

سیستم تعلیق

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

- ۱- دلایل لزوم سیستم تعلیق را شرح دهد.
- ۲- انواع رفتار خودرو را، هنگام طی مسیر پیچ جاده، نام ببرد.
- ۳- محور مختصاتی خودرو را رسم کند.
- ۴- دَوَران‌های بدنهٔ خودرو را حول محورهای مختصاتی شرح دهد.
- ۵- نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ساکن نام ببرد.
- ۶- نیروهای وارد بر خودرو را در حال حرکت نام ببرد.
- ۷- نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ترمزگیری نام ببرد.
- ۸- نیروهای وارد بر خودرو را هنگام طی مسیر پیچ جاده نام ببرد.
- ۵- زوایای چرخ را در نماهای مختلف دسته‌بندی کند.
- ۹- دلایل لزوم سیستم فنربندی را بیان کند.
- ۱۰- اجزای سیستم تعلیق را نام ببرد.
- ۱۱- انواع فنر را دسته‌بندی کند.
- ۱۲- انواع کمک فنر را دسته‌بندی کند.
- ۱۳- انواع سیستم‌های تعلیق را از دیدگاه ارتعاشی نام ببرد.
- ۱۴- انواع مکانیزم‌های تعلیق را دسته‌بندی کند.
- ۱۵- 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 بدنه خودرو در راستای عمودی، که عمدتاً ناشی از ناهمواری جاده است، به وسیله کمک فنر مستهلک، و به افزایش راحتی سرنشین و آسیب ندیدن بدنه و قطعات خودرو منجر می‌گردد. از این رو به مجموعه فنر و کمک فنر سیستم تعلیق، «فربندی» گفته می‌شود.

به علاوه 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 بدنه 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 به طور مناسب و پایدار هدایت شود. برای انتقال نیروهای فوق‌الذکر از بدنه 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 مفصل‌های سیستم تعلیق «مکانیزم تعلیق» می‌گویند. از طرفی زوایا و فواصل هندسی مکانیزم تعلیق و چرخ‌ها باید بتوانند در طی مسیر پیچ جاده به طور مناسب تغییر کنند تا به افزایش ایمنی و راحتی سرنشین و پایداری خودرو منجر گردد. در مکانیزم‌های مختلف تعلیق، شکل و نحوه اتصال این بازوها متفاوت است که در ادامه این فصل، به تشریح آنها پرداخته می‌شود. بنابر موارد ذکر شده به طور خلاصه اهم وظایف سیستم تعلیق عبارت‌اند از:

- ۱- انتقال نیروهای طولی، عرضی و عمودی از تایر به بدنه خودرو و بالعکس
- ۲- جلوگیری از انتقال مستقیم ارتعاشات ناشی از ناهمواری جاده به بدنه خودرو و مستهلک کردن ارتعاشات چرخ و بدنه خودرو؛
- ۳- تماس مطمئن و دائمی چرخ با زمین؛
- ۴- 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.

۷-۱- رفتار خودرو طی حرکت در مسیر پیچ جاده
چنانچه هنگام حرکت خودرو در طی مسیر پیچ جاده با شعاع ثابت و ثابت‌نگه‌داشتن زاویه غریبک فرمان، سرعت خودرو به آرامی افزایش یابد، خودرو مطابق شکل ۷-۱ دارای رفتارهای زیر خواهد بود.

۷-۱-۱- حالت کم فرمانی^۱: مطابق شکل ۷-۱، 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 رابطه (۷-۱)، 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.

$$F = \frac{mV^2}{R} \quad (7-1)$$

۷-۲- سیستم مختصات خودرو

با توجه به شکل ۷-۲، خودرو حول محورهای طولی،

عرضی و عمودی دَوَران‌هایی به شرح زیر دارد :

۷-۲-۱- دَوَران بدنه، حول محور طولی : دَوَران

بدنهٔ خودرو حول محور طولی آن (محور x) را حرکت غلت (رول)^۱ می‌نامند. این حرکت اغلب در اثر نیروی عرضی (جانب مرکز) طی مسیر پیچ جاده به وجود می‌آید و در حرکت خودرو بر روی ناهمواری‌های نامتقارن نیز ایجاد می‌شود.



دَوَران حول محور z (یار)

دَوَران حول
محور x (رول)

دَوَران حول
محور y (پیچ)

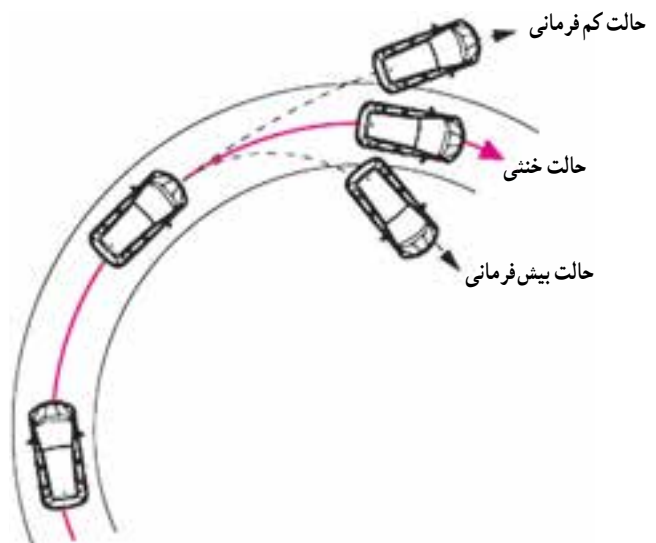
شکل ۷-۲- سیستم مختصات خودرو

۷-۲-۲- دَوَران بدنهٔ حول محور عرضی : دَوَران بدنهٔ

خودرو حول محور عرضی آن (محور y) را حرکت پیچ^۲ می‌نامند. این حرکت بیشتر در اثر نیروهای طولی نظیر شتاب‌گیری و ترمزگیری ایجاد می‌شود. مطابق شکل ۷-۳، 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.



شکل ۷-۱- 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)

۷-۱-۲- 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 رابطه (۷-۱) باعث افزایش نیروی جانب مرکز و حرکت رول می‌شود و پایداری خودرو طی مسیر پیچ، کاهش می‌یابد.

۷-۱-۳- 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 بیش فرمان یا کم فرمان می‌شود و راننده قادر به کنترل خودرو نخواهد بود.

۱ - oversteer

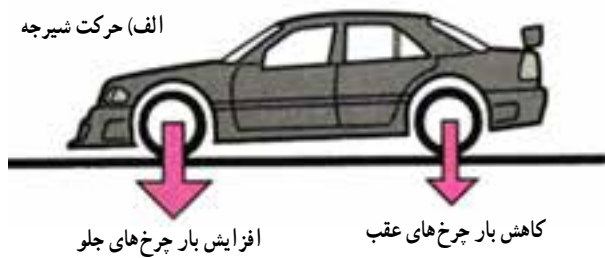
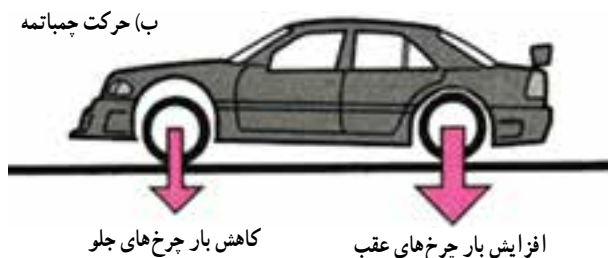
۳ - Ro

۵ - D ve

۲ - Neutra steer

۴ - p tch

۶ - squat



شکل ۷-۳- حرکت شیرجه و چمباتمه

۷-۲-۳- دَوَران بدنه، حول محور عمودی: دَوَران بدنه خودرو، حول محور عمودی آن (محور z) را حرکت یاو می‌نامند. می‌آید. این حرکت در اثر تغییر جهت خودرو به دلیل فرمان‌گیری به وجود می‌آید.

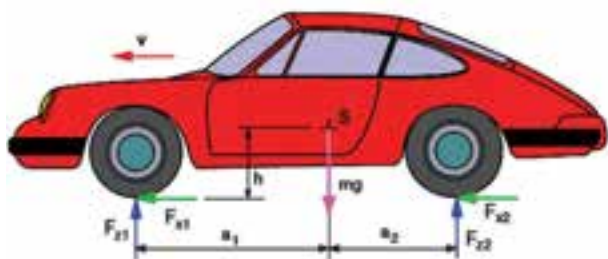
نکته: گفتنی است که بروز حرکت‌های غلت (رول) و پیچ در بدنه خودرو باعث کاهش راحتی سرنشین و کاهش ایمنی خودرو می‌شود. لذا طراحان خودرو تلاش می‌کنند در حد امکان حرکت‌های رول و پیچ بدنه خودرو را کاهش دهند.

۷-۳- نیروهای وارد بر خودرو در حالت‌های مختلف

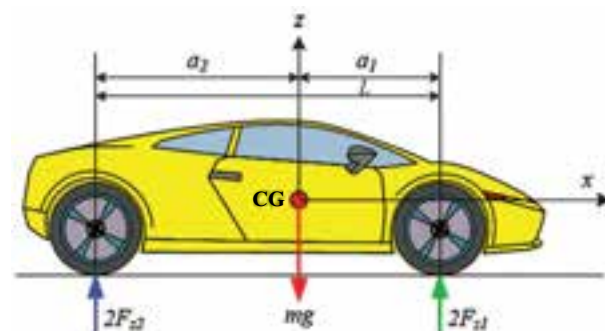
در این بخش نیروهای وارد بر خودرو در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷-۳-۱- نیروهای وارد بر خودرو در حالت سکون:

شکل ۷-۴، نیروهای وارد بر خودرو را در حالت سکون نشان



شکل ۷-۵- نیروهای وارد بر خودرو در حال حرکت

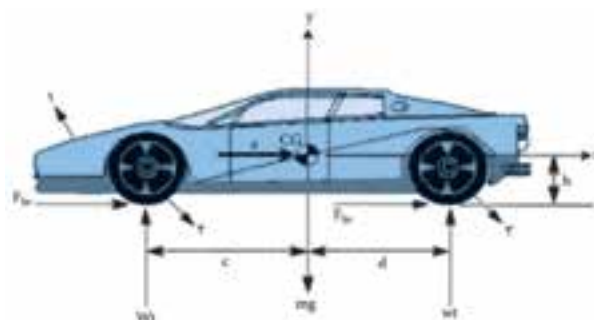


شکل ۷-۴- نیروهای وارد بر خودرو در حالت سکون

۱- خودرو ۲- چرخ جلو ۳- چرخ عقب 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 : فاصله طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو a_2 : فاصله طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو F_{x1} : نیروی عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر چرخ‌های جلو (نیروی عکس‌العمل وزن) F_{x2} : 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

۱- خودرو ۲- چرخ جلو ۳- چرخ عقب x: محور طولی خودرو z: محور عمودی خودرو mg: وزن خودرو CG: مرکز ثقل خودرو a_1 : فاصله طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو a_2 : فاصله طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو F_{x1} و F_{x2} : نیروهای عکس‌العمل عمودی وزن وارد بر هر چرخ (نیروی عکس‌العمل وزن) $L = a_1 + a_2$: فاصله مرکز چرخ جلو تا مرکز چرخ عقب (wheel base)

۷-۳-۳ نیروهای وارد بر خودرو در حالت ترمزگیری: شکل ۷-۶، نیروهای وارد بر خودرو را در حالت ترمزگیری نشان می‌دهد.



شکل ۷-۶ نیروهای وارد بر خودرو در حالت ترمزگیری

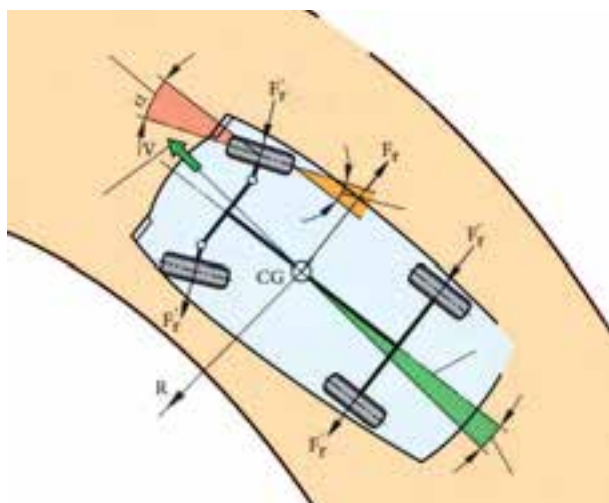
۱- خودرو ۲- چرخ‌های جلو ۳- چرخ‌های عقب h : ارتفاع مرکز ثقل خودرو a : شتاب منفی mg : وزن خودرو CG : مرکز ثقل خودرو x : محور طولی خودرو z : محور عمودی خودرو d : فاصله طولی مرکز چرخ عقب تا مرکز ثقل خودرو c : فاصله طولی مرکز چرخ جلو تا مرکز ثقل خودرو F_{br} : نیروی ترمزی چرخ‌های جلو F_{br} : نیروی ترمزی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

۷-۴-۴ فاصله طولی بین محور چرخ‌ها

با توجه به شکل ۷-۸، فاصله بین مرکز چرخ جلو تا مرکز چرخ عقب را فاصله طولی محور چرخ‌ها^۱ گویند. با زیادتر شدن فاصله طولی بین محور چرخ‌های خودرو وضعیت‌هایی به شرح زیر ایجاد می‌شود:

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

۷-۳-۴ نیروهای وارد بر خودرو هنگام عبور از پیچ جاده: شکل ۷-۷، نیروهای وارد بر خودرو را هنگام عبور از پیچ جاده نشان می‌دهد.

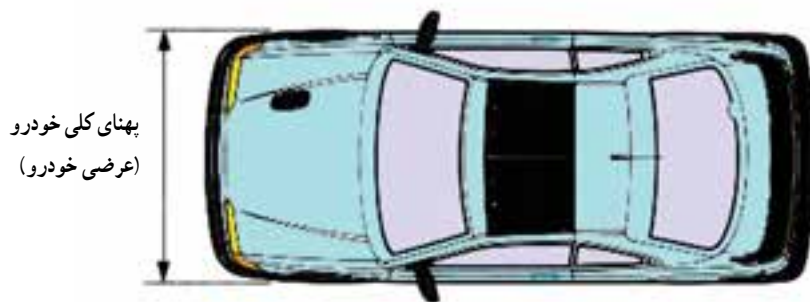
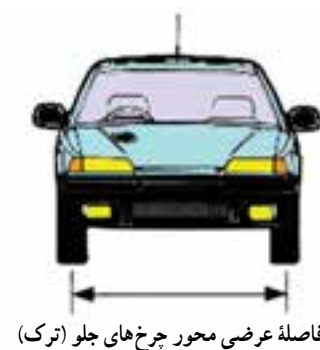
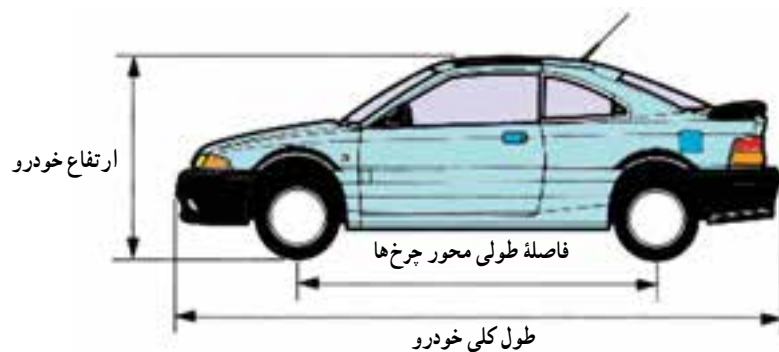


شکل ۷-۷ نیروهای وارد بر خودرو هنگام عبور از پیچ جاده

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

۲- انتقال بار در زمان ترمزگیری و شتاب‌گیری روی محورها کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث کاهش حرکت پیچ خودرو می‌شود.
 ۳- باعث بزرگ شدن محفظه سرنشین و راحتی سرنشین می‌شود.

۴- فرمان‌پذیری خودرو، به خصوص در فضاها کوچک، کاهش می‌یابد.



شکل ۸-۷- فاصله طولی و عرضی محور چرخ‌ها

۵-۷- فاصله عرضی بین محور چرخ‌ها

مطابق شکل ۸-۷، فاصله عرضی بین مرکز چرخ‌های چپ و راست روی سطح زمین از دید روبه‌رو را «ترک»^۱ گویند. این فاصله به دلایل زیر همواره از پهنای کلی (عرض خودرو) خودرو کوچک‌تر است.

۱- افزایش فرمان‌پذیری چرخ‌های جلو؛

۲- ایجاد فضای کافی برای نصب زنجیر چرخ.

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

۱- افزایش پایداری سویی خودرو؛

۲- جلوگیری از فرسودگی زیاد تایر؛

۳- 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»^۲ یا «پایداری جهتی»^۱ گویند.

۶-۷- زوایای چرخ

به منظور دستیابی به اهداف مختلف، از جمله پنج مورد

زیر، زوایایی برای چرخ‌های خودرو در نظر گرفته می‌شود:

۱- افزایش پایداری خودرو؛

۲- برگشت‌پذیری فرمان بعد از عبور از پیچ جاده؛

افزایش این فاصله، هنگامی که خودرو در حال عبور از

مسیر پیچ جاده است، باعث عواملی به شرح زیر می‌شود:

۱- انتقال بار کمتر از چرخ داخل پیچ به چرخ خارج پیچ؛

۲- کاهش حرکت غلت (رول) بدنه خودرو و در نتیجه

افزایش پایداری و راحتی سرنشین.

۳- سایش غیرعادی نداشتن تایر؛

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

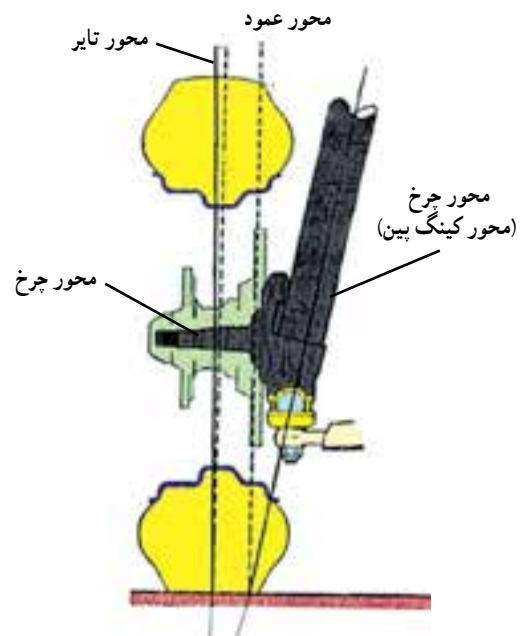
۵- احساس مطلوب راننده از عکس العمل غریبک فرمان و جلوگیری از انحراف خودروی در حال حرکت به سمت چپ و راست.

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 ۷-۹، به بیان چند مفهوم، که در بررسی زوایای چرخ مورد نیاز است، پرداخته می‌شود:

۱- به محور دَوَران چرخ، مطابق شکل ۷-۹، اصطلاحاً «محور چرخ» گویند.

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



شکل ۷-۹- چرخ خودرو در نمای روبه‌رو

۳- 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.

۱-۶-۷- زوایای چرخ در نمای روبه‌رو: در نمای روبه‌رو، چرخ دارای زوایای کمبر^۱ و انحراف محور چرخ به شرح زیر است:

زاویه کمبر: زاویه بین محور قائم و محور تقارن چرخ در نمای روبه‌رو را زاویه کمبر نامند. این زاویه، با توجه به شکل ۷-۱۰، سه حالت دارد:

الف) کمبر مثبت^۲: چنانچه قسمت بالای تایر به سمت بیرون خودرو منحرف شود.

ب) کمبر منفی^۳: 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 فاصله مرکز ثقلی خودرو از زمین و کاهش ترک چرخ‌ها می‌شود. همچنین سایش غیریکنواخت تایر را نیز از قسمت شانه بیرونی آن در پی خواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده در اکثر خودروها در چرخ‌های جلو با تعلیق مستقل از زاویه کمبر مثبت به اندازه ۵ تا ۱۰ دقیقه به دلایل ذیل استفاده می‌شود:

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

۲- با افزایش نیروی وزن اعمالی به چرخ‌های جلو، مقدار زاویه کمبر صفر می‌شود و سایش تایر به حداقل ممکن می‌رسد.

۱ - Camber ang e

۲ - Pos t ve camber

۳ - Negat ve camber



شکل ۱۰-۷. حالت‌های مختلف زاویه کمر چرخ

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

زاویه انحراف محور چرخ (زاویه کینگ پین): مطابق

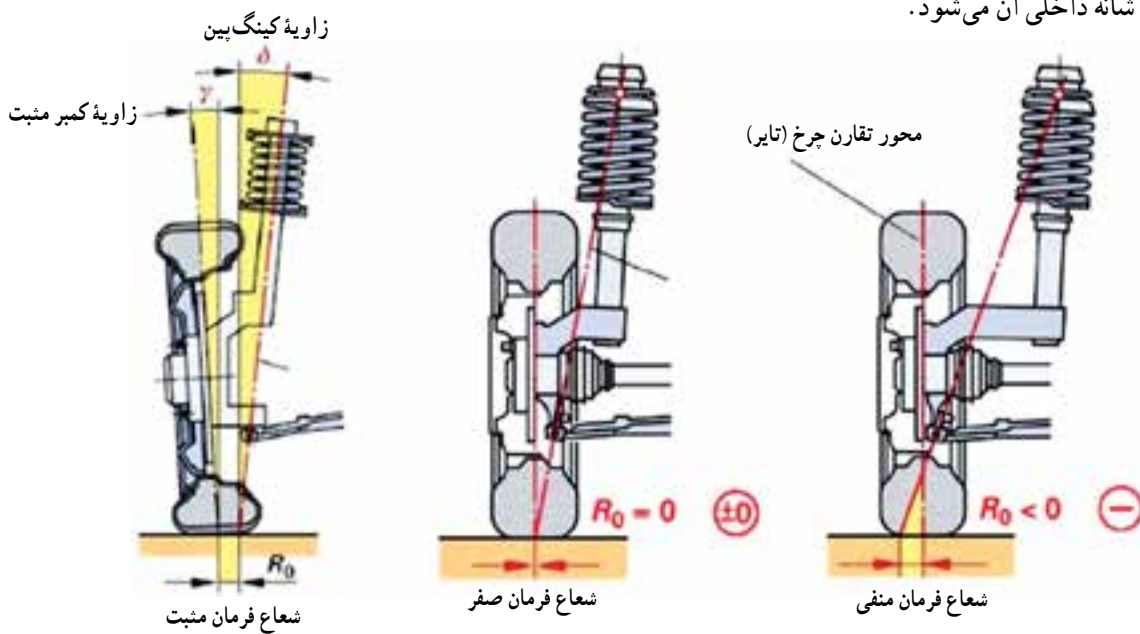
شکل ۱۱-۷، زاویه بین اهرم محور چرخ و خط قائم را در نمای روبه‌رو زاویه انحراف محور چرخ یا «زاویه کینگ پین» می‌نامند. این زاویه مختص چرخ‌های فرمان‌پذیر است و در حدود 15° در نظر گرفته می‌شود.

زاویه کینگ پین باعث ایجاد موارد زیر در چرخ‌های فرمان‌پذیر می‌شود:

۱- برگشت پذیری فرمان پس از رها کردن فرمان در حین

با استفاده از زاویه کمر منفی علاوه بر اینکه فاصله عرضی

بین چرخ‌های چپ و راست (ترک) افزایش می‌یابد، 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 این منظور ممکن است در چرخ‌های جلو با تعلیق مستقل از زاویه کمر بین صفر تا 2° و 1° استفاده شود و در چرخ‌های عقب از زاویه کمر $30' \pm 30'$ و 1° استفاده شود. قابل ذکر است که کمر منفی باعث سایش غیریکنواخت تایر از قسمت شانه داخلی آن می‌شود.



شکل ۱۱-۷. زاویه انحراف محور چرخ (زاویه کینگ پین)

- حرکت خودرو
- ۲- کاهش شعاع فرمان و بنابراین کاهش گشتاور فرمان دادن توسط راننده (نرم شدن فرمان)
- ۳- با وجود این زاویه، نیاز به زاویه کمر مثبت (برای کوچک شدن شعاع فرمان) کاهش می‌یابد و در نتیجه سایش غیر یکنواخت تایر ناشی از کمر مثبت کمتر می‌شود.
- ۴- باعث خاصیت کم فرمانی و پایداری خودرو می‌شود.

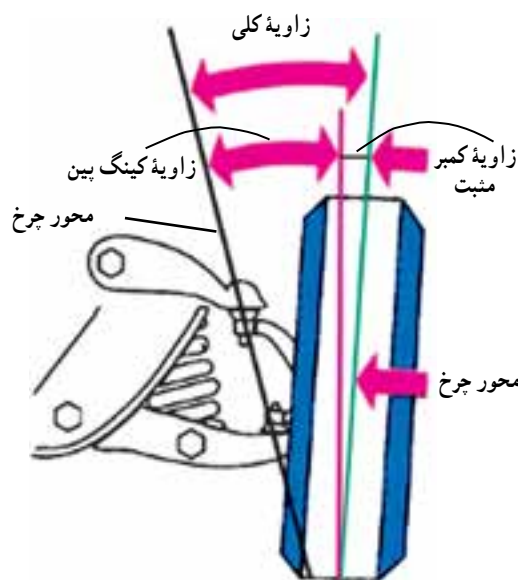
نکته: مطابق شکل ۷-۱۱، به فاصله عرضی محل تقاطع محور تقارن چرخ با زمین و محور چرخ با زمین در نمای روبه‌رو «شعاع فرمان» گویند. هرگاه این دو محور در بالای سطح زمین یکدیگر را قطع کنند شعاع فرمان منفی و هرگاه در پایین سطح زمین یکدیگر را قطع نمایند شعاع فرمان مثبت نامیده می‌شود.



شکل ۷-۱۳- انواع حالت‌های زاویه کستر

مقدار شعاع فرمان بین ۲۵ تا ۱۸ میلی‌متر است. کاهش مقدار شعاع فرمان و به خصوص منفی بودن آن باعث کاهش گشتاور فرمان (نرم شدن فرمان) می‌گردد.

زاویه کلی: مطابق شکل ۷-۱۲، به مجموع زاویه کینگ‌پین و زاویه کمر، «زاویه کلی» گویند.



شکل ۷-۱۲- زاویه کلی چرخ

۲-۶-۷- زوایای چرخ در نمای جانبی: در نمای جانبی برای چرخ خودرو «زاویه کستر» در نظر می‌گیرند که در ادامه بررسی خواهد شد.

زاویه کستر: مطابق شکل ۷-۱۳، انحراف محور چرخ

(کینگ پین) را، نسبت به خط قائم در نمای جانبی، «زاویه کستر» گویند. این زاویه سه حالت دارد:

۱- **زاویه کستر مثبت**: مطابق شکل ۷-۱۳، هرگاه محور چرخ به سمت عقب خودرو منحرف باشد زاویه کستر مثبت ایجاد می‌شود.

۲- **زاویه کستر منفی**: با توجه به شکل ۷-۱۳، هرگاه محور چرخ به سمت جلوی خودرو منحرف باشد زاویه کستر منفی است.

۳- **زاویه کستر صفر**: با توجه به شکل ۷-۱۳، هرگاه محور چرخ منطبق بر خط قائم باشد زاویه کستر صفر می‌شود. در چرخ‌های جلو از کستر مثبت به اندازه حداکثر ۱۴ درجه استفاده می‌شود. کستر مثبت در چرخ‌های جلو خواصی به شرح زیر ایجاد می‌کند:

۱- مطابق شکل ۷-۱۴ نقطه اثر وزن، روی محور چرخ در جلوی نقطه تماس تایر با سطح جاده است. بنابراین چرخ، به اصطلاح، دنباله‌رو نیروست و این حالت باعث برگشت‌پذیری فرمان، افزایش پایداری سویی و ممانعت از گيجی فرمان می‌شود.



شکل ۷-۱۴- تأثیر زاویه کستر مثبت در پایداری سویی خودرو

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

۳- وجود این زاویه در هنگام ترمزگیری، مانع از پایین آمدن بیش از حد قسمت جلوی خودرو می‌شود و حالت ضد شیرجه^۱ ایجاد می‌نماید.

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

۳-۶-۷- **زوایای چرخ در نمای بالا**: برای چرخ خودرو در نمای افق، زاویه^۲ در نظر گرفته می‌شود که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود.

زاویه تو: مطابق شکل ۷-۱۵، انحراف محور چرخ نسبت به خط افق در دید از بالا را «زاویه تو» یا «زاویه انحراف سر چرخ» می‌نامند.

مطابق شکل ۷-۱۵، هرگاه سرچرخ به سمت داخل خودرو منحرف باشد، به آن «زاویه سرجمعی»^۳ گفته می‌شود. در این



زاویه سرجمعی

زاویه سربازی

شکل ۷-۱۵- انواع حالت‌های زاویه تو

۱ - Ant d ve

۲ - Toe Ang e

۳ - Toe n

حالت مطابق شکل، $b > a$ است. هرگاه سرچرخ به سمت خارج خودرو منحرف باشد، به آن «زاویه سربازی»^۱ گفته می‌شود. در

این حالت مطابق شکل، $b < a$ است.

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

۷-۸- 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 کمیت 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 $(۷-۲)$ تعریف می‌گردد.

$$(۷-۲) \quad K = \frac{F}{X} \Rightarrow \text{نسبت نیرو یا بار وارد بر فنر به مقدار تغییر شکل در اثر نیرو سختی فنر}$$

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

۱- فنر نرم: به فنری گفته می‌شود که سختی آن کم باشد. به عبارت دیگر، با افزایش نیروی اعمالی به فنر میزان تغییر شکل و جابه‌جایی طول فنر افزایش می‌یابد. از این رو 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.

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

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

- ۱- هنگام حرکت خودرو، اعمال نیروهای نظیر نیروی اصطکاک، نیروی محرک و نیروی ترمزگیری از سوی چرخ و به دلیل وجود شعاع فرمان باعث اعمال گشتاوری به محور چرخ‌ها می‌شود و ایجاد حالت سربازی یا سرجمی در چرخ می‌کند. از آنجایی که ایجاد این‌گونه سربازی و سرجمی به افزایش سایش تایر منجر می‌گردد، لذا به صورت پیش فرض مقداری سربازی یا سرجمی برای چرخ‌ها در نظر گرفته می‌شود تا پس از اعمال نیروهای مذکور مقدار سربازی یا سرجمی چرخ خنثی شود و چرخ‌ها به صورت موازی با افق قرار گیرند.
- ۲- تغییرات «زاویه تو» در چرخ‌های جلو و عقب باید به نحوی باشد که باعث کم فرمانی خودرو گردد.

۷-۷- سیستم فنربندی

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

- ۱- ضربات و ارتعاشات ناشی از ناهمواری‌های جاده توسط فنر و کمک فنر جذب و مستهلک می‌شوند تا باعث افزایش راحتی سرنشین و پایداری خودرو شود.
- ۲- به منظور افزایش قابلیت شتاب‌گیری، ترمزگیری و مانورپذیری خودرو، تماس دائمی چرخ با زمین را برقرار می‌سازد. در ادامه، اجزای مختلف سیستم فنربندی بررسی خواهد شد.

^۱ - toe out

شکل ۱۶-۷، نمودار عملکرد فنرهای مختلف را نشان می‌دهد.

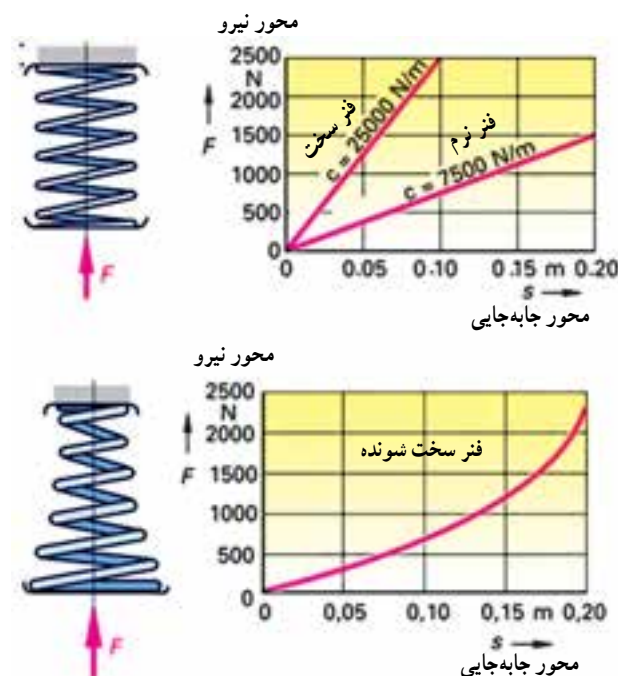
فنرها از لحاظ فرم و جنس به انواع مختلف زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- ۱- فنرهای فولادی که عبارت‌اند از: فنرهای شمشیری (برگی)، مارپیچ (لول) و پیچشی؛
- ۲- فنرهای گازی که عبارت‌اند از: فنرهای هوایی و گاز بی اثر (ازت).

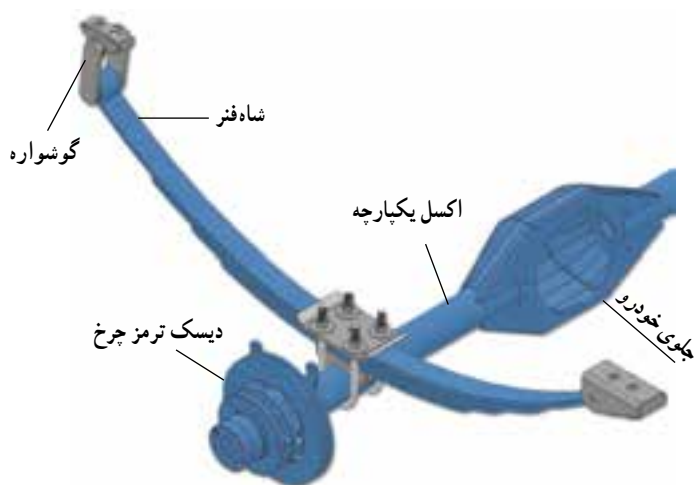
۱-۸-۷- فنر شمشیری (برگی): فنرهای شمشیری که در شکل ۱۷-۷ ملاحظه می‌شود، معمولاً در سیستم تعلیق یکپارچه به صورت طولی بر روی خودرو نصب می‌شود. اولین و بلندترین لایه فنر را «لایه اصلی» یا «شاه فنر» گویند. دو سر این فنر را به صورت حلقه درمی‌آورند و توسط بوش‌های لاستیکی به بدنه یا شاسی خودرو متصل می‌کنند.

۳- فنر سخت شونده: این فنر، که فنر ایده‌آل نیز نامیده می‌شود، فنری است 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 به منظور افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین مانع از ایجاد نوسان‌های بزرگ در بدنه خودرو می‌گردد.



شکل ۱۶-۷، نمودار عملکرد فنرها



شکل ۱۷-۷، فنر شمشیری

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 روان کاری می‌گردند، استفاده می‌شود.

عمودی اعمالی به فنر، گوشواره اجازه تغییر شعاع انحنای فنر را می‌دهد. با قرار گرفتن گوشواره در قسمت عقب فنر شمش، هنگام حرکت رو به جلوی خودرو و برخورد چرخ‌ها با ناهمواری‌ها، ضرباتی در چرخ ایجاد می‌شود که گوشواره با حرکت پاندولی مانع از انتقال مستقیم این ضربات به بدنه یا شاسی خودرو می‌شود.

در زیر لایه اصلی (شاه فنر) از لایه‌هایی با طول کمتر استفاده می‌شود تا میزان تحمل بار مجموعه 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 رابطه «U شکل» که گوشواره نامیده می‌شود، به شاسی متصل می‌گردد. هنگام تغییر بار

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

گوشواره در قسمت عقب فنر، و منجر شدن به بیش فرمانی خودرو. ۲-۸-۷- فنر مارپیچ (لول): شکل ۱۸-۷، انواع مختلف این نوع فنر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸-۷- 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

- ۱- اشغال کردن فضای کم؛
- ۲- داشتن وزن کم؛
- ۳- نیاز نداشتن به تعمیر و نگهداری؛
- ۴- سخت تر نمودن فنر، از طریق اضافه کردن قطر مفتول و استوانه فنر؛

به‌طور خلاصه مزایا و معایب فنر شمش عبارت‌اند از :

❖ مزایای فنر شمش

- ۱- انتقال نیروهای طولی، عرضی و عمودی از چرخ به بدنه خودرو و بالعکس؛
- ۲- تحمل گشتاورهای عکس‌العملی ایجاد شده در تعلیق در اثر نیروهای طولی شتاب‌گیری و ترمزگیری که موجب استفاده نکردن از اهرم‌ها و بازوهای دیگر در مکانیزم تعلیق می‌شود. بنابراین هزینه تولید و قطعات مکانیزم تعلیق با استفاده از این نوع فنر کاهش می‌یابد.
- ۳- ایجاد فنری سخت با تحمل بار بیشتر با اضافه کردن لایه‌های فنر؛

❖ معایب فنرهای شمش

- ۱- اشغال کردن فضای زیاد؛
- ۲- داشتن وزن زیاد؛
- ۳- نیاز داشتن به تعمیر و نگهداری؛
- ۴- زیاد بودن قیمت تمام شده فنر؛
- ۵- 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.
- ۶- کم بودن فاصله عرضی بین فنر چپ و راست که باعث افزایش حرکت رول می‌گردد.
- ۷- کم فرمان شدن تعلیق عقب در طی مسیر پیچ به دلیل وجود

۵- داشتن صدای کمتر و همچنین عملکرد نرم تر به دلیل تماس نداشتن حلقه‌های فنر با یکدیگر؛

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

۷- داشتن قیمت پایین تر.

۸- با مخروطی ساختن شکل فنر می‌توان خاصیت سخت شوندگی در آن ایجاد نمود.

❖ معایب

- ۱- 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 شده سیستم تعلیق و خودرو بیشتر می‌شود)؛
- ۲- احتمال بروز خطر کماتش و انحراف فنر از حالت عمودی

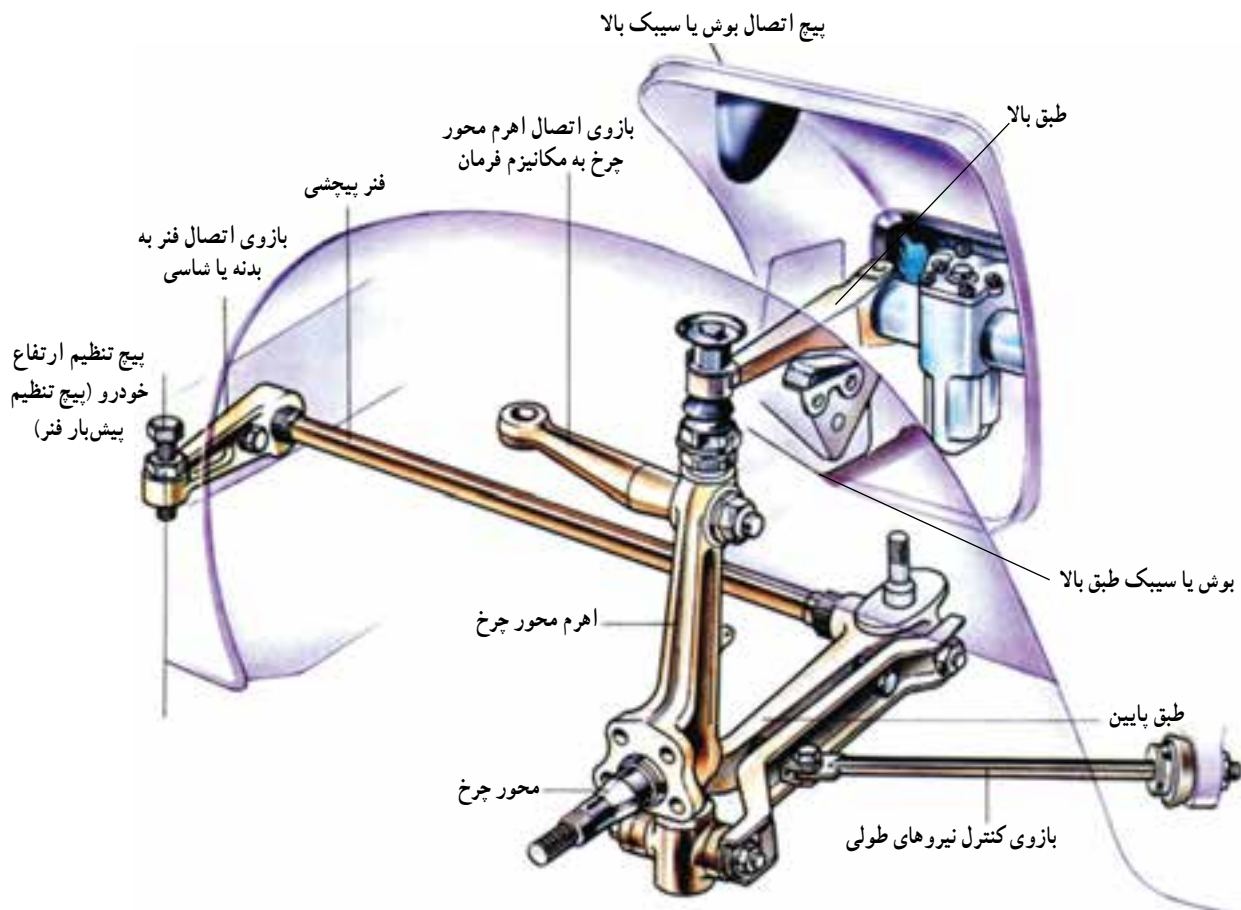
با ازدیاد طول فنر.

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

۳-۸-۷- فنر پیچشی: مطابق شکل ۱۹-۷، این فنرها در واقع میله‌هایی هستند که انعطاف‌پذیری پیچشی مناسبی دارند. این فنرها از یک سمت در بدنه خودرو ثابت می‌شوند و از سمت دیگر به یکی از بازوهای متحرک مکانیزم تعلیق متصل می‌گردند. شکل ۱۹-۷، استفاده از فنر پیچشی را به صورت طولی در مکانیزم طبق دار دوپل نشان می‌دهد.

❖ مزایا

- ۱- اشغال کردن فضای کم؛
- ۲- داشتن عمر و دوام طولانی؛
- ۳- داشتن قابلیت تنظیم ارتفاع؛
- ۴- اشغال نکردن فضای عمودی، که در صورت استفاده در

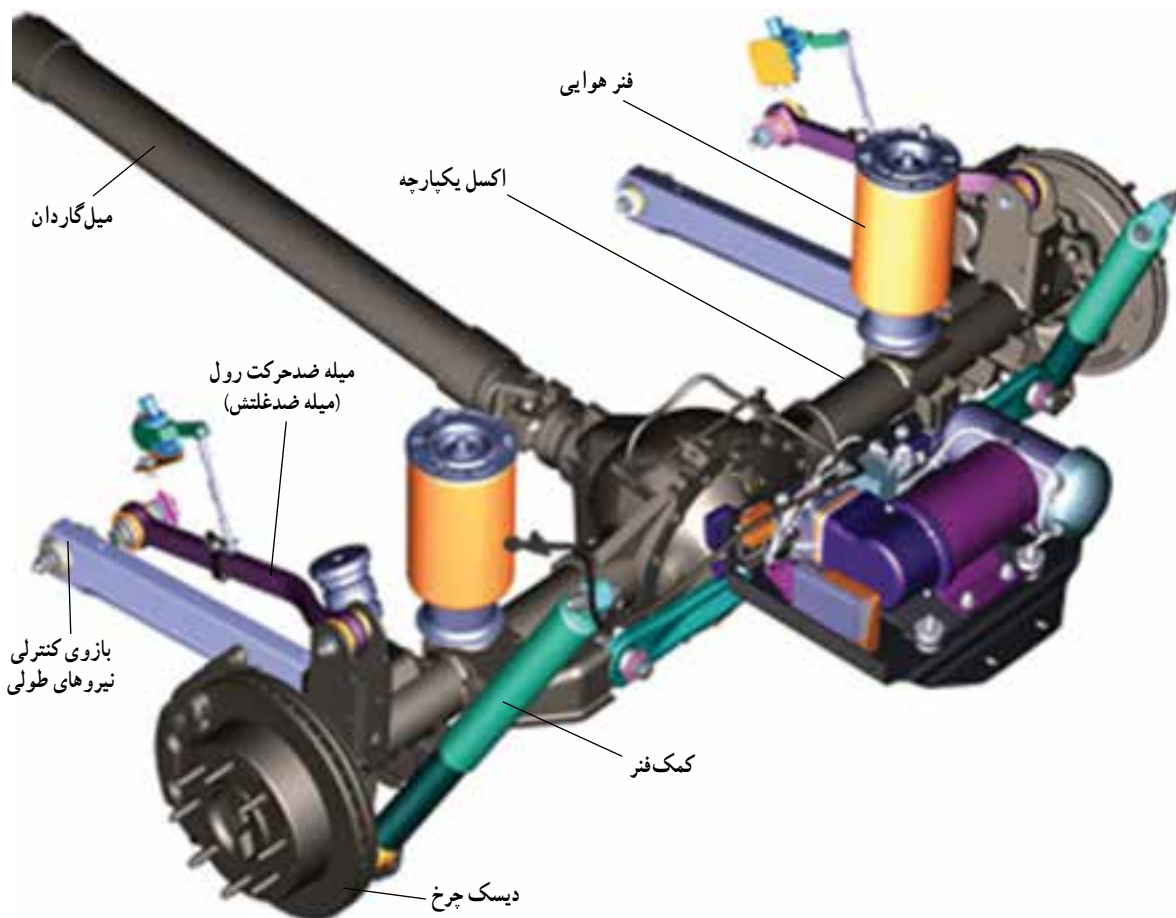


شکل ۱۹-۷- استفاده از فنر پیچشی نصب شده به صورت طولی در مکانیزم تعلیق طبق دار دوپل

سیستم تعلیق عقب، به بزرگ شدن فضای صندوق عقب و محفظه سر نشین عقب منجر می شود (در صورت استفاده در سیستم تعلیق جلو نیز فضای کافی برای نصب موتور ایجاد می شود)؛
 ۵- داشتن خاصیت ضربه گیری مطلوب و سخت شوندگی؛
 ۶- بیشتر شدن فاصله عرضی بین فنرها نسبت به سایر فنرها که به کاهش حرکت رول و افزایش پایداری خودرو و راحتی سر نشین

❖ معایب

نیاز داشتن به تقویت محل اتصال این نوع فنر به شاسی.
 ۴-۸-۷- فنر هوایی: شکل ۲۰-۷، نحوه استفاده از فنر هوایی را در سیستم تعلیق عقب یکپارچه نشان می دهد.



شکل ۲۰-۷- استفاده از فنر هوایی در سیستم تعلیق عقب یکپارچه

۹-۷- کمک فنر^۱

شکل ۲۱-۷، ساختار کمک فنر و نحوه عملکرد آن را نشان می دهد.
 با توجه به شکل ۲۱-۷ عملکرد کمک فنر به دو حالت زیر تقسیم می شود:
 (الف) حالت انقباض: با توجه به شکل ۱-۷-ا هنگامی

در این نوع فنرها می توان با تغییر فشار هوای فشرده شده، سختی آن را تغییر داد. از این رو با توجه به شرایط مختلف عملکردی خودرو، می توان از فنری با سختی مناسب برخوردار شد. در این صورت پایداری و راحتی سر نشین تا حد زیادی افزایش می یابد. از معایب این نوع فنرها دشواری در افزایش فاصله عرضی بین فنرهاست و نهایتاً زیاد شدن حرکت غلت بدنه خودرو.

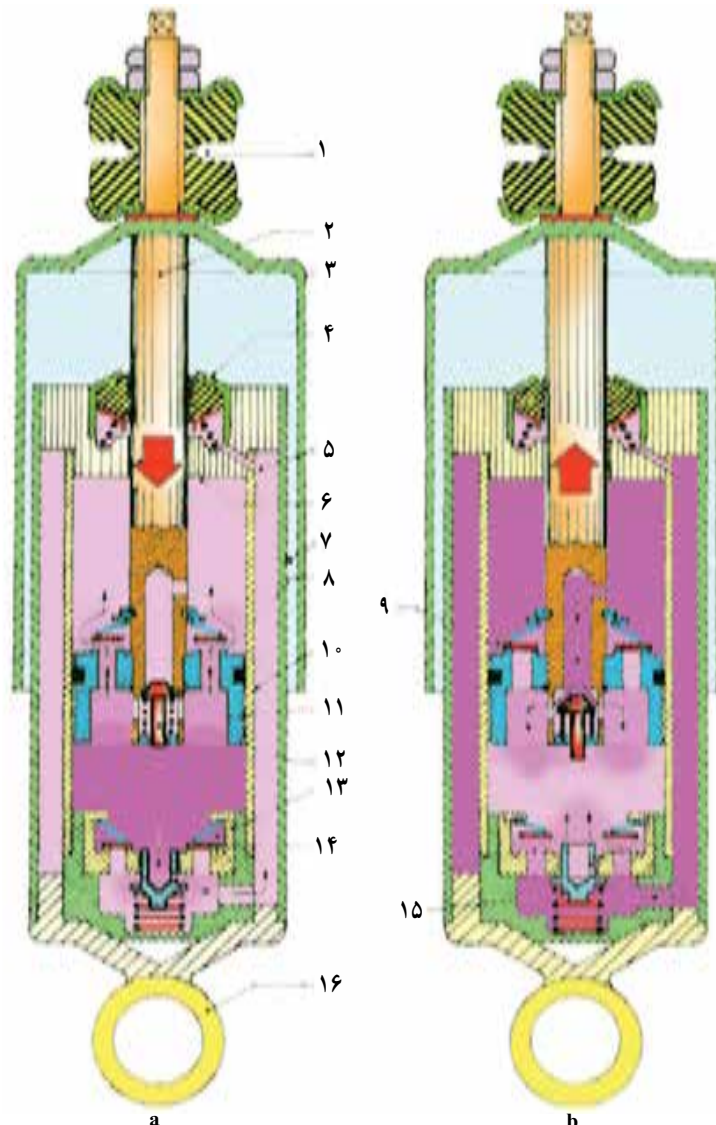
۱ - Shock absorber

که چرخ به سمت بالا یا بدنه خودرو به سمت پایین حرکت می کند، در این حالت فشار مایع زیر پیستون افزایش می یابد و سوپاپ های (۹) و (۱۵) باز می شوند. از این رو مایع هیدرولیک زیر پیستون، از طریق مجرای ریز سوپاپ ها به بالای پیستون و مخزن ذخیره منتقل می شود. لازم به ذکر است که سوپاپ (۱۵) به دلیل بیشتر بودن حجم روغن زیر پیستون نسبت به بالای آن (به دلیل وجود دسته پیستون در بالا) بیشتر می باشد. بنابراین با باز شدن آن روغن

اضافه زیر پیستون به مخزن ذخیره راه می یابد.

(ب) حالت انبساط کمک فنر : هنگامی که چرخ به سمت

پایین یا بدنه خودرو به سمت بالا حرکت نماید مطابق حالت b شکل ۲۱-۷، زیر پیستون افزایش حجم و کاهش فشار (حالت مکشی) ایجاد می شود در این حالت سوپاپ یک طرفه ۱۱ باز شده و مایع هیدرولیک به زیر پیستون انتقال می یابد به علت کمتر بودن حجم روغن بالای پیستون (به دلیل وجود دسته پیستون در بالا)



شکل ۲۱-۷- ساختمان کمک فنر

۱- تکیه گاه های لاستیکی به همراه واشرهای فلزی برای اتصال دسته پیستون به بدنه خودرو ۲- دسته پیستون ۳- گردگیر ۴- آب بند دسته پیستون و مخزن ۵- مجرای برگشت روغن نشستی از اطراف دسته پیستون به مخزن ذخیره ۶- راهنمای دسته پیستون ۷- پوسته خارجی و مخزن ذخیره روغن (تیوب خارجی) ۸- مجرای سوپاپ یک طرفه ۹- سوپاپ یک طرفه تخلیه روغن زیر پیستون ۱۰- سیلندر کمک فنر (تیوب داخلی) ۱۱- سوپاپ برگشت روغن از بالای پیستون به زیر پیستون ۱۲- پیستون ۱۳- مجرای سوپاپ یک طرفه تغذیه زیر پیستون از مخزن ذخیره ۱۴- سوپاپ یک طرفه تغذیه زیر پیستون از مخزن ذخیره ۱۵- سوپاپ کفی تخلیه روغن به مخزن ذخیره ۱۶- محل اتصال کمک فنر به یکی از اجزای متحرک سیستم تعلیق

کمک فنر انجام می‌پذیرد، نیروی اصطکاک ویسکوزی در جهت مخالف حرکت چرخ و بدنه خودرو در داخل کمک فنر ایجاد می‌شود که این امر باعث جذب و مستهلک نمودن ارتعاشات بدنه و چرخ خودرو می‌شود.

نسبت به حجم روغن زیر پیستون، با باز شدن سوپاپ ۱۴ مقداری روغن نیز از مخزن ذخیره به محفظه 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

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

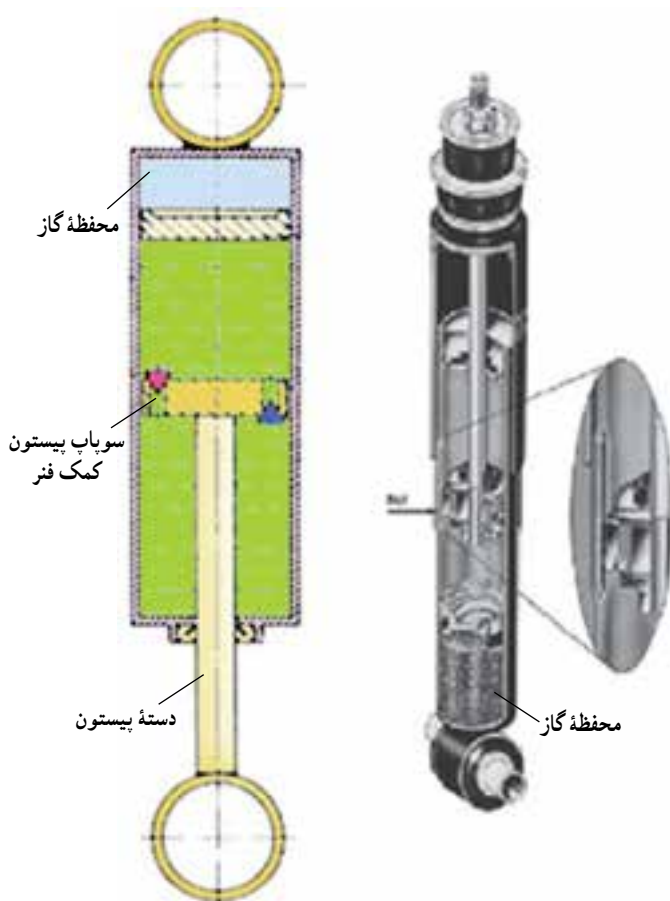
نکته: به این نوع کمک فنرها به دلیل اینکه دارای سیلندر اصلی و مخزن ذخیره‌اند، کمک فنرهای دو لوله‌ای^۱ نیز گفته می‌شود.

۱-۹-۷- کمک فنر گازی (تک لوله‌ای): چنانچه،

مطابق شکل ۷-۲۲، از مخزن ذخیره در کمک فنر استفاده نشود، کمک فنر گازی یا کمک فنر تک لوله‌ای^۲ 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 است استفاده می‌گردد. در این صورت اختلاف بین روغن قسمت بالا و پایین پیستون با انبساط و انقباض حجم محفظه گاز جبران می‌گردد. محفظه، حاوی گاز ازت است، که در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارای فشاری حدود ۲۵ بار است.

مطابق شکل ۷-۲۲، در زمان انقباض کمک فنر، روغن بالای پیستون به پایین پیستون منتقل می‌شود. حجم این روغن از حجم روغن جابه‌جا شده زیر پیستون بیشتر است (به دلیل وجود دسته پیستون در قسمت پایین پیستون). بنابراین پیستون محفظه گاز کمک فنر با فشرده نمودن گاز ازت داخل محفظه به سمت بالا حرکت می‌کند. در زمان انبساط کمک فنر، حرکت پیستون محفظه گاز به سمت پایین تحت فشار گاز، کاهش حجم روغن محفظه بالای پیستون را جبران می‌کند.

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



شکل ۷-۲۲- کمک فنر گازی یا تک لوله‌ای

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 محفظه زیر پیستون کمک فنر منتقل می‌کند. در هنگام جمع شدن کمک فنر، سوپاپ پیستون باز، و سوپاپ کفی بسته می‌شود. از این رو، روغن موجود در زیر پیستون از طریق سوپاپ پیستون به محفظه بالای پیستون هدایت می‌شود. ولی به منظور جلوگیری از قفل شدن کمک فنر، مقداری روغن از محفظه بالای پیستون از طریق مجرای جابه‌جایی روغن به محفظه 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، به خصوص 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.

۷-۹-۳- کمک فنر قابل تنظیم پیوسته ام آر، (MR)^۱ : ساختمان ظاهری این نوع کمک فنر در شکل ۷-۲۴ ملاحظه می‌شود.

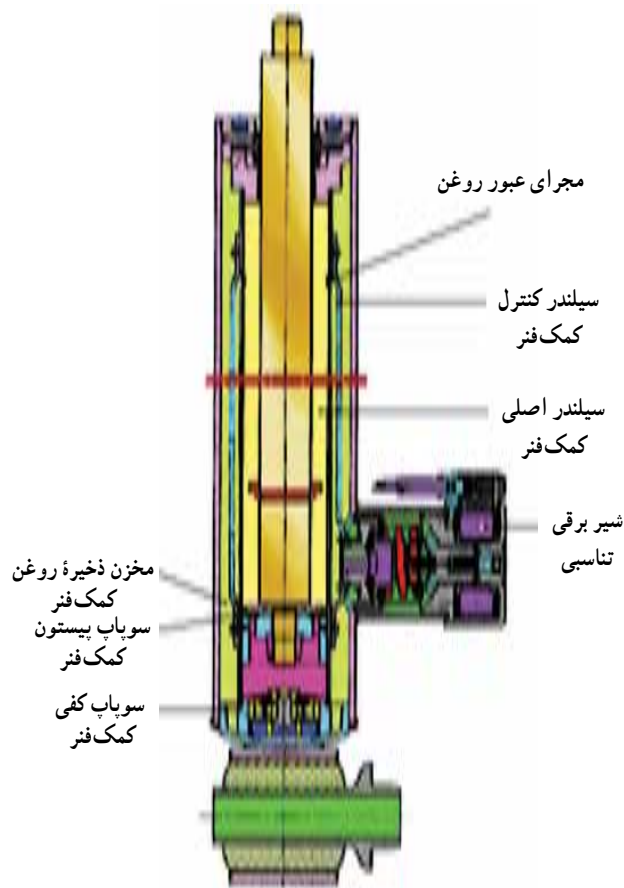


شکل ۷-۲۴- ساختمان ظاهری کمک فنر قابل تنظیم پیوسته از نوع ام آر (MR)

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

۷-۹-۲- کمک فنر قابل تنظیم به وسیله شیر برقی

شکل ۷-۲۳، کمک فنر قابل تنظیم به وسیله شیر برقی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲۳- کمک فنر قابل تنظیم به وسیله شیر برقی

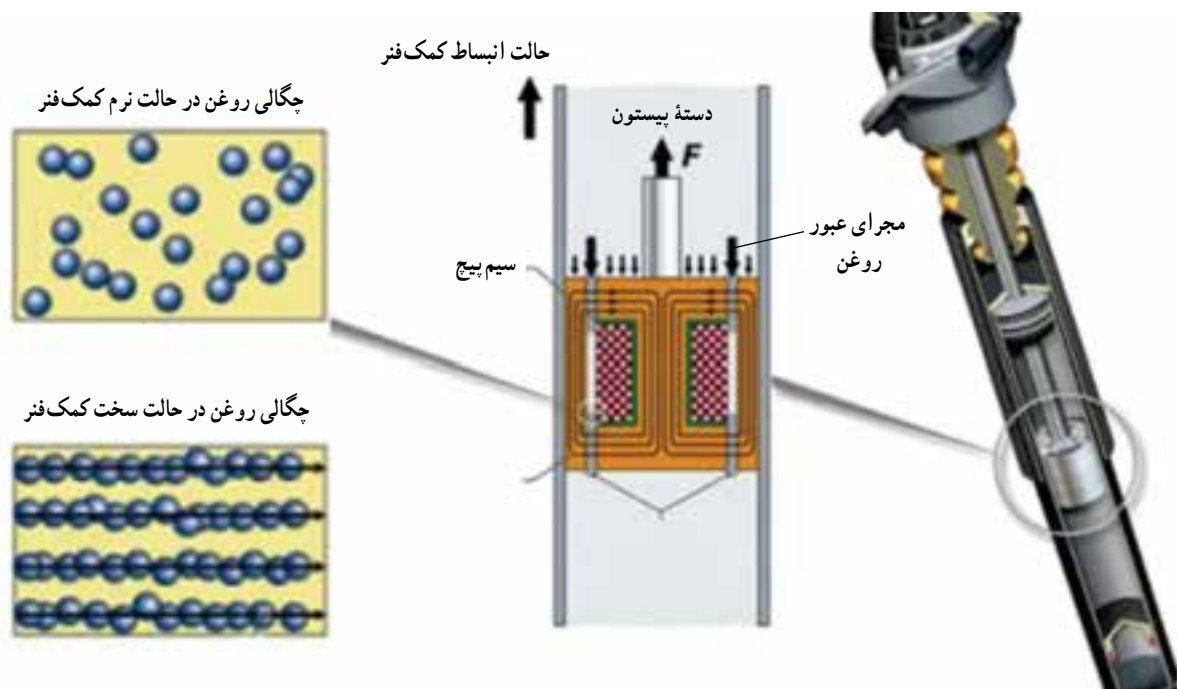
با توجه به شکل ۷-۲۳، سوپاپ پیستون به صورت یک سوپاپ یک طرفه عمل می‌کند. به نحوی که هنگام باز شدن کمک فنر بسته، و هنگام جمع شدن کمک فنر، باز می‌شود، از طرفی سوپاپ کفی نیز در هنگام باز شدن کمک فنر باز، و هنگام جمع شدن کمک فنر، بسته می‌شود.

بنابراین هنگامی که کمک فنر در حال باز شدن است، روغن بالای پیستون از مجرای جابه‌جایی روغن به سیلندر کنترل عبور

در این نوع کمک فرها از مایع ام آر به جای روغن استفاده می‌شود. روغن پایه هیدروکربنی دارد و حاوی درصد متغیری از ذرات آهن، در ابعاد میکرون است.

مطابق شکل ۷-۲۵، هنگامی که هیچ جریانی از سیم پیچ‌ها عبور نکند میدان مغناطیسی در سیم پیچ‌ها ایجاد نمی‌شود و مجاری عبور سیال ام آر کاملاً باز است. از این رو حالت انبساط و انقباض کمک فنر نرم است، که باعث افزایش راحتی سرنشین می‌شود ولی

پایداری خودرو کاهش می‌یابد. با افزایش جریان عبوری از سیم پیچ، میدان مغناطیسی سیم پیچ‌ها قوی‌تر می‌شود، به طوری که بر روی ذرات آهن درون مایع ام آر تأثیر می‌گذارد و با افزایش چگالی روغن ام آر اطراف پیستون، از عبور آسان مایع ام آر 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.

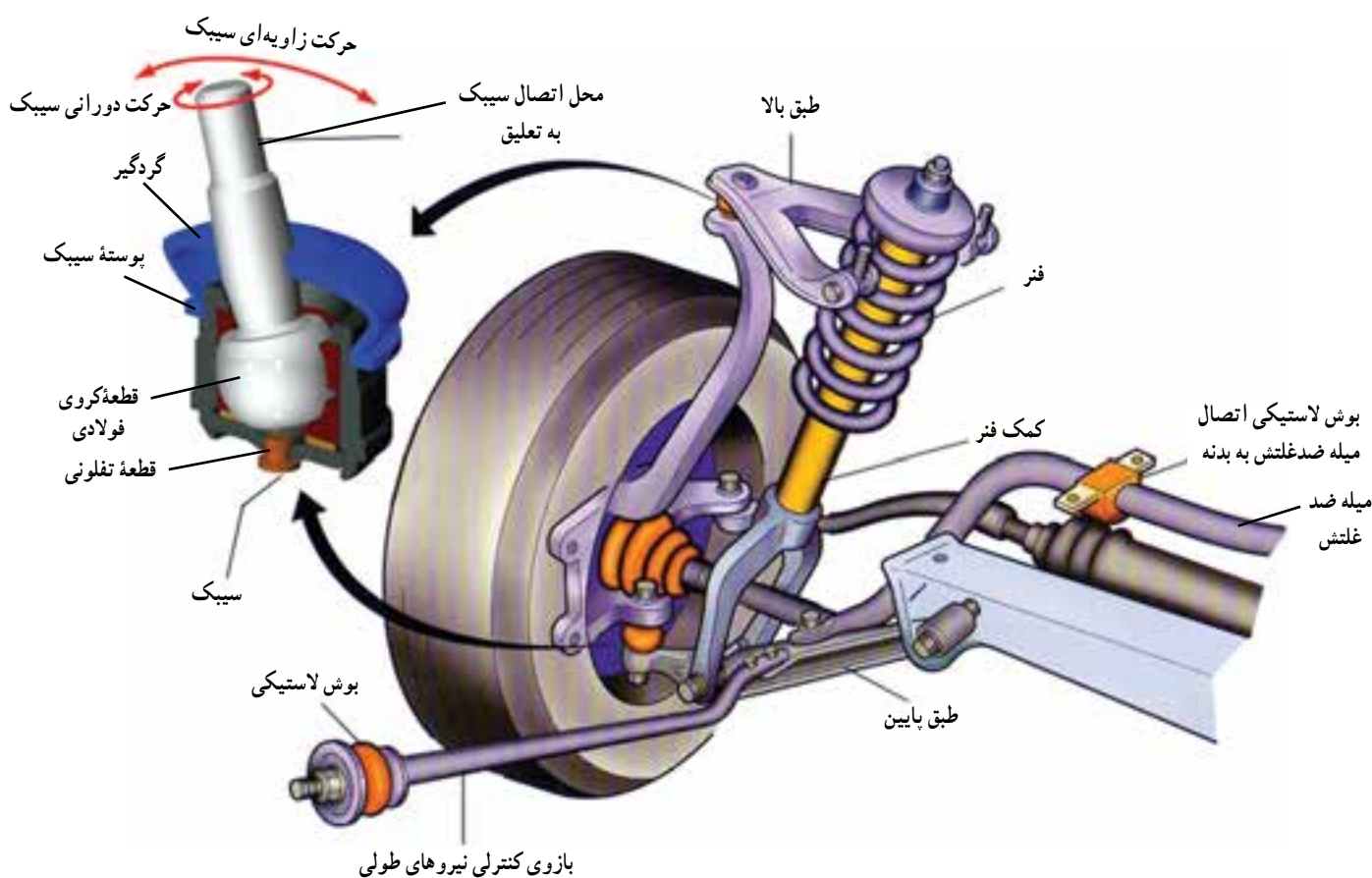


شکل ۷-۲۵- کمک فنر قابل تنظیم پیوسته ام آر (MR)

۷-۱۰- سیبک^۱

از آنجایی که بازوهای مکانیزم تعلیق و فرمان که به یکدیگر یا به سگ دست چرخ متصل‌اند، باید توانایی حرکت خطی و دورانی 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 زاویه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ای بازوهای مکانیزم تعلیق و فرمان، امکان‌پذیر می‌گردد. با توجه به شکل ۷-۲۶، سیبک از یک قطعه فولادی کروی

تشکیل شده است که در داخل محفظه کروی که معمولاً جنس آن از تفلون است قرار گرفته است. قطعه کروی تفلونی نیز درون پوسته سیبک تعبیه شده است. با توجه به شکل ۷-۲۶، ملاحظه می‌شود که قطعه کروی فولادی که به یکی از اجزای مکانیزم تعلیق یا فرمان وصل می‌شود قابلیت دوران درون محفظه کروی تفلونی را، که درون پوسته سیبک تعبیه شده است دارد. پوسته سیبک نیز به یکی دیگر از اجزای مکانیزم تعلیق یا فرمان متصل است.



شکل ۲۶-۷-سیبک

به شرح زیر است.

۱- در طی مسیر پیچ جاده، بدنه خودرو در اثر نیروی جانب مرکز حول محور طولی و به سمت خارج پیچ دَوَران می کند. به عبارت دیگر چرخ های داخل پیچ تمایل به جدا شدن از زمین دارند و چرخ های خارج پیچ با نیروی بیشتری به سطح جاده فشرده می شوند. در این حالت میله 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 می شود شکل (۲۷-۷ ب). از این رو حرکت رول خودرو هنگام حرکت در پیچ جاده کاهش می یابد و باعث افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین می گردد.

۲- حرکت خودرو بر روی ناهمواری های نامتقارن باعث افزایش حرکت رول خودرو می گردد. در این حالت میل ضد غلتش با انتقال نیرو از یک چرخ به چرخ دیگر مطابق شکل پ و ت، باعث

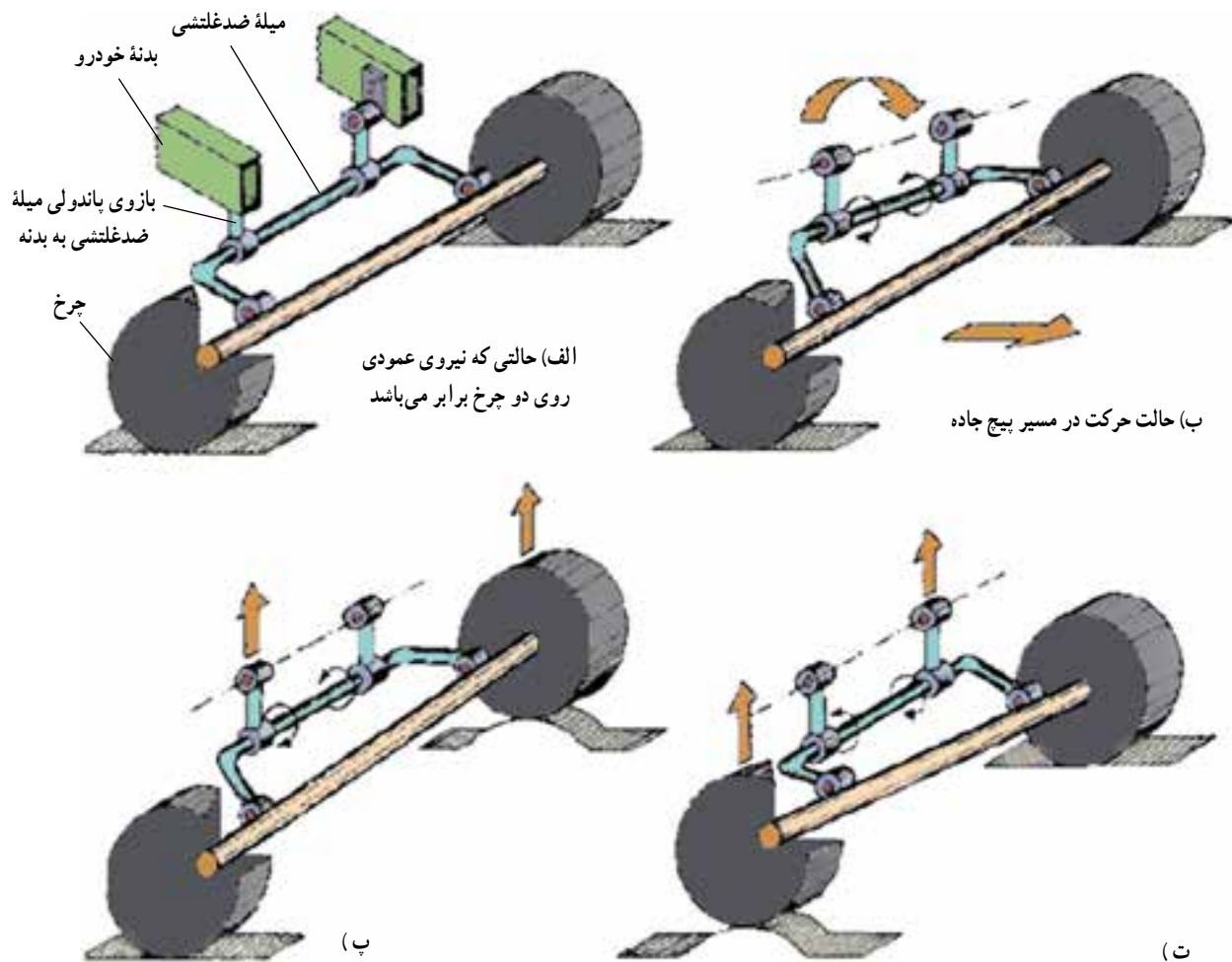
۱۱-۷- بوش لاستیکی

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

۱۲-۷- میله ضد غلتش

مطابق شکل ۲۷-۷، میله ضد غلتش، قطعه ای «U شکل» از جنس فولاد فنر است که در دو سر خود با واسطه یا بدون واسطه به چرخ ها متصل می شود. همچنین در دو نقطه نیز توسط بوش لاستیکی به بدنه متصل می گردد.

با توجه به شکل ۲۷-۷، میله ضد غلتش دارای وظایفی



حرکت بر روی ناهمواری نامتقارن

شکل ۲۷-۷ میلۀ ضد غلتش و نحوه عملکرد آن در حالت های مختلف

۷-۱۳- انواع سیستم ها و مکانیزم های تعلیق

با توجه به تعریف های ارائه شده از سیستم تعلیق و فنربندی و مفاهیم پایه آنها، در این بخش به بررسی و شناخت انواع سیستم تعلیق از دو دیدگاه ارتعاشی و مکانیزمی پرداخته می شود.

۷-۱۳-۱ دیدگاه ارتعاشی سیستم تعلیق: از دیدگاه ارتعاشاتی، وظیفه سیستم تعلیق، کاهش انتقال ارتعاشات ناشی از ناهمواری های جاده به بدنه و سرنشین خودروست. با توجه به این دیدگاه سه نوع سیستم تعلیق به شرح ذیل وجود دارد:

۱- سیستم تعلیق غیر فعال^۱

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

۳- با وجود میلۀ ضد غلتشی در مکانیزم تعلیق جلوی خودرو، انتقال بار زیادی از چرخ داخل پیچ به چرخ بیرون پیچ صورت نمی گیرد 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 این رو لغزش جانبی قسمت جلوی خودرو به سمت بیرون پیچ زیاد، و نهایتاً خودرو کم فرمان می شود.

^۱ - pass ve

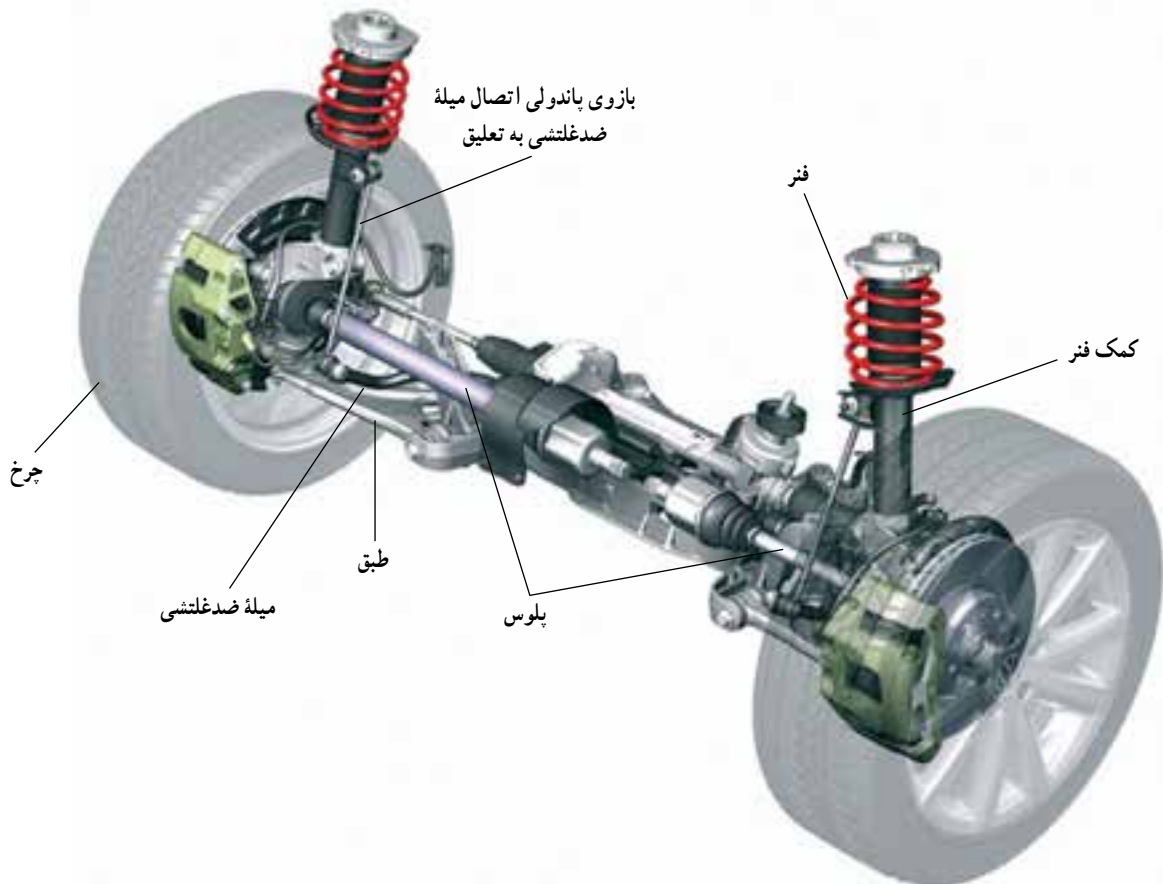
۲- سیستم تعلیق نیمه فعال^۱

۳- سیستم تعلیق فعال^۲

در ادامه، این سیستم‌ها بررسی خواهند شد.

سیستم تعلیق غیر فعال: در این نوع سیستم تعلیق، که نوعی از آن در شکل ۷-۲۸ ملاحظه می‌شود، از یک فنر به عنوان نوسان‌ساز و یک کمک فنر به عنوان مستهلک کننده این نوسانات برای هر چرخ استفاده می‌شود.

دلیل اطلاق صنعت «غیر فعال» 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، نحوه 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 غیر فعال گفته می‌شود.



شکل ۷-۲۸- سیستم تعلیق غیر فعال

سیستم تعلیق نیمه فعال: در این نوع سیستم تعلیق، ضریب دمپینگ کمک فنر متغیر است و توسط الگوی خاصی یا به صورت دستی، با توجه به شرایط جاده و خودرو، تغییر داده می‌شود. شکل ۷-۲۹، نمونه‌ای از این سیستم را که الگوی کنترلی

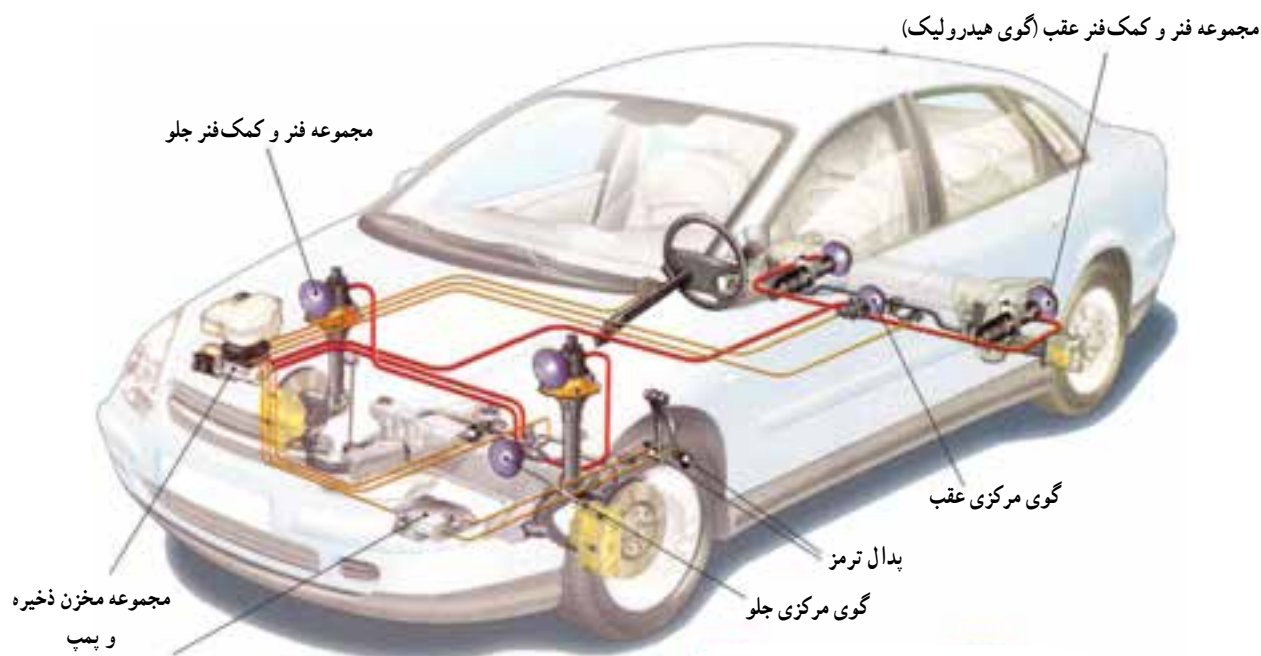
آن به صورت مکانیکی ست نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۷-۲۹، در این نوع سیستم تعلیق از گاز ازت فشرده شده به صورت فنر استفاده شده است. از روغن ال‌اچ‌ام (LHM^۳) که با فشار تقریبی (bar) ۱۰° بار به قسمت زیرین

۱ - sem _Act ve

۲ - Act ve

۳ - qu d Hydrau c m nera



شکل ۲۹-۷- سیستم تعلیق نیمه فعال

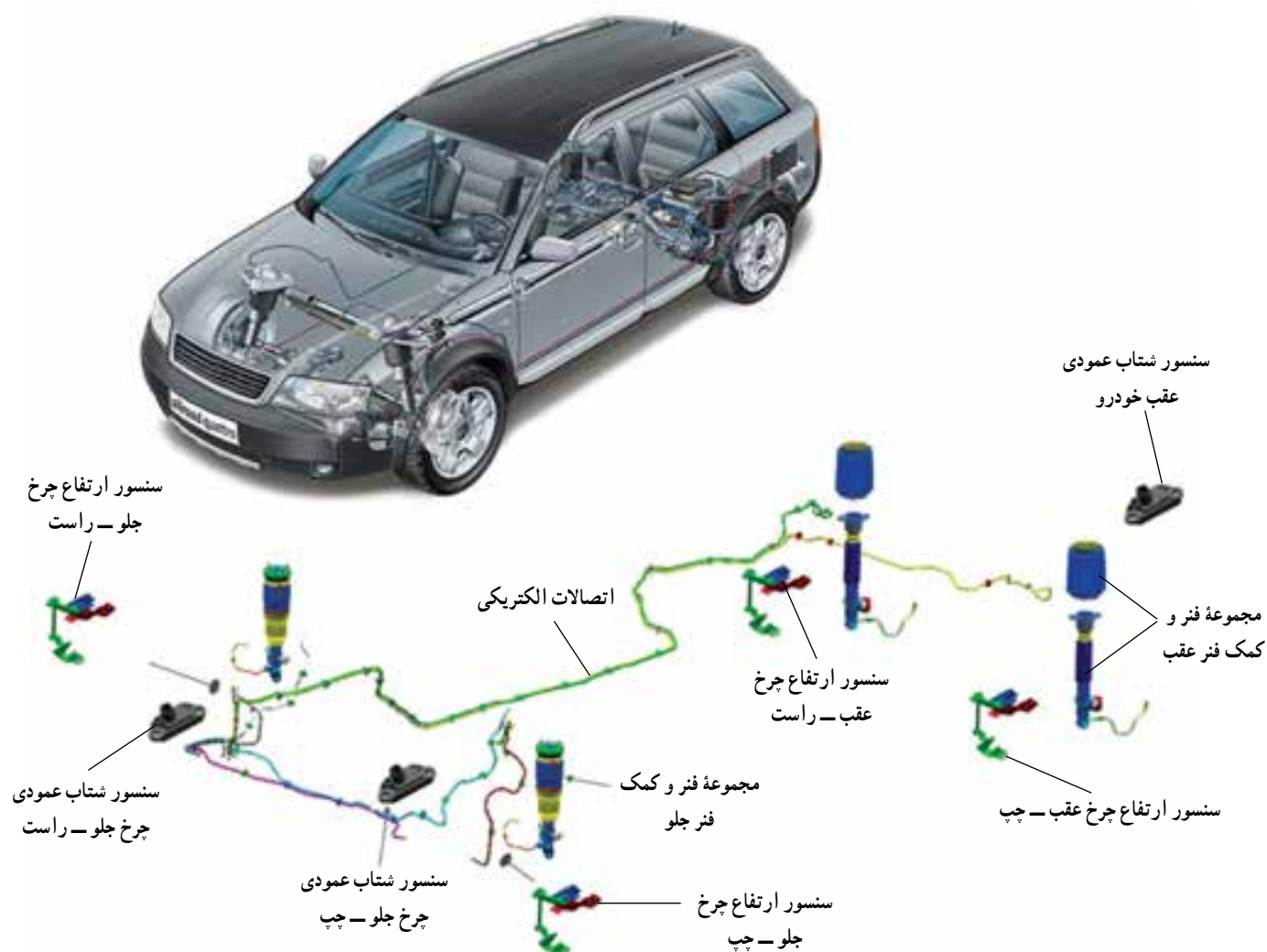
ناهمواری‌های کوچک است. حالت معمولی نیز در شرایط رانندگی معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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 الکترو هیدرولیکی که توسط واحد کنترل الکترونیکی کنترل می‌گردد، استفاده می‌شود. این عملگر مجموع نیروی فنر و کمک فنر را تولید می‌نماید. شکل ۳۰-۷، نمونه‌ای از این نوع سیستم تعلیق را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳۰-۷، در این نوع سیستم تعلیق، اطلاعات مربوط به شتاب عمودی چرخ و شتاب بدنه خودرو توسط حسگرهای شتاب سنج و اطلاعات ارتفاع هر چرخ نسبت به بدنه توسط سنسورهای ارتفاع سنج به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌شود. با توجه به الگوی کنترلی آن، واحد کنترل ای‌سی‌یو (ECU) میزان ارتعاشات بدنه خودرو را توسط نیروی تولیدی عملگر الکترو هیدرولیکی به‌طور مناسب کنترل می‌کند که با توجه به ناهمواری جاده باعث مستهلک‌سازی مطلوب‌تر ارتعاشات می‌گردد.

محفظه گاز فشرده ازت ارسال می‌شود نیز به صورت کمک فنر استفاده می‌شود. در این گونه سیستم‌ها می‌توان با کنترل حجم روغن ال‌اچ‌ام ارسالی به محفظه کمک فنر، ارتفاع خودرو را به صورت دستی و اتوماتیک کنترل نمود. چنانچه یکی از چرخ‌های غیر محرک 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 نقطه 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 با ناهمواری بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که وضعیت سخت کمک فنر، خاص سرعت‌های بالا و جاده‌های با



شکل ۳-۷- سیستم تعلیق فعال

۲-۱۳-۷ دیدگاه مکانیزمی تعلیق : از دیدگاه

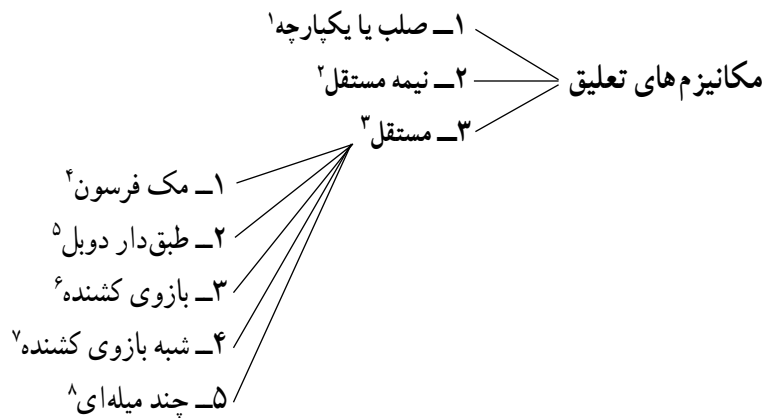
مکانیزمی، تعلیق مکانیزمی است که ضمن مهار چرخ در زیر بدنه خودرو، به چرخ اجازه می‌دهد حرکت‌های مطلوب (دوران چرخ، حرکت عمودی، فرمان گرفتن، تغییر زوایای کمبر، کستر و غیر آنها) داشته باشد تا به افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین منجر گردد.

گفتنی است کلیه مکانیزم‌های تعلیق، برای انتقال نیروهای

طولی، عرضی و عمودی از چرخ به بدنه خودرو و بالعکس، از بازوهای برخورد دارند.

با توجه به این دیدگاه، مکانیزم‌های تعلیق به صورت صفحه

بعد دسته‌بندی می‌شود :

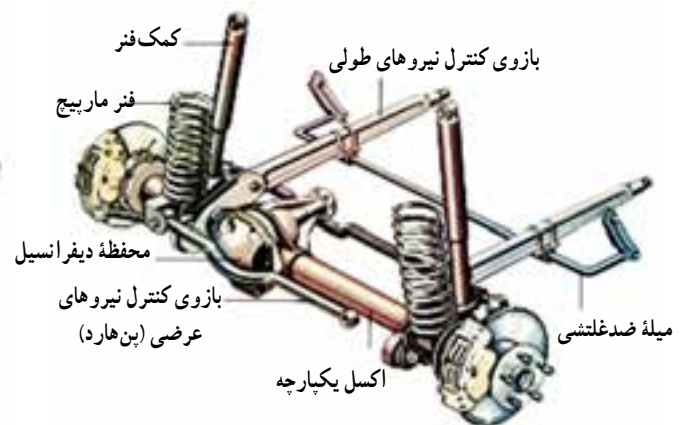
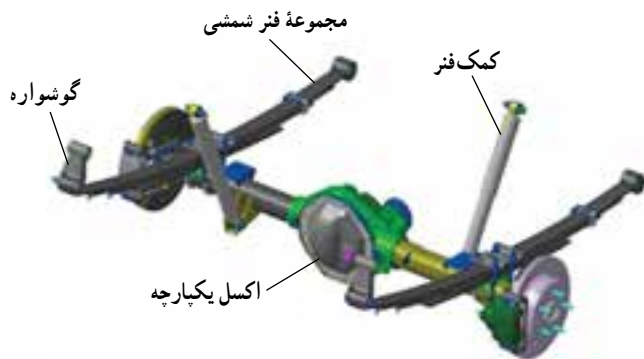


مکانیزم تعلیق صلب یا یکپارچه

استفاده نمود.

همان گونه که در شکل های ۳۱-۷ 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 بدنه خودرو بالعکس باید از بازوهای استفاده کرد.

مطابق شکل ۳۱-۷ در این مکانیزم تعلیق، ارتباط دو چرخ چپ و راست توسط لوله یا تیری^۱ صلب و یکپارچه برقرار می شود. از این رو حرکت عمودی یک چرخ بر اثر ناهمواری جاده بر روی عملکرد چرخ دیگر تأثیر می گذارد. مطابق اشکال نشان داده شده، در این تعلیق می توان از فنرهای شمشی، مارپیچ



شکل ۳۱-۷ مکانیزم تعلیق یکپارچه با استفاده از الف) فنر مارپیچ ب) فنر شمشی

نکته : بازوی کنترل نیروهای عرضی در مکانیزم تعلیق یکپارچه را «میل پانارد»^۹ نیز گویند. نصب این میله در قسمت عقب مکانیزم تعلیق عقب خودرو باعث کم فرمانی خودرو می شود.

۱ - Rigid axle

۲ - Independent

۵ - Double wishbone

۷ - semi trailing arm

۹ - Panhard arm

۲ - semi independent

۴ - McPherson strut

۶ - Trailing arm

۸ - multi-link

✱ مزایای مکانیزم تعلیق یکپارچه

۱- این نوع مکانیزم تعلیق، ساده و هزینه تولیدش پایین است.

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

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

۳- 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 در آن استفاده شده است، می‌توان وضعیت کم فرمانی یا بیش فرمانی مکانیزم تعلیق و خودرو را به حالت مطلوب‌تری تغییر داد.

✱ معایب مکانیزم تعلیق یکپارچه

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

۲- 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.

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

۴- نیاز به فضای زیاد برای نصب این مکانیزم تعلیق، فضای

صندوق عقب را کاهش می‌دهد.

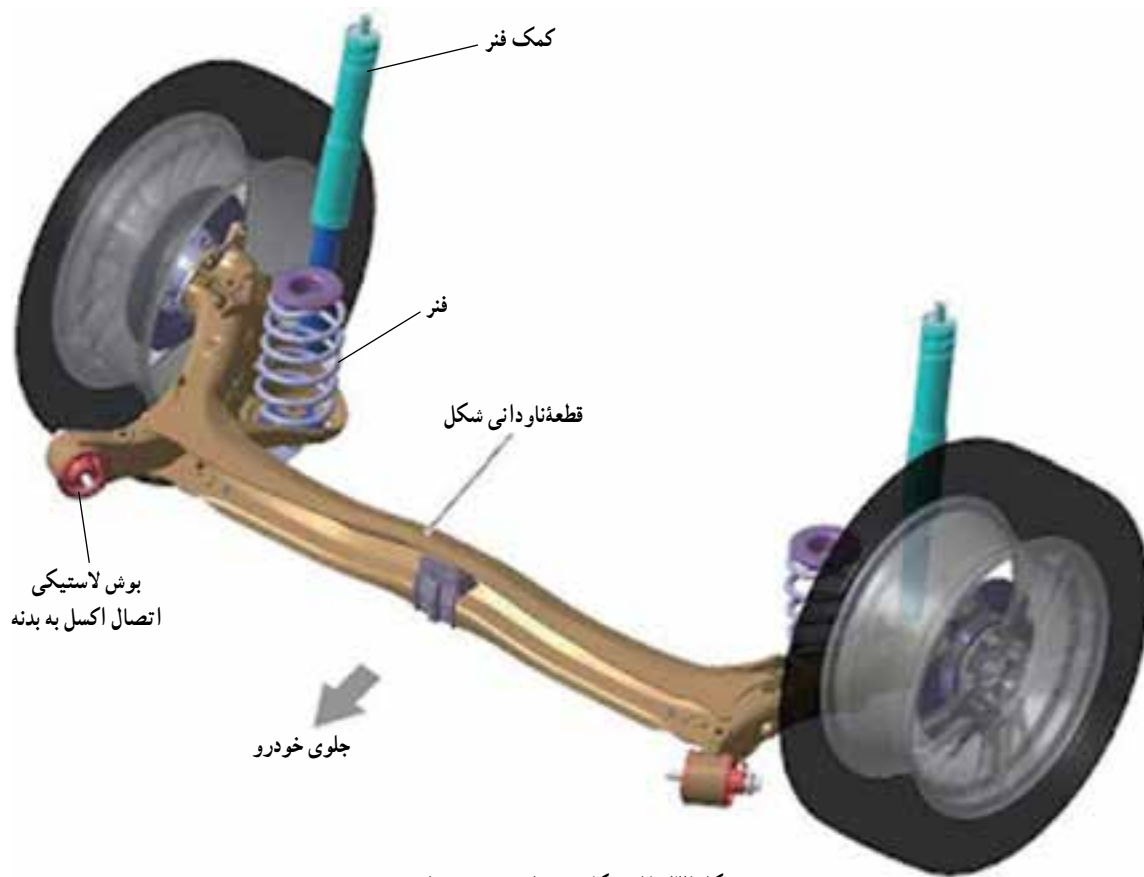
۵- در صورت محرک بودن این مکانیزم، هنگام شتاب‌گیری نیروی وزن بین چرخ‌چپ و راست منتقل می‌شود و بنابراین باعث ایجاد لغزش نامساوی بین چرخ‌چپ و راست و سایش غیریکنواخت دوتایر می‌گردد.

تعلیق نیمه مستقل

در این مکانیزم تعلیق، مطابق شکل ۷-۳۲، کلیه اجزای تعلیق از جمله محور چرخ، بازوی کنترل نیروهای طولی و عرضی از چرخ به بدنه (بازوهای کشنده) و قطعه 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»^۱ 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 قطعه ناودانی، پیچشی ایجاد می‌شود. ناودانی به بازوهای کشنده جوش شده است و از طرف دیگر بازوهای کشنده از طریق مفاصل به بدنه خودرو وصل است.

بنابراین مجموعه 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 بدنه خودرو (از طریق مفاصل مکانیزم تعلیق) و از دو نقطه دیگر به مکانیزم تعلیق متصل است (محل اتصال ناودانی به بازوهای کشنده). این عضو «U شکل» وظیفه میله ضد غلتش را برعهده دارد که پیشتر توضیح آن ذکر گردید.



شکل ۳۲-۷ مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

نکته : در نوع ساده ترین نوع مکانیزم تعلیق، کمک فنر در داخل فنر تعبیه می گردد.

* مزایای مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

- ۱- ساده و سبک است.
- ۱- نصب آن ساده است.
- ۲- فضای کمی اشغال می کند. بنابراین فضای صندوق عقب مسطح و وسیع است.
- ۳- در این نوع مکانیزم تعلیق می توان فنرها را تا حد امکان دورتر از یکدیگر نصب نمود، بنابراین حرکت غلت بدنه خودرو کاهش می یابد.
- ۴- عضو پیچشی (قطعه ناودانی) ضمن افزایش استحکام مکانیزم تعلیق، وظیفه میله ضد غلتش را نیز برعهده دارد و موجب سخت شوندگی سیستم فنربندی و عملکرد مناسب آن نیز می گردد.

- ۵- تغییرات زاویه کمر و تغییر فاصله عرضی تایرها زیاد نیست، بنابراین سایش غیر یکنواخت تایر کاهش می یابد.
- ۶- استهلاک مکانیزم تعلیق کم و در نتیجه نیاز به نگهداری و تعمیر آن نیز کم است.
- ۷- هزینه طراحی و ساخت آن کم است.

* معایب مکانیزم تعلیق نیمه مستقل

- ۱- این مکانیزم تعلیق که از آن در تعلیق عقب استفاده می شود در طی مسیر پیچ جاده تمایل به کم فرمانی دارد که به بیش فرمانی خودرو منجر می شود.
- ۲- استحکام این نوع مکانیزم تعلیق کم است، به طوری که برای بارهای زیاد و جاده های با ناهمواری زیاد مناسب نیست.

مکانیزم تعلیق مستقل

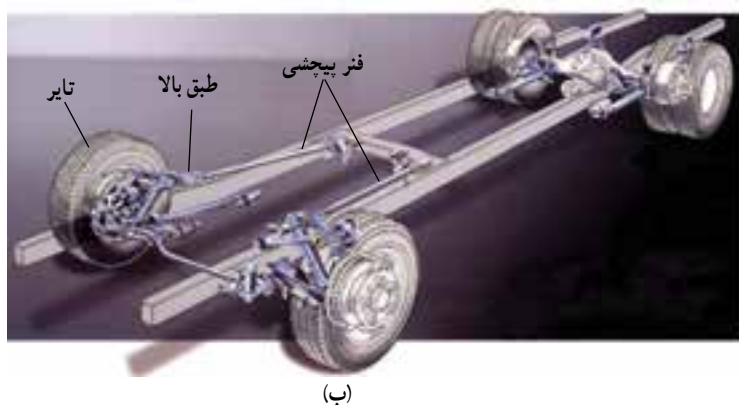
در مکانیزم تعلیق مستقل، ارتباطی بین چرخ چپ و راست (به جز میله ضد غلتش) وجود ندارد و حرکت چرخ چپ و راست آن مستقل از یکدیگرند از این رو حرکت عمودی یک چرخ بر عملکرد چرخ دیگر تأثیر نمی‌گذارد. بنابراین برای افزایش پایداری خودرو و راحتی سرنشین می‌توان تغییرات مطلوبی در زوایای چرخ ایجاد نمود.

مکانیزم تعلیق مستقل، نسبت به مکانیزم‌های تعلیق یکپارچه و نیمه مستقل، دارای طراحی و ساخت مشکل‌تری است و نهایتاً هزینه بیشتری در پی دارد. ارتقای برخی پارامترهای محسوس خودرو،

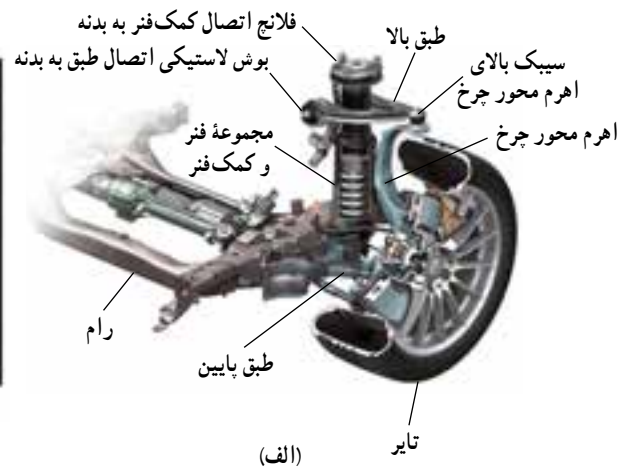
از قبیل راحتی سرنشین، پایداری خودرو، قابلیت شتاب‌گیری و ترمزگیری و کاهش آلاینده‌گی زیست محیطی (صوتی و آلاینده‌گی ناشی از احتراق) از جمله عواملی هستند که گرایش به استفاده از مکانیزم‌های تعلیق مستقل را بیش از پیش افزایش داده است. در ادامه، برخی از انواع پرکاربرد مکانیزم‌های تعلیق مستقل معرفی و بررسی می‌شوند.

الف) مکانیزم تعلیق طبق‌دار دویل: شکل ۷-۳۳،

مکانیزم تعلیق طبق‌دار دویل را، که در سیستم تعلیق جلوی خودرو مورد استفاده قرار گرفته است، نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۷-۳۳- مکانیزم تعلیق طبق‌دار دویل با الف) فنر مارپیچ ب) فنر پیچشی

شکل ۷-۳۳ ب مکانیزم تعلیق طبق‌دار دویل 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 استفاده 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

۱- حرکت چرخ‌ها بر روی یکدیگر تأثیر متقابل ندارند.

با توجه به شکل ۷-۳۳، در این مکانیزم تعلیق از دو طبق مثلی استفاده شده که در رأس هر طبق یک سیبک نصب گردیده است. در قسمت قاعده 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 این رو چرخ در زیر بدنه 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.

۲- قابلیت فرماندهی به چرخ‌ها بهتر صورت می‌پذیرد.
۳- بازپاد کردن فاصله دو طبق بالا و پایین از یکدیگر نیروی کمتری در مفاصل و بازوهای مکانیزم تعلیق به وجود می‌آید.

۴- 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.

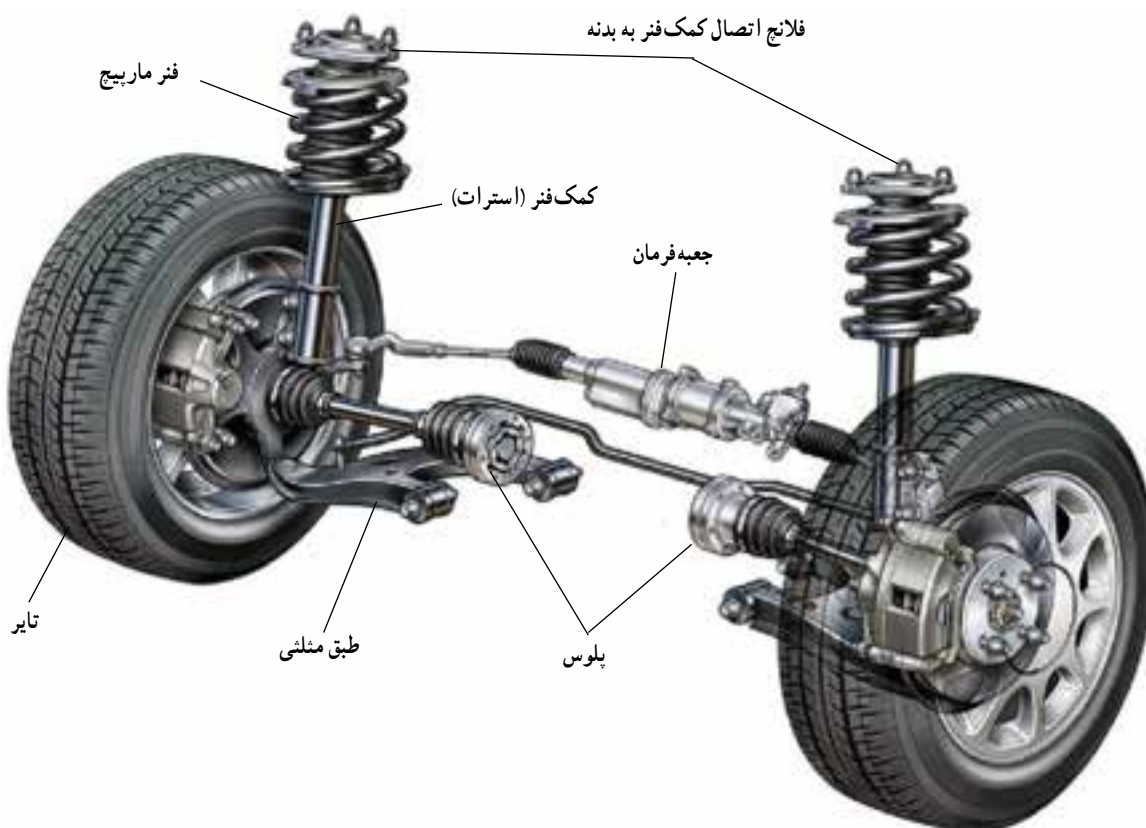
۵- با تغییر زاویه صفحه طبق بالا و پایین در راستای طول خودرو، می‌توان خاصیت ضد چمباتمه و ضد شیرجه را هنگام شتاب‌گیری و ترمزگیری خودرو ایجاد کرد.

❁ معایب

۱- هزینه طراحی و ساخت آن زیاد است.
۲- فضای عرضی بیشتری اشغال کرده و برای خودروهایی

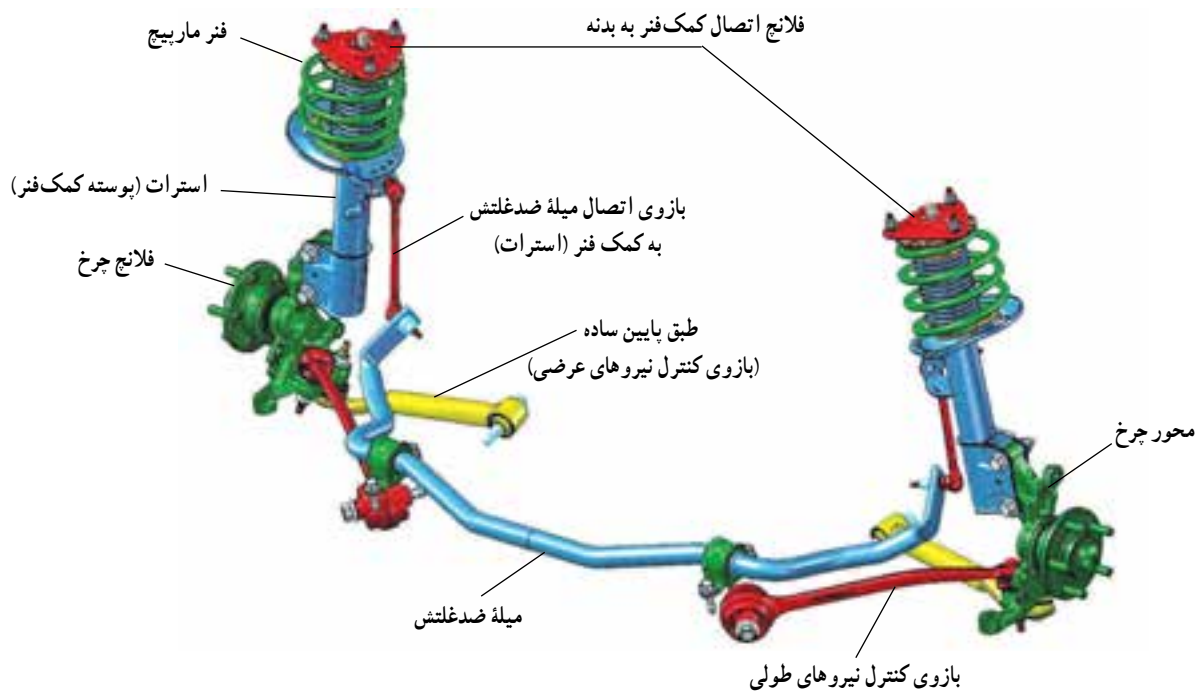
که موتور آنها به صورت عرضی در جلو نصب می‌شود مناسب نیست.
۳- به دلیل زیاد بودن تعداد مفاصل و سیبک‌ها، نگهداری و تعمیر آن پرهزینه است.

(ب) مکانیزم تعلیق مک فرسون : این مکانیزم در واقع نوع ساده شده مکانیزم تعلیق طبق دار دابل است، به نحوی که اگر در مکانیزم طبق دار دابل، طول طبق بالا صفر در نظر گرفته شود و فنر و کمک فنر نیز بین محور چرخ و بدنه خودرو قرار گیرد، مطابق شکل ۷-۳۴، مکانیزم تعلیق مک فرسون به دست می‌آید. با توجه به شکل ۷-۳۴، در این مکانیزم تعلیق در قسمت پایین از یک طبق مثلثی استفاده می‌شود که تواناً قادر به تحمل نیروهای طولی و عرضی است. در رأس این طبق از یک سیبک برای اتصال بازوی عمودی، که فنر و کمک فنر روی آن نصب کرده‌اند (و مجموعاً استرات نامیده شده است)، استفاده می‌شود. و



شکل ۷-۳۴- مکانیزم تعلیق مک فرسون با طبق مثلثی

تکیه‌گاه بالایی فنر توسط یک فلانچ به بدنه خودرو متصل می‌گردد. محور چرخ و یاتاقان‌های چرخ نیز به استرات متصل می‌گردند. در برخی از انواع این تعلیق، مطابق شکل ۳۵-۷، که طبق پایین ساده بوده و به شکل مثلی نیست، طبق تنها قادر به تحمل نیروهای عرضی است. در این نوع تعلیق مک فرسون برای انتقال نیروهای طولی از چرخ به بدنه خودرو و بالعکس از بازوی کنترلی نیروی طولی جداگانه‌ای استفاده شده است. همچنین در برخی از این نوع مکانیزم‌های تعلیق مک فرسون برای تحمل نیروهای طولی از میله ضد غلتشی استفاده شده است. که با این کار حجم و وزن تعلیق کاهش می‌یابد.



شکل ۳۵-۷- مکانیزم تعلیق مک فرسون با طبق ساده

تا محل اتصال کمک فنر به بدنه خودرو، در مفاصل و بازوهای این مکانیزم، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق دار دویل، نیروی کمتری ایجاد می‌شود. بنابراین استهلاک کمتر و هزینه نگهداری و تعمیر کمتری دارد.

۵- تغییر ترک (Track) و زوایای کمبر، کستر و تو در این مکانیزم، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق دار دویل، کمتر و در نتیجه سایش غیریکنواخت تایر نیز کمتر است.

❖ معایب

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

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

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

❖ مزایا

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

۲- طراحی و ساخت آن نسبت به مکانیزم طبق دار دویل آسان‌تر است.

۳- در این نوع مکانیزم تعلیق از کمک فنر به منزله یکی از بازوهای مکانیزم تعلیق استفاده شده است. درواقع این مکانیزم تعلیق، نسبت به مکانیزم تعلیق طبق دار دویل، بازوها و اتصالات کمتری دارد.

۴- با توجه به زیاد بودن فاصله بین سیبک پایین استرات

ضربات چرخ بیشتری به بدنه خودرو منتقل می‌شود.

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

۴- تغییرات فواصل و زوایای چرخ این مکانیزم نسبت به مکانیزم تعلیق طبق دار دویل نامناسب و در نتیجه پایداری خودرو با استفاده از این مکانیزم کمتر است.

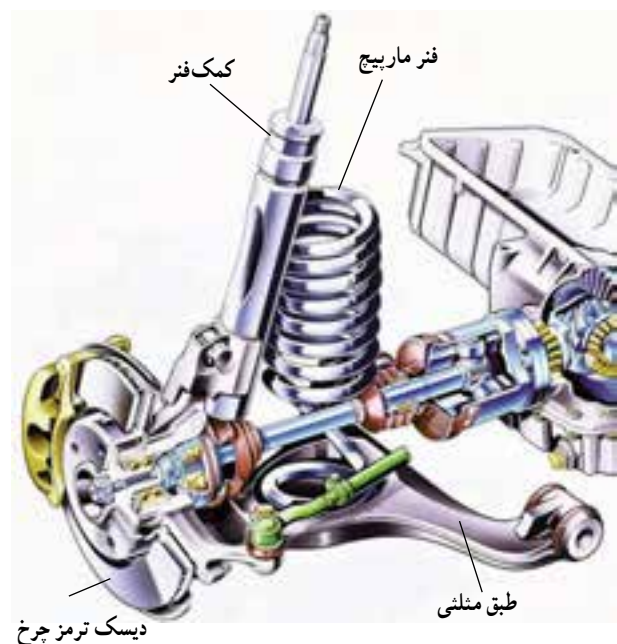
۵- به دلیل آنکه فنر و کمک فنر بر روی استرات نصب شده‌اند و هنگام فرمان دادن، کل مجموعه دَوَران می‌کند، از این رو سفتی فرمان بیشتر می‌شود.

۶- بالانس نبودن تاثیر نسبت به مکانیزم طبق دار دویل، مشکلات بیشتری، به همراه دارد.

۷- با توجه به کم بودن فضای بین کمک فنر و تایر، بستن زنجیر چرخ مشکل تر است.

۸- فضای مورد نیاز برای نصب فنر محدود و از این رو طراحی فنر نیز مشکل است.

با توجه به شکل ۳۶-۷، به منظور افزایش راحتی سرنشین و آسان تر شدن مراحل طراحی و ساخت تکیه‌گاه‌های فنر و کمک فنر،



شکل ۳۶-۷- 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» می‌نامند.

❖ مزایای مکانیزم تعلیق/استرات دمپر

۱- طراحی تکیه‌گاه فنر و کمک فنر در بدنه خودرو، به سبب جدا بودن فنر از کمک فنر ساده است.

۲- نظر به اینکه فنر به صورت جداگانه نصب می‌شود محدودیت مکانی برای نصب فنر کمتر و طراحی آن راحت تر است.

۳- نصب زنجیر چرخ راحت تر است.

❖ معایب مکانیزم تعلیق/استرات دمپر

۱- 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.

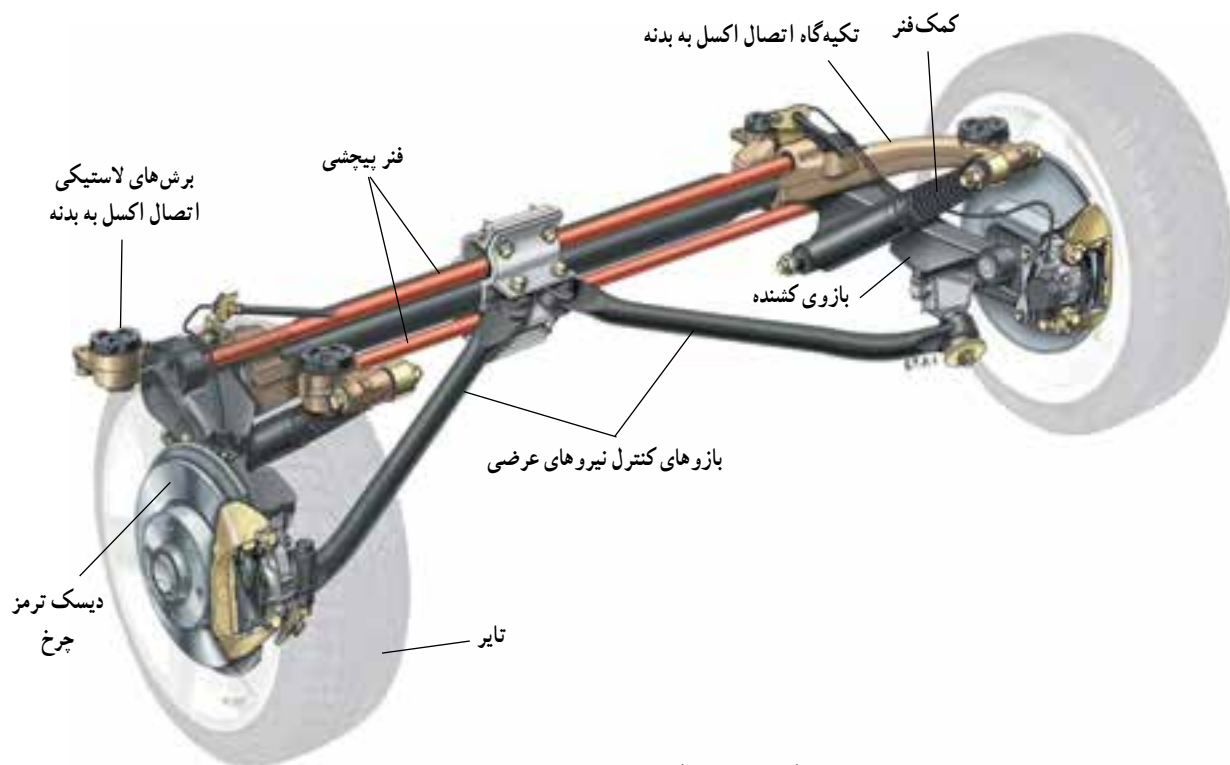
۲- به دلیل نزدیک شدن فنر سمت چپ و راست به یکدیگر، حرکت رول غلت بدنه خودرو افزایش، و راحتی سرنشین و پایداری خودرو کاهش می‌یابد.

۳- با توجه به اینکه کمک فنر به صورت یکی از بازوهای مکانیزم تعلیق ایفای نقش می‌کند، ضمن آنکه به طور مستقیم به زیر بدنه خودرو نصب گردیده است، ارتعاشات بیشتری را از چرخ به بدنه خودرو منتقل می‌سازد. بنابراین راحتی سرنشین در این مکانیزم نسبت به طبق دار دویل کمتر است.

ب) مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

از این نوع مکانیزم تعلیق، که در شکل ۳۷-۷، نیز ملاحظه می‌شود، معمولاً در سیستم تعلیق عقب غیر محرک استفاده می‌شود. از آنجایی که در این مکانیزم چرخ‌ها توسط بازوهای کشیده می‌شود، به آن «بازوی کشنده» گفته می‌شود.

مطابق شکل ۳۷-۷، در این مکانیزم تعلیق هر چرخ دارای یک بازوی کشنده برای انتقال نیروهای طولی، عرضی و گشتاورهای حاصل از آنها به بدنه 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



شکل ۳۷-۷- مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

برای تایر، زاپاس و باک سوخت موجود است.

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

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

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

۶- استهلاک و هزینه نگهداری و تعمیر آن اندک است.

❖ معایب مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

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

۲- به دلیل ایجاد زاویه کمبر منفی دائم (به منظور افزایش

لاستیکی یا رول‌پرینگ سوزنی روی پوسته اکسل یا تاقان‌بندی می‌شود و نهایتاً پوسته اکسل به بدنه 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 هم‌راستا و بدون زاویه است. بنابراین با حرکت رو به بالا و پایین چرخ، تغییر زاویه کمبر در آن صورت نمی‌گیرد و پایداری جهتی خودرو مطلوب است.

یادآوری می‌شود برای پایداری خودرو، معمولاً زاویه کمبر منفی اولیه $3^{\circ} \pm 3^{\circ}$ و 1° در آن ایجاد می‌شود.

❖ مزایای مکانیزم تعلیق بازوی کشنده

۱- فضای صندوق عقب بیشتر و مسطح‌تر است.

۲- در صورت استفاده از فنرهای پیچشی فضای کافی

ترک در چرخ‌ها) تایرها سایش غیر یکنواخت خواهند داشت.

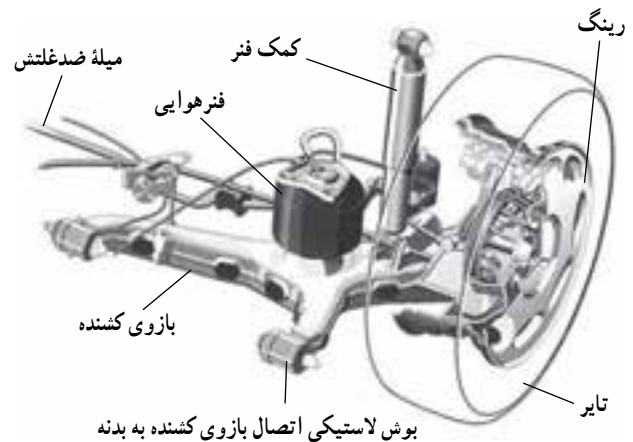
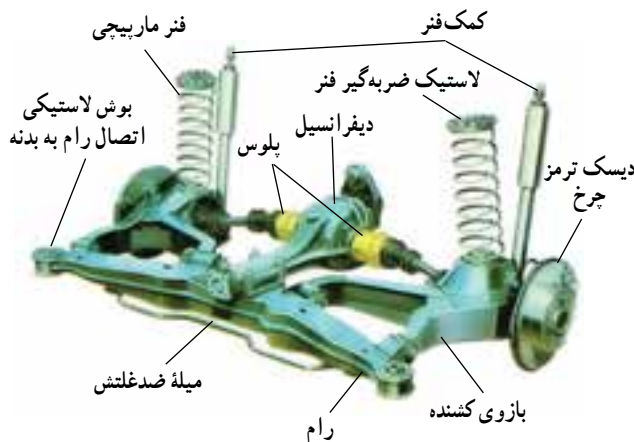
۳- مفاصل بازوهای کشنده به علت تحمل گشتاورهای حاصل از نیروی طولی، عرضی و عمود باید مستحکم باشند. وگرنه به افزایش وزن و افزایش قیمت تمام شده منجر می‌گردد.

۴- این مکانیزم تعلیق هنگام حرکت خودرو در مسیر پیچ جاده تمایل به کم فرمانی دارد که به بیش فرمانی خودرو منجر

می‌شود.

ت) مکانیزم تعلیق شبه میلۀ کشنده^۱

این مکانیزم، همان‌طور که در شکل ۷-۳۸ ملاحظه می‌شود در حقیقت یک تعلیق بازوی کشنده با بازوهای کشنده قوی تر و دوشاخه‌ای است، که در سیستم تعلیق محرک و متحرک عقب خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۷-۳۸- مکانیزم تعلیق شبه کشنده با (الف) فنر هوایی (ب) فنر مارپیچی

بازوی کشنده در قسمت دو شاخه‌ای به منظور اتصال به بدنه خودرو دارای دو مفصل با بوش‌های لاستیکی است. محور این مفاصل با خط عرضی خودرو زاویه‌ای ایجاد می‌نماید. بنابراین با حرکت چرخ به بالا یا بدنه خودرو به سمت پایین در اثر ناهمواری جاده یا در طی مسیر پیچ جاده، زاویه کمبر منفی چرخ افزایش می‌یابد، که به منظور 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 زاویه سرجمعی و در چرخ داخل پیچ آن زاویه سربازی به وجود آید و باعث می‌شود این مکانیزم بیش فرمان گردد. به عبارت دیگر، قسمت عقب خودرو به داخل پیچ منحرف می‌شود و در نتیجه 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

۱- تغییرات زاویه سرجمعی در مسیر پیچ جاده به منظور کم فرمانی خودرو مطلوب است.

۱- می‌توان برای زاویه کمبر، که به پایداری منجر می‌شود، تغییرات مناسب ایجاد نمود.

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

۳- وزن قطعات فربندی نشده کاهش می‌یابد.

۴- برای سیستم تعلیق محرک عقب مناسب است.

* معایب

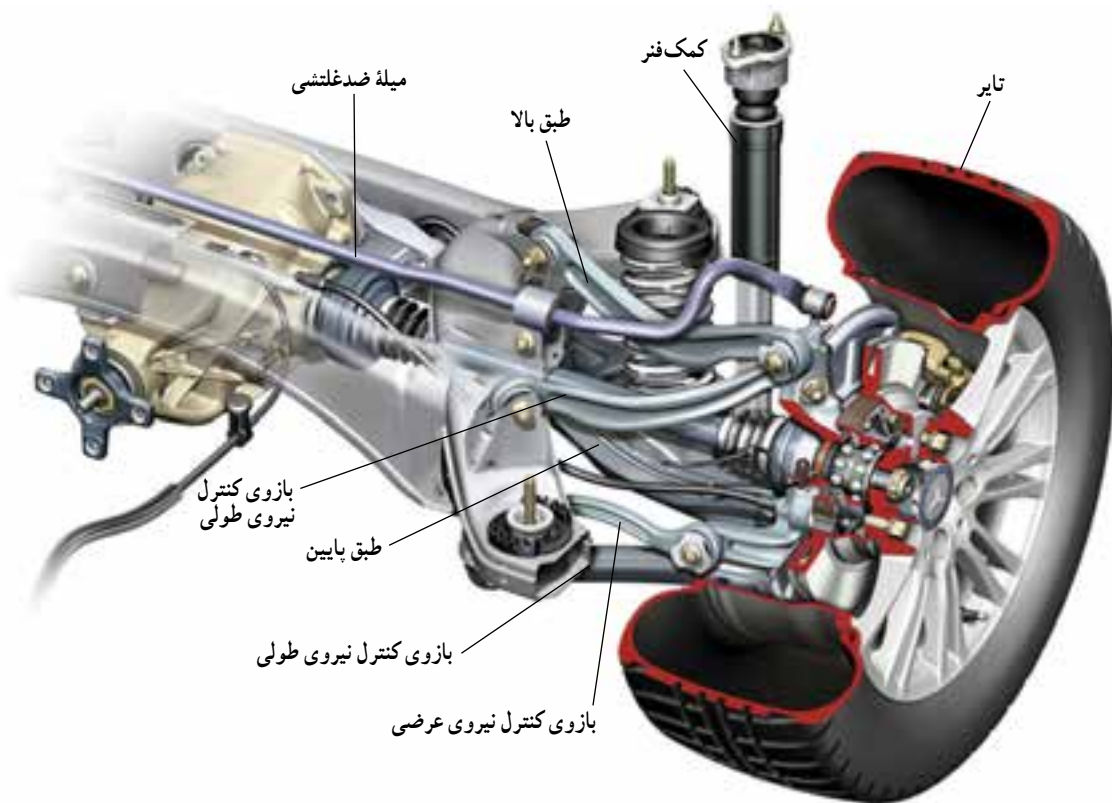
۱- تغییرات زاویه کمبر آن ناگهانی است. بنابراین تغییرات فاصله عرضی چرخ‌ها (ترک) زیاد است و پایداری سویی خودرو دچار مشکل می‌شود. در عین حال سایش تایر نیز افزایش می‌یابد.

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

ث) مکانیزم تعلیق چند میله‌ای^۱: مطابق شکل ۷-۳۹، این مکانیزم در حقیقت یک مکانیزم طبق‌دار دویل 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 میله عرضی و یک یا دو میله 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 هزینه طراحی و تولید بالای آن است.



شکل ۷-۳۹- مکانیزم تعلیق چند میله‌ای در سیستم تعلیق محرک عقب

آزمون پایانی

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