فصل هشتم

سیستم فرمان

هدف‌های رفتاری : از هنرجو انتظار می رودکه پس از مطالعهٔ این فصل بتواند :

۱ــ وظیفهٔ سیستم فرمان را بیان کند.

۲ــ اجزای سیستم فرمان را نام ببرد.

۳ــ انواع ستون فرمان ایمنی را نام ببرد.

۴ــ وظایف جعبه فرمان را بیان کند.

۵ــ انواع جعبه فرمان را دسته بندی کند.

۶ــ هندسهٔ فرمان را شرح دهد.

۷ــ انواع مکانیزم فرمان را بیان کند.

۸ــ انواع فرمان با توان کمکی را دسته بندی کند.

۹ــ عملکرد فرمان هیدرولیکی را شرح دهد.

۱۰ــ عملکرد فرمان الکتروهیدرولیکی را شرح دهد.

۱۱ــ عملکرد فرمان الکتریکی را شرح دهد.

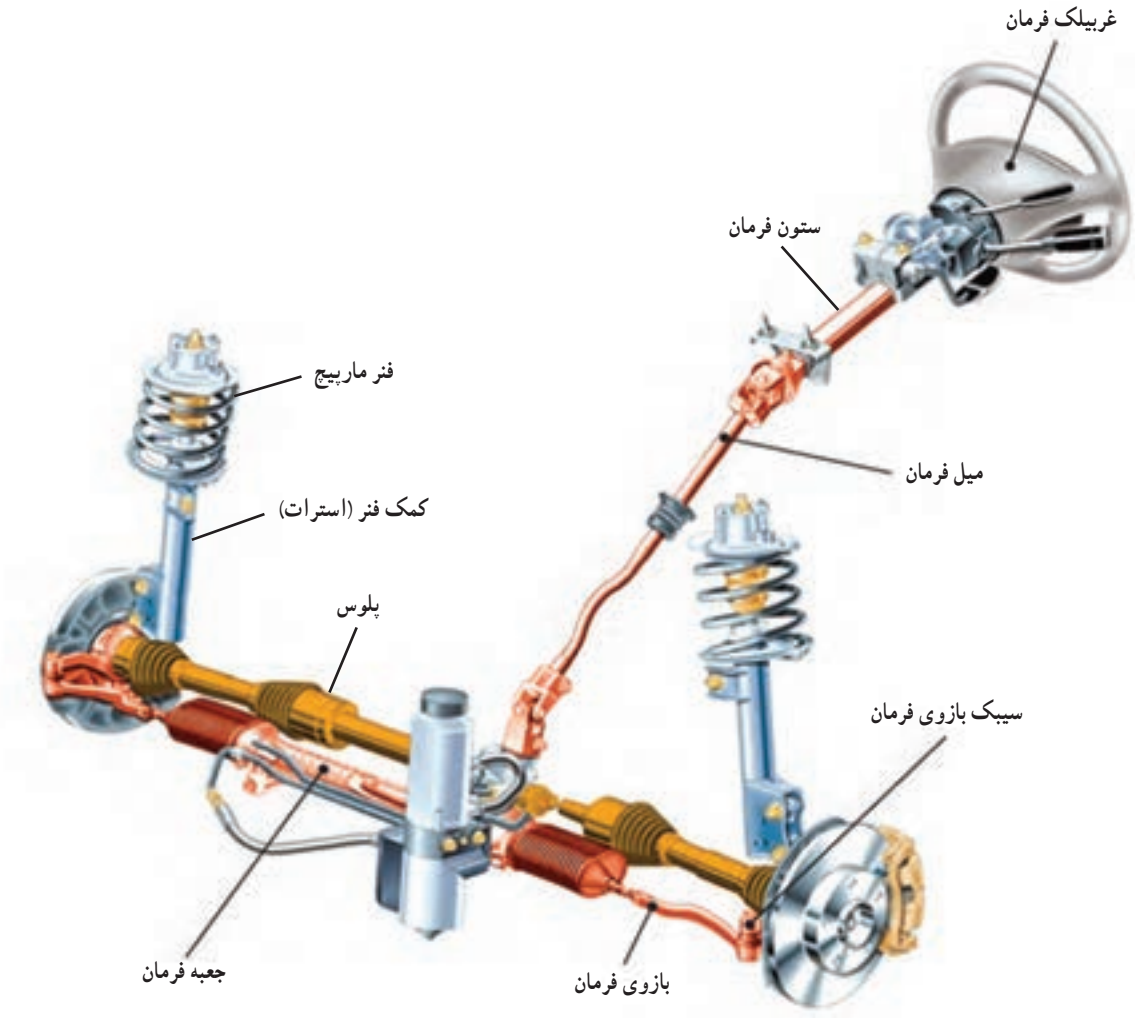
مقدمه

از سیستم فرمان برای کنترل مسیر حرکت خودرو و هدایت آن به صورت مطلوب و پایدار در مسیر دلخواه راننده استفاده می‌شود. شکل ۱ــ۸، ساختمان کلی سیستم فرمان را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۱ــ۸، ملاحظه می‌شود، سیستم فرمان برای انتقال نیروی دست راننده به چرخ‌های فرمان‌پذیر، نیازمند بخش‌های زیر است :

۱ــ غربیلک فرمان ۲ــ ستون فرمان ۳ــ جعبهٔ فرمان ۴ــ مکانیزم و اهرم‌بندی فرمان

بخش‌های فوق علاوه بر اینکه باعث انتقال حرکت و نیروی دست راننده از غربیلک به تایر می‌شوند، گشتاور نیروی دست راننده (جهت مقابله با گشتاور مقاوم نیروی اصطکاکی تایر با جاده حول محور چرخ در حین فرمان دادن) را نیز افزایش می‌دهند. این امر باعث می‌شود که فرمان دادن به چرخ‌ها توسط راننده با نیروی کمتری صورت پذیرد.



شکل ۱ــ۸ــ ساختمان کلی سیستم فرمان

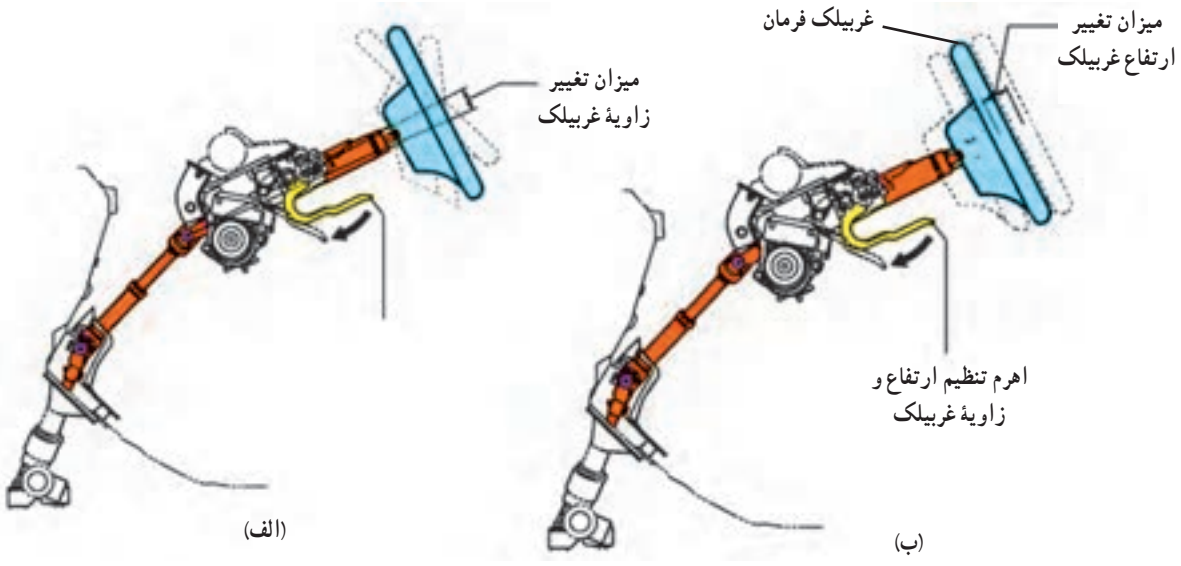
نکته : نسبت افزایش گشتاور در سیستم فرمان، بین «۱ :۱۵» تا «۱ :۳۰» است. برای مثال هر گاه نسبت افزایش گشتاور «۱ :۲۰» باشد، هنگام فرمان دادن به چرخ‌ها، نیروی دست راننده بیست برابر افزایش می‌یابد که به فرمان‌پذیری چرخ‌ها با نیروی کمتر منجر می‌گردد. از طرف دیگر نسبت دَوَران غربیلک به دَوَران چرخ‌ها $\frac{۱}{۲۰}$ می‌شود. به عبارت دیگر با چرخش غربیلک به اندازهٔ بیست درجه، چرخ‌ها تنها یک درجه دوران خواهند داشت.

۱ــ۸ــ غربیلک و ستون فرمان

همان‌گونه که ذکر شد، غربیلک فرمان علاوه بر انتقال نیروی دست راننده به میل فرمان، وظیفهٔ افزایش گشتاور دست راننده را نیز بر عهده دارد. با افزایش قطر غربیلک فرمان، گشتاور اعمالی از دست راننده به چرخ‌ها نیز افزایش می‌یابد. مطابق شکل ۱ــ۸، دَوَران غربیلک فرمان توسط یک شَفت به نام میل فرمان به جعبه فرمان منتقل می‌شود. میل فرمان به دلیل طول بلند خود معمولاً در داخل لوله‌ای به نام ستون فرمان یاتاقان‌بندی می‌شود.

در برخی از خودروها به منظور افزایش راحتی راننده، از غربیلک فرمان با قابلیت تنظیم ارتفاع و زاویهٔ غربیلک استفاده می‌شود. شکل ۲ــ۸، غربیلک فرمان را با قابلیت تنظیم ارتفاع و زاویه به‌صورت دستی نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۲ــ۸ــ الف، با تغییر موقعیت اهرم تنظیم زاویه غربیلک به‌سمت پایین، تغییر زاویهٔ قرارگیری غربیلک فرمان به سمت بالا و پایین امکان‌پذیر می‌باشد. پس از تنظیم غربیلک در موقعیت مناسب با بازگشت اهرم تنظیم به حالت اولیه، موقعیت غربیلک ثابت می‌گردد. مطابق شکل ۲ــ۸ــ ب، با تغییر موقعیت اهرم تنظیم غربیلک، تغییر ارتفاع آن نیز امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۲ــ۸ــ غربیلک فرمان با قابلیت تنظیم زاویه و ارتفاع به‌صورت دستی

در برخی از خودروها به منظور تغییر ارتفاع و زاویه غربیلک فرمان مطابق شکل ۳ــ۸ از دو موتور الکتریکی استفاده می‌شود، با به‌کار انداختن موتور الکتریکی محرک مارپیچ، غربیلک فرمان حول محور تغییر زاویه، حرکت کرده و زاویه آن با توجه به درخواست راننده تغییر می‌کند (حالت ۱).

هرگاه موتور الکتریکی تغییر ارتفاع فعال شود، پینیون محرک شروع به دوران کرده و چرخ‌دنده تغییر ارتفاع درگیر با آن نیز دوران می‌کند. درنتیجه رزوهٔ خارجی ستون فرمان که با رزوهٔ داخلی چرخ‌دنده تغییر ارتفاع درگیر است باعث می‌شود طول ستون فرمان تغییر کند. بنابراین ارتفاع غربیلک فرمان تنظیم می‌شود (حالت ۲).

شکل ۳ــ۸ــ غربیلک فرمان قابل تنظیم با موتور الکتریکی

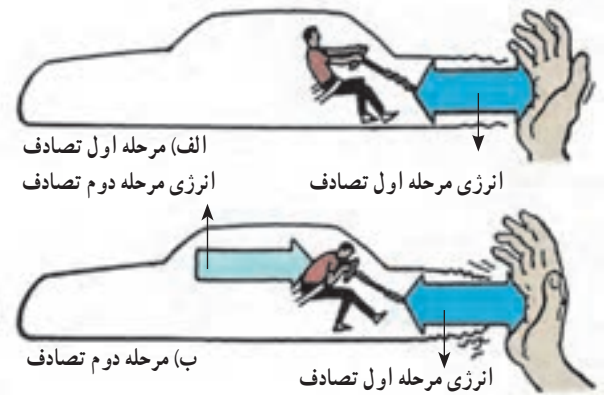
۲ــ۸ــ ایمنی در فرمان

یکی از مسائل مهم در طراحی میل فرمان و ستون فرمان ایمنی در تصادف است. با توجه به شکل ۴ــ۸، هنگام بروز تصادف از جلو، دو مرحلهٔ ذیل ممکن است اتفاق بیفتد :

۱ــ تصادف خودرو از روبه‌رو به مانع؛

۲ــ برخورد راننده و سرنشین خودرو با وسایل داخل خودرو از جمله غربیلک فرمان و داشبورد.

مطابق شکل ۴ــ۸، در صورتی که ستون فرمان به صورت جمع شونده و انعطاف‌پذیر طراحی شود، مقداری از انرژی دو مرحلهٔ تصادف را جذب می‌نماید.



شکل ۴ــ۸ــ مراحل بروز تصادف

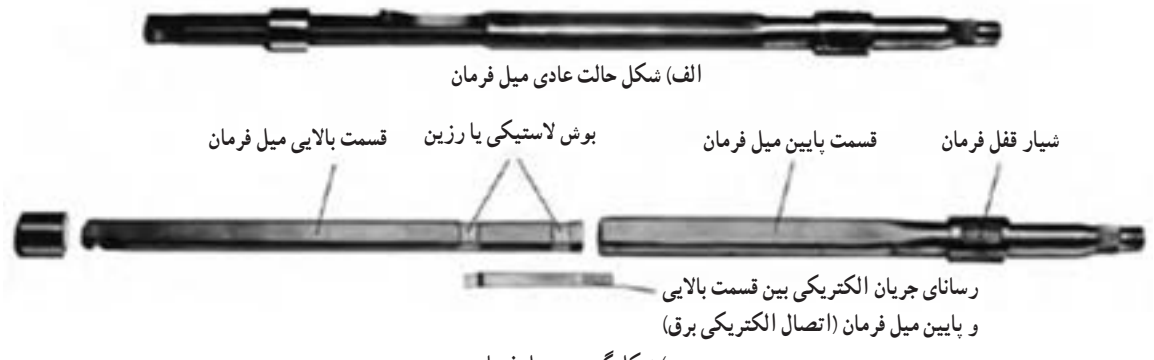
با توجه به شکل ۴ــ۸، در مرحلهٔ اول تصادف در صورتی که قسمت پایین (نزدیک جعبه فرمان) ستون فرمان تحت تأثیر انرژی تصادف جمع شود، مقداری از انرژی مرحلهٔ اول تصادف را جذب می‌نماید.

در مرحلهٔ دوم تصادف که بدن راننده با غربیلک فرمان برخورد می‌نماید، در صورتی که قسمت بالایی ستون فرمان نیز تغییر شکل دهد، مقداری از انرژی مرحلهٔ دوم تصادف را نیز جذب خواهد نمود. بنابراین از انتقال مستقیم کل انرژی تصادف به راننده جلوگیری می‌شود. برای این منظور از ستون‌های فرمان جمع شونده استفاده می‌شود. ستون‌های فرمان جمع شونده دارای انواع مختلفی‌ست که به بررسی چند نوع از آنها پرداخته می‌شود.

۱ــ۲ــ۸ــ ستون فرمان لوله مشبک : مطابق شکل ۵ــ۸، قسمتی از این نوع ستون فرمان به صورت مشبک ساخته می‌شود. در این صورت لولهٔ مشبک هنگام تصادف جمع می‌شود و مقداری از انرژی تصادف را جذب می‌نماید.

شکل ۵ــ۸ــ ستون فرمان نوع لولهٔ مشبک

با توجه به شکل ۶ــ۸، میل فرمان نیز به صورت دو تکه ساخته می‌شود تا در هنگام بروز تصادف از جلو، قسمت پایین میل فرمان در داخل قسمت بالایی میل فرمان به‌صورت کشویی حرکت کند و همزمان با جمع شدن ستون فرمان، طول میل فرمان نیز کاهش یابد. از این‌رو، ضمن جذب مقداری از انرژی تصادف (به علت تغییر شکل میل فرمان و ستون فرمان). هنگام بروز تصادف از



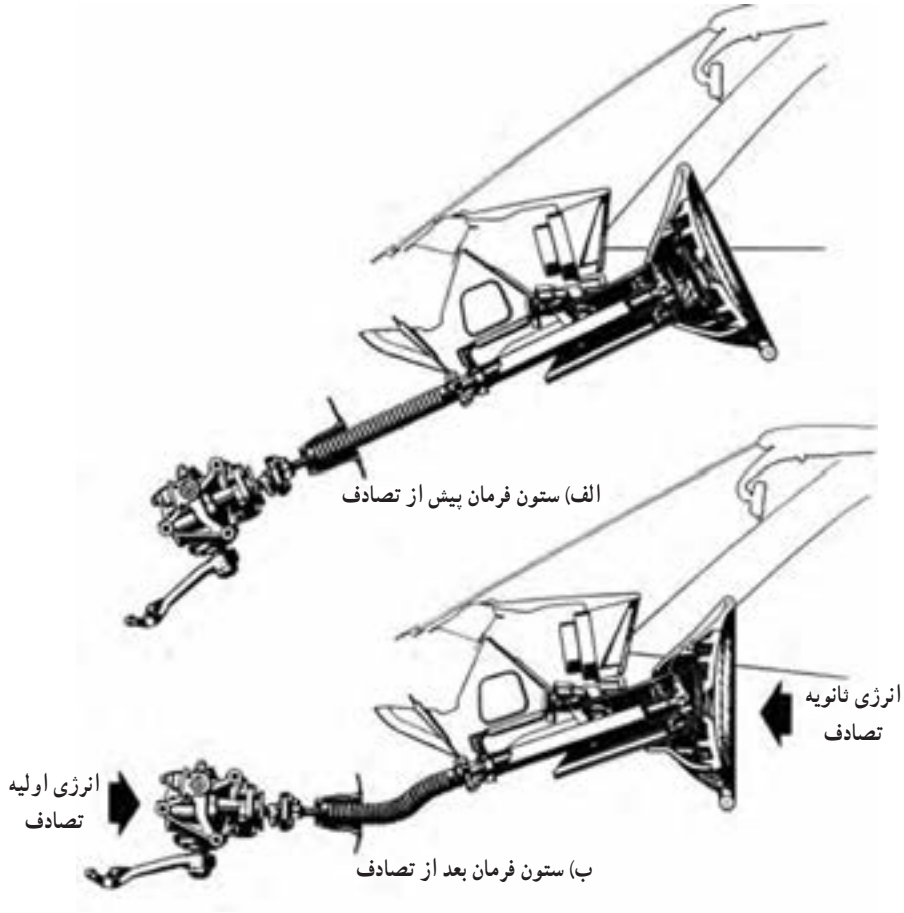
شکل ۶ــ۸ــ میل فرمان کشویی با اتصال بوش لاستیکی یا تزریق پلاستیک

حرکت میل فرمان و ستون فرمان به‌سمت راننده جلوگیری می‌شود.

برای اتصال قسمت بالا و پایین میل فرمان نوعی رزین بین این دو قسمت تزریق، یا از دو بوش لاستیکی استفاده می‌شود. در اثر انرژی تصادف دو بوش یا رزین دچار شکست می‌شوند و قسمت پایین میل فرمان، درون قسمت بالای میل فرمان حرکت محوری انجام می دهد، در نتیجه ضمن کاهش طول میل فرمان، مقداری از انرژی تصادف نیز جذب می‌شود.

۲ــ۲ــ۸ــ میل فرمان لولهٔ خرطومی قابل انعطاف :

با توجه به شکل ۷ــ۸، در این نوع میل فرمان برای انتقال گشتاور غربیلک فرمان به جعبهٔ فرمان از یک میل فرمان، که در قسمت پایین به‌صورت لولهٔ خرطومیِ قابل انعطاف است استفاده شده است. هنگام بروز تصادف، قسمت خرطومی میل فرمان با تغییر شکل دادن و جمع شدن مانع از حرکت میل فرمان به سمت راننده و آسیب دیدن راننده می‌شود.



شکل ۷ــ۸ــ میل فرمان لوله‌ای خرطومی قابل انعطاف

۳ــ۸ــ جعبه فرمان

جعبه فرمان یکی از اجزای اصلی سیستم فرمان است و وظایفی به شرح زیر دارد :

۱ــ افزایش گشتاور و کاهش جابه‌جایی دَوَرانی دست راننده؛

۲ــ تغییر صفحهٔ دوران غربیلک فرمان به صفحهٔ مکانیزم فرمان (۹۰ درجه)؛

۳ــ تبدیل حرکت دورانی غربیلک فرمان به حرکت خطی مکانیزم اهرم‌بندی فرمان

۴ــ۸ــ انواع جعبه فرمان

جعبه فرمان‌ها از لحاظ نحوهٔ افزایش نیرو و گشتاور و

راحتی راننده در فرمان دادن، به دو دسته تقسیم می‌شوند :

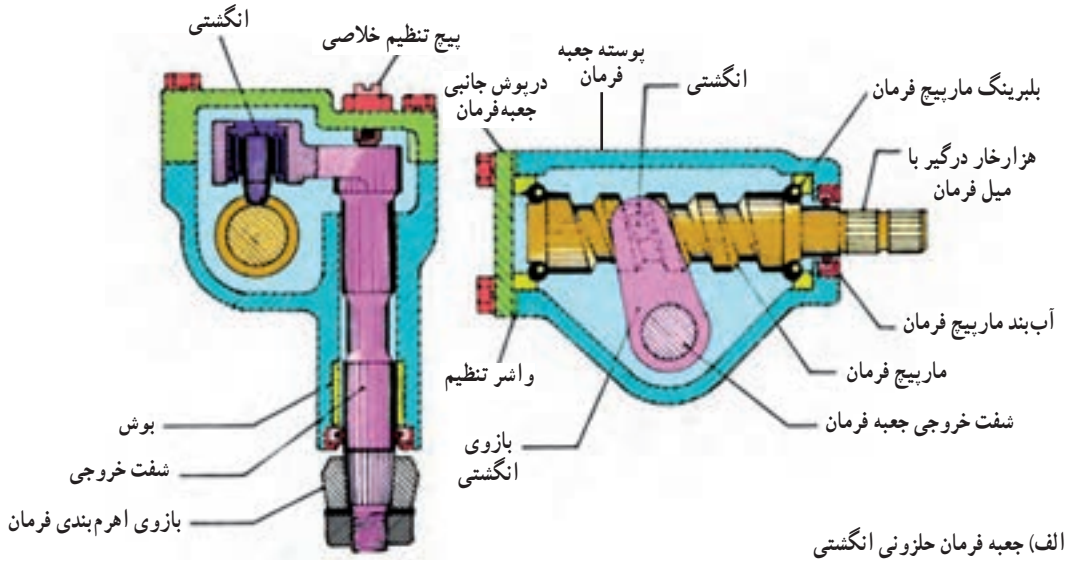
۱ــ جعبه فرمان‌های مکانیکی : در این نوع جعبه فرمان‌ها، تنها از طریق اجزای مکانیکی مانند چرخ‌دنده‌ها و بازوهای مختلف، نیروی دست راننده افزایش می‌یابد و به چرخ‌ها منتقل می‌شود.

۲ــ جعبه فرمان‌های با توان کمکی : در این جعبه فرمان‌ها، علاوه بر استفاده از اجزای مکانیکی، از توان هیدرولیکی و الکتریکی به منظور افزایش توان دست راننده استفاده می‌شود.

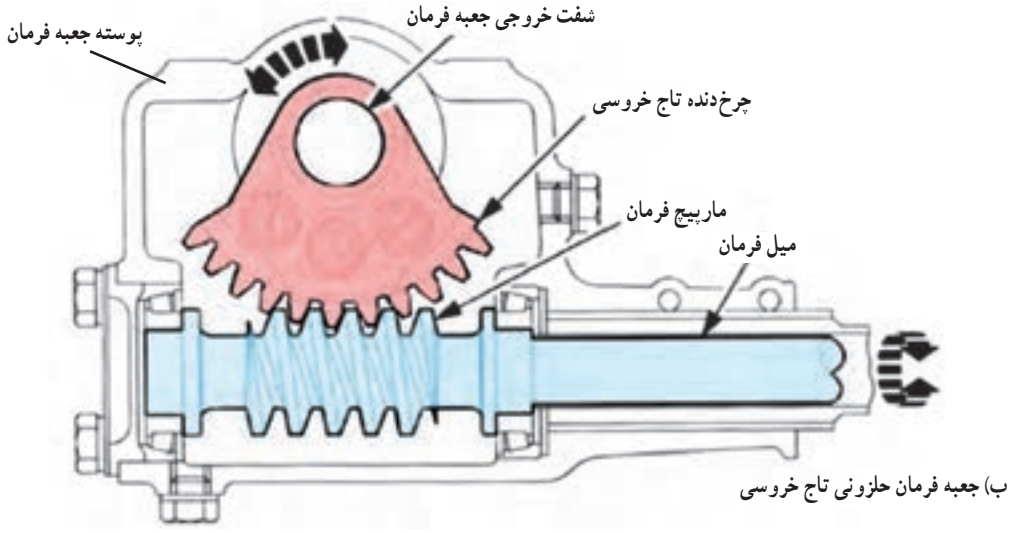
جعبه فرمان‌ها از نظر مکانیزم و نحوهٔ عملکرد نیز به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند :

- جعبه فرمان حلزونی انگشتی؛
- جعبه فرمان حلزونی با دندهٔ تاج خروسی؛
- جعبه فرمان حلزونی غلتکی؛
- جعبه فرمان ساچمه در گردش با دندهٔ تاج خروسی؛
- جعبه فرمان دندهٔ شانه‌ای؛

۱ــ۴ــ۸ــ جعبه فرمان حلزونی انگشتی : جعبه فرمان حلزونی با دنده تاج خروسی و جعبه فرمان حلزونی غلتکی، این نوع جعبه فرمان‌ها به دلیل معایب زیاد در خودروهای امروزی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. لذا به جهت آشنایی در شکل‌های ۸ــ۸ و ۸ــ۹ نمایش داده شده‌اند.



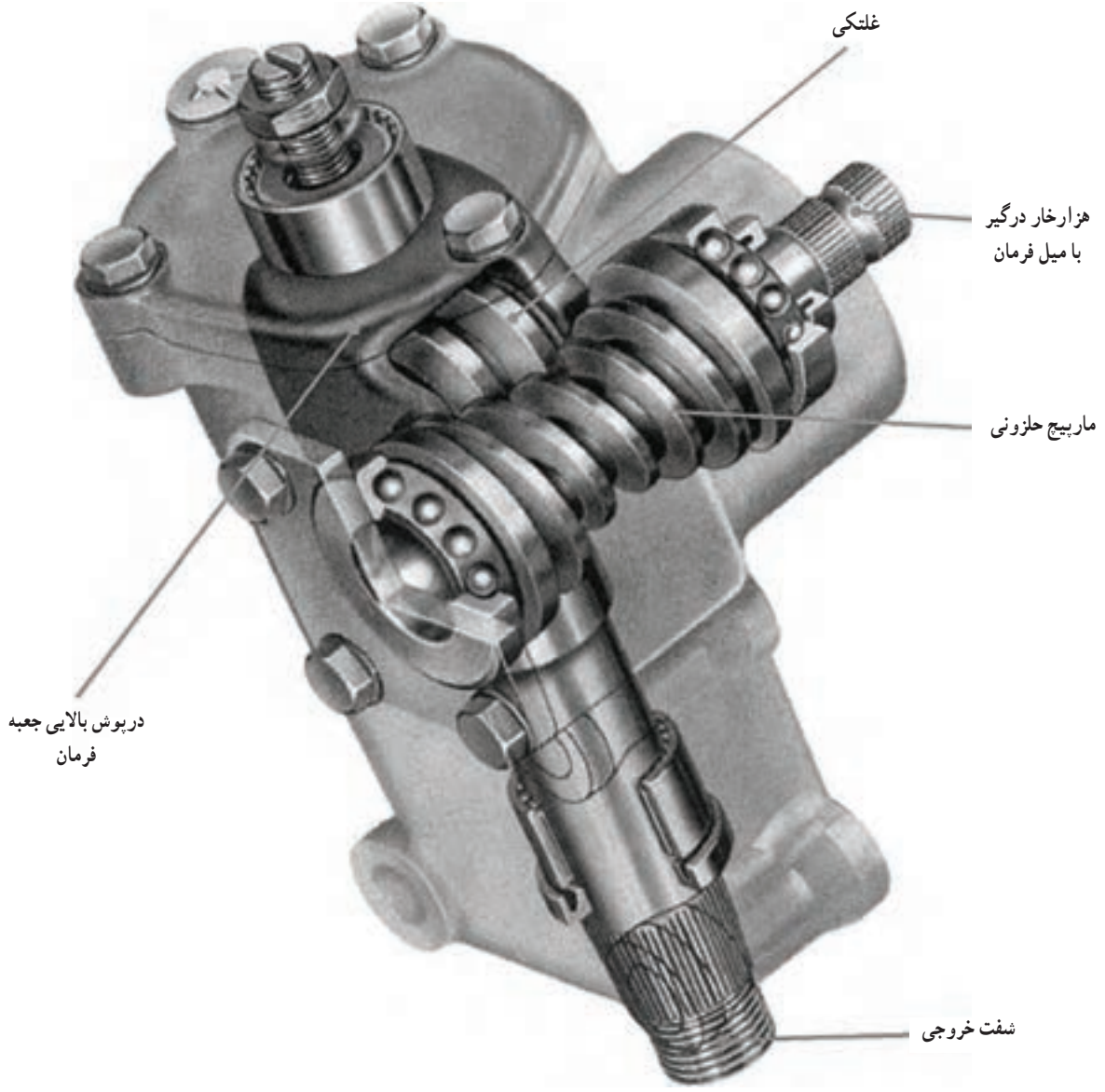
الف) جعبه فرمان حلزونی انگشتی



ب) جعبه فرمان حلزونی تاج خروسی

شکل ۸ــ۸ــ ساختمان داخلی جعبه فرمان حلزونی انگشتی و حلزونی با دندهٔ تاج خروسی

شکل ۹ــ۸، ساختمان داخلی جعبه فرمان حلزونی غلتکی را نشان می‌دهد.



شکل ۹ــ۸ــ جعبهٔ فرمان حلزونی غلتکی

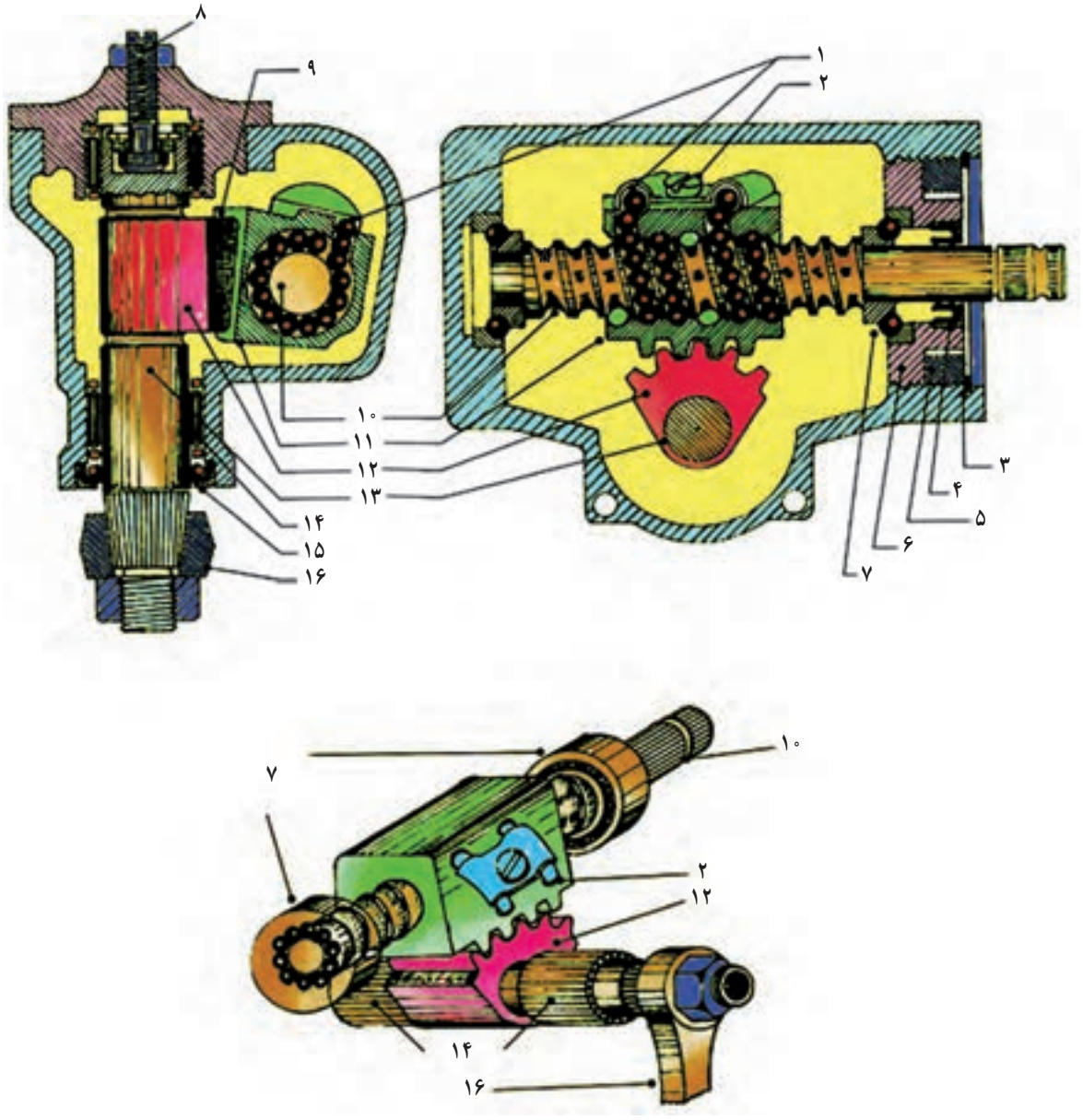
۲ــ۴ــ۸ــ جعبهٔ فرمان ساچمه در گردش با دندهٔ تاج خروسی: شکل ۱۰ــ۸، ساختمان داخلی جعبه فرمان ساچمه در گردش با دندهٔ تاج خروسی را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۱۰ــ۸، با دوران غربیلک فرمان، مارپیچ جعبه فرمان نیز دوران می‌نماید. از آنجایی که مارپیچ امکان حرکت محوری ندارد، حرکت خود را از طریق ساچمه‌ها (۱) به مهرهٔ انتقال (۱۱) منتقل می‌کند. بنابراین مهرهٔ انتقال حرکت خطی انجام می‌دهد. این حرکت از طریق دندانه‌های ایجاد شده بر روی بدنهٔ خارجی مهره (۹) به دندهٔ تاج خروسی و شفت خروجی جعبه فرمان (۱۳) منتقل می‌شود. حرکت دورانی شفت خروجی باعث دوران بازوی هزار خار فرمان (۱۶) می‌شود که به مکانیزم فرمان متصل است. حرکت مکانیزم فرمان نیز باعث دوران چرخ‌ها و

نهایتاً فرمان دهی خودرو می‌شود.

در این نوع جعبه فرمان برای انتقال حرکت مارپیچ به چرخ‌دندهٔ تاج خروسی، از ساچمه‌های کروی که باعث کاهش اصطکاک می‌شوند، استفاده شده است. این موضوع باعث بالا رفتن کارآیی جعبه فرمان، نرمی فرمان و کاهش نیروی دست راننده می‌گردد.

به منظور تنظیم خلاصی فرمان (لقی بین تاج خروسی و چرخ‌دندهٔ روی مارپیچ فرمان) از پیچ تنظیم (۸) استفاده می‌شود. هرگاه پیچ‌تنظیم بالای شفت خروجی سفت شود دندهٔ تاج خروسی را به‌سمت پایین به‌حرکت درمی‌آورد و چون قسمت بالای دندهٔ تاج خروسی قطر بزرگ‌تری دارد درگیری تاج خروسی و چرخ دندهٔ روی مارپیچ بیشتر می‌شود و از این‌رو لقی بین آنها کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰ــ۸ــ جعبه فرمان ساچمه در گردش با دندهٔ تاج خروسی

۱ــ ساچمه ۲ــ لوله‌های مسیر گردش ساچمه‌ها ۳ــ خار حلقوی ۴ــ آب‌بند مارپیچ ۵ــ مهرهٔ ضامن ۶ــ پیچ تنظیم لقی طولی مارپیچ ۷ــ بلبرینگ مارپیچ ۸ــ پیچ تنظیم خلاصی جعبه فرمان ۹ــ دندهٔ تاج خروسی مخروطی ۱۰ــ مارپیچ ۱۱ــ مهره با چرخ دندهٔ شانه‌ای (مهرهٔ انتقال) ۱۲ــ چرخ دندهٔ تاج خروسی ۱۳ــ شفت خروجی ۱۴ــ رولبرینگ سوزنی ۱۵ــ آب‌بند شفت خروجی ۱۶ــ بازوی هزار خار (بازوی محرک اهرم بندی فرمان)

مزایا و معایب جعبه فرمان ساچمه در گردش با دندهٔ تاج خروسی به شرح زیرند :

❊ مزایا

۱ــ کم بودن اصطکاک و افت توان جعبه فرمان که به افزایش راحتی راننده منجر می‌شود. لذا این نوع جعبه‌فرمان برای استفاده در خودروهای سواری مناسب است.

۲ــ نیاز به نگه‌داری و تعمیر کمتری دارد.

۳ــ به علت سایش کمتر، خلاصی جعبه فرمان به مرور زیاد نمی‌شود و ایمنی سیستم فرمان خودرو بالاست.

۴ــ با تغییر گام دندانه‌های بدنهٔ خارجی مهرهٔ انتقال قدرت، می‌توان قابلیت‌های سیستم فرمان را افزایش داد. به همین منظور در قسمت وسط مهرهٔ انتقال قدرت، که مخصوص سرعت بالاست و طبیعتاً در سرعت‌های بالا از زاویهٔ فرمان کمی استفاده می‌شود، مقدار گام چرخ‌دنده را کاهش می‌دهند تا حساسیت سیستم فرمان کاهش یابد. در حالی که در دو انتهای مهرهٔ انتقال قدرت، که مخصوص حالتی است که راننده غربیلک فرمان را تا انتها می‌چرخاند که خاص سرعت کم و عمدتاً برای پارک کردن خودرو و دور زدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار گام را افزایش می‌دهند تا به فرمان‌پذیری بیشتر خودرو منجر شود و در نتیجه قابلیت پارک‌کردن خودرو، به‌خصوص در فضاهای کوچک، افزایش یابد.

۵ ــ از سیستم توان کمکی در این جعبه فرمان می‌توان استفاده کرد.

۶ــ سیستم اهرم‌بندی دارای اهرم‌ها و مفاصل متعددی‌ست و عملکرد مناسبی برای پایداری خودرو ایجاد می‌نماید.

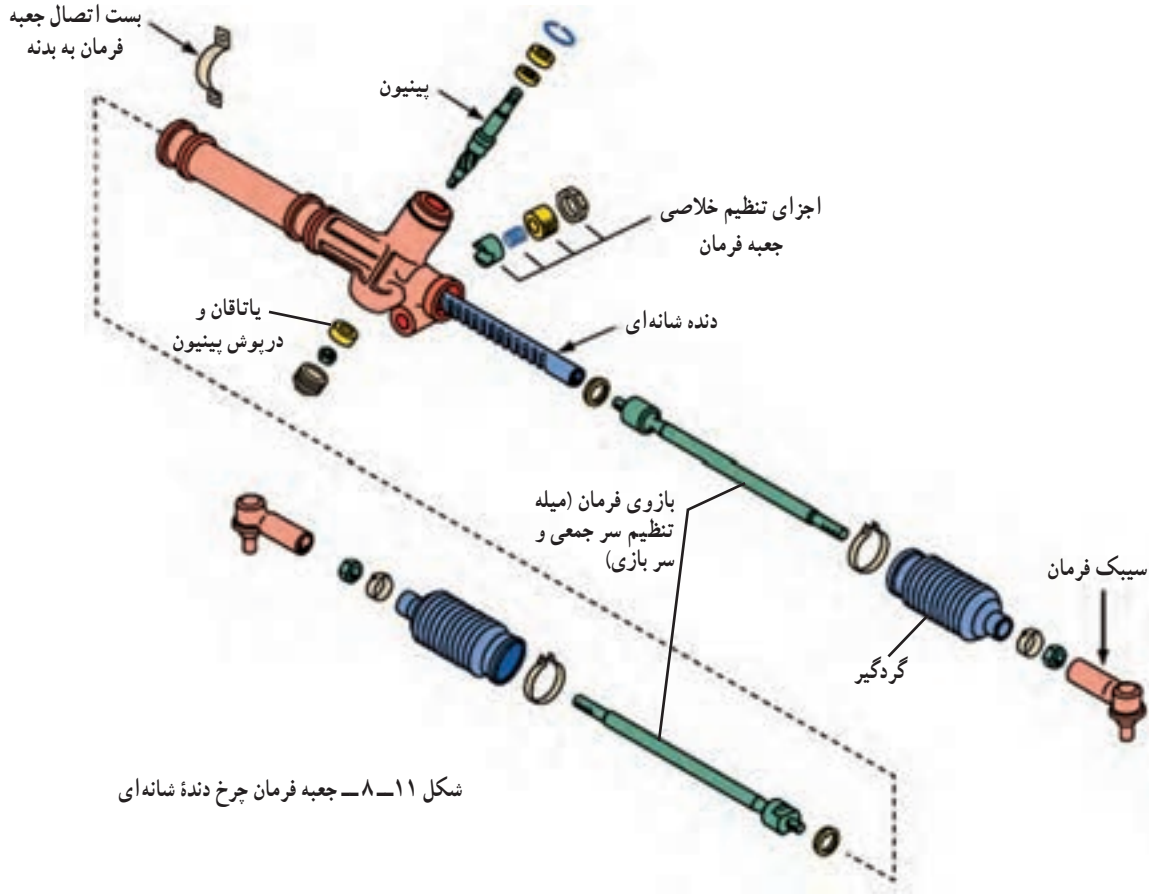
❊ معایب

۱ــ وزن زیاد

۲ــ قیمت تمام شدهٔ بالا

۳ــ مکانیزم اهرم‌بندی به‌کار رفته در این نوع جعبه فرمان دارای اهرم‌ها و مفاصل متعدد است. بنابراین قیمت تمام شدهٔ سیستم فرمان و هزینهٔ نگه‌داری و تعمیر آن افزایش می‌یابد.

۳ــ ۴ــ۸ــ جعبه فرمان چرخ دندهٔ شانه‌ای : در شکل ۱۱ــ۸، ساختمان جعبه فرمان چرخ‌دندهٔ شانه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱۱ــ۸ــ جعبه فرمان چرخ دندهٔ شانه‌ای

باتوجه به شکل ۱۱ــ۸، با دوران غربیلک فرمان، چرخ‌دندهٔ پینیون نیز دوران می‌کند. دوران چرخ‌دندهٔ پینیون باعث می‌شود چرخ‌دندهٔ شانه‌ایِ درگیر با آن حرکت خطی نماید و با توجه به‌جهت دوران غربیلک، حرکتش به چپ یا راست باشد.

حرکت چرخ‌دندهٔ شانه‌ای از طریق میل فرمان به‌منظور فرمان دادن، به‌چرخ‌ها منتقل می‌شود.

مزایا و معایب جعبه فرمان دنده شانه‌ای به شرح زیرند :

مزایا

۱ــ اشغال فضای کم، از این‌رو برای استفاده در خودروهای محرک جلو که فضای کمی در اختیار دارند، مناسب است؛

۲ــ قیمت کمتر نسبت به جعبه فرمانهای مارپیچی؛

۳ــ سبکی جعبه فرمان که باعث کاهش وزن خودرو می‌شود؛

۴ــ به‌دلیل حرکت خطی چرخ‌دندهٔ شانه‌ای و انتقال مستقیم حرکت به محور چرخ، دارای اهرم‌ها و مفاصل کمتری‌ست و در نتیجه هزینهٔ تولید، نگه‌داری و تعمیر آن کاهش می‌یابد.

۵ــ سایش و اصطکاک آن کم و هزینهٔ نگه‌داری و تعمیر آن کمتر است.

۶ــ با تغییر گام چرخ‌دندهٔ شانه‌ای می توان قابلیت‌های سیستم فرمان را افزایش داد. به همین منظور در قسمت وسط شانه‌ای که مخصوص سرعت بالاست و طبیعتاً در سرعت‌های زیاد از زاویهٔ فرمان کمی استفاده می‌شود، مقدار گام را کاهش می‌دهند تا حساسیت سیستم فرمان کاهش یابد. در حالی که در دو انتهای دندهٔ شانه‌ای که مخصوص حالتی‌ست که راننده غربیلک فرمان را تا انتها می‌چرخاند که خاص سرعت کم است و عمدتاً برای پارک کردن خودرو و دور زدن مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار گام را افزایش می‌دهند تا به فرمان‌پذیری بیشتر خودرو منجر شود. بنابراین قابلیت پارک خودرو، به‌خصوص در فضاهای کوچک افزایش می‌یابد.

۷ــ از سیستم فرمان با توان کمکی، به‌راحتی می‌توان برای این نوع جعبه فرمان استفاده نمود.

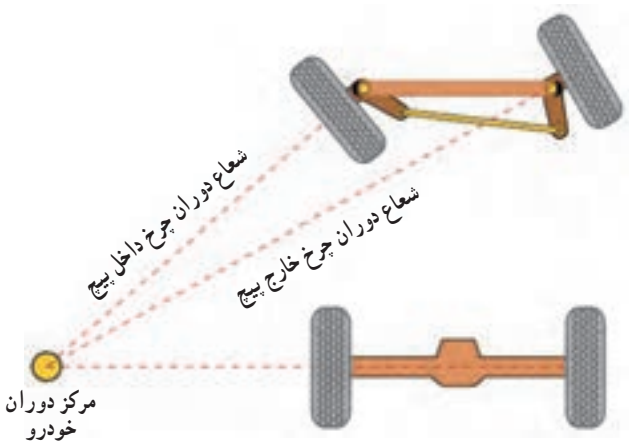
معایب

۱ــ محدودیت افزایش گشتاور دارد.

۲ــ در این مکانیزم، از تعداد بازوها و مفاصل کمتری استفاده شده است. بنابراین عملکرد سیستم فرمان به منظور افزایش پایداری خودرو، نسبت به مکانیزم به کار گرفته شده با جعبه فرمان ساچمه در گردش، نامناسب‌تر است.

۵ــ۸ــ هندسه مکانیزم فرمان و رابطهٔ آکرمان

شکل ۱۲ــ۸، عملکرد هندسهٔ فرمان را در طی مسیر پیچ جاده نشان می‌دهد.



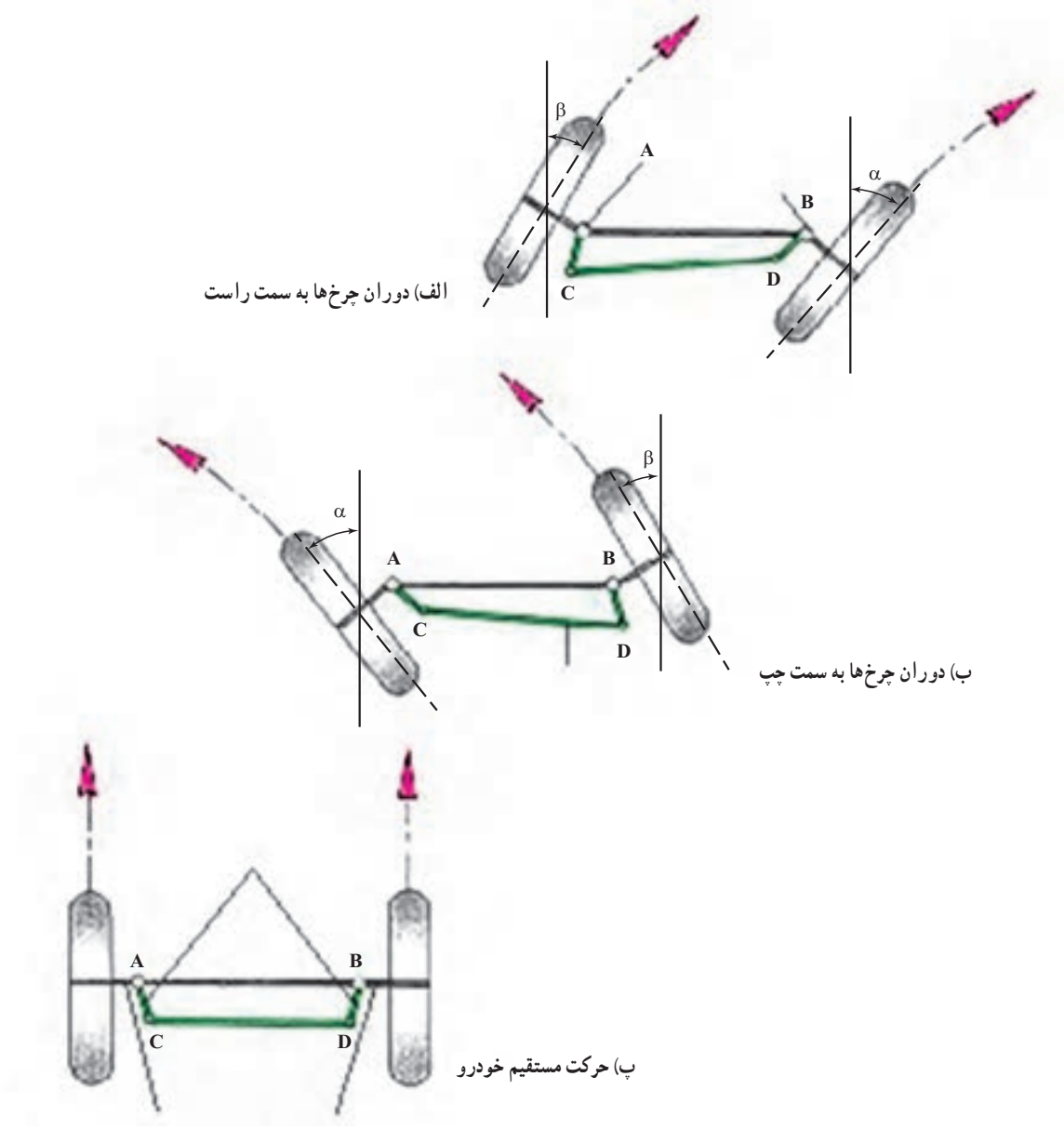
شکل ۱۲ــ۸ــ مرکز آنی دوران خودرو و رابطهٔ آکرمان

مطابق شکل ۱۲ــ۸، هر گاه خودرویی به‌صورت پایدار و بدون لغزش بیش از حد، در مسیر دایره‌ای یا پیچ جاده حرکت کند، چرخ داخل پیچ روی محیط دایره‌ای با شعاع کمتر نسبت به چرخ خارج پیچ حرکت می‌کند. در این حالت، در صورتی‌که هر چهار چرخ حول یک نقطه دوران نکنند در چرخ‌ها لغزش ایجاد می‌شود و پایداری خودرو کاهش می‌یابد و در تایرها سایش نامتقارن ایجاد می‌شود. بنابراین طبق رابطهٔ آکرمان به منظور حرکت پایدار و مناسب خودرو هنگام طی مسیر پیچ جاده، تمام چرخ‌های خودرو باید روی دایره‌هایی با مرکز مشترک حرکت کنند.

برای این منظور در خودروها مکانیزم سیستم فرمان را به‌صورتی طراحی می‌کنند تا هنگام حرکت خودرو طی مسیر پیچ جاده، چرخ داخل پیچ، نسبت به چرخ خارج پیچ زاویهٔ بیشتری داشته باشد. برای ایجاد این خاصیت از ذوزنقهٔ فرمان در مکانیزم فرمان استفاده می‌شود. با توجه به شکل ۱۳ــ۸، خط

متصل کنندهٔ محورهای چرخ (AB) از خط واصل مفصل‌های (سیبک‌ها CD) بازوی اهرم‌بندی فرمان (شغال دست‌ها) بزرگ‌تر است. (AB>CD).

بنابراین مطابق شکل۱۳ــ۸ ــ الف،در دوران چرخ‌ها به‌سمت راست، به‌دلیل ذوزنقه‌ای بودن اهرم‌بندی فرمان، دوران چرخ داخل پیچ (α) از زاویهٔ دوران چرخ خارج پیچ (β) بیشتر است.همچنین در دوران چرخ‌ها به سمت چپ، مطابق شکل (۱۳ــ۸ــ ب)، عکس حالت (a) اتفاق می‌افتد بنابراین برای اینکه خودرو هنگام طی کردن مسیر پیچ جاده بتواند به صورت یکنواخت حرکت کند، طبق رابطهٔ آکرمان باید ابعاد و زوایای بازوهای مکانیزم فرمان به‌گونه‌ای طراحی شود که زاویهٔ فرمان چرخ داخل پیچ از زاویهٔ فرمان چرخ بیرون پیچ بیشتر باشد. با در نظر گرفتن این موضوع، شکل ظاهری مکانیزم فرمان به صورت یک ذوزنقه خواهد بود.



الف) دوران چرخ‌ها به سمت راست

ب) دوران چرخ‌ها به سمت چپ

پ) حرکت مستقیم خودرو

شکل ۱۳ــ۸ــ ذوزنقهٔ فرمان

۶ــ۸ــ مکانیزم فرمان

مکانیزم فرمان مجموعه‌ای از بازوها و مفاصل است. این مجموعه وظیفهٔ انتقال حرکت و گشتاور شفت خروجی یا دندهٔ شانه‌ای جعبه فرمان به محور چرخ را برای فرمان دادن به چرخ‌ها برعهده دارد.

مکانیزم‌های فرمان دارای انواع مختلفی است، که با توجه به موارد زیر در خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرند :

۱ــ محرک یا غیرمحرک بودن محور جلو و قرارگرفتن موتور به‌صورت طولی یا عرضی؛

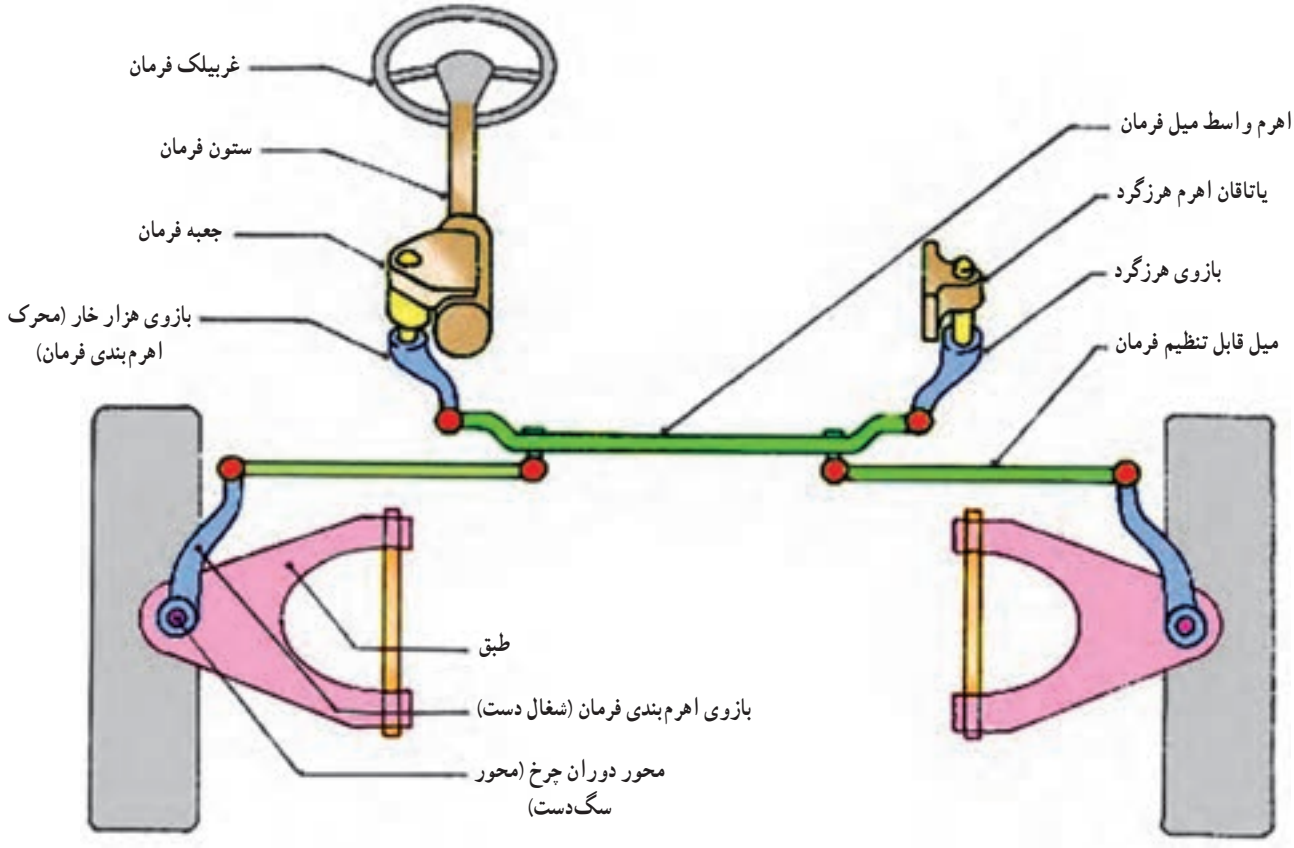
۲ــ نوع سیستم تعلیق به‌کار رفته در محور جلو؛

۳ــ نوع جعبه فرمان به‌کار رفته در سیستم فرمان؛

۴ــ نوع خودرو (سواری و کامیون)، کاربرد آن، نوع شاسی و محل قرارگیری جعبه فرمان در جلو یا عقب چرخ.

در این بخش دو نوع رایج مکانیزم فرمان در خودروهای سواری بررسی می‌شود.

شکل ۱۴ــ۸، نوعی مکانیزم فرمان به‌کار رفته در جعبه فرمان‌هایی را که شفت ورودی آنها مارپیچی یا حلزونی و دارای شفت خروجی عمود بر شفت ورودی‌ست، نشان می‌دهد.



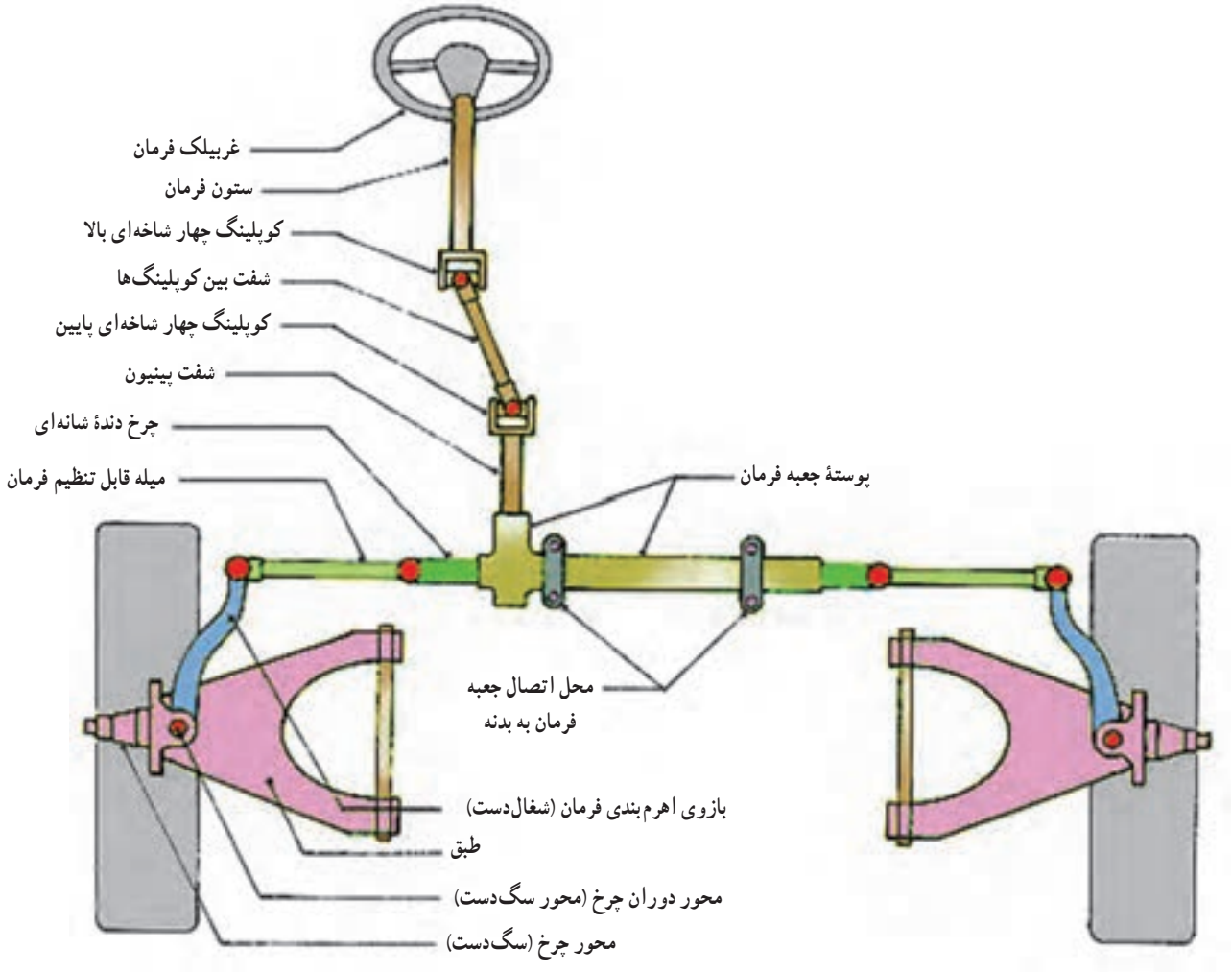
شکل ۱۴ــ۸ــ مکانیزم فرمان با جعبه فرمان مارپیچی یا حلزونی

با توجه به شکل ۱۴ــ۸، در این مکانیزم برای انتقال گشتاور شفت خروجی جعبه فرمان به چرخ‌ها و نیز تبدیل حرکت دورانی آن به حرکت خطی، از یک اهرم واسط استفاده می‌شود. هنگام دوران غربیلک فرمان، بازوی محرک با حرکت زاویه‌ای خود باعث جابه‌جایی اهرم واسط می‌شود. اهرم واسط نیز این حرکت را از طریق میلهٔ قابل تنظیم فرمان به بازوی اهرم‌بندی فرمان انتقال می‌دهد. این امر موجب دوران چرخ و فرمان‌دهی خودرو می‌شود.

نکته : میلهٔ قابل تنظیم فرمان، قابلیت تنظیم طول را دارد که به منظور تنظیم سرجمعی و سربازی چرخ‌ها، می‌توان طول این بازوها را (با کوتاه و بلند نمودن) تغییر داد.

شکل ۱۵ــ۸، مکانیزم فرمان به کار رفته در جعبه فرمان‌های چرخ‌دندهٔ شانه‌ای را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱۵ــ۸، در این مکانیزم با حرکت خطی چرخ‌دندهٔ شانه‌ای فرمان، بازوی فرمان نیز جابه‌جا می‌شود. حرکت بازوی فرمان به اهرم محور چرخ منتقل می‌شود و باعث فرمان دادن به چرخ‌ها می‌گردد. از ویژگی‌های این مکانیزم سادگی و تعداد کم بازوهای آن است.



شکل ۱۵ــ۸ــ مکانیزم فرمان به‌کار رفته در جعبه فرمان‌های چرخ دندهٔ شانه‌ای

۷ــ۸ــ فرمان‌های با توان کمکی

امروزه در اکثر خودروها، به‌منظور راحتی بیشتر راننده، افزایش قابلیت پارک کردن و پایداری خودرو، از سیستم‌های کمکی مانند هیدرولیکی و الکتریکی در سیستم فرمان استفاده می‌شود.

از این‌رو دوران غربیلک فرمان با نیروی کمتری صورت می‌گیرد و علاوه بر آن تأخیر در فرمان‌دهی خودرو نیز کاهش می‌یابد.

جعبه فرمان‌های با توان کمکی به سه نوع زیر تقسیم می‌شوند :

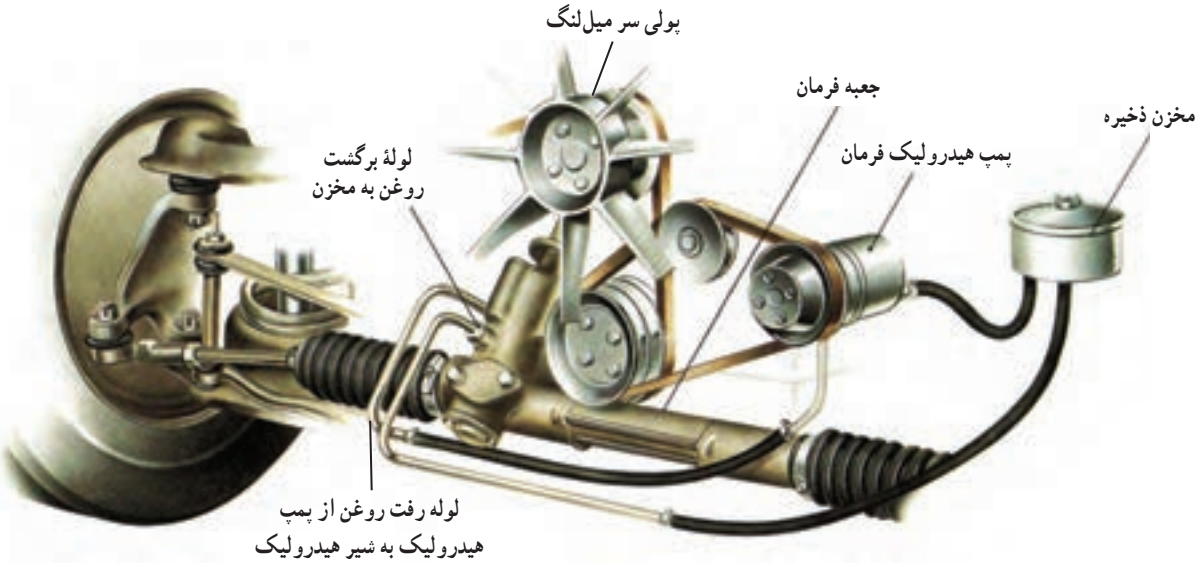
۱ــ فرمان‌های هیدرولیکی؛

۲ــ فرمان‌های الکتروهیدرولیکی؛

۳ــ فرمان‌های الکتریکی.

در این بخش جعبه فرمان‌ها با توان کمکی بررسی می‌شوند.

۱ــ۷ــ۸ــ فرمان هیدرولیکی : شکل ۱۶ــ۸، نمای شماتیک فرمان هیدرولیکی را با جعبه فرمان دندهٔ شانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱۶ــ۸ــ شماتیک فرمان هیدرولیکی

مطابق شکل ۱۶ــ۸، در این مکانیزم از فشار هیدرولیکی تولید شده توسط پمپ هیدرولیکی، برای کمک به حرکت چرخ‌دندهٔ شانه‌ای و کاهش نیروی دست راننده استفاده می‌شود. این پمپ نیروی مورد نیاز خود را توسط تسمه و پولی از میل‌لنگ موتور دریافت می‌کند.

فشار هیدرولیکی، مطابق شکل، توسط تجهیزاتی که به جعبه فرمان دندهٔ شانه‌ای افزوده شده است، توان سیستم فرمان را افزایش می‌دهد. از این‌رو روی شفت ورودی جعبه فرمان، یک شیر هیدرولیکی نصب شده است، که با دَوَران غربیلک فرمان، موقعیت آن (شیر) تغییر می‌کند و باعث می‌شود روغن هیدرولیک وارد جک هیدرولیک گردد.

این روغن با توجه به جهت دوران غربیلک به یک سمت جک اِعمال، و باعث حرکت جک می‌شود. از آنجایی که پیستون جک به چرخ‌دندهٔ شانه‌ای متصل است، چرخ‌دندهٔ شانه‌ای نیز به همراه جک حرکت می‌کند و باعث فرمان‌دهی چرخ‌ها با نیروی بیشتری می‌شود.

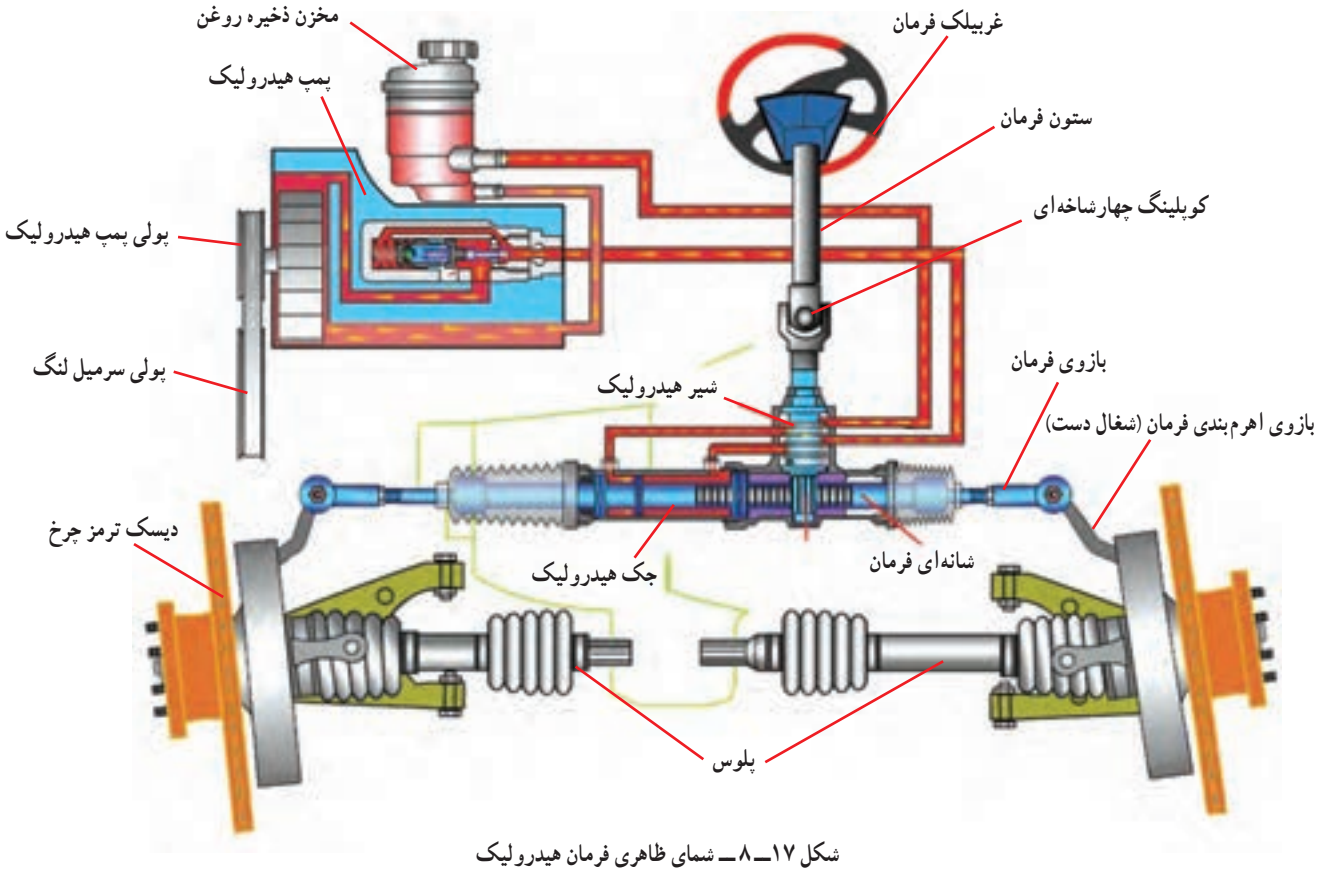
شکل۱۷ــ۸، نمای ظاهری فرمان هیدرولیک و نحوهٔ ارتباط اجزای آن‌را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸ــ ۸، نحوهٔ عملکرد جعبه فرمان هیدرولیک و شیر هیدرولیکی آن‌را نشان می‌دهد.

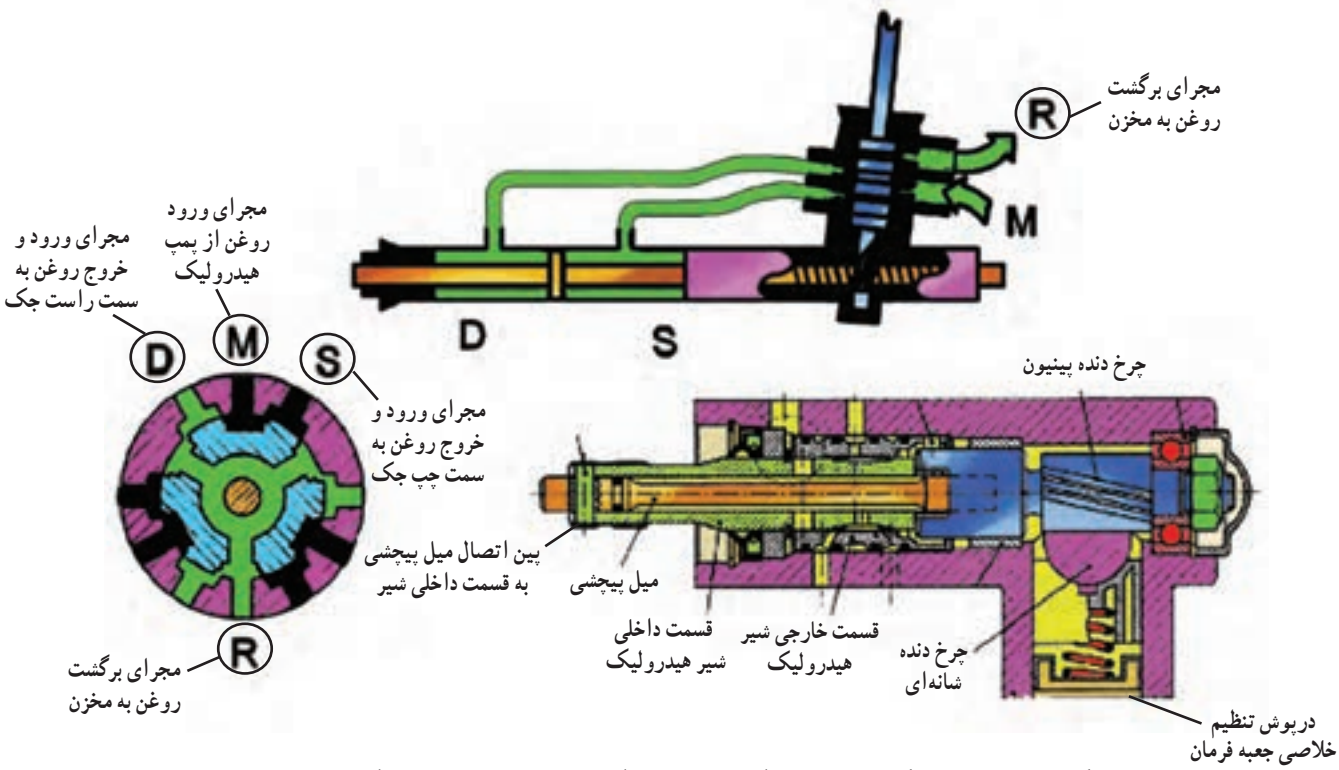
با توجه به شکل ۱۸ــ ۸ عملکرد فرمان هیدرولیک در حالت‌های زیر بررسی می‌شود :

۱ــ حالت ثابت بودن غربیلک فرمان : مطابق شکل ۱۸ــ۸، در حالت ثابت بودن غربیلک فرمان، روغن هیدرولیک تحت فشار پمپ، از طریق مجرای ورودی وارد شیر هیدرولیک می‌شود. با توجه به این نکته که در هنگام ثابت بودن غربیلک فرمان، میل پیچشی در حالت آزاد قرار دارد و پیچشی در آن ایجاد نمی‌شود.

بنابراین قسمت داخلی شیر، که به میل پیچشی متصل است، در وضعیتی قرار می‌گیرد که مجرای ورودی به‌مجرای خروجی متصل می‌گردد. در نتیجه روغن ورودی به شیر هیدرولیک پس



شکل ۱۷ــ۸ــ شمای ظاهری فرمان هیدرولیک



شکل ۱۸ــ۸ــ نحوهٔ عملکرد فرمان هیدرولیک و شیر هیدرولیک فرمان (در حالت چرخش غربیلک به سمت راست)

از عبور از مجرای خروجی به مخزن ذخیره باز می‌گردد. در این حالت به‌دلیل اینکه روغن هیدرولیک از طریق شیر هیدرولیک به دو طرف پیستون جک وارد می‌شود (از طریق مجرای D و S) در این حالت روغن هیدرولیک مسیر با مقاومت کمتر را انتخاب نموده و به مخزن ذخیره باز می‌گردد در این وضعیت به دو طرف جک نیرویی وارد نشده و جک در موقعیت خود ثابت می‌ماند و به تبع آن، چرخ‌ها نیز موقعیت خود را حفظ می‌نمایند.

۲ــ حالت دوران غربیلک به سمت راست یا چپ :

مطابق شکل ۱۸ــ۸، هنگامی‌که غربیلک فرمان به سمت راست دوران می‌کند، در اثر گشتاور اِعمالی غربیلک به میل فرمان، میلهٔ پیچشی دچار پیچش شده و باعث می‌شود قسمت داخلی شیر هیدرولیک نسبت به قسمت خارجی در جهت چرخشی تغییر موقعیت دهد.

در این حالت مجرای ورودی (M) شیر هیدرولیک به مجرای جک (S) که تا به حال راه داشت بازتر شده و از مجاری خروجی به مخزن (R) و (D) جک جدا می‌شود. از این‌رو روغن هیدرولیک تحت فشار از طریق مجرای (S) که مجرای آن بازتر شده به سمت راست جک هیدرولیک انتقال می‌یابد و باعث می‌شود پیستون جک به‌سمت چپ حرکت کند تا چرخ‌ها به سمت راست فرمان گیرند. از طرفی مجرای (D) نیز به مجرای (R) متصل می‌شود تا مایع هیدرولیک سمت دیگر جک به مخزن ذخیره منتقل گردد. بنابراین چرخ دندهٔ شانه‌ای با چرخش پنیون و نیروی جک به‌منظور فرمان دادن به چرخ‌ها جابه‌جا می‌شود.

هنگام دوران غربیلک به سمت چپ، عکس حالت فوق ایجاد می‌گردد. از این‌رو راه مجرای ورودی شیر هیدرولیک (M) که به مجرای (D) در حالت عادی راه‌داشت بازتر شده و مجرای (S) نیز به مجرای برگشت (R) راه پیدا می‌کند. در نتیجه با حرکت جک به سمت راست، چرخ‌ها به سمت چپ گردش می‌کنند.

نکته : همان‌گونه که در شکل (۱۸ــ۸) ملاحظه می‌شود، میلهٔ پیچشی به‌گونه‌ای در داخل شیر هیدرولیک تعبیه شده که از یک سمت به هزارخار میل فرمان و قسمت داخلی شیر هیدرولیک متصل است و از سمت دیگر به‌پنیون جعبه فرمان و قسمت بیرونی شیر هیدرولیک متصل است. بنابراین میلهٔ پیچشی واسطهٔ انتقال گشتاور دست راننده از میل فرمان به پنیون جعبه فرمان می‌باشد. استفاده از این میلهٔ پیچشی باعث می‌شود :

۱ــ هنگامی‌که غربیلک دوران می‌کند میلهٔ پیچشی به واسطهٔ انتقال گشتاور به پنیون دچار پیچش می‌گردد و با تغییر موقعیت قسمت داخلی شیر، مجاری مختلف شیر را به یکدیگر متصل می‌نماید. این پیچش (میلهٔ پیچشی) تا زمانی‌که غربیلک در حال دوران است وجود دارد و باعث انتقال روغن هیدرولیک به یک سمت جک و در نتیجه فرمان دهی چرخ‌ها می‌شود.

۲ــ با ثابت نگه داشتن غربیلک فرمان، میلهٔ پیچشی، که دچار پیچش شده بود، به حالت اولیه خود باز می‌گردد و باعث قطع ارسال روغن هیدرولیک به جک و ثابت ماندن چرخ‌ها در همان وضعیت می‌شود.

فرمان هیدرولیک دارای مزایا و معایب به شرح زیر است :

** مزایا*

۱ــ کاهش نیروی دست راننده، هنگام فرمان دادن؛

۲ــ به‌دلیل افزایش توان سیستم فرمان، سیستم هیدرولیک با نیروی کمتری که به غربیلک فرمان اِعمال می‌شود فعال می‌گردد و بنابراین سیستم فرمان زودتر واکنش نشان می‌دهد و ایمنی خودرو و پایداری آن افزایش می‌یابد.

۳ــ به‌علت استفاده از سیستم هیدرولیک و با در نظر گرفتن این نکته که روغن هیدرولیک خاصیت مستهلک‌سازی ارتعاشات را نیز دارد، ارتعاشات و ضرباتِ اعمالی از طرف چرخ به مکانیزم

فرمان جذب و مستهلک می‌شود.

۴ــ با در نظر گرفتن گشتاور پیچشی مناسب برای میلهٔ پیچشی، در سرعت‌های زیاد که میزان گشتاور جابه‌جایی اِعمالی به غربیلک فرمان اندک است، مقدار جابه‌جایی قسمت داخلی شیر هیدرولیک، نسبت به قسمت بیرونی آن، کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی فعالیت سیستم هیدرولیک نیز کاهش می‌یابد،در نتیجه در سرعت‌های زیاد از حساسیت فرمان کاسته می‌شود و پایداری خودرو افزایش می‌یابد.

معایب

۱ــ به‌دلیل زیاد بودن تعداد قطعات سیستم هزینهٔ طراحی، ساخت، نگه‌داری و تعمیر آن افزایش می‌یابد.

۲ــ با توجه به استفاده از روغن هیدرولیک، آلودگی سیستم افزایش می‌یابد.

۳ــ مصرف سوخت، به‌دلیل دوران دائمی پمپ هیدرولیک (توسط موتور) افزایش می‌یابد.

۴ــ توان موتور، به‌دلیل اینکه پمپ هیدرولیک دائماً از موتور توان دریافت می‌کند، رو به اتلاف است.

۵ــ هنگام خاموش بودن موتور، گشتاور مورد نیاز برای فرمان دادن خودرو نسبت به حالتی که جعبه‌فرمان مکانیکی‌ست، زیادتر است.

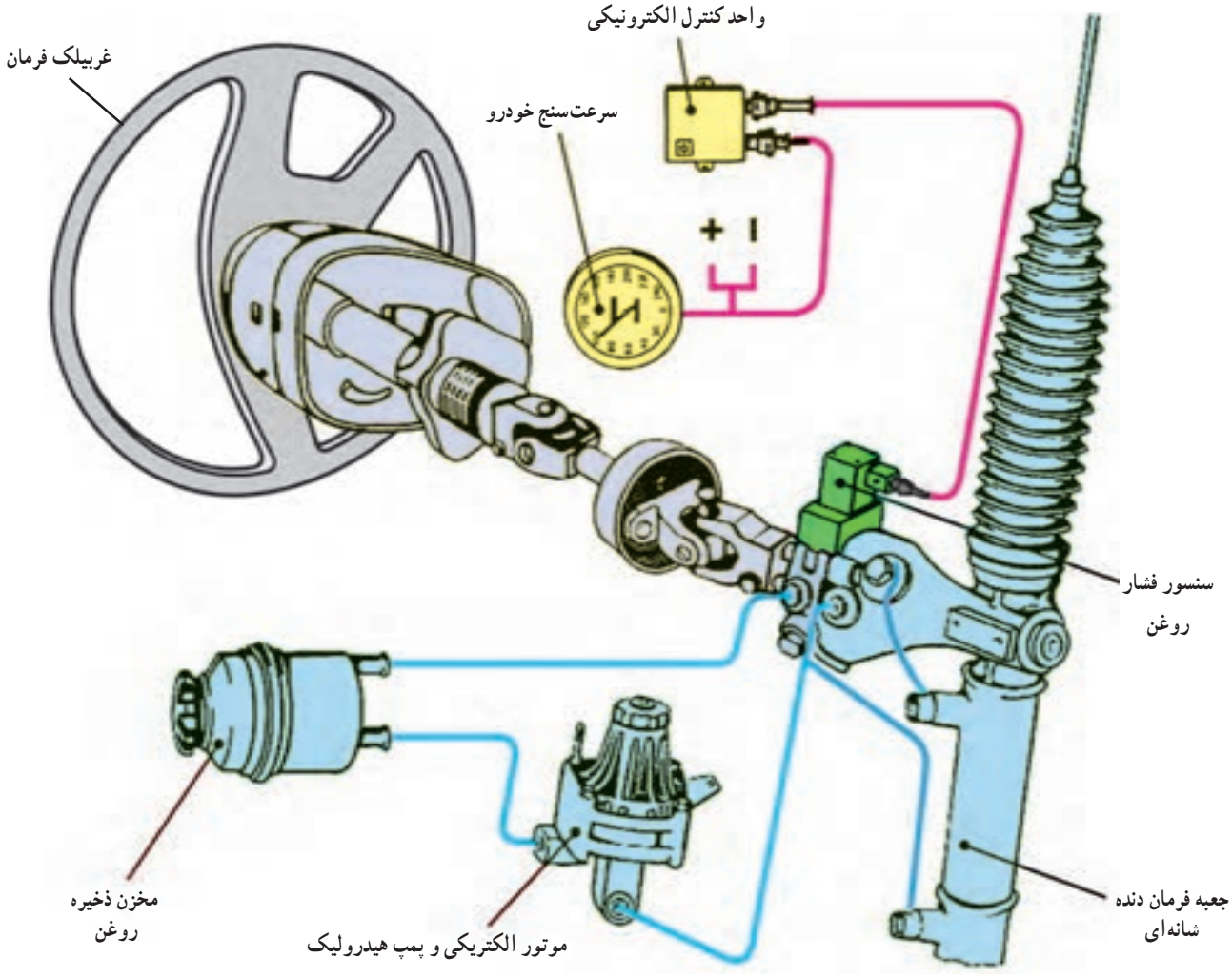
۲ــ۷ــ۸ــ فرمان الکتروهیدرولیکی :عملکرد این نوع سیستم فرمان مشابه فرمان هیدرولیکی‌ست، با این تفاوت که پمپ هیدرولیک به‌جای آنکه نیروی خود را توسط تسمه از موتور دریافت کند، توسط موتور الکتریکی دوران می‌نماید.

بنابراین برخی از معایب فرمان‌های هیدرولیک، از جمله افزایش مصرف سوخت و کاهش توان موتور در این نوع سیستم فرمان وجود ندارد. شکل ۱۹ــ۸، ساختمان ظاهری این نوع سیستم فرمان را نشان می‌دهد.

شکل ۱۹ــ۸ــ ساختمان ظاهری فرمان الکتروهیدرولیکی

شکل (۲۰ــ۸)، نحوهٔ ارتباط بین اجزای سیستم فرمان الکتروهیدرولیک و اجزای آن‌را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۲۰ــ۸)، ملاحظه می‌شود، در برخی از انواع فرمان‌های الکتروهیدرولیکی از عملگر کنترل فشار هیدرولیک استفاده می‌شود تا فشار مدار را براساس سرعت خودرو تنظیم نماید. بنابراین به‌منظور افزایش ایمنی خودرو در سرعت‌های بالا، فشار مدار هیدرولیک کاهش می‌یابد تا فرمان‌دهی چرخ‌ها توسط دست راننده با نیروی بیشتری صورت پذیرد و در سرعت‌های کم فشار مدار هیدرولیک افزایش می‌یابد تا راننده با نیروی کمتری به چرخ‌ها فرمان دهد.



شکل ۲۰ــ۸ــ نحوهٔ ارتباط اجزای فرمان الکتروهیدرولیکی

سیستم فرمان الکتروهیدرولیکی دارای مزایا و معایب به شرح زیر است :

*** مزایا**

۱ــ محدودیتی در محل نصب پمپ و موتور الکتریکی وجود ندارد و نیز برای نصب تسمه فضایی نیاز نیست.

۲ــ به‌دلیل استفاده از موتور الکتریکی و انرژی باتری برای راه‌اندازی پمپ هیدرولیک، امکان کاهش نیروی دست راننده (به‌منظور فرمان دادن به خودرو و در حالت موتور خاموش) نیز وجود دارد.

۳ــ به‌دلیل استفاده نشدن از نیروی موتور برای دوران

پمپ، از هدر رفت انرژی موتور و کاهش توان موتور جلوگیری می‌شود.

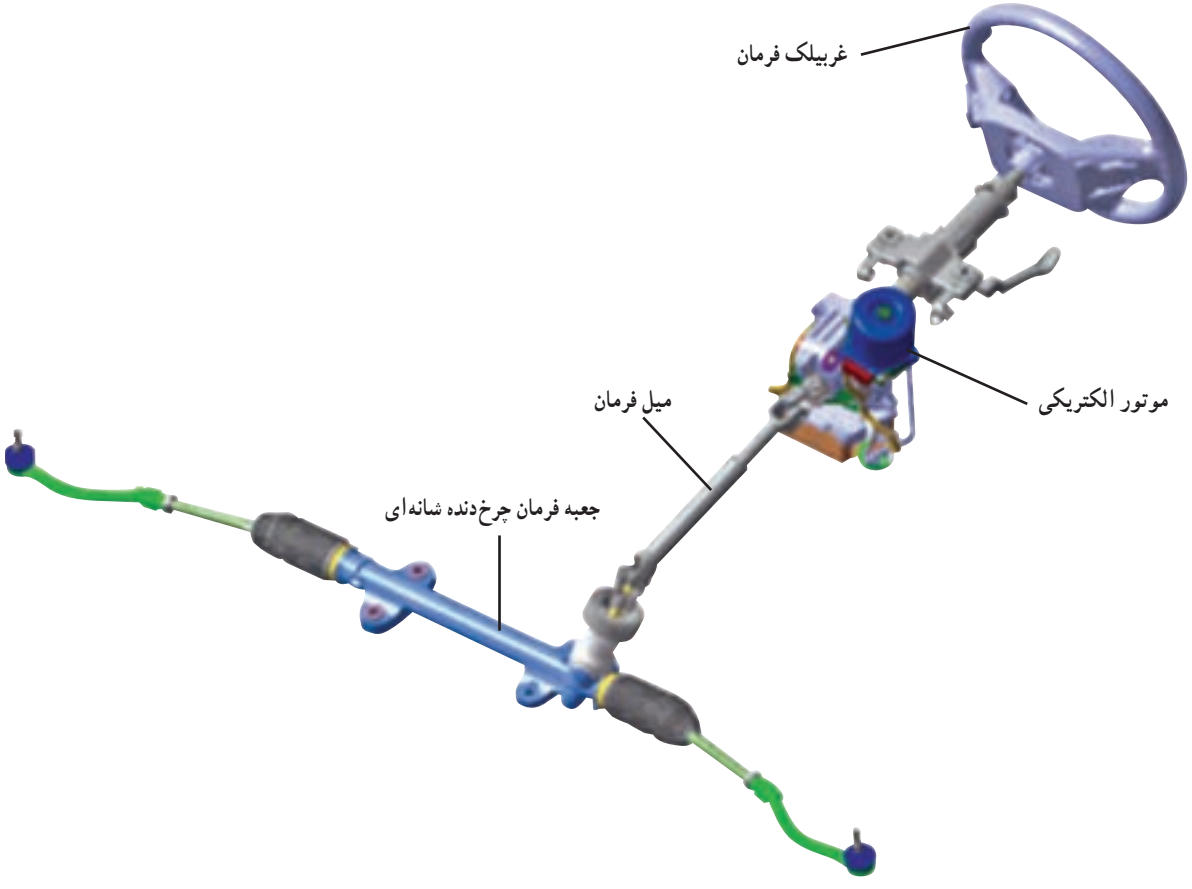
۴ــ به‌دلیل استفاده از موتور الکتریکی برای دوران پمپ هیدرولیک، در حالت‌هایی که به فشار هیدرولیک بالا نیاز نیست، می‌توان، فشار تولیدی پمپ را کاهش داد. در نتیجه مصرف انرژی در حدود ۲۰٪، نسبت به فرمان‌های هیدرولیکی کاهش می‌یابد.

۵ــ با وجود واحد کنترل الکترونیکی و همچنین کنترل فشار هیدرولیک، می‌توان فشار هیدرولیک را، با توجه به پارامترهای مختلفی از قبیل سرعت خودرو، میزان نیروی وزن وارد بر چرخ‌ها و غیر آنها، کنترل نمود. از این‌رو در سرعت‌های بالا با کاهش فشار تولیدی پمپ هیدرولیک، حساسیت فرمان کاسته می‌شود تا ایمنی خودرو افزایش یابد.

۳ــ۷ــ۸ــ سیستم فرمان الکتریکی : در این سیستم به منظور تولید توان کمکی به دست راننده از یک موتور الکتریکی استفاده می‌شود. شکل ۲۱ــ۸، نمای ظاهری این سیستم فرمان را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۲۱ــ۸، ملاحظه می‌شود که موتور الکتریکی بر روی ستون فرمان نصب شده است. این موتور در هنگام دوران غربیلک فرمان، ضمن فعال گردیدن باعث می‌شود توان کمکی موتور الکتریکی نیز به میل فرمان منتقل گردد. از این‌رو برای دوران غربیلک فرمان به توان کمتری از دست راننده نیاز است.

نکته : در برخی از مدل‌های این نوع سیستم فرمان، علاوه بر نصب موتور الکتریکی بر روی ستون فرمان، موتور الکتریکی بر روی چرخ‌دندهٔ شانه‌ای فرمان یا چرخ‌دندهٔ پینیون جعبه فرمان نصب می‌گردد.

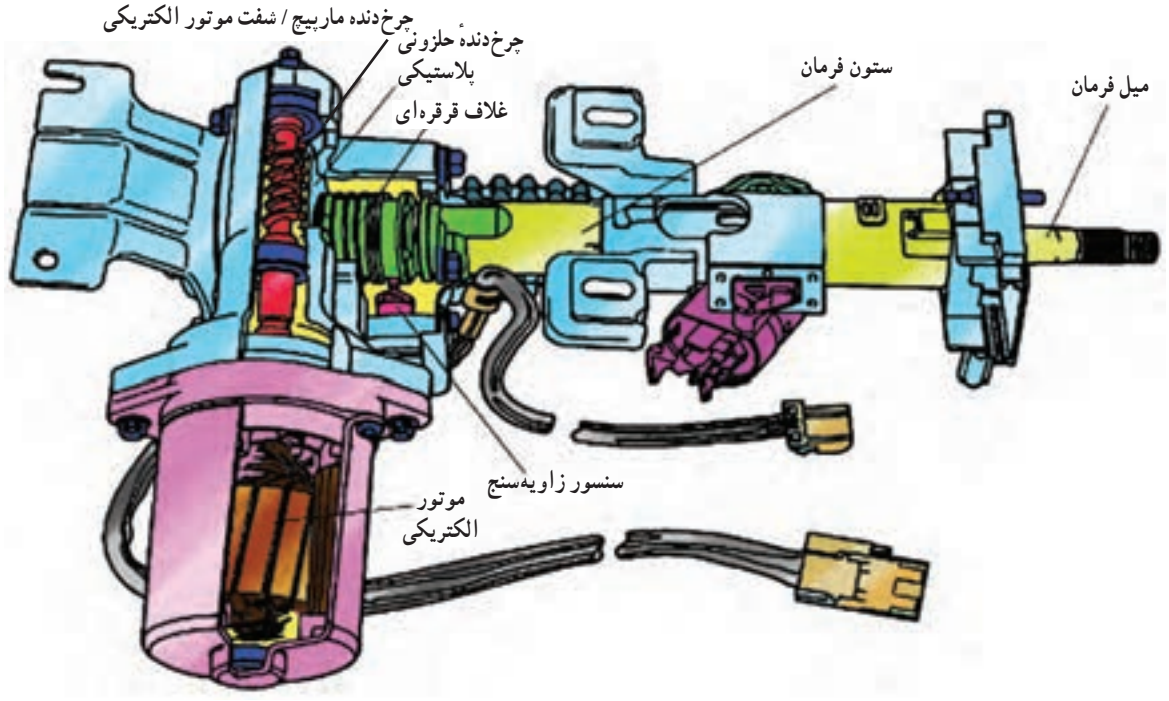


شکل ۲۱ــ۸ــ نمای ظاهری سیستم فرمان الکتریکی

شکل ۲۲ــ۸، ساختمان داخلی جعبه فرمان الکتریکی را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۲۲ــ۸، هنگام دوران غربیلک فرمان، میلهٔ پیچشی داخل غلاف قرقره‌ای، تحت گشتاور اِعمالی از طرف غربیلک دچار پیچش می‌شود. غلاف قرقره‌ای همراه میلهٔ پیچشی دوران می‌نماید (غلاف متصل به میلهٔ پیچشی است).

در این حالت سنسور زاویه‌سنج متصل به غلاف، جهت و میزان دوران غربیلک را به واحد کنترل موتور الکتریکی اطلاع می‌دهد. در نتیجه فعال شدن موتور الکتریکی باعث دوران چرخ‌دندهٔ مارپیچ سر شفت موتور الکتریکی می‌شود. چرخ‌دندهٔ مارپیچ نیز دوران خود را به چرخ‌دندهٔ حلزونی پلاستیکی منتقل می‌نماید. از آنجایی که چرخ‌دندهٔ حلزونی پلاستیکی به میل فرمان متصل است باعث انتقال توان موتور الکتریکی به میل فرمان می‌شود و از این‌رو برای دوران غربیلک فرمان به توان کمتری از



شکل ۲۲ــ۸ــ سیستم فرمان الکتریکی نصب شده بر روی ستون فرمان

دست راننده نیاز است.

مزایا و معایب سیستم فرمان الکتریکی به شرح زیر است :

❊ *مزایا*

۱ــ علاوه بر دارا بودن مزایای فرمان الکتروهیدرولیکی، به دلیل استفاده نشدن از مایع هیدرولیک، آلودگی آن نیز کمتر است.

۲ــ پایین بودن وزن سیستم؛

۳ــ استهلاک و هزینهٔ نگه‌داری کم؛

۴ــ اشغال فضای کم؛

۵ــ با کنترل توان تولیدی موتور الکتریکی، می‌توان نسبت به اِعمال توان کمکی به دست راننده از سوی موتور الکتریکی (با توجه به شرایط عملکردی خودرو) اقدام کرد، به‌نحوی که در سرعت‌های کم و به‌خصوص در شرایط پارک کردن خودرو فرمان نرم می‌شود و نسبتِ تبدیل فرمان کاهش می‌یابد. ولی در شرایط سرعت زیاد، ضمن سفت شدن فرمان، نسبت تبدیل فرمان نیز افزایش می‌یابد تا ایمنی خودرو بیشتر شود.

❊ *معایب*

۱ــ قیمت تمام شدهٔ بالا؛

۲ــ حساسیت بالای سیستم، نسبت به شرایط محیطی؛

۳ــ اندک بودن قابلیت کاربرد این سیستم فرمان، در خودروهایی که وزن بیشتری دارند.

آزمون پایانی

۱ــ اجزای سیستم فرمان را نام ببرید.
۲ــ میل فرمان لوله خرطومی قابل انعطاف را توضیح دهید.
۳ــ وظایف جعبه فرمان را شرح دهید.
۴ــ مزایا و معایب جعبه فرمان چرخ‌دنده شانه‌ای را بیان کنید.
۵ــ هندسه فرمان را توضیح دهید.
۶ــ وظیفه مکانیزم فرمان چیست؟
۷ــ مزایا و معایب سیستم فرمان هیدرولیک را بیان کنید.
۸ــ عملکرد فرمان الکتریکی را شرح دهید.