فصل هفتم

سیستم تعلیق

هدف‌های رفتاری : از هنرجو انتظار می رود که پس از مطالعه این فصل بتواند :

۱ــ دلایل لزوم سیستم تعلیق را شرح دهد.

۲ــ انواع رفتار خودرو را، هنگام طی مسیر پیچ جاده، نام ببرد.

۳ــ محور مختصاتی خودرو را رسم کند.

۴ــ دَوَران‌های بدنهٔ خودرو را حول محورهای مختصاتی شرح دهد.

۵ــ نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ساکن نام ببرد.

۶ــ نیروهای وارد بر خودرو را در حال حرکت نام ببرد.

۷ــ نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ترمزگیری نام ببرد.

۸ــ نیروهای وارد بر خودرو را هنگام طی مسیر پیچ جاده نام ببرد.

۵ــ زوایای چرخ را در نماهای مختلف دسته‌بندی کند.

۹ــ دلایل لزوم سیستم فنربندی را بیان کند.

۱۰ــ اجزای سیستم تعلیق را نام ببرد.

۱۱ــ انواع فنر را دسته‌بندی کند.

۱۲ــ انواع کمک فنر را دسته‌بندی کند.

۱۳ــ انواع سیستم‌های تعلیق را از دیدگاه ارتعاشی نام ببرد.

۱۴ــ انواع مکانیزم‌های تعلیق را دسته‌بندی کند.

۱۵ــ مزایا و معایب انواع مکانیزم‌های تعلیق را بیان کند.

مقدمه

در سیستم تعلیق نحوهٔ ارتباط و اتصال چرخ‌ها به بدنه یا شاسی خودرو مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌گونه که از عنوان این سیستم پیداست، چرخ‌ها باید بتوانند معلق باشند. به عبارت دیگر، چرخ‌ها باید قادر باشند در راستای عمودی نسبت به بدنهٔ خودرو حرکت کنند. به همین منظور با نصب فنر بین چرخ و بدنهٔ خودرو، انرژی جنبشی ناشی از حرکت عمودی چرخ یا بدنهٔ خودرو در فنرها به صورت انرژی پتانسیل ذخیره می‌شود و از طریق کمک فنر به انرژی گرمایی تبدیل می‌گردد و این انرژی گرمایی به هوای محیط منتقل می‌شود.

به این ترتیب انرژی جنبشی چرخ‌ها و بدنهٔ خودرو در راستای عمودی، که عمدتاً ناشی از ناهمواری جاده است، به‌وسیلهٔ کمک فنر مستهلک و به افزایش راحتی سرنشین و آسیب ندیدن بدنه و قطعات خودرو منجر می‌گردد. از این‌رو به مجموعهٔ فنر و کمک فنر سیستم تعلیق، «فنربندی» گفته می‌شود.

به‌علاوه چرخ باید در جهات طولی و عرضی نیز مهار شود تا نیروهای طولی ایجاد شده در چرخ را مانند نیروی ناشی از شتاب مثبت، که توسط موتور ایجاد می‌شود و نیروی ناشی از شتاب منفی که توسط ترمز ایجاد می‌گردد، به بدنهٔ خودرو منتقل نماید.

همچنین نیروهای عرضی که توسط نیروی جانب مرکز در مسیر پیچ جاده ایجاد می‌شود به چرخ‌ها انتقال دهد تا خودرو از طریق اصطکاک بین چرخ و جاده در مسیر پیچ به‌طور مناسب و پایدار هدایت شود. برای انتقال نیروهای فوق‌الذکر از بدنهٔ خودرو به تایرها یا بالعکس از بازوهای فلزی استفاده می‌شود.

بازوها با مفصل‌های فلزی و لاستیکی به بدنه یا شاسی متصل می‌شوند. به مجموع بازوها و مفاصل سیستم تعلیق «مکانیزم تعلیق» می‌گویند. از طرفی زوایا و فواصل هندسی مکانیزم تعلیق و چرخ‌ها باید بتوانند در طی مسیر پیچ جاده به‌طور مناسب تغییر کنند تا به افزایش ایمنی و راحتی سرنشین و پایداری خودرو منجر گردد. در مکانیزم‌های مختلف تعلیق، شکل و نحوهٔ اتصال این بازوها متفاوت است که در ادامهٔ این فصل، به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

بنابر موارد ذکر شده به طور خلاصه اهم وظایف سیستم تعلیق عبارت‌اند از :

۱ــ انتقال نیروهای طولی، عرضی و عمودی از تایر به بدنه خودرو و بالعکس

۲ــ جلوگیری از انتقال مستقیم ارتعاشات ناشی از ناهمواری جاده به بدنهٔ خودرو و مستهلک کردن ارتعاشات چرخ و بدنهٔ خودرو؛

۳ــ تماس مطمئن و دائمی چرخ با زمین؛

۴ــ تغییر مناسب زوایا و فواصل مکانیزم تعلیق، به منظور ایمنی و راحتی سرنشین و افزایش پایداری خودرو.

شناخت این مفاهیم برای بررسی عملکرد و مقایسه انواع مکانیزم‌های تعلیق لازم و ضروری‌ست. در این فصل، ابتدا برخی مفاهیم پایه‌ای خودرو بیان می‌شود.

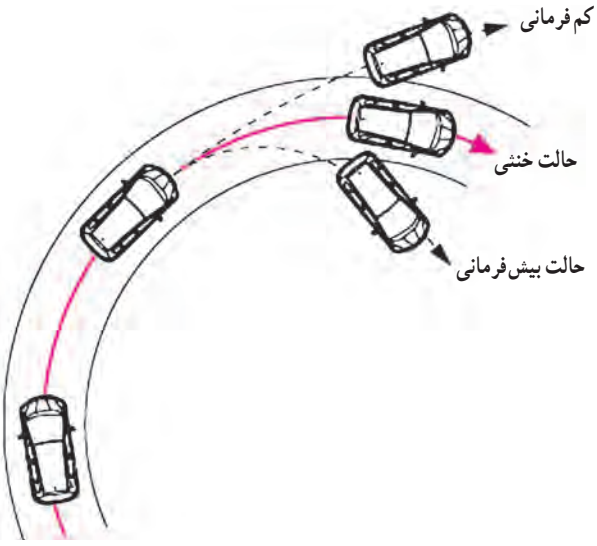
۱ــ۷ــ رفتار خودرو طی حرکت در مسیر پیچ جاده

چنانچه هنگام حرکت خودرو در طی مسیر پیچ جاده با شعاع ثابت و ثابت‌نگه‌داشتن زاویهٔ غربیلک فرمان، سرعت خودرو به آرامی افزایش یابد، خودرو مطابق شکل ۱ــ۷ دارای رفتارهای زیر خواهد بود.

۱ــ۱ــ۷ــ حالت کم فرمانی[1] : مطابق شکل ۱ــ۷، در این حالت خودرو تمایل دارد به سمت بیرون پیچ جاده حرکت کند. در نتیجه شعاع مسیر حرکت خودرو افزایش می‌یابد. افزایش شعاع مسیر حرکت خودرو (R) با توجه به رابطهٔ (۱ــ۷)، به کاهش نیروی جانب مرکز و حرکت رول می‌انجامد. این امر به استقرار بهتر خودرو بر روی سطح جاده و به افزایش پایداری خودرو منجر می‌شود.

$$F = \frac{mV^2}{R} \qquad (۱ــ۷)$$

۱ ــ Under steer



شکل ۱ــ۷ــ انواع رفتار خودرو طی حرکت در مسیر پیچ جاده

F : نیروی جانب مرکز (N)

m : جرم خودرو (kg)

V : سرعت خودرو (m/s)

R : شعاع مسیر حرکت خودرو (m)

۲ــ۱ــ۷ــ حالت بیش فرمانی[۱] : در این حالت خودرو تمایل دارد به سمت داخل پیچ جاده حرکت کند و شعاع مسیر حرکت خودرو نیز به تدریج کاهش می‌یابد. این موضوع، با توجه به رابطهٔ (۱ــ۷) باعث افزایش نیروی جانب مرکز و حرکت رول می‌شود و پایداری خودرو طی مسیر پیچ، کاهش می‌یابد.

۳ــ۱ــ۷ــ حالت خنثی[۲] : در این حالت خودرو در مسیر پیچ جاده باقی می‌ماند و با افزایش سرعت خودرو، شعاع دَوَران خودرو تغییر نخواهد کرد. این موضوع از آن جهت که خودرو رفتاری را از خود نشان نمی‌دهد و راننده احساس خاصی از رفتار آتی خودرو ندارد، می‌تواند خطرناک باشد. چرا که با افزایش بیشتر سرعت، خودرو به صورت ناگهانی بیش‌فرمان یا کم فرمان می‌شود و راننده قادر به کنترل خودرو نخواهد بود.

۲ــ۷ــ سیستم مختصات خودرو

با توجه به شکل ۲ــ۷، خودرو حول محورهای طولی، عرضی و عمودی دَوَران‌هایی به شرح زیر دارد :

۱ــ۲ــ۷ــ دَوَران بدنه، حول محور طولی : دَوَران بدنهٔ خودرو حول محور طولی آن (محور x) را حرکت غلت (رول[۳]) می‌نامند. این حرکت اغلب در اثر نیروی عرضی (جانب مرکز) طی مسیر پیچ جاده به‌وجود می‌آید و در حرکت خودرو بر روی ناهمواری‌های نامتقارن نیز ایجاد می‌شود.

شکل ۲ــ۷ــ سیستم مختصات خودرو

۲ــ۲ــ۷ــ دَوَران بدنه حول محور عرضی : دَوَران بدنهٔ خودرو حول محور عرضی آن (محور y) را حرکت پیچ[۴] می‌نامند. این حرکت بیشتر در اثر نیروهای طولی نظیر شتاب‌گیری و ترمزگیری ایجاد می‌شود. مطابق شکل ۳ــ۷، حرکت پیچ بدنهٔ خودرو شامل دو حرکت بدنه به صورت زیر است :

الف) حرکت قسمت جلوی خودرو به سمت پایین، که به اصطلاح شیرجه[۵] نامیده می‌شود. این حرکت معمولاً در اثر ترمزگیری ایجاد می‌شود.

ب) حرکت قسمت عقب بدنهٔ خودرو به سمت پایین، که به اصطلاح چمباتمه[۶] نامیده می‌شود. این حرکت معمولاً در اثر شتاب‌گیری ایجاد می‌شود.

---

۱ ــ over steer

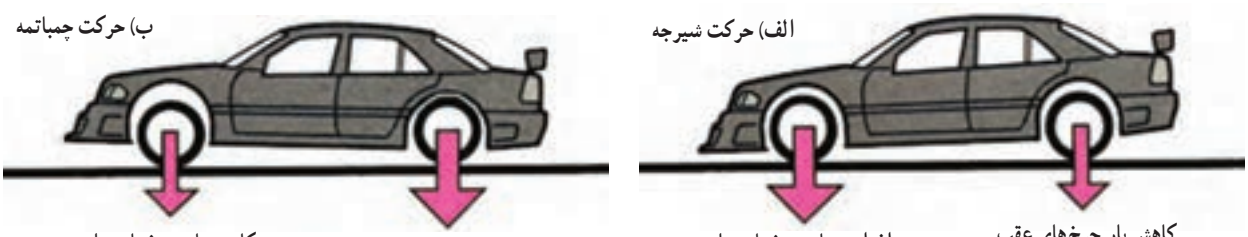
۲ ــ Neutral steer

۳ ــ Roll

۴ ــ pitch

۵ ــ Dive

۶ ــ squat



شکل۳ــ۷ــ حرکت شیرجه و چمباتمه

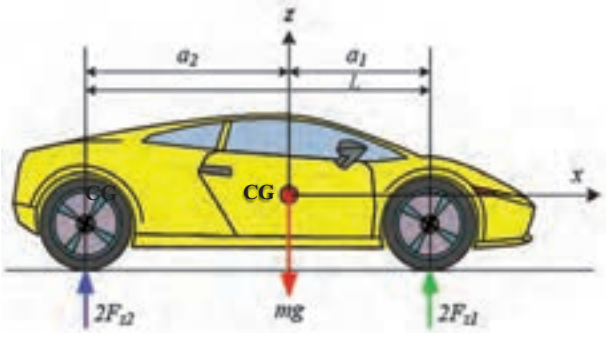
۳ــ۲ــ۷ــ دَوَران بدنه، حول محور عمودی : دَوَران بدنهٔ خودرو، حول محور عمودی آن (محور z) را حرکت یاو[1] می‌نامند. این حرکت در اثر تغییر جهت خودرو به دلیل فرمان‌گیری به‌وجود می‌آید.

نکته : گفتنی‌ست که بروز حرکت‌های غلت (رول) و پیچ در بدنهٔ خودرو باعث کاهش راحتی سرنشین و کاهش ایمنی خودرو می‌شود. لذا طراحان خودرو تلاش می‌کنند در حد امکان حرکت‌های رول و پیچ بدنهٔ خودرو را کاهش دهند.

۳ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حالت‌های مختلف

در این بخش نیروهای وارد بر خودرو در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

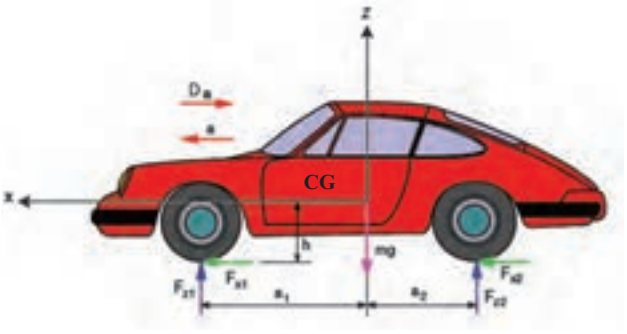
۱ــ۳ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حالت سکون : شکل ۴ــ۷، نیروهای وارد بر خودرو را در حالت سکون نشان می‌دهد.



شکل ۴ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حالت سکون

x : محور طولی خودرو z : محور عمودی خودرو mg : وزن خودرو CG : مرکز ثقل خودرو a_1 : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو a_2 : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو F_{z1} و F_{z2} : نیروهای عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر هر چرخ (نیروی عکس‌العمل وزن) $L= a_1+a_2$: فاصلهٔ مرکز چرخ جلو تا مرکز چرخ عقب (wheel base)

۲ــ۳ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حال حرکت : شکل ۵ــ۷، نیروهای وارد بر خودرو در حال حرکت را نشان می‌دهد.

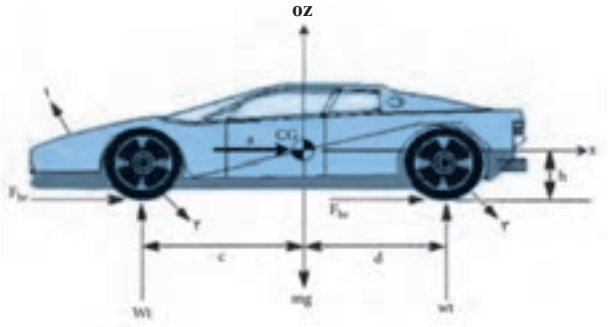


شکل ۵ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حال حرکت

h : ارتفاع مرکز ثقل خودرو a : شتاب خودرو D_a : نیروی مقاومت هوا x : محور طولی خودرو z : محور عمودی خودرو mg : وزن خودرو CG : مرکز ثقل خودرو a_1 : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو a_2 : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو F_{z1} : نیروی عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر چرخ‌های جلو (نیروی عکس‌العمل وزن) F_{z2} : نیروی عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر چرخ‌های عقب (نیروی عکس‌العمل وزن) F_{x1} : نیروی اصطکاک بین تایر و زمین برای چرخ‌های جلو F_{x2} : نیروی اصطکاک بین تایر و زمین برای چرخ‌های عقب

۱ــ yaw

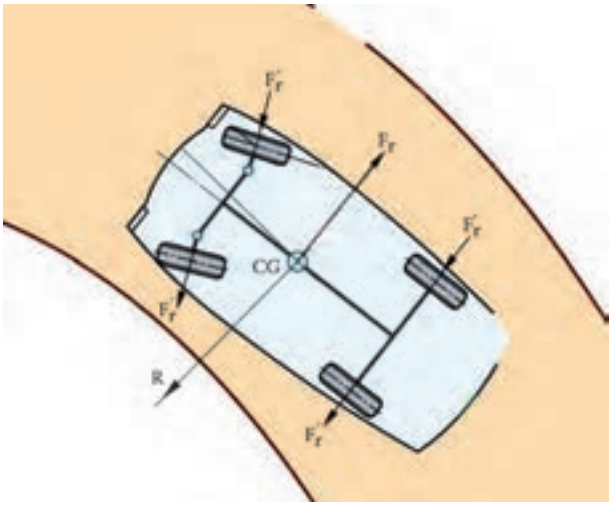
۳ــ۳ــ۷ــنیروهای وارد بر خودرو در حالت ترمزگیری : شکل ۶ــ۷، نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ترمزگیری نشان می‌دهد.



شکل ۶ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو در حالت ترمزگیری

۱ــ خودرو ۲ــ چرخ‌های جلو ۳ــ چرخ‌های عقب **h** : ارتفاع مرکز ثقل خودرو **a** : شتاب منفی **mg** : وزن خودرو **CG** : مرکز ثقل خودرو **x** : محور طولی خودرو **z** : محور عمودی خودرو **d** : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو **c** : فاصلهٔ طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو F_{bf} : نیروی ترمزی چرخ‌های جلو F_{br} : نیروی ترمزی چرخ‌های عقب w_f : نیروی عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر چرخ‌های جلو (نیروی عکس‌العمل وزن) w_r : نیروی عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر چرخ‌های جلو (نیروی عکس‌العمل وزن)

۴ــ۳ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو هنگام عبور از پیچ جاده : شکل ۷ــ۷، نیروهای وارد بر خودرو را هنگام عبور از پیچ جاده نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۷ــ نیروهای وارد بر خودرو هنگام عبور از پیچ جاده

F_r : نیروی جانب مرکز وارد بر خودرو که برابر با $F_r = \frac{mV^2}{R}$ است.

m : جرم خودرو **v** : سرعت خطی خودرو **R** : شعاع پیچ جاده

F'_r : عکس‌العمل نیروی جانب به مرکز وارد بر هر چرخ که برابر با $F'_r = \frac{1}{4}F_r$ است.

۴ــ۷ــ فاصلهٔ طولی بین محور چرخ‌ها

با توجه به شکل ۸ــ۷، فاصلهٔ بین مرکز چرخ جلو تا مرکز چرخ عقب را فاصلهٔ طولی محور چرخ‌ها[۱] گویند. با زیادتر شدن فاصلهٔ طولی بین محور چرخ‌های خودرو وضعیت‌هایی به شرح زیر ایجاد می‌شود :

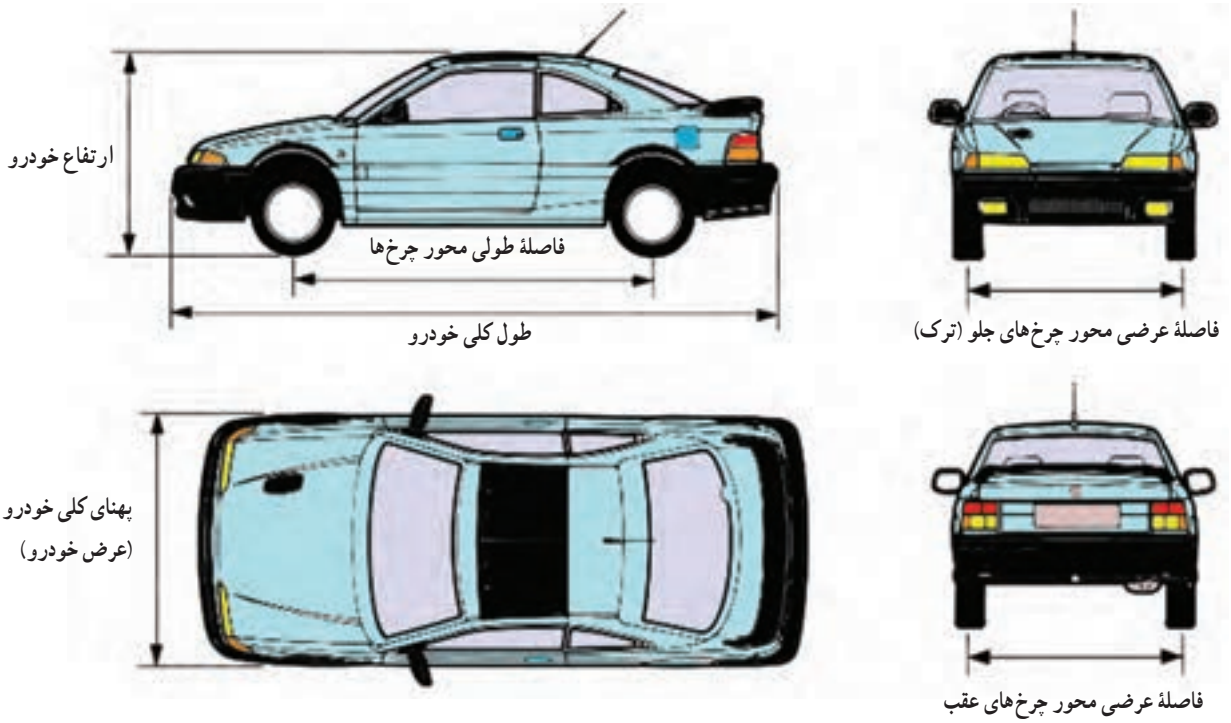
۱ــ توزیع وزن روی محورهای عقب و جلو یکنواخت‌تر می‌شود.

۲ــ انتقال بار در زمان ترمزگیری و شتاب‌گیری روی محورها کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث کاهش حرکت پیچ خودرو می‌شود.

۳ــ باعث بزرگ شدن محفظهٔ سرنشین و راحتی سرنشین می‌شود.

۴ــ فرمان‌پذیری خودرو، به‌خصوص در فضاهای کوچک، کاهش می‌یابد.

۱ــ Wheel base



شکل ۸ــ۷ــ فاصلهٔ طولی و عرضی محور چرخ‌ها

۵ــ۷ــ فاصلهٔ عرضی بین محور چرخ‌ها

مطابق شکل ۸ــ۷، فاصلهٔ عرضی بین مرکز چرخ‌های چپ و راست روی سطح زمین از دید روبه‌رو را «ترک»[1] گویند. این فاصله به دلایل زیر همواره از پهنای کلی (عرض خودرو) خودرو کوچک‌تر است.

۱ــ افزایش فرمان‌پذیری چرخ‌های جلو؛

۲ــ ایجاد فضای کافی برای نصب زنجیر چرخ.

همچنین به دلایل زیر بهتر است فاصلهٔ عرضی در حرکت مستقیم ثابت باقی بماند :

۱ــ افزایش پایداری سویی خودرو؛

۲ــ جلوگیری از فرسودگی زیاد تایر؛

۳ــ کاهش مقاومت غلتشی چرخ‌ها در حال حرکت.

نکته : تمایل خودرو (هنگام حرکت در مسیر مستقیم) به حفظ مسیر خود و انحراف نداشتن به چپ و راست را «پایداری سویی»[2] یا «پایداری جهتی» گویند.

افزایش این فاصله، هنگامی که خودرو در حال عبور از مسیر پیچ جاده است، باعث عواملی به شرح زیر می‌شود :

۱ــ انتقال بارکمتر ازچرخ داخل پیچ به چرخ خارج پیچ؛

۲ــ کاهش حرکت غلت (رول) بدنهٔ خودرو و درنتیجه افزایش پایداری و راحتی سرنشین.

۶ــ۷ــ زوایای چرخ

به‌منظور دستیابی به اهداف مختلف، از جمله پنج مورد زیر، زوایایی برای چرخ‌های خودرو در نظر گرفته می‌شود :

۱ــ افزایش پایداری خودرو؛

۲ــ برگشت‌پذیری فرمان بعد از عبور از پیچ جاده؛

---

۱ ــ Track

۲ ــ Directional stability

۳ــ عدم سایش غیرعادی تایر؛

۴ــ ایجاد نشدن صدای غیرعادی توسط تایر حین حرکت روی سطح جاده؛

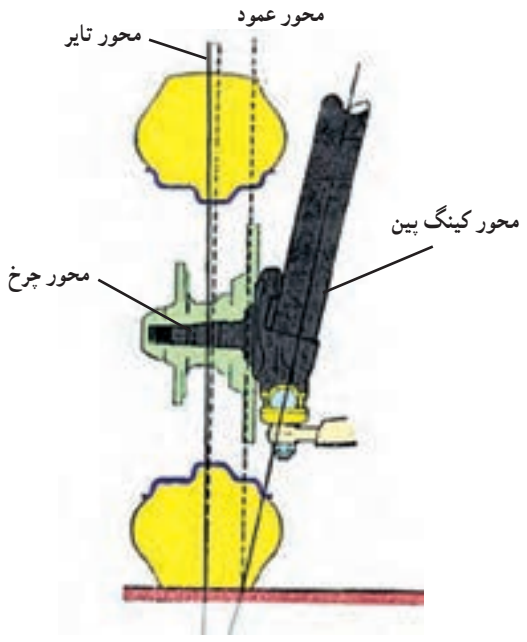
۵ــ احساس مطلوب راننده از عکس‌العمل غربیلک فرمان و جلوگیری از انحراف خودروی در حال حرکت به سمت چپ و راست.

بنابراین شناخت زوایای مختلف چرخ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این بخش زوایای مختلف چرخ و ویژگی هر یک از آنها بررسی می‌شود.

پیش از بررسی زوایای چرخ، با توجه به شکل ۹ــ۷، به بیان چند مفهوم، که در بررسی زوایای چرخ مورد نیاز است، پرداخته می‌شود :

۱ــ به محور دَوَران چرخ، مطابق شکل ۹ــ۷، اصطلاحاً «محور چرخ» گویند.

۲ــ هنگام چرخش غربیلک فرمان، به محوری که چرخ حول آن دَوَران می‌کند «محور کینگ پین» گویند.



شکل ۹ــ۷ــ چرخ خودرو در نمای روبه‌رو

۳ــ سینماتیک چرخ : تغییرات به وجود آمده در زوایای چرخ را هنگام حرکت خودرو یا جابه‌جایی عمودی چرخ، که به منظور افزایش پایداری خودرو، راحتی سرنشین و کاهش سایش نامناسب تایر خودرو صورت می‌گیرد، «سینماتیک چرخ» گویند.

زوایای چرخ از سه نمای، روبه‌رو، جانبی و بالا به ترتیب زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱ــ۶ــ۷ــ زوایای چرخ در نمای روبه‌رو : در نمای روبه‌رو، چرخ دارای زوایای کمبر[1] و زاویه کینگ پین به شرح زیر است :

زاویهٔ کمبر : زاویهٔ بین محور قائم و محور تقارن چرخ در نمای روبه‌رو را زاویهٔ کمبر نامند. این زاویه، با توجه به شکل ۱۰ــ۷، سه حالت دارد :

الف) کمبر مثبت[2] : چنانچه قسمت بالای تایر به سمت بیرون خودرو منحرف شود.

ب) کمبر منفی[3] : چنانچه قسمت بالای تایر به سمت داخل خودرو منحرف شود.

ج) کمبر صفر : چنانچه محور چرخ و خط عمود بر زمین بر روی یکدیگر منطبق باشند و تایر به صورت کاملاً عمود بر سطح جاده قرار گیرد.

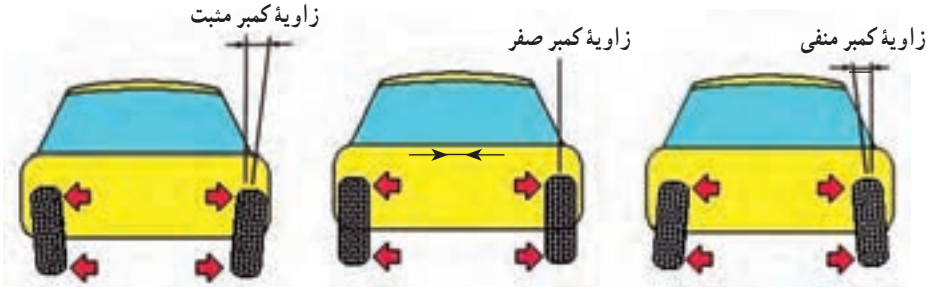
کمبر مثبت باعث افزایش فاصلهٔ مرکز ثقل خودرو از زمین و کاهش تِرَک چرخ‌ها می‌شود. همچنین سایش غیریکنواخت تایر را نیز از قسمت شانهٔ بیرونی آن درپی خواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده در اکثر خودروها در چرخ‌های جلو با تعلیق مستقل از زاویهٔ کمبر مثبت به اندازهٔ ۵ تا ۱۰ دقیقه به دلایل ذیل استفاده می‌شود :

۱ــ فرمان دادن به چرخ‌های جلو با نیروی کمتری توسط راننده صورت می‌گیرد (نرم شدن فرمان).

۲ــ با افزایش نیروی وزن اِعمالی به چرخ‌های جلو، مقدار زاویهٔ کمبر صفر می‌شود و سایش تایر به حداقل ممکن می‌رسد.

---

۱ ــ Camber angle ۲ ــ Positive camber ۳ ــ Negative camber



شکل ۱۰ــ۷ــ حالت‌های مختلف زاویهٔ کمبر چرخ

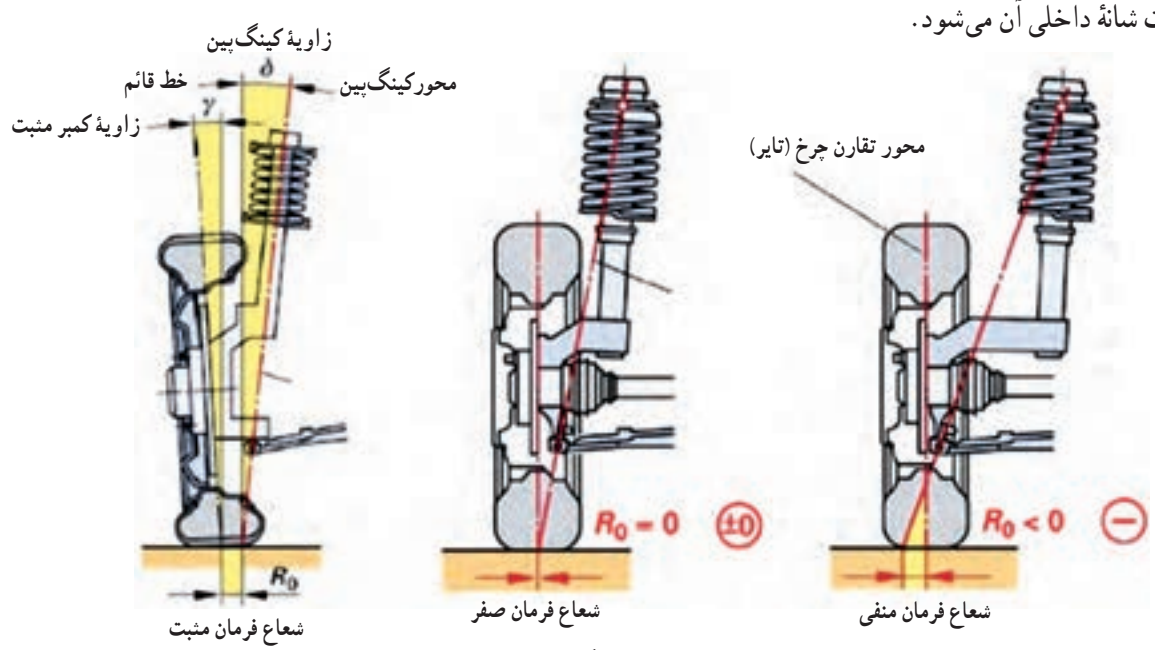
نکته : اختلاف زاویهٔ کمبر بین چرخ چپ و راست نباید بیش از بیست دقیقه باشد. در غیراین صورت خودرو در حال حرکت مستقیم به یک سمت منحرف می‌شود.

با استفاده از زاویهٔ کمبر منفی علاوه بر اینکه فاصلهٔ عرضی بین چرخ‌های چپ و راست (ترک) افزایش می یابد، از ارتفاع مرکز ثقل خودرو نیز کاسته می‌شود که نهایتاً به کاهش حرکت رول و در نتیجه افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین منجر می‌شود. برای این‌منظور ممکن است در چرخ‌های جلو با تعلیق مستقل از زاویه کمبر بین صفر تا ′۲۰ و °۱- استفاده شود و در چرخ‌های عقب از زاویه کمبر ′۳۰ ± ′۳۰ و °۱ــ استفاده شود. قابل ذکر است که کمبر منفی باعث سایش غیریکنواخت تایر از قسمت شانهٔ داخلی آن می‌شود.

زاویـهٔ کینگ پیـن[1] : مطابق شکل ۱۱ــ۷، زاویهٔ بین محور کینگ‌پین و خط قائم را در نمای روبه‌رو «زاویهٔ کینگ پین» می‌نامند. این زاویه مختص چرخ‌های فرمان‌پذیر است و در حدود °۱۵در نظر گرفته می‌شود.

زاویهٔ کینگ پین بـاعث ایجاد مـوارد زیر در چرخ‌هـای فرمان‌پذیر می‌شود :

۱ــ برگشت پذیری فرمان پس از رها کردن فرمان در حین حرکت خودرو



شکل ۱۱ــ۷ــ زاویهٔ کینگ پین و انواع شعاع فرمان

۱ ــ king pin angle

۲ــ Scrub radius

۲ــ کاهش شعاع فرمان و بنابراین کاهش گشتاور فرمان دادن توسط راننده (نرم شدن فرمان)

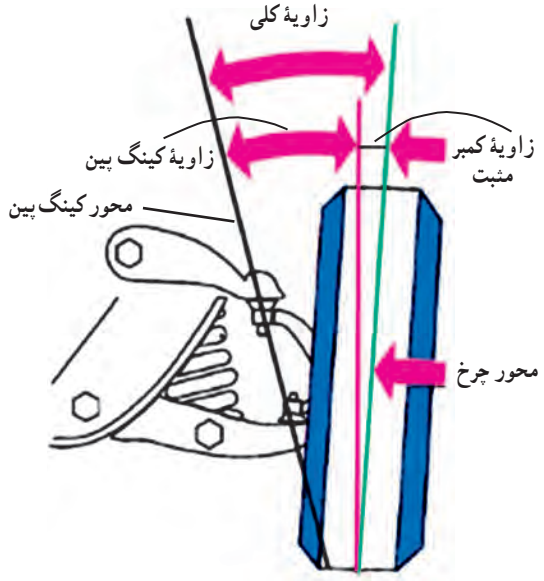
۳ــ با وجود این زاویه، نیاز به زاویهٔ کمبر مثبت (برای کوچک شدن شعاع فرمان) کاهش می‌یابد و در نتیجه سایش غیر یکنواخت تایر ناشی از کمبر مثبت کمتر می شود.

۴ــ باعث خاصیت کم‌فرمانی و پایداری خودرو می‌شود.

نکته : مطابق شکل ۱۱ــ۷، به فاصلهٔ عرضی محل تقاطع محور تقارن چرخ با زمین و محور کینگ پین با زمین در نمای روبه‌رو «شعاع فرمان» گویند. هرگاه این دو محور در بالای سطح زمین یکدیگر را قطع کنند شعاع فرمان منفی و هر گاه در پایین سطح زمین یکدیگر را قطع نمایند شعاع فرمان مثبت نامیده می‌شود.

مقدار شعاع فرمان بین ۲۵+ تا ۱۸- میلی‌متر است. کاهش مقدار شعاع فرمان و به‌خصوص منفی بودن آن باعث کاهش گشتاور فرمان (نرم شدن فرمان) می گردد.

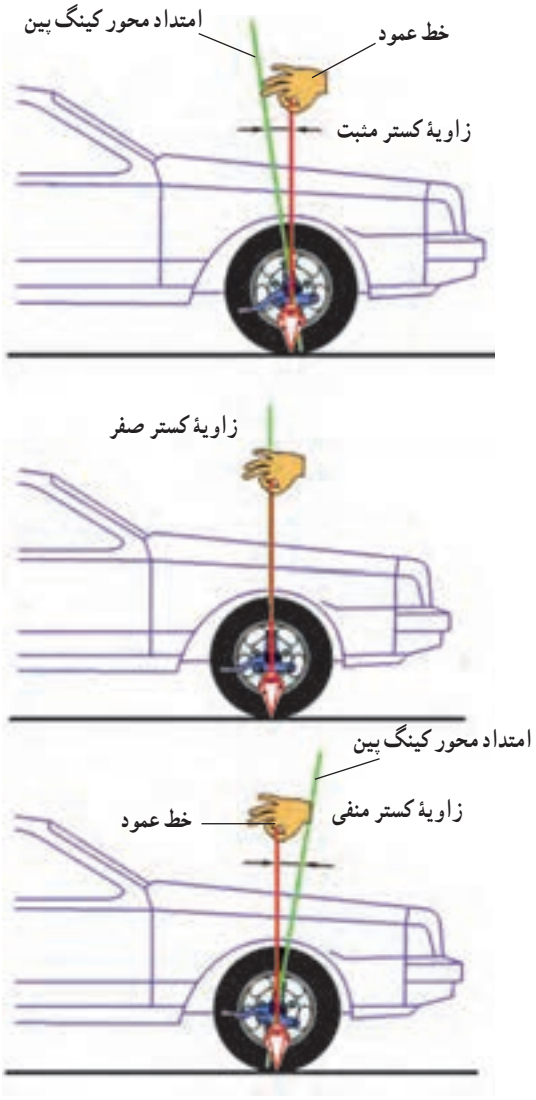
زاویهٔ کلی : مطابق شکل ۱۲ــ۷، به مجموع زاویهٔ کینگ‌پین و زاویهٔ کمبر، «زاویهٔ کلی» گویند.



شکل ۱۲ــ۷ــ زاویهٔ کلی چرخ

۲ــ۶ــ۷ــ زوایای چرخ در نمای جانبی : در نمای جانبی برای چرخ خودرو «زاویهٔ کَستِر[1]» در نظر می‌گیرند که در ادامه بررسی خواهد شد.

زاویهٔ کَستِر : مطابق شکل ۱۳ــ۷، انحراف محور کینگ‌پین



شکل ۱۳ــ۷ــ انواع حالت‌های زاویهٔ کستر

۱ ــ Caster angle

را،نسبت بـه خط قـائم در نمای جـانبی،«زاویهٔ کستر» گویند. این زاویه سه حالت دارد :

۱ــ زاویهٔ کستر مثبت : مطابق شکل ۱۳ــ۷، هرگاه محور کینگ‌پین به سمت عقب خودرو منحرف باشد زاویهٔ کستر مثبت ایجاد می‌شود.

۲ــ زاویهٔ کستر منفی : با توجه به شکل ۱۳ــ۷، هرگاه محور کینگ‌پین به سمت جلوی خودرو منحرف باشد زاویهٔ کستر منفی‌ست.

۳ــ زاویهٔ کستر صفر : با توجه به شکل ۱۳ــ۷، هرگاه محور کینگ‌پین منطبق بر خط قائم باشد زاویهٔ کستر صفر می‌شود.

در چرخ‌های جلو از کستر مثبت به اندازهٔ حداکثر ۱۴ درجه استفاده می‌شود. کستر مثبت در چرخ‌های جلو خواصی به شرح زیر ایجاد می‌کند :

۱ــ مطابق شکل ۱۴ــ۷ نقطهٔ اثر وزن، روی محور کینگ‌پین در جلوی نقطهٔ تماس تایر با سطح جاده است. بنابراین چرخ، به اصطلاح، دنباله‌رو نیروست و این حالت باعث برگشت‌پذیری فرمان، افزایش پایداری سویی و ممانعت از گیجی فرمان می‌شود.

شکل ۱۴ــ۷ــ تأثیر زاویهٔ کستر مثبت در پایداری سویی خودرو

۲ــ چرخ، در طی مسیر پیچ جاده، به علت تمایل برای برگشت به حالت اولیه (مستقیم)، باعث کم فرمانی می‌شود.

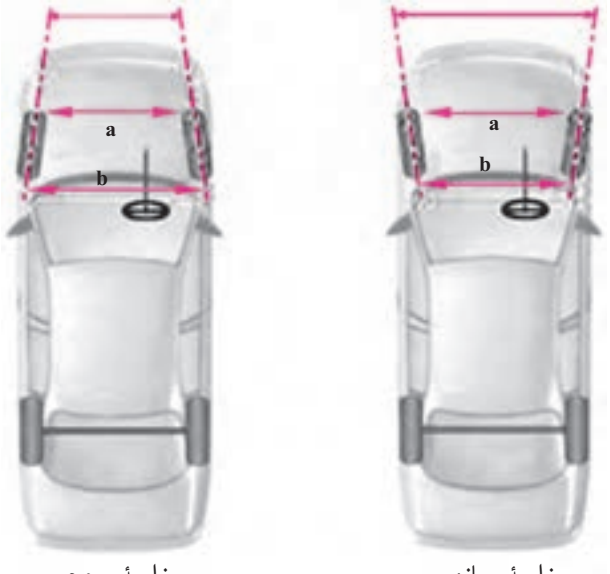
۳ــ وجود این زاویه در هنگام ترمزگیری، مانع از پایین آمدن بیش از حد قسمت جلوی خودرو می‌شود و حالت ضد شیرجه[1] ایجاد می‌نماید.

گفتنی است زاویهٔ کستر مثبت باعث سفتی فرمان می‌شود اما به دلایل ذکر شده امروزه در چرخ‌های جلوی خودروهای سواری از زاویهٔ کستر مثبت استفاده می‌شود. در حالی که اگر مکانیزم تعلیق عقب خودرو از نوع مستقل باشد با در نظر گرفتن زاویهٔ کستر منفی برای چرخ‌های عقب، میزان کم فرمانی خودرو تقویت می‌شود.

۳ــ۶ــ۷ــ زوایای چرخ در نمای بالا : برای چرخ خودرو در نمای افق، زاویهٔ تو[2] درنظر گرفته می‌شود که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود.

زاویهٔ تو : مطابق شکل ۱۵ــ۷، انحراف محور چرخ نسبت به خط افق در دید از بالا را «زاویهٔ تو» یا «زاویه انحراف سر چرخ» می‌نامند.

مطابق شکل ۱۵ــ۷، هرگاه سرچرخ به سمت داخل خودرو منحرف باشد، بـه آن «زاویهٔ سرجمعی»[3] گفته می‌شود. در این



شکل ۱۵ــ۷ــ انواع حالت‌های زاویه تو

۱ ــ Antidive
۲ ــ Toe Angle
۳ ــ Toe in

حالت مطابق شکل، b>a است. هرگاه سرچرخ به سمت خارج خودرو منحرف باشد، به آن «زاویهٔ سربازی»[1] گفته می‌شود. در این حالت مطابق شکل، b<a است.

نکته : مقدار سربازی و سرجمعی چرخ‌های جلو و عقب خودرو توسط سازندگان خودرو تعیین می‌شود. این مقدار در چرخ‌های جلو توسط اهرم میل فرمان قابل تنظیم است.

دلایل استفاده از «زاویهٔ تو» در چرخ‌ها عبارت‌اند از :

۱ــ هنگام حرکت خودرو، اِعمال نیروهایی نظیر نیروی اصطکاک، نیروی محرک و نیروی ترمزگیری از سوی چرخ و وجود شعاع فرمان باعث اعمال گشتاوری به محور چرخ‌ها می‌شود که حالت سربازی یا سرجمعی در چرخ ایجاد می‌کند. از آنجایی که ایجاد این‌گونه سربازی و سرجمعی به افزایش سایش تایر منجر می‌گردد، لذا به‌صورت پیش‌فرض مقداری سربازی یا سرجمعی برای چرخ‌ها درنظر گرفته می‌شود تا پس از اعمال نیروهای مذکور مقدار سربازی یا سرجمعی چرخ خنثی شود و چرخ‌ها به صورت موازی با افق قرار گیرند.

۲ــ تغییرات «زاویهٔ تو» در چرخ‌های جلو و عقب باید به نحوی باشد که باعث کم فرمانی خودرو گردد.

۷ــ۷ــ سیستم فنربندی

همان‌گونه که در مقدمهٔ این فصل بیان شد به مجموع فنر و کمک فنر «سیستم فنربندی» گویند که به‌طور کلی دارای وظایفی به شرح زیر است :

۱ــ ضربات و ارتعاشات ناشی از ناهمواری‌های جاده توسط فنر و کمک‌فنر جذب و مستهلک می‌شوند تا باعث افزایش راحتی سرنشین و پایداری خودرو شود.

۲ــ به‌منظور افزایش قابلیت شتاب‌گیری، ترمزگیری و مانورپذیری خودرو، تماس دائمی چرخ با زمین را برقرار می‌سازد.

در ادامه، اجزای مختلف سیستم فنربندی بررسی خواهد شد.

۸ــ۷ــ فنر و انواع آن

در یک تعریف کلی، هر جسمی که دارای خاصیت ارتجاعی یا کشسانی باشد، فنر نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، اگر جسمی در فاز جامد، مایع و گاز، پس از بارگذاری تغییر شکل دهد و پس از برداشتن بار به حالت اولیه باز گردد «فنر» نامیده می‌شود.

هر فنر دارای سه کمیّت فیزیکی است شامل نیرو یا بار وارد بر آن (F)، مقدار تغییر شکل در اثر این نیرو (X) و سختی فنر (K) (که خاصیت ارتجاعی فنر را نشان می‌دهد) و به صورت رابطه (۲ــ۷) تعریف می‌گردد.

$$\text{سختی فنر} = \frac{\text{نیرو یا بار وارد بر فنر}}{\text{مقدار تغییر شکل در اثر نیرو}} \Rightarrow K = \frac{F}{X} \qquad (۲ــ۷)$$

با توجه به رابطهٔ فوق فنرها به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند :

۱ــ فنر نرم : به فنری گفته می شود که سختی آن کم باشد. به عبارت دیگر، با افزایش نیروی اعمالی به فنر میزان تغییر شکل و جابه‌جایی طول فنر افزایش می‌یابد. از این‌رو استفاده از این نوع فنر در سیستم تعلیق خودرو باعث کاهش پایداری خودرو می‌شود، ولی از آنجایی که سرنشین ناهمواری‌های جاده را مستقیماً احساس نمی‌کند احساس راحتی وی (سرنشین) افزایش می‌یابد.

۲ــ فنر سخت : به فنری گفته می شود که سختی آن زیاد باشد. این فنر از نظر کاهش حرکت رول و پیچ بدنهٔ خودرو، باعث افزایش پایداری خودرو می‌شود ولی سرنشین، ناهمواری‌های جاده را بیشتر احساس می‌کند. بنابراین راحتی سرنشین کاهش می‌یابد.

۱ــ toe out

۳ــ فنر سخت شونده : این فنر، که فنر ایده آل نیز نامیده می‌شود، فنری‌ست که با افزایش نیرو مقدار تغییر شکل آن کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، فنر در ابتدا نرم است و با ازدیاد بار به تدریج سخت و سخت‌تر می‌شود. بنابراین در ناهمواری‌های کوچک به نرمی عمل می‌کند و با ازدیاد بار سخت می‌شود تا پایداری خودرو افزایش یابد.

امروزه سعی بر این است که در اکثر خودروهای سواری از این نوع فنر استفاده شود. در این حالت با نرم بودن فنر تحت بارهای کم، با ناهمواری‌های پر تعداد ولی کم ارتفاع جاده، فنر نرم عمل می‌کند و سرنشین، ناهمواری‌های جاده را مستقیماً احساس نمی‌کند. هنگامی که ارتفاع ناهمواری‌های جاده زیاد شود یا نیروی وزن اِعمالی به فنرها افزایش یابد، فنر سخت می‌شود و به‌منظور افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین مانع از ایجاد نوسان‌های بزرگ در بدنهٔ خودرو می‌گردد.

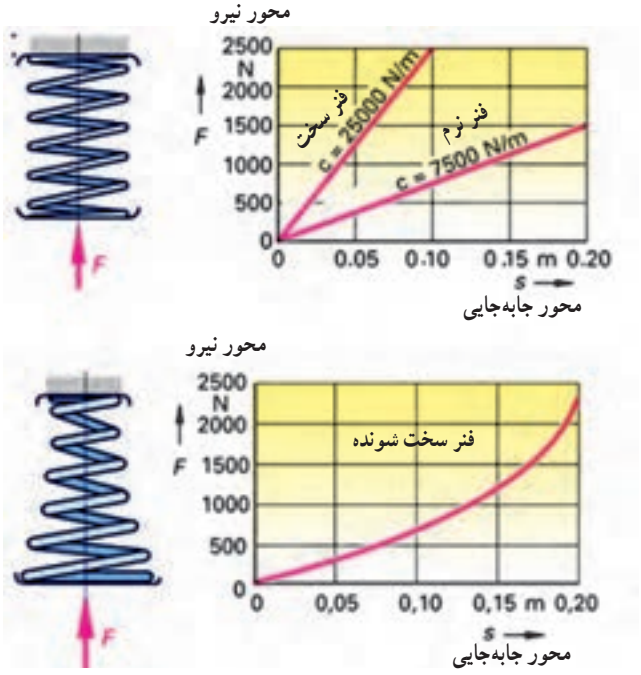
شکل ۱۶ــ۷، نمودار عملکرد فنرهای مختلف را نشان می‌دهد.

فنرها از لحاظ فرم و جنس به انواع مختلف زیر دسته‌بندی می‌شوند :

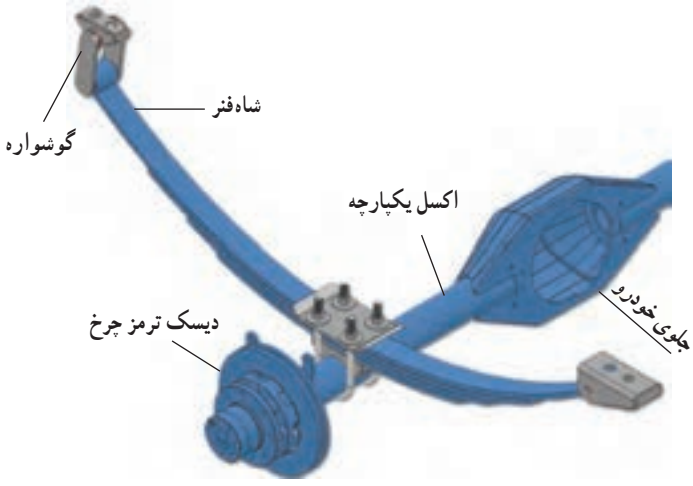
۱ــ فنرهای فولادی که عبارت‌اند از : فنرهای شمشی (برگی)، مارپیچ (لول) و پیچشی؛

۲ــ فنرهای گازی که عبارت‌اند از : فنرهای هوایی و گاز بی اثر (ازت).

۱ــ۸ــ۷ــ فنر شمشی (برگی) : فنرهای شمشی که در شکل ۱۷ــ۷ ملاحظه می‌شود، معمولاً در سیستم تعلیق یکپارچه به‌صورت طولی بر روی خودرو نصب می‌شود. اولین و بلندترین لایهٔ فنر را «لایهٔ اصلی» یا «شاه فنر» گویند. دو سر این فنر را به‌صورت حلقه درمی‌آورند و توسط بوش‌های لاستیکی به بدنه یا شاسی خودرو متصل می‌کنند.



شکل ۱۶ــ۷ــ نمودار عملکرد فنرها



شکل ۱۷ــ۷ــ فنر شمشی

نکته : بوش‌های لاستیکی مانع از انتقال ضربات و ارتعاشات فنر به بدنه یا شاسی خودرو می‌شود. در کامیون‌ها، به دلیل داشتن بار سنگین، از بوش‌های برنجی، که با گریس روان‌کاری می‌گردند، استفاده می‌شود.

در زیر لایهٔ اصلی (شاه فنر) از لایه‌هایی با طول کمتر استفاده می‌شود تا میزان تحمل بار مجموعهٔ فنر افزایش یابد. این لایه‌ها با یک پیچ به نام «سنتر بولت» یا «پیچ مرکزی» تقریباً در موقعیت وسط فنر به یکدیگر متصل می‌شوند.

تکیه گاه متحرک عقب فنر توسط یک رابطهٔ «U شکل» که گوشواره نامیده می‌شود، به شاسی متصل می‌گردد. هنگام تغییر بار عمودیِ اِعمالی به فنر، گوشواره اجازهٔ تغییر شعاع انحنای فنر را می‌دهد. با قرار گرفتن گوشواره در قسمت عقب فنر شمشی، هنگام حرکت رو بـه جلوی خـودرو و برخورد چرخ‌ها بـا ناهمواری‌ها، ضرباتی در چرخ ایجاد می‌شود که گوشواره با حرکت پاندولی مانع از انتقال مستقیم این ضربات به بدنه یا شاسی خودرو می‌شود.

نکته : در بین لایه‌های فنر شمشی خودروهای سواری بعضاً از یک لایه تفلون یا پلاستیک فشرده و یا لاستیک به‌منظور کاهش اصطکاک بین لایه‌ها، عدم خوردگی و تولید صدا استفاده می‌شود.

به‌طور خلاصه مزایا و معایب فنر شمشی عبارت‌اند از :

مزایای فنر شمشی

۱ــ انتقال نیروهـای طولی، عـرضی و عمودی از چرخ به بدنهٔ خودرو و بالعکس؛

۲ــ تحمل گشتاورهای عکس‌العملی ایجاد شده در تعلیق در اثر نیروهای طولی شتاب‌گیری و ترمزگیری که موجب استفاده نکردن از اهرم‌هـا و بـازوهـای دیگر در مکـانیزم تعلیق می‌شود. بنابراین هزینه تولید و قطعات مکانیزم تعلیق با استفاده از این نوع فنر کاهش می‌یابد.

۳ــ ایجاد فنری سخت بـا تحمل بار بیشتر با اضافه کردن لایه‌های فنر؛

معایب فنرهای شمشی

۱ــ اشغال کردن فضای زیاد؛

۲ــ داشتن وزن زیاد؛

۳ــ نیاز داشتن به تعمیر و نگه‌داری؛

۴ــ زیاد بودن قیمت تمام شدهٔ فنر؛

۵ــ با نفوذ آب و گرد و غبار بین لایه‌های فنر اصطکاک، خوردگی و زنگ‌زدگی بین لایه‌ها زیاد می‌شود که باعث عملکرد نامناسب فنر همراه با صدا می‌شود.

۶ــ کم بودن فاصلهٔ عرضی بین فنر چپ و راست که باعث افزایش حرکت رول می‌گردد.

۷ــ کم‌فرمان شدن تعلیق عقب در طی مسیر پیچ به دلیل وجود گوشواره در قسمت عقب فنر، و منجر شدن به بیش‌فرمانی خودرو.

۲ــ۸ــ۷ــ فنر مارپیچ (لـول) : شکل ۱۸ــ۷، انواع مختلف این نوع فنر را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸ــ۷ــ انواع فنرهای مارپیچ

در سیستم تعلیق خودروهای سواری، این نوع فنرها به دلیل داشتن مزایای زیاد کاربرد فراوانی دارند.

مزایا و معایب این نوع فنرها به شرح زیرند :

مزایا

۱ــ اشغال کردن فضای کم؛

۲ــ داشتن وزن کم؛

۳ــ نیاز نداشتن به تعمیر و نگه‌داری؛

۴ــ سخت‌تر نمودن فنر، از طریق اضافه کردن قطر مفتول و استوانهٔ فنر؛

۵ــ داشتن صدای کمتر و همچنین عملکرد نرم‌تر به‌دلیل تماس نداشتن حلقه‌های فنر با یکدیگر؛

۶ــ زیادتر کردن فاصلهٔ عرضی بین فنرهای دو سمت از طریق استفاده از آنها (نسبت به فنر شمشی) و در نتیجه کاسته شدن حرکت رول خودرو (که به افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین منجر می‌شود)؛

۷ــ داشتن قیمت پایین‌تر.

۸ــ با مخروطی ساختن شکل فنر می‌توان خاصیت سخت‌شوندگی در آن ایجاد نمود.

❊ معایب

۱ــ تحمل نکردن نیروهای طولی، عرضی و گشتاورهای حاصل از ترمزگیری و شتاب‌گیری که باعث می‌شود با استفاده از بازوهای دیگری به مکانیزم تعلیق، تحمل این نیروها میسر گردد. (بنابراین قیمت تمام شدهٔ سیستم تعلیق و خودرو بیشتر می‌شود)؛

۲ــ احتمال بروز خطر کمانش و انحراف فنر از حالت عمودی با ازدیاد طول فنر.

۳ــ بیشتر بودن نوسان این فنر نسبت به فنرهای دیگر (درنتیجه حساسیت استفاده از کمک فنر مناسب با این نوع فنر اهمیت بیشتری پیدا می‌کند).

۳ــ۸ــ۷ــ فنر پیچشی : مطابق شکل ۱۹ــ۷، این فنرها در واقع میله‌هایی هستند که انعطاف‌پذیریِ پیچشیِ مناسبی دارند. این فنرها از یک سمت در بدنهٔ خودرو ثابت می‌شوند و از سمت دیگر به یکی از بازوهای متحرک مکانیزم تعلیق متصل می‌گردند. شکل ۱۹ــ۷، استفاده از فنر پیچشی را به‌صورت طولی در مکانیزم طبق دار دوبل نشان می‌دهد.

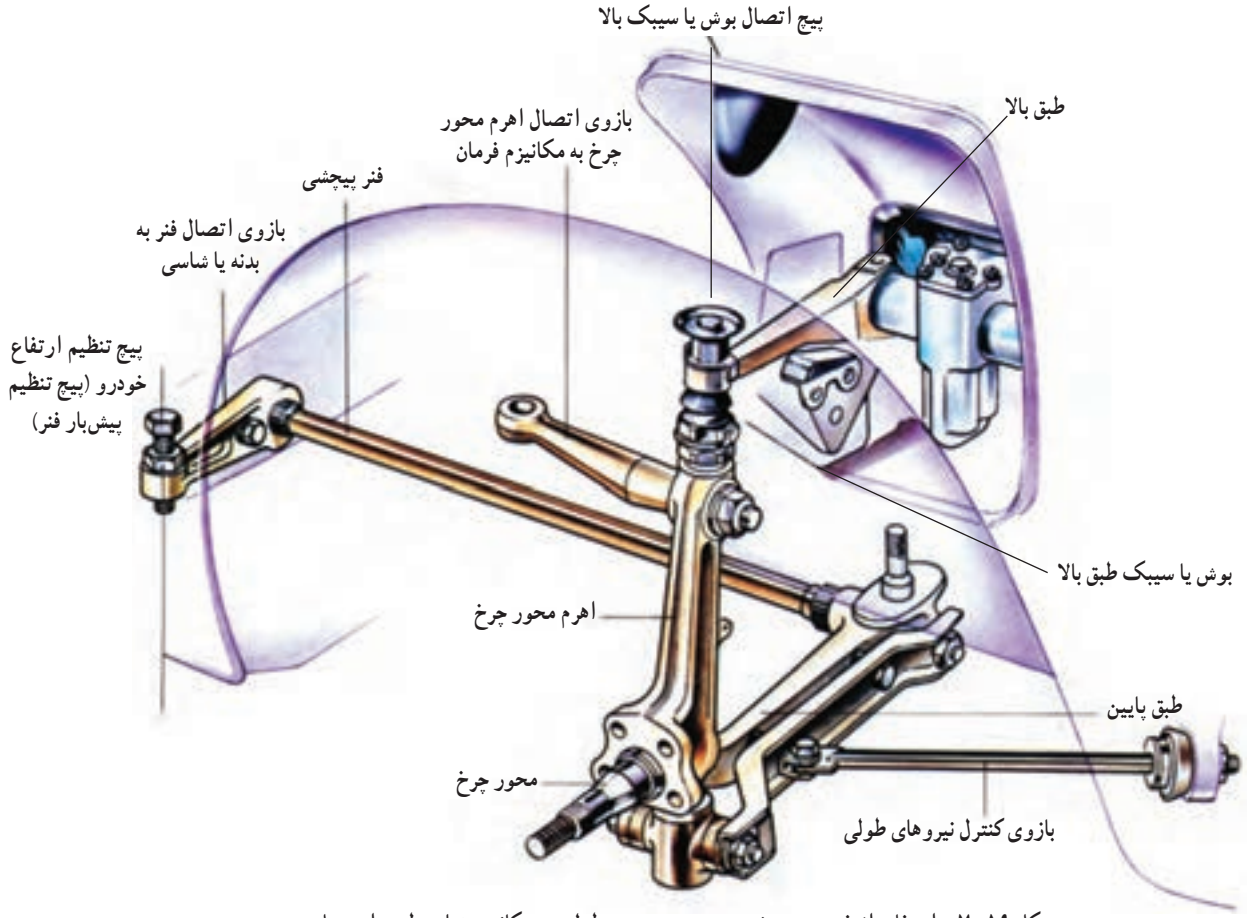
❊ مزایا

۱ــ اشغال کردن فضای کم؛

۲ــ داشتن عمر و دوام طولانی؛

۳ــ داشتن قابلیت تنظیم ارتفاع؛

۴ــ اشغال نکردن فضای عمودی، که در صورت استفاده در سیستم تعلیق عقب، به بزرگ شدن فضای صندوق عقب و محفظهٔ سرنشین عقب منجر می‌شود (در صورت استفاده در سیستم تعلیق



شکل ۱۹ــ۷ــ استفاده از فنر پیچشی نصب شده به صورت طولی در مکانیزم تعلیق طبق دار دوبل

جلو نیز فضای کافی برای نصب موتور ایجاد می‌شود)؛

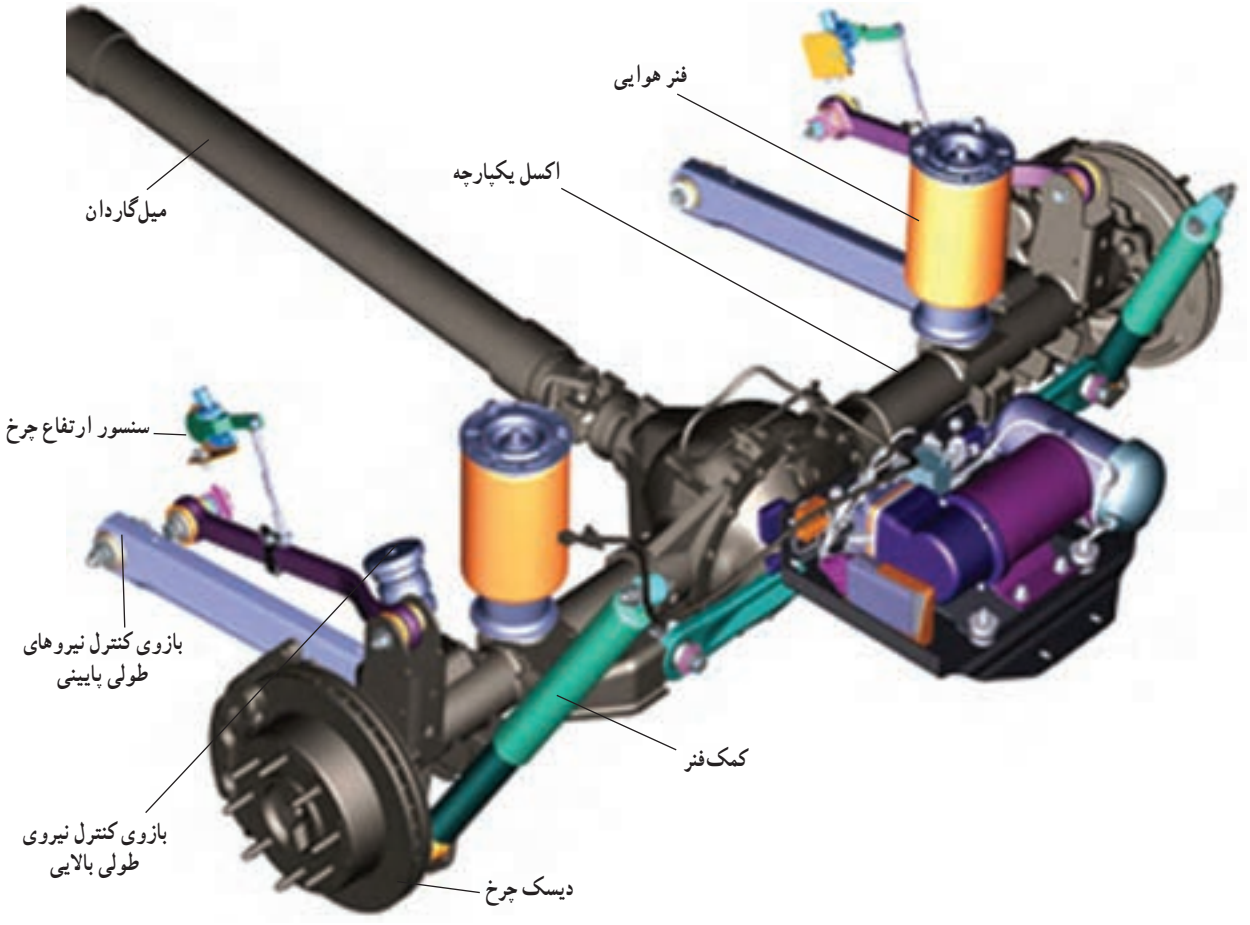
۵ــ داشتن خاصیت ضربه‌گیری مطلوب و سخت‌شوندگی؛

۶ــ بیشتر شدن فاصلهٔ عرضی بین فنرها نسبت به سایر فنرها که به کاهش حرکت رول و افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین منجر می‌شود.

❊ معایب

نیاز داشتن به تقویت محل اتصال این نوع فنر به شاسی.

نکته : به بازوی کنترل نیروهای عرضی به اصطلاح «طبق» گویند.



شکل ۲۰ــ۷ــ استفاده از فنر هوایی در سیستم تعلیق عقب یکپارچه

۴ــ۸ــ۷ــ فنر هوایی : شکل ۲۰ــ۷، نحوهٔ استفاده از فنر هوایی را در سیستم تعلیق عقب یکپارچه نشان می‌دهد.

در این نوع فنرها می‌توان با تغییر فشار هوای فشرده‌شده، سختی آن را تغییر داد. از این‌رو با توجه به شرایط مختلف عملکردی خودرو، می‌توان از فنری با سختی مناسب برخوردار شد. در این‌صورت پایداری و راحتی سرنشین تا حد زیادی افزایش می‌یابد.

از معایب این نوع فنرها دشواری در افزایش فاصلهٔ عرضی بین فنرها و نهایتاً زیاد شدن حرکت غلت بدنهٔ خودرو می‌باشد.

۹ــ۷ــ کمک فنر[1]

شکل ۲۱ــ۷، ساختار کمک فنر و نحوهٔ عملکرد آن را نشان می‌دهد.

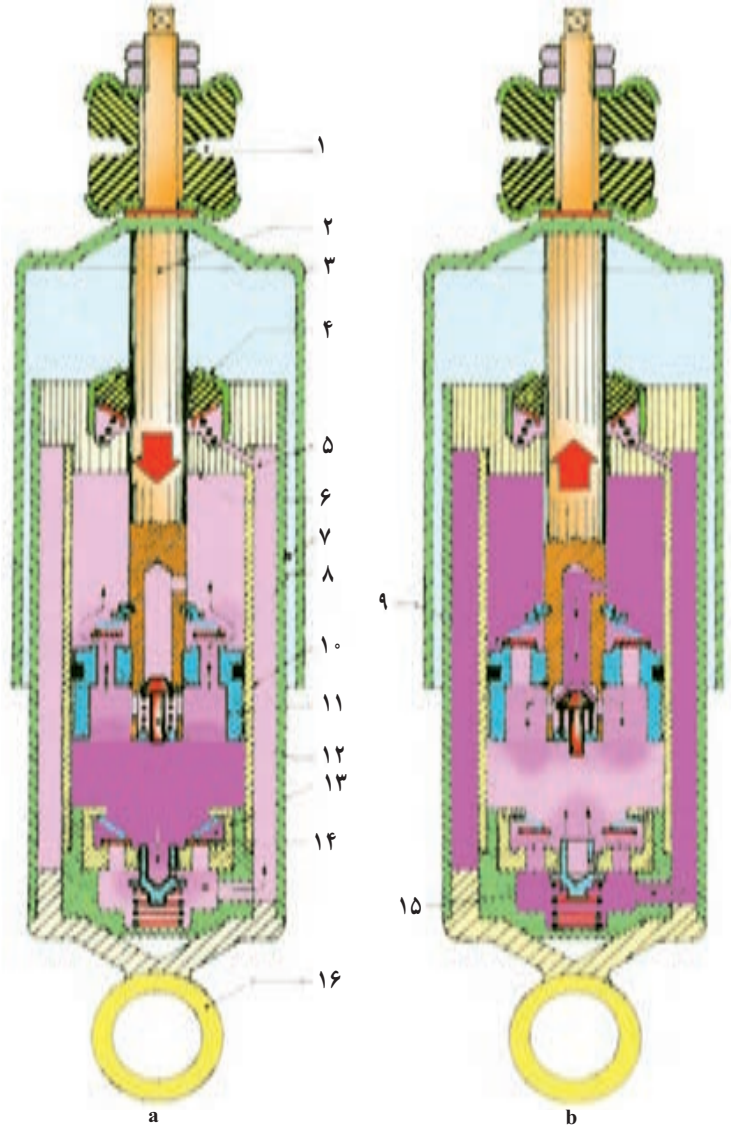
با توجه به شکل ۲۱ــ۷ عملکرد کمک‌فنر به دو حالت زیر تقسیم می‌شود :

الف) حالت انقباض : با توجه به شکل a ــ۱ــ۷ هنگامی

۱ ــ Shock absorber

که چرخ به سمت بالا یا بدنهٔ خودرو به سمت پایین حرکت می‌کند، در این حالت فشار مایع زیر پیستون افزایش می‌یابد و سوپاپ‌های (۹) و (۱۵) باز می‌شوند. از این‌رو مایع هیدرولیک زیر پیستون، از طریق مجرای ریز سوپاپ‌ها به بالای پیستون و مخزن ذخیره منتقل می‌شود. لازم به ذکر است که سوپاپ (۱۵) به دلیل بیشتر بودن حجم روغن زیر پیستون نسبت به بالای آن (به‌دلیل وجود دسته پیستون در بالا) استفاده می‌شود. بنابراین با بازشدن آن روغن اضافه زیر پیستون به مخزن ذخیره راه می‌یابد تا از شل شدن کمک جلوگیری شود.

ب) حالت انبساط کمک‌فنر : هنگامی که چرخ به سمت پایین یا بدنهٔ خودرو به سمت بالا حرکت نماید مطابق حالت b شکل ۲۱ــ۷، زیر پیستون افزایش حجم و کاهش فشار (حالت مکشی) ایجاد می‌شود در این حالت سوپاپ یک‌طرفهٔ ۱۱ باز شده و مایع هیدرولیک به زیر پیستون انتقال می یابد به علت کمتر بودن حجم



شکل ۲۱ــ۷ــ ساختمان کمک فنر

۱ــ تکیه‌گاه‌های لاستیکی به همراه واشرهای فلزی برای اتصال دستهٔ پیستون به بدنهٔ خودرو ۲ــ دستهٔ پیستون ۳ــ گردگیر ۴ــ آب‌بند دستهٔ پیستون و مخزن ۵ــ مجرای برگشت روغن نشتی از اطراف دستهٔ پیستون به مخزن ذخیره ۶ــ راهنمای دستهٔ پیستون ۷ــ پوسته خارجی و مخزن ذخیرهٔ روغن (تیوپ خارجی) ۸ــ مجرای سوپاپ یک‌طرفه ۹ــ سوپاپ یک‌طرفه تخلیهٔ روغن زیر پیستون ۱۰ــ سیلندر کمک فنر (تیوپ داخلی) ۱۱ــ سوپاپ برگشت روغن از بالای پیستون به زیر پیستون ۱۲ــ پیستون ۱۳ــ مجرای سوپاپ یک‌طرفهٔ تغذیهٔ زیر پیستون از مخزن ذخیره ۱۴ــ سوپاپ یک‌طرفهٔ تغذیهٔ زیر پیستون از مخزن ذخیره ۱۵ــ سوپاپ کفی تخلیهٔ روغن به مخزن ذخیره ۱۶ــ محل اتصال کمک فنر به یکی از اجزای متحرک سیستم تعلیق

روغن بالای پیستون (به دلیل وجود دستهٔ پیستون در بالا) نسبت به حجم روغن زیر پیستون، با باز شدن سوپاپ ۱۴ مقداری روغن نیز از مخزن ذخیره به محفظهٔ زیر پیستون منتقل می‌شود. با توجه به توضیح فوق، با انتقال مایع هیدرولیک از زیر پیستون به بالای آن و بالعکس که با عبور از مجاری کوچک پیستون کمک فنر انجام می‌پذیرد، نیروی اصطکاک ویسکوزی در جهت مخالف حرکت چرخ و بدنهٔ خودرو در داخل کمک فنر ایجاد می‌شود که این امر باعث جذب و مستهلک نمودن ارتعاشات بدنه و چرخ خودرو می‌شود.

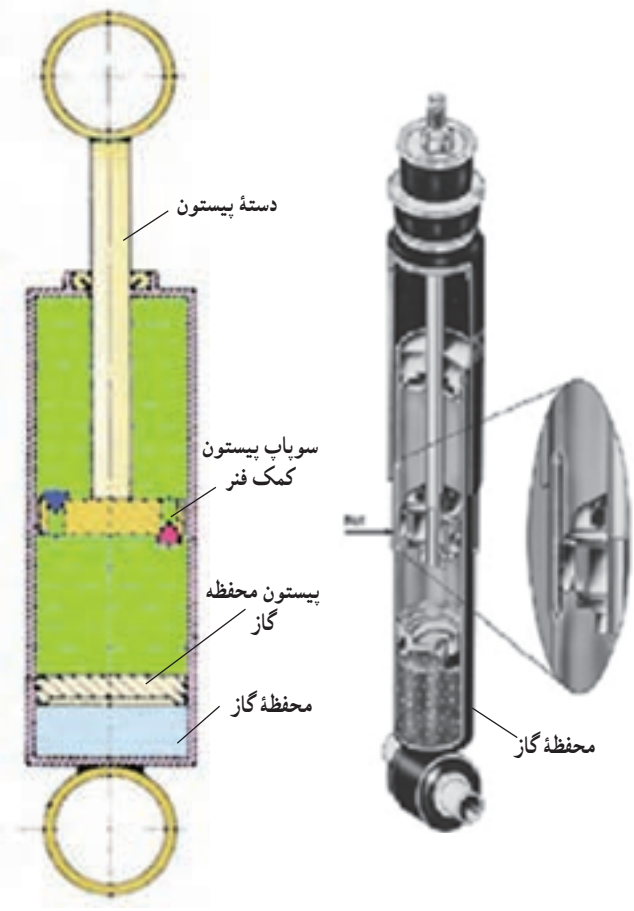
نکته : به دلیل آنکه مجاری انتقال روغن از زیر پیستون به بالای آن بزرگ‌تر از مجاری انتقال روغن از بالای پیستون به زیر آن می‌باشد. بنابراین مرحلهٔ انقباض کمک‌فنر سریع‌تر از مرحلهٔ انبساط آن می‌باشد و کمک فنر نیروی مقاوم بیشتری در مرحلهٔ انبساط ایجاد می‌کند. که این موضوع باعث می‌شود انرژی مرحله باز شدن فنر مستهلک شود و ارتعاش آن شدید نشود.

نکته : به این نوع کمک فنرها به دلیل اینکه دارای سیلندر اصلی و مخزن ذخیره‌اند، کمک فنرهای دو لوله‌ای[1] نیز گفته می‌شود.

۱ــ۹ــ۷ــ کمک فنر گازی (تک لوله‌ای) : چنانچه، مطابق شکل ۲۲ــ۷، از مخزن ذخیره در کمک فنر استفاده نشود، کمک فنر گازی یا کمک فنر تک لوله‌ای[2] شکل می‌گیرد. در این نوع کمک فنر به دلیل یکسان نبودن حجم روغن تبادل شده بین قسمت بالا و پایین پیستون از محفظه‌ای که حاوی گاز تراکم پذیر ازت است استفاده می‌گردد. در این صورت اختلاف بین روغن قسمت بالا و پایین پیستون با انبساط و انقباض حجم محفظهٔ گاز جبران می‌گردد. محفظه، حاوی گاز ازت است، که در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد دارای فشاری حدود ۲۵ بار است.

مطابق شکل ۲۲ــ۷، در زمان انقباض کمک فنر ، روغن زیر پیستون به بالای پیستون منتقل می‌شود. حجم این روغن از حجم روغن جابه‌جا شدهٔ بالای پیستون بیشتر است (به دلیل وجود دستهٔ پیستون در قسمت بالای پیستون). بنابراین پیستون محفظهٔ گاز کمک فنر با فشرده نمودن گاز ازت داخل محفظه به سمت پایین حرکت می‌کند. در زمان انبساط کمک فنر، حرکت پیستون محفظهٔ گاز به سمت بالا تحت فشار گاز، کاهش حجم روغن محفظهٔ پایین پیستون را جبران می کند.

از آنجایی که کمک فنر با ضریب میرایی (دمپینگ) ثابت به تنهایی جوابگوی تمامی شرایط عملکردی خودرو نیست، امروزه



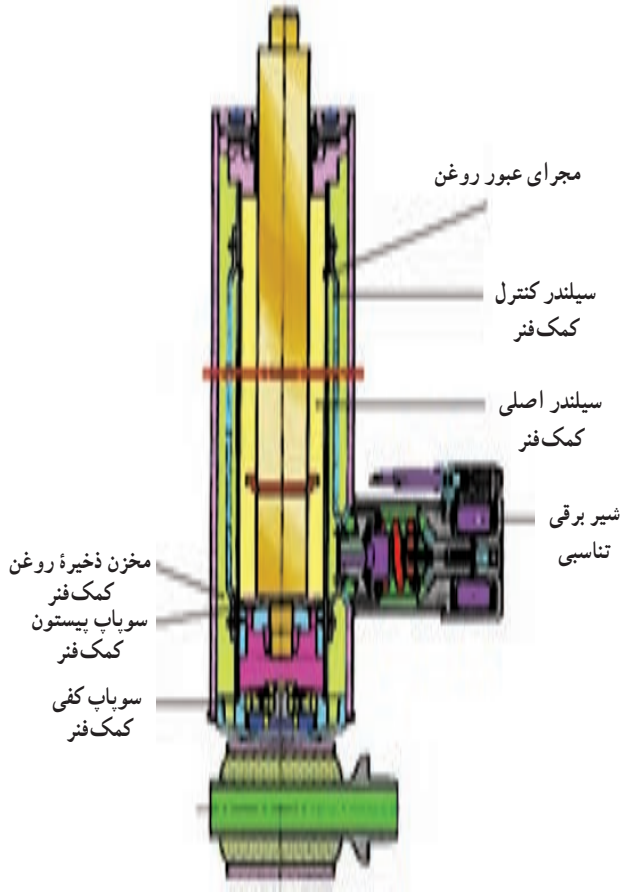
شکل ۲۲ــ۷ــ کمک فنر گازی یا تک لوله‌ای

۱ ــ twin tube

۲ ــ Single tube

به منظور افزایش راحتی سرنشین و پایداری خودرو، از کمک فنرهای قابل تنظیم استفاده می‌شود که در ذیل به بررسی آنها پرداخته می شود.

۲ــ۹ــ۷ــ کمک فنر قابل تنظیم به‌وسیلهٔ شیر برقی : شکل۲۳ــ۷، کمک فنر قابل تنظیم به‌وسیلهٔ شیر برقی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۷ــ کمک فنر قابل تنظیم به وسیلهٔ شیر برقی

با توجه به شکل ۲۳ــ۷، سوپاپ پیستون به صورت یک سوپاپ یک‌طرفه عمل می کند. به نحوی که هنگام باز شدن کمک‌فنر بسته، و هنگام جمع شدن کمک فنر، باز می‌شود، از طرفی سوپاپ کفی نیز در هنگام باز شدن کمک فنر باز، و هنگام جمع شدن کمک فنر، بسته می‌شود.

بنابراین هنگامی که کمک فنر در حال باز شدن است، روغن بالای پیستون از مجرای جابه‌جایی روغن به سیلندر کنترل عبور می‌کند و از طریق عبور از شیر برقی تناسبی وارد مخزن ذخیره می‌شود. از طرفی سوپاپ کفی در این حالت باز می‌شود و روغن را از مخزن ذخیره به محفظهٔ زیر پیستون کمک فنر منتقل می‌کند.

در هنگام جمع شدن کمک فنر، سوپاپ پیستون باز، و سوپاپ کفی بسته می‌شود. از این‌رو، روغن موجود در زیر پیستون از طریق سوپاپ پیستون به محفظهٔ بالای پیستون هدایت می‌شود. ولی به منظور جلوگیری از قفل شدن کمک فنر، مقداری روغن از محفظهٔ بالای پیستون از طریق مجرای جابه‌جایی روغن به محفظهٔ سیلندر کنترلی راه می‌یابد و از طریق شیر برقی تناسبی به مخزن ذخیره کمک فنر ارسال می‌شود.

در این نوع کمک فنرها هنگامی که هیچ جریانی از شیر برقی عبور نکند، سوپاپ آن بسته می‌شود و باعث سخت شدن کمک فنر می‌گردد که به کاهش راحتی سرنشین و حداکثر شدن پایداری خودرو، به‌خصوص در سرعت‌های بالا و حرکت در پیچ جاده، منجر می‌گردد. به تدریج با افزایش جریان عبوری از شیر برقی، سوپاپ بیشتر باز می‌شود که باعث راحتی بیشتر سرنشین و کاهش پایداری خودرو می‌گردد. از این حالت برای سرعت‌های کم و رانندگی در جاده‌های ناهموار استفاده می‌شود.

۳ــ۹ــ۷ــ کمک فنر قابل تنظیم پیوستهٔ ام آر، (MR[1]) : ساختمان ظاهری این نوع کمک فنر در شکل ۲۴ــ۷ ملاحظه می‌شود.

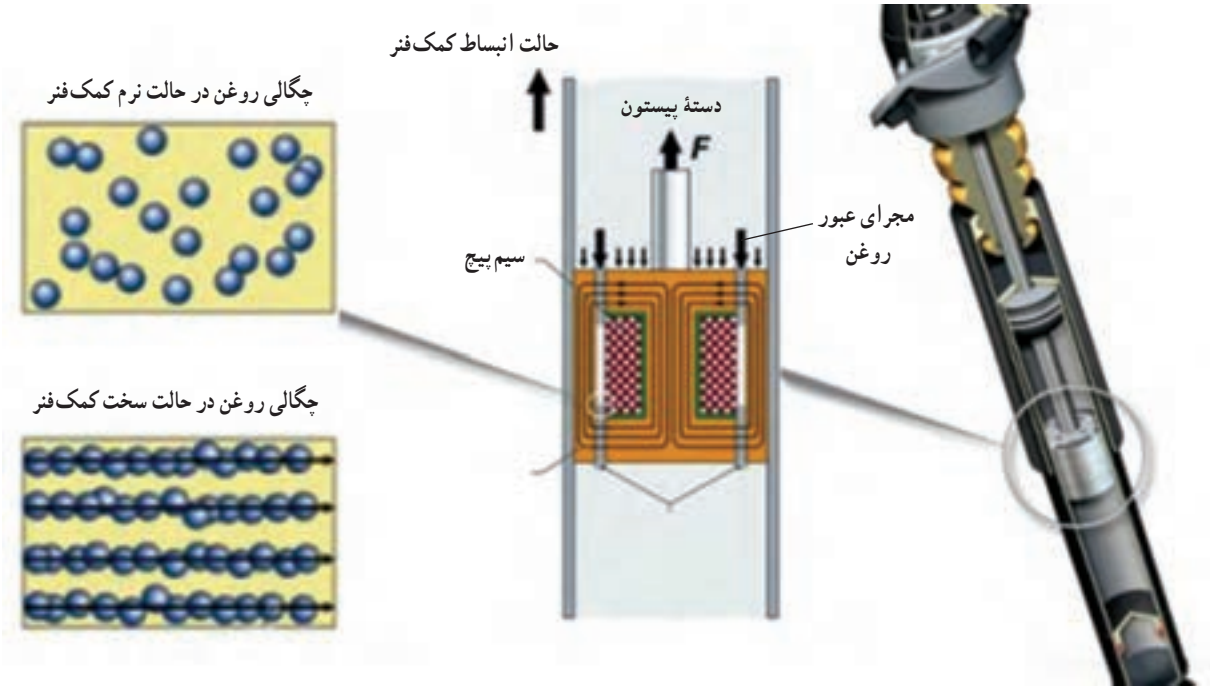
شکل ۲۴ــ۷ــ ساختمان ظاهری کمک فنر قابل تنظیم پیوسته از نوع ام آر (MR)

۱ ــ Magneto – Rheological

در این نوع کمک فنرها از مایع ام‌آر به‌جای روغن استفاده می‌شود. روغن پایهٔ هیدروکربنی دارد و حاوی درصد متغیری از ذرات آهن، در ابعاد میکرون است.

مطابق شکل ۲۵ــ۷، هنگامی که هیچ جریانی از سیم‌پیچ‌ها عبور نکند میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ‌ها ایجاد نمی‌شود و مجاری عبور سیال ام‌آر کاملاً باز است. از این‌رو حالت انبساط و انقباض کمک فنر نرم است، که باعث افزایش راحتی سرنشین می‌شود ولی پایداری خودرو کاهش می‌یابد.

با افزایش جریان عبوری از سیم‌پیچ، میدان مغناطیسی سیم‌پیچ‌ها قوی‌تر می‌شود، به‌طوری که بر روی ذرات آهن درون مایع ام‌آر تأثیر می‌گذارد و با افزایش چگالی روغن ام‌آر اطراف پیستون، از عبور آسان مایع ام‌آر از مجاری روغن جلوگیری می‌نماید. بنابراین حالت انبساط و انقباض کمک فنر سخت‌تر صورت می‌پذیرد که باعث کاهش راحتی سرنشین و افزایش پایداری خودرو می‌گردد.



شکل ۲۵ــ۷ــ کمک فنر قابل تنظیم پیوستهٔ ام‌آر (MR)

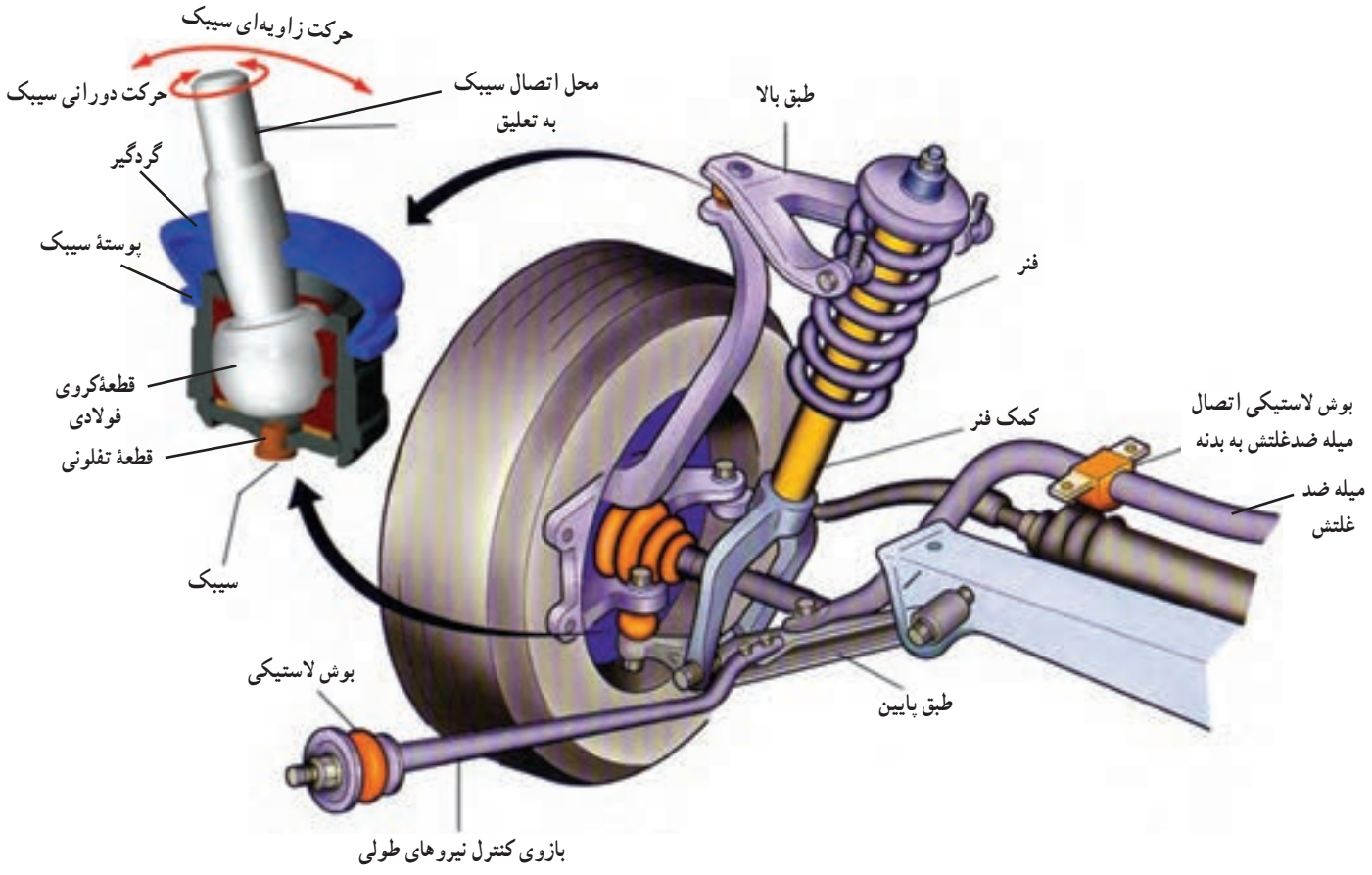
۱۰ــ۷ــ سیبک[1]

از آنجایی که بازوهای مکانیزم تعلیق و فرمان که به یکدیگر یا به محور چرخ متصل‌اند، باید توانایی حرکت خطی و دَوَرانی داشته باشند، معمولاً در دو سمت آنها از مفاصل مختلفی استفاده می‌شود که نوع کروی آن را اصطلاحاً «سیبک» گویند. با استفاده از سیبک تغییر زاویهٔ بین ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ای بازوهای مکانیزم تعلیق و فرمان، امکان‌پذیر می‌گردد.

با توجه به شکل ۲۶ــ۷، سیبک از یک قطعهٔ فولادی کروی تشکیل شده است که درداخل محفظهٔ کروی که معمولاً جنس آن از تفلون است قرار گرفته است. قطعهٔ کروی تفلونی نیز درون پوستهٔ سیبک تعبیه شده است.

با توجه به شکل ۲۶ــ۷، ملاحظه می‌شود که قطعهٔ کروی فولادی که به یکی از اجزای مکانیزم تعلیق یا فرمان وصل می‌شود قابلیت دَوَران درون محفظهٔ کروی تفلونی را، که درون پوستهٔ سیبک تعبیه شده است دارد. پوستهٔ سیبک نیز به یکی دیگر از اجزای مکانیزم تعلیق یا فرمان متصل است.

۱ ــ ball joint



شکل ۲۶ــ۷ــ سیبک

۱۱ــ۷ــ بوش لاستیکی

جهت اتصال بازوهای مکانیزم تعلیق به بدنه یا شاسی خودرو از بوش‌های لاستیکی استفاده می شود. استفاده از بوش‌های لاستیکی باعث می‌شود که مقداری از ارتعاشات و ضربات ناشی از ناهمواری‌های جاده از طریق این بوش‌های لاستیکی جذب شوند و بنابراین ارتعاشات کمتری از مکانیزم تعلیق به بدنهٔ خودرو منتقل می‌شود.

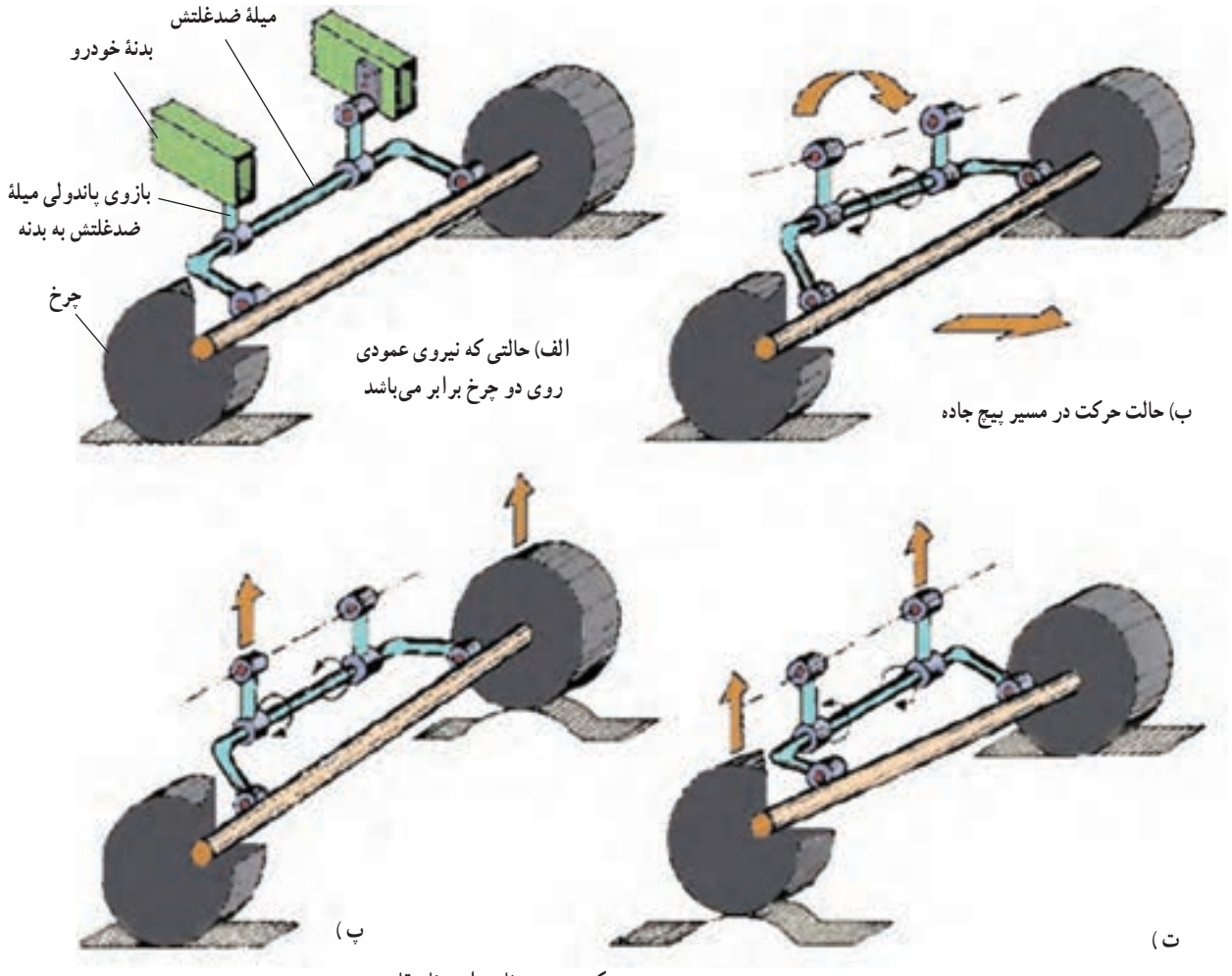
۱۲ــ۷ــ میلهٔ ضد غلتش

مطابق شکل ۲۷ــ۷، میلهٔ ضد غلتش، قطعه‌ای «U شکل» از جنس فولاد فنر است که در دو سر خود با واسطه یا بدون واسطه به چرخ‌ها متصل می‌شود. همچنین در دو نقطه نیز توسط بوش لاستیکی به بدنه متصل می‌گردد.

با توجه به شکل ۲۷ــ۷، میلهٔ ضد غلتش دارای وظایفی به شرح زیر است.

۱ــ در طی مسیر پیچ جاده، بدنهٔ خودرو در اثر نیروی جانب مرکز حول محور طولی و به سمت خارج پیچ دَوَران می کند. به عبارت دیگر چرخ‌های داخل پیچ تمایل به جدا شدن از زمین دارند و چرخ‌های خارج پیچ با نیروی بیشتری به سطح جاده فشرده می‌شوند. در این حالت میلهٔ ضد غلتش با انتقال مقداری از نیروی عمودی رو به پایین چرخ خارج پیچ به چرخ داخل پیچ، مانع از جدا شدن چرخ داخل پیچ از سطح جاده می‌شود شکل (۲۷ــ۷ــ ب). از این‌رو حرکت رول خودرو هنگام حرکت در پیچ جاده کاهش می‌یابد و باعث افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین می‌گردد.

۲ــ حرکت خودرو بر روی ناهمواری‌های نامتقارن باعث افزایش حرکت رول خودرو می‌گردد. در این حالت میل ضد غلتش با انتقال نیرو از یک چرخ به چرخ دیگر مطابق شکل پ و ت، باعث



شکل ۲۷ــ۷ــ میلهٔ ضد غلتش و نحوهٔ عملکرد آن در حالت‌های مختلف

می‌شود حرکت رول خودرو به حرکت بالا و پایین بدنه تبدیل گردد تا راحتی سرنشین افزایش یابد.

۳ــ با وجود میلهٔ ضد غلتش در مکانیزم تعلیق جلوی خودرو، انتقال بار زیادی از چرخ داخل پیچ به چرخ بیرون پیچ صورت نمی‌گیرد و بنابراین میزان نیروی اصطکاک عرضی بین چرخ جلوی خودرو، که در قسمت بیرونی پیچ جاده واقع شده است، با سطح زمین افزایش زیادی نخواهد یافت. از این‌رو لغزش جانبی قسمت جلوی خودرو به سمت بیرون پیچ زیاد، و نهایتاً خودرو کم فرمان می‌شود.

۱۳ــ۷ــ انواع سیستم‌ها و مکانیزم‌های تعلیق

با توجه به تعریف‌های ارائه شده از سیستم تعلیق و فنربندی و مفاهیم پایهٔ آنها، در این بخش به بررسی و شناخت انواع سیستم تعلیق از دو دیدگاه ارتعاشی و مکانیزمی پرداخته می‌شود.

۱ــ۱۳ــ۷ــ دیدگاه ارتعاشی سیستم تعلیق : از دیدگاه ارتعاشاتی، وظیفهٔ سیستم تعلیق، کاهش انتقال ارتعاشات ناشی از ناهمواری‌های جاده به بدنه و سرنشین خودروست. با توجه به این دیدگاه سه نوع سیستم تعلیق به شرح ذیل وجود دارد :

۱ــ سیستم تعلیق غیر فعال[۱]

۱ ــ passive

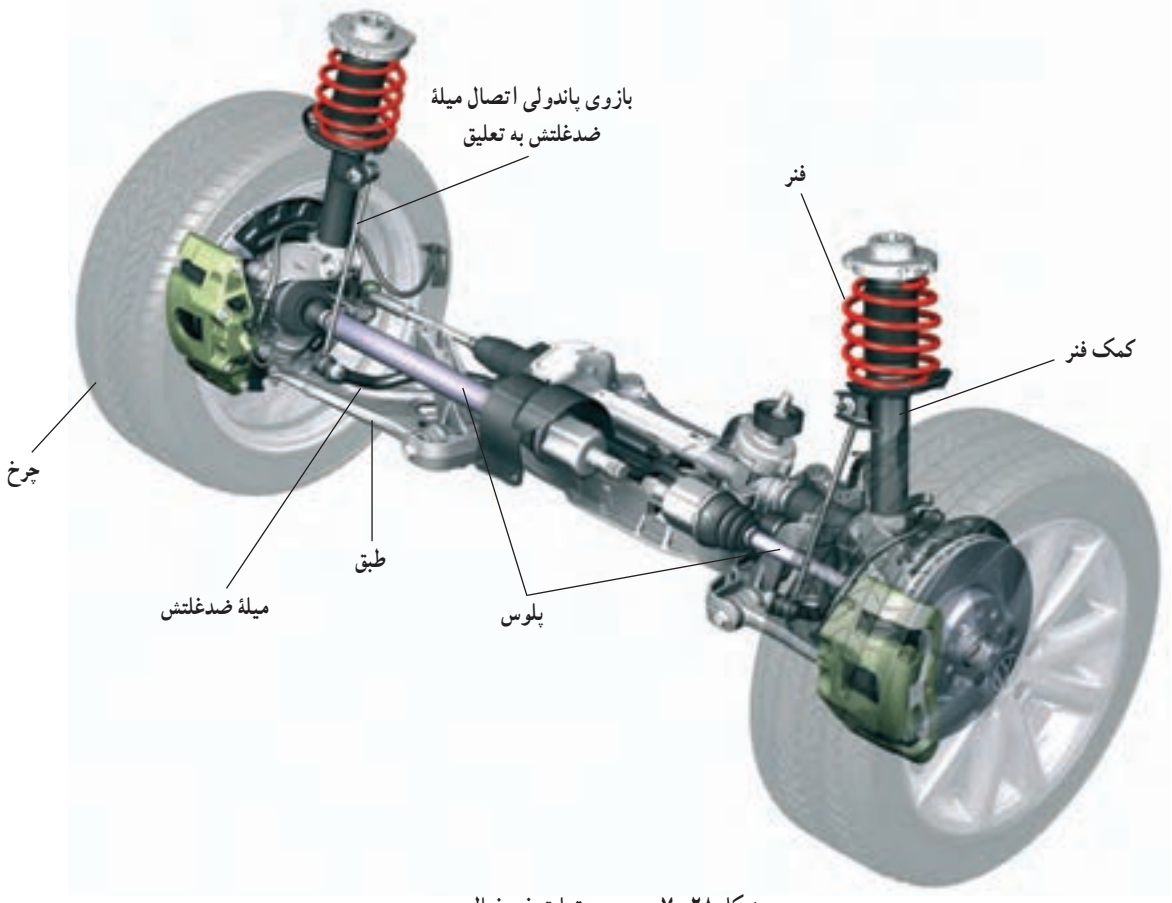
۲ــ سیستم تعلیق نیمه فعال[1]

۳ــ سیستم تعلیق فعال[2]

در ادامه، این سیستم‌ها بررسی خواهند شد.

سیستم تعلیق غیر فعال: در این نوع سیستم تعلیق، که نوعی از آن در شکل ۲۸ــ۷ ملاحظه می‌شود، از یک فنر به عنوان نوسان‌ساز و یک کمک فنر به عنوان مستهلک کنندهٔ این نوسانات برای هر چرخ استفاده می‌شود.

دلیل اطلاق لغت «غیرفعال» به این نوع سیستم‌های تعلیق این است که در این نوع سیستم‌ها با ثابت بودن مقادیر ضرایب فنر و کمک فنر، فنر و کمک فنر تغییرات ناچیزی نسبت به تغییر بار خودرو، تغییر سرعت خودرو، نحوهٔ ترمزگیری و غیر آنها از خود نشان می‌دهند و از این دیدگاه که این نوع سیستم تعلیق توانایی تغییر ضرایب فنر و کمک فنر را، با توجه به تغییر شرایط جاده و رانندگی، ندارد، لذا به آن سیستم تعلیق غیرفعال گفته می‌شود.



شکل ۲۸ــ۷ــ سیستم تعلیق غیر فعال

سیستم تعلیق نیمه فعال: در این نوع سیستم تعلیق، ضریب دمپینگ کمک فنر متغیر است و توسط الگوی خاصی یا به‌صورت دستی، با توجه به شرایط جاده و خودرو، تغییر داده می‌شود. شکل ۲۹ــ۷، نمونه‌ای از این سیستم را که الگوی کنترلی آن به صورت مکانیکی‌ست نشان می‌دهد.

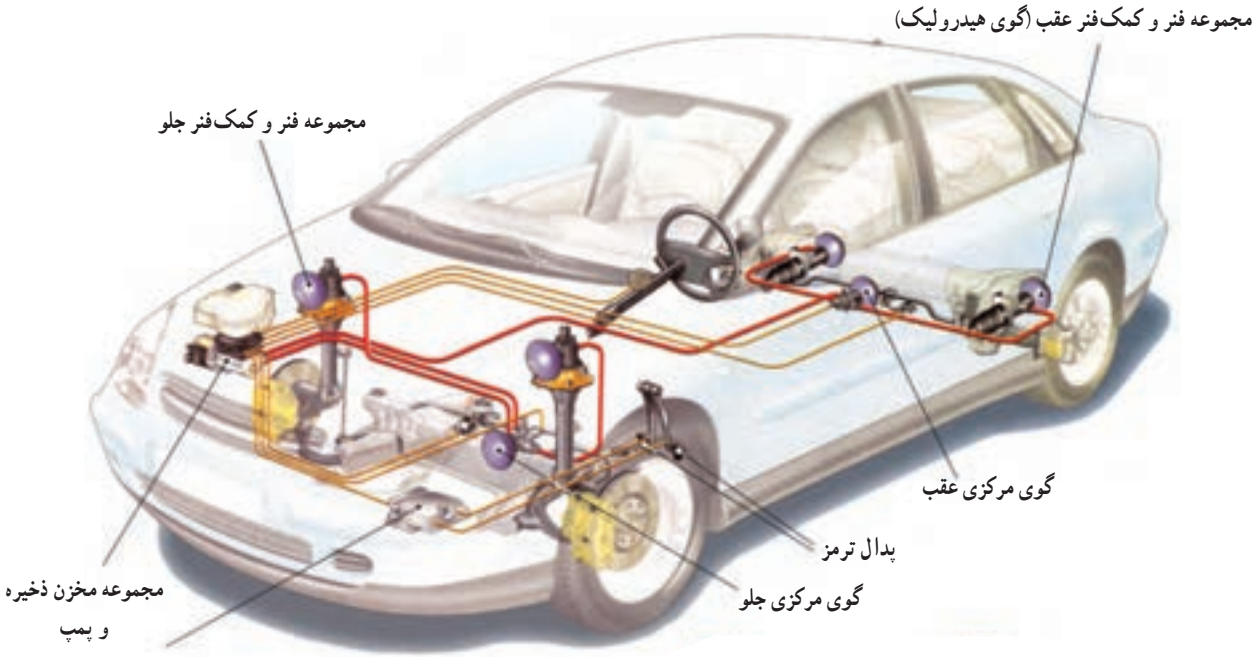
با توجه به شکل ۲۹ــ۷، در این نوع سیستم تعلیق از گاز ازت فشرده شده به صورت فنر استفاده شده است. از روغن ال‌اچ‌ام (LHM[3]) که با فشار تقریبی (bar)۱۰۰ بار به قسمت زیرین

---

۱ ــ semi_Active

۲ ــ Active

۳ ــ liquid Hydraulic mineral



شکل ۲۹ــ۷ــ سیستم تعلیق نیمه فعال

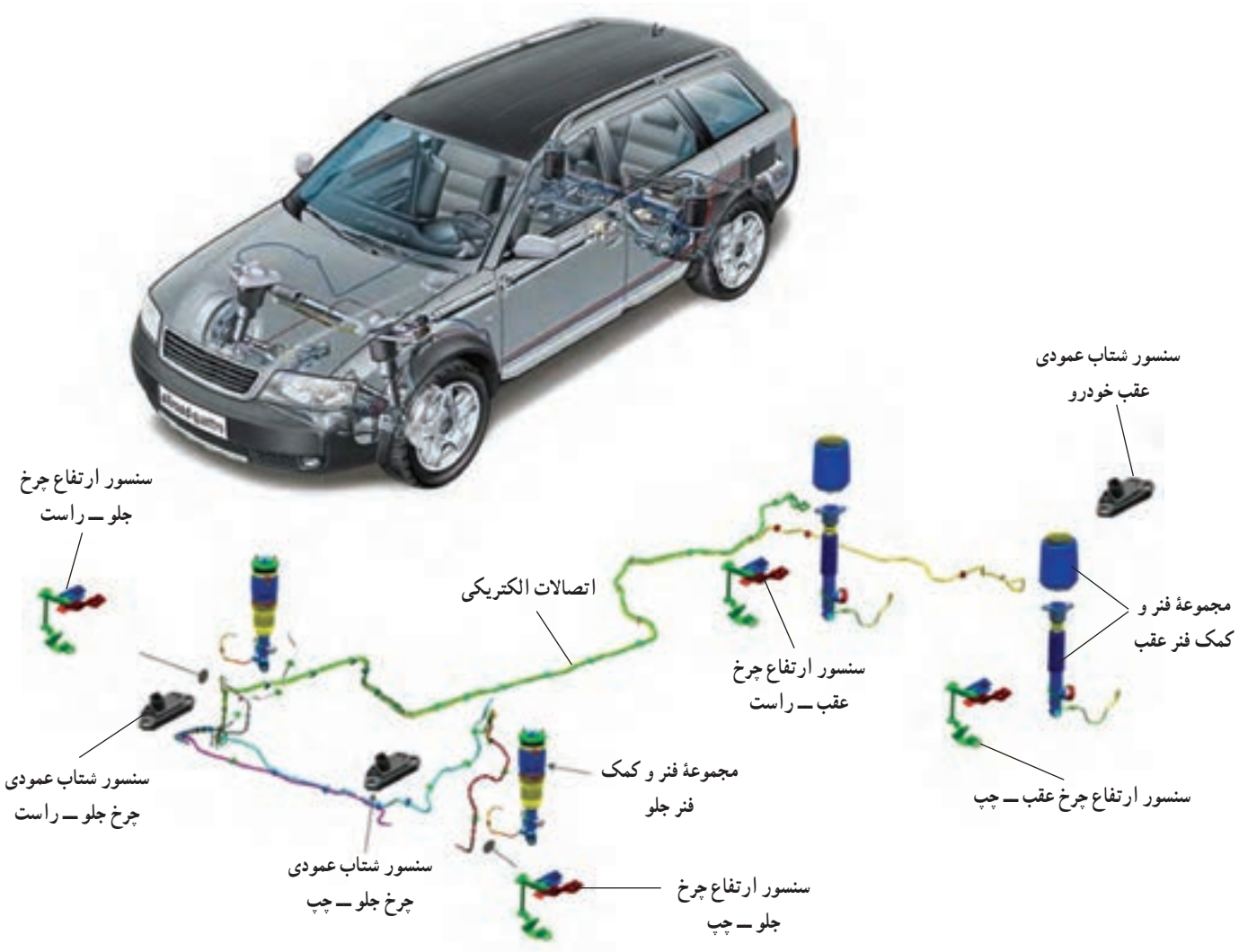
محفظهٔ گـاز فشردهٔ ازت ارسال مـی‌شود نیز بـه صورت کمک‌فنر استفاده مـی‌شود. در این گـونه سیستم‌هـا مـی‌تـوان با کنترل حجم روغن ال‌اچ‌ام ارسالی به محفظهٔ کمک فنر، ارتفاع خودرو را به صورت دستی و اتوماتیک کنترل نمود. چنانچه یکی از چرخ‌های غیرمحرک خودرو (حتی یکی از چرخ‌های محرک، در صورت وجود قفل دیفرانسیل) از خودرو جدا شود، توزیع نیروی عمودی را بر اساس سه چرخ کنترل می‌کند (با توجه به اینکه هر صفحه در فضا با سه نقطهٔ اتکا می‌تواند پایداری خود را حفظ نماید) و خودرو در سرعت‌های کم و جاده‌های با ناهمواری کم پایدار باقی می‌ماند.

در برخی از خودروها، از کمک فنرهای الکتریکی استفاده شده است. در این خودروها، علاوه بر وجود سیستم کنترلی به منظور دستیابی به مقدار مناسب ضریب دمپینگ، راننده نیز می‌تواند به صورت دستی، با توجه به شرایط جاده و خودرو، وضعیت‌های نرم، معمولی و سخت را برای کمک فنر انتخاب نماید.

باید توجه داشت که شرایط نرم در سرعت‌های کم و جاده‌های بـا ناهمواری بـزرگ مـورد استفاده قـرار مـی‌گیـرد. در حالی که وضعیت سخت کمک فنر، خـاص سرعت‌های بـالا و جاده‌های با ناهمواری‌های کوچک است. حالت معمولی نیز در شرایط رانندگی معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستم تعلیق فعال: در این نوع سیستم تعلیق، علاوه بر متغیر بودن ضریب دمپینگ کم فنر، سختی فنر نیز قابل کنترل است. همچنین به جای استفاده از فنر و کمک فنر به صورت مجزا، از عملگری الکتروهیدرولیکی که توسط واحد کنترل الکترونیکی کنترل می‌گردد، استفاده می‌شود. این عملگر مجموع نیروی فنر و کمک فنر را تولید می نماید. شکل ۳۰ــ۷، نمونه‌ای از این نوع سیستم تعلیق را نشان می‌دهد.

بـا تـوجـه بـه شکـل ۳۰ــ۷، در این نـوع سیستم تعلیق، اطلاعات مربوط به شتاب عمودی چرخ و شتاب بدنهٔ خودرو توسط حسگرهای شتاب سنج و اطلاعات ارتفاع هر چرخ نسبت به بدنه توسط سنسورهای ارتفاع‌سنج به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌شود. با توجه به الگوی کنترلی آن، واحد کنترل ای‌سی‌یو (ECU) میزان ارتعاشات بدنهٔ خودرو را توسط نیروی تولیدی عملگر الکتروهیدرولیکی به‌طور مناسب کنترل می‌کند که با توجه به ناهمواری جاده باعث مستهلک‌سازی مطلوب‌تر ارتعاشات می‌گردد.

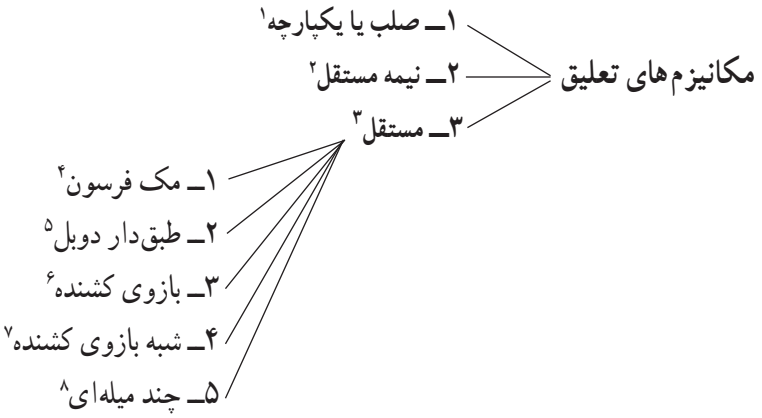


شکل ۳۰ــ۷ــ سیستم تعلیق فعال

۲ــ۱۳ــ۷ــ دیدگاه مکانیزمی تعلیق : از دیدگاه مکانیزمی، تعلیق مکانیزمی‌ست که ضمن مهار چرخ در زیر بدنهٔ خودرو، به چرخ اجازه می‌دهد حرکت‌های مطلوب (دَوَران چرخ، حرکت عمودی، فرمان گرفتن، تغییر زوایای کمبر، کستر و غیر آنها) داشته باشد تا به افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین منجر گردد.

گفتنی است کلیهٔ مکانیزم‌های تعلیق، برای انتقال نیروهای طولی، عرضی و عمودی از چرخ به بدنهٔ خودرو و بالعکس، از بازوهایی برخوردارند.

با توجه به این دیدگاه، مکانیزم‌های تعلیق به صورت صفحهٔ بعد دسته‌بندی می‌شود :



مکانیزم تعلیق صلب یا یکپارچه

مطابق شکل ۳۱ــ۷ در این مکانیزم تعلیق، ارتباط دو چرخ چپ و راست توسط لوله یا تیری[۱] صلب و یکپارچه برقرار می‌شود. از این‌رو حرکت عمودی یک چرخ بر اثر ناهمواری جاده بر روی عملکرد چرخ دیگر تأثیر می‌گذارد. مطابق اشکال نشان داده شده، در این تعلیق می‌توان از فنرهای شمشی، مارپیچ استفاده نمود.

همان‌گونه که در شکل‌های ۳۱ــ۷ پیداست، هنگام استفاده از فنرهای مارپیچ از آنجایی که فنرهای مارپیچ تنها قادرند نیروی عمودی یا نیروی وزن را تحمل کنند، لذا برای انتقال نیروهای طولی و عرضی از چرخ به بدنهٔ خودرو بالعکس باید از بازوهایی استفاده کرد.

شکل ۳۱ــ۷ــ مکانیزم تعلیق یکپارچه با استفاده از الف) فنر مارپیچ ب) فنر شمشی

نکته : بازوی کنترل نیروهای عرضی در مکانیزم تعلیق یکپارچه را «میله پانارد[۹]» نیز گویند. نصب این میله در قسمت عقب مکانیزم تعلیق عقب خودرو باعث کم فرمانی خودرو می‌شود.

---

۱ ــ Rigid Axle
۲ ــ semi independent
۳ ــ Independenet
۴ ــ Mc pherson
۵ ــ Double wish bone
۶ ــ Trailing arm
۷ ــ semi trailing arm
۸ ــ multi link
۹ ــ Panhard arm

❊ مزایای مکانیزم تعلیق یکپارچه

۱ــ این نوع مکانیزم تعلیق، ساده و هزینهٔ تولیدش پایین است.

۱ــ تغییرات زاویهٔ کستر، سرجمعی و سربازی چرخ‌ها به دلیل ثابت بودن محور چرخ ناچیز است، بنابراین پایداری سویی خودرو مناسب است.

۲ــ اگر از این مکانیزم در تعلیق عقب استفاده شود، به دلیل ناچیز بودن زاویهٔ کمبر و تغییرات آن، سایش غیریکنواخت تایر آن نیز کم است.

۳ــ با تغییر محل نصب گوشواره (در قسمت عقب یا جلوی فنر شمشی در مکانیزم تعلیق یکپارچه با فنر شمشی) یا تغییر محل نصب بازوی کنترل نیروهای عرضی در مکانیزم تعلیق یکپارچه که در آن از فنر مارپیچ استفاده شده است، می‌توان وضعیت کم فرمانی یا بیش فرمانی مکانیزم تعلیق و خودرو را به حالت مطلوب‌تری تغییر داد.

❊ معایب مکانیزم تعلیق یکپارچه

۱ــ وزن این نوع مکانیزم تعلیق زیاد است، لذا علاوه بر کاهش راحتی سرنشین و پایداری خودرو، مصرف سوخت خودرو را نیز افزایش می‌دهد.

۲ــ حرکت چرخ‌ها بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند، به گونه‌ای که انحراف یک چرخ سبب منحرف شدن چرخ سمت دیگر نیز می‌شود. بنابراین نوسانات و حرکت رول خودرو افزایش می‌یابد و به کاهش راحتی سرنشین و پایداری خودرو نیز منجر می‌شود.

۳ــ برای نصب این مکانیزم تعلیق نیاز به فضای زیاد است.

۴ــ نیاز به فضای زیاد برای نصب این مکانیزم تعلیق، فضای صندوق عقب را کاهش می‌دهد.

۵ــ در صورت محرک بودن این مکانیزم، هنگام شتاب‌گیری نیروی وزن بین چرخ چپ و راست منتقل می‌شود و بنابراین باعث ایجاد لغزش نامساوی بین چرخ چپ و راست و سایش غیریکنواخت دوتایر می‌گردد.

تعلیق نیمه مستقل

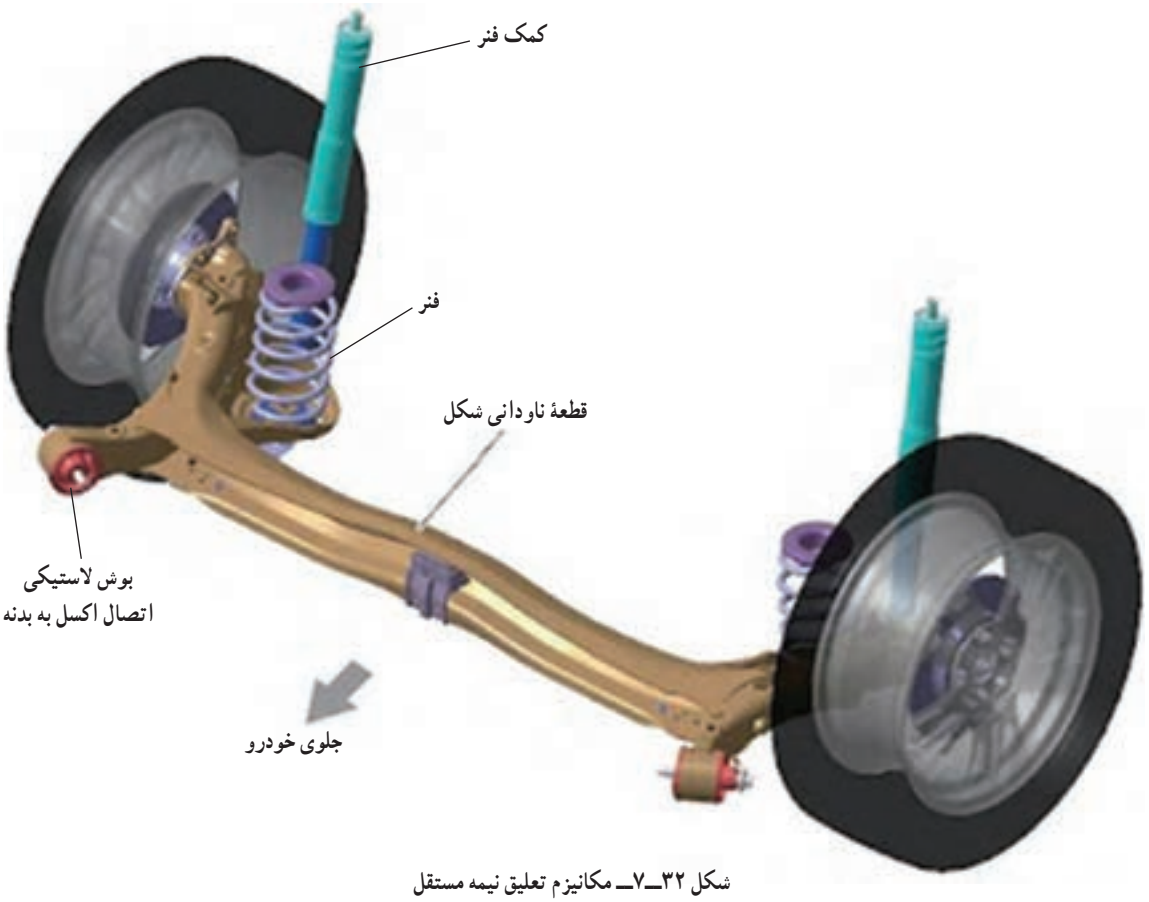
در این مکانیزم تعلیق، مطابق شکل ۳۲ــ۷، کلیهٔ اجزای تعلیق از جمله محور چرخ، بازوی کنترل نیروهای طولی وعرضی ازچرخ به بدنه (بازوهای کشنده) وقطعهٔ ناودانی شکل از ورق‌های فولادی فرم داده شده ساخته می‌شوند و توسط جوش به یکدیگر متصل می‌گردند.

شکل ظاهری این مکانیزم تعلیق مانند مکانیزم تعلیق یکپارچه است، لذا به آن «تعلیق آونگی مرکب»[1] یا «نیمه مستقل» گفته می‌شود. در این مکانیزم تعلیق با حرکت بازوهای کشنده به سمت بالا و پایین در اثر حرکت چرخ بر روی ناهمواری جاده، در قطعهٔ ناودانی، پیچش ایجاد می‌شود. ناودانی به بازوهای کشنده جوش شده است و از طرف دیگر بازوهای کشنده از طریق مفاصل به بدنهٔ خودرو وصل است.

بنابراین مجموعهٔ متشکل از ناودانی (بخشی از بازوهای کشنده که بین مفاصل تا محل اتصال به ناودانی قرار گرفته‌اند) یک عضو «U شکل» را تشکیل می‌دهند که از دو نقطه به بدنهٔ خودرو (از طریق مفاصل مکانیزم تعلیق) و از دو نقطهٔ دیگر به مکانیزم تعلیق متصل است (محل اتصال ناودانی به بازوهای کشنده). این عضو «U شکل» وظیفهٔ میلهٔ ضد غلتش را برعهده دارد که پیشتر توضیح آن ذکر گردید.

---

۱ ــ compound crank axle



شکل ۳۲ــ۷ــ مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

نکته : در نوع ساده‌تر این نوع مکانیزم تعلیق، کمک فنر در داخل فنر تعبیه می‌گردد.

مزایای مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

۱ــ ساده و سبک است.

۱ــ نصب آن ساده است.

۲ــ فضای کمی اشغال می‌کند. بنابراین فضای صندوق عقب مسطح و وسیع است.

۳ــ در این نوع مکانیزم تعلیق می‌توان فنرها را تا حدامکان دورتر از یکدیگر نصب نمود، بنابراین حرکت غلت بدنه خودرو کاهش می‌یابد.

۴ــ عضو پیچشی (قطعهٔ ناودانی) ضمن افزایش استحکام مکانیزم تعلیق، وظیفهٔ میلهٔ ضد غلتش را نیز برعهده دارد و موجب سخت شوندگی سیستم فنربندی و عملکرد مناسب آن نیز می‌گردد.

۵ــ تغییرات زاویهٔ کمبر و تغییر فاصله عرضی تایرها زیاد نیست، بنابراین سایش غیریکنواخت تایر کاهش می‌یابد.

۶ــ استهلاک مکانیزم تعلیق کم و در نتیجه نیاز به نگه‌داری و تعمیر آن نیز کم است.

۷ــ هزینهٔ طراحی و ساخت آن کم است.

معایب مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

۱ــ این مکانیزم تعلیق که از آن در تعلیق عقب استفاده می‌شود در طی مسیر پیچ جاده تمایل به کم فرمانی عقب خودرو دارد که به بیش‌فرمانی خودرو منجر می‌شود.

۲ــ استحکام این نوع مکانیزم تعلیق کم است، به‌طوری که برای بارهای زیاد و جاده‌های با ناهمواری زیاد مناسب نیست.

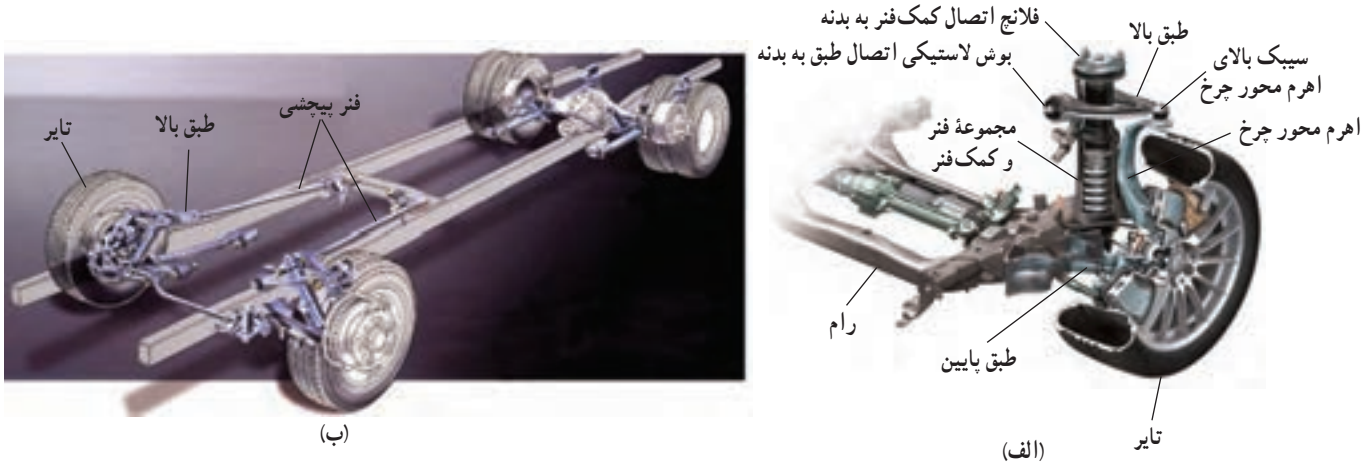
مکانیزم تعلیق مستقل

در مکانیزم تعلیق مستقل، ارتباطی بین چرخ چپ و راست (به‌جز میلهٔ ضد غلتش) وجود ندارد و حرکت چرخ چپ و راست آن مستقل از یکدیگرند از این رو حرکت عمودی یک چرخ بر عملکرد چرخ دیگر تأثیر نمی‌گذارد. بنابراین برای افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین می‌توان تغییرات مطلوبی در زوایای چرخ ایجاد نمود.

مکانیزم تعلیق مستقل، نسبت به مکانیزم‌های تعلیق یکپارچه و نیمه مستقل، دارای طراحی و ساخت مشکل‌تری‌ست و نهایتاً هزینهٔ بیشتری در پی‌دارد. ارتقای برخی پارامترهای محسوس خودرو، از قبیل راحتی سرنشین، پایداری خودرو، قابلیت شتاب‌گیری و ترمزگیری و کاهش آلایندگی زیست محیطی (صوتی و آلایندگی ناشی از احتراق) از جمله عواملی هستند که گرایش به استفاده از مکانیزم‌های تعلیق مستقل را بیش از پیش افزایش داده است.

در ادامه، برخی از انواع پرکاربرد مکانیزم‌های تعلیق مستقل معرفی و بررسی می‌شوند.

الف) مکانیـزم تعلیـق طَبَق‌دار دوبل : شکل ۳۳ــ۷، مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل را، که در سیستم تعلیق جلوی خودرو مورد استفاده قرار گرفته است، نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ــ۷ــ مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل با الف) فنر مارپیچ ب) فنر پیچشی

با توجه به شکل ۳۳ــ۷، در این مکانیزم تعلیق از دو طبق مثلثی استفاده شده که در رأس هر طبق یک سیبک نصب گردیده است. در قسمت قاعدهٔ طبق دو بوش لاستیکی پرس شده که مفصل طبق است و طبق را به رام یا بدنه خودرو وصل می‌کند. قسمت بالای اهرم محور چرخ به سیبک طبق بالا و قسمت پایین اهرم محور چرخ نیز به سیبک طبق پایین وصل است. چرخ نیز بر روی محور چرخ نصب گردیده است. از این‌رو چرخ در زیر بدنهٔ خودرو توسط مکانیزم تعلیق مهار شده است، ضمن آنکه قابلیت انجام حرکت‌های مطلوب (چرخیدن، فرمان گرفتن، حرکت عمودی، تغییر زوایای کمبر، کستر و غیره آنها) را نیز دارد.

شکل ۳۳ــ۷ــ ب مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل را، که در آن از فنر پیچشی استفاده شده است، نشان می‌دهد. از آنجایی که این مکانیزم در سیستم تعلیق جلو مورد استفاده قرار گرفته است، و فضای فرمان و سیستم مولد قدرت در آن، محدودیت دارد استفاده از فنر مارپیچ مشکل و پیچیده است. بنابراین از فنرهای پیچشی، که به صورت طولی در فضای غیر قابل استفادهٔ خودرو نصب شده‌اند استفاده شده است.

با توجه به مطالب بیان شده می‌توان مزایا و معایب این نوع مکانیزم تعلیق را به شرح ذیل بیان نمود :

مزایا

۱ــ حرکت چرخ‌ها بر روی یکدیگر تأثیر متقابل ندارند.

۲ــ قابلیت فرماندهی به چرخ‌ها بهتر صورت می‌پذیرد.

۳ــ با زیاد کردن فاصلهٔ دو طبق بالا و پایین از یکدیگر نیروی کمتری در مفاصل و بازوهای مکانیزم تعلیق به وجود می‌آید.

۴ــ تغییرات کمبر (افزایش کمبر منفی) طی مسیر پیچ جاده، نسبت به مکانیزم‌های دیگر، بهتر است و به افزایش پایداری خودرو و راحتی بیشتر سرنشین نسبت به سایر مکانیزم‌های تعلیق منجر می‌گردد. این موضوع با کوتاه‌تر در نظر گرفتن طول طبق بالا نسبت به طول طبق پایین ایجاد می‌شود.

۵ــ با تغییر زاویهٔ صفحهٔ طبق بالا و پایین در راستای طول خودرو، می‌توان خاصیت ضد چمباتمه و ضدشیرجه را هنگام شتاب‌گیری و ترمزگیری خودرو ایجاد کرد.

❊ معایب

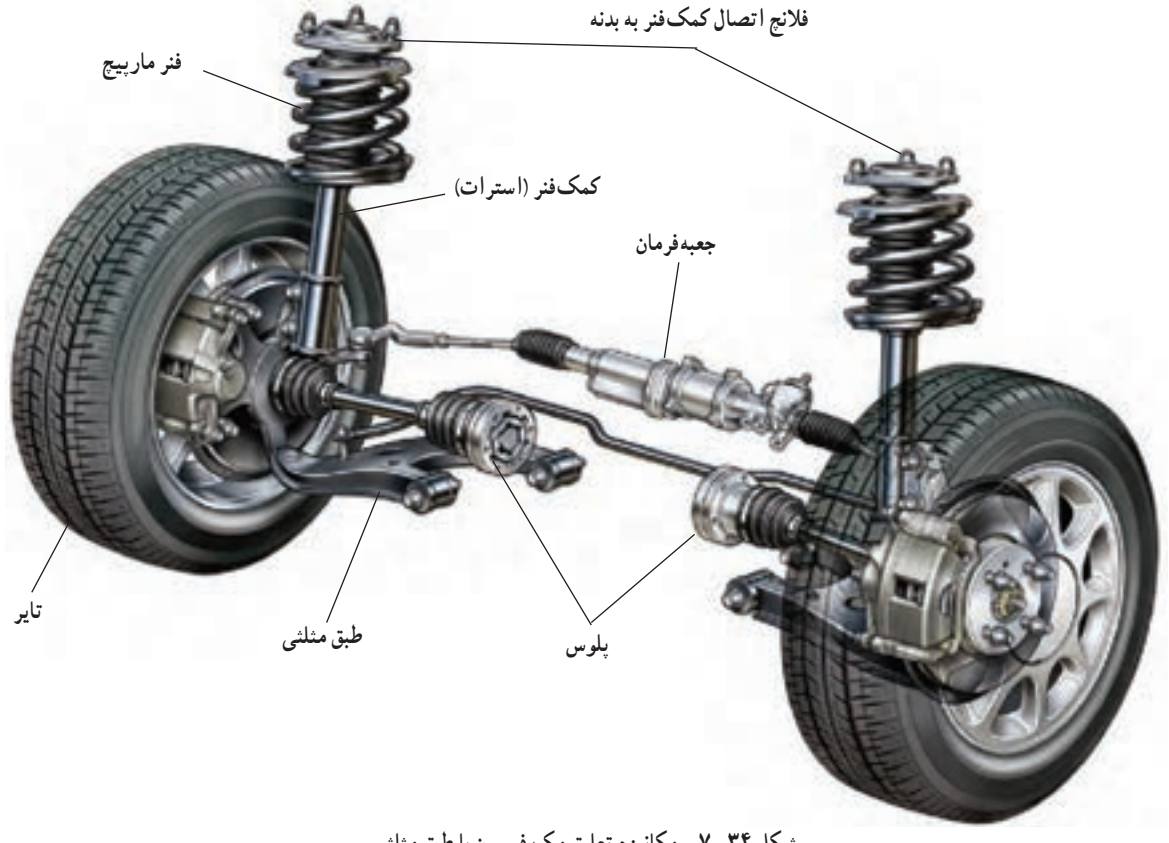
۱ــ هزینهٔ طراحی و ساخت آن زیاد است.

۲ــ فضای عرضی بیشتری اشغال کرده و برای خودروهایی که موتور آنها به صورت عرضی در جلو نصب می‌شود مناسب نیست.

۳ــ به دلیل زیاد بودن تعداد مفاصل و سیبک‌ها، نگه‌داری و تعمیر آن پرهزینه است.

ب) مکانیزم تعلیق مک فرسون : این مکانیزم در واقع نوع ساده شدهٔ مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل است، به نحوی که اگر در مکانیزم طبق‌دار دوبل، طول طبق بالا صفر در نظر گرفته شود و فنر و کمک فنر نیز بین محور چرخ و بدنهٔ خودرو قرار گیرد، مطابق شکل ۳۴ــ۷، مکانیزم تعلیق مک‌فرسون به‌دست می‌آید.

با توجه به شکل ۳۴ــ۷، در این مکانیزم تعلیق در قسمت پایین از یک طبق مثلثی استفاده می‌شود که توأماً قادر به تحمل نیروهای طولی و عرضی‌ست. در رأس این طبق از یک سیبک برای اتصال بازوی عمودی، که فنر و کمک فنر روی آن نصب کرده‌اند (و مجموعاً استرات[1] نامیده شده است)، استفاده می‌شود. و

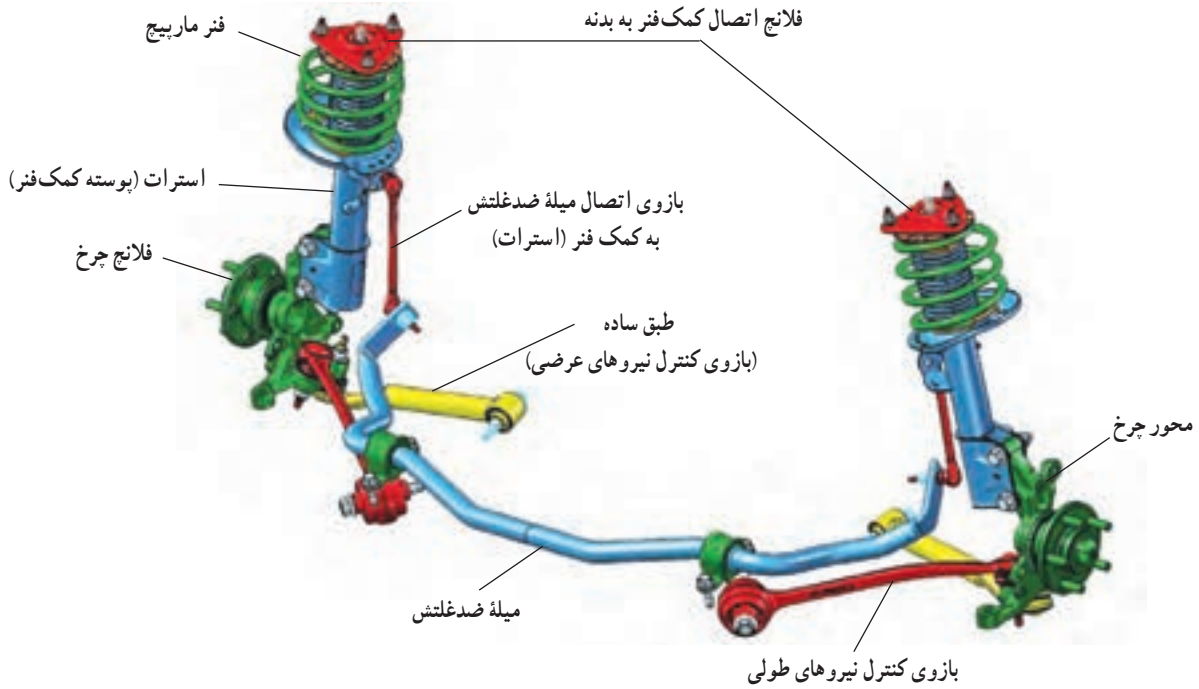


شکل ۳۴ــ۷ــ مکانیزم تعلیق مک فرسون با طبق مثلثی

۱ ــ Me Pherson Strut

تکیه‌گاه بالایی فنر توسط یک فلانچ به بدنهٔ خودرو متصل می‌گردد. محور چرخ و یاتاقان‌های چرخ نیز به استرات متصل می‌گردند.

در برخی از انواع این تعلیق، مطابق شکل ۳۵ــ۷، که طبق پایین ساده بوده و به شکل مثلثی نیست، طبق تنها قادر به تحمل نیروهای عرضی است. در این نوع تعلیق مک فرسون برای انتقال نیروهای طولی از چرخ به بدنهٔ خودرو و بالعکس از بازوی کنترلی نیروی طولی جداگانه‌ای استفاده شده است. همچنین در برخی از این نوع مکانیزم‌های تعلیق مک‌فرسون برای تحمل نیروهای طولی از میله ضد غلتشی استفاده شده است. که با این کار حجم و وزن تعلیق کاهش می‌یابد.



شکل ۳۵ــ۷ــ مکانیزم تعلیق مک فرسون با طبق ساده

به‌طور کلی مزایا و معایب این مکانیزم تعلیق به شرح زیر است :

❊ مزایا

۱ــ فضای عرضی کمی اشغال می‌کند بنابراین برای خودروهای محرک جلو که موتور آن به‌صورت عرضی نصب می‌شود، مناسب است.

۲ــ طراحی و ساخت آن نسبت به مکانیزم طبق‌دار دوبل آسان‌تر است.

۳ــ در این نوع مکانیزم تعلیق از کمک فنر به منزلهٔ یکی از بازوهای مکانیزم تعلیق استفاده شده است. درواقع این مکانیزم تعلیق، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل، بازوها و اتصالات کمتری دارد.

۴ــ با توجه به زیاد بودن فاصلهٔ بین سیبک پایین استرات تا محل اتصال کمک فنر به بدنهٔ خودرو، در مفاصل و بازوهای این مکانیزم، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل، نیروی کمتری ایجاد می‌شود. بنابراین استهلاک کمتر و هزینهٔ نگه‌داری و تعمیر کمتری دارد.

۵ــ تغییر تَرَک (Track) و زوایای کمبر، کستر و تو در این مکانیزم، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل، کمتر و در نتیجه سایش غیریکنواخت تایر نیز کمتر است.

❊ معایب

۱ــ به دلیل استفاده از کمک فنر، به منزلهٔ یکی از بازوهای مکانیزم تعلیق، آسیب‌پذیری آن زیادتر شده است.

۲ــ با توجه به اینکه فنر و کمک فنر، در نقش بازوهای مکانیزم تعلیق، مستقیماً به بدنهٔ خودرو متصل‌اند، ارتعاشات و

ضربات چرخ بیشتری به بدنهٔ خودرو منتقل می‌شود.

۳ــ به دلیل آنکه فنر و کمک فنر روی یک مجموعه قرار می‌گیرند طراحی و ساخت تکیه‌گاه کمک فنر روی بدنهٔ خودرو مشکل است.

۴ــ تغییرات فواصل و زوایای چرخ این مکانیزم نسبت به مکانیزم تعلیق طبق‌دار دوبل نامناسب و در نتیجه پایداری خودرو با استفاده از این مکانیزم کمتر است.

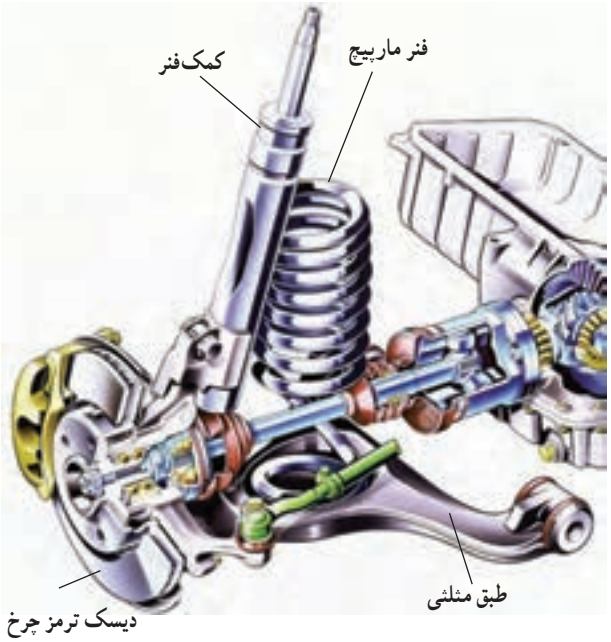
۵ــ به دلیل آنکه فنر و کمک فنر بر روی استرات نصب شده‌اند و هنگام فرمان دادن، کل مجموعه دَوَران می‌کند، از این‌رو سفتی فرمان بیشتر می‌شود.

۶ــ بالانس نبودن تایر نسبت به مکانیزم طبق‌دار دوبل، مشکلات بیشتری، به همراه دارد.

۷ــ با توجه به کم بودن فضای بین کمک فنر و تایر، بستن زنجیر چرخ مشکل‌تر است.

۸ــ فضای مورد نیاز برای نصب فنر محدود و از این‌رو طراحی فنر نیز مشکل است.

با توجه به شکل ۳۶ــ۷، به منظور افزایش راحتی سرنشین و آسان‌تر شدن مراحل طراحی و ساخت تکیه‌گاه‌های فنر و کمک‌فنر،



شکل ۳۶ــ۷ــ مکانیزم تعلیق استرات دمپر

در مکانیزم تعلیق مک فرسون، فنر و کمک فنر را جدا از یکدیگر نصب می‌کنند و این نوع مکانیزم تعلیق را «استرات دمپر[1]» می‌نامند.

❋ مزایای مکانیزم تعلیق استرات دمپر

۱ــ طراحی تکیه‌گاه فنر و کمک فنر در بدنهٔ خودرو، به‌سبب جدا بودن فنر از کمک فنر ساده است.

۲ــ نظر به اینکه فنر به صورت جداگانه نصب می‌شود محدودیت مکانی برای نصب فنر کمتر و طراحی آن راحت‌تر است.

۳ــ نصب زنجیر چرخ راحت‌تر است.

❋ معایب مکانیزم تعلیق استرات دمپر

۱ــ فضای عرضی بیشتری اشغال می‌کند و برای خودروهای محرک جلو با موتور عرضی مناسب نیست و در صورت استفاده در سیستم تعلیق عقب، فضای صندوق عقب کوچک و غیرمسطح می‌شود.

۲ــ به دلیل نزدیک شدن فنر سمت چپ و راست به یکدیگر، حرکت رول(غلت) بدنهٔ خودرو افزایش، و راحتی سرنشین و پایداری خودرو کاهش می‌یابد.

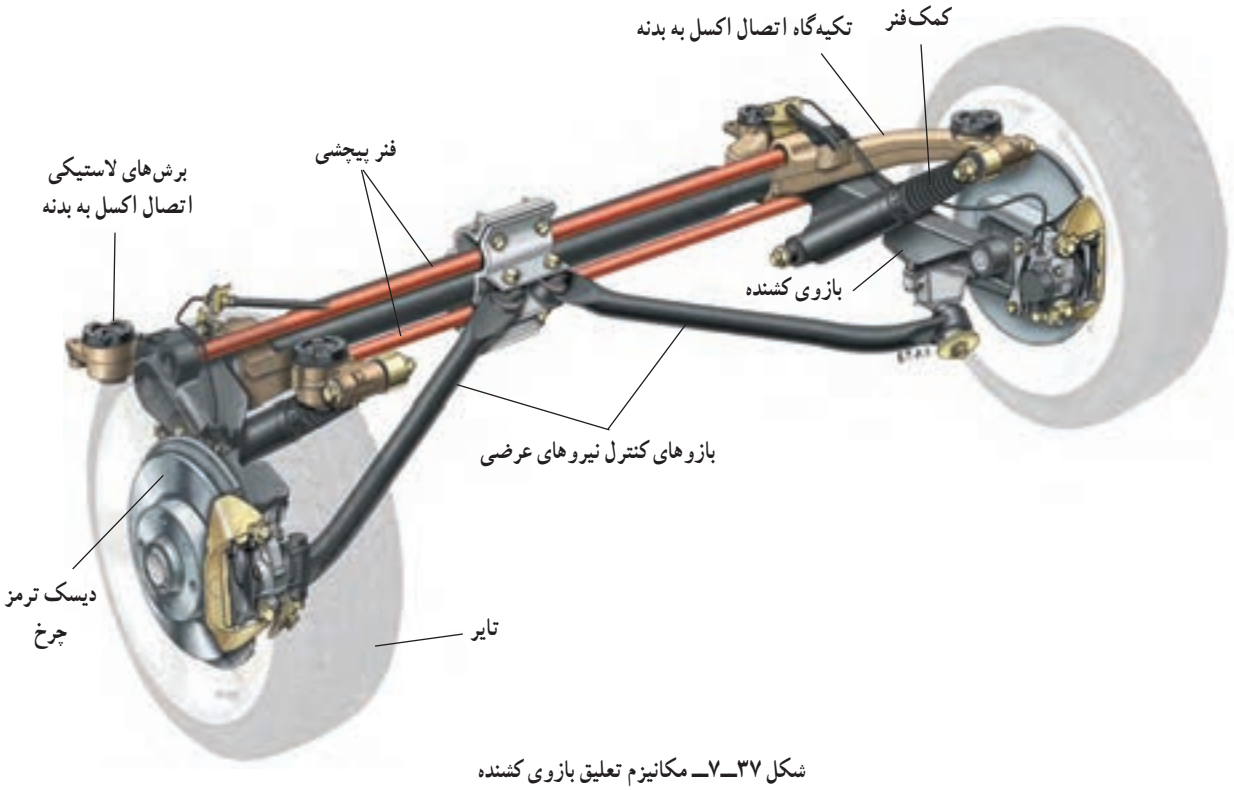
۳ــ با توجه به اینکه کمک فنر به صورت یکی از بازوهای مکانیزم تعلیق ایفای نقش می‌کند، ضمن آنکه به‌طور مستقیم به زیر بدنهٔ خودرو نصب گردیده است، ارتعاشات بیشتری را از چرخ به بدنهٔ خودرو منتقل می‌سازد. بنابراین راحتی سرنشین در این مکانیزم نسبت به طبق‌دار دوبل کمتر است.

پ) مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

از این نوع مکانیزم تعلیق، که در شکل ۳۷ــ۷، نیز ملاحظه می‌شود، معمولاً در سیستم تعلیق عقب غیر محرک استفاده می‌شود. از آنجایی که در این مکانیزم چرخ‌ها توسط بازوهایی کشیده می‌شود، به آن «بازوی کشنده» گفته می‌شود.

مطابق شکل ۳۷ــ۷، در این مکانیزم تعلیق هر چرخ دارای یک بازوی کشنده برای انتقال نیروهای طولی، عرضی و گشتاورهای حاصل از آنها به بدنهٔ خودرو و بالعکس است. در یک سمت این بازو، محور چرخ را به منظور نصب چرخ و یاتاقان‌های غلتشی آن تعبیه می‌کنند و در طرف دیگر، توسط بوش

۱ــ Strut Damper



شکل ۳۷ــ۷ــ مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

لاستیکی یا رولبرینگ سوزنی روی پوسته اکسل یاتاقان‌بندی می‌شود و نهایتاً پوستهٔ اکسل به بدنهٔ خودرو وصل می‌گردد. در این تعلیق می‌توان از دو نوع فنر مارپیچ و پیچشی استفاده نمود. فنرهای پیچشی در جهت محور عرضی و در صورت استفاده از فنر مارپیچ به صورت عمودی نصب می‌شوند.

معمولاً برای افزایش فضای صندوق عقب از فنرهای پیچشی در جهت عرض استفاده می‌شود. در این نوع مکانیزم تعلیق، معمولاً محور دَوَران بازوهای کشنده با محور عرضی خودرو هم راستا و بدون زاویه است. بنابراین با حرکت رو به بالا و پایین چرخ، تغییر زاویهٔ کمبر در آن صورت نمی‌گیرد و پایداری جهتی خودرو مطلوب است.

یادآوری می‌شود برای پایداری خودرو، معمولاً زاویهٔ کمبر منفی اولیه ۳۰َ ± ۰°۳ و ۱° در آن ایجاد می‌شود.

مزایای مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

۱ــ فضای صندوق عقب بیشتر و مسطح‌تر است.

۲ــ در صورت استفاده از فنرهای پیچشی فضای کافی برای تایر، زاپاس و باک سوخت موجود است.

۳ــ این مکانیزم تعلیق نسبت به تعلیق نیمه مستقل استحکام بیشتری دارد و با اِعمال نیروی وزن زیاد تغییر زوایای کمتری در آن صورت می‌گیرد، از این‌رو سایش غیر یکنواخت تایر اندک است.

۴ــ با استفاده از فنرهای پیچشی و انتخاب طول مناسب برای بازوهای کشنده می‌توان برای فنرها خاصیت سخت شوندگی ایجاد نمود که به پایداری بهتر و کاهش حرکت رول و پیچ منجر می‌شود.

۵ــ این مکانیزم تعلیق دارای خاصیت ضد چمباتمه است و هنگام شتاب‌گیری، عقب خودرو کمتر به سمت پایین حرکت می‌کند.

۶ــ استهلاک و هزینهٔ نگه‌داری و تعمیر آن اندک است.

معایب مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

۱ــ با توجه به هم‌راستا بودن بازوی کشنده با محور عرضی چرخ‌های خودرو، در طی مسیر پیچ هیچ‌گونه تغییر زاویه‌ای ندارد، در نتیجه پایداری در مسیر پیچ کاهش می‌یابد.

۲ــ به دلیل ایجاد زاویهٔ کمبر منفی دائم (به منظور افزایش

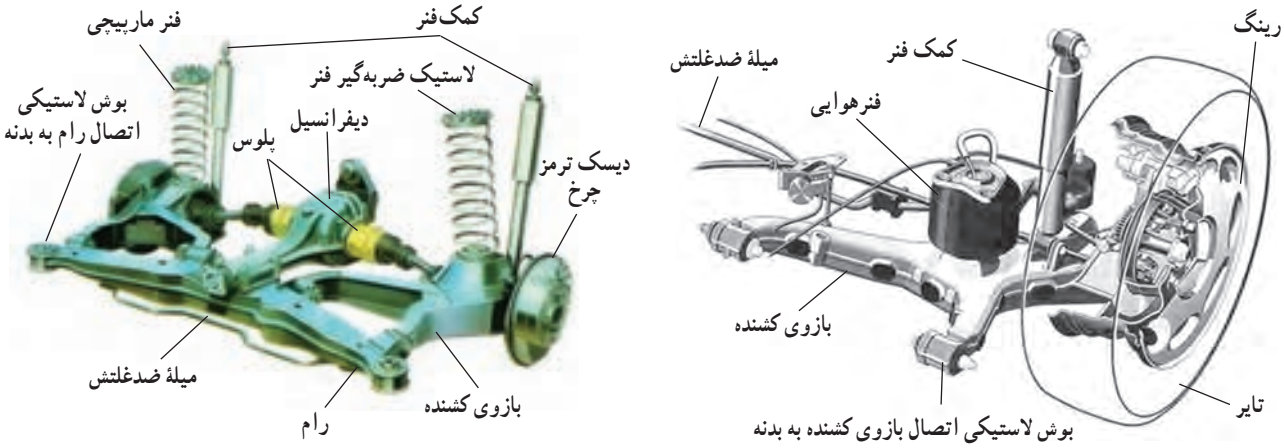
ترک در چرخ ها) تایرها سایش غیر یکنواخت خواهند داشت.

۳ــ مفاصل بازوهای کشنده به‌علت تحمل گشتاورهای حاصل از نیروی طولی، عرضی و عمود باید مستحکم باشند. وگرنه به افزایش وزن و افزایش قیمت تمام شده منجر می‌گردد.

۴ــ این مکانیزم تعلیق هنگام حرکت خودرو در مسیر پیچ جاده تمایل به کم‌فرمانی عقب خودرو دارد که به بیش‌فرمانی خودرو منجر می‌شود.

ت) مکانیزم تعلیق شبه میلهٔ کشنده[1]

این مکانیزم، همان‌طور که در شکل ۳۸ــ۷ ملاحظه می‌شود در حقیقت یک تعلیق بازوی کشنده با بازوهای کشنده قوی‌تر و دوشاخه‌ای‌ست، که در سیستم تعلیق محرک و متحرک عقب خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳۸ــ۷ــ مکانیزم تعلیق شبه کشنده با الف) فنر هوایی ب) فنر مارپیچ

بازوی کشنده در قسمت دو شاخه‌ای به منظور اتصال به بدنهٔ خودرو دارای دو مفصل با بوش‌های لاستیکی‌ست. محور این مفاصل با خط عرضی خودرو زاویه‌ای ایجاد می‌نماید. بنابراین با حرکت چرخ به بالا یا بدنهٔ خودرو به سمت پایین در اثر ناهمواری جاده یا در طی مسیر پیچ جاده، زاویهٔ کمبر منفی چرخ افزایش می‌یابد، که به‌منظور افزایش ترک و کاهش حرکت رول مناسب است.

از طرف دیگر، هنگامی که خودرو در حال طی مسیر پیچ جاده است، در چرخ بیرون پیچ این مکانیزم زاویهٔ سرجمعی و در چرخ داخل پیچ آن زاویهٔ سربازی به‌وجود آید و باعث می‌شود این مکانیزم بیش فرمان گردد. به عبارت دیگر، قسمت عقب خودرو به داخل پیچ منحرف می‌شود و درنتیجه سر خودرو به سمت بیرون پیچ منحرف می‌گردد و نهایتاً خودرو کم فرمان شود.

مزایا و معایب مکانیزم تعلیق شبه کشنده به شرح زیرند :

**** مزایا***

۱ــ تغییرات زاویهٔ سرجمعی در مسیر پیچ جاده به منظور کم فرمانی خودرو مطلوب است.

۱ــ می‌توان برای زاویهٔ کمبر، که به پایداری منجر می‌شود، تغییرات مناسب ایجاد نمود.

۲ــ فضای کافی و مناسب برای صندوق عقب وجود دارد.

۳ــ وزن قطعات فنربندی نشده کاهش می‌یابد.

۴ــ برای سیستم تعلیق محرک عقب مناسب است.

**** معایب***

۱ــ تغییرات زاویهٔ کمبر آن ناگهانی‌ست. بنابراین تغییرات فاصلهٔ عرضی چرخ‌ها (ترک) زیاد است و پایداری سویی خودرو دچار مشکل می‌شود. در عین حال سایش تایر نیز افزایش می یابد.

---

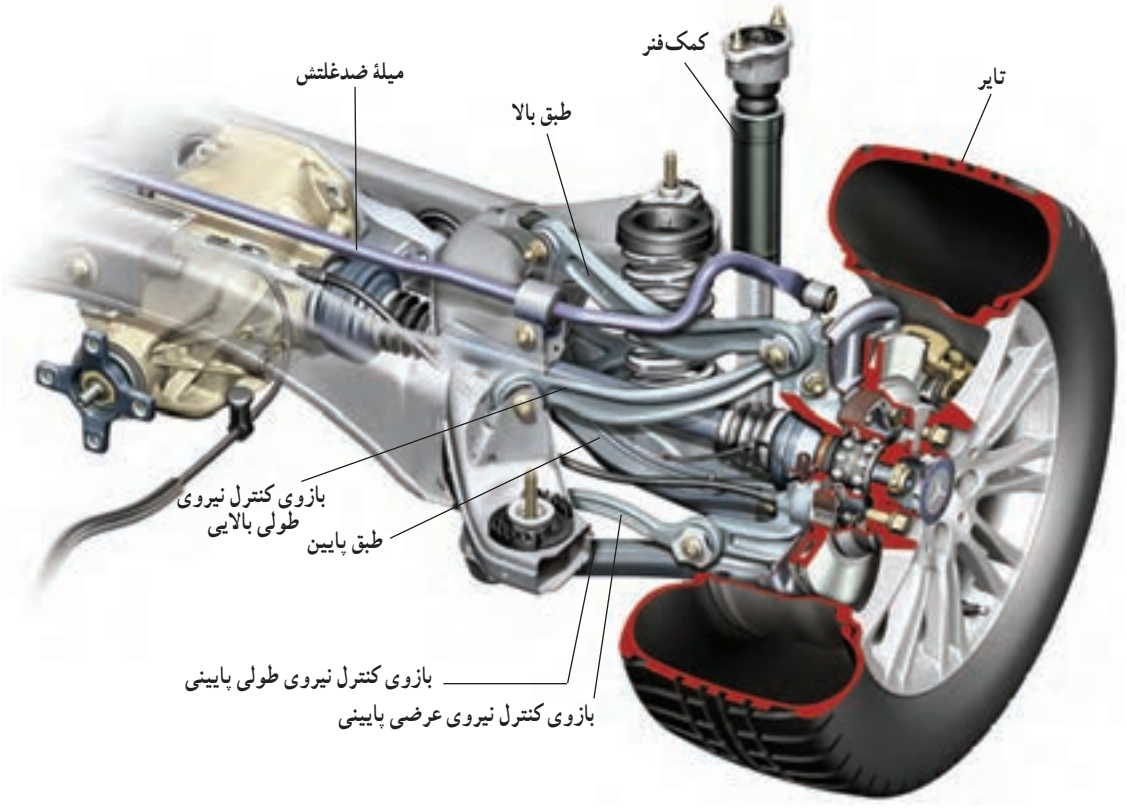
۱ ــ Semi trailing arm

۲ــ در صورتی که سیستم تعلیق محرک باشد، برای هر پلوس به دو عدد مفصل کروی، که به افزایش هزینهٔ طراحی، ساخت، نگه‌داری و تعمیر آن منجر می‌گردد، نیاز است.

ث) مکانیزم تعلیق چند میله‌ای[1] : مطابق شکل ۳۹ــ۷، این مکانیزم در حقیقت یک مکانیزم طبق‌دار دوبل فضایی و پیشرفته است و به دلیل افزایش تعداد بازوها با طول‌ها و زوایای متفاوت آن می‌توان خصوصیات سینماتیکی مطلوبی در چرخ‌ها ایجاد نمود.

گفتنی است این نوع مکانیزم را بیشتر در تعلیق عقب به صورت محرک و غیر محرک به کار می‌برند. در این مکانیزم از دو یا سه میلهٔ عرضی و یک یا دو میلهٔ کشنده در جهت طول خودرو در هر طرف استفاده شده است.

این مکانیزم تعلیق از لحاظ افزایش ایمنی و پایداری خودرو و راحتی سرنشین، نسبت به سایر مکانیزم‌های تعلیق، برتری دارد ولی عیب اصلی آن هزینهٔ طراحی و تولید بالای آن است.



شکل ۳۹ــ۷ــ مکانیزم تعلیق چند میله‌ای در سیستم تعلیق محرک عقب

۱ ــ Multi link

آزمون پایانی

۱ــ وظایف سیستم تعلیق را توضیح دهید.
۲ــ انواع رفتار خودرو طی حرکت در مسیر پیچ جاده را توضیح دهید.
۳ــ دوران بدنه حول محور عرضی را شرح دهید.
۴ــ ویژگی‌های ناشی از افزایش فاصله طولی بین محور چرخ‌های خودرو را توضیح دهید.
۵ــ زاویه کمبر را تعریف کنید و انواع آن را توضیح دهید.
۶ــ زاویه کینگ پین باعث ایجاد چه خصوصیاتی در چرخ‌های فرمان‌پذیر می‌شود؟
۷ــ زاویه تو را تعریف کنید.
۸ــ وظایف سیستم فنربندی را بیان کنید.
۹ــ فنر سخت‌شونده را توضیح دهید.
۱۰ــ مزایا و معایب فنرهای شمشی را توضیح دهید.
۱۱ــ نحوه عملکرد کمک فنر گازی را توضیح دهید.
۱۲ــ سیبک را تعریف کنید.
۱۳ــ سیستم تعلیق غیر فعال را شرح دهید.
۱۴ــ مزایا و معایب سیستم تعلیق مک فرسون را بیان کنید.