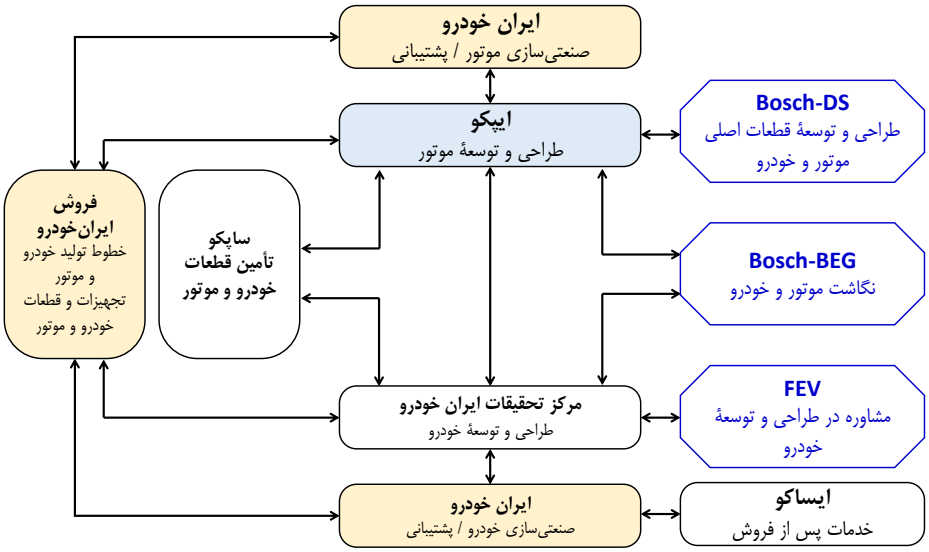
۴- SAPCO: شناسایی سازنده‌ها و تأمین قطعات

۵- ISACO: تأمین قطعات و خدمات پس از فروش

۶- BOSCH: تأمین قطعات مدیریت موتور و زینه‌بندی موتور

۷- FEV: مشاور طراحی خودرو

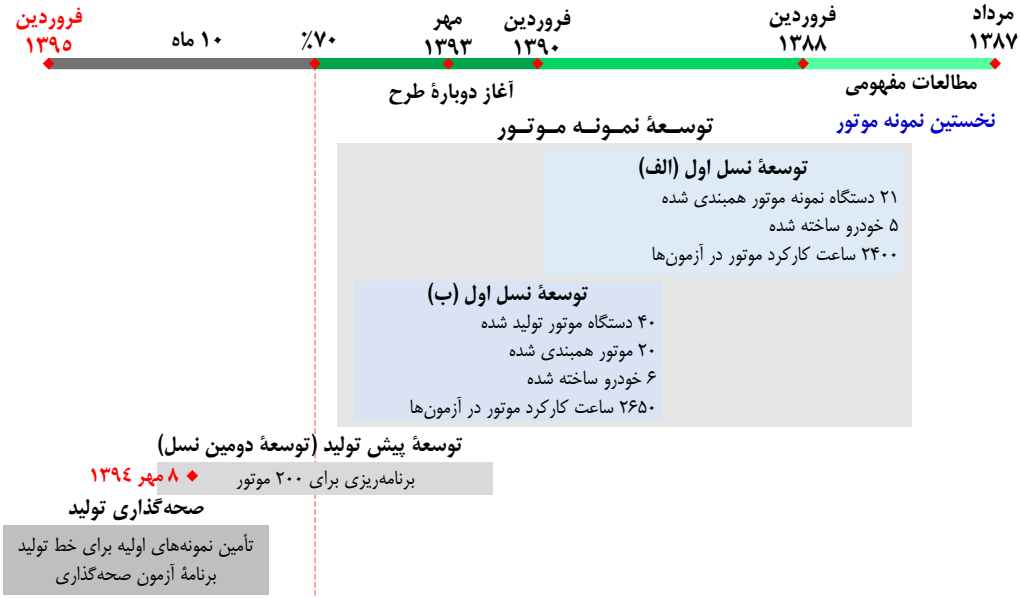
[1] Iran Khodro New Product Development (NPD)



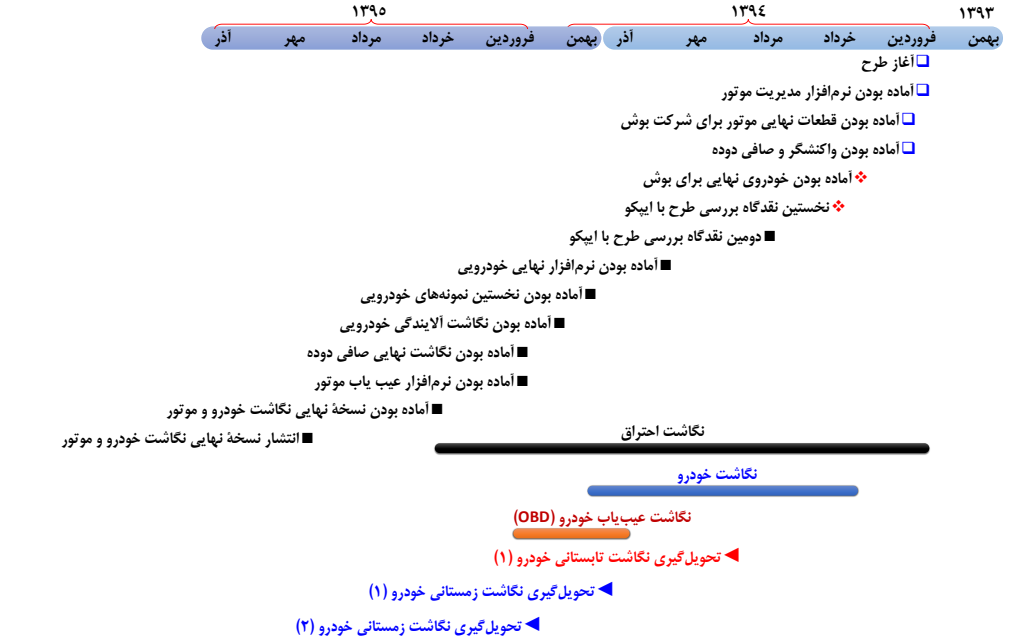
شکل ۹-۹- آخرین ساختار سازمانی مصوب طرح موتور ملی دیزل سواری در سطح ایران‌خودرو

برای ردیابی و تصمیم‌گیری جامع طرح، یکبار دیگر برنامهٔ زمان‌بندی و بودجه‌بندی طرح با واقعیت‌های موجود ویرایش و تهیه شـد. آخرین برنامهٔ زمان‌بندی طرح با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌ها و فعالیت‌های شـرکت‌های همکار در شکل ۹-۱۰ نشان داده شده است. بر اساس این برنامه ، تمامی آزمون‌های صحه‌گذاری باید تا فروردین ماه ۱۳۹۴ به اتمام برسد و سفارش گذاری برای خرید قطعات ۲۰۰ موتور و خودرو تا مهرماه همان سال به پایان برسد. بر اساس این برنامه، پایان سال ۱۳۹۴ به عنوان نقدگاه تحویل طرح به مشتری مطرح شده است.

همچنین شـرکت بوش طبق برنامهٔ زمان‌بندی ارائه شـده در طرح باید تا انتهای سـال ۱۳۹۴ اکثر فعالیت‌های زینه‌بندی موتور را برای تولید این محصول تحویل شرکت ایپکو دهد. در شکل ۹-۱۱ جزییات برنامهٔ زمانی شرکت بوش نشان داده شده است. طبق این برنامه ، زینه‌بندی موتور و خودرو دیزل سواری تا مهرماه ۱۳۹۵ تکمیل و نهایی می‌شود.



شکل ۹-۱۰- آخرین برنامهٔ زمان‌بندی مصوب طرح موتور ملی دیزل سواری در سطح ایران‌خودرو



شکل ۹-۱۱-آخرین برنامهٔ زمان‌بندی مصوب شرکت بوش برای زینه‌بندی موتور ملی دیزل سواری

۹-۵- مشخصات موتور ملی دیزل سواری در پایان صحه‌گذاری نسل اول

در جدول ۹-۳، مشخصات فنی موتور ملی دیزل ملی سواری بر اساس آخرین اطلاعات تأیید و صحه‌گذاری شدهٔ این موتور در مرحلهٔ نسل ۱ (ب) نشان داده شده است.

جدول ۹-۳- مشخصات فنی موتور دیزل ملی سواری در مرحلهٔ نسل ۱ (ب)

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
نوع موتور	دیزل	فشار بیشینهٔ استوانه	۱۶۵ بار
روش تغذیه	پرخوران	توان بیشینه	۹۰ کیلووات
تعداد استوانه	۴	سرعت در توان بیشینه	۴۰۰۰ د.د.د.
ترتیب استوانه‌ها	خطی	گشتاور بیشینه	۲۵۶ نیوتن‌متر
قطر استوانه	۷۶ میلی‌متر	سرعت در گشتاور بیشینه	۱۷۵۰ د.د.د.
طول پیمایش سمبه	۸۲٫۵ میلی‌متر	سرعت آرام (درجا)	۸۰۰ د.د.د
حجم موتور	۱۴۹۷ سانتی‌مترمکعب	سرعت بیشینهٔ مجاز	۴۵۰۰ د.د.د.
حجم موتور نامی	۱۵۰۰ سانتی‌مترمکعب	سرعت فرامُجاز	۴۵۰۰ د.د.د.
نسبت تراکم	۱۶٫۵	تعداد دریچه در هر استوانه	۴ عدد

مهمترین ویژگی‌های موتور ملی دیزل که در این طرح هدف گذاری شد عبارتند از:

- مجهز به پرخوران با سامانهٔ هندسهٔ متغیر (پرخوران هندسهٔ متغیر)
- مجهز به سامانه برگشت گازهای خروجی (بازخورانی دود)
- فشار پاشش سوخت ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ بار
- فشار محفظهٔ احتراق ۱۷۰ بار

- حد مجاز آلایندگی اروپا ۵
- مجهز به واکنشگر اکسیدکنندهٔ دیزل و صافی ذرات معلق
- توان و گشتاور قوی یعنی ۹۰ کیلووات و ۲۵۶ نیوتن‌متر
- مصرف سوخت شهری ۵ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر پیمایش
- توان و گشتاور قوی در دورهای کُند در چرخهٔ رانندگی شهری

۶-۹- روش استخراج برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری موتور دیزل سواری

یکی از بخش‌های مهم "برنامهٔ کلان کیفیت محصول[1]"، برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری مکانیکی آن است که مدیر صحه‌گذاری طرح تهیه می‌کند. این برنامه بر اساس پیکره‌بندی موتور و اندازهٔ طرح (طرح اصلاح موتور یا طراحی از پایه)، می‌تواند متغیر و متنوع باشد. طراحی برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری بر اساس اطلاعات مختلفی از جمله سطح تغییرات موتور، بازخوردهای فنی و احتمال خطرهای موجود در تولید، تجربیات گذشته در خصوص طراحی‌های بکار رفته در موتور، مشخصات بازار هدف و متعاقباً حالات خرابی قابل پیش‌بینی برای آن، طول عمر مورد نظر برای موتور و همچنین تجربهٔ گروه صحه‌گذاری انجام می‌گیرد.

برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری علاوه بر فهرست آزمون‌ها شامل هزینهٔ اجرا و منابع مورد نیاز (تعداد موتور و منابع آزمون و هزینه) است. این برنامه باید ضامن دوام و تحقق معیار قابلیت اطمینان پیش‌بینی شده برای محصول باشد. مهمترین مراجع برای طراحی برنامه آزمون‌های صحه‌گذاری، اسناد DFMEA طراحان قطعه و گروه طراحی ایپکو، کتاب صحه‌گذاری[2]، نتایج محاسبات مهندسی در طرح، الگوبرداری و بازخورد از خدمات پس از فروش محصولات گذشته در بازار است.

بر اساس شیوه نامهٔ "چگونگی تدوین برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری" به شمارهٔ IPL2W50410-01 برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری موتور به تفکیک مراحل توسعه و مستندات DFMEA گروه طراحی و طرح برنامهٔ صحه‌گذاری سازندگان و حالات خرابی در جدول‌های مشخص و جداگانه نوشته می‌شود.

بر اساس این شیوه‌نامه برای تدوین برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری محصول در طراحی موتور، قطعات موتور به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. گروه قطعات جدید[3]: شامل آن دسته از قطعاتی که خاص موتور نامبرده اند و به لحاظ صحه‌گذاری نیاز به ارزیابی دارند.

---

[1] Advanced Product Quality Plan (APQP)

[2] Validation Book (VABO)

[3] New (N Group parts)

۲. گروه قطعات قبلی[1]: قطعات گروه جدید شامل آن دسته از قطعات پرخطری می‌شوند که بر اساس گزارش نهایی صحه‌گذاری موتور پایه، دارای رتبهٔ "مرزی" در مرحلهٔ پیش تولید (انتشار نقشه در مرحلهٔ O، شروع تولید انبوه) بوده‌اند. منظور از موتور پایه، موتوری است که به عنوان مبنا برای طراحی یا بهبود در نظر گرفته می‌شود.

۳. گروه قطعات بازار[2]: شامل آن دسته از قطعات خطرناک اند که بر اساس گزارش تحلیل ایرادات خدمات پس از فروش موتور پایه یا طراحی‌های مورد نظر، خطر زیادی دارند.

به‌طور کلی موتور ملی دیزل دارای موتور پایه اولیه‌ای نیست که بتوان بر اساس آن قطعات خطرناک را مشخص کرد. بیش از ۶۵٪ قطعات موتور دیزل جزء گروه قطعات جدید است. با توجه به اینکه این محصول هنوز تولید نشده ، هیچ بازخوردی در مورد قطعات گروه بازار نمی‌توان داشت. با توجه به اینکه قطعاتی که از سایر موتورها استفاده شده جزء قطعات اصلی موتور نیستند عملاً گروه قطعات قبلی نیز نمی‌تواند در تدوین برنامهٔ صحه‌گذاری موتور دیزل ملی مورد توجه باشد.

برای استخراج برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری موتور ملی دیزل سعی شد بیشتر از حالات خرابی موجود در مستندات DFMEA استفاده شود و بر اساس شیوه‌نامهٔ "چگونگی تدوین برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری محصول" اقدام شود. در استخراج برنامهٔ آزمون‌ها از DFMEA بترتیب اولویت، ۵ رتبهٔ اول ضریب‌های خطرناکی و سپس، عددهای شدت[3] ۷ و بزرگتر از آن است. به این ترتیب که ابتدا خرابی‌های بالقوهٔ ۵ رتبهٔ اول DFMEA و آزمون‌های وابسته به آنها آورده می‌شود و سپس از خرابی‌های باقیمانده اگر عدد شدت بزرگتر از ۷ باشد، خرابی‌ها و آزمون‌های وابسته ذکر می‌شود (مفهوم امتیاز "شدت = ۷" آن است که شدت اثر خرابی زیاد و مشتری بسیار ناراضی است) و در غیر این صورت صرف‌نظر می‌گردد. با توجه به اینکه مستندات DFMEA در طرح ملی دیزل کامل نیست از سایر منابع نیز استفاده شد:

۱- تجربهٔ کارشناسان کلیدی

۲- مستندات DFMEA سایر طرح‌ها و سازنده‌های معتبر

۳- سند برنامهٔ آزمون‌های صحه‌گذاری و طرح کلی آزمون‌های مکانیکی[4] طرح دیزل

۴- مستندات صحه‌گذاری سایر طرح‌ها

۵- مخزن اطلاعاتی حالات خرابی و درخواست‌های بررسی مشکلات طرح در مرحلهٔ‌های گوناگون صحه‌گذاری

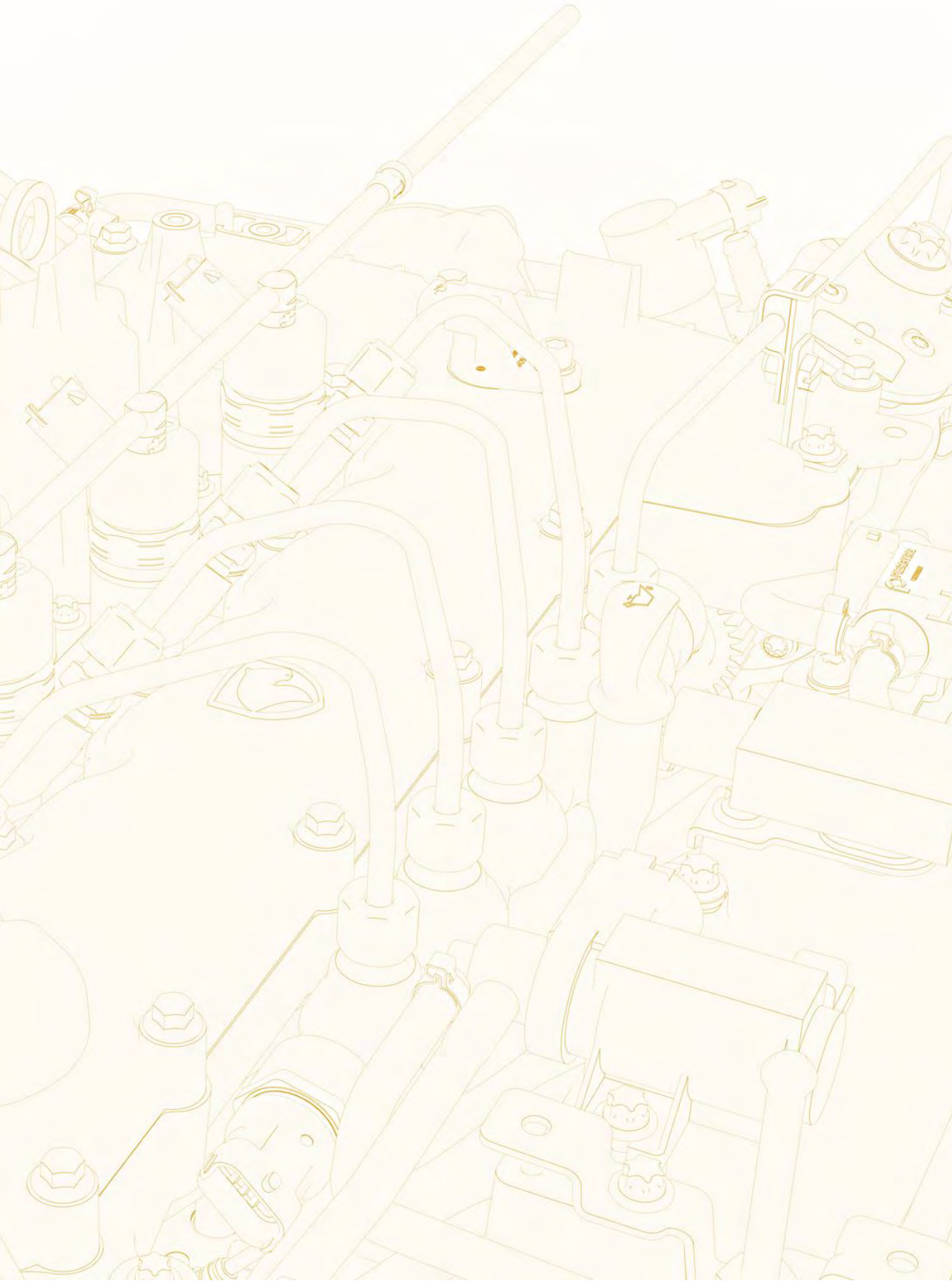
۶- کتاب صحه‌گذاری

[1] Carry over parts(C parts group)
[2] Market
[3] Severity
[4] Mechanical Testing Overview (MTO)

جدول ۹-۴، نمونه‌ای از حالات خرابی قابل بررسی را در آزمون دوام ارتعاشی ۲۵۰ ساعت نشان می‌دهد. این آزمون یکی از آزمون‌های برنامه‌ریزی شده در فرایند صحه‌گذاری موتور دیزل سواری است.

جدول ۹-۴- نمونه حالات خرابی قابل بررسی در آزمون دوام ارتعاشی ۲۵۰ ساعت

حالت خرابی مورد نظر	حالت خرابی مورد نظر
عدم تعادل میل‌لنگ	نشتی هوا از لایی چندراههٔ هوا
استحکام نامناسب سازهٔ اتصال موتور به خودرو	لهیدگی محل نشست افشانه در
استحکام نامناسب سازهٔ پایهٔ بالا برنده موتور	نشتی روغن از محل حلقهٔ روغنی تلمبهٔ سوخت
سر و صدای بستار در قسمت چندراههٔ هوا	نامناسب بودن قله‌های فشاری روغن در قاب نردبانی موتور
به هم خوردن خیز دریچه	پدیدهٔ حفره‌زایی در تلمبهٔ روغن



فصل دهم

تولید موتور

۱-۱۰- پیشگفتار

در سال ۱۳۸۸ پس از تجربهٔ طرح‌های قبلی شرکت در زمینهٔ طراحی فرایندهای تولید و نیز توسعهٔ خطوط تولید موتور، وقت آن بود که آن تجربه در سایر طرح‌های شرکت ایران خودرو نیز به کار روند.

تاریخچه و اهمیت موضوع: بخش طراحی فرایند تولید در قرارداد موتور ملی –که با همکاری شرکت FEV انجام شد–، حدود ۲۰ درصد از قرارداد اولیه را شامل می‌شد اما در پایان، با توجه به تجربه‌ای که در آن زمان در مدیریت مهندسی ایپکو در بخش نیرو محرکهٔ ایران خودرو به دست آمده بود، بخش طراحی فرایند تولید از قرارداد حذف گردید. به جای آن گروه "فرایند و محصول" در مدیریت مهندسی ایپکو به وجود آمد و در تعامل و همکاری نزدیک با مهندسی تولید نیرو محرکهٔ ایران خودرو، کل کار یادشده، انجام شد.

این تجربه، به طراحی خط موتور ملی منجر شد که هرچند مطلوب نهائی گروه طراحی خط و فرایند نبود اما با توجه به تنگناهای مالی ایران خودرو، تولید موتور ملی را با هزینهٔ ارزانتری در قیاس با سایر خطوط تولید موتور ایران خودرو، سامان داد. زمانی که طرح موتور دیزل به مرحلهٔ صنعتی‌سازی رسید، بیشتر از ۶ سال بود که بخش مهندسی فرایند و محصول معاونت نیرو محرکه در اختیار شرکت ایپکو بود و لذا تجربهٔ عملی و دانش کافی برای توسعهٔ خطوط و فرایندها در این گروه وجود داشت. چرا که در این سال‌ها، نه تنها در توسعهٔ فرایندهای تولید موتور ملی

که در سایر خطوط موتور ایران خودرو مانند تولید موتورهای OHVG[1] و XUM نیز طرح‌های موفقی اجرا شده بود. لذا مدیریت‌های ارشد شرکت بدون هیچ‌گونه تردیدی مسئولیت صنعتی‌سازی طرح را در اختیار کارگروه مشترک مهندسی ایپکو و مهندسی تولید نیرومحرکه نهادند.

۲-۱۰- نخستین گام: امکان‌سنجی تولید

نخستین گام در راه صنعتی‌سازی موتور دیزل سواری، امکان‌سنجی و نیازمندی‌های تولید این موتور در ایران خودرو بود. هرچند همهٔ فرایندهای تولید موتورهای بنزینی پیش از این شناخته شده بود اما تولید موتور دیزل سواری نه تنها در شرکت ایران خودرو، که در سایر شرکت‌های ایرانی نیز سابقه‌ای نداشت. لذا بازدیدهایی از خطوط مشابه در دنیا به عنوان بخشی از نخستین نیازمندی‌ها، مطرح شد. هرچند که به دلیل وضعیت خاص کشور هیچ گاه این امر محقق نشد، اما این امر موجب دلسردی نشد و پژوهش‌های امکان‌سنجی اولیه آغاز گردید.

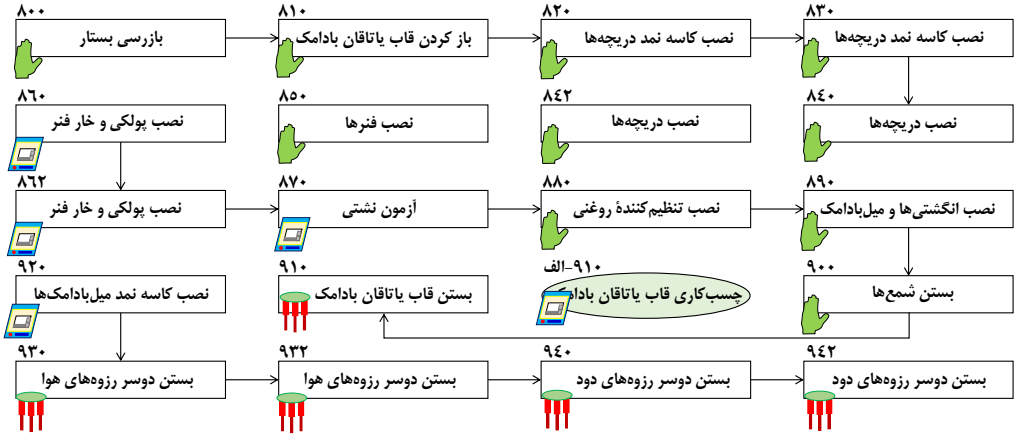
آشنائی با اجزاء موتور و روش‌های همبندی آن نیازی اساسی برای امکان‌سنجی تولید موتور است. به همین دلیل با شبیه‌سازی چینش متوالی قطعه‌های طراحی شده در نرم‌افزار Pro-Engineer و نیز مشاهدهٔ شیوهٔ همبندی کارگاهی موتورهای نمونه در کارگاه ایپکو، این نیاز تا حد قابل‌قبولی پاسخ داده شد.

این فعالیت‌های بسیار دقیق، جزئیات و مشکلات فرایند تولید را آشکار نمود. لذا به کمک آن برخی از مشکلات فرایندی در طراحی موتور اصلاح شد. به عنوان نمونه بیشتر از ۴۰ مشکل در فرایند تولید موتور شناسائی شد و در قالب درخواست بررسی مشکل و یا گزارش‌هایی مستقل منتشر شدند. تمامی این مشکلات در ادامهٔ پیشرفت طرح، بررسی و راهکارهایی برای آنها اندیشیده شد. نتیجهٔ پایانی کل این کار، فرایند چکیدهٔ اولیه‌ای است که در شکل ۱۰- ۱ تا شکل ۱۰- ۴ قابل مشاهده است.

شکل ۱۰- ۱- علائم و نشانه‌های بکار رفته در تصاویر آتی

[1] Over Head Valve (CNG fuel): OHVG

شکل ۱۰- ۲- چکیدهٔ چیدمان فرایند در خط نیم موتور



شکل ۱۰- ۳- چکیدهٔ چیدمان فرایند در خط بستار

شکل ۱۰- ۴- چکیدهٔ چیدمان فرایند در خط نهائی موتور

در شکل‌های گذشته، تنها بخشی از فعالیت امکان‌سنجی تولید محصول نشان داده شده است. سایر بخش‌ها همچون پژوهش‌های پشتیبانی، برآورد فضاهای مورد نیاز، بررسی تغییرات دستگاه‌های تولیدی و نیازسنجی دستگاه‌های تازه

و در پایان برآورد هزینه‌های صنعتی‌سازی و زمانبندی کار نیز باید در پژوهش‌های امکان‌سنجی تولید محصول در نظر گرفته شود. تمامی فعالیت‌های یادشده، اجرا شد و گزارش آنها منتشر گردید.

سرانجام بر پایهٔ بررسی‌ها، خط و کارگاه جدیدی برای تولید موتور دیزل در نظر گرفته شد. در ادامه به دلیل تحریم‌ها و مشکلات مالی در سال‌های آغازین پس از ۹۰ خورشیدی، فعالیت توسعهٔ موتور کند شد. بنابر این پس از پژوهشی فراگیر، مقرر شد تولید موتور دیزل با تجهیز خط موجود موتور ملی (شکل ۱۰– ۵) انجام شود. لذا برنامه‌ای برای توسعهٔ بیشتر این خط در ۲ مرحله تعریف شد و مرحلهٔ اول آن اجرائی گردید. شایان ذکر است که خط همبندی موتور ملی در ضلع جنوب شرقی مجموعهٔ موتورسازی شمارهٔ ۱ قرار گرفته است و مجموعاً حدود ۴۰۰۰ متر مربع مساحت دارد.

شکل ۱۰– ۵– مکان کارگاه تولید موتور ملی در ایران خودرو

۳-۱۰- شیوه‌نامهٔ همبندی موتور

تدوین شیوه‌نامهٔ همبندی[1] موتور، یکی از خروجی‌های اصلی در زمینهٔ مطالعات فرایند برای طرح موتور ملی بود که واحد صنعتی‌سازی ایپکو انجام داد. این فعالیت در سایر طرح‌ها همچون طرح OHVG نیز انجام گرفت، اما در طرح دیزل و پیرو گفتگو با شرکت AVL-SCHRICK، مقرر شد نسخهٔ اول را، آن شرکت تدوین کند. پس از نخستین تدوین، آن نسخه را گروه صنعتی‌سازی دقیقاً بررسی و چندین بار اصلاح کرد. در پایان با دریافت نمونه‌های ایجاد شده، شیوه‌نامهٔ همبندی موتور دیزل نوشته شد.

شایان ذکر است که در نخستین مراحل طرح، شیوه‌نامهٔ همبندی موتور در گروه همبندی موتورهای نمونه کاربرد دارد. با پیشرفت طرح، کاربرد این شیوه‌نامه در گروه صنعتی‌سازی است. گروه یاده شده از این شیوه‌نامه برای آموزش و آشنائی با مراحل همبندی موتور، طراحی چیدمان و فرایند خط همبندی و نیز سفارش‌گذاری ابزارهای مورد نیاز خط، استفاده می‌کند. در این شیوه‌نامه اطلاعاتی همچون شمارهٔ قطعات، نقشهٔ انفجاری و موقعیت هر قطعه روی موتور، تمامی گشتاورهای بستن پیچ‌ها، نکات مهم بستن قطعات و همچنین چیدمان‌های مهم در حین همبندی، برای هر سامانهٔ موتور به صورت تفصیلی گفته می‌شود. در شکل ۱۰-۶، نمونه‌ای از صفحات شیوه‌نامهٔ موتور دیزل سواری را مشاهده می‌کنید.

[1] Assembly manual

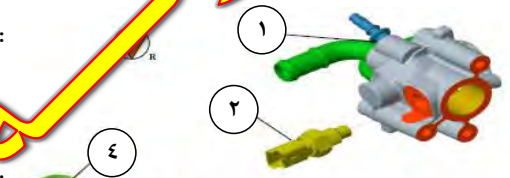
شیوه‌نامهٔ همبندی دستی EFD

۷. همبندی دمابان

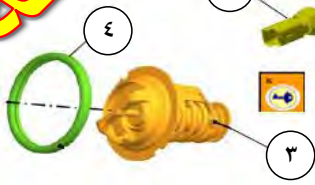
۷. ۱. پیش‌همبندی پایهٔ دمابان

شماره	شماره قطعه	شرح	توضیحات	تعداد
۱	IK۰۰۰۶۱۴۸۰	پایهٔ دمابان		۱
۲	K۹۱۴۵۶۱۲۲۸A	حسگر دمای آب	گشتاور: ۲±۲۰ N.m	۱
۳	IK۰۰۶۰۰۱۰۸	دمابان		۱
۴	K۹۱۴۵۶۳۰۴۸A	حلقهٔ آب‌بندی دمابان		۱
۵	IK۰۰۱۰۴۳۸۰	پوشش دمابان		۱
۶	K۷۹۰۳۰۱۳۰۵۷	پیچ پایهٔ دمابان (DIN ۳۴۸۰۱ ۱۰.۹ M۶×۸۰)	گشتاور: ۲±۲۰ N.m	۳

گام ۱ :



گام ۲ :



توجه: تفاوت دمابان EFD و EF۷:
دمابان EFD سوراخ ندارد

گام ۳ :

گروه صنعتی‌سازی صفحهٔ: ۸۱

شکل ۱۰– ۶– نمونهٔ صفحات کتابچهٔ همبندی موتور

٤-١٠- دومین گام: شناسایی آسیب‌های نهفتهٔ فرایند همبندی

دومین گام در مطالعات فرایند، شناسایی آسیب‌های نهفتهٔ فرایند[1] همبندی است. شناسایی حالات شکست فرایند و تحلیل اثرات[2]، برای طراحی کل فرایند، خط همبندی و حتی برای بازنگری طراحی سامانه‌ها و قطعات موتور راهنما است. این کار از بسیاری از هزینه‌های آتی بویژه در زمان افزایش بهبود کیفیت محصول، جلوگیری می‌کند. همفکری و کار گروهی بین همکاران در بخش‌های تولید، مهندسی و طراحی (بیشتر از ۲۰ نشست) در سال ۱۳۹۳، منجر به ارائهٔ ده‌ها بازخورد مفید برای راه‌اندازی خط و طراحی موتور شد. البته گزارش‌های ارزیابی حالات خرابی، با پیشرفت طرح و در مراحل مختلف، بازنگری و پی‌درپی به‌روزرسانی می‌شوند.

یکی از دستاوردهای ارزیابی فرایند، دستیابی به فهرستی از قطعات است که ممکن است با قطعات موتور ملی مخلوط یا اشتباه شوند زیرا خط تولید موتور دیزل سواری با سایر موتورهای خانوادهٔ موتور ملی یکسان است. به همین علت برای جلوگیری از خطر مخلوط شدن این قطعات، باید چاره‌ای اندیشید. همچنین نوع ابزارهای مورد نیاز در خط نیز بر پایهٔ ارزیابی فرایند و بایدهای کیفی، مشخص می‌شوند. در پایان نیز بر اساس ارزیابی حالات فرایند، نکته‌های ویژهٔ آموزشی برای کارگران خط تولید، شفاف و یا به صورت توصیه‌های کیفی در فرایندهای خط، اعلان می‌شوند. در جدول ۱۰-۱، نمونه‌ای از برگه‌های ارزیابی حالات خرابی فرایند همبندی موتور نشان داده شده است.

[1] Process risks
[2] Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA)

جدول ۱۰-۱- نمونه‌ای از ارزیابی حالات خرابی فرایند همبندی موتور

شرکت ایران خودرو (سهامی عام)	تاریخ: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳
تحلیل حالات نهفتهٔ خرابی فرایند و آثار آن (PFMEA)	ویرایش: ۰
نام محصول: موتور دیزل سواری	محل تولید: خط همبندی خانواده موتور ملی
تهیه‌کنندگان:	

عملیات	حالت نهفتهٔ خرابی	اثرات نهفتهٔ خرابی	شدت (S)	علت نهفتهٔ خرابی	وقوع (O)	پایش‌های جاری		تشخیص (D)	عدد اولویت خطر (RPN)	کارهای پیشنهادی	مسئول	خروجی کارهای پیشنهادی				
						پیشگیرانه	تشخیصی					کار اجرا شده	شدت	وقوع	تشخیص	عدد اولویت خطر (RPN)
همبندی میل بادامک‌ها	عدم همبندی میل بادامک‌ها با زمان‌بندی درست	برخورد سنبه با دریچه‌ها	۸	فقدان ابزار مناسب برای انتقال میل بادامک‌ها روی بستار	۷	بررسی شاخص‌های میل بادامک پس از همبندی آن	بازرسی زمان‌بندی میل‌بادامک‌ها در زمان همبندی تسمهٔ زمان‌بندی	۳	۱۶۸	۱- تهیهٔ ابزار مناسب برای بستن میل بادامک‌ها و همبندی روی بستار ۲- ایجاد شاخص برای بررسی زمان‌بندی میل بادامک هم بر روی چرخ تسمه‌ها و هم روی قاب که میل بادامک‌ها	مهندسی تولید و طراحی	اجرای کارهای پیشنهادی	۸	۳	۳	۷۲

شمارهٔ مدرک	تهیه‌کننده	تأئیدکننده	تصویب‌کننده	صفحه	از
	نام و نام خانوادگی	نام و نام خانوادگی	نام و نام خانوادگی		

۵-۱۰- موازنهٔ ایستگاه‌ها

زمان‌سنجی در مطالعات فرایند، پس از تدوین مراحل فرایند و لحاظ همهٔ فعالیت‌هایی که کارگران در خط همبندی باید به آنها عمل نمایند، انجام می‌گیرد. روش محاسبه: نخست همهٔ فعالیت‌ها فهرست می‌شوند و زمان لازم برای انجام دادن آنها به صورت عملی دقیقاً و بر حسب ثانیه ثبت می‌شوند. در این مرحله چون هنوز خط همبندی وجود ندارد، مهندس فرایند از زمان‌های مشابه در سایر خطوط استفاده می‌نماید و نتیجه با تقریب قابل قبولی، در عمل هم کاربردی خواهد بود. در این مرحله مهندس فرایند یک زمان کلی را برای مجموعهٔ کارهای همبندی دستی و خودکار تعیین می‌کند.

پس از ثبت همهٔ زمان‌ها و محاسبهٔ زمان کلی فعالیت‌ها در هر ایستگاه، هرجا که زمان مجموعهٔ فعالیت‌ها در یک ایستگاه از زمان کلی هدف خط بیشتر شود، مهندس فرایند، برخی از فعالیت‌ها را در بین ایستگاه‌ها جابجا می‌نماید تا مجموع زمان همهٔ فعالیت‌های خودکار و دستی در هر ایستگاه، کمتر از زمان هدف خط گردد.

٦-۱۰- فرایندهای همبندی

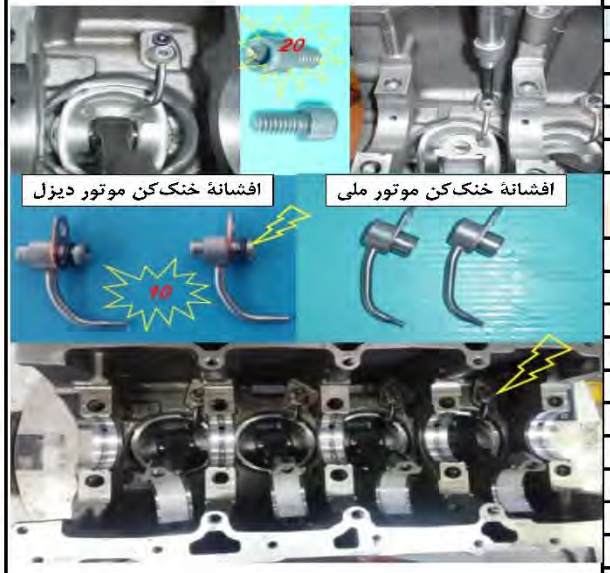
آخرین مرحله در فعالیت‌های فرایندی، تدوین فرایندهای همبندی است که به عنوان شیوه‌نامهٔ راهنمای کارگران خط روی پایه‌های مخصوصی در کارگاه همبندی نصب می‌شوند. این فرایندها و شیوه‌نامه‌ها آنقدر مهم اند که به عنوان مرجع محسوب می‌شوند و مجموع فرایند همبندی با آنها ارزیابی می‌شود. شکل ۱۰-۷، نمونهٔ شیوه‌نامهٔ یکی از ایستگاه‌های همبندی موتور دیزل سواری را نشان می‌دهد.

شرکت ایران خودرو برگهٔ فرایند همبندی و خود پایش	عملیات E/EFD/011	محصول: موتور دیزل نام خط: همبندی موتور ملی واحد: مهندسی فرایند-ایبکو	نوع: EFD شماره فنی: EFD00027080 واحد: معاونت نیرومحرکه	شماره: تاریخ:

مواد و قطعات

ردیف	قطعه	شماره فنی	شماره نقشه	ضریب	واحد
۱۰	افشانهٔ خنک‌کن	IK00325480		۴	ندارد
۱۰	پیچ افشانهٔ خنک‌کن (M۶*۱۰)	K7903014025		۴	ندارد

ملاحظات:



عملیات همبندی افشانهٔ خنک‌کن

ردیف	شرح عملیات	ابزار و تجهیزات	
		نوع	شمارهٔ شناسایی
۱۰	انتخاب دقیق افشانهٔ خنک‌کن موتور دیزل با توجه به حلقهٔ گرد آب‌بندی مطابق شکل	چشمی	
۲۰	روغنکاری حلقه‌های گرد افشانهٔ سوخت	ابر روغنی	
۳۰	همبندی ۴ عدد افشانهٔ سوخت روی بدنهٔ استوانه	دستی	
۴۰	سفت کردن پیچ‌های افشانه‌های روغن	پیچ‌گشتی	
۵۰	تنظیم گشتاور پیچ افشانهٔ روغن (۸-۱۲ N.m)	آچار برقی	EFELEC0004
۶۰	اطمینان از بستن همهٔ پیچ‌های افشانهٔ سوخت (چراغ سبز آچار)	چشمی	
۷۰	اطمینان از صحت اجرای کل عملیات با نظارت خود کارگر	چشمی	
۸۰	هرگونه ایراد، در برگهٔ موتور ثبت و به سرکارگر اطلاع داده شود. قطعهٔ معیوب از خط همبندی خارج گردد.	دستی	

راهکار جایگزین بستن: افشانهٔ خنک‌کن به وسیله آچار بادی (۰۵۵۰)

| شمارهٔ مدرک:
۱۵۱۲۶۰۰۰۰۲ | زمان کل فرایند (دقیقه):
زمان فرآیند (نفر- دقیقه):
نیروی انسانی (نفر): |

ویرایش	تاریخ	تهیه‌کننده	تأییدکننده	تصویب‌کننده
۰	۱۳۹۵/۰۸/۰۱			
			شماره:	۶۰۳۴۰۵/۱

شکل ۱۰- ۷- نمونهٔ شیوه نامهٔ یکی از ایستگاه‌های همبندی موتور دیزل سواری

اطلاعاتی بدین شرح در این فرایندها ارائه می‌شوند:

- عنوان عملیات و شمارهٔ آن
- شرح عملیات و فعالیت
- مواد و قطعات موتور که همبندی می‌شوند
- زمان استاندارد فعالیت
- ابزارهای قابل استفاده برای همبندی و شمارهٔ آنها
- تصاویر راهنما برای تشریح بهتر و راهنمایی بیشتر کارگران
- راهکار جایگزین (راهکار جایگزین عملیات مشابهی است که در صورت عدم امکان اجرای عملیات اصلی به دلیل مشکل دستگاه یا موضوع دیگری، به عنوان جایگزین انجام می‌شود. این راه کار به لحاظ کیفی یا مدت زمان با فرایند اصلی تفاوت خواهد داشت)

۷-۱۰- مرحلهٔ ۱: توسعهٔ کیفی خط همبندی

در این مرحله اکثر ابزارهای مورد نیاز برای همبندی موتور دیزل، سفارش‌گذاری می‌شود. انتخاب ابزارها بر اساس ارزیابی حالات خرابی فرایند صورت می‌گیرد. به این ترتیب که معیارهای کیفی، مهمترین شاخص اند و هرجا که مشکل کیفی وجود داشته باشد، نسبت به تأمین ابزار آن اقدام می‌شود. اما در جایی که سفارش ابزار برای افزایش تعداد تولید مورد نیاز باشد، برنامهٔ تأمین آن در مرحلهٔ ۲ در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱۰-۲، نام ابزارهای سفارش‌گذاری شده را برای مرحلهٔ نخست صنعتی‌سازی تولید موتور دیزل مشاهده می‌کنید.

جدول ۱۰-۲- نام ابزارهای سفارش‌گذاری شده برای مرحلهٔ نخست صنعتی‌سازی تولید موتور دیزل

عنوان عملیات	توضیحات
شماره‌زنی بدنهٔ موتور	دستگاه جدید شماره‌زنی (به علت تغییر جای شماره
بستن چرخ تسمهٔ سر میل بادامک و بستن چرخ تسمهٔ سر	آچار تک سرهٔ برقی دارای ویژگی نقطهٔ تسلیم
بستن صفحه[1] و پوسته	آچار چند سرهٔ برقی (ابزار مشترک برای تمام
بستن پرخوران پیش بستن و نصب لولهٔ واسط چندراهه و دریچهٔ گاز بستن مجموعهٔ بازخورانی و پایه‌ها	آچار تک سرهٔ برقی به همراه میز و گیرهٔ کنار خط
آزمون نشتی مدار آب و آزمون نشتی مدار روغن	تخصیص و به روزآوری تجهیزات موجود
بستن قاب یاتاقان‌های میل بادامک بستن پیچ‌های دو سر رزوهٔ چندراههٔ دود و هوا بستن درپوش دریچه‌ها و بستن چندراههٔ دود	آچار چند سرهٔ برقی
پیش بستن مهرهٔ تلمبهٔ سوخت فشار قوی بستن تلمبهٔ سوخت فشار قوی، شمع گرمکن و لوله‌های روغن بستن افشانهٔ سوخت[2]، لولهٔ چندراههٔ سوخت و لوله‌های بستن چندراههٔ هوا	آچار تک سرهٔ برقی
ثبت شمارهٔ ردیابی افشانه	دستگاه خوانش دستی[3]

شایان ذکر است که با توجه به اشتراک خط همبندی موتور دیزل با موتور ملی، مشخصات کلی همچون ظرفیت اسمی و بازده خط کاملاً مشابه است. در حال حاضر ظرفیت تولید روزانهٔ خط موتور ملی ۵۰۰ دستگاه در روز است که افزایش ظرفیت آن برای تولید بیش از این فقط در صورت افزایش طول نوار نقاله و تعداد سینی‌های حمل موتور امکان پذیر است.

۸-۱۰- مرحلهٔ ۲: توسعهٔ کمّی خط همبندی

یکی از مشکلات مهم ارزیابی فرایند تولید طرح موتور دیزل سواری، عدم شفافیت برنامهٔ آتی برای توسعهٔ طرح در مرحلهٔ صنعتی‌سازی بود. به بیان بهتر چون طرح تنها تا انتهای مرحلهٔ صحه‌گذاری محصول و خط مصوب شده بود

[1] Disk
[2] Fuel injector
[3] Manual reader instrument

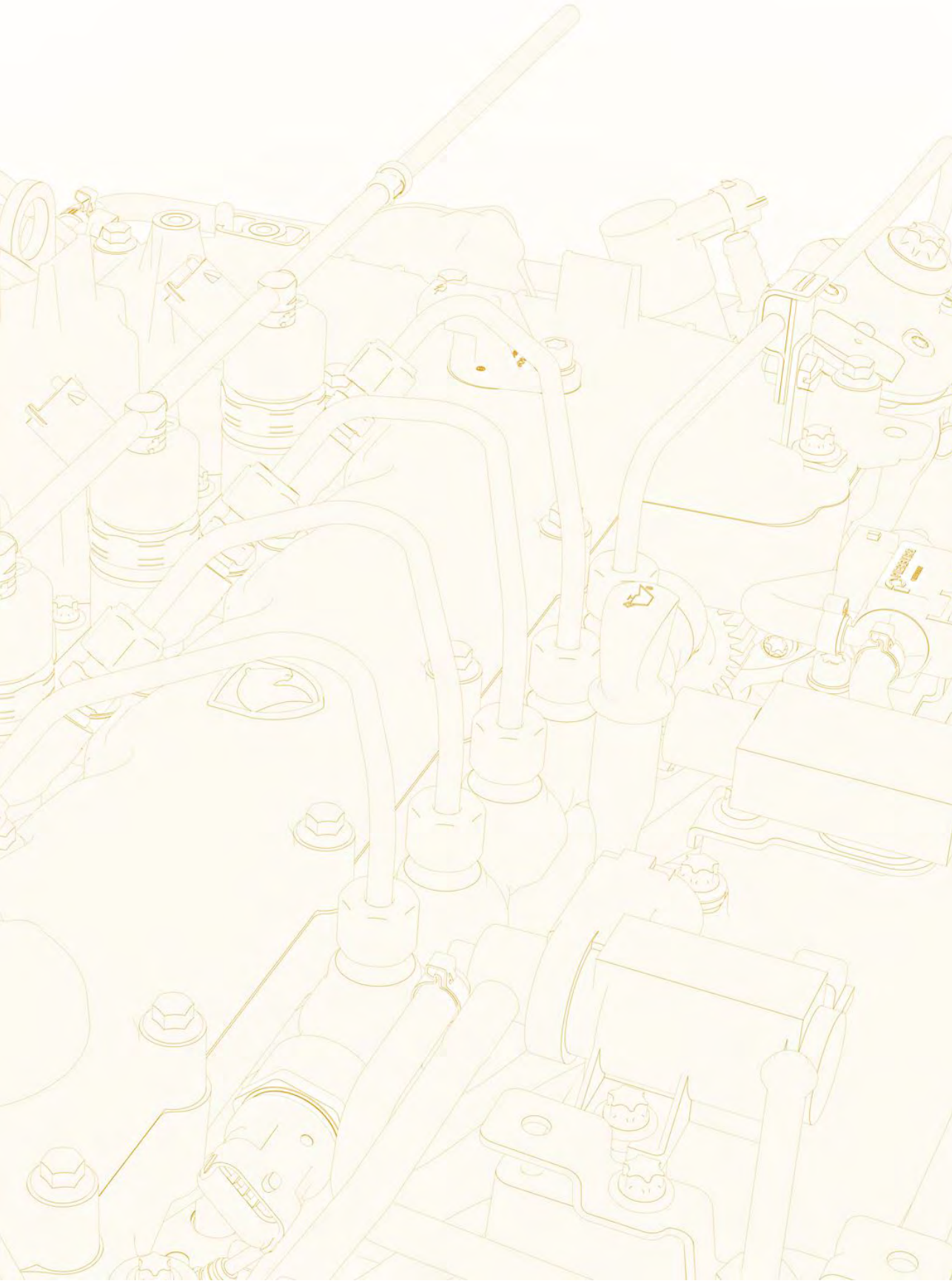
و دورنمای تولید آن در مرحلهٔ انبوه چندان شفاف نبود، لذا مهندسی تولید در مراحل مختلف از جمله در سفارش‌گذاری ابزار آلات، احتمال عدم تولید انبوه موتور را در نظر داشت.

با نگاهی به جدول ۱۰-۲ مشخص می‌شود تنها ابزارهایی سفارش‌گذاری شده اند که اگر محصول در آینده تولید انبوه با تعداد بسیار زیاد نداشت، بتوان با تغییر ابزارها، از آنها در جاهای دیگری که بازده بیشتری دارند، استفاده کرد.

در مرحلهٔ دوم صنعتی‌سازی مقرر شد تجهیزاتی بدین شرح سفارش‌گذاری شوند:

- خط نقاله به طول ۷۸ متر
- سینی موتور به تعداد ۲۵ عدد
- دستگاه خودکار جازدن خار فنر دریچه
- آچار چند سرهٔ برقی با ویژگی نقطهٔ تسلیم برای بستن پیچ‌های چرخ لنگر
- دستگاه خوانش خودکار برای ثبت شمارهٔ ردیابی افشانه‌ها
- دستگاه اندازه‌گیری و انتخاب لایی بستار

ابزارهای ذکر شده هر چند از نظر شماره از سیاههٔ ابزارها و تجهیزات مرحلهٔ اول کمتر اند اما بسیار گرانتر خواهند بود.



فصل یازدهم

بهبود مستمر کیفیت محصول

۱-۱۱- پیشگفتار

شرکت تحقیقات موتور ایران خودرو (ایپکو) در راستای خط مشی کلی سازمان، برای کاهش وابستگی به واردات بنزین همچنین کاهش مصرف سوخت و آلایندگی، اقدام به تعریف طرح موتور ملی دیزل نمود. شرکت ایپکو در طراحی این موتور آخرین استانداردهای دنیا را برای برآوردن اهداف کیفی طرح در نظر گرفت. در راستای خط مشی کیفیت شرکت ایران خودرو این طرح را شرکت ایپکو ارائه کرد و با تأیید و تصویب مدیران ارشد شرکت ایران خودرو عملاً این طرح کلید خورد.

پس از تصویب طرح موتور ملی دیزل و تعیین شاخص‌های کیفیت طرح در قالب "طرح کیفیت"، مقرر شد برنامهٔ جامعی از فعالیت‌های لازم برای رسیدن به این اهداف تهیه و ارائه گردد. برای نظارت بر کلیهٔ مراحل پیشرفت طرح لازم است "ارزیابی صلاحیت فرایندها" انجام گیرد و نتیجهٔ مرحله در اختیار مدیریت طرح قرار گیرد. دربارهٔ صلاحیت فرایند در ادامه با همین عنوان بیشتر بحث خواهد شد.

در خصوص بررسی کیفیت محصول، شاخص مهمی در صنایع با عنوان قابلیت اطمینان وجود دارد که این شاخص بر پایهٔ رخداد خرابی و عیب بنا نهاده شده است. برای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان، روش‌های متعددی مانند روش‌های آماری برپایهٔ عملکرد و تعیین تعداد خرابی و همچنین بررسی ظاهری خرابی وجود دارد. مسلماً هرگاه در

آزمون‌های دوام و عملکردی مشکلی بروز کند، لازم است با روشی نظام‌مند[1] مسأله ریشه‌یابی و حل شود. عنوان "درخواست بررسی مشکل"، عنوان فرایندی است برای اعلام هرگونه خرابی حین پیشرفت طرح که منتج به بررسی و رفع خرابی می‌شود.

۲-۱۱- فرایند پذیرش قطعات تولیدی

یکی از مهمترین فعالیت‌های طرح شامل "فرایند پذیرش قطعات تولیدی[2]" است. با توجه به تجربهٔ واحد تضمین کیفیت ایپکو در طرح موتور ملی این امر با همکاری واحد ارزشیابی تأمین شرکت ایران خودرو با دو هدف انجام می‌شود:

۱. بررسی قابلیت و شایستگی خطوط تولید سازندگان برای ساخت محصول با کیفیت‌های لازم

۲. بررسی درستی درک همهٔ الزامات و نیازمندی‌های قطعات از طرف تأمین‌کنندگان یا سازندگان

برای اجرای بهبود مستمر کیفیت در حین پیشرفت طرح، رعایت شاخص‌های کیفی اشاره شده در طرح کیفیت و فرایندهای کیفی ذکر شده، الزامی است. بررسی صحت اجرای این امور بر عهدهٔ واحد تضمین کیفیت مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو است.

۳-۱۱- اجرای فرایند پذیرش قطعات تولیدی

در این قسمت مراحل و نحوهٔ اجرای فرایند تأیید قطعات تولیدی شرح داده می‌شود:

تولید محصول جدید

برای تولید خودرویی جدید لازم است تا تغییراتی بدین شرح به وجود آیند:

- استفاده از ترکیب یا مواد اولیه‌ای غیر از آن ترکیب یا موادی که پیش از این در محصول یا قطعهٔ تأیید شده، استفاده شده است.
- ساخت محصول با ابزارها، قالب‌ها، نقشه‌های جدید یا اصلاح شده (بجز ابزارهای فرسوده شونده) مانند ابزارهای یدکی یا اضافی.

[1] Systematic method
[2] Product Part Approval Process (PPAP)

- ساخت محصول با ابزارها و تجهیزات دوباره شکل‌دهی شده و یا با ساماندهی دوبارهٔ فرآیند (اضافه کردن یک فعالیت جدید)
- ساخت محصول با ابزارها و تجهیزاتی که به موقعیت استقرار دیگر منتقل شده‌اند یا در موقعیت استقرار دیگر
- تغییر تأمین‌کنندهٔ قطعات، مواد اولیه و یا خدماتی که بر روی نیازمندی خریدار در مورد متناسب بودن شکل ظاهری، کارکرد، دوام و یا کارایی محصول اثر می‌گذارند.
- ساخت محصول با ابزاری که برای حجم تولید انجام شده به مدت بیست ماه یا بیشتر فعال نبوده است.
- تغییرات محصول و فرآیند وابسته به اجزای محصول تولیدی که به کمک شرکت یا تأمین‌کننده ساخته شده‌اند و بر روی تناسب، شکل ظاهری، کارکرد، عملکرد و یا دوام محصول اثر می‌گذارند.
- تغییر در روش بازرسی و آزمون و اجرای آنها به کمک روش‌های جدید (که تأثیری بر روی شاخص پذیرش داشته باشد).
- این اجرا باید در محیط واقعی تولید و با استفاده از ابزارهای تولید، اندازه‌گیری، فرآیند، مواد اولیه و کارگران مورد استفاده در محیط واقعی تولید انجام شود.

بازرسی و آزمون مورد نیاز فرایند پذیرش قطعات تولیدی باید در آزمایشگاه صلاحیت‌دار انجام شود. آزمایشگاه‌های خارج از شرکت ایپکو را که استفاده می‌شوند باید قبلاً مشتری تائید کرده باشد. در مواقعی که یک آزمایشگاه خارج از شرکت استفاده می‌شود، شرکت باید نتایج آزمون‌ها را بر روی کاغذ سربرگ‌دار آزمایشگاه و یا بر روی قالب گزارش‌های آزمایشگاه خود ارائه کند. نام آزمایشگاهی که آزمون‌ها را انجام می‌دهد و تاریخ آزمون‌ها و استانداردهای مورد استفاده برای اجرای آزمون‌ها باید نشان داده شوند.

٤-١١- وضعیت فرایند پذیرش قطعات تولیدی مشتری

پذیرش کامل: نشان می‌دهد که محصول همهٔ خواسته‌ها و نیازمندی‌های خریدار را برمی آورد. از این رو شرکت می‌تواند همهٔ محصولات تولیدی را بارگیری نماید و از کارهای برنامه‌ریزی خریدار رهایی یابد.

پذیرش زماندار: اجازه می‌دهد بارگیری محصول در چارچوبی زماندار یا بر پایهٔ تعداد معینی قطعه، برای نیازمندی‌های تولید انجام شود. پذیرش زماندار، تنها در مواقعی بدین شرح در شرکت برقرار می‌شود:

ریشه‌های ناسازگاری‌هایی که از پذیرش محصول جلوگیری کرده‌اند، روشن شوند و با توافق خریدار، یک برنامهٔ عملیاتی[1]، برای پذیرش زماندار تهیه گردد. در این مواقع به ارائهٔ دوبارهٔ فرایند پذیرش قطعات تولیدی برای "پذیرش کامل" نیاز است.

[1] Action plan

محصولاتی که پذیرش زماندار شده‌اند و در برآوردن خواسته‌های مورد توافق خریدار از لحاظ کیفی و کمی ناموفق بوده‌اند، مردود خواهند شد. هیچ محصول دیگری تا زمانی که پذیرش زماندار تمدید شود، بارگیری نخواهد شد.

پذیرفته نشده‌ها: قطعاتی که از محصول برداشته شده‌اند و مدارک همراه آن، نیازمندی‌های خریدار را برنیآورده اند و مطابق خواسته‌های کیفی توافق شده نیست. مستندات اصلاح شده باید قبل از بارگیری محصول، به خریدار ارائه و پذیرش شوند.

ارسال ناقص مدارک و مستندات کیفی از سوی سازندگان خارجی یا داخلی و وجود محدودیت‌های زمانی طرح، سبب شد تا شیوه‌نامهٔ پذیرش کیفی قطعات را به طور کامل و دقیق مجریان آن اجرا کنند. در صورتی که شیوه‌نامه به عنوان مرجع طرح‌های آینده استفاده گردد، می‌تواند بسیاری از مشکلات اجرایی فرایند پذیرش کیفی قطعات تولیدی را پیش‌بینی و برطرف نماید.

۵-۱۱- برنامهٔ کیفیت طرح

برنامهٔ کیفیت طرح، دربردارندهٔ برنامهٔ زمان‌بندی طرح، هدف‌گذاری‌ها، آزمون‌های عملکردی، آزمون‌های دوام موتوری و آزمون‌های خودرویی در مرحله‌های مختلف طرح است. صلاحیت برنامه، بر اساس طرح کیفیت در مرحله‌های مختلف ارزیابی می‌شود و پس از پذیرش، محصول نهایی تجاری‌سازی خواهد شد. این سند باید پس از تهیه در اختیار معاونت راهبرد و برنامه‌ریزی ایران خودرو قرار گیرد. این معاونت بر اساس برنامهٔ زمانبندی طرح، پیگیری‌های لازم را انجام می‌دهد. با سپری شدن زمان‌های مشخص در طرح، واحد تضمین کیفیت باید اجرای آزمون‌های کیفی طرح را پیگیری کند و توانایی ارائهٔ گزارش را در مراحل مختلف داشته باشد. جدول ۱۱-۱، چهار گروه اصلی در شاخص‌های طرح کیفیت موتور دیزل سواری را نشان می‌دهد:

جدول ۱۱-۱- گروه‌های اصلی در شاخص‌های طرح کیفیت موتور دیزل سواری

رضایت خریدار	• کاستی‌هایی که منجر به توقف تولید خودرو می‌شوند. • برگشت قطعات موتوری به ازای هر ۱۰۰ خودرو • برگشت موتور کامل
شاخص‌های داخل کارخانه	• عبور مستقیم هم‌بندی • عبور مستقیم آزمون داغ موتور • ارزیابی نهایی • ایرادهای موتوری در سواری‌سازی بر حسب قطعه در هر میلیون[1] (قدم)
تجاری‌سازی	• ارزیابی موتور • کیفیت عملکرد محصول • ایرادهای با درجهٔ ب[2] و بزرگتر • ارزیابی صلاحیت فرایند • آزمون دوام خودرو
طراحی و توسعه محصول	• درخواست بررسی مشکل • قابلیت اطمینان محصول

۱۱-۶- تعاریف و چگونگی محاسبهٔ شاخص‌های کیفی

در این بخش، تعاریف لازم معرفی می‌شوند و بر اساس آنها چگونگی محاسبهٔ شاخص‌های کیفی بیان خواهد شد.

۱۱-۷- طراحی و توسعهٔ محصول

درخواست بررسی مشکل: در صورت بروز مشکل در هم‌بندی موتور، آزمون‌های دوام و صحه‌گذاری و یا مغایرت‌های کیفی، درخواست بررسی مشکل در مرحلهٔ طراحی صادر می‌شود و حل مشکل با اقدام اصلاحی از طرف واحد مسئول صورت می‌گیرد.

[1] Parts Per Million (PPM)
[2] B score

قابلیت اطمینان محصول: قابلیت اطمینان محصول برای پایش وضعیت کیفی قطعات و مجموعه‌ها، به صورت سنجش احتمال عملکرد مناسب آن قطعه یا مجموعه در زمان و شرایط مشخص انجام می‌گیرد. به کمک این شاخص می‌توان در حین تکوین یک محصول از مرحلهٔ طراحی تا تولید و مصرف به کمک خریدار، احتمال عملکرد مناسب و مورد انتظار را محاسبه نمود. همچنین بر اساس این شاخص می‌توان مدت زمان دورهٔ پشتیبانی[1] و هزینه‌های آن را تعیین نمود.

۸-۱۱- تجاری سازی

ارزیابی موتور: بررسی و ارزیابی دوره‌ای موتور شامل دو بخش کاستی‌سنجی[2] پویا و ایستا است. موتورهای انتخابی برای ارزیابی از بین موتورهای پذیرش‌شدهٔ کارشناس کیفی خط تولید در واحد آزمون داغ[3] اند. ارزیابی موتور با هدف شناسایی مقدار انطباق متغیرهای موتور با تعاریف و مشخصات فنی و یافتن کاستی‌های احتمالی قطعه، روش، ابزار، کاستی‌های کارگر و شرایط محیطی انجام می‌شود.

کاستی‌سنجی پویا: عبارت است از ارزیابی موتور در حالت روشن و تحت بار که شامل آزمون‌های آب‌بندی، عملکرد و مصرف روغن می‌شود. در نهایت نتایج با محدوده‌های پذیرش اعلام شدهٔ مهندسی محصول مقایسه می‌شود.

آزمون آب‌بندی: قبل از اجرای هر آزمون روی موتور پذیرش شده در آزمون داغ، موتور آب‌بندی و سپس آزمون مورد نظر (مانند آزمون عملکرد) اجرا می‌شود. به مرحلهٔ آب‌بندی موتور، آزمون آب‌بندی گویند زیرا ممکن است موتوری در حین آب‌بندی خراب شود و عملاً نتواند آزمون آب‌بندی خود را بگذراند.

آزمون عملکرد: پس از آزمون آب‌بندی برای مشخص شدن متغیرهای عملکردی موتور مانند توان، گشتاور، مقدار مصرف سوخت و . . . بر روی موتور، آزمون عملکرد اجرا می‌شود.

کاستی‌سنجی ایستایی: عبارت است از ارزیابی موتور پس از انجام دادن کاستی‌سنجی پویا که در این ارزیابی عمدتاً ایرادهای چشمی و گشتاور پیچ‌ها و مهره‌ها را کارگر ارزیابی و با اندازه‌های مجاز مقایسه می‌کند.

کیفیت عملکردی محصول: مجموع امتیاز ایرادهای عملکردی در آزمون ۵۰ کیلومتر جاده‌ای خودرو را به نمایش می‌گذارد. این ایرادها به تفکیک بر اساس واحد مسئول و استاندارد جداگانه امتیاز دهی می‌شوند.

ایرادهای با درجهٔ ب و بزرگتر: شاخصی برای بررسی وضعیت ایرادهای عملکردی خودرو است. پس از پذیرش نهایی بر اساس روش استاندارد Q۷۳۱۰۳۰، ایرادهای مهم محصولات ارزیابی شده، مطابق تعاریفی بدین شرح، بررسی می‌شوند:

---

[1] Guaranty period
[2] Demerit
[3] Hot test unit

S: ایرادهای ایمنی
P: ایرادهایی که منجر به جلوگیری از روشن شدن خودرو و توقف آن شوند.
A: ایرادهایی که نمی‌توان از آنها چشم پوشی کرد و باید بسرعت اصلاح شوند.
B: ایراداهایی که به خاطر آشکار بودنشان خریدار از آنها آگاه می‌شود و درخواست اصلاح دارد.

ارزیابی صلاحیت فرایند: این ارزیابی مطابق آیین‌نامه و با فهرستی ۵۴ تایی بر پایهٔ پنج اِم (5M[1]) است و در مراحل مختلف، طرح تکوین محصولات جدید و همچنین تولید انبوه اجرا می‌شود. فرایند تولید در هر مرحله باید حداقل شرایط لازم را مطابق هدف تعیین شده برای آن مرحله داشته باشد.

آزمون دوام خودرویی: در این آزمون، خودرویی تا سقف بیست هزار کیلومتر (وابسته به شرایط)، پیمایش می‌نماید. پس از پیمایش در صورت بروز ایراد چشمگیر[2] (ب+) وابسته به طرح، نتایج با حضور و مشارکت نمایندگان کیفیت، ارزیابی محصول، تحلیل، ساپکو، ایپکو و سایر واحدهای بررسی می‌شود. نتیجهٔ این بررسی ممکن است تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای اجرای اقدامات اصلاحی باشد. امتیاز منفی خودروی تحت آزمون، باید کمتر از مقدار هدف و بدون ایرادهای چشمگیر باشد.

۹-۱۱- شاخص‌های درون کارخانه

عبور مستقیم

شاخص عبور مستقیم[3] در انتهای خط هم‌بندی و پس از آزمون داغ نهایی موتور، اندازه‌گیری می‌شود.

$$\textbf{(هم‌بندی)}: FA\ (\%) = \frac{\text{تعداد موتورهای بدون ایراد در انتهای خط هم‌بندی}}{\text{تعداد کل موتورهای هم‌بندی شده}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۱-۱)$$

$$\textbf{(نهائی)}: FA\ (\%) = \frac{\text{تعداد موتورهای بدون ایراد پس از آزمون موتور}}{\text{تعداد کل موتورهای آزمون شده}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۱-۲)$$

ارزیابی نهایی

در این ارزیابی ایرادهای ظاهری موتورهای آمادهٔ خروج از موتورسازی، بررسی می‌شوند. بررسی‌ها شامل کاستی‌ها، شکستگی‌ها، تغییر شکل‌ها، تاب برداشتن‌ها، تورفتگی‌ها و سایش‌ها است. هدف این شاخص باید برابر صفر باشد.

[1] 5 M: Manpower, Materials, *Machines*, *Methods*, and Money
[2] Significant
[3] First acceptance

ایرادهای موتوری در سواری‌سازی بر حسب قطعه در میلیون (ق.د.م)

شاخص قطعه در میلیون (ق.د.م.[1]) بیشتر نمایانگر مقدار تحقق اهداف تعیین شده برای افزایش رضایت خریدار با بهبود کیفیت محصول است. چگونگی محاسبهٔ این شاخص بدین شرح است:

$$\text{میانگین دورهٔ پشتیبانی منتهی به ماه مورد نظر (بر حسب قدم خودرو)} = \frac{\text{مجموع تعداد قطعات برگشتی ماه‌های دورهٔ پشتیبانی منتهی به ماه مورد نظر}}{\text{میانگین تعداد خودروهای ماه‌های پشتیبانی به ماه مورد نظر}} \times ۱۰^۶ \quad (۱۱-۳)$$

$$\text{ماه مراجعه در هر میلیون خودرو} = \frac{\text{مجموع تعداد برگشتی ماه}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی همان ماه}} \times ۱۰^۶ \quad (۱۱-۴)$$

$$\text{ماه تولید در هر میلیون خودرو} = \frac{\text{مجموع برگشتی‌ها از تولید ماه مورد نظر در دوره‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۲ و پایان پشتیبانی}}{\text{تعداد خودروهای تولید شده در ماه مورد نظر}} \times ۱۰^۶ \quad (۱۱-۵)$$

شاخص ق.د.م. صفر کیلومتر موتور

این شاخص برای بررسی وضعیت کیفی تولید موتورسازی در کارخانهٔ سواری‌سازی به عنوان نخستین خریدار تعریف شده است. شاخص ق.د.م. صفر سه بخش دارد:

- پیاده‌کردن و تعمیر[2]: نشان‌دهندهٔ وضعیت ایرادهایی است که برای تعمیر موتور لازم است تا موتور از خودرو جدا (اصطلاحاً پیاده) شود.
- تعمیر روی خودرو[3]: نشان‌دهندهٔ وضعیت ایرادهایی است که می‌توان موتور را روی خودرو تعمیر نمود.
- شکستگی و کاستی[4] قطعات موتوری: ایرادهایی اند که به سبب شکستگی قطعات و همچنین کاستی قطعه به وجود می‌آیند. هر چند موتورسازی مسؤل این ایرادها نیست. چگونگی محاسبهٔ این شاخص بدین شرح است:

$$\text{قدم صفر کیلومتر} = \frac{\text{مجموع ایرادهای موتوری در سواری‌سازی در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروی تولیدی در همان ماه}} \times ۱۰^۶ \quad (۱۱-۶)$$

$$\text{پیاده کردن و تعمیر (قدم} = \frac{\text{مجموع ایرادهای موتوری که منجر به پیاده شدن موتور از روی خودرو شده اند در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروی تولیدی در همان ماه}} \times ۱۰^۶ \quad (۱۱-۷)$$

[1] Parts Per Million (PPM 0 KM)
[2] Pull & Repair
[3] On vehicle repair
[4] Break and shortage

$$\text{تعمیر روی خودرو (قدم)} = \frac{\text{مجموع ایرادهای موتوری که روی خودرو قابل رفع است در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروی تولیدی در همان ماه}} \times ۱۰^۶ \qquad (۱۱-۸)$$

$$\text{کاستی و شکست (قدم)} = \frac{\text{مجموع ایرادهای موتوری به علت کاستی یا شکست قطعه در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروهای تولید شده در ماه مورد نظر}} \times ۱۰^۶ \qquad (۱۱-۹)$$

۱۰-۱۱- شاخص‌های کیفی محصول

شاخص برگشتی از هر صد خریدار

ایرادهای موتوری که به واسطهٔ آن دارندهٔ خودرو مجبور به برگشتن به نمایندگی‌ها می‌شود. چگونگی محاسبهٔ شاخص برگشتن از هر صد خریدار[1] در دورهٔ پشتیبانی بدین شرح است:

$$\text{برگشتن خریدار (در هر ۱۰۰ خودرو)} = \frac{\text{مجموع خودروهای برگشتی به علت ایرادهای موتوری در یک ماه}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی در همان ماه}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۱-۱۰)$$

شاخص شکایت و برگشت دوره‌ای خریدار

برای اندازه‌گیری تعداد قطعات موتور تعویضی در خدمات پس از فروش طبق دوره‌های مشخص پس از تحویل به خریدار، شاخص برگشت قطعات موتوری به ازای هر ۱۰۰ خودرو[2] استفاده می‌شود. این شاخص هم بر اساس ماه برگشتن خریدار و هم به صورت دوره‌ای (۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماه) پس از تحویل به خریدار، بدین شرح قابل محاسبه است:

$$\text{ماه برگشتن و خواست خریدار (در هر ۱۰۰ خودرو)} = \frac{\text{مجموع خودروهای برگشتی به علت ایرادهای موتوری در یک ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی در همان ماه مورد نظر}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۱-۱۱)$$

$$\text{ماه برگشتن و خواست خریدار (در هر ۱۰۰ خودرو)} = \frac{\text{مجموع خودروهای برگشتی به علت ایرادهای موتوری در یک ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی در همان ماه مورد نظر}} \times ۱۰۰ \qquad (۱۱-۱۲)$$

شاخص توقف‌های جاده‌ای

اندازه‌گیری شمارگان توقف‌های جاده‌ای به علت ایراد موتوری، از این شاخص استفاده می‌شود. این شاخص برحسب ماه برگشتن خریدار و همچنین دوره‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار، قابل محاسبه است:

[1] Return per 100 car (R/100)
[2] Claim per 100 car (C/100)

$$\text{ماه برگشتن خریدار به علت توقف خودرو در جاده} = \frac{\text{مجموع توقف‌های جاده‌ای به علت ایراد موتوری در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی در همان ماه}} \times ۱۰۰ \quad (۱۲-۱۳)$$

$$\text{برگشتن خریدار به علت توقف خودرو در جاده (۱، ۳،٦ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار)} = \frac{\text{مجموع توقف‌های جاده‌ای با ایرادهای موتوری در ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار}}{\text{تعداد خودروی تولیدی در دورهٔ مورد نظر}} \times ۱۰۰ \quad (۱۲-۱۴)$$

شاخص برگشت موتور کامل

برخی از ایرادها منجر به برگشت موتور کامل می‌شوند. این شاخص نشان‌دهندهٔ برگشت موتورهای کامل برای ایرادهای مهم است که باعث تخریب موتور می‌شود. این شاخص نیز برحسب ماه برگشتن خریدار و همچنین دوره‌های ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار، قابل محاسبه است:

$$\text{ماه برگشتن موتور کامل (برحسب قدم)} = \frac{\text{مجموع موتورهای کامل برگشتی در ماه مورد نظر}}{\text{تعداد خودروهای تحت پشتیبانی در همان ماه}} \times ۱۰۰ \quad (۱۲-۱۵)$$

$$\text{دورهٔ برگشتن موتورهای کامل (۱، ۳،٦ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار)} = \frac{\text{مجموع موتورهای کامل برگشتی در ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماه پس از تحویل به خریدار}}{\text{تعداد خودروی تولیدی در دورهٔ مورد نظر}} \times ۱۰۰ \quad (۱۲-۱۶)$$

۱۱-۱۱- برنامهٔ زمانبندی طرح برای نمونه‌سازی در سه مرحله

طرح و زمانبندی اجرای آن بر اساس مراحلی بدین شرح اند:

مرحلهٔ نمونه‌سازی اولیه

هدف مرحلهٔ نمونه‌سازی اولیه[1]، تکمیل طراحی محصول، ساخت نمونه‌ها و قالب‌های مورد نیاز و ارزیابی و اصلاح‌های ضروری است. فهرست کارهای این مرحله بدین قرار است:

- انتشار نقشه‌های مرحلهٔ ابزار[2]
- طراحی اجزا و قطعات طرح
- شروع ساخت قالب دائم قطعات پس از انتشار نقشه‌های مرحلهٔ ابزار

[1] First Batch Generation (G1B)
[2] Tool (T release)

- تهیه برنامهٔ آزمون‌ها و ایجاد قفل زماندار/همیشگی قطعات
- ساخت نمونه قطعات و اجزاء طراحی شده
- ساخت نمونه‌هایی از موتور و خودرو مطابق طراحی به منظور تکمیل آزمون‌ها و ارزیابی‌های مورد نیاز
- ارزیابی طرح و اجرای اصلاحات لازم در طراحی
- اجرای آموزش‌های مورد نیاز محصول برای نیروهای انسانی وابسته به طرح
- طراحی فرآیند همبندی موتور و خودرو و اعمال اصلاحات مورد نیاز

مرحلهٔ نمونه‌سازی برای تولید

هدف اساسی از مرحلهٔ نمونه‌سازی برای تولید (پیش تولید)، دریافت بازخوردهای طراحی در حوزه‌های موتوری و خودرویی است. دیگر اهداف این مرحله بدین شرح اند:

- شروع نهایی نمودن نقشه‌های مرحلهٔ ابزار
- تکمیل برنامه‌های آزمون و ایجاد قفل همیشگی قطعات
- گرفتن گواهینامهٔ کیفیت برای قطعات ایمنی طرح
- اجرای مراحل گواهینامهٔ زمان‌دار برای قطعات غیرایمنی طرح
- صحه‌گذاری موتور و خودرو و صحه‌گذاری قطعات نهایی
- تنظیم ابزار و تجهیزات فرایند همبندی
- تهیه و تطبیق فرایندها و شیوه نامه‌های کاری
- اجرای آموزش‌های مورد نیاز تولید و کیفیت برای نیروهای انسانی وابسته به طرح
- اجرای سبد[1] چینی
- اجرای مؤثر سامانهٔ درخواست بررسی مشکل
- اجرای بموقع و اثربخش اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه متناسب با ایرادها

[1] Pallet

مرحلهٔ پیش تولید انبوه

هدف مرحلهٔ پیش تولید، بررسی دوام و دریافت بازخورد از حوزه‌های خط تولید و سازندگان قطعات است. برای دستیابی به این هدف، در این مرحله کارهایی بدین شرح اجرا می‌شوند:

- نهایی شدن نقشه‌های مرحلهٔ ابزار
- اجرای تمامی اقدامات لازم برای تجهیز خط تولید به دستگاه‌های ضروری و تهیهٔ فرایندهای مورد نیاز
- ارزیابی صلاحیت فرایند برای تولید تعداد مشخصی موتور در خط تولید
- دریافت امتیاز لازم بر اساس شاخص صلاحیت فرایند، برای اجازهٔ ورود به مرحلهٔ بعد

مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۳ هفته

در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۳ هفته خط همبندی برای تولید انبوه موتور ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی کارایی خط تولید در این مرحله، بر اساس توافق انجام شده در طرح کیفیت، تعداد مشخصی موتور تولید می‌شوند و دوباره ارزیابی صلاحیت فرایند صورت می‌گیرد.

مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته

در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته با توجه به امتیاز دریافت شده در ارزیابی صلاحیت فرایند خط تولید، توانایی تولید انبوه موتور شناخته می‌شود. بر اساس طرح کیفیت به ازاء هر ۱۰۰ موتور تولیدی، ارزشیابی موتور انجام می‌شود و بازخورد نتایج به معاونت کیفیت ایران خودرو برگردانده خواهد شد.

۱۲-۱۱- تعیین صلاحیت فرآیند در موتور دیزل

این روش بر مبنای اصول پنج ام بیان شده است. در این روش توانایی و قابلیت فرآیند تولید در دوره‌های زمانی مختلف بررسی می‌شود تا اطمینان حاصل شود که در حین طرح، فرآیندهای طراحی و تولید براساس خواسته‌های مشتری پیش رفته باشند. به عبارت دیگر این روش تضمین می‌کند که فرآیند طراحی تا تولید، محصولی با کیفیت مورد نظر مشتری عرضه شود. از این روش برای صنعتی‌سازی محصول جدید یا به هنگام شده، استفاده می‌شود. هدف این روش، تضمین سطح کیفیت تعیین شده در طراحی در تمامی مراحل تولیدی و خدمات پشتیبانی و کمک به بهبود مستمر کیفیت محصول و فرایند است.

اصول بنیادین روش ارزیابی صلاحیت فرایند

- چنانچه طرحی جدید یا تغییری برای محصولی مشخص، با فرایند و زمان تعیین شده اعلان شود، شرکت ملزم به اجرای آن است.
- نمایندهٔ تضمین کیفیت، هماهنگ کننده طرح است، از تمامی اقدامات و پیشرفت‌های حاصله در طرح مطلع است و این موارد را در نشست‌های نظارتی ارائه می‌نماید.
- تعیین صلاحیت فرایند به طور همزمان و هماهنگ با برنامهٔ زمانبندی طرح، تحقق می‌یابد.
- تعیین صلاحیت فرایند جایگزین فعالیت‌های پایشگر طرح نیست.
- انطباق محصول خروجی از فرایند نیز در این روش محسوب می‌شود.
- وضعیت نمره‌دهی تعیین صلاحیت فرایند بر چگونگی پیشرفت طرح تأثیر گذار است و حتی در برخی موارد می‌تواند از اتمام یک مرحله، و یا شروع مرحلهٔ بعد جلوگیری نماید.
- نمره‌دهی بر حسب برقرار بودن تمامی الزامات است.
- تمامی انحرافات نسبت به اهداف پیش‌بینی شده باید بررسی شوند و برای آن باید برنامهٔ اجرایی ارائه شود.

روند اجرای ارزیابی صلاحیت فرآیند کیفیت تولید

برای ارزیابی صلاحیت فرآیند کیفیت تولید، گروهی شامل نمایندگان واحدهای مختلف تعیین می‌شود تا پاسخگوی خواسته‌های تعیین شده باشند. در این گروه، نمایندهٔ تضمین کیفیت به عنوان هماهنگ‌کننده عمل می‌کند و برنامه‌های گروه را مشخص و اعلام می‌کند. وظایف این گروه به طور کلی بدین شرح اند:

- تعیین مقاطع زمانی ارزیابی
- تعیین اهداف هر کدام از بندهای فهرست وارسی
- تعیین امتیازها در هر ارزیابی
- پیگیری اصلاح موارد مطرح شده در ارزیابی

فهرست وارسی ٥٤ بندی تعیین صلاحیت فرآیند

این فهرست وارسی شامل ۵۴ بند در ۵ دسته است. مهم‌ترین اصلی که در ساختار این فهرست به آن توجه می‌شود، کاهش مقدار خطرپذیری در فرآیند طراحی تا تولید است، به گونه‌ای که کیفیت محصول در راه صنعتی شدن آن حفظ شود. فهرست وارسی به پنج طبقه تقسیم می‌شود:

- مستندات و روش‌ها

- ابزار، تجهیزات و فرآیند
- محیط
- مواد
- نیروی انسانی

مستندات و روش‌ها

در بخش اول فهرست وارسی، اشارهٔ صریحی به نیازمندی‌های مشتری شده است و به تبع آن خطرپذیری‌های فرآیند برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شدهٔ مشتری کم می‌شود. از جمله ابزارهای استفاده شده در این بخش می‌توان به جدول طبقه‌بندی قطعات بر اساس مهم‌ترین ویژگی‌های آن‌ها اشاره کرد. ایمنی، چیدمان، بحرانی و بنیادی چهار دستهٔ اصلی در جدول طبقه‌بندی قطعات اند. به این ترتیب با استفاده از این جدول و خروجی بدست آمده از بررسی حالت‌های بالقوهٔ خرابی در فرآیند و بررسی حالت‌های بالقوهٔ خرابی در طراحی، می‌توانیم سطوح بازرسی را مشخص کنیم. از دیگر مستنداتی که در این قسمت از فهرست وارسی به آن اشاره شده است، عبارتند از:

- تعیین قطعاتی که باید ردیابی شوند
- وجود فهرستی از رواداشت‌ها
- اهداف قابلیت فرآیند
- مستندات طرح نظارت
- مستندات فرآیند

ابزارها و تجهیزات فرآیند

در این بخش از فهرست وارسی، به طور کلی به این موارد توجه می‌شود:

- وجود فهرست ابزار و تجهیزات به همراه شمارهٔ آن
- تعریف ضد خطا برای مواضعی در فرآیند که خطرپذیری بزرگی دارند (براساس بررسی حالات بالقوهٔ خرابی در فرآیند).
- تعیین نرخ بهره‌وری مورد نیاز خط تولید
- ساختارسازی و نظامی مستند برای تحویل‌گیری ابزارها و تجهیزات

محیط

در بخش سوم مباحثی در خصوص محیط کارگاه‌های تولید و ابزار و تجهیزات مطرح می‌شود از جمله:

- تعریف موارد ایمنی در مستندات مشخص
- تأمین ایمنی خط تولید و ارائهٔ مدارکی در این خصوص

مواد

مواد و قطعات ورودی باید از لحاظ مطابقت با نقشه‌ها و فرآیندهای از پیش تعریف شده، تأیید شوند.

نیروی انسانی تولید

از خواسته‌های این بخش وجود شاخص‌هایی است که برای نیروی کار تعریف شده باشد و بتواند وضعیت محصولات و کارگاه‌های تولیدی را بخوبی نشان دهند. از بندهای این بخش می‌توان چنین اشاره‌ای داشت:

- تناسب صلاحیت افراد با ایستگاه‌های کاری
- تعداد عملگرها بر اساس ترازنامهٔ خط
- وجود برنامهٔ آموزشی
- وجود مستندات مرجع در بایگانی

۱۳-۱۱- شاخص‌های طرح کیفیت موتور

جدول ۱۱-۲، شاخص‌های کیفی موتور را در مرحله‌های مختلف تولید نشان می‌دهد:

جدول ۱۱-۲- شاخص‌های کیفی موتور در مرحله‌های مختلف

		مرحله				
		نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	پیش تولید	آغاز تولید انبوه + ۳ هفته	آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته
شاخص‌های مرحلهٔ تجاری‌سازی [۱]	کارگاه کاستی‌سنجی موتور		۱۲۰	۸۰	۶۰ (بدون ایراد، ۵۵ امتیاز)	در ادامه تعیین خواهد شد.
	IQ F		۰	۰	۰	۰
	ایراد $\leq$ B		۰	۰	۰	۰
	ارزیابی فرایند	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۸۰٪	۹۰٪
	آزمون رانش خودرو			یک میلیون (ایراد در هر میلیون خودرو[۲]) ۲۰۰۰۰ کیلومتر	نیاز به تعریف در آینده[۳] ۲۰۰۰ کیلومتر	
شاخص‌های کیفی میانی (داخل کارخانه)	عبور مستقیم (آزمون گرم)		۸۳٪	۸۵٪	۸۸٪	۹۰٪
	عبور مستقیم (خط همبندی)		۸۰٪	۸۳٪	۸۶٪	۹۰٪
	ق.د.م. صفر کیلومتر				۲۰۰۰	۹۰۰
	شاخص خواست و برگشتن از هر ۱۰۰ خریدار					۵ (۳ ماه پس از تحویل) ۱۰ (۱۲ ماه پس از تحویل)
شاخص خریدار	خواست خریدار					۲۰۰۰ ق.د.م. در دورهٔ ۳ ماه

۱۱-۱۴- آزمون‌های صحه‌گذاری موتور

جدول ۱۱-۳، آزمون‌های لازم را برای صحه‌گذاری موتور در هر مرحلهٔ تولید نشان می‌دهد:

جدول ۱۱-۳- آزمون‌های لازم برای صحه‌گذاری موتور در هر مرحله از تولید

نوع آزمون	نمونه‌سازی اولیه	وضعیت آزمون	نمونه‌سازی برای تولید	پیش تولید	آغاز تولید انبوه + ۳ هفته	آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته
ساعت (دوام تشدید[۱]) ۲۰۰	۱	انجام شد.				
ساعت (آزمون سرعت تُند[۲]) ۲۵۰	۱	انجام شد.				
ساعت (چرخهٔ گرمایی عمیق[۳]) ۱۷۲	۱	مقرر شد در شرکت مشاور خارجی انجام شود.	۱			
۷۵۰ ساعت (ضربهٔ گرمائی)	۱	انجام شد.	۱*		۱	
ساعت (دوام عمومی[۴]) ۸۰۰	۱	در مرحلهٔ بعد اجرا می‌شود.	۱*		۱**	
آزمون جاده‌ای ۱۶۰ هزار کیلومتر	۱	در مرحلهٔ بعد اجرا می‌شود.	۱*		۱**	
آزمون جاده‌ای ۱۶۰ هزار کیلومتر			۱			
آزمون جاده‌ای[۵] ۸۰ هزار کیلومتر			۱			
آزمون رانش خودرو[۶] ۲۰ هزار کیلومتر				۳		
آزمون رانش خودرو ۲۰ هزار کیلومتر					۳	
کاستی‌سنجی موتور[۷]			۲	۲	۱۰۰/۱ موتور***	۱۰۰/۱ موتور

* در صورتی که در مرحلهٔ نمونه‌سازی برای تولید مشکلات کیفی برای قطعات یا خط همبندی به وجود بیاید، این آزمون‌ها در مرحلهٔ پیش تولید انجام می‌شود.

** در صورت تغییر در سازندهٔ قطعات اصلی، این آزمون انجام می‌شود.

*** در صورتی که اهداف مورد نظر ارزیابی‌های قبلی مطلوب نباشد، ۲/۱۰۰ موتور انتخاب می‌شود.

جدول ۱۱-۴، برنامهٔ ارزیابی و صحه‌گذاری موتور را در مرحله‌های نمونه‌سازی برای تولید و پیش تولید نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۴- برنامهٔ ارزیابی و صحه‌گذاری موتور در مرحله‌های نمونه‌سازی برای تولید و پیش تولید

خریدار	هدف	شمارگان	مدت زمان (تولید و آزمون)
کیفیت خط تولید[1]	پذیرش تولید نهائی	همهٔ محصولات	
تضمین کیفیت[2] و مهندسی ایپکو	کاستی‌سنجی موتور	۴	۳۰روز
	آزمون ۸۰۰ ساعت دوام عمومی	۱*	۱۰۰ روز
	آزمون ۷۵۰ ساعت ضربهٔ گرمائی	۱*	۱۰۰ روز
تضمین کیفیت ایران خودرو	IQF	طبق رویهٔ تجاری‌سازی	خودرو/۱ روز
تضمین کیفیت و مهندسی ایپکو	آزمون ۱۷۲ ساعت ضربهٔ گرمائی عمیق	۱	۳۰ روز
	آزمون جاده‌ای ۸۰۰۰۰ کیلومتر	۱	۱۵۰ روز
	آزمون جاده‌ای ۱۶۰۰۰۰ کیلومتر	۱	۲۷۰ روز
تضمین کیفیت ایران خودرو	آزمون رانش ۲۰۰۰۰ کیلومتر	۳	۳ ماه

جدول ۱۱-۵، برنامهٔ ارزیابی موتور را در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۳ هفته نشان می‌دهد.

[1] Production line quality control (Q.C)
[2] Quality acceptance (Q.A)

جدول ۱۱-۵- برنامهٔ ارزیابی در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۳ هفته

خریدار	هدف	شمارگان	مدت زمان (تولید و آزمون)
کیفیت خط تولید	پذیرش تولید نهائی	همهٔ محصولات	۲۱ روز
تضمین کیفیت و مهندسی ایپکو	کاستی‌سنجی موتور	۱/۱۰۰ *** موتور	۸ روز
تضمین کیفیت و مهندسی ایپکو	آزمون ۷۵۰ ساعت ضربهٔ گرمائی	۱	۱۰۰ روز
تضمین کیفیت و مهندسی ایپکو	آزمون ۸۰۰ ساعت دوام عمومی	۱**	۱۰۰ روز
تضمین کیفیت ایران خودرو	IQF	طبق رویهٔ تجاری‌سازی	خودرو/۱ روز
تضمین کیفیت ایران خودرو	آزمون رانش ۲۰۰۰ کیلومتر	۳	۳ ماه

Error! Reference source not found.، برنامهٔ ارزیابی موتور در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۶- برنامهٔ ارزیابی موتور در مرحلهٔ آغاز تولید انبوه + ۱۷ هفته

خریدار	هدف	شمارگان
کیفیت خط تولید	پذیرش تولید نهائی	همهٔ محصولات
تضمین کیفیت و مهندسی ایپکو	کاستی‌سنجی موتور	۱/۱۰۰ موتور
تضمین کیفیت ایران خودرو	IQF	طبق رویهٔ تجاری‌سازی

جدول ۱۱-۷، فهرست ۵۴ بندی صلاحیت فرایند مرحله‌های مختلف تولید را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۷- فهرست ۵۴ بندی برای صلاحیت فرایند مرحله‌های مختلف تولید

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی‌سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
	مستندات و روش‌ها						
طراحی	نیازهای خریدار فهرست شده بر حسب اهمیت طبقه‌بندی و بکار گرفته می‌شوند.	۰	۰	۰	۰	۰	۰
طراحی	طبقه‌بندی نقاط پایش بر حسب اهمیت مشخصات بند ۱ و پایش فرایند	۲	۰	۰	۰	۰	۰
تولید	تدابیر لازم برای ردیابی محصول گرفته شده است.	۴	۲	۲	۰	۰	۰
طراحی	خطرهای محصول شناسایی و مهار شده‌اند.	۲	۰	۰	۰	۰	۰
طراحی	مقادیر اسمی و حدود رواداشت مشخصه‌ها تعین شده‌اند، قابل دستیابی و اندازه‌گیری اند.	۲	۰	۰	۰	۰	۰
طراحی	اهداف قابلیت فرایند تعیین شده‌اند و با اهداف کیفی خریداران هماهنگ شده‌اند.	۲	۰	۰	۰	۰	۰
رویه‌ها	خطرهای فرایند شناسایی شده و تحت پایش اند.	۲	۱	۱	۰	۰	۰

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
تولید	خطرهای ابزار تعیین و مهار شده‌اند.	۲	۲	۲	۰	۰	۰
محصول	چگونگی برخورد با محصولات نامنطبق مشخص شده است.	۴	۲	۰	۰	۰	۰
تولید	خطر خطای مخلوط شدن قطعات، شناسایی و پایش شده است.	۲	۲	۲	۰	۰	۰
تولید	تعیین رویهٔ شروع و پایان تولید یا تغییر محموله‌ها یا انتقال	۲	۲	۲	۱	۰	۰
تعمیرات	رویه‌های نگهداری و تعمیرات تهیه شده‌اند.	۳	۳	۳	۲	۱	۰
تولید	راهکارهای جایگزین تعیین و تصدیق شده‌اند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	شیوه نامه‌های تحویل‌گیری ابزار و تجهیزات تهیه شده‌اند.	۱	۱	۱	۰	۰	۰
محصول	روش‌های دریافت و پذیرش قطعات و محصولات از سازندگان بیرونی تهیه شده‌اند.	۲	۱	۱	۰	۰	۰
محصول	روش‌های دریافت و پذیرش قطعات و محصولات از سازندگان داخلی تهیه شده اند.	۲	۱	۱	۰	۰	۰
رویه‌ها	طرح‌های نظارت، تهیه و تصویب شدشه‌اند.	۴	۴	۴	۰	۰	۰

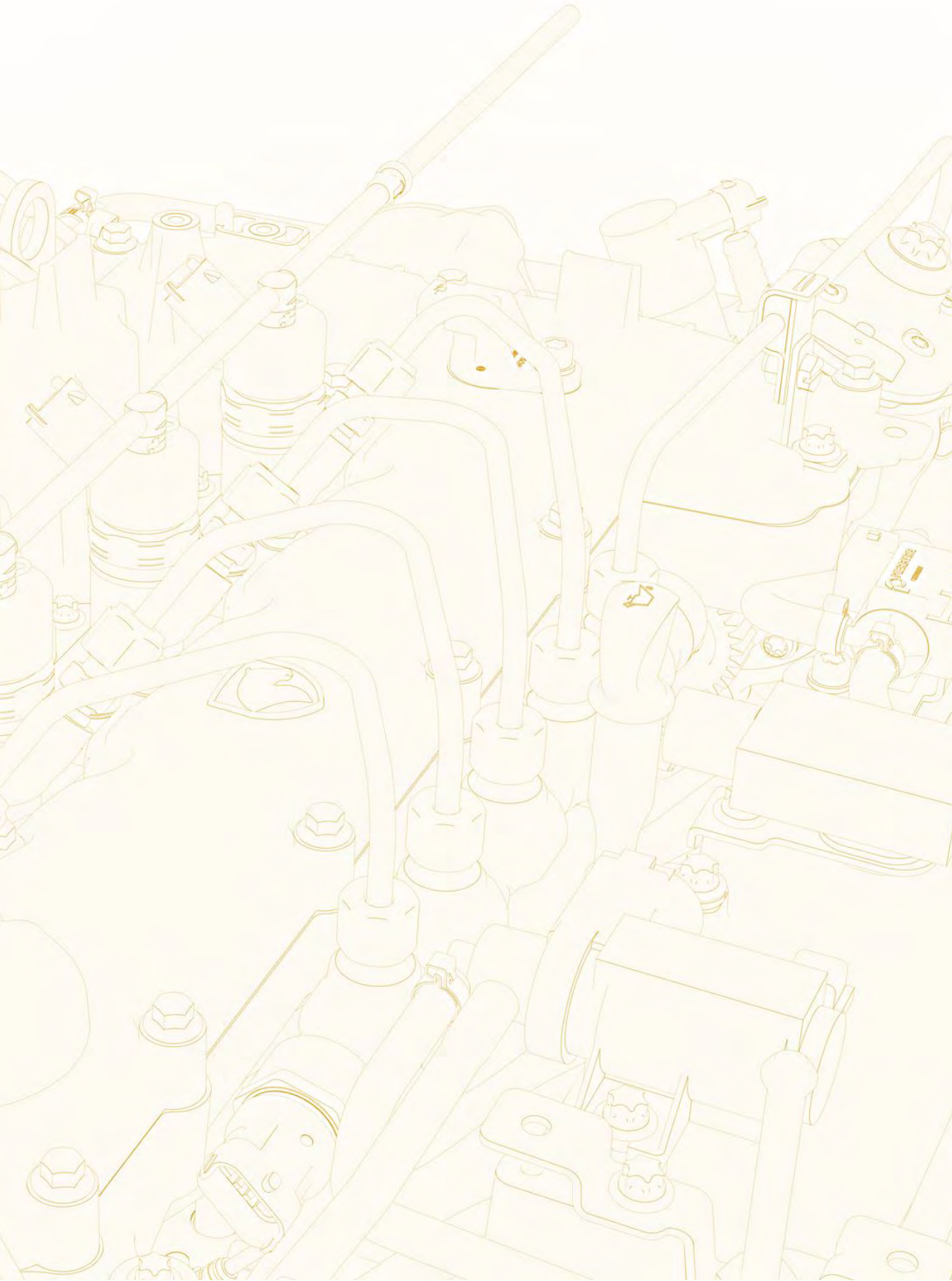
مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
تولید	نقشه‌ها و استانداردها و نقاط پایش در دسترس اند.	۲	۰	۰	۰	۰	۰
رویه‌ها	طرح گردش مواد و چیدمان سبدچینی تهیه و تصویب شده است.	۲	۲	۲	۰	۰	۰
رویه‌ها	تعیین محدوده و اتصال فرایند	۲	۲	۲	۰	۰	۰
رویه‌ها	فرایندها (آماده‌سازی، تدارکات، شرایط نگهداری، دوباره‌کاری، تعمیر، تنظیم اولیه، تنظیم)	۴	۴	۴	۲	۰	۰
تولید	مدارک ابزارها در دسترس است و وجود دارد.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
	ابزار						
تولید	تجهیزات شماره‌گذاری، شناسایی، فهرست بندی، طبقه‌بندی شده و در محل قرار گرفته اند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	سامانه‌های ضد خطا و ضد فراموشی، تعریف و فهرست بندی و تأیید شده است.	۲	۲	۲	۱	۰	۰
تولید	در دسترس بودن ابزار/تجهیزات مطابق با اهداف در کتاب مشخصات ابزار/تجهیزات است.	۳	۲	۲	۲	۱	۰

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
رویه‌ها	نرخ بهره‌وری فرایند، متناسب با اهداف تعریف شده در کتاب مشخصات فرایند است.	۶	۶	۶	۴	۲	۰
محصول	متغیرهای تنظیم فرایند با آنچه که تعریف شده‌اند، منطبق اند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	برنامه‌های اجرایی برای تجهیزاتی که مطابق با دفترچهٔ مشخصات نیستند، تعریف می‌شوند.	۳	۳	۳	۱	۱	۰
کیفیت	چگونگی برخورد با قطعات و محصول نامنطبق در محل اجرا، مشخص می‌شود.	۳	۳	۳	۲	۱	۰
تولید	مطالعات توانایی فرایند و تجهیزات قدیمی/جدید مطابق اهداف تعریف شده است.	۶	۶	۴	۲	۰	۰
تولید	تجهیزات کاملاً بر اساس شیوه نامه‌ای مشخص و دفترچهٔ نیازمندی‌ها تحویل گرفته شده‌اند.	۶	۶	۶	۲	۲	۰
تولید	نگهداری ابزار باید تضمین نماید که تجهیزات و خروج محصولات وضعیت مناسبی دارد.	۲	۲	۲	۰	۰	۰
تولید	تنظیمات اولیه، تعریف و اجرا می‌شوند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی‌سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
امور پدر	تجهیزات مطابق با اصول شاخص‌های انسانی و بدون خطرات ایمنی برای کارگر طراحی شده‌اند.	۶	۴	۴	۲	۰	۰
	تطابق و کفایت تجهیزات اندازه‌گیری، پایش، ادامه و ابزارهای آزمون						
تولید	تجهیزات پایش و بازرسی تنظیم شده‌اند و گواهینامهٔ اعتبار دارند.	۶	۴	۴	۰	۰	۰
تولید	تجهیزات (وسایل اندازه‌گیری، گشتاورسنج‌ها و دیگر ابزارها)، شناسایی و به طور یکپارچه شماره‌گذاری شده‌اند و در محل تعریف شده قرار دارند.	۳	۲	۲	۰	۰	۰
تولید	اگر توانائی ابزار و تجهیزات پیش‌بینی شده باشد، این توانائی با آن چه که تعریف شده است، مطابقت دارد.	۶	۴	۴	۰	۰	۰
تولید	تجهیزات و ابزارهای بازرسی، کاملاً بر اساس شیوه‌نامه‌ای مشخص و دفترچهٔ نیازمندی‌ها تحویل گرفته شده‌اند.	۶	۶	۶	۲	۰	۰
	سامانهٔ رایانه‌ای قابل ردیابی						
	محیط						

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
رویه‌ها	چگونگی قرارگیری تجهیزات، ابزارها و جریان مواد واقعی با آنچه که تأیید شده است، مطابقت دارد.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
امور پدر	جنبه‌های ایمنی تأیید شده است	۶	۴	۴	۲	۰	۰
امور پدر	شرایط محیط کاری بر اساس کتابچهٔ نیازمندی‌ها است. (نور، دمای محیط، رطوبت، جریان هوا، صدا، نظافت و نظم و ترتیب)	۳	۲	۲	۱	۱	۰
	مواد						
کیفیت	قطعات و محصولات وابسته به موتور با معیارهای پذیرش برای ترخیص نهایی مطابقت دارند.	۶	۶	۶	۲	۰	۰
تولید	تاریخ اعتبار قطعات یا محصولات مورد استفاده در موتور رعایت می‌شود.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
کیفیت	مواد مصرفی که تأثیری مستقیم روی کیفیت محصول دارند، با پایش کیفیت دریافت کالا، تأیید می‌شوند و در محدودهٔ زمانی اعتبار خود قرار دارند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	ظروف و سبدها برای استفاده از مواد مصرفی مناسبند.	۳	۲	۲	۱	۰	۰

مسئول	موضوع در ۱۳۹۶/۱۰/۱۳	نمونه‌سازی اولیه	نمونه‌سازی برای تولید	صنعتی‌سازی	پیش تولید	شروع تولید + ۳ هفته	شروع تولید + ۱۷ هفته
تولید	ظروف و سبدها بطور واضح شناسایی شده‌اند.	۳	۲	۲	۱	۰	۰
	نیروی انسانی						
تولید	شاخص‌های تولید، کیفیت و ایمنی به‌هنگام‌سازی و نمایش داده می‌شوند. شاخص‌های کیفی همراه با اهداف عددی آنها اند.	۶	۶	۶	۲	۰	۰
تولید	کارکنان با مفهوم شاخص‌ها، کاربرد و نتیجه گیری از آنها برای بهبود، آشنایند.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	صلاحیت کاری افراد با ایستگاه مورد تصدی آنها متناسب است.	۳	۳	۳	۰	۰	۰
تولید	تعداد کارگران متناسب با تعداد تولید است.	۳	۳	۳	۱	۰	۰
تولید	برنامهٔ آموزشی مناسب برای تمامی کارکنان تهیه شده است.	۴	۲	۲	۰	۰	۰
رویه‌ها	مستندات مرجع در محل موجود اند و رعایت می‌شوند.	۲	۲	۲	۱	۱	۰



فصل دوازدهم

خدمات پس از فروش

۱-۱۲- پیشگفتار

در بازار رقابتی امروز خودرو، خدمات پس از فروش در ایجاد وفاداری خریدارها به محصولات شرکت‌های تولیدکننده بسیار اهمیت دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش سهم بازارِ شرکت‌ها، کیفیت ارائهٔ خدمات پس از فروش آنها است. به همان منظور شرکت‌های تولیدکنندهٔ خودرو، واحدهای خدمات پس از فروش و رضایت خریدار را راه‌اندازی نموده‌اند.

امروزه به خدمات پس از فروش دیگر به عنوان یک کار جانبی تجاری در کنار صنعت خودرو نگریسته نمی‌شود بلکه به عنوان یکی از مؤثرترین ابزارهای بازاریابی به شمار می‌رود. در واقع سازمان‌های موفق در زمینهٔ بازاریابی، اهمیت شاخص‌های خدمات پس از فروش را درک نموده‌اند. شاخص‌هایی چون کیفیت محصول، ارائهٔ بموقع و منصفانهٔ خدمات به خریدارها، برآوردن نیازها و خواسته‌های خریدارها و پاسخ به گله‌های آنها، از این دسته اند.

طرح موتور ملی دیزل در سطح شرکت ایران‌خودرو و حتی کشور در زمینهٔ موتور خودروهای سواری، منحصر به فرد است و برای نخستین بار در کشور اجرا می‌شود. لازم است مباحث خدمات پس از فروش برای آن ارزیابی شود.

برای افزایش دانش و مهارت کارکنان شبکهٔ خدمات پس از فروش، ضروری است کارشناسان فنی نمایندگی‌ها در بهترین سطح علمی و آموزش فنی باشند. تفاوت در عملکرد موتورهای دیزلی و بنزینی بویژه در بخش‌های احتراق، سوخت‌رسانی، عملکرد واکنشگر در برابر گازهای خروجی، لزوم بازنگری کلی را در آموزش همکاران واحدهای خدمات پس از فروش نشان می‌دهد. لذا با توجه به فناوری، حسگرها و قطعات جدید، ضروری است این آموزش‌ها در سطوح برقی و مکانیکی انجام گیرد.

برای رضایت خریدار، باید تعمیرات در هنگام خدمات پس از فروش تا جای ممکن درست اجرا شود. همچنین باید پذیرفت که وجود بخش‌های حساس، شامل آب‌بندها، گشتاور سفت کردن پیچ‌ها و رویهٔ مکانیکی اجرای کار و وجود چندین حسگر، همکاری بسیار نزدیک گروه طراحی، نگاشت و خدمات پس از فروش را نیاز دارد.

عدم آشنایی کامل واحدهای خدمات پس از فروش با قطعات جدید و پیشرفتهٔ موتور دیزل و همچنین چگونگی عملکرد آنها می‌تواند به تعمیرات نادرست و صدمات جبران‌ناپذیری برای خریدارها و همچنین شرکت ایران‌خودرو بینجامد. بنابراین در تمامی سطوح باید پیام‌ها، هنجارهای کارکردی با رایانهٔ خودرو برای کارگزارهای نمایندگی مشخص گردد و بدون هیچگونه کاستی و یا حذف‌های سلیقه‌ای، به آنها آموزش داده شود.

با توجه به اینکه مبنای طراحی موتور دیزل بر اساس موتور ملی پایه‌گاز است، تا حد امکان سعی می‌شود برای تعمیر آن از همان ابزارهای خاص موتور ملی استفاده شود. علاوه بر این، به دلیل استفاده از برخی قطعات جدید در این موتور، ابزارهای مخصوصی برای هم‌بندی و باز کردن آن قطعات پیش بینی شده‌است. این ابزارها در اختیار واحدهای خدمات پس از فروش قرار گرفته و در فرآیند عیب‌یابی ارسال شده به این واحدها نیز با شمارهٔ فنی ابزارهای مخصوص اعلام شده‌است.

آشکار است که محصول جدید شرکت ایران‌خودرو با موتور ملی دیزل جزو تولیدات خاص این شرکت محسوب می‌شود لذا وجود تجهیزات پیشرفتهٔ تعمیراتی در واحدهای خدمات پس از فروش مایهٔ افزایش خشنودی خریدارها، در هنگام مراجعه به این واحدها و در نتیجه گسترش بازار فروش این محصول خواهد شد.

۲-۱۲- مدارک و مستندات خدمات پس از فروش

انتقال درست و روشن اطلاعات به نمایندگی‌ها و کارگزاری‌های مجاز ایران خودرو در سراسر کشور و چگونگی تعمیرات این واحدها، بسیار مهم است. لذا بخش مهندسی رضایت خریدار، در واحد تضمین کیفیت، کتابچه‌ای برای عیب‌یابی و تعمیرات موتور نگارش نموده‌است. این مستند مهم‌ترین مدرک و مرجع دربارهٔ بحث خدمات پس از فروش است. در این مدرک، نکته‌های کلیدی برای تعمیرات، هم‌بندی و باز کردن موتور نوشته شده است. این شیوه‌نامهٔ تعمیراتی شامل نکته‌هایی بدین شرح است:

- راهنمای تعمیرات مکانیکی موتور
- راهنمای تعمیرات برقی موتور و خودرو (سمند سورن)
- راهنمای تعمیرات مدیریت هوشمند موتور و روش عیب‌یابی
- معرفی ابزارهای مخصوص
- قطعات یکبار مصرف
- راهنمای خدمات دوره‌ای موتور و خودرو

برخی قطعات ایمنی و مصرفی موتور باید پس از کارکرد مشخصی تعویض شوند لذا باید خریدار را با اطلاع رسانی مناسب به همراه شیوه‌نامهٔ نگهداری خودرو، آگاه ساخت. کارگزارها و نمایندگی‌های ایران خودرو نیز باید از این موضوع آگاهی داشته باشند؛ به همین سبب باید به آنها در سراسر کشور به صورت کاملاً جدی هشدار داده شود. شایسته است تعمیر قسمت‌های مختلف موتور با تهیهٔ فیلم کاملی در قالب لوح فشرده در اختیار نمایندگی‌های خدمات پس از فروش قرار گیرد.

۱۲-۳- آموزش شبکهٔ نمایندگان

از مهمترین بخش‌های طرح موتور ملی دیزل، آموزش شبکهٔ نمایندگی‌ها و کارگزارهای فنی تعمیرگاه‌ها، در سراسر کشور است. این موضوع باید با هماهنگی کامل دفتر طرح پیگیری شود و تا رسیدن به اطمینان کامل از آموزش روش‌های کارگاهی تعمیرات موتور و همچنین سطح‌بندی‌های آموزشی و گذراندن دوره‌های آن، ادامه یابد. در اینجا دوباره دوره‌های آموزشی خدمات پس از فروش برای کارگزاری‌ها و نمایندگی‌ها شرح کوتاهی داده می‌شود.

۱۲-٤- آموزش نمایندگی‌های مجاز در سطح شبکه

برای آمادگی شبکهٔ خدمات پس از فروش در کوتاه‌ترین زمان ممکن، اولویت‌های آموزشی نمایندگی‌ها تعیین و برای برنامه‌ریزی به مدیریت آموزش خدمات پس از فروش اعلام می‌شود. این کار با همکاری امور مناطق و نظارت مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو انجام می‌شود.

دوره‌های آموزشی این محصول در سه سطح و در دوره‌های چندباره برای شبکهٔ خدمات پس از فروش، مهندسان و کاردان‌های خط تولید ایران‌خودرو اجرا خواهد شد:

- دورهٔ برق ویژهٔ سرپرستان برق
- دورهٔ تعمیرات موتور ویژهٔ سرپرستان مکانیک
- دورهٔ ویژهٔ کارشناسان فنی نمایندگی‌ها

دوره‌های دیگری که برای خودروی سمند سورن است با همان کیفیت قبلی و اعمال تغییرات خاص برای موتور ملی دیزل نیز برگزار خواهد شد.

۱۲-۵- راهنمای تعمیرات مکانیکی موتور ملی دیزل

شیوه‌نامهٔ راهنمای تعمیرات موتور ملی دیزل شامل معرفی تفصیلی این محصول و همچنین راهنمای کامل هم‌بندی و بازکردن است. بر اساس جدول‌ها و ویژگی‌های قطعات تعمیری و تعویضی در موتور، تعمیرات دوره‌ای آن را واحدهای خدمات انجام خواهد داد.

در این راهنما هر یک از قطعات موتور، به صورت کاملاً مشخص معرفی و معیار سالم یا معیوب بودن آنها نیز قید شده است. جدول ۱۲-۱، ویژگی‌های عمومی موتور ملی دیزلی موجود را در شیوه‌نامه نشان می‌دهد:

۱۲-۶- مشخصات عمومی موتور ملی دیزلی

جدول ۱۲-۱- ویژگی‌های عمومی موتور ملی دیزلی، الف: اطلاعات عمومی موتور

حجم موتور	۱,۴۹۶ لیتر
جرم موتور	۱۷۵ کیلوگرم
بیشینهٔ توان	۹۰ کیلووات در ۴۰۰۰ د.د.د.
بیشینهٔ گشتاور	۲۵۶ نیوتن‌متر در ۲۶۰۰-۱۷۵۰ د.د.د.
ضدیخ مورد استفاده	بهران مهر پایه آلی
زمان تعویض ضدیخ	۳ سال یا ۱۰۰,۰۰۰ کیلومتر
گازوییل مجاز	EN۵۹۰-EU۴
آرایش استوانه‌ها	خطی
شمارهٔ استوانه‌ها	۱-۲-۳-۴
ترتیب احتراق	۱-۳-۴-۲
تعداد دریچه‌ها	۱۶
مدیریت برقی	بوش
جنس بستار	همبستهٔ آلومینیوم
جنس چندراهه	همبستهٔ آلومینیوم

ادامهٔ جدول ۱۲-۱- ویژگی‌های عمومی موتور ملی دیزلی، ب: نیمهٔ بالای موتور

فشار نسبی چندراههٔ هوا در سطح دریا	همیشه منفی
فشار نسبی چندراههٔ هوا در تهران (تقریباً ۸۷ کیلوپاسکال)	همیشه منفی
زاویهٔ باز بودن دریچهٔ هوا (در خیز ۱ میلی‌متر)	۳۷۰ درجهٔ میل‌لنگ
زاویهٔ باز بودن دریچهٔ دود (در خیز ۱ میلی‌متر)	۱۶۵٫۶ درجهٔ میل‌لنگ
فشار بیشینهٔ محفظهٔ احتراق	۱۷۰ بار
زاویهٔ بسته بودن دریچهٔ دود	۳۸۶٫۶ درجهٔ میل‌لنگ
بازهٔ زاویه‌ای مکش هوا	۲۴۹ درجهٔ میل‌لنگ
بازهٔ زاویه‌ای خروج دود	۲۴۸ درجهٔ میل‌لنگ
زاویهٔ بسته بودن دریچهٔ هوا	۵۹۰٫۶ درجهٔ میل‌لنگ
بازهٔ زاویه‌ای قیچی دریچه‌ها	۴۴ درجهٔ میل‌لنگ

ادامهٔ جدول ۱۲-۱- ویژگی‌های عمومی موتور ملی دیزلی، ج: نیمهٔ پائین موتور

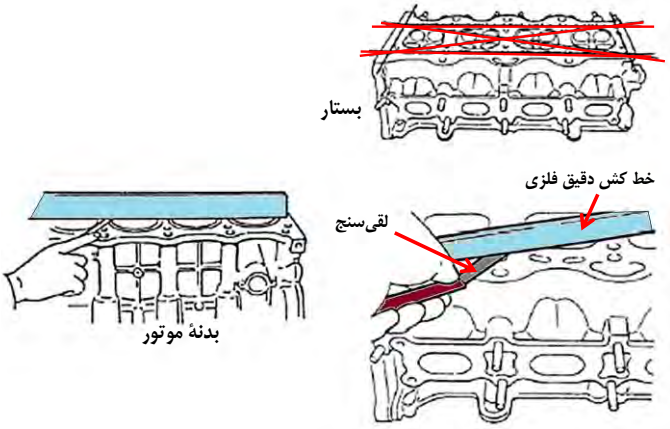
پیمایش سمبه	۸۲٫۵ میلی‌متر
قطر داخلی استوانه	۷۶ ۰٫۰۱± میلی‌متر
جرم سمبه	۴۰۹ ۰٫۰۲۵± گرم
نسبت پیمایش سمبه به قطر استوانه	۱٫۰۸
فاصلهٔ مرکز سوراخ محور سمبه تا تاج سمبه	۴۲ ۰٫۰۲۵± میلی‌متر
فاصلهٔ مرکز استوانه‌ها از همدیگر	۸۴ میلی‌متر
مقدار استوانه‌ای بودن آستری	۰٫۰۰۸ میلی‌متر
لقی یاتاقان ثابت	۰٫۱۵ میلی‌متر
طول هر دسته سمبه (از مرکز به مرکز)	۱۳۴٫۲۵ میلی‌متر
جرم دسته سمبه‌ها بدون یاتاقان	۵۴۵–۵۷۰ گرم
بیشینهٔ لنگی مجاز میل‌لنگ	۰٫۰۶۸ میلی‌متر
لقی محوری میل‌لنگ	۰٫۳۴ میلی‌متر
ضخامت بغل یاتاقانی میل‌لنگ	۱٫۹۲–۱٫۹۷ میلی‌متر
لنگی مجاز چرخ طیار روی میل‌لنگ	۰٫۱ میلی‌متر
طول هر دسته سمبه (از مرکز به مرکز)	۱۳۴٫۲۵ میلی‌متر
صافی سطح بدنه	Rz max۱۵ و Rz 0Wt۸
ظرفیت روغن موتور	موتور کاملاً بدون روغن (خشک): ۵٫۹ لیتر، موتوری که روغن آن تخلیه شده است (موتور تَر): ۴٫۵ لیتر توجه: با هر بار تعویض روغن، صافی روغن نیز باید تعویض شود.
مقدار فشار روغن در دورهای مختلف (د.د.د.)	بیشینهٔ فشار راهگاه اصلی در بیشینهٔ توان > ۳٫۷ بار در دمای ۱۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد فشار در طول راهگاه بستار در حالت دور آرام گرم > ۰٫۵ بار در دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد

۷-۱۲- مراحل هم‌بندی مجموعهٔ بستار

شکل ۱۲-۱، چگونگی همبندی بستار موتور دیزل سواری را نشان می‌دهد.

- در هم‌بندی بستار دقت شود ابتدا باید بستار شستشوی کامل شود و سپس مسیرهای روغن، آب و دیگرجاهای بستار بادگیری شود.
- اگر از دستمال برای خشک کردن بستار استفاده می‌شود باید بدون پرز باشد.
- نشیمنگاه دریچه و محل‌های نشست و تماس بستار را از لحاظ ایرادهای چشمی، بررسی کنید.

قبل از عملیات هم‌بندی قطعات روی بستار باید با قراردادن خط کش دقیق فلزی و لقی‌سنج[1] تاب کف بستار (قسمتی که بر روی بدنه قرار می‌گیرد) را اندازه‌گیری کنید و اگر در حد مجاز بود، عملیات همبندی اجرا شود و اگر تاب کف بیش از حد مجاز بود، بستار را به همراه قاب نردبانی بالا تعویض کنید. همین عمل نیز برای سطح بدنهٔ محل نشست بستار انجام گیرد. شکل ۱۲-۱، چگونگی همبندی بستار موتوردیزل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱- چگونگی همبندی بستار موتور دیزل سواری

[1] Filler

◄ **حدود مجاز سطح‌های بالا و پایین بستار:**

سطح زیرین بستار (سطحی که با لایی بستار تماس دارد):

در مساحت ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر مربع: حد مجاز ۰٫۰۳ میلی‌متر است. در کل مساحت: ۰٫۰۸ میلی‌متر

سطح بالایی بستار (سطحی که با قالپاق دریچه تماس دارد)

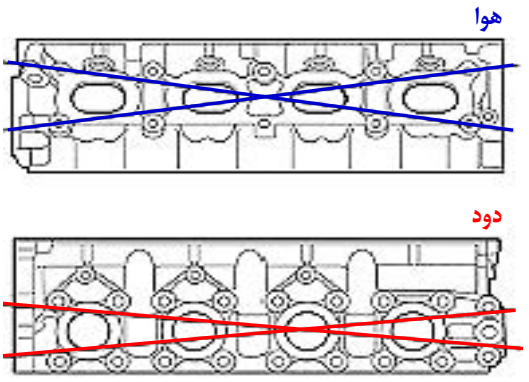
در مساحت ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر مربع: حد مجاز ۰٫۰۸ میلی‌متر است.

سطح بالایی بدنه (سطحی که با لایی بستار تماس دارد)

در مساحت ۱۵۰ × ۱۵۰ میلی‌متر مربع: حد مجاز ۰٫۰۳ میلی‌متر است. در کل مساحت ۰٫۰۵ میلی‌متر

ارتفاع استاندارد بستار از محل نشست درپوش دریچه‌ها تا لایی بستار: ۱۵۷٫۵ میلی‌متر

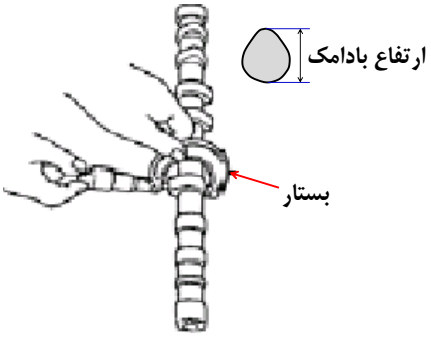
◄ حد تاب (پیچیدگی) بستار سمت چند راههٔ ورودی و خروجی (حد مجاز به ۰٫۱ میلی‌متر)



شکل ۱۲-۲- چگونگی بررسی حد تاب در بستار چند راههٔ ورودی و خروجی

◄ بازدید میل‌بادامک‌ها: با استفاده از میکرومتر، ارتفاع بادامک را اندازه‌گیری کنید. اگر مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از حد مجاز است، میل‌بادامک را تعویض کنید. **Error! Reference source not found.**، حد مجاز

ارتفاع بادامک‌های هوا و دود را نشان می‌دهد. شکل ۱۲-۳ نیز نحوهٔ بازدید میل‌بادامک با میکرومتر را نشان می‌دهد.

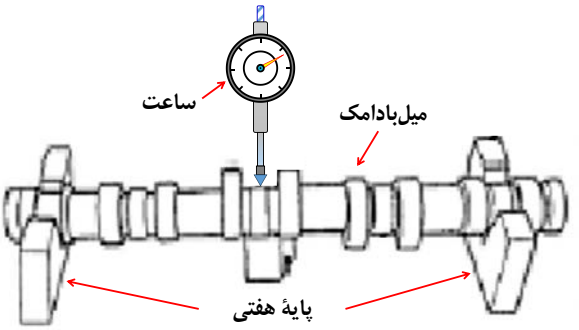


شکل ۱۲-۳- بازدید میل‌بادامک با ریزسنج

جدول ۱۲-۱- حد مجاز ارتفاع بادامک‌های هوا و دود

ارتفاع بادامک	مقدار نامی (میلی‌متر)	حد مجاز (میلی‌متر)
بادامک هوا	۳۸,۱۰	۰,۱۲±
بادامک دود	۳۸,۱۷	۰,۱۲±

◄ لنگی میل‌بادامک: میل‌بادامک را بین دو عدد پایهٔ هفتی شکل قرار دهید و با ساعت اندازه‌گیر، لنگی آن را اندازه بگیرید. اگر لنگی از حد مجاز بیشتر باشد، میل‌بادامک را تعویض کنید. لنگی مجاز میل‌بادامک ۰,۰۲ میلی‌متر است. شکل ۱۲-۴، چگونگی اندازه‌گیری لنگی میل‌بادامک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۴- چگونگی اندازه‌گیری لنگی میل‌بادامک

◄ ساییدگی یاتاقان‌های میل‌بادامک‌ها را بررسی نمایید. نشیمنگاه‌های میل‌بادامک را از نظر حفره‌زایی[1]، خراشیدگی[2]، سایش[3] یا آسیب دیدگی بررسی کنید. اگر هرگونه ایرادی مشاهده شد، میل‌بادامک یا بستار را به همراه قاب نردبانی تعویض کنید.

هشدار: هیچگاه بستار را بدون قاب نردبانی آن تعویض نکنید.

فاصلهٔ یاتاقان و میل‌بادامک را با صفحه‌های اندازه‌گیر پلاستیکی[4] که بین آنها قرار می‌دهید، بررسی کنید. مراحل بررسی بدین شرح اند:

- نشیمنگاه‌های میل‌بادامک را پاک کنید.
- مطمئن شوید تمام تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را از جای خود خارج نموده اید و سپس میل‌بادامک‌ها را ببندید.
- اندازه‌گیر پلاستیکی را در سرتاسر پهنای یاتاقان میل‌بادامک (موازی میل‌بادامک) قرار دهید.
- قاب نردبانی را سوار کنید.
- پیچ‌ها را به ترتیب با گشتاور ۲±۱۰ نیوتن متر، ببندید.
- دقت شود که وقتی اندازه‌گیر پلاستیکی را بین نشیمنگاه‌های میل‌بادامک و میل‌بادامک قرار داده‌اید، میل‌بادامک را نچرخانید.

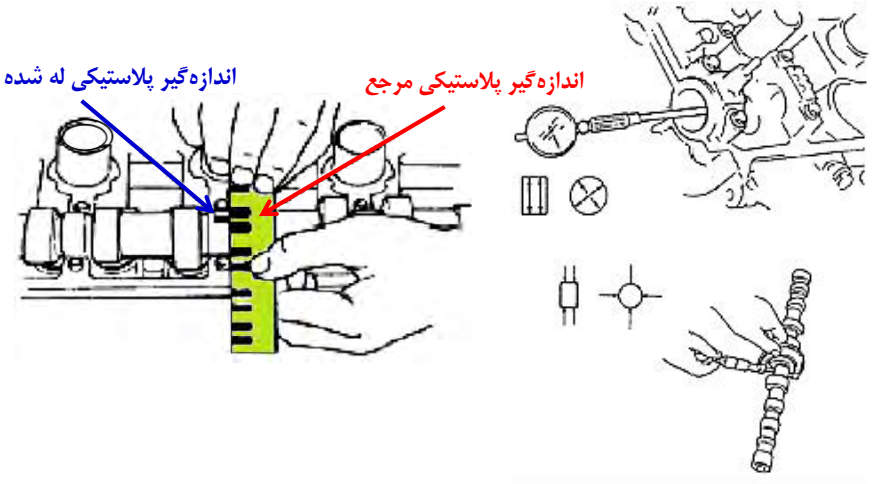
قاب نردبانی را باز کنید و با استفاده از خط کشی که در بستهٔ اندازه‌گیر پلاستیکی وجود دارد، عرض اندازه‌گیر پلاستیکی را در پهن‌ترین نقطه، اندازه‌گیری کنید. اگر لقی میل‌بادامک از حد تعمیر بیشتر بود، میل‌بادامک را تعویض کنید. شکل ۱۲-۵، چگونگی بررسی سائیدگی یاتاقان‌های میل‌بادامک را با اندازه‌گیر پلاستیکی نشان می‌دهد.

---

[1] Pitting
[2] Scratching
[3] Wear
[4] Plastic gage

جدول ۱۲-۲- برخی اندازه‌ها روی قاب دریچه‌ها و بستار

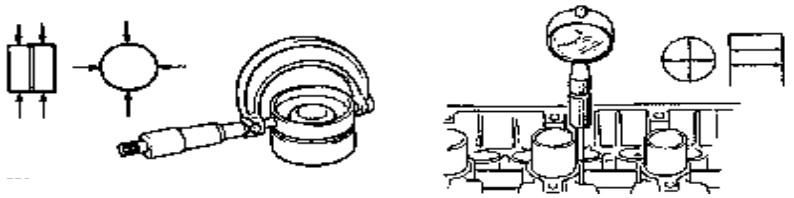
	استاندارد (میلی‌متر)	حد مجاز (میلی‌متر)
قطر داخلی کپه	۳۶	+۰,۰۲۵
قطر خارجی میل‌بادامک در قسمت کپه	۳۶	−۰,۰۶۱ تا −۰,۰۴
قطر سوراخ بستار	۱۲	+۰,۰۰۶ تا +۰,۰۲۴
قطر خارجی تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها	۱۲	۰ تا −۰,۰۱۱
لقی بین تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها و سوراخ بستار	کمینهٔ لقی = ۰,۰۳۵	بیشینهٔ لقی= ۰,۰۶



شکل ۱۲-۵- چگونگی بررسی سائیدگی یاتاقان‌های میل‌بادامک با اندازه‌گیر پلاستیکی

◄ ساییدگی تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را بررسی کنید. تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را از نظر حفره‌زایی، خراشیدگی، سائیدگی یا آسیب بررسی کنید. اگر هرگونه ایرادی مشاهده شد، آنها را تعویض کنید.

سوراخ داخل بستار (محل تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها) و قطر خارجی تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را اندازه‌گیری کنید. فاصلهٔ بین این دو را مشخص کنید. اگر لقی بیش از حد مجاز بود، تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها و یا بستار را تعویض کنید. شکل ۱۲-۶، چگونگی بررسی سائیدگی تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۶- بررسی سائیدگی تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها

◄ لقی محوری میل‌بادامک را بررسی نمایید.

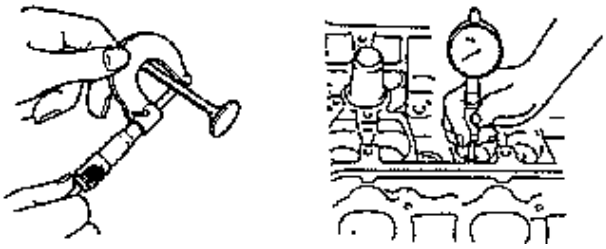
میل‌بادامک را در جایگاه خود قرار دهید و تمام مراحل هم‌بندی قاب نردبانی بالا را انجام دهید. سپس با پیچ گشتی میل‌بادامک را کاملاً به سمت عقب هل دهید تا به انتهای پیمایش حرکت خود برسد. آنگاه ساعت اندازه‌گیری را به گونه‌ای قرار دهید که نوک ساعت اندازه‌گیری با سر میل‌بادامک در تماس باشد. در لحظه‌ای که نوک ساعت با میل‌بادامک تماس پیدا کرد، صفحهٔ مدرج ساعت را روی صفر تنظیم کنید. در مرحلهٔ بعد با پیچ گشتی میل‌بادامک را به سمت جلو حرکت دهید و وقتی به انتهای پیمایش حرکت خود رسید، ساعت را بخوانید و با مقدار مجاز لقی مقایسه کنید. اگر مقدار لقی به دست آمده، مجاز نبود، میل‌بادامک را تعویض کنید. اگر بازهم ایراد داشت، میل‌بادامک و بستار را همراه قاب نردبانی بالایی تعویض کنید. مقدار لقی مجاز محوری میل‌بادامک عبارتند از: کمینه: ۰,۰۷ میلی‌متر و بیشینه: ۰,۲۵ میلی‌متر. شکل ۱۲-۷، چگونگی اندازه‌گیری لقی محوری میل‌بادامک را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-۷- اندازه‌گیری لقی محوری میل‌بادامک

◄ لقی ساق دریچه را نسبت به راهنمای آن بررسی کنید. با استفاده از میکرومتر، قطر ساق دریچه و سوراخ راهنماها را اندازه‌گیری و اختلاف آنها را ثبت کنید. شکل ۱۲–۸، چگونگی اندازه‌گیری لقی ساق دریچه را نسبت به راهنمای آن طبق جدول ۱۲–۴، نشان می‌دهد.

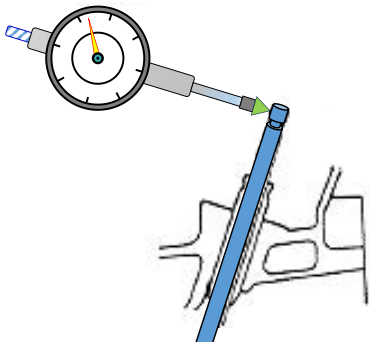
جدول ۱۲–۴– لقی مجاز بین ساق دریچه با سوراخ راهنما

دریچه‌های هوا (میلی‌متر)		دریچه‌های دود (میلی‌متر)	
کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۱۹۵	۰,۰۵۰۵



شکل ۱۲–۸– چگونگی اندازه‌گیری لقی ساق دریچه نسبت به راهنمای آن

◄ انحراف انتهایی ساق دریچه نسبت به راهنمای آن: این کار را می‌توان به وسیلهٔ ساعت اندازه‌گیری انجام داد. اگر انحراف مجاز نبود باید مجموعهٔ بستار، قاب نردبانی و دریچه‌ها تعویض شوند. حد انحراف انتهایی ساق دریچه‌های هوا و دود ۰,۲ میلی‌متر است. شکل ۱۲–۹، چگونگی اندازه‌گیری انحراف انتهایی ساق دریچه را نسبت به راهنمای آن نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۹- چگونگی اندازه‌گیری انحراف انتهایی ساق دریچه نسبت به راهنمای آن

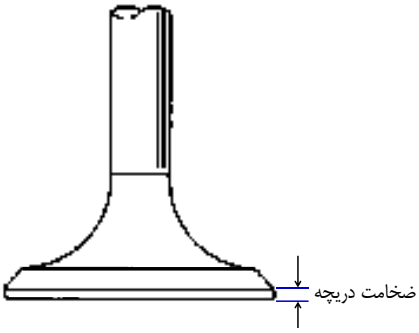
◄ دریچه‌ها را ازلحاظ سالم بودن بررسی کنید. رسوب دوده روی دریچه‌ها را پاک کنید. دریچه‌ها را از نظر ساییدگی، سوختگی، کجی، (انتهای ساق دریچه نسبت به سر دریچه)، بازدید کنید و در هنگام نیاز تعویض کنید. انتهای ساق دریچه را از نظر حفره‌زایی و ساییدگی بازدید کنید. اگر حفره و ساییدگی مشاهده شد، دریچه را تعویض کنید. شکل ۱۲-۱۰، سطح محل انتهای ساق دریچه را برای بررسی از نظر عیوب نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-۱۰- سطح محل انتهای ساق دریچه برای بررسی از نظر عیوب

◄ ضخامت سر دریچه (بشقابک) را بررسی نمایید. ضخامت بشقابک را اندازه بگیرید. اگر این ضخامت مجاز نبود، حتماً دریچه را تعویض کنید. شکل ۱۲-۱۱، نحوهٔ اندازه‌گیری ضخامت دریچه را طبق جدول ۱۲-۴ نشان می‌دهد.

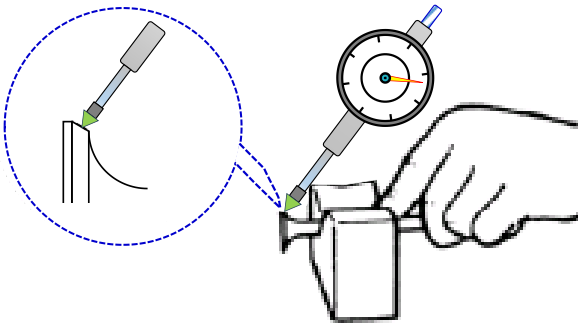
جدول ۱۲-۴- ضخامت مجاز سر دریچه‌ها

دریچه‌های هوا (میلی‌متر)	دریچه‌های دود (میلی‌متر)
۲,۷۷ ۰,۲±	۲,۵۳ ۰,۲±



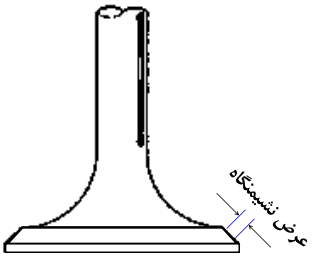
شکل ۱۲-۱۱- اندازه‌گیری ضخامت سر دریچه

◄ لنگی شعاعی سردریچه را بررسی نمایید. لنگی شعاعی سر هریک از دریچه‌ها را با ساعت اندازه‌گیر و پایهٔ هفتی شکل اندازه‌گیری کنید. برای بررسی باید دریچه را روی پایه قرار دهید. ساعت را روی لبهٔ مورد نظر بگذارید و با انگشت به آرامی دریچه را بچرخانید. اگر لنگی شعاعی از حد مشخص شده بزرگتر بود، دریچه را تعویض کنید. حد لنگی شعاعی مجاز سردریچه‌های هوا و دود ۰,۰۳ میلی‌متر است. شکل ۱۲-۱۲، لنگی شعاعی سردریچه را نشان می‌دهد.



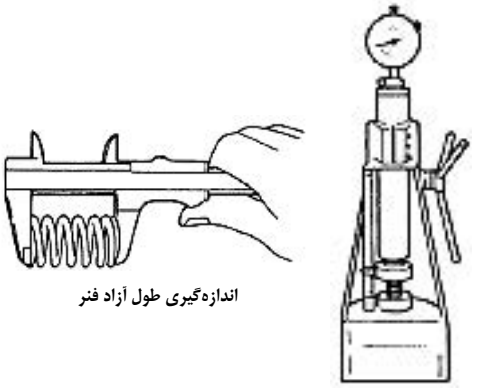
شکل ۱۲-۱۲- لنگی شعاعی سردریچه

◄ عرض نشیمنگاه دریچه را بررسی نمایید. عرض استاندارد نشیمنگاه دریچه که روی دریچه باید در اثر چرخش ایجاد شود در دریچهٔ هوا و دود ۰٫۱± ۵٫۸ میلی‌متر است. شکل ۱۲–۱۳، اندازه‌گیری عرض نشیمنگاه دریچه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲–۱۳– اندازه‌گیری عرض نشیمنگاه دریچه

◄ طول آزاد و فشردهٔ فنر دریچه را بررسی کنید. طول آزاد فنر دریچه‌های هوا و دود، ۴۸٫۷ میلی‌متر و بیشترین طول فشرده شدهٔ فنر دریچه‌های یادشده، ۲۳٫۴ میلی‌متر است. شکل ۱۲–۱۴، نحوهٔ اندازه‌گیری طول آزاد و فشردهٔ فنر دریچه را نشان می‌دهد.



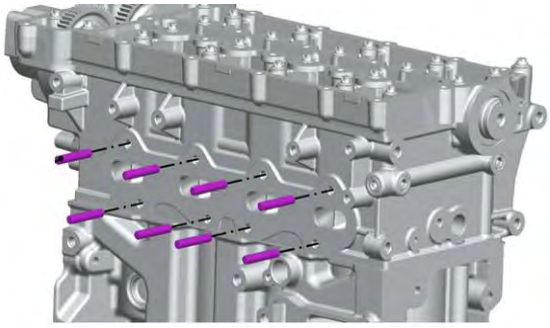
شکل ۱۲–۱۴– اندازه‌گیری طول آزاد و فشردهٔ فنر دریچه

هشدار: دقت کنید که ضعیف شدن فنرهای دریچه می‌تواند موجب صدای دریچه گردد و همچنین کاهش فشار نشستن درپوش دریچه سرجای خود موجب نشتی هوا و در آخر کاهش قدرت موتور می‌شود.

◄ گونیا بودن فنر دریچه‌ها را بررسی نمایید: با استفاده از گونیا و یک سطح صاف ، شکل همه فنرها را بررسی کنید (فاصلهٔ انتهای فنر تا گونیا را اندازه‌گیری کنید. اگر در حد مشخص شده نبود، تعویض کنید. شکل ۱۲–۱۵، گونیا بودن فنر دریچه‌ها را نشان می‌دهد.

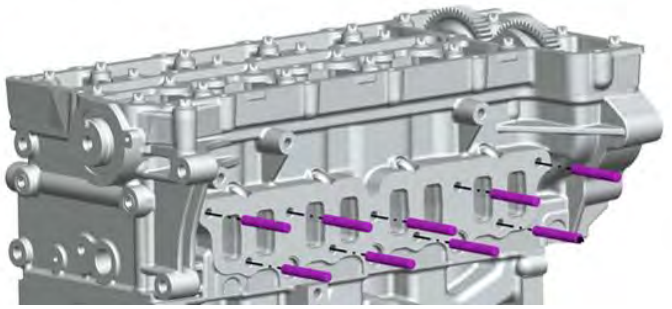
شکل ۱۲–۱۵– گونیا بودن فنر دریچه‌ها

◄ ۸ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ دود را با گشتاور ۲ ± ۱۴ نیوتن‌متر، هم‌بندی نمایید. برای باز نمودن پیچ‌های دوسر رزوه باید از ابزار مخصوص استفاده نمود. شکل ۱۲–۱۶، محل ۸ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ دود را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲–۱۶– محل ۸ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ دود

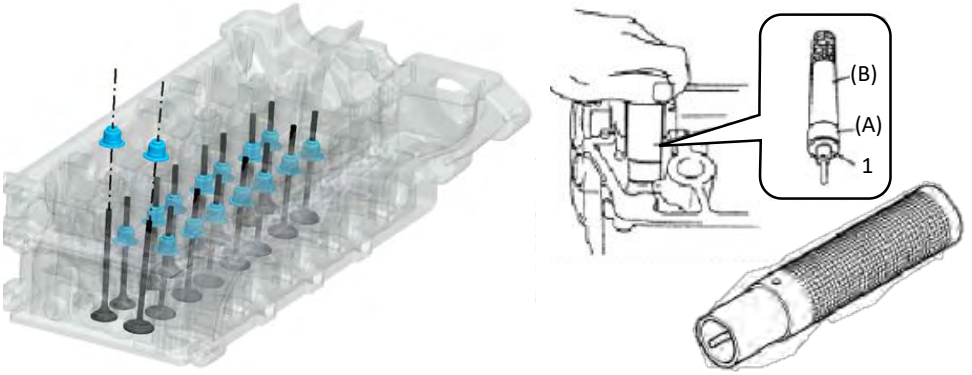
◄ ۹ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ هوا را با گشتاور ۱ ± ۸ نیوتن‌متر، هم‌بندی نمایید. برای باز نمودن پیچ‌های دوسر رزوه باید از ابزار مخصوص استفاده نمود. شکل ۱۲–۱۷، محل ۹ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ هوا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱۷- محل ۹ عدد پیچ دوسر رزوهٔ چند راههٔ هوا

◄ ابتدا لبهٔ لاستیک ساق دریچهٔ جدید و راهنما را آغشته به روغن SAE۵۰ کنید. با ابزار مخصوص، کاسه نمد جدید را روی راهنما سوار کنید و بعد از عملیات هم‌بندی بررسی کنید که کاسه نمدها بخوبی هم‌بندی شده باشند. شکل ۱۲-۱۸، جازدن لاستیک ساق دریچه‌ها را نشان می‌دهد.

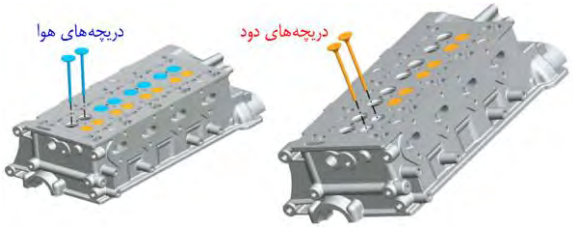
هشدار: هیچ گاه به ابزار مخصوص کاسه نمد جازن ضربه نزنید، سعی کنید که کاسه نمد را روی ابزار قرار دهید و با هل دادن ابزار مخصوص بر روی راهنما، کاسه نمد را جا بزنید.



شکل ۱۲-۱۸- جازدن لاستیک ساق دریچه‌ها

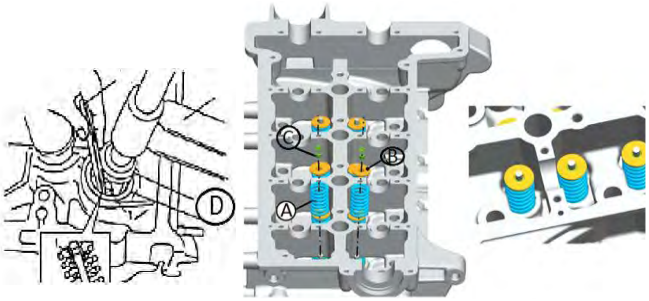
◄ ساق دریچه‌های ورودی و خروجی را روغن SAE۵۰ بزنید و سپس در داخل راهنما قرار دهید.

توجه: قبل از هرگونه عملیات هم‌بندی، دریچه‌ها را بر روی نشیمنگاه خود آب‌بندی کنید. شکل ۱۲-۱۹، آب‌بندی دریچه‌ها را قبل از عملیات همبندی آنها نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱۹- آب‌بندی دریچه‌ها قبل از عملیات همبندی آنها

◄ فنر دریچه و بشقابک را سوار دریچه کنید. با استفاده از فنر جمع کن، فنر دریچه را جمع کنید و دو عدد خار را داخل شیار ساق دریچه جا بیندازید و سپس فنر جمع کن را آزاد کنید. شکل ۱۲-۲۰، سوار کردن فنر دریچه و بشقابک آن را نشان می‌دهد.



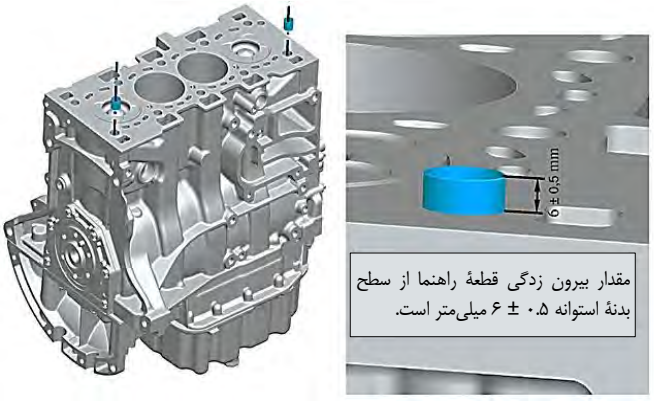
شکل ۱۲-۲۰- سوار کردن فنر دریچه و بشقابک آن

◄ دریچهٔ یک سویهٔ روغن را روی بدنه، هم‌بندی نمایید. شکل ۱۲-۲۱، دریچهٔ یک سویهٔ روغن را روی بدنه نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-۲۱- دریچهٔ یک سویهٔ روغن روی بدنه

یادداشت: دقت کنید قبل از هم‌بندی قطعات بر روی بدنه، محل نشست لایی بستار و تاج سمبه‌ها را کاملاً پاک کنید. دریچهٔ یک‌سویهٔ روغن برای جلوگیری از برگشت روغن از بستار به داخل بدنه است. در صورت معیوب بودن (دوطرفه شدن مسیر)، دریچه را تعویض کنید.

◀ استوانه‌های راهنمای بستار را بر روی بدنهٔ موتور هم‌بندی کنید. مقدار بیرون زدگی مجاز استوانهٔ راهنما از سطح بدنه، ۰٫۵ ± ۶ میلی‌متر است. شکل ۱۲–۲۲، محل قطعهٔ راهنما را روی بدنه برای قرارگیری لایی بستار روی آن نشان می‌دهد.



شکل ۱۲–۲۲– محل قطعهٔ راهنما روی بدنه برای قرارگیری لایی بستار روی آن

◀ لایی بستار نو را بر روی بدنه قرار دهید.

هشدار: با توجه به عدم باز و بست نیم موتور پایین (مجموعهٔ دسته سمبه، سمبه، بدنه، میل‌لنگ و یاتاقان‌ها)، باید از لایی بستار جدید با همان درجه‌ای[1] که از روی موتور باز کرده‌اید، استفاده نمایید. به عنوان مثال: در حین بازکردن لایی از روی بدنه مشخص گردید، درجهٔ لایی بستار ۲ است. برای هم‌بندی بستار باید از لایی بستار نو با درجهٔ ۲ استفاده کنید. شکل ۱۲–۲۳، تصویر لایی بستار و محل درج درجهٔ آن را نشان می‌دهد.

[1] Grade

شکل ۱۲-۲۳- تصویر لایی بستار و محل درج درجهٔ آن

تشخیص درجهٔ لایی بستار

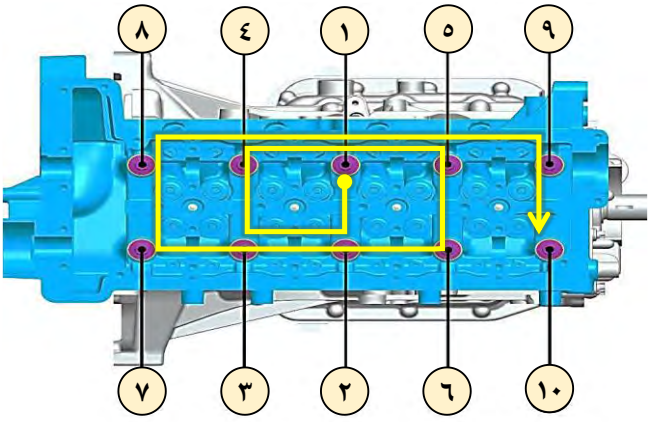
در جدول ۱۲-۶، نحوهٔ تشخیص درجهٔ لایی بستار نشان داده شده است.

جدول ۱۲-۶- نحوهٔ تشخیص درجهٔ لایی بستار

درجه	مقدار بیرون زدگی تاج سمبه	ضخامت لایی بستار
۱	۰,۳۷۴-۰,۴۲ میلی‌متر	۱,۰۷ ± ۰,۰۵ میلی‌متر
۲	۰,۴۶۰-۰,۴۲۱ میلی‌متر	۱,۱۲ ± ۰,۰۵ میلی‌متر
۳	۰,۵۱۰-۰,۴۶۱ میلی‌متر	۱,۱۷ ± ۰,۰۵ میلی‌متر

- ۱۰ عدد پیچ بستار را با آچار E۱۲، روی بدنه هم‌بندی کنید. در ۵ مرحله پیچ‌های بستار، به گشتاور مورد نیاز می‌رسند.
- مرحلهٔ اول گشتاور ۶۰ نیوتن‌متر، مرحلهٔ دوم شل کردن، مرحلهٔ سوم ۳۰ درجه، مرحلهٔ چهارم ۱۸۰ درجه و مرحلهٔ پنجم ۱۸۰ درجهٔ دیگر = ۱۵۵-۱۱۰ نیوتن‌متر)

یادداشت: پیچ‌های بستار را از داخل به بیرون به صورت حلزونی به گشتاور برسانید. شکل ۱۲-۲۴، روش حلزونی بستن پیچ‌های بستار را نشان می‌دهد.

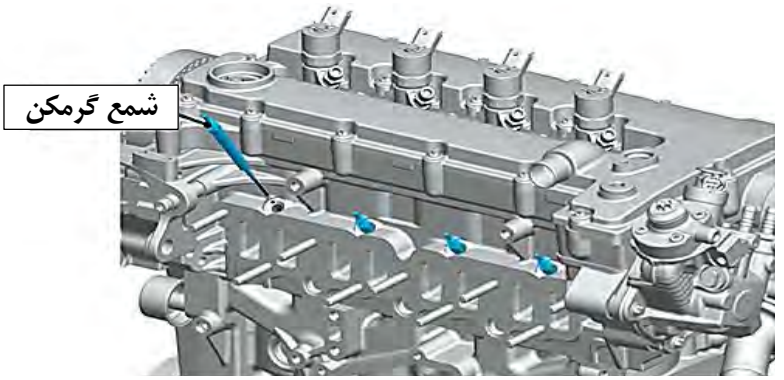


شکل ۱۲-۲۴- روش حلزونی بستن پیچ‌های بستار

◄ ۴ عدد شمع گرمکن را با آچار E۱۰ و گشتاور ۱ ± ۱۹ نیوتن‌متر هم‌بندی کنید.

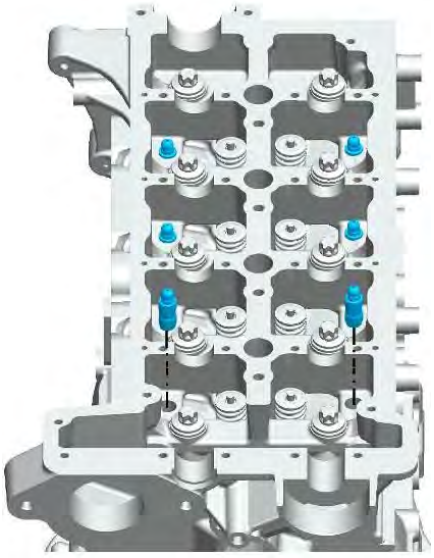
شرایط کاری شمع گرمکن

- ولتاژ مصرفی ۱۱ ولت
- نوع شمع گرمایی سفالی است.
- زمان لازم برای دستیابی به دمای ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۵ ثانیه است.
- پس از گذشت ۶۰ ثانیه دمای شمع تا ۱۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. شکل ۱۲-۲۵، محل قرارگیری شمع‌های گرمکن را روی بدنهٔ موتور نشان می‌دهد.



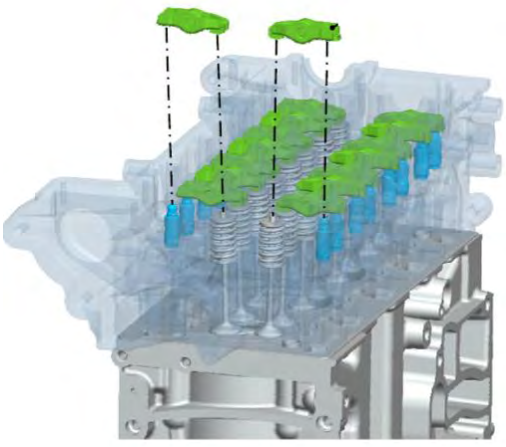
شکل ۱۲-۲۵- محل قرارگیری شمع‌های گرمکن روی بدنهٔ موتور

◄ تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها را به روغن SAE۵۰ آغشته کنید، سپس در محل خود قرار دهید. شکل ۱۲-۲۶، محل قرارگیری تنظیم‌کننده‌های خودکار دریچه‌ها را نشان می‌دهد.



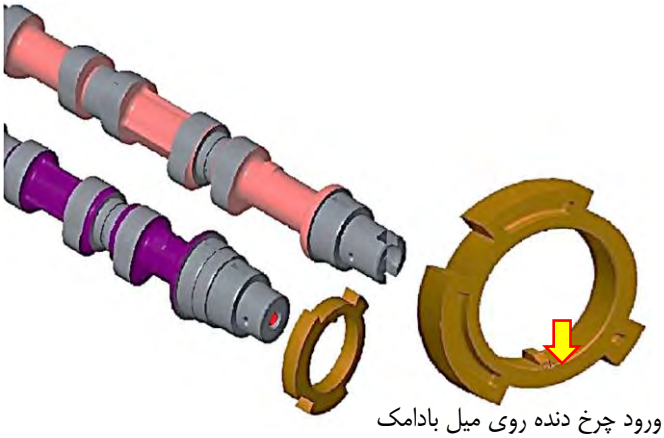
شکل ۱۲-۲۶- محل قرارگیری تنظیم‌کنندهٔ خودکار دریچه‌ها

◄ اسبک‌ها را در محل خود قرار دهید. شکل ۱۲-۲۷، محل قرارگیری اسبک‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۲۷- محل قرارگیری اسبک‌ها

◄ چرخندهٔ موقعیت میل‌بادامک را با استفاده از چسب قفل‌کننده[1]، هم‌بندی کنید. نیروی فشاری برای هم‌بندی ۰٫۳ ± ۳ کیلو نیوتن است.



شکل ۱۲-۲۸- جهت قرارگیری چرخندهٔ موقعیت میل‌بادامک

هشدارها:

- به دلیل هم‌بندی چرخندهٔ موقعیت میل‌بادامک به صورت فشاری روان، از چسب قفل‌کننده استفاده می‌شود.
- در هنگام هم‌بندی چرخنده به جهت نصب صحیح چرخنده دقت شود. جهت خار گوه‌ای، به سمت میل‌بادامک باشد.
- ساچمهٔ کورکن انتهای میل‌بادامک هوا، باز نمی‌شود. در صورت مشاهدهٔ خرابی از این ناحیه، میل‌بادامک هوا تعویض شود.

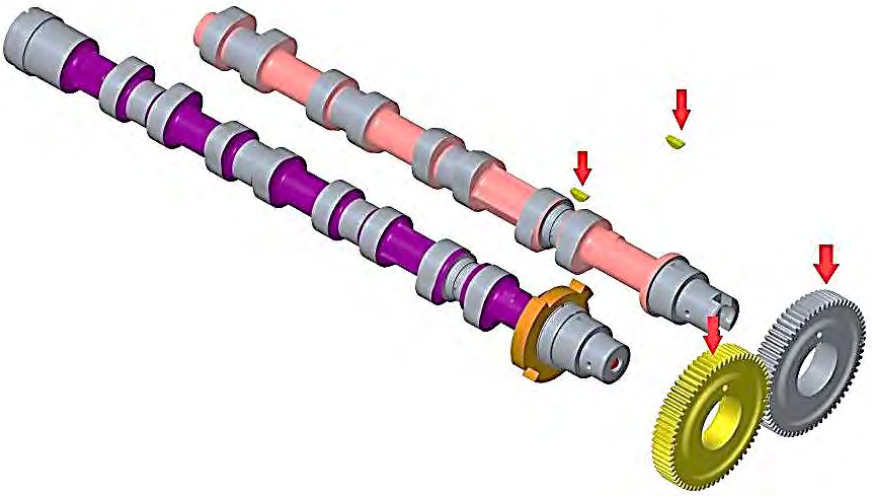
◄ با دستگاه فشار دهنده، چرخندهٔ انتهای میل‌بادامک را هم‌بندی کنید. نیروی فشاری برای هم‌بندی ۲ ± ۲۲ کیلو نیوتن است.

هشدارها:

- در هنگام هم‌بندی چرخنده‌ها، از قرارگیری خارها در محل خود اطمینان حاصل شود.

[1] Loctite 603

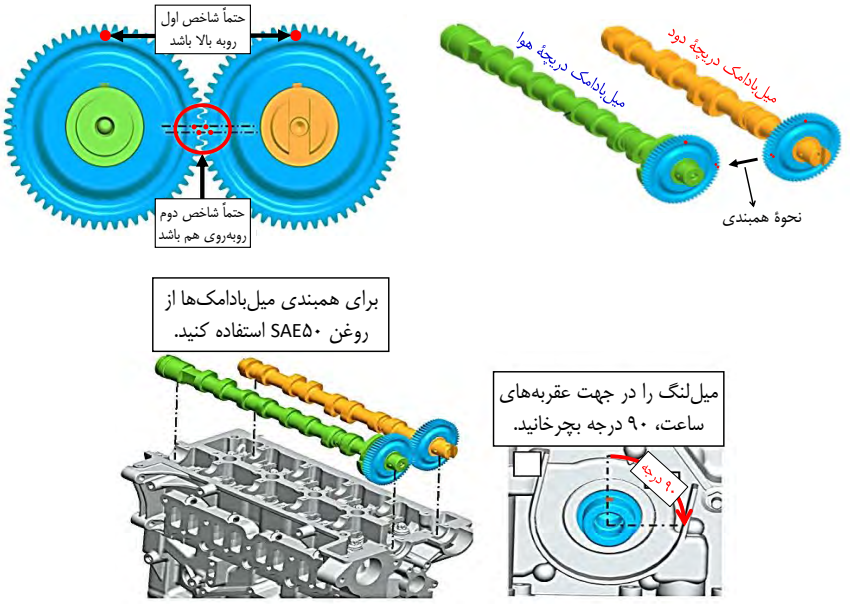
- درهنگام هم‌بندی چرخدنده‌ها بر روی میل‌بادامک‌ها، نیروی فشاری هم‌بندی نباید کمتر از ۲۰ کیلو نیوتن باشد. چنانچه نیروی فشاری ضعیف باشد، چرخدنده را به همراه میل‌بادامک تعویض کنید. شکل ۱۲-۲۹، قرارگیری دقیق خارهای گوه‌ای را در محل خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۲۹- قرارگیری دقیق خارهای گوه‌ای در محل خود

◄ زمان‌بندی میل‌بادامک هوا و دود را قبل از نصب بر روی بستار، تنظیم کنید. برای این کار، ابتدا شاخص اول (دارای سوراخ بر روی چرخدنده) رو به بالا باشد. سپس شاخص دوم (دارای دو فرورفتگی) را بر روی یکدیگر قرار دهید. حالا با آغشته نمودن محل نشست میل‌بادامک بر روی بستار به روغن SAE۵۰، میل‌بادامک‌ها را بر روی بستار نصب کنید.

هشدار: قبل از هم‌بندی میل‌بادامک‌ها بر روی بستار، باید میل‌لنگ را ۹۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا از برخورد دریچه با سمبه در حین هم‌بندی میل‌بادامک‌ها جلوگیری شود. شکل ۱۲-۳۰، نحوهٔ همبندی و قرارگیری شاخص‌های میل‌بادامک هوا و دود را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۳۰- نحوهٔ همبندی و قرارگیری شاخص‌های میل‌بادامک هوا و دود

یادداشت: در پایان مراحل قبل، میل‌لنگ را در جهت خلاف عقربه‌های ساعت ۹۰ درجه بچرخانید تا میل‌لنگ در وضعیت زمان‌بندی درست اولیه، قرار گیرد. سپس شاخص زمان‌بندی میل‌لنگ را در محل خود قرار دهید. (دقت کنید بیش از حد میل‌لنگ را نچرخانید زیرا سمبه با دریچه‌های بستار برخورد می‌کند). شکل ۱۲-۳۱، قرارگیری شاخص‌های میل‌لنگ را در نقطهٔ عطف بالا نشان می‌دهد.

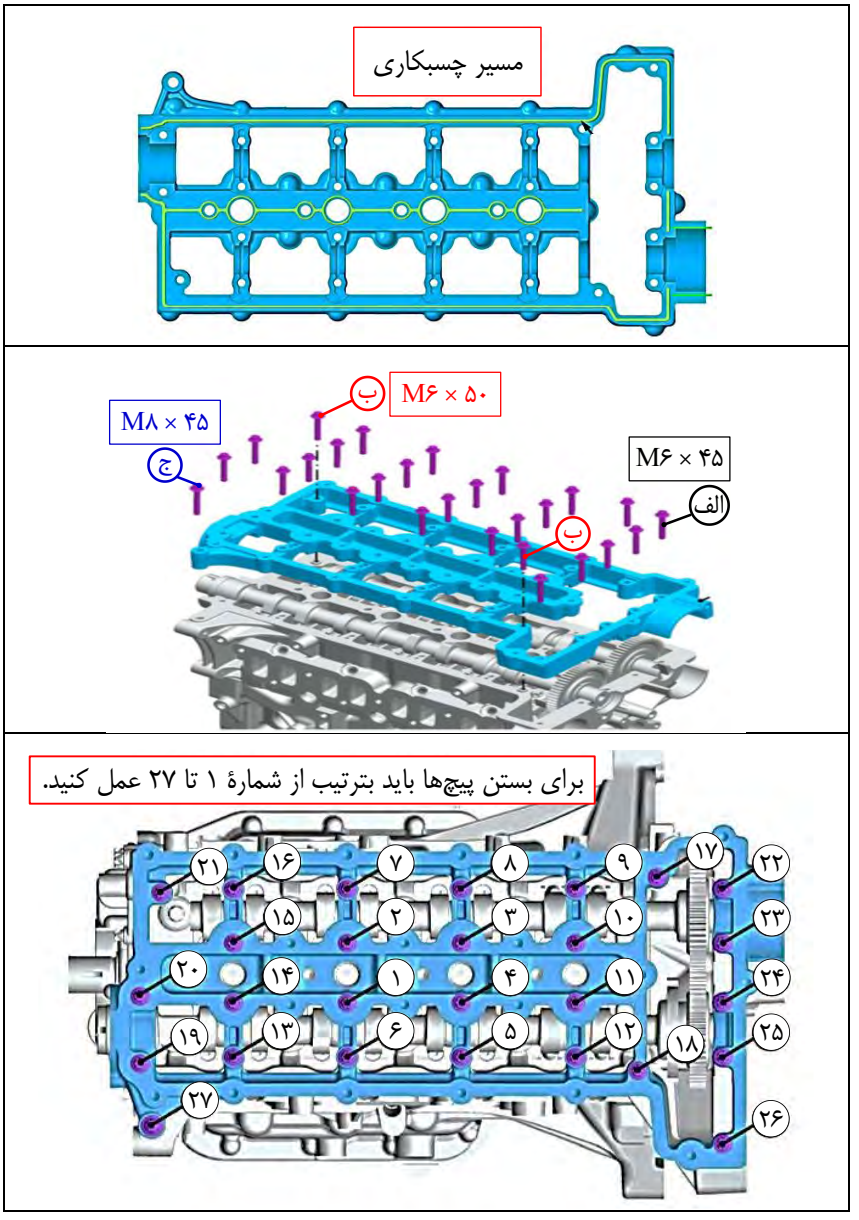
شکل ۱۲-۳۱- قرارگیری شاخص‌های میل‌لنگ در نقطهٔ عطف بالا

◄ قاب نردبانی بالا را با چسب آب‌بندی[1]، چسبکاری و نصب کنید.

نوع پیچ	نخستین گشتاور	دومین گشتاور	تعداد
۶ × ۴۵M	۱ ± ۴ نیوتن‌متر	۲ ± ۱۰ نیوتن‌متر	۲۴
۶ × ۵۰M	۱ ± ۴ نیوتن‌متر	۲ ± ۱۰ نیوتن‌متر	۲
۸ × ۴۵M	۱ ± ۱۰ نیوتن‌متر	۲ ± ۲۵ نیوتن‌متر	۱

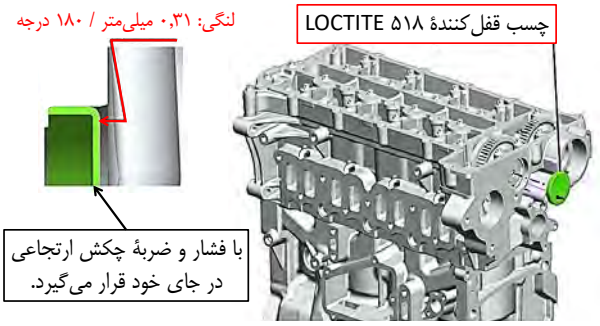
هشدار: برای بستن پیچ‌های قاب نردبانی بالای بستار، بترتیب شمارهٔ ۱ الی ۲۷ عمل کنید.

[1] LOCTITE 5970



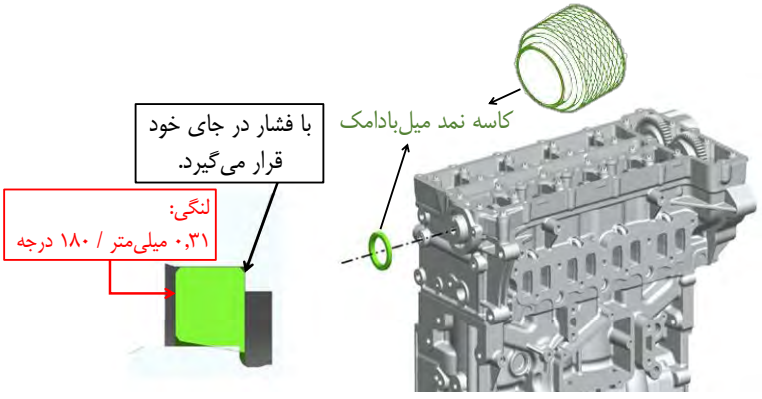
شکل ۱۲-۳۲- بستن پیچ‌های قاب نردبانی بالای بستار

درپوش بین قاب نردبانی بالایی و بستار را با چسب قفل‌کننده[1] و چکش ارتجاعی در محل خود نصب کنید. شکل ۱۲–۳۳، نحوهٔ بستن درپوش مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲–۳۳– بستن درپوش بین قاب نردبانی بالایی و بستار

◄ کاسه نمد میل‌بادامک ورودی (شکل ۱۲–۳۴) را با ابزار مخصوص نصب کنید.

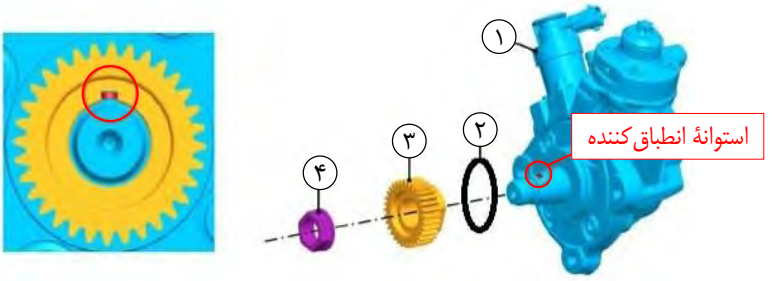


شکل ۱۲–۳۴– جازدن کاسه نمد میل‌بادامک ورودی

◄ با استفاده از آچار ۲۴ میلی‌متر و گشتاور ۵ ± ۸۰ نیوتن‌متر، مهرهٔ تلمبهٔ سوخت (شکل ۱۲–۳۵)، را هم‌بندی کنید.

[1] LOCTITE 518

یک عدد مهره، یک عدد چرخدنده، یک عدد حلقهٔ گرد آب‌بند، یک عدد خار چاکدار



شکل ۱۲-۳۵- ترتیب قطعات برای بستن مهرهٔ تلمبهٔ سوخت

هشدار: دقت شود حلقهٔ گرد آب‌بند تلمبهٔ سوخت، یکبار مصرف است. لذا برای هم‌بندی از قطعهٔ نو استفاده شود.

◀ زمان‌بندی تلمبهٔ سوخت را تنظیم کنید. سپس با توجه به اینکه زمان‌بندی میل‌بادامک‌ها درست است، تلمبهٔ سوخت و سه عدد پیچ آن را به وسیلهٔ آچار E۱۰ و گشتاور ۲ ± ۲۵ نیوتن‌متر، هم‌بندی کنید.

شرایط کاری تلمبهٔ سوخت

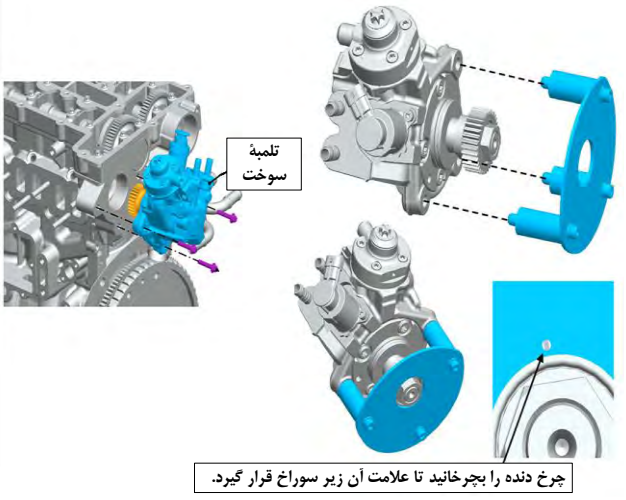
- فشار سوخت ورودی ۷- ۴٫۵ بار است.
- فشار سوخت در هنگام روشن شدن موتور، ۳۰۰-۱۲۰ بار، در ۱۰۰ د.د.د. است.
- بیشینه فشار ایجاد شدهٔ تلمبهٔ سوخت ۱۶۰۰ بار، در ۱۰۰۰ د.د.د. است.
- دمای محیط کارکرد تلمبهٔ سوخت ۴۰- تا ۱۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد است.

هشدار: برای نصب تلمبهٔ سوخت، موتور باید در حالت زمان‌بندی درست باشد.

به دو روش و دو ابزار مخصوص مختلف می‌توانید زمانبندی تلمبهٔ سوخت را تنظیم کنید:

الف) روش اول بدون بازکردن درپوش دریچه

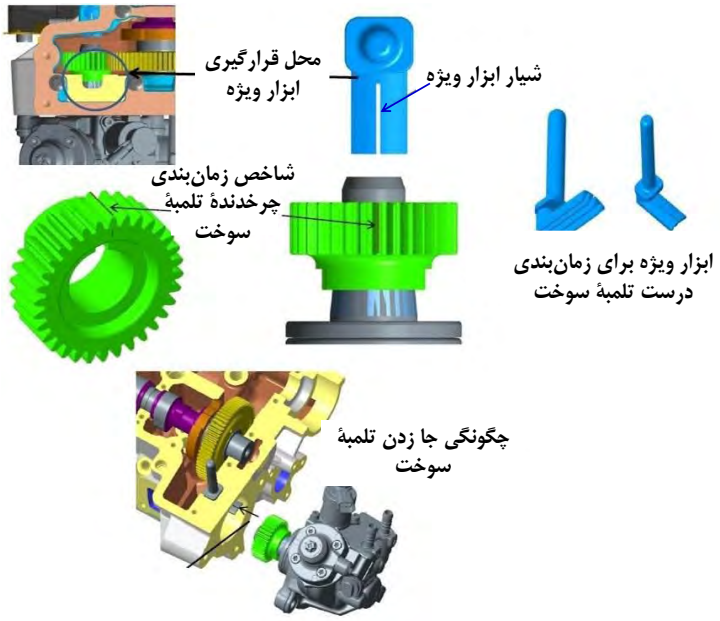
ابتدا ابزار مخصوص را در محل خود قرار دهید. سپس شاخص زمانی چرخدندهٔ تلمبهٔ سوخت را همراستا با سوراخ ابزار مخصوص قرار دهید. با جازدن تلمبهٔ سوخت، پیچ‌های اتصال تلمبه را هم‌بندی و در نهایت ابزار مخصوص را از محل خود خارج کنید.



شکل ۱۲-۳۶- نحوهٔ بستن و زمانبندی تلمبهٔ سوخت بدون بازکردن درپوش دریچه

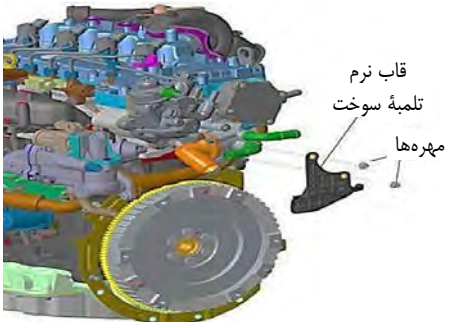
ب) روش دوم با بازکردن درپوش دریچه

ابتدا ابزار مخصوص را در محل خود مطابق تصویر قرار دهید. سپس شاخص زمانی چرخندهٔ تلمبهٔ سوخت را همراستا با شیار ابزار مخصوص قرار دهید. با جازدن تلمبهٔ سوخت، پیچ‌های اتصال تلمبه را هم‌بندی و در نهایت ابزار مخصوص را از محل خود خارج کنید.



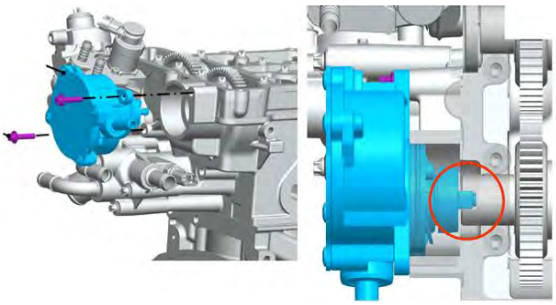
شکل ۱۲–۳۷– نحوهٔ بستن و زمانبندی تلمبهٔ سوخت با بازکردن درپوش دریچه

◀ قاب نرم تلمبهٔ سوخت (شکل ۱۲–۳۸) را با ۲ عدد مهرهٔ آن هم‌بندی کنید. برای این کار از آچار ۱۰ میلی‌متر با گشتاور ۲ ± ۱۰ نیوتن‌متر استفاده کنید.



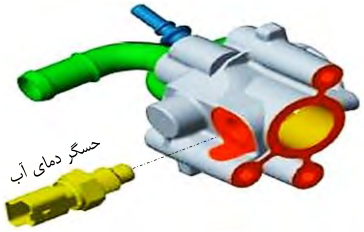
شکل ۱۲–۳۸– نحوهٔ قاب نرم تلمبهٔ سوخت

◀ تلمبهٔ خلأ و ۲ عدد پیچ آن را هم‌بندی کنید. شکل ۱۲–۳۹، نحوهٔ بستن تلمبهٔ خلأ را نشان می‌دهد. برای این کار از آچار E۱۰ با گشتاور ۱ ± ۱۰ نیوتن‌متر، استفاده کنید.



شکل ۱۲-۳۹- نحوهٔ بستن تلمبهٔ خلأ

◄ حسگر دمای آب (شکل ۱۲-۴۰) را با آچار پایه بلند ۲۲ میلی‌متر و گشتاور ۲ ± ۲۴ نیوتن‌متر، هم‌بندی کنید.



شکل ۱۲-۴۰- نحوهٔ بستن حسگر دمای آب

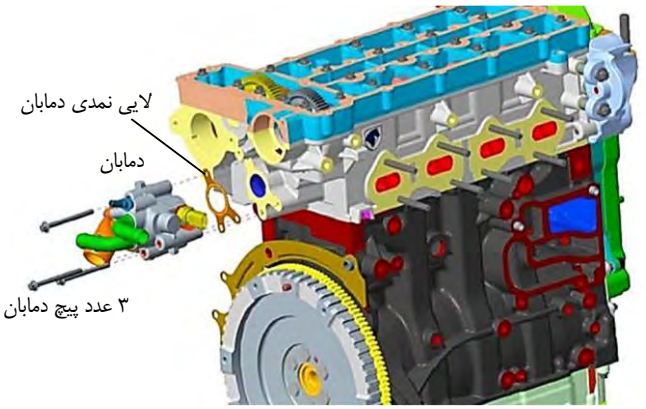
دمابان را بر روی سوراخ خود هم‌بندی کنید. سپس در پوش آن را با بستن ۳عدد پیچ با آچار E۱۰ و گشتاور ۲ ± ۱۰ نیوتن‌متر روی سوراخ هم‌بندی کنید. شکل ۱۲-۴۱، نحوهٔ همبندی دمابان را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-۴۱- نحوهٔ همبندی دمابان

هشدار: حلقهٔ گرد دمابان یکبار مصرف است لذا در هنگام باز و بست دمابان حتماً تعویض شود.

قبل از بستن دمابان، دمابان را آزمایش کنید تا از عملکرد صحیح آن اطمینان حاصل شود. دمابان در دمای ۸۸ درجهٔ سانتی‌گراد شروع به باز شدن می‌کند.

◀ مجموعهٔ دمابان را با ۳ عدد پیچ و یک لایی نمدی روی بستار هم‌بندی کنید. برای این کار از آچار E۱۰ و گشتاور ۱ ± ۱۰ نیوتن‌متر استفاده کنید. شکل ۱۲–۴۲، نحوهٔ بستن دمابان روی بستار را نشان می‌دهد.



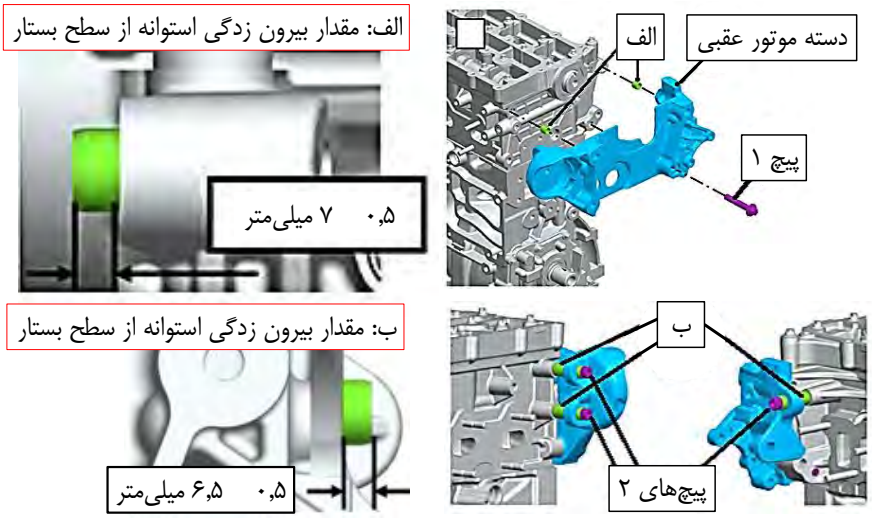
شکل ۱۲–۴۲– نحوهٔ بستن دمابان روی بستار

هشدار:

◀ لایی نمدی یکبار مصرف است لذا در هنگام بازکردن مجموعهٔ دمابان، حتماً لایی تعویض شود.

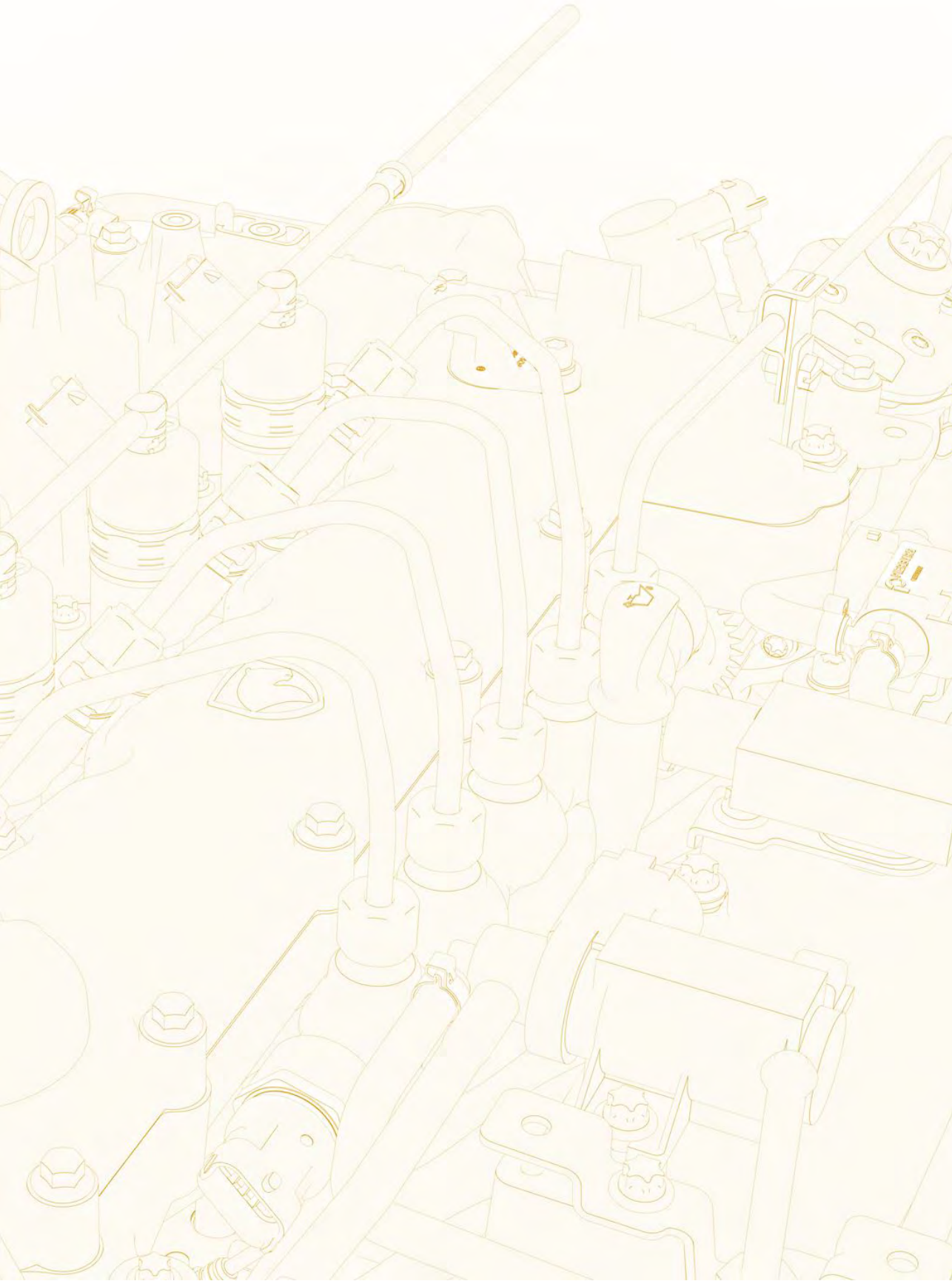
◀ قبل از همبندی دقت شود که سطح تماس مجموعهٔ دمابان روی بستار پاک و عاری از هرگونه خط و خش باشد.

◀ دسته موتور عقبی را با ۴ عدد پیچ و استوانهٔ آن هم‌بندی کنید. برای این کار از آچار E۱۴ استفاده کنید. گشتاور پیچ ۱، ۴ ± ۴۵ نیوتن‌متر و گشتاور پیچ‌های ۲، ۲ ± ۲۵ نیوتن‌متر است. شکل ۱۲–۴۳، نحوهٔ بستن دسته موتور عقبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۴۳- نحوهٔ بستن دسته موتور عقبی با ۴ عدد پیچ

◄ تسمهٔ مولد برق و تسمهٔ زمان‌بندی را هم‌بندی کنید.
◄ چند راههٔ هوا و دود را هم‌بندی کنید.



پیوست

واژه‌نامه

واژه‌نامه

واژه فارسی	معادل انگلیسی
اتصال دهنه	Flange connection
اثر هال	Hall effect
ارزیابی لحظه‌ای زیست محیطی	Ecological Momentary Assessment (EMA)
استوانه	Cylinder
اضافه هوا	Lambda
افزایش طول	Elongation
افشانهٔ سوخت	Fuel injector
افشانه	Injector
اُمگا شکل	Omega shape (ω)

واژه فارسی	معادل انگلیسی
انجمن آمریکایی آزمون‌ها و مواد	American Society for Testing and Materials (ASTM)
اندازه‌گیر پلاستیکی	Plastic gage
ایراد در هر میلیون	Defects per million
آرام سرد	Cold idle
آزمون جاده‌ای	Road testing
آزمون دیو	Dio test
آزمون رانش خودرو	Vehicle running test
آزمون سرعت تُند	High speed test
آزمون ضربهٔ حرارتی	Thermal shock test
آزمون عمر شتاب‌یافته	Accelerated Life Test (ALT)
آسیب‌های نهفتهٔ فرایند	Process risks
آغاز تولید انبوه	Start of production (SOP)
آلایندگی	Emission
آماده به کار	Stand by
بازار	Market
بازتولید	Regeneration
بازخورانی دود	Exhaust Gas Recirculation (EGR)
برنامهٔ عملیاتی	Action plan
برنامهٔ کلان کیفیت محصول	Advanced Product Quality Plan (APQP)
برون خط	Offline
بسپار	Polymer
بیرون‌زدگی نوک افشانه	Nozzle Tip Protrusion (NTP)
پاشش اصلی	Main injection
پاشش مستقیم سرعت تند	High-Speed Direct Injection (HSDI)
پایش کیفیت خط تولید	Production line quality control (Q.C)
پرتو نور	Laser
پرخوران هندسه متغیر	Variable Geometry Turbocharger (VGT)
پژو سیتروئن	Peugeot Citroën (PSA)

واژه فارسی	معادل انگلیسی
پسا پاشش	Post injection
پس‌گرمکن	Post heater
پشم	Fleece
پودمان	Module
پودمان خنک‌کاری روغن	Oil module
پیاده‌کردن و تعمیر	Pull & Repair
پیش پاشش	Pilot injection
پیش تولید	PRS
پیچ سوراخ‌دار	Banjo bolt
تحریک عمودی موتور	Engine bounce behavior
تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده	Measurement Data Analysis (MDA)
تراش	Trim
تشخیص	Detection (D)
تصحیح امواج فشاری	Pressure wave correction
تضمین کیفیت	Quality acceptance (Q.A)
تعداد خانه‌ها در هر اینچ مربع	Cells per square inch (cpsi)
تعمیر روی خودرو	On vehicle repair
تقسیم‌کننده	Differential
تکراری	Iterative
تلمبهٔ آب	Water pump
تلمبهٔ روغن	Hydraulic pump
تلمبهٔ سوخت داخل مخزن	In-tank pump
تلمبهٔ فشار قوی	High pressure pump
تنجار خنک‌کن	Compressor cooler
توسعه محصول جدید	New Production Development (NPD)
تهویهٔ بخارات محفظهٔ لنگ	Positive Crankcase Ventilation (PCV)
جانمایی و چیدمان	Packaging & Layout
جداکنندهٔ پشمی	Fleece separator

واژه فارسی	معادل انگلیسی
جداکننده	Diaphragm
چراغ عیب	MIL lamp/Check engine
چرخ تسمهٔ مولد برق تندتر	Over running Alternator Pulley (OAP)
چرخ زمان‌بندی	Trigger wheel
چرخ هدف	Target wheel
چرخهٔ جدید رانندگی اروپا	New European Driving Cycle (NEDC)
چرخهٔ گرمایی عمیق	Deep thermal cycle
چرخهٔ گرمایش	Warm up cycle
چرخ‌تسمه	Pulley
چشمگیر	Significant
چلانش	Squish
چندراههٔ سوخت	Fuel rail
چندراههٔ مشترک	Common rail
چنگک	Clutch
حالات شکست فرایند و تحلیل اثرات	Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA)
حالت بار بیشینه	Full load run up
حالت خرابی	Failure mode
حالت خلاص	Coast down
حالت راه‌اندازی	Engine start behavior
حالت شکست بالقوهٔ خرابی در طراحی و تحلیل اثر	Design Failure Mode and Effect Analysis (DFMEA)
حسگر شار جرمی هوا	Hot Film Air Mass Meter (HFM)
حسگر موقعیت دریچه گاز	Throttle position sensor
حسگرها	Sensors
حفره‌زایی	Pitting
حفظ قله	Peak & Hold
خراشیدگی	Scratching
خستگی مکانیکی گرمایی	Thermo-mechanical fatigue

واژه فارسی	معادل انگلیسی
خطاهای برقی	Electrical fault
خنک‌کن میانی	Intercooler
در سمت کپهٔ یاتاقان میل‌بادامک	In upper deck
در سمت محفظهٔ احتراق	In flame deck
درب ضربه‌ای	Impact lid
درجه	Grade
درخواست بررسی مشکل	Problem Investigation Request (PIR)
درزها	Crevices
درست	Stoichiometric
درگاه‌های ورودی	Internal ports
دریچهٔ اطمینان	Pressure relief valve
دستگاه خوانش دستی	Manual reader instrument
دمابان	Thermostat
دمای اتاق	Room Temperature (RT)
دو مقاومت متغیر	Potentiometer
دوام	Durability
دوام تشدید	Resonance durability
دوام عمومی	General durability
دود / خروجی	Exhaust
دور درجا (حالت سرعت کُند و بی بار)	Idle speed
دورهٔ پشتیبانی	Guaranty period
راحتی رانندگی	Drivability
راکوِل سی	Rockwell C Hardness (HRC)
راه‌انداز	Starter
راه‌اندازی سرد	Cold start
راه‌اندازی در سر بالایی	Hill start
راهگاه مشترک	Siamese
راهگاه ورودی	Intake port

واژه فارسی	معادل انگلیسی
رایانهٔ مدیریت موتور	Engine Control Unit (ECU)
رده یکمی	Tier one
رفع عیب	Healing
رواداشت	Tolerance
روشی نظام‌مند	Systematic method
ریخته‌گری سرمایشی	Chilled cast
زاویهٔ درگیری	Wrap angle
زمان برقدار کردن افشانه	Energizing time
زمان‌بندی متغیر دریچه	Variable Valve Timing (VVT)
زندگی دوباره	Renaissance
زینه‌بندی	Calibration
سازش	Compromise
سامانهٔ تهویهٔ محفظهٔ لنگ	Crankcase Ventilation System (CVS)
سامانهٔ زمان‌بندی	Timing drive
سامانهٔ محرک تسمه‌ای قطعات جانبی	Front End Accessory Drive (FEAD)
سامانهٔ مدیریت موتور	Engine Management System (EMS)
سایش	Wear
سایش چسبنده	Adhesive wear
سایش ساینده	Abrasive wear
سبد	Pallet
سپر گرمایی	Heat-shield
سپرک	Baffle
سردکاری	Chilling
سرعت درخواستی	Crouse speed
سروصدا و ارتعاشات	Noise, Vibration, and Harshness (NVH)
سنجهٔ روغن	Oil dipstick
شاخص برگشت قطعات موتوری به ازای هر ۱۰۰ خودرو	Claim Per 100 car (C/100)

واژه فارسی	معادل انگلیسی
شاخص برگشتن از هر صد خریدار	Return per 100 car (R/100)
شاخص حفاظت حفاظت بین‌المللی حفاظت در ورود	Index of Protection (IP) International Protection (IP) Ingress Protection (IP)
شاخص کیفی عملکردی (محصول)	Indicator of Quality Factor (IQF)
شاخص‌های مرحلهٔ تجاری‌سازی	Commercialization phase indicators
شبیه‌سازی شبه‌ایستایی	Quasi static or extreme drive maneuvers
شدت	Severity (S)
شکست و کاستی	Break and shortage
شکل‌دهی سرد	Cold forming
شکل حالات طبیعی	Natural mode shape
شمش	Billet
شمع گرمکن	Glow plug
شیب	Ramp
شیوه‌نامهٔ همبندی	Assembly manual
شیر آهنربایی	Selonieid valve
صافی ذرات دیزل	Diesel Particulate Filter (DPF)
صحه‌گذاری	Validation
صدابَر	Microphone
صفحه	Disk
صفحهٔ دریچه گاز	Throttle plate
ضریب دمائی منفی	Negative Temperature Coefficient (NTC)
طرح	Model
طرح برنامهٔ صحه‌گذاری	Design Validation Plan (DVP)
طرح کلی آزمون‌های مکانیکی	Mechanical Testing Overview (MTO)
عبور مستقیم	First acceptance
عدد اولویت خطر	Risk Priority Number (RPN)
علامت	Signal

واژه فارسی	معادل انگلیسی
عملکرد	Performance
عملکرد را میسر کن	Make the thing works
عملگر	Actuator
عیب‌یابی دائمی اروپا	European On-Board Diagnostics (EOBD)
عیب‌یابی	Diagnosis
فرایند پذیرش قطعات تولیدی	Product Part Approval Process (PPAP)
فرمان روغنی	Power steering
فشار برگشتی مجاز	Allowable back pressure
فهرست کامل قطعات	Bill of material (BOM)
قابلیت اطمینان	Reliability
قابلیت تعمیر	Reparability
قطع برق	Power fail
قطعات قبلی	Carry over parts
قطعه در هر میلیون (قدم)	Parts Per Million (PPM)
کاستی‌سنجی	Demerit
کاستی‌سنجی موتور	Engine demerit
کتاب صحه‌گذاری	Validation Book (VABO)
کلید برقی	Relay
کلید قطع کن اصلی	Double relay
گَرد	Powder
گَرد مواد	Powder metallurgy
گردبادهٔ با محور افقی	Tumble
گردبادهٔ با محور عمودی	Swirl
گرمکن میانی	Intermediate heater
گزارش نهایی صحه‌گذاری	Validation Conclusion Report (VCR)
گشتاور قوی	High Torque Drive (HTD)
الگوی پاشش	Spray pattern
لاستیک نیتریل بوتادین	Nitrile Butadiene Rubber (NBR)

واژه فارسی	معادل انگلیسی
لاستیک اتیلن اکریلیک	Ethylene acrylic elastomers (AEM rubbers)
لایی	Washer
لقی‌سنج	Filler
مبدل واسط	Breakout box
مخزن انبساط	Expansion tank
مدت احتراق	Duration of Combustion (DOC)
مدت پاشش سوخت	Duration of Injection (DOI)
مدیریت داده‌های زینه‌بندی	Calibration Data Management (CDM)
مرحلهٔ ابزار	Tool (T release)
مرحلهٔ نمونه‌سازی اولیه	First Batch Generation (G1B)
مرکز تحقیقات ایران خودرو	Iran Khodro New Product Development (NPD)
مرکز تحقیقاتی و طراحی فولکس	Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr
مطالعهٔ مفهومی	Concept study
مقادیر تصحیحی	Adaptation values
مقاومت پیزو	Piezo resistive
منبع تغذیه	Battery
موازنه	Balancing
موتور ملی (EF7)	National Engine (EF7)
موتور ملی دیزلی سواری	Diesel national engine of passenger cars (EFD)
مولد برق	Alternator
میراگر نوسان‌های پیچشی	Torsional Vibration Damper (TVD)
نامعقول	No plausibility
نرم‌افزار اینکا (زینه‌بندی یکپارچه)	Integrated Calibration (INCA)
نوعی چسب قفل‌کننده	LOCTITE
نیاز به تعریف در آینده	To be defined (Tbd)
نیروی انسانی، مواد، دستگاه‌ها، روش‌ها و پول (پنج اِم)	Manpower, Materials, Machines, Methods, and Money (5M)
واحد آزمون داغ	Hot test unit

واژه فارسی	معادل انگلیسی
واکنشگر اکسیدکنندهٔ دیزل	Diesel Oxidation Catalyst (DOC)
واکنشگر سوختی	Fuel-Borne Catalyst (FBC)
وامانی	Hysteresis
وقوع	Occurrence (O)
ولتاژنما	Oscilloscope
هزینهٔ نگهداری و تعمیر خودرو	Ownership cost
همبسته	Alloy
هوایی	Pneumatic
یاتاقان فشاری	Thrust bearing

Keywords

Word	Meaning
Abrasive wear	سایش ساینده
Accelerated Life Test (ALT)	آزمون عمر شتاب‌یافته
Action plan	برنامهٔ عملیاتی
Actuator	عملگر
Adaptation values	مقادیر تصحیحی
Adhesive wear	سایش چسبنده
Advanced Product Quality Plan (APQP)	برنامهٔ کلان کیفیت محصول
Allowable back pressure	فشار برگشتی مجاز
Alloy	همبسته
Alternator	مولد برق
American Society for Testing and Materials (ASTM)	انجمن آمریکایی آزمون‌ها و مواد
Assembly manual	شیوه‌نامهٔ همبندی
Baffle	سپرک
Balancing	موازنه
Banjo bolt	پیچ سوراخ‌دار
Battery	منبع تغذیه
Bill of material (BOM)	فهرست کامل قطعات
Billet	شمش
Break and shortage	شکست و کاستی
Breakout box	مبدل واسط
Calibration	زینه‌بندی
Calibration Data Management (CDM)	مدیریت داده‌های زینه‌بندی
Carry over parts	قطعات قبلی
Cells per square inch (cpsi)	تعداد خانه‌ها در هر اینچ مربع
Chilled cast	ریخته‌گری سرمایشی
Chilling	سردکاری

Claim Per 100 car (C/100)	شاخص برگشت قطعات موتوری به ازای هر ۱۰۰ خودرو
Clutch	چنگک
Coast down	حالت خلاص
Cold forming	شکل‌دهی سرد
Cold idle	آرام سرد
Cold start	راه‌اندازی سرد
Commercialization phase indicators	شاخص‌های مرحلهٔ تجاری‌سازی
Common rail	چندراههٔ مشترک
Compressor cooler	تنجار خنک‌کن
Compromise	سازش
Concept study	مطالعهٔ مفهومی
Crankcase Ventilation System (CVS)	سامانهٔ تهویهٔ محفظهٔ لنگ
Crevices	درزها
Crouse speed	سرعت درخواستی
Cylinder	استوانه
Deep thermal cycle	چرخهٔ گرمایی عمیق
Defects per million	ایراد در هر میلیون
Demerit	کاستی‌سنجی
Design Failure Mode and Effect Analysis (DFMEA)	حالت شکست بالقوهٔ خرابی در طراحی و تحلیل اثر
Design Validation Plan (DVP)	طرح برنامهٔ صحه‌گذاری
Detection (D)	تشخیص
Diagnosis	عیب‌یابی
Diaphragm	جداکننده
Diesel national engine of passenger cars (EFD)	موتور ملی دیزلی سواری
Diesel Oxidation Catalyst (DOC)	واکنشگر اکسیدکنندهٔ دیزل
Diesel Particulate Filter (DPF)	صافی ذرات دیزل
Differential	تقسیم‌کننده

Dio test	آزمون دیو
Disk	صفحه
Double relay	کلید قطع کن اصلی
Drivability	راحتی رانندگی
Durability	دوام
Duration of Combustion (DOC)	مدت احتراق
Duration of Injection (DOI)	مدت پاشش سوخت
Ecological Momentary Assessment (EMA)	ارزیابی لحظه‌ای زیست محیطی
Electrical fault	خطاهای برقی
Elongation	افزایش طول
Emission	آلایندگی
Energizing time	زمان برقدار کردن افشانه
Engine bounce behavior	تحریک عمودی موتور
Engine Control Unit (ECU)	رایانهٔ مدیریت موتور
Engine demerit	کاستی‌سنجی موتور
Engine Management System (EMS)	سامانهٔ مدیریت موتور
Engine start behavior	حالت راه‌اندازی
Ethylene acrylic elastomers (AEM rubbers)	لاستیک اتیلن اکریلیک
European On-Board Diagnostics (EOBD)	عیب‌یابی دائمی اروپا
Exhaust	دود / خروجی
Exhaust Gas Recirculation (EGR)	بازخورانی دود
Expansion tank	مخزن انبساط
Failure mode	حالت خرابی
Filler	لقی‌سنج
First acceptance	عبور مستقیم
First Batch Generation (G1B)	مرحلهٔ نمونه‌سازی اولیه
Flange connection	اتصال دهنه
Fleece	پشم
Fleece separator	جداکنندهٔ پشمی

Front End Accessory Drive (FEAD)	سامانهٔ محرک تسمه‌ای قطعات جانبی
Fuel injector	افشانهٔ سوخت
Fuel rail	چندراههٔ سوخت
Fuel-Borne Catalyst (FBC)	واکنشگر سوختی
Full load run up	حالت بار بیشینه
General durability	دوام عمومی
Glow plug	شمع گرمکن
Grade	درجه
Guaranty period	دورهٔ پشتیبانی
Hall effect	اثر هال
Healing	رفع عیب
Heat-shield	سپر گرمایی
High pressure pump	تلمبهٔ فشار قوی
High speed test	آزمون سرعت تُند
High Torque Drive (HTD)	گشتاور قوی
High-Speed Direct Injection (HSDI)	پاشش مستقیم سرعت تند
Hill start	راه‌اندازی در سر بالایی
Hot Film Air Mass Meter (HFM)	حسگر شار جرمی هوا
Hot test unit	واحد آزمون داغ
Hydraulic pump	تلمبهٔ روغن
Hysteresis	وامانی
Idle speed	دور درجا (حالت سرعت کُند و بی بار)
Impact lid	درب ضربه‌ای
In flame deck	در سمت محفظهٔ احتراق
In upper deck	در سمت کپهٔ یاتاقان میل‌بادامک
Index of Protection (IP) International Protection (IP) Ingress Protection (IP)	شاخص حفاظت حفاظت بین‌المللی حفاظت در ورود
Indicator of Quality Factor (IQF)	شاخص کیفی عملکردی (محصول)

Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr	مرکز تحقیقاتی و طراحی فولکس
Injector	افشانه
Intake port	راهگاه ورودی
In-tank pump	تلمبهٔ سوخت داخل مخزن
Integrated Calibration (INCA)	نرم‌افزار اینکا (زینه‌بندی یکپارچه)
Intercooler	خنک‌کن میانی
Intermediate heater	گرمکن میانی
Internal ports	درگاه‌های ورودی
Iran Khodro New Product Development (NPD)	مرکز تحقیقات ایران خودرو
Iterative	تکراری
Lambda	اضافه هوا
Laser	پرتو نور
LOCTITE	نوعی چسب قفل‌کننده
Main injection	پاشش اصلی
Make the thing works	عملکرد را میسر کن
Manpower, Materials, Machines, Methods, and Money (5M)	نیروی انسانی، مواد، دستگاه‌ها، روش‌ها و پول (پنج اِم)
Manual reader instrument	دستگاه خوانش دستی
Market	بازار
Measurement Data Analysis (MDA)	تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده
Mechanical Testing Overview (MTO)	طرح کلی آزمون‌های مکانیکی
Microphone	صدابَر
MIL lamp/Check engine	چراغ عیب
Model	طرح
Module	پودمان
National Engine (EF7)	موتور ملی (EF7)
Natural mode shape	شکل حالات طبیعی
Negative Temperature Coefficient (NTC)	ضریب دمائی منفی
New European Driving Cycle (NEDC)	چرخهٔ جدید رانندگی اروپا

New Production Development (NPD)	توسعه محصول جدید
Nitrile Butadiene Rubber (NBR)	لاستیک نیتریل بوتادین
No plausibility	نامعقول
Noise, Vibration, and Harshness (NVH)	سروصدا و ارتعاشات
Nozzle Tip Protrusion (NTP)	بیرون‌زدگی نوک افشانه
Occurrence (O)	وقوع
Offline	برون خط
Oil dipstick	سنجهٔ روغن
Oil module	پودمان خنک‌کاری روغن
Omega shape (ω)	اُمگا شکل
On vehicle repair	تعمیر روی خودرو
Oscilloscope	ولتاژنما
Over running Alternator Pulley (OAP)	چرخ تسمهٔ مولد برق تندتر
Ownership cost	هزینهٔ نگهداری و تعمیر خودرو
Packaging & Layout	جانمایی و چیدمان
Pallet	سبد
Parts Per Million (PPM)	قطعه در هر میلیون (قدم)
Peak & Hold	حفظ قله
Performance	عملکرد
Peugeot Citroën (PSA)	پژو سیتروئن
Piezo resistive	مقاومت پیزو
Pilot injection	پیش پاشش
Pitting	حفره‌زایی
Plastic gage	اندازه‌گیر پلاستیکی
Pneumatic	هوایی
Polymer	بسپار
Positive Crankcase Ventilation (PCV)	تهویهٔ بخارات محفظهٔ لنگ
Post heater	پس‌گرمکن
Post injection	پسا پاشش

Potentiometer	دو مقاومت متغیر
Powder	گَرد
Powder metallurgy	گَرد مواد
Power fail	قطع برق
Power steering	فرمان روغنی
Pressure relief valve	دریچهٔ اطمینان
Pressure wave correction	تصحیح امواج فشاری
Problem Investigation Request (PIR)	درخواست بررسی مشکل
Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA)	حالات شکست فرایند و تحلیل اثرات
Process risks	آسیب‌های نهفتهٔ فرایند
Product Part Approval Process (PPAP)	فرایند پذیرش قطعات تولیدی
Production line quality control (Q.C)	پایش کیفیت خط تولید
PRS	پیش تولید
Pull & Repair	پیاده‌کردن و تعمیر
Pulley	چرخ‌تسمه
Quality acceptance (Q.A)	تضمین کیفیت
Quasi static or extreme drive maneuvers	شبیه‌سازی شبه‌ایستایی
Ramp	شیب
Regeneration	بازتولید
Relay	کلید برقی
Reliability	قابلیت اطمینان
Renaissance	زندگی دوباره
Reparability	قابلیت تعمیر
Resonance durability	دوام تشدید
Return per 100 car (R/100)	شاخص برگشتن از هر صد خریدار
Risk Priority Number (RPN)	عدد اولویت خطر
Road testing	آزمون جاده‌ای
Rockwell C Hardness (HRC)	راکوِل سی
Room Temperature (RT)	دمای اتاق

Scratching	خراشیدگی
Selonieid valve	شیر آهنربایی
Sensors	حسگرها
Severity (S)	شدت
Siamese	راهگاه مشترک
Signal	علامت
Significant	چشمگیر
Spray pattern	الگوی پاشش
Squish	چلانش
Stand by	آماده به کار
Start of production (SOP)	آغاز تولید انبوه
Starter	راه‌انداز
Stoichiometric	درست
Swirl	گردبادهٔ با محور عمودی
Systematic method	روشی نظام‌مند
Target wheel	چرخ هدف
Thermal shock test	آزمون ضربهٔ حرارتی
Thermo-mechanical fatigue	خستگی مکانیکی گرمایی
Thermostat	دمابان
Throttle plate	صفحهٔ دریچه گاز
Throttle position sensor	حسگر موقعیت دریچه گاز
Thrust bearing	یاتاقان فشاری
Tier one	رده یکمی
Timing drive	سامانهٔ زمان‌بندی
To be defined (Tbd)	نیاز به تعریف در آینده
Tolerance	رواداشت
Tool (T release)	مرحلهٔ ابزار
Torsional Vibration Damper (TVD)	میراگر نوسان‌های پیچشی
Trigger wheel	چرخ زمان‌بندی

Trim	تراش
Tumble	گردبادهٔ با محور افقی
Validation	صحه‌گذاری
Validation Book (VABO)	کتاب صحه‌گذاری
Validation Conclusion Report (VCR)	گزارش نهایی صحه‌گذاری
Variable Geometry Turbocharger (VGT)	پرخوران هندسه متغیر
Variable Valve Timing (VVT)	زمان‌بندی متغیر دریچه
Vehicle running test	آزمون رانش خودرو
Warm up cycle	چرخهٔ گرمایش
Washer	لایی
Water pump	تلمبهٔ آب
Wear	سایش
Wrap angle	زاویهٔ درگیری