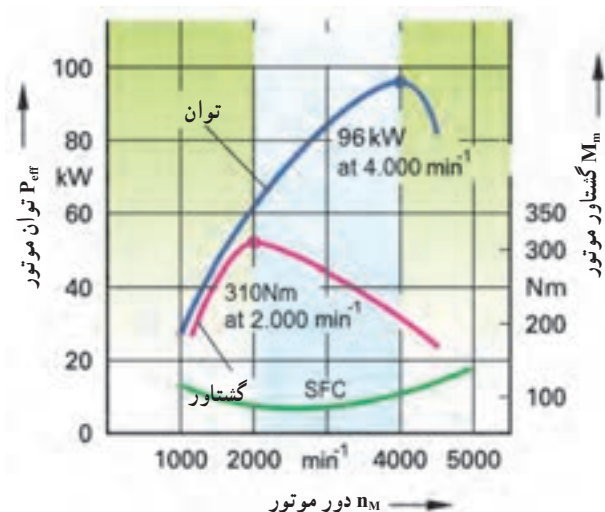


## جعبه دنده

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

- ۱- دلیل نیاز به جعبه دنده در خودرو را شرح دهد.
- ۲- انواع چرخ دنده های مورد استفاده در سیستم انتقال قدرت را نام ببرد.
- ۳- مزایا و معایب انواع چرخ دنده را شرح دهد.
- ۴- مشخصات چرخ دنده ساده را شرح دهد.
- ۵- نسبت دنده را تعریف کند.
- ۶- محاسبات مربوط به نسبت دنده را شرح دهد.
- ۷- انواع نسبت دنده را شرح دهد.
- ۸- اجزای اصلی جعبه دنده محرک عقب را نام ببرد.
- ۹- اجزای اصلی جعبه دنده محرک جلو را نام ببرد.
- ۱۰- مسیر انتقال توان در وضعیت های مختلف جعبه دنده محرک عقب را شرح دهد.
- ۱۱- مسیر انتقال توان در وضعیت های مختلف جعبه دنده محرک جلو را شرح دهد.
- ۱۲- مکانیزم محدود کننده ماهک را شرح دهد.
- ۱۳- وظیفه مکانیزم هماهنگ کننده سرعت (مکانیزم سنکرونیزه) را شرح دهد.
- ۱۴- انواع مکانیزم سنکرونیزه را نام ببرد.
- ۱۵- اجزای مکانیزم سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده را نام ببرد.
- ۱۶- نحوه عملکرد مکانیزم سنکرونیزه را شرح دهد.
- ۱۷- انواع جعبه دنده را نام ببرد.
- ۱۸- جعبه دنده دستی را تعریف کند.
- ۱۹- جعبه دنده نیمه اتوماتیک را تعریف کند.
- ۲۰- جعبه دنده اتوماتیک را تعریف کند.

### ۳-۱- وظیفه جعبه دنده در خودرو

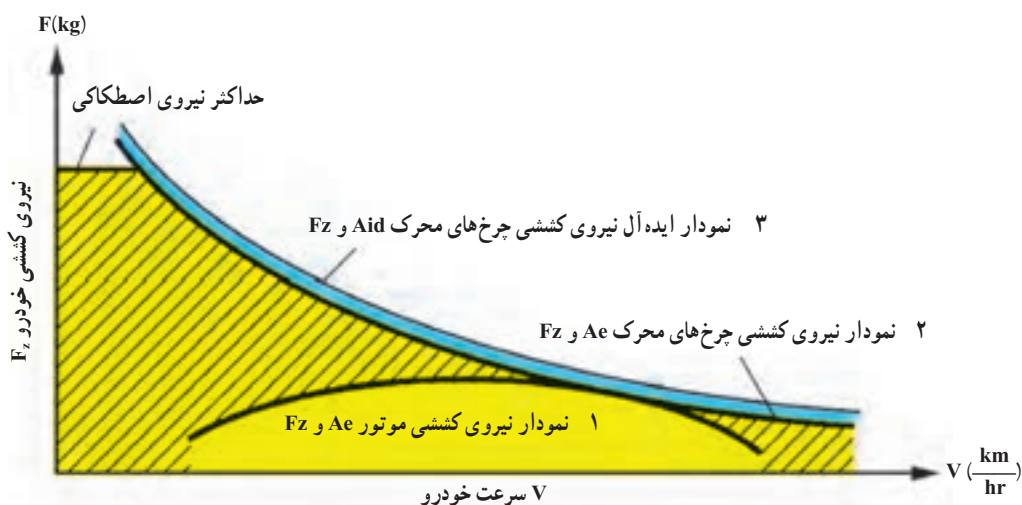


شکل ۳-۱- نمودار مشخصه‌های عملکردی موتور بنزینی (موتور احتراقی - جرقه‌ای)

به دلایل ذیل وجود جعبه دنده در خودرو ضروری می‌باشد.  
 ۱- شکل ۳-۱ نمودار مشخصه‌های عملکردی موتور بنزینی (موتور احتراقی - جرقه‌ای) را نشان می‌دهد. این نمودارها چگونگی تغییر توان ( $P_e$ )، گشتاور ( $M_m$ ) و مصرف سوخت ویژه (SFC) موتور بر حسب تغییرات دور موتور را بیان می‌کند.

آن بالا ببریم، باید دور موتور را افزایش دهیم که در این صورت دور موتور از دور حداکثر راندمان خارج شده و مصرف سوخت افزایش می‌یابد. در صورت وجود جعبه دنده در مسیر انتقال توان موتور به چرخ‌های محرک، می‌توان دور و سرعت‌های متفاوتی برای خودرو ایجاد کرد، بدون اینکه موتور از دور حداکثر راندمان خارج شود. البته این کار توسط جعبه دنده با مدیریت راننده و یا به صورت اتوماتیک انجام می‌شود.

همان گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش دور موتور، توان و گشتاور موتور افزایش می‌یابد تا به میزان حداکثر خود برسد. با افزایش بیشتر دور موتور، به دلیل کاهش راندمان حجمی و افزایش توان اصطکاکی موتور، توان و گشتاور افت می‌کند و مصرف سوخت بالا می‌رود. به حد فاصل بین دورهای حداکثر توان و حداکثر گشتاور، دور حداکثر راندمان موتور گفته می‌شود. با توجه به نمودار اگر بخواهیم دور چرخ‌ها را بدون وجود جعبه دنده و تأثیر



شکل ۳-۲- نمودار نیروی کششی و سرعت خودرو

حداکثر است که قادر است بر نیروهای مقاوم غلبه کند و نیروی شتاب خودرو را فراهم کند و با افزایش سرعت موتور و در نتیجه افزایش نیروی کششی موتور، نیروی کششی چرخ‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این نمودارها در صورت وجود جعبه‌دنده، نیروی کششی چرخ‌های محرک افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر جعبه‌دنده باعث تغییر در دور و گشتاور موتور می‌شود.

۲- با توجه به شکل ۲-۳ نمودار ۱ نشان‌دهنده نیروی کششی موتور، نمودار ۲ نیروی کششی چرخ‌های محرک و نمودار ۳ نمودار ایده‌آل نیروی کششی چرخ‌های محرک که فاقد افت توان سیستم انتقال قدرت می‌باشد، نشان داده شده است. مطابق نمودار ۲ در سرعت‌های کم موتور و چرخ‌های محرک که نیروهای مقاوم در برابر حرکت حداکثر و نیروی کششی موتور مطابق نمودار ۱ کم می‌باشند، نیروی کششی چرخ‌های محرک

**نکته:** جعبه‌دنده باعث تغییر دور و گشتاور موتور می‌باشد. و صرف‌نظر از افت توان اصطکاکی جعبه‌دنده تغییری در توان موتور ایجاد نمی‌کند. بنابراین، در هر دوری از موتور توان چرخ‌های محرک تقریباً برابر توان موتور می‌باشد.

«جعبه‌دنده‌های نیمه اتوماتیک» گفته می‌شود. در جعبه‌دنده‌های اتوماتیک هر دو عملی که به آنها اشاره شد، به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد.

در انتقال توان هیبریدی (ترکیبی)، خودرو دارای دو منبع تولید توان شامل موتور احتراق داخلی و موتور الکتریکی است. در این خودروها، با ترکیب مشخصه‌های موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی، در زمینه بهبود عملکرد خودرو، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌گی نتایج مناسب‌تری به دست آمده است.

جعبه‌دنده‌های متغیر پیوسته (CVT) نوعی جعبه‌دنده هستند که در آنها تغییر نسبت دنده به صورت پیوسته انجام می‌گیرد.

### ۳-۳- چرخ‌دنده

چرخ‌دنده یکی از پرکاربردترین قطعات، با قابلیت انتقال دور و گشتاور و همچنین تغییر در مقدار دور و گشتاور و جهت آن است. چرخ‌دنده‌ها از اجزای اصلی سیستم‌های انتقال قدرت، از جمله جعبه‌دنده خودروهای سواری هستند (شکل ۳-۳).

۳- با توجه به اینکه موتورها در یک جهت دوران دارند جعبه‌دنده امکان حرکت معکوس خودرو را فراهم می‌کند.

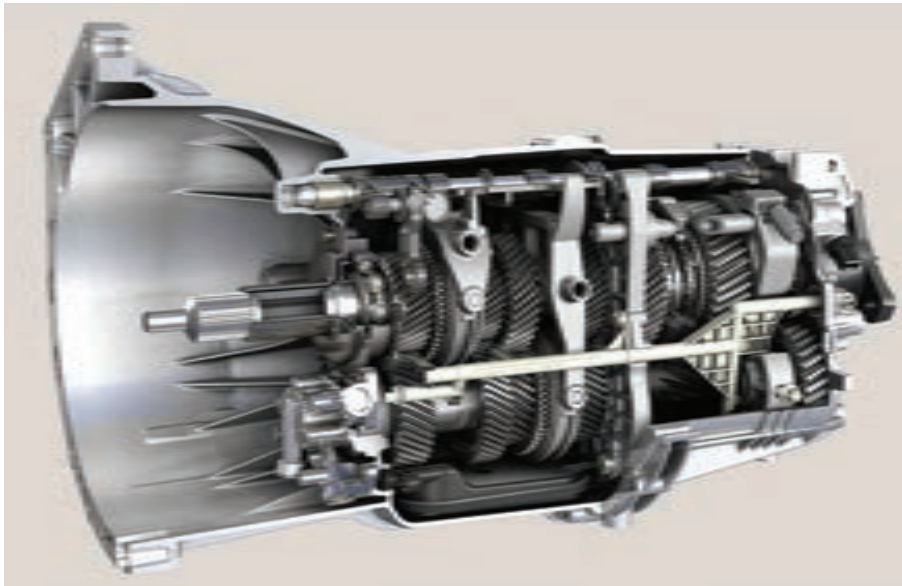
۴- امکان روشن ماندن موتور را هنگامی که خودرو ساکن است، با ایجاد وضعیت خلاص فراهم می‌کند.

### ۳-۲- انواع جعبه‌دنده

انواع جعبه‌دنده در خودروهای سواری را، به طور کلی می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی نمود:

- جعبه‌دنده دستی؛
- جعبه‌دنده نیمه اتوماتیک؛
- جعبه‌دنده اتوماتیک؛
- انتقال توان هیبریدی (ترکیبی)؛
- جعبه‌دنده متغیر پیوسته (CVT).

تمامی جعبه‌دنده‌هایی که در آنها دو عمل «تعویض دنده» و «درگیری کلاچ اصلی خودرو برای شروع حرکت و تعویض دنده» توسط راننده به صورت دستی انجام می‌گیرد جعبه‌دنده دستی محسوب می‌شود. در برخی از جعبه‌دنده‌ها تنها یکی از دو عمل «تعویض دنده» و «درگیری کلاچ اصلی خودرو برای شروع حرکت و تعویض دنده» به صورت اتوماتیک انجام می‌شود که به آنها



شکل ۳-۳ چرخ‌دنده‌ها در جعبه دنده دستی

در این مکانیزم، هنگامی که محور ورودی توسط دست به حرکت در می‌آید چرخ‌دنده کوچک (محرک)، که متصل به محور ورودی است، نیز دَوَران می‌کند و چرخ‌دنده بزرگ (متحرک) متصل به محور خروجی را می‌چرخاند. بنابراین چرخ متصل به محور خروجی نیز دَوَران خواهد کرد. ملاحظه می‌شود که با استفاده از یک جفت چرخ‌دنده، انتقال توان از دست به چرخ صورت می‌پذیرد.

### ۳-۴ انواع چرخ‌دنده

چرخ‌دنده‌های مورد استفاده در سیستم انتقال قدرت خودروهای سواری را می‌توان به دو روش کلی تقسیم‌بندی نمود:

۱- از لحاظ راستای انتقال توان؛

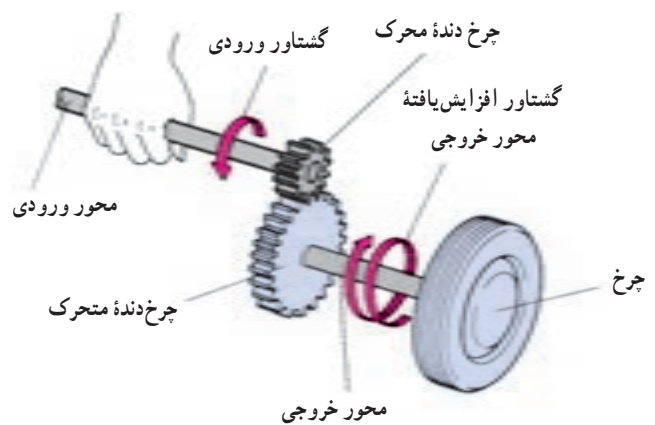
۲- از لحاظ فرم دندانه.

چرخ‌دنده‌ها از لحاظ راستای انتقال توان:

۱- چرخ‌دنده‌های موازی محور: با توجه به شکل

۳-۵، در این حالت محور چرخ‌دنده‌های درگیر با یکدیگر موازی هستند. از این نوع چرخ‌دنده‌ها در جعبه‌دنده خودروها به وفور استفاده می‌شود.

شکل ۳-۴ مکانیزم ساده انتقال توان را به وسیله چرخ‌دنده نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود برای انتقال دور و گشتاور توسط چرخ‌دنده‌ها، حداقل به دو چرخ‌دنده نیاز است. یکی از چرخ‌دنده‌ها متصل به شفت محرک (شفت نیرو دهنده) می‌باشد که به آن چرخ‌دنده محرک و چرخ‌دنده دیگر متصل به شفت متحرک (شفت گیرنده نیرو) می‌باشد که به آن چرخ‌دنده متحرک می‌گویند.



شکل ۳-۴ انتقال توان توسط یک مکانیزم چرخ‌دنده ساده

محور آنها نسبت به هم متناظرند و یکدیگر را قطع نمی‌کنند. این نوع چرخ‌دنده‌ها به دلیل محاسنی که پیشتر ذکر خواهد شد در گرداننده نهایی کاربرد دارد (شکل ۷-۳).



شکل ۷-۳ چرخ‌دنده‌ها با محورهای متناظر

### چرخ‌دنده‌ها از لحاظ فرم دندانه

۱- چرخ‌دنده ساده: مطابق شکل ۸-۳، این نوع چرخ‌دنده‌ها در جعبه دنده خودروهای اولیه کاربرد داشتند. معمولاً این نوع چرخ‌دنده‌ها به صورت دائم با شفت خود درگیر می‌باشند و برای ایجاد یک نسبت تبدیل موقت چرخ‌دنده متحرک که به صورت هزارخاری با شفت خود درگیر است به صورت کشویی روی آن حرکت کرده و با چرخ‌دنده محرک خود درگیر می‌شود. بنابراین به علت هم‌سرعت نبودن شفت‌ها (چرخ‌دنده‌ها)، درگیری با صدا صورت گرفته و باعث سایش دنده‌ها می‌شود و همچنین در موقع کارکرد چرخ‌دنده‌ها به دلیل اینکه در هر لحظه فقط یک دنده از چرخ‌دنده محرک با یک دنده از چرخ‌دنده متحرک درگیر است، درگیری دنده‌ها به صورت آنی صورت می‌گیرد. سر و صدای آنها نسبت به سایر چرخ‌دنده‌ها بیشتر می‌باشد که این موضوع باعث می‌شود استفاده این چرخ‌دنده‌ها در خودروهای سواری به جز استفاده در دنده عقب کاربرد نداشته باشد.



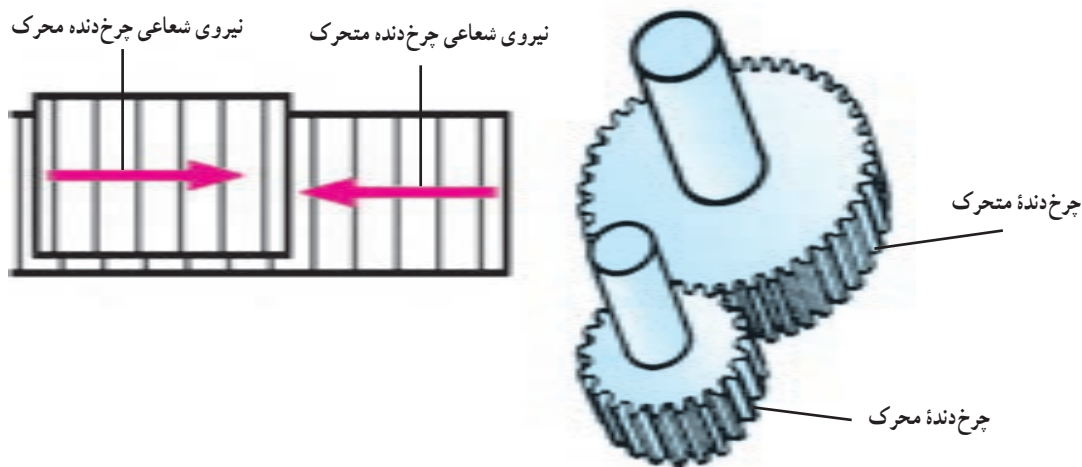
شکل ۵-۳ چرخ‌دنده‌های موازی محور

۲- چرخ‌دنده‌های عمود محور: شفت‌هایی که این چرخ‌دنده‌ها روی آن نصب شده‌اند، به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که محورهای آنها عمود بر هم و دارای زاویه  $90^\circ$  درجه نسبت به هم‌اند (شکل ۶-۳). از این نوع چرخ‌دنده‌ها برای تغییر  $90^\circ$  درجه‌ای صفحه دوران استفاده می‌شود. معمولاً این چرخ‌دنده‌ها در «گرداننده نهایی» خودروهای محرک عقب مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۶-۳ چرخ‌دنده‌های عمود محور

۳- چرخ‌دنده‌ها با محورهای متناظر: شفت‌هایی که این چرخ‌دنده‌ها روی آن نصب شده‌اند، به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که محورهای آنها در صفحه‌های عمود بر هم واقع شده‌اند و



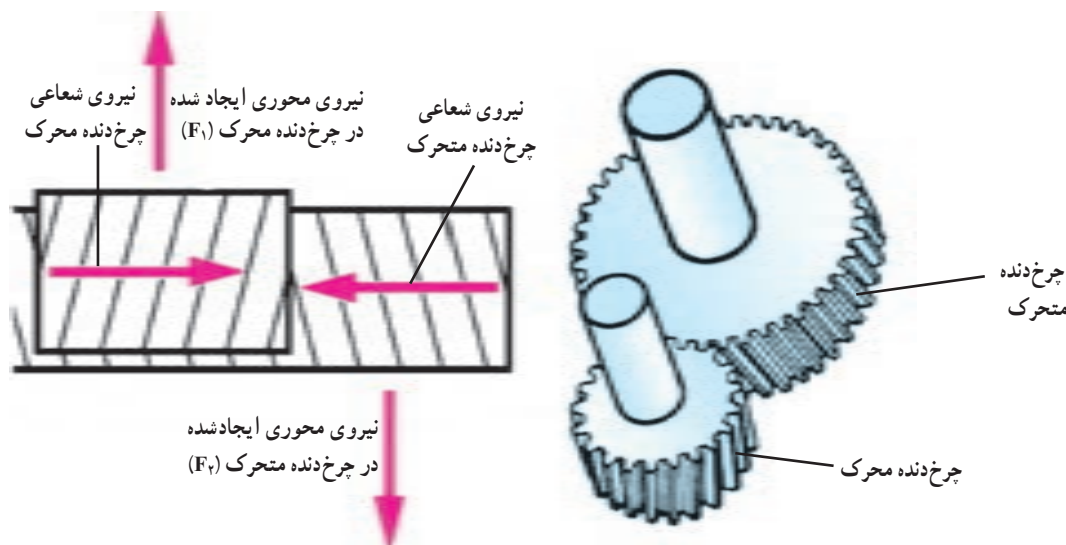
شکل ۸-۳- چرخ دنده ساده

آنهاست. در این نوع چرخ دنده‌ها درگیری دندانه‌ها از یک نقطه شروع می‌شود و به تدریج گسترش می‌یابد و همزمان بیش از یک دندانه از هر چرخ دنده با هم درگیر می‌شوند، بنابراین ظرفیت انتقال توان توسط آنها زیاد است.

عیب اصلی این چرخ دنده‌ها این است که به سبب زاویه دار بودن دندانه‌ها، بخشی از توان انتقالی بین چرخ دنده‌ها به نیروی محوری (نیروهای  $F_1$  و  $F_2$ ) تبدیل و باعث اتلاف توان می‌شود. بنابراین این نوع چرخ دنده‌ها به یاتاقان کف گرد نیاز دارند و برای شفت‌های این چرخ دنده‌ها از یاتاقان‌هایی که تحمل نیروی محوری داشته باشند، استفاده می‌شود.

مزیت اصلی چرخ دنده‌های ساده این است که راندمان کاری بالایی دارند و تقریباً تمام توان از چرخ دنده محرک به چرخ دنده متحرک منتقل می‌شود.

۲- چرخ دنده مارپیچ: همان گونه که در شکل ۹-۳ ملاحظه می‌شود، این نوع چرخ دنده‌ها دارای دندانه‌های موازی اند. از آنجایی که دندانه‌های روی چرخ دنده با محور چرخ دنده زاویه دارند، چرخ دنده مارپیچ را نمی‌توان با حرکت محوری روی شفت با هم درگیر یا از یکدیگر جدا نمود. در نتیجه این چرخ دنده‌ها پس از مونتاژ به صورت دائم با هم درگیر باقی می‌مانند. امروزه کاربرد چرخ دنده‌های مارپیچ در جعبه دنده‌های دستی خودرو فراوان است. مزیت اصلی چرخ دنده‌های مارپیچ، کارکرد کم صدای



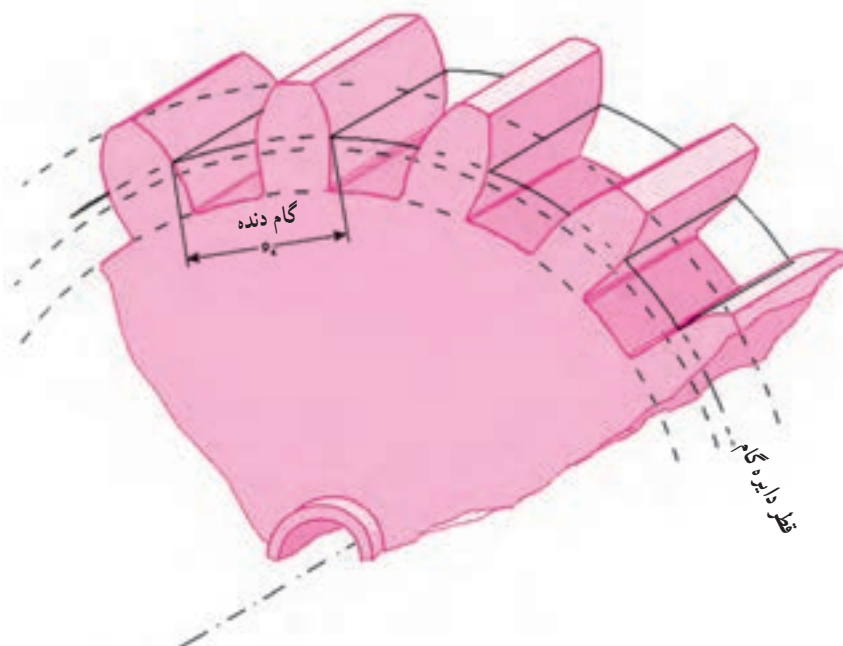
شکل ۹-۳- چرخ دنده مارپیچ

نکته : چرخ‌دنده‌های مارپیج به صورت دائمی با هم درگیر هستند و برای ایجاد یک نسبت تبدیل موقت یکی از چرخ‌دنده‌ها که روی شفت مربوط به خود به صورت آزاد و هرز می‌چرخد با شفت خود قفل می‌شود.

### ۳-۵- مشخصات چرخ‌دنده

مشخصات چرخ‌دنده ساده در شکل ۳-۱۰ نشان داده

شده است.



شکل ۳-۱۰- مشخصات چرخ‌دنده ساده

$$m = \frac{d_o}{Z}$$

(۳-۱)

m : مدول (mm)

d<sub>o</sub> : قطر دایره گام (mm)

Z : تعداد دندانه‌های چرخ‌دنده

۳-۵-۱- دایره گام : دایره‌ای فرضی است که در

محاسبات چرخ‌دنده از اهمیت زیادی برخوردار است. دایره‌های گام چرخ‌دنده‌هایی که با هم درگیر هستند با یکدیگر مماس‌اند.

۳-۵-۲- مدول : نسبت قطر دایره گام به تعداد دندانه‌های

چرخ‌دنده، مدول نامیده می‌شود. به عبارت دیگر :

نکته : مدول (m) یک جفت چرخ‌دنده درگیر با هم برابرند.

$Z_2$  : تعداد دندانه های چرخ دنده متحرک  
 با توجه به رابطه ۳-۶، نسبت دنده از «تقسیم تعداد دوران  
 چرخ دنده متحرک به تعداد دوران چرخ دنده متحرک» یا از «تقسیم  
 تعداد دندانه های چرخ دنده متحرک ( $Z_2$ ) به تعداد دندانه های  
 چرخ دنده متحرک ( $Z_1$ )» به دست می آید.  
 برای مثال اگر چرخ دنده متحرک دارای  $Z_1=10$  دندانه و  
 چرخ دنده متحرک دارای  $Z_2=40$  دندانه باشد، نسبت دنده برابر  
 است با :

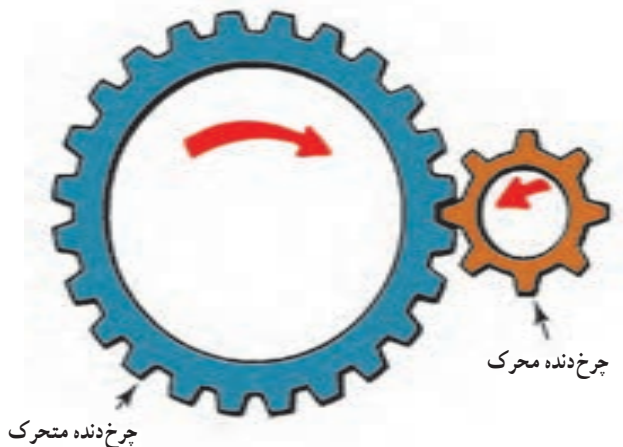
$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{40}{10} = 4 \rightarrow i = 4$$

این به آن معناست که اگر چرخ دنده متحرک با سرعت  
 ۱۰۰۰ rpm دوران کند، چرخ دنده متحرک با سرعت ۲۵۰ rpm  
 ( $\frac{1}{4}$  چرخ دنده متحرک) دوران خواهد کرد. در این وضعیت،  
 گشتاور چرخ دنده متحرک چهار برابر چرخ دنده متحرک است.

### ۳-۷- انواع نسبت دنده

با توجه به ابعاد هندسی چرخ دنده های درگیر، نسبت دنده  
 ایجاد شده می تواند به شرح ذیل دسته بندی شود :

۳-۷-۱- نسبت آندردرایو ( $i > 1$ ) : مطابق شکل  
 ۳-۱۱، این نسبت دنده زمانی ایجاد می شود که قطر چرخ دنده  
 متحرک از قطر چرخ دنده متحرک کوچک تر باشد. در این  
 وضعیت، گشتاور افزایش، اما دور کاهش می یابد. برای مثال



شکل ۳-۱۱- ایجاد نسبت آندردرایو ( $i > 1$ )

۳-۵-۳- گام دنده : فاصله ای ست بر روی دایره گام  
 که از یک نقطه بر روی یک دندانه تا نقطه مشابه بر روی دندانه  
 مجاور اندازه گیری می شود. گام دنده را می توان به وسیله رابطه  
 زیر محاسبه نمود :

$$P = m\pi \quad (3-2)$$

$P$  : گام چرخ دنده (mm)

$m$  : مدول (mm)

### ۳-۶- نسبت دنده<sup>۱</sup>

نسبت دنده بیان کننده رابطه مکانیکی بین چرخ دنده هاست  
 و میزان تغییرات دور و گشتاور بین چرخ دنده های درگیر با یکدیگر  
 را نشان می دهد. برای به دست آوردن رابطه ای به منظور محاسبه  
 نسبت دنده به ترتیب ذیل عمل می شود :

با توجه به اینکه سرعت خطی ( $V$ ) دو چرخ دنده در نقطه  
 تماس برابر یکدیگر است، نتیجه می شود :

$$V_1 = V_2 \quad (3-3)$$

با جای گذاری رابطه  $V = \pi n d o$  در رابطه ۳-۳، رابطه  
 ۳-۴ به دست می آید.

$$\pi n_1 d o_1 = \pi n_2 d o_2 \quad (3-4)$$

با جای گذاری رابطه ۳-۱ (رابطه مدول دنده) در رابطه  
 ۳-۴ نتیجه می شود :

$$m_1 \cdot Z_1 \cdot \pi \cdot n_1 = m_2 \cdot Z_2 \cdot \pi \cdot n_2 \quad (3-5)$$

همان گونه که گفته شد، مدول دو چرخ دنده درگیر با هم  
 برابرند. از این رو با حذف عوامل  $m$  و  $\pi$  از رابطه ۳-۵، رابطه  
 ۳-۶ حاصل می شود.

$$Z_1 \cdot n_1 = Z_2 \cdot n_2 \rightarrow i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3-6)$$

که در این رابطه :

$i$  : نسبت دنده

$n_1$  : تعداد دوران چرخ دنده متحرک (rpm)

$Z_1$  : تعداد دندانه های چرخ دنده متحرک

$n_2$  : تعداد دوران چرخ دنده متحرک (rpm)



در این وضعیت برای هر بار دَوَران چرخ‌دنده متحرک، چرخ‌دنده متحرک کمتر از یکبار دَوَران می‌کند.

شکل ۳-۱۴ نحوه تغییرات نسبت دنده در وضعیت‌های مختلف یک جعبه‌دنده پنج‌سرعته را نشان داده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، «دنده ۱» دارای بزرگ‌ترین نسبت دنده (بیشترین گشتاور) و «دنده ۵» دارای کوچک‌ترین نسبت دنده (بیشترین سرعت) است.

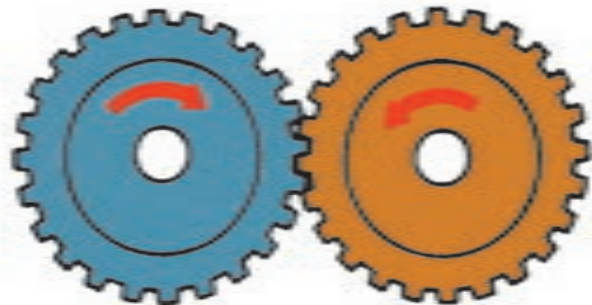
### ۳-۸- چرخ‌دنده هرزگرد

چرخ‌دنده هرزگرد بین چرخ‌دنده‌های محرک و متحرک قرار می‌گیرد و تنها دور و گشتاور را از چرخ‌دنده‌ای به چرخ‌دنده دیگر در جهت مخالف منتقل می‌کند. این نوع چرخ‌دنده بر روی نسبت دنده تأثیری ندارد و فقط جهت دَوَران را تغییر می‌دهد. جعبه‌دنده‌های دستی از چرخ‌دنده هرزگرد برای معکوس کردن جهت دَوَران در وضعیت «دنده عقب» استفاده می‌شود. نحوه کاربرد این چرخ‌دنده در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.

مطابق شکل صفحه بعد اگر شفت ورودی راست‌گرد دَوَران کند، چرخ‌دنده A نیز راست‌گرد دَوَران می‌کند. چرخ‌دنده A، چرخ‌دنده B را روی شفت زیر چپ‌گرد دَوَران می‌دهد. بنابراین شفت زیر و چرخ‌دنده C نیز چپ‌گرد دَوَران می‌کنند. چرخ‌دنده C، چرخ‌دنده هرزگرد E را راست‌گرد دَوَران می‌دهد و چرخ‌دنده هرزگرد نیز چرخ‌دنده D را روی شفت خروجی چپ‌گرد دَوَران می‌دهد. از این‌رو شفت خروجی نیز چپ‌گرد دَوَران می‌کند. در نتیجه ملاحظه می‌شود که شفت ورودی راست‌گرد و شفت خروجی چپ‌گرد دَوَران می‌کند.

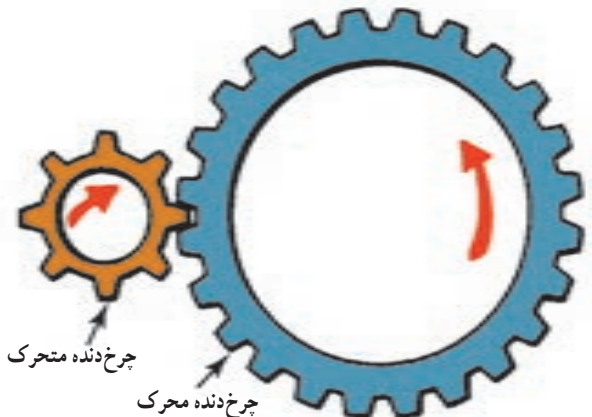
$i$ : یک نسبت آندردرایو ( $i > 1$ ) است و با این نسبت دنده، چرخ‌دنده متحرک باید سه بار دَوَران کند تا چرخ‌دنده متحرک یک بار دَوَران کند. در حالی که گشتاور چرخ‌دنده متحرک سه برابر گشتاور چرخ‌دنده متحرک است.

۳-۷-۲- نسبت مستقیم<sup>۱</sup> ( $i=1$ ): مطابق شکل ۳-۱۲، زمانی که دو چرخ‌دنده با اندازه و تعداد دندانه‌های یکسان با هم درگیر باشند، نسبت مستقیم ( $i=1$ ) ایجاد می‌شود. در این حالت سرعت دَوَران و گشتاور هر دو چرخ‌دنده یکسان است.

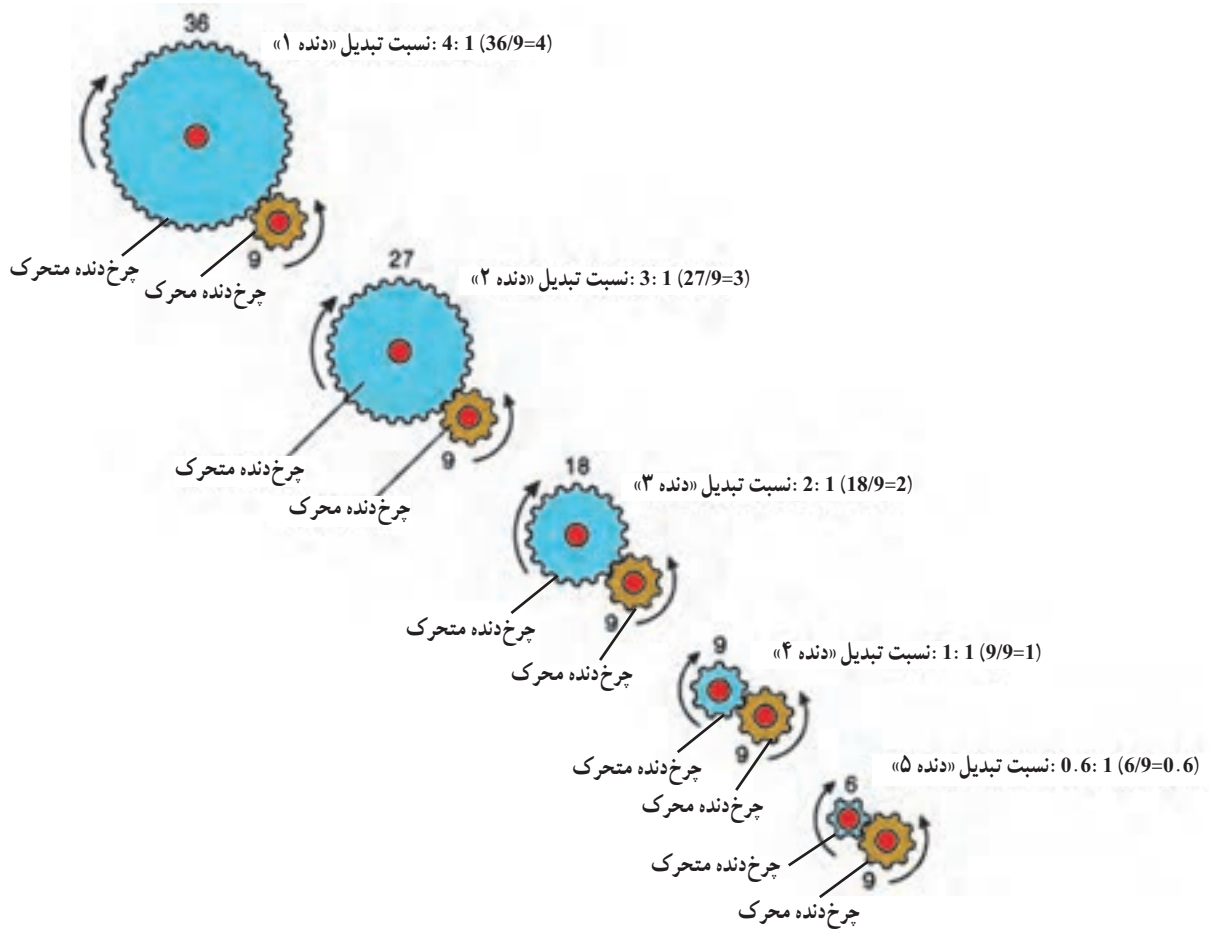


شکل ۳-۱۲- ایجاد نسبت مستقیم ( $i=1$ )

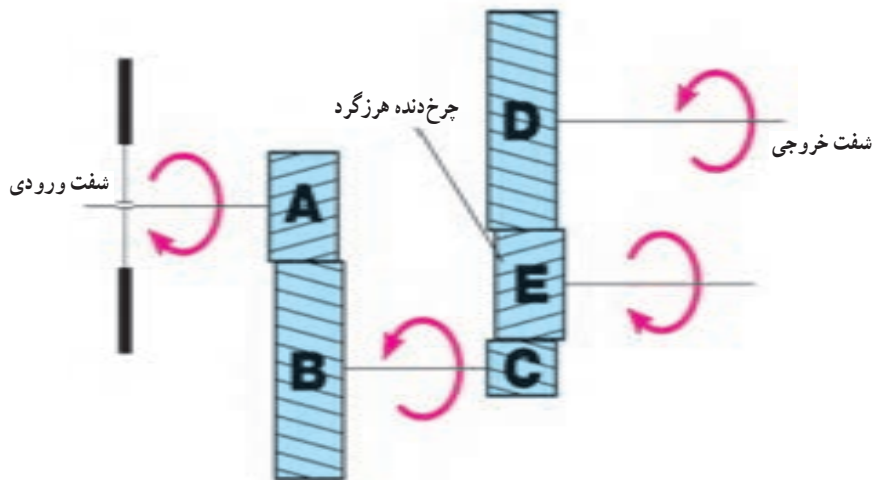
۳-۷-۳- نسبت اوردرایو<sup>۲</sup> ( $i < 1$ ): مطابق شکل ۳-۱۳، این نسبت دنده زمانی ایجاد می‌شود که قطر چرخ‌دنده متحرک از قطر چرخ‌دنده متحرک بزرگ‌تر باشد. نسبت اوردرایو ( $i < 1$ ) باعث افزایش سرعت و کاهش گشتاور می‌شود.



شکل ۳-۱۳- ایجاد نسبت اوردرایو ( $i < 1$ )



شکل ۱۴-۳ تغییرات نسبت دنده در وضعیت‌های مختلف یک جعبه دنده پنج سرعته



شکل ۱۵-۳ کاربرد چرخ دنده هرزگرد برای ایجاد وضعیت «دنده عقب»

### ۹-۳- جعبه دنده دستی

جعبه دنده دستی شامل تعدادی چرخ دنده و شفت است. تعداد چرخ دنده ها به تعداد نسبت دنده های جعبه دنده و محرک جلو یا محرک عقب بودن آن بستگی دارد. تعداد شفت های این جعبه دنده ها نیز بسته به اینکه محرک عقب یا محرک جلو هستند، متفاوت است. برای مثال یک جعبه دنده محرک عقب چهار سرعته (چهار دنده) دارای چهار شفت به ترتیب ذیل است:

۱- شفت ورودی یا شفت کلاچ؛

۲- شفت زیر یا شفت همیشه گرد؛

۳- شفت خروجی یا شفت اصلی؛

۴- شفت چرخ دنده هرزگرد. دنده عقب.

این جعبه دنده پنج زوج دنده دارد، که چهار زوج آن برای ایجاد چهار نسبت تبدیل حرکت به جلو و یک زوج دنده و یک

چرخ دنده هرزگرد برای حرکت معکوس است. شکل های ۱۶-۳ و ۱۷-۳ دو طرح اصلی از جعبه دنده های دستی مورد استفاده در خودروهای سواری را نشان می دهند. جعبه دنده نشان داده شده در شکل ۱۶-۳، در خط انتقال قدرت استاندارد (محرک عقب) مورد استفاده قرار می گیرد. همان گونه که ملاحظه می شود، این جعبه دنده دارای چهار شفت:

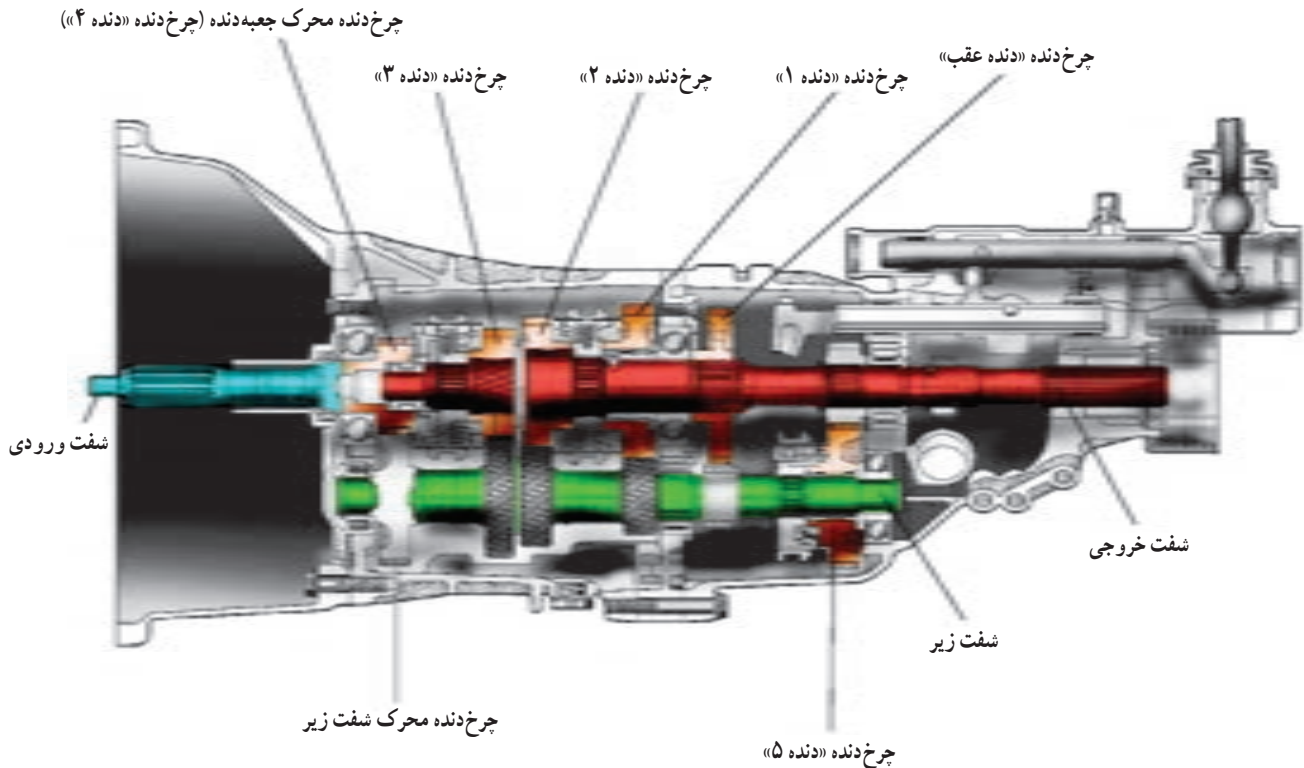
۱- ورودی،

۲- خروجی،

۳- شفت زیر،

۴- شفت چرخ دنده هرزگرد «دنده عقب» است.

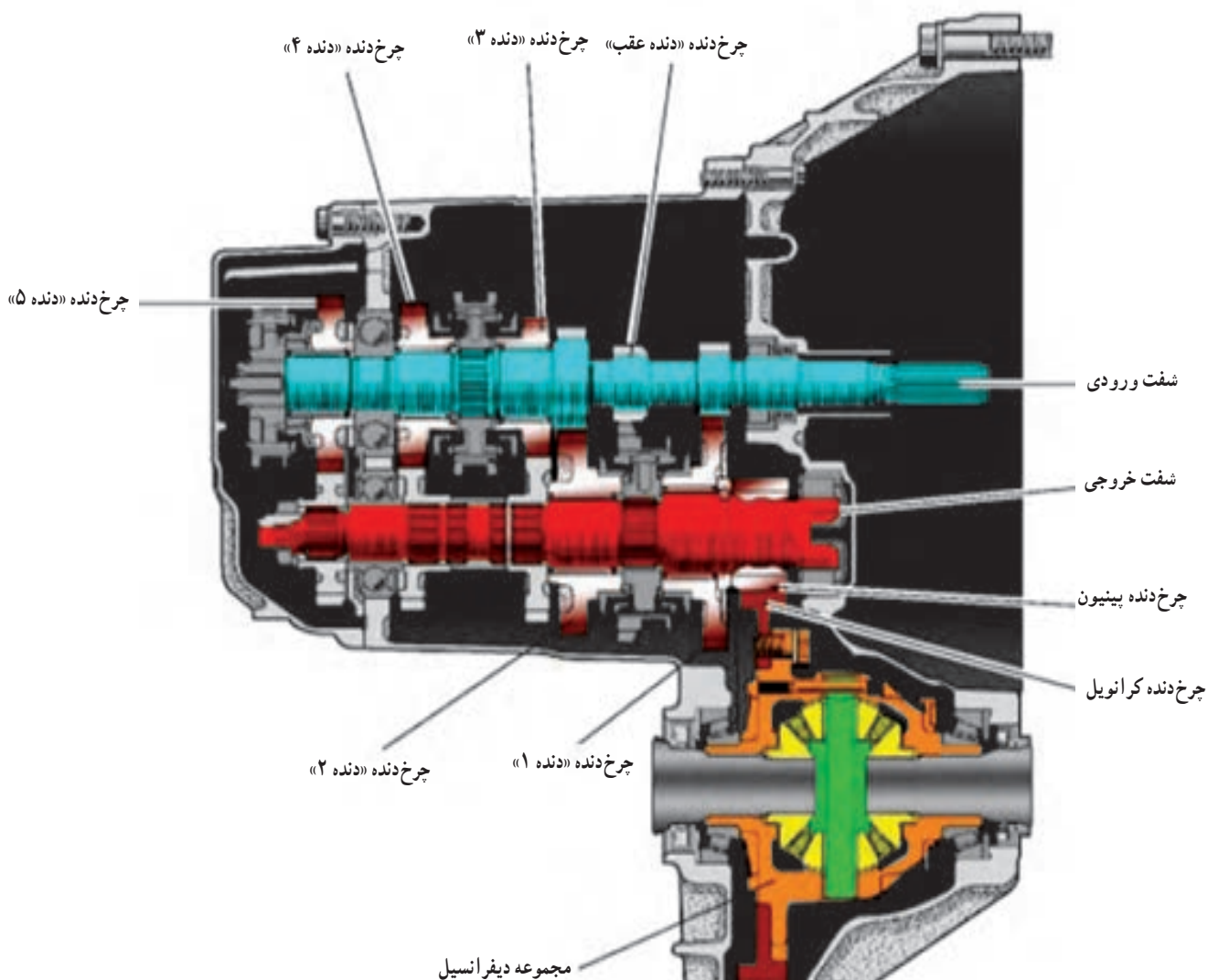
در این طرح دور و گشتاور شفت خروجی از طریق میل گاردان به دیفرانسیل، که در اکسل عقب قرار گرفته است، منتقل می شود.



شکل ۱۶-۳- جعبه دنده دستی با چهار شفت که در خودروهای محرک عقب با خط انتقال قدرت استاندارد استفاده می شود.

طرح جعبه‌دنده نشان داده شده در شکل ۱۷-۳ در سیستم انتقال قدرت خودروهای محرک جلو (که موتور آنها به صورت عرضی قرار گرفته است)، به کار می‌رود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، این جعبه‌دنده دارای سه شفت: ۱- ورودی،

۲- خروجی،  
 ۳- شفت چرخ‌دنده هرزگرد «دنده عقب» است و مجموعه «گرداننده نهایی و دیفرانسیل» نیز در پوسته جعبه‌دنده تعبیه شده است.



شکل ۱۷-۳ جعبه دنده دستی با سه شفت که در خودروهای محرک جلو استفاده می‌شود.

### ۱۰-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی

در این بخش مسیر انتقال توان در دو طرح جعبه‌دنده نشان داده شده در شکل‌های ۱۷-۳ و ۱۸-۳ بررسی شده است.

۱-۱۰-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده خودروی محرک عقب: قبل از تشریح مسیر انتقال توان در این جعبه‌دنده توجه

به نکات ذیل جهت بررسی عملکرد جعبه‌دنده حائز اهمیت است.  
 ۱- چرخ‌دنده‌های موجود بر روی شفت خروجی (چرخ‌دنده‌های متحرک مربوط به دنده‌های یک، دو و سه) هیچ‌کدام با شفت خروجی درگیری ندارند و همگی در حالت عادی بر روی شفت

یاتاقان تکیه کرده است و دَوَران می‌کند. این چرخ‌دنده محرک شفت زیر جعبه‌دنده می‌باشد و به آن چرخ‌دنده محرک جعبه‌دنده نیز گفته می‌شود.

با توجه به مطالب فوق مسیر انتقال توان در حالت‌های مختلف برای جعبه‌دنده نشان داده شده در شکل ۱۶-۳ به شرح ذیل است:

**۱- حالت خلاص:** در حالت خلاص، شفت ورودی تمام چرخ‌دنده‌های شفت زیر را می‌چرخاند. از طرفی چرخ‌دنده‌های شفت زیر با تمام چرخ‌دنده‌های متحرک واقع شده بر روی شفت خروجی درگیرند. در این حالت چون هیچ کدام از چرخ‌دنده‌ها به شفت خروجی وصل نیستند و روی آن به صورت هرز می‌چرخند از این رو توان به شفت خروجی منتقل نمی‌شود.

**۲- حالت «دنده ۱»:** شکل ۱۸-۳ مسیر انتقال توان در «دنده ۱» را نشان می‌دهد. در این وضعیت، با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ به سمت چرخ‌دنده متحرک «دنده ۱» این چرخ‌دنده با شفت خروجی یکپارچه می‌شود، در حالی که بقیه چرخ‌دنده‌های روی شفت خروجی هرزگردند. بنابراین با توجه به شکل، دور و گشتاور به ترتیب ذیل منتقل می‌شود:

شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» یا محرک جعبه‌دنده روی شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» روی شفت زیر یا چرخ‌دنده

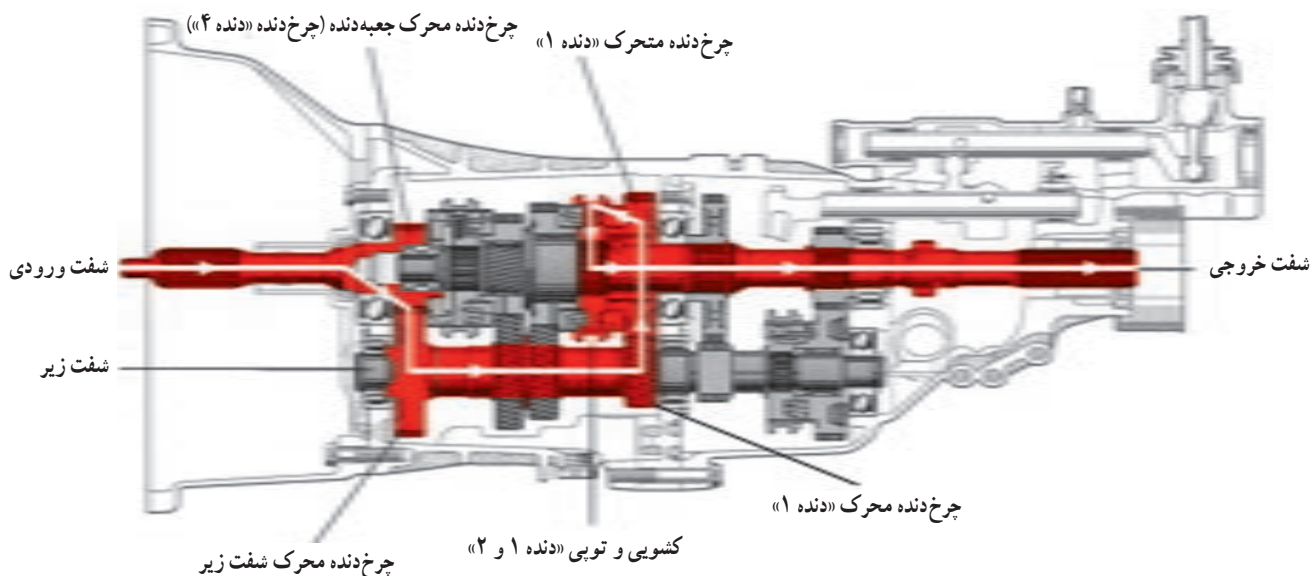
خروجی هرزگردند. به عبارت دیگر، تمامی این چرخ‌دنده‌ها در حالت عادی حول محور شفت خروجی و بدون ارتباط با شفت خروجی دَوَران می‌کنند. این چرخ‌دنده‌ها همگی «متحرک» اند.

**۲- تمامی چرخ‌دنده‌های شفت زیر (غیر از دنده ۵) با هم یکپارچه‌اند و توان را از شفت ورودی و چرخ‌دنده محرک جعبه‌دنده دریافت و همواره دَوَران می‌کنند.** از طرف دیگر شفت زیر، چرخ‌دنده‌های مربوط به دنده‌های یک تا پنج روی شفت خروجی را دَوَران می‌دهد و همان‌گونه که ذکر شد، این چرخ‌دنده‌ها نیز در حالت خلاص، به صورت هرزگرد، حول محور شفت خروجی دَوَران می‌کنند.

**۳- چرخ‌دنده هرزگرد «دنده عقب»** روی شفت خود به صورت هرزگرد قرار دارد و به صورت محوری جابه‌جا می‌شود. این چرخ‌دنده فقط در «دنده عقب» مورد استفاده قرار می‌گیرد و ضمن معکوس کردن جهت دَوَران، توان را منتقل می‌کند.

**۴- چرخ‌دنده «دنده عقب»** روی شفت خروجی، همواره به آن وصل بوده و دَوَران آن با دَوَران شفت خروجی یکسان است.

**۵- چرخ‌دنده «دنده ۴»** به صورت یکپارچه در انتهای شفت ورودی است. انتهای شفت ورودی به صورت توخالی است و داخل آن یک یاتاقان لغزشی (بوش برنجی) یا غلتشی (رولبرینگ سوزنی) قرار دارد که سر شفت خروجی در داخل آن، روی این



شکل ۱۸-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده ۱»

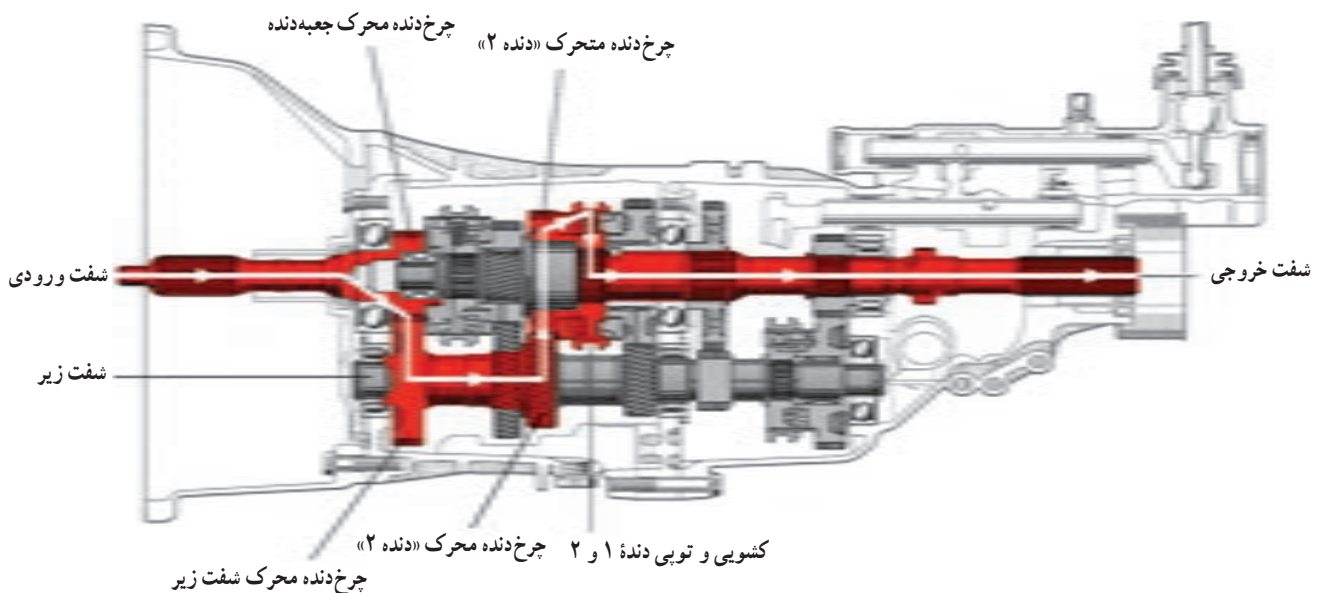
«دنده ۲»، این چرخ‌دنده با شفت خروجی یکپارچه می‌شود. باید توجه کرد که ابتدا چرخ‌دنده «دنده ۱» از حالت درگیری خارج و جعبه‌دنده خلاص می‌شود، سپس با یکپارچه شدن چرخ‌دنده متحرک «دنده ۲» با شفت خروجی، وضعیت «دنده ۲» مطابق شکل ایجاد می‌شود. مسیر انتقال توان به ترتیب زیر است:

شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» روی شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» روی شفت زیر، چرخ‌دنده متحرک «دنده ۲» روی شفت خروجی، کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ تویی، شفت خروجی جعبه‌دنده. در این وضعیت نیز نسبت دنده از یک بزرگ‌تر است و حالت آندر درایو ( $i > 1$ ) ایجاد می‌شود. اما نسبت به وضعیت «دنده ۱» دور خروجی بیشتر و گشتاور خروجی کمتر است.

محرك شفت زیر، چرخ‌دنده محرك «دنده ۱» روی شفت زیر چرخ‌دنده متحرك «دنده ۱» روی شفت خروجی، کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲، تویی، شفت خروجی جعبه‌دنده.

معمولاً بزرگ‌ترین نسبت دنده جعبه‌دنده در وضعیت «دنده ۱» ایجاد می‌شود. بنابراین در این حالت دور خروجی کاهش و گشتاور خروجی جعبه‌دنده افزایش می‌یابد. باید توجه نمود که با صرف نظر کردن از اتلاف توان در جعبه‌دنده، توان ورودی به جعبه‌دنده با توان خروجی از آن برابر خواهد بود. فقط در این حالت دور خروجی کاهش و گشتاور خروجی افزایش می‌یابد.

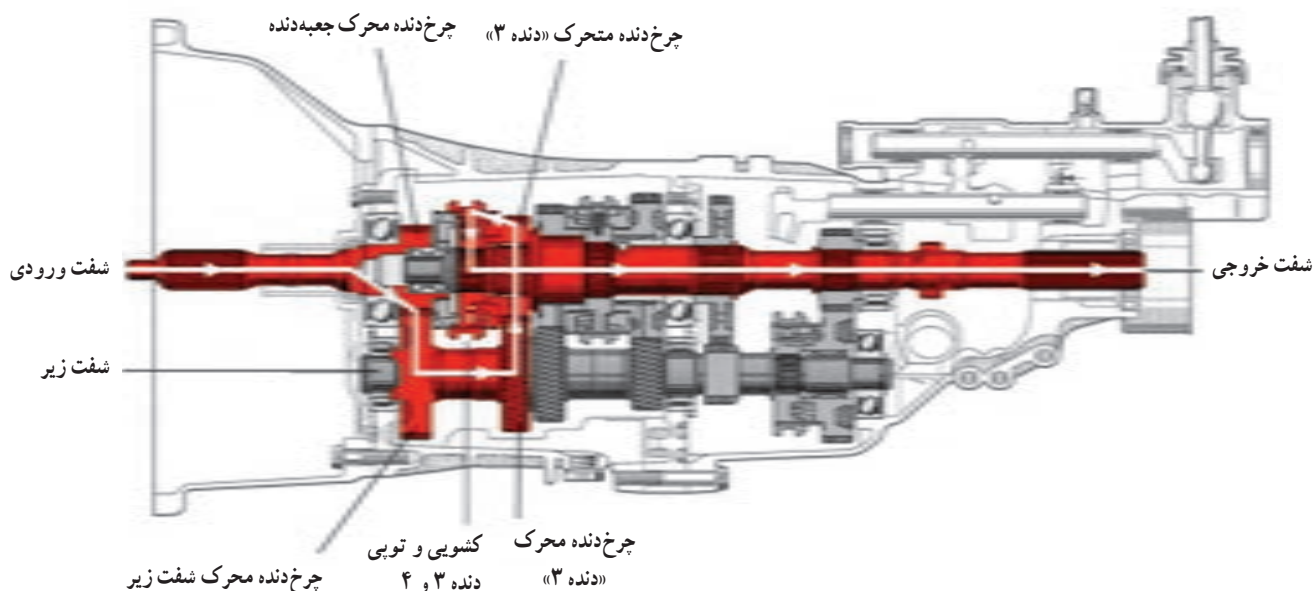
**۳- حالت «دنده ۲»:** شکل ۱۹-۳ مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۲» را نشان می‌دهد. در این وضعیت با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۱-۲ به سمت چرخ‌دنده متحرک



شکل ۱۹-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده ۲»

ایجاد می‌شود و مسیر انتقال توان به ترتیب زیر است. شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» یا محرك جعبه‌دنده روی شفت ورودی، چرخ‌دنده محرك شفت زیر یا «دنده ۴» روی شفت زیر، چرخ‌دنده محرك «دنده ۳» روی شفت زیر، چرخ‌دنده متحرك «دنده ۳» روی شفت خروجی، کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴، تویی، شفت خروجی جعبه‌دنده.

**۴- حالت «دنده ۳»:** شکل ۲۰-۳ مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۳» را نشان داده است. ابتدا با قرار گرفتن کشویی مربوط به دنده ۱ و ۲ در موقعیت وسط، جعبه‌دنده خلاص می‌شود. سپس با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴ به سمت چرخ‌دنده متحرك «دنده ۳» روی شفت خروجی، این چرخ‌دنده با شفت خروجی یکپارچه می‌شود. در حالی که بقیه چرخ‌دنده‌های روی شفت خروجی هرز می‌چرخند. در نتیجه وضعیت «دنده ۳»



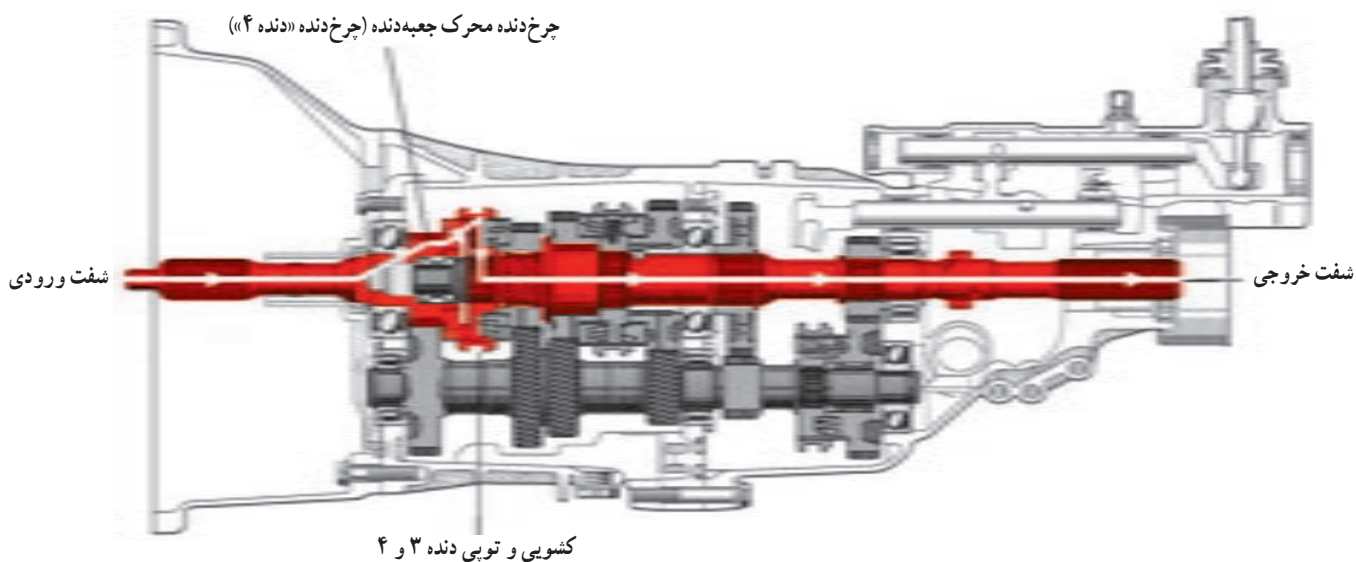
شکل ۲۰-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده ۳»

روی شفت ورودی، ابتدا جعبه دنده از وضعیت «دنده ۳» خلاص می‌شود، سپس این کشویی شفت ورودی و خروجی را به هم وصل می‌کند. از این رو، وضعیت انتقال قدرت مستقیم ایجاد می‌شود. مسیر انتقال توان به ترتیب زیر است:

شفت ورودی، چرخ دنده «دنده ۴» یا محرک جعبه دنده روی شفت ورودی، کشویی مربوط دنده‌های ۳ و ۴، تویی، شفت خروجی جعبه دنده.

در وضعیت «دنده ۳» نیز یک نسبت دنده آندردرابو ( $i > 1$ ) ایجاد می‌شود. اما باید توجه کرد که نسبت به «دنده ۲» دور خروجی بیشتر و گشتاور خروجی کمتر می‌شود و همچنین با صرف نظر کردن از اتلاف توان، توان ورودی و خروجی جعبه دنده برابر است.

**۵- حالت «دنده ۴»:** شکل ۲۱-۳ مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۴» را نشان می‌دهد. در این وضعیت، با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴ به سمت چرخ دنده «دنده ۴»



شکل ۲۱-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده ۴»

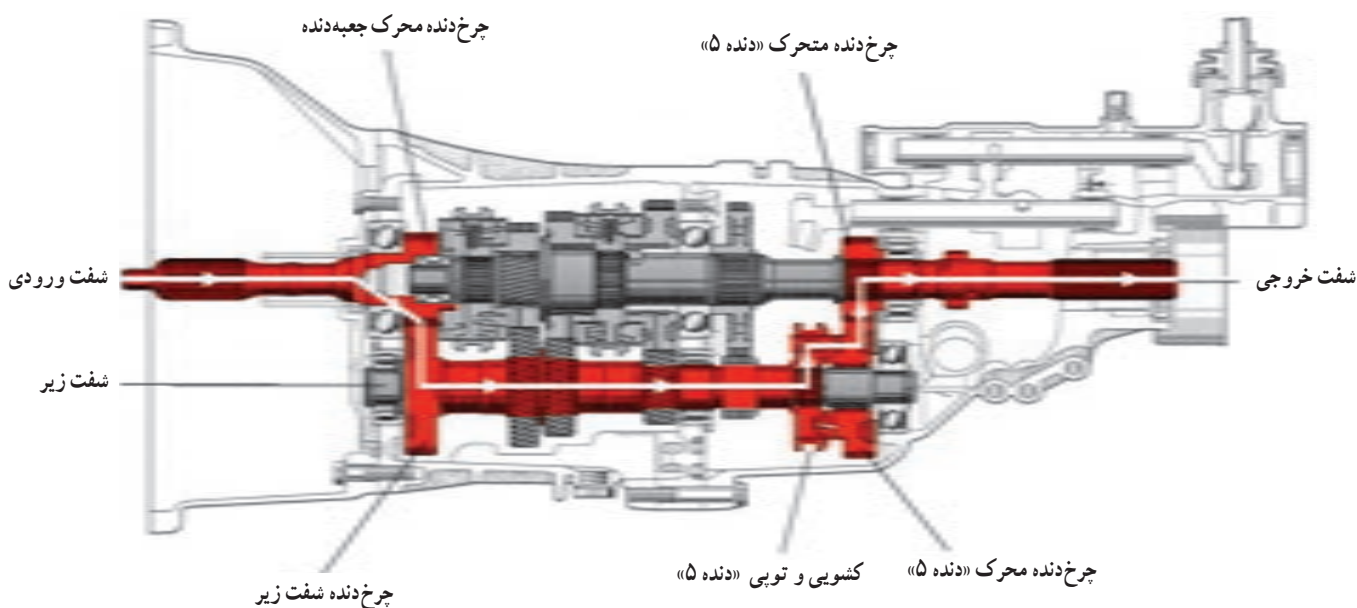
در «دنده ۴» نسبت به «دنده ۳»، دور خروجی بیشتر و گشتاور خروجی کمتر می‌شود و از آنجایی که شفت ورودی و خروجی به هم متصل شده‌اند، دور و گشتاور آنها برابر است، به عبارت دیگر نسبت مستقیم (۱:۱) ایجاد شده است.

در «دنده ۴» نسبت به «دنده ۳»، دور خروجی بیشتر و گشتاور خروجی کمتر می‌شود و از آنجایی که شفت ورودی و خروجی به هم متصل شده‌اند، دور و گشتاور آنها برابر است، به عبارت دیگر نسبت مستقیم (۱:۱) ایجاد شده است.

در وضعیت «دنده ۵» نسبت اُردرايو ( $i < 1$ ) ایجاد می‌شود. بنابراین دور شفت خروجی بیشتر از دور شفت ورودی است. در حالی که گشتاور شفت خروجی کمتر از گشتاور ورودی است. لازم است یادآوری شود با صرف نظر کردن از تلفات توان در جعبه‌دنده، توان ورودی با توان خروجی جعبه‌دنده همواره برابر است.

۶- حالت «دنده ۵»: شکل ۲۲-۳ مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۵» را نشان داده است. در این وضعیت با حرکت کشویی «دنده ۵» به سمت چرخ‌دنده «دنده ۵» روی شفت زیر، وضعیت «دنده ۵» مطابق شکل ایجاد می‌شود. بنابراین مسیر انتقال توان به ترتیب ذیل خواهد بود:

شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» یا محرک جعبه‌دنده



شکل ۲۲-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده ۵»

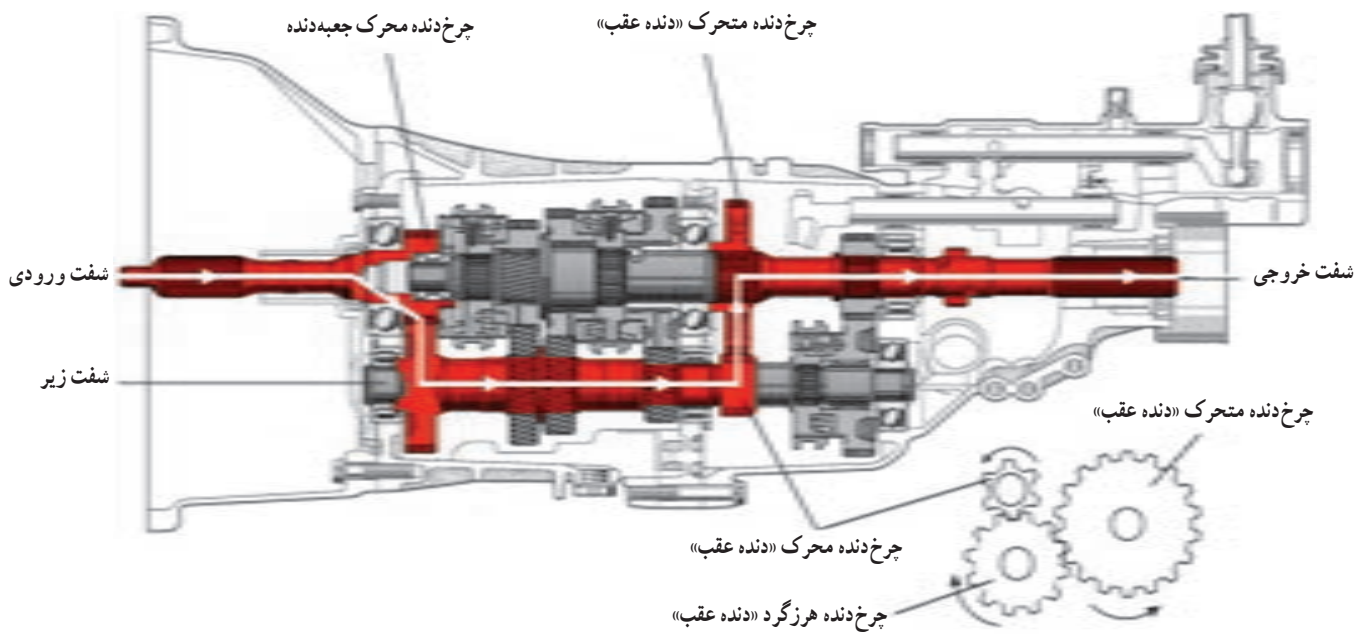
انتقال توان در این وضعیت به ترتیب زیر است: شفت ورودی، چرخ‌دنده «دنده ۴» یا محرک جعبه‌دنده روی شفت ورودی، چرخ‌دنده محرک شفت زیر یا «دنده ۴» روی شفت زیر، چرخ‌دنده محرک «دنده عقب» روی شفت زیر، چرخ‌دنده هرزگرد «دنده عقب»، چرخ‌دنده متحرک «دنده عقب» روی شفت خروجی، شفت خروجی جعبه‌دنده. در وضعیت «دنده عقب» نسبت اُردرايو ( $i > 1$ ) ایجاد می‌شود و همچنین جهت دَوْران تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، شفت

۷- حالت «دنده عقب»: شکل ۲۳-۳، مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده عقب» را نشان داده است. در این وضعیت ابتدا کشویی‌های مربوط دنده‌های ۱ و ۲ و نیز ۳ و ۴ در موقعیت وسط قرار می‌گیرند و جعبه‌دنده خلاص می‌شود. سپس با حرکت محوری چرخ‌دنده هرزگرد «دنده عقب»، این چرخ‌دنده بین چرخ‌دنده‌های محرک «دنده عقب» روی شفت زیر و متحرک «دنده عقب» روی شفت خروجی قرار می‌گیرد و ضمن معکوس کردن جهت دَوْران از شفت ورودی به شفت خروجی، توان را انتقال می‌دهد. مسیر



گشتاور شفت خروجی از گشتاور شفت ورودی بیشتر است. این موضوع در حالی است که با صرف نظر از افت توان در جعبه دنده، توان ورودی جعبه دنده با توان خروجی آن برابر است.

ورودی چرخ دنده در جهت راست گرد دوران و شفت خروجی به صورت چپ گرد دوران می کنند. این تغییر جهت دوران توسط چرخ دنده هرزگرد «دنده عقب» ایجاد می شود. در این وضعیت نیز دور شفت خروجی از دور شفت ورودی کمتر است. در حالی که



شکل ۲۳-۳- مسیر انتقال قدرت در جعبه دنده دستی در وضعیت «دنده عقب»

متحرک مربوط به دنده های سه، چهار و پنج به صورت یکپارچه روی شفت خروجی نصب شده اند.

۳- این جعبه دنده دارای سه مجموعه سنکرونیزه است. یک مجموعه سنکرونیزه بین چرخ دنده های «دنده ۱» و «دنده ۲» روی شفت خروجی، مجموعه دیگر سنکرونیزه بین چرخ دنده های «دنده ۳» و «دنده ۴» روی شفت ورودی و مجموعه سوم سنکرونیزه روی چرخ دنده «دنده ۵» روی شفت ورودی، خارج از پوسته اصلی جعبه دنده، قرار گرفته اند.

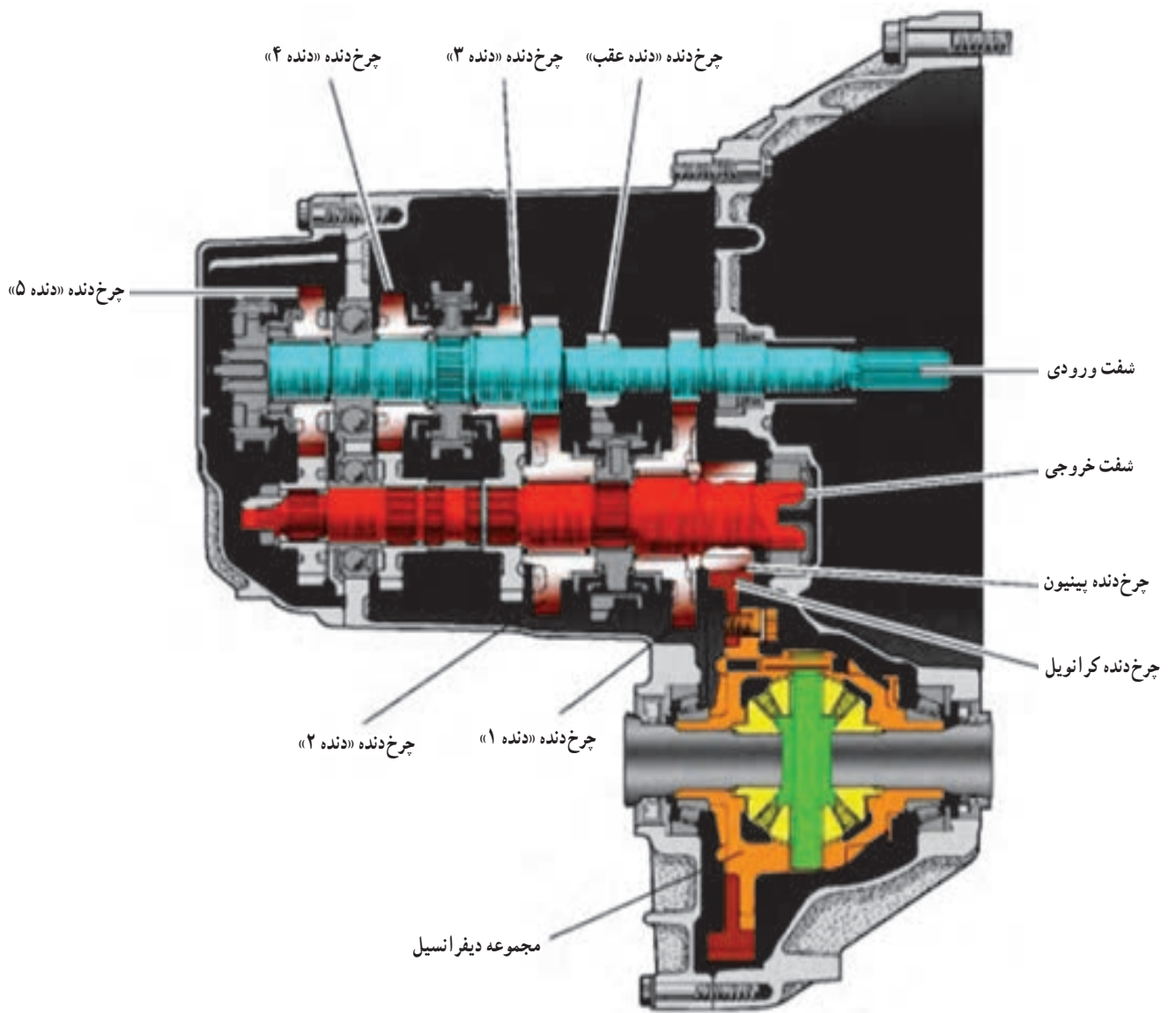
۴- چرخ دنده متحرک «دنده عقب» روی شفت خروجی، همواره توسط کشویی و تویی (مکانیزم سنکرونیزه) دنده های ۱ و ۲ به شفت خروجی وصل است.

این موضوع باعث می شود حجم و وزن جعبه دنده به دلیل ادغام محل قرارگیری دنده عقب متحرک و کشویی دنده ۱ و ۲ کاهش یابد.

۲-۱-۳- مسیر انتقال توان در جعبه دنده خودروی محرک جلو: در ادامه، مسیر انتقال توان در دنده های مختلف جعبه دنده نشان داده شده در شکل ۲۴-۳، که مربوط به خودروهای جلو محرک است، بررسی می شود. این جعبه دنده دارای سه شفت ورودی، خروجی و شفت چرخ دنده هرزگرد «دنده عقب» است. نکات ذیل جهت بررسی عملکرد این جعبه دنده حائز اهمیت است:

۱- چرخ دنده های محرک مربوط به دنده های یک، دو و عقب روی شفت ورودی یکپارچه هستند و چرخ دنده های محرک مربوط به دنده های سه، چهار و پنج روی شفت ورودی به صورت هرزگردند.

۲- چرخ دنده های متحرک مربوط به دنده های یک و دو روی شفت خروجی به صورت هرزگرد هستند و چرخ دنده های

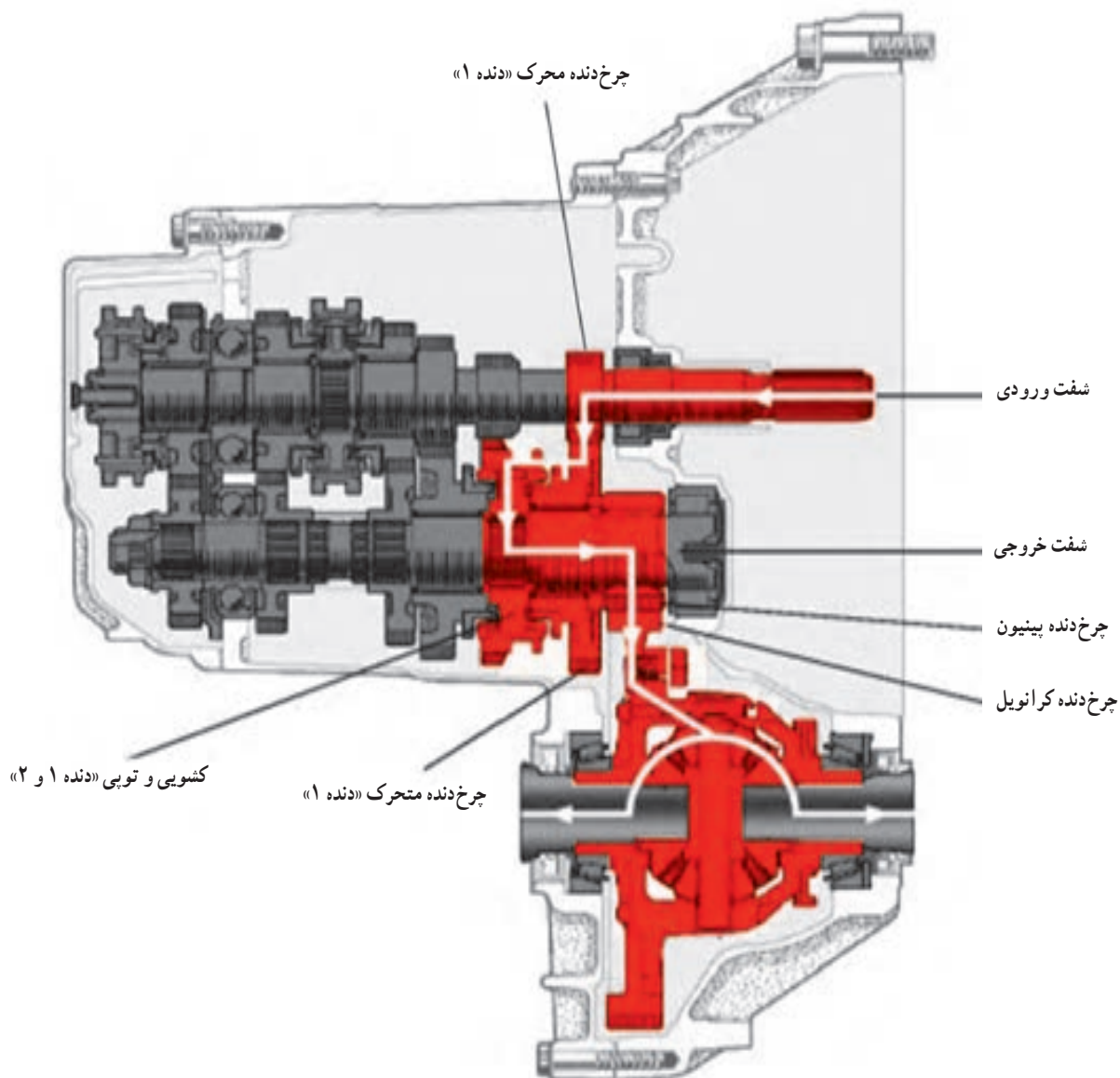


شکل ۲۴-۳- جعبه دنده خودروی محرک جلو

۱- حالت «دنده ۱»: شکل ۲۵-۳ مسیر انتقال توان

زیر است :  
 شفت ورودی، چرخ دنده محرک «دنده ۱» روی شفت ورودی، چرخ دنده متحرک «دنده ۱» روی شفت خروجی، کشویی مربوط به دنده های ۱ و ۲، تویی، شفت خروجی، چرخ دنده پینیون گرداننده نهایی.

در «دنده ۱» را نشان می دهد. در این وضعیت با حرکت کشویی مربوط به دنده های ۱ و ۲ به سمت چرخ دنده متحرک «دنده ۱» روی شفت خروجی، این چرخ دنده با شفت خروجی یکپارچه می شود. بنابراین مسیر انتقال دور و گشتاور به ترتیب

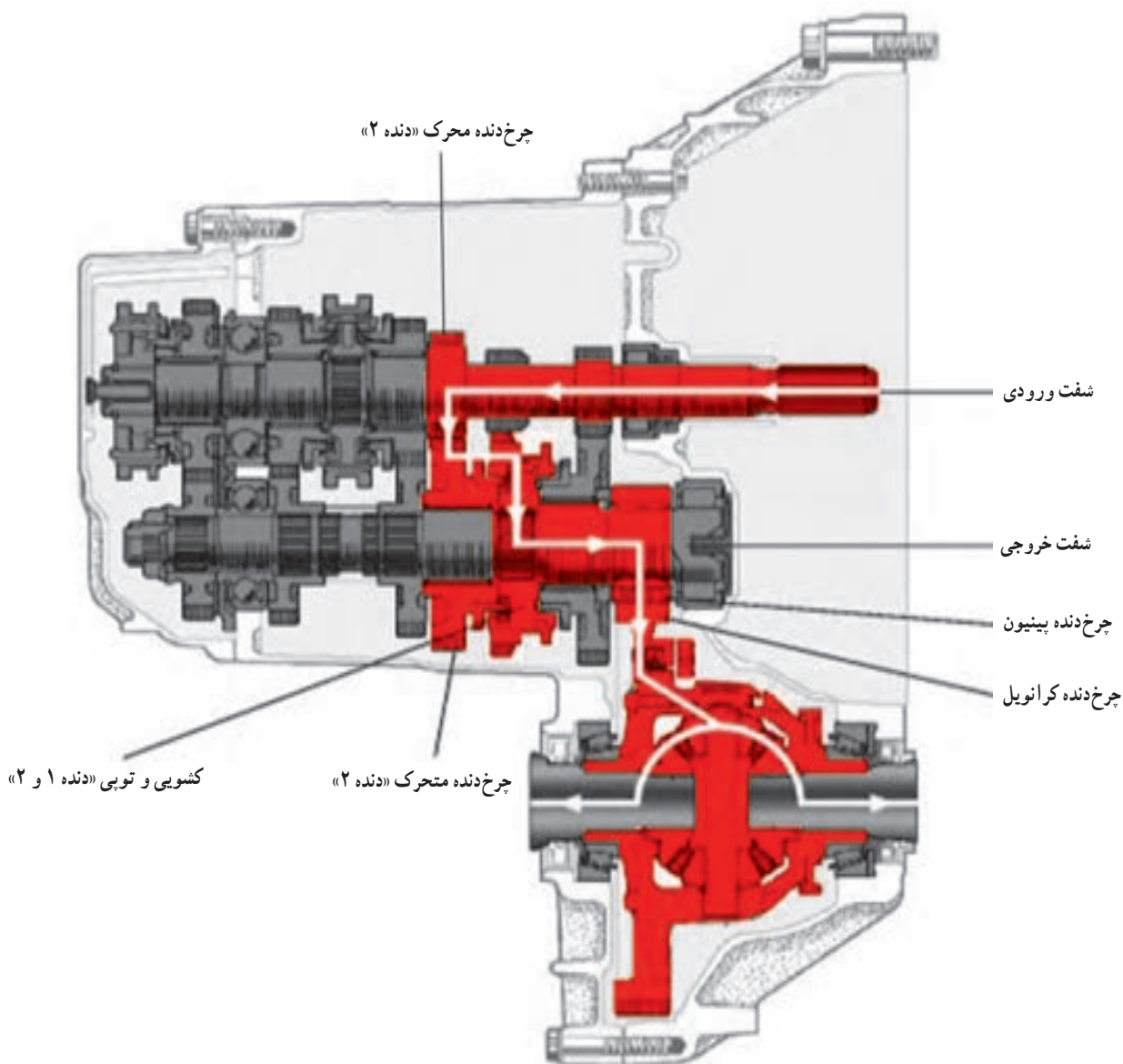


شکل ۲۵-۳- مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۱»

۲- حالت «دنده ۲»: شکل ۲۶-۳ مسیر انتقال

ترتیب زیر است:  
 شفت ورودی، چرخ‌دنده محرک «دنده ۲» روی شفت  
 ورودی، چرخ‌دنده متحرک «دنده ۲» روی شفت خروجی، کشویی  
 مربوط به دنده‌های ۱ و ۲، تویی، شفت خروجی، چرخ‌دنده پینیون  
 گرداننده نهایی.

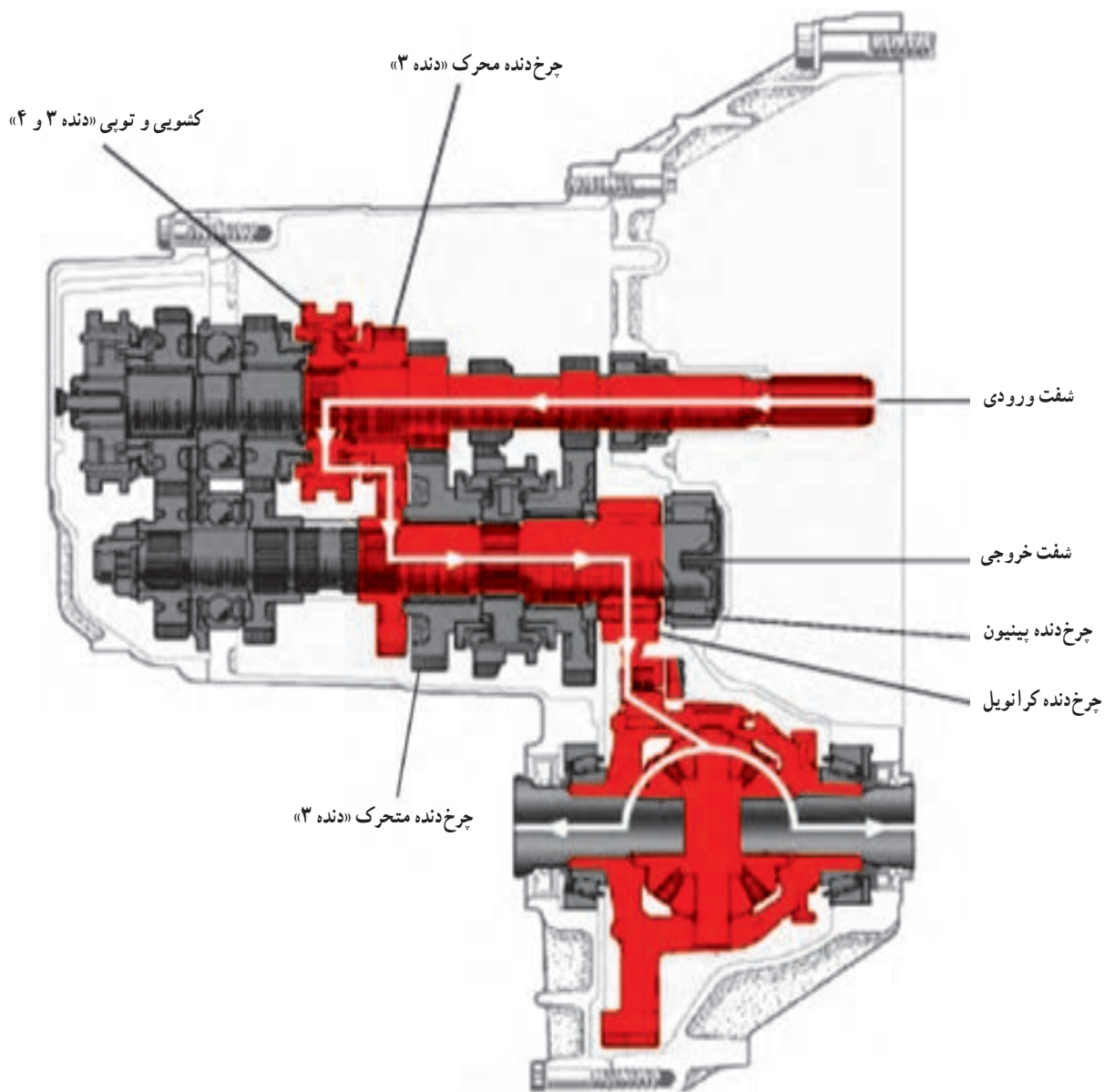
توان در «دنده ۲» را نشان می‌دهد. در این وضعیت با  
 حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ به سمت چرخ‌دنده  
 متحرک «دنده ۲» روی شفت خروجی، این چرخ‌دنده با  
 شفت خروجی یکپارچه می‌شود. بنابراین مسیر انتقال توان به



شکل ۲۶-۳- مسیر انتقال توان در وضعیت «دنده ۲»

شفت ورودی، توپی، کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴، چرخ دنده محرک «دنده ۳» روی شفت ورودی، چرخ دنده متحرک «دنده ۳» روی شفت خروجی، شفت خروجی، چرخ دنده پینیون گرداننده نهایی.

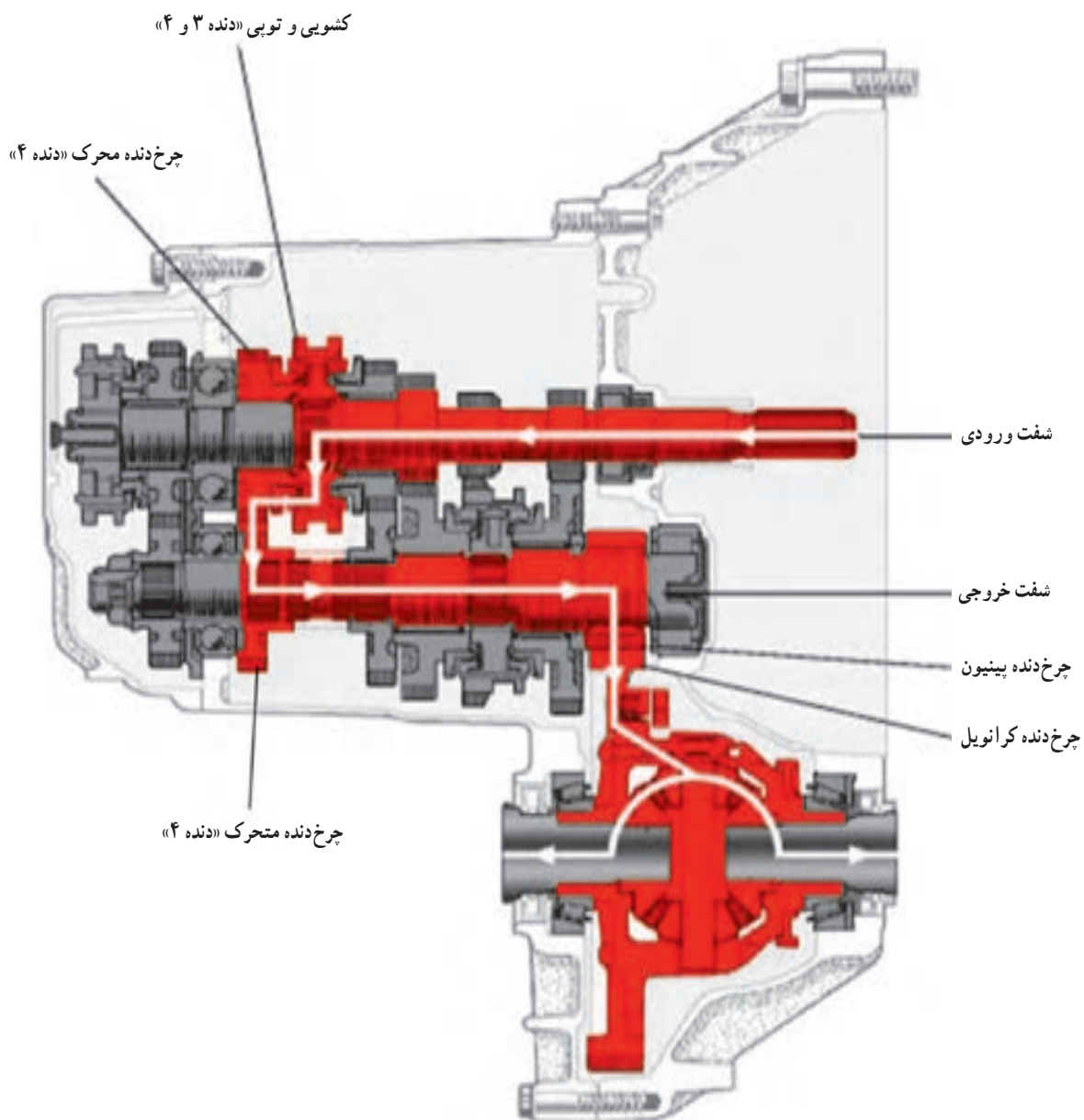
۳- حالت «دنده ۳»: شکل ۲۷-۳ مسیر انتقال توان در «دنده ۳» را نشان می‌دهد. در این وضعیت با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴ به سمت چرخ دنده محرک «دنده ۳» روی شفت ورودی، این چرخ دنده با شفت خروجی یکپارچه می‌شود. بنابراین مسیر انتقال دور و گشتاور به ترتیب زیر است:



شکل ۲۷-۳- مسیر انتقال توان در «دنده ۳»

شفت ورودی، تویی، کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴، چرخ دنده محرک «دنده ۴» روی شفت ورودی، چرخ دنده متحرک «دنده ۴» روی شفت خروجی، شفت خروجی، چرخ دنده پینیون گرداننده نهایی.

۴- حالت «دنده ۴»: شکل ۲۸-۳ مسیر انتقال توان در «دنده ۴» را نشان می‌دهد. در این وضعیت با حرکت کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴ به سمت چرخ دنده محرک «دنده ۴» روی شفت ورودی، این چرخ دنده با شفت ورودی یکپارچه می‌شود. بنابراین مسیر انتقال دور و گشتاور به ترتیب زیر است:

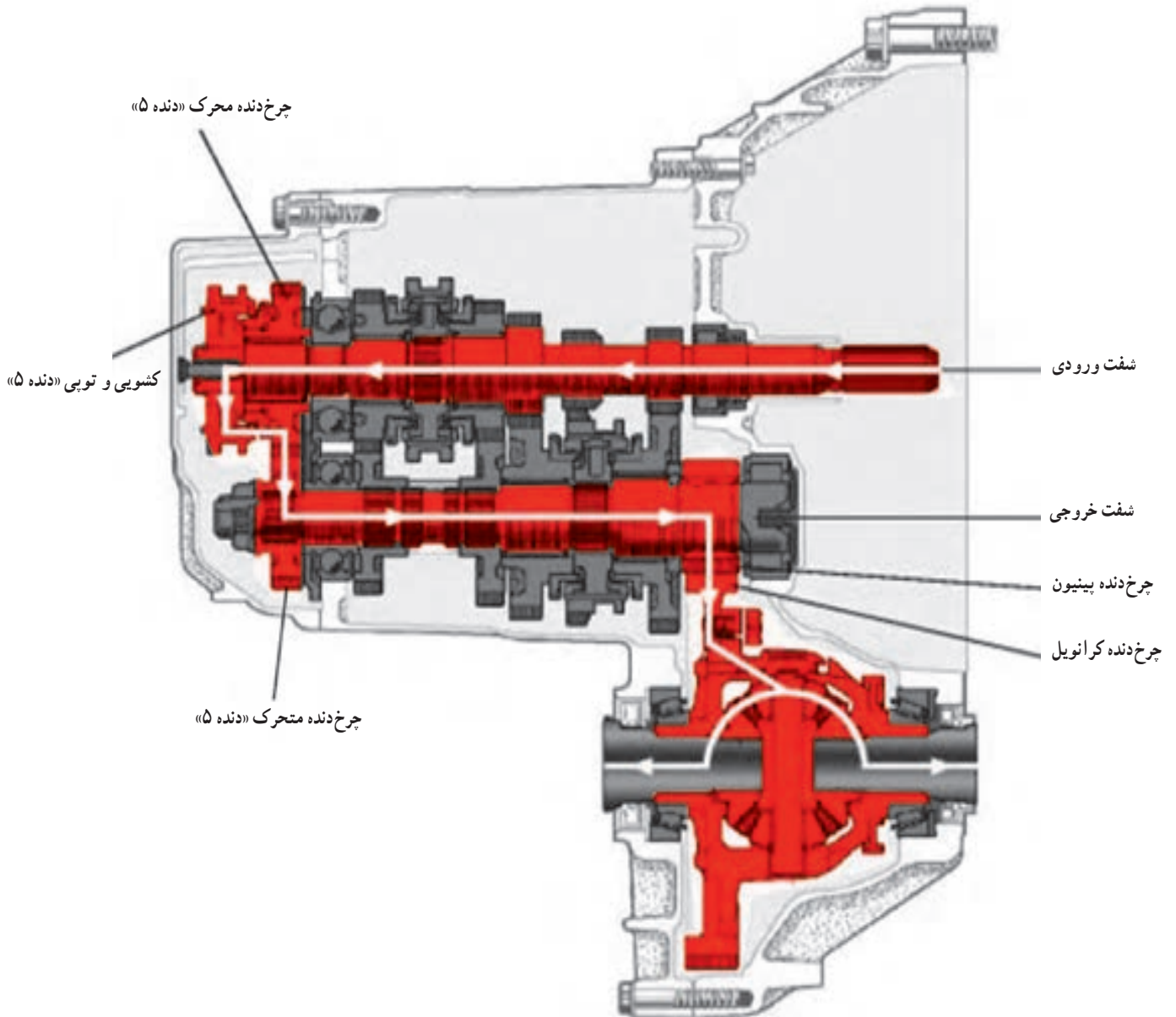


شکل ۲۸-۳- مسیر انتقال توان در «دنده ۴»

## ۵- حالت «دنده ۵»: شکل ۲۹-۳ مسیر انتقال توان

زیر است :  
شفت ورودی، تویی، کشویی مربوط به «دنده ۵»، چرخ دنده  
محرك «دنده ۵» روی شفت ورودی، چرخ دنده متحرك «دنده ۵»  
روی شفت خروجی، شفت خروجی، چرخ دنده پینیون گرداننده  
نهایی.

در «دنده ۵» را نشان می دهد. در این وضعیت با حرکت  
کشویی مربوط به «دنده ۵» به سمت چرخ دنده محرك  
«دنده ۵» روی شفت ورودی، این چرخ دنده با شفت ورودی  
یکپارچه می شود. بنابراین مسیر انتقال دور و گشتاور به ترتیب

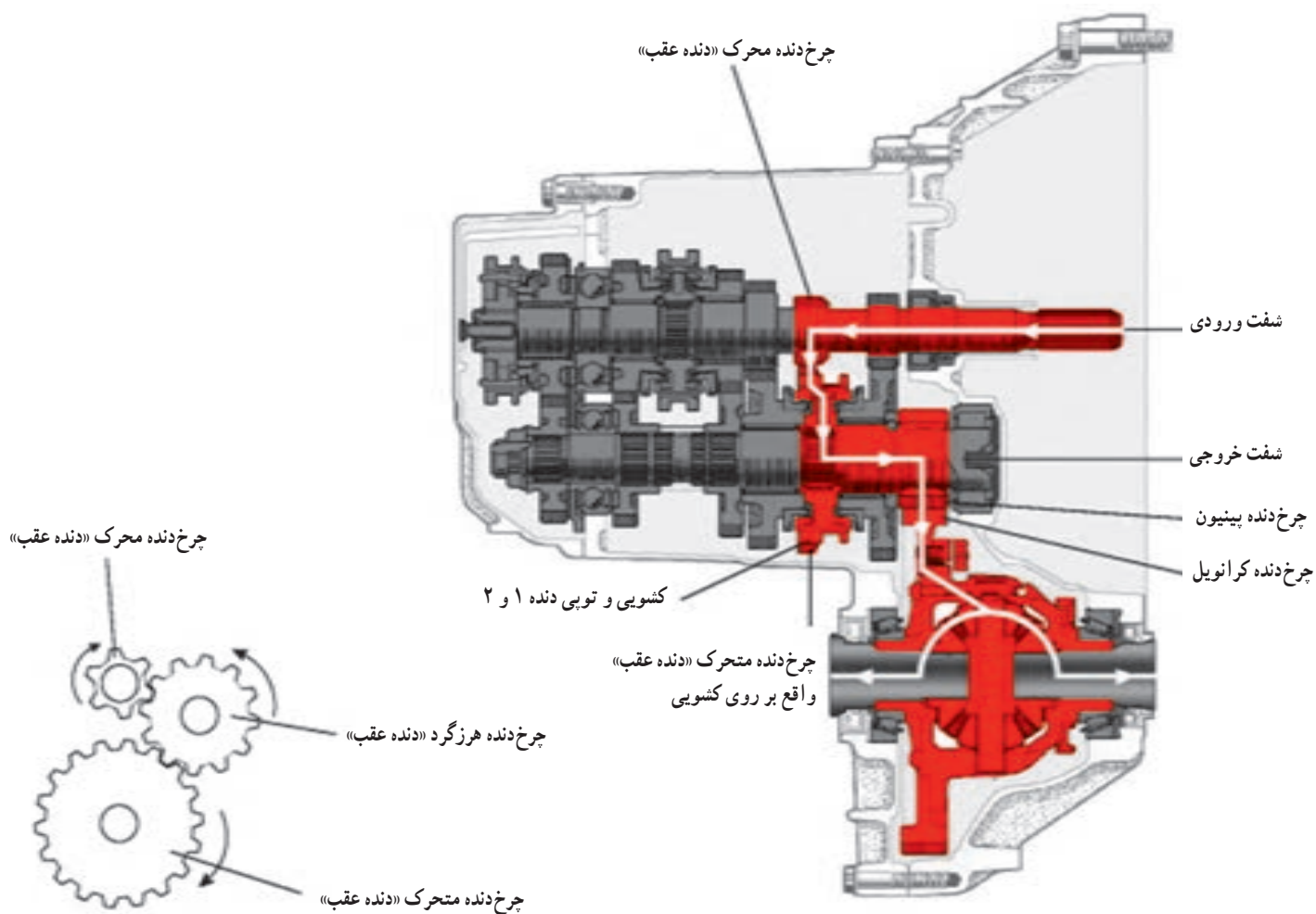


شکل ۲۹-۳- مسیر انتقال توان در «دنده ۵»

ورودی به شفت خروجی، توان را انتقال می‌دهند. بنابراین مسیر انتقال دور و گشتاور به ترتیب زیر است:

شفت ورودی، چرخ‌دنده محرک «دنده عقب» روی شفت ورودی، چرخ‌دنده هرزگرد، کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ (کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ دارای دندانه‌های خارجی است، که به صورت چرخ‌دنده متحرک دنده عقب در نظر گرفته شده است)، تویی، شفت خروجی، چرخ‌دنده پینیون گرداننده نهایی.

۶- حالت «دنده عقب»: شکل ۳-۳ مسیر انتقال قدرت در «دنده عقب» را نشان می‌دهد. در این وضعیت کشویی مربوط به دنده‌های ۱ و ۲ و کشویی مربوط به دنده‌های ۳ و ۴ در وسط قرار دارند. سپس با حرکت محوری چرخ‌دنده هرزگرد «دنده عقب»، این چرخ‌دنده بین چرخ‌دنده‌های محرک «دنده عقب» روی شفت ورودی و متحرک «دنده عقب» روی شفت خروجی قرار می‌گیرند و ضمن معکوس کردن جهت دوران از شفت



شکل ۳-۳- مسیر انتقال توان در «دنده عقب»

نکته: همان‌گونه که ملاحظه شد، در جعبه‌دنده محرک جلو برای ایجاد هر وضعیت (نسبت دنده) از یک زوج چرخ‌دنده استفاده می‌شود. در حالی که در جعبه‌دنده محرک عقب از دو زوج چرخ‌دنده استفاده می‌شود. بنابراین مسیر انتقال توان در جعبه‌دنده‌های محرک جلو کوتاه‌تر و اتلاف توان در این جعبه‌دنده‌ها کمتر است.



### ۳-۱۱- مکانیزم هماهنگ کننده سرعت (مکانیزم سنکرونیزه)

در جعبه دنده های اولیه از چرخ دنده های ساده استفاده می شود. در این جعبه دنده ها برای درگیری و خلاص شدن دنده ها، چرخ دنده ها باید روی شفت جعبه دنده حرکت محوری داشته باشند. این نوع مکانیزم تعویض دنده امروزه منسوخ شده اند و جعبه دنده های دستی از چرخ دنده های مارپیچ بهره می برند. چرخ دنده های مارپیچ را نمی توان با حرکت محوری با یکدیگر درگیر یا خلاص کرد بلکه این چرخ دنده ها همواره با یکدیگر درگیر هستند. در این جعبه دنده ها از دو چرخ دنده، که با هم درگیر هستند، یکی از آن دو با شفت خود یکپارچه است و همراه با آن دوران می کند و دیگری به صورت هرز روی شفت خود دوران می کند.

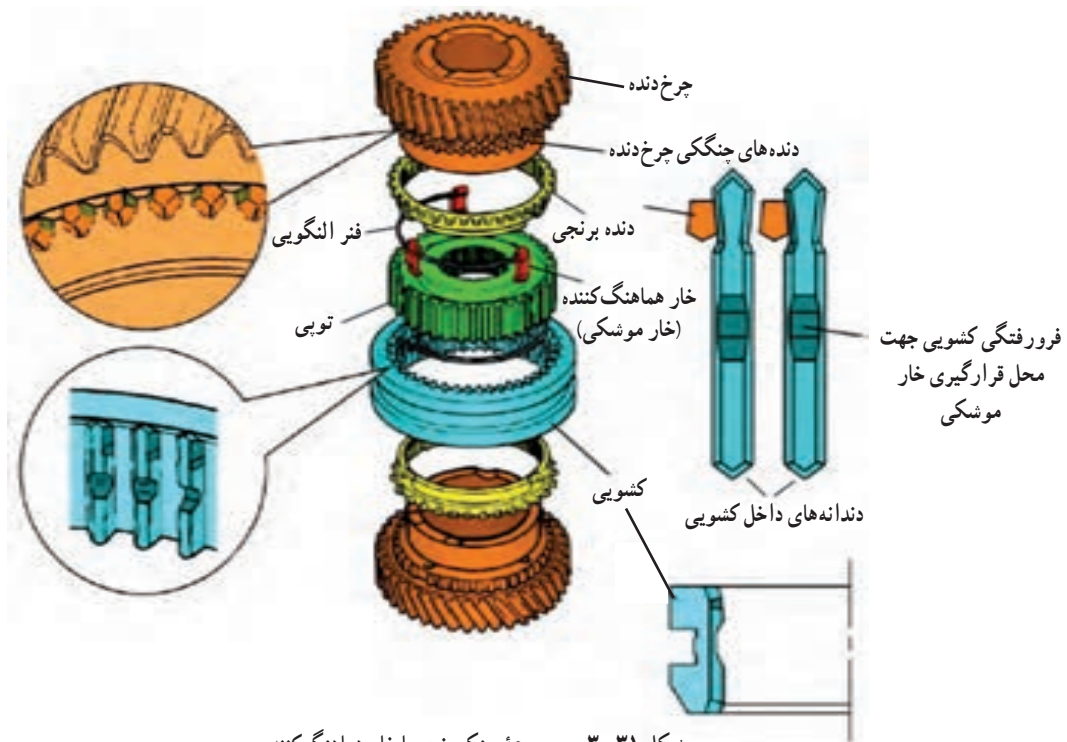
در این مکانیزم، چنانچه به انتقال توان توسط چرخ دنده های مذکور نیاز باشد، باید به وسیله مکانیزم هماهنگ کننده سرعت (مکانیزم سنکرونیزه) چرخ دنده ای را که به صورت هرز روی شفت خود دوران می کند، ابتدا با شفت مربوطه خود هم سرعت کرد، تا به نرمی و بدون صدا تعویض شود و سپس آن را با شفت یکپارچه کرد.

### ۳-۱۲- انواع مکانیزم سنکرونیزه

- انواع مکانیزم های سنکرونیزه، که از آنها در جعبه دنده های دستی استفاده می شود عبارت اند از :
- ۱- مکانیزم سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده (خار موشکی)؛
  - ۲- مکانیزم سنکرونیزه ساچمه - فنر؛
  - ۳- مکانیزم سنکرونیزه بین دار؛
  - ۴- مکانیزم سنکرونیزه دوپل.

### ۳-۱۳- مکانیزم سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده (خار موشکی)

شکل ۳-۳۱ اجزای مختلف یک مکانیزم سنکرونیزه خار موشکی را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود، یک مجموعه سنکرونیزه معمولاً بین دو چرخ دنده از دو دنده مختلف قرار می گیرد. برای مثال دنده های ۱ و ۲ دارای یک مجموعه سنکرونیزه و دنده های ۳ و ۴ نیز دارای یک مجموعه سنکرونیزه دیگری است.



شکل ۳-۳۱- مجموعه سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده

دیگر، اگر سطح مخروطی دنده برنجی به سطح مخروطی چرخ دنده در جهت محوری نیرو وارد کند، این دو سطح مانند یک کلاچ اصطکاکی عمل می کنند و با یکدیگر هم دور می شوند.

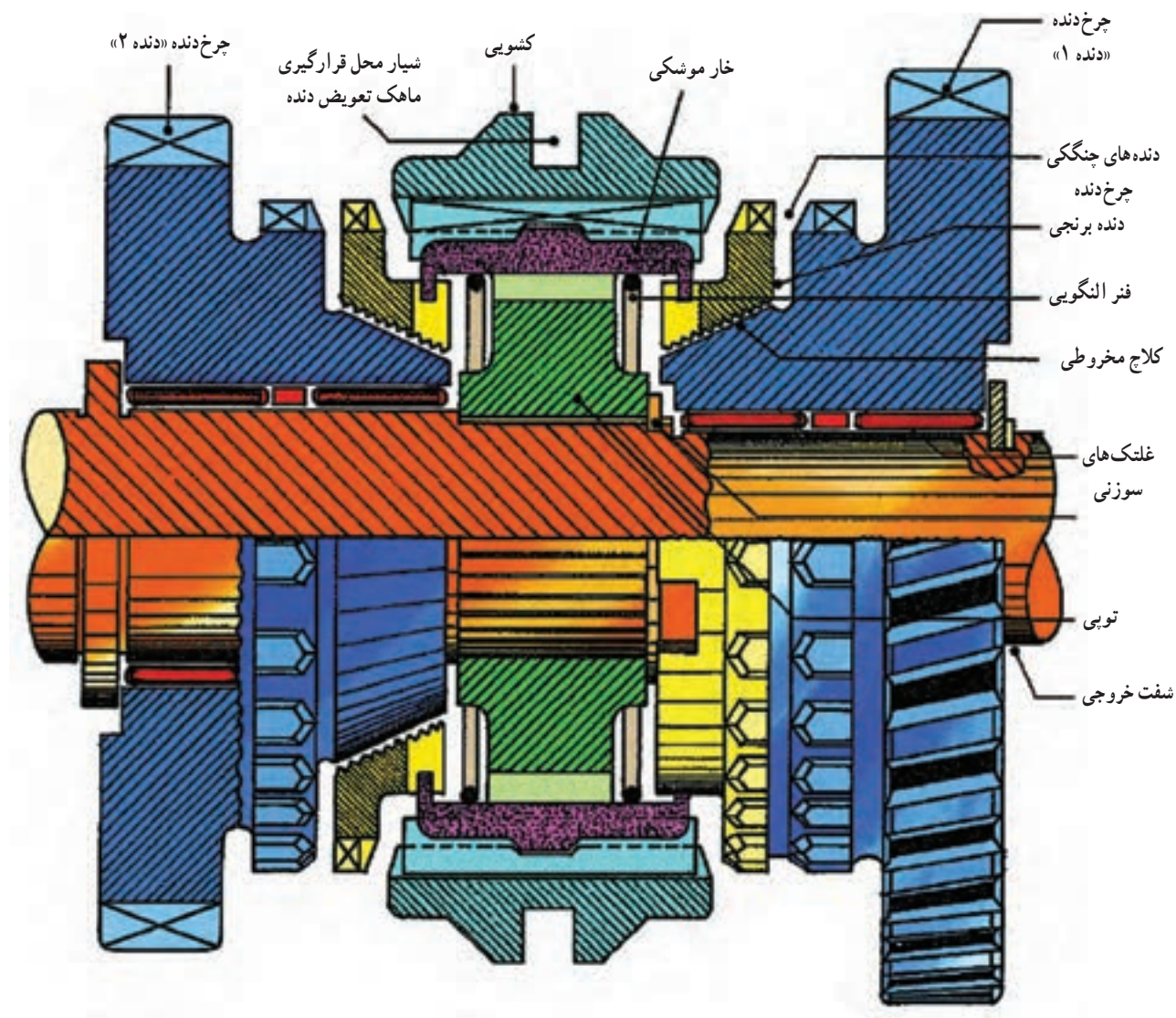
۲- قسمت چنگکی چرخ دنده که به صورت قسمت قفل یا درگیر کننده چرخ دنده با شفت خروجی است.

۳- قسمت دندانه های خارجی چرخ دنده که با چرخ دنده محرک خود درگیر است و وظیفه انتقال توان را بر عهده دارد.

شکل ۳-۳۲ مقطع برش خورده یک مجموعه سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده را نشان داده است.

مطابق شکل ۳-۳۲، هر چرخ دنده از سه قسمت به شرح زیر تشکیل شده است:

۱- قسمت مخروطی چرخ دنده که به همراه قسمت مخروطی دنده هماهنگ کننده (دنده برنجی)، که دارای شیارهای اصطکاکی است، یک کلاچ مخروطی را تشکیل می دهند. به عبارت



شکل ۳-۳۲- مقطع برش خورده یک مجموعه سنکرونیزه با خار هماهنگ کننده

## ۱۴-۳- اجزای سیستم سنکرونیزه با خار هماهنگ‌کننده و وظایف آنها

با توجه به شکل‌های ۳-۳۱ و ۳-۳۲، اجزای سیستم سنکرونیزه خار موشکی و وظایف هر یک از آنها را می‌توان به صورت ذیل تشریح کرد:

۱-۱۴-۳- توپ: توپ به وسیله هزار خار به شفت مورد نظر وصل می‌شود و با آن دوران می‌کند. این قطعه روی محیط خارجی خود دارای شیارهای طولی است و این شیارها با شیارهای داخلی کشویی درگیر است، به طوری که کشویی می‌تواند روی توپ حرکت محوری داشته باشد.

۲-۱۴-۳- کشویی: کشویی دارای شیارهای داخلی است. این شیارها جهت درگیری و حرکت روی توپ تعبیه شده است. در قسمت وسط شیارهای کشویی فرورفتگی‌هایی جهت انطباق با برجستگی‌های خار هماهنگ‌کننده (خار موشکی) وجود دارد. در قسمت خارجی کشویی نیز شیار حلقوی وجود دارد که ماهک روی آن قرار می‌گیرد. با حرکت محوری ناشی از نیروی دست راننده، عملیات درگیر و خلاص کردن دنده مورد نظر صورت می‌پذیرد.

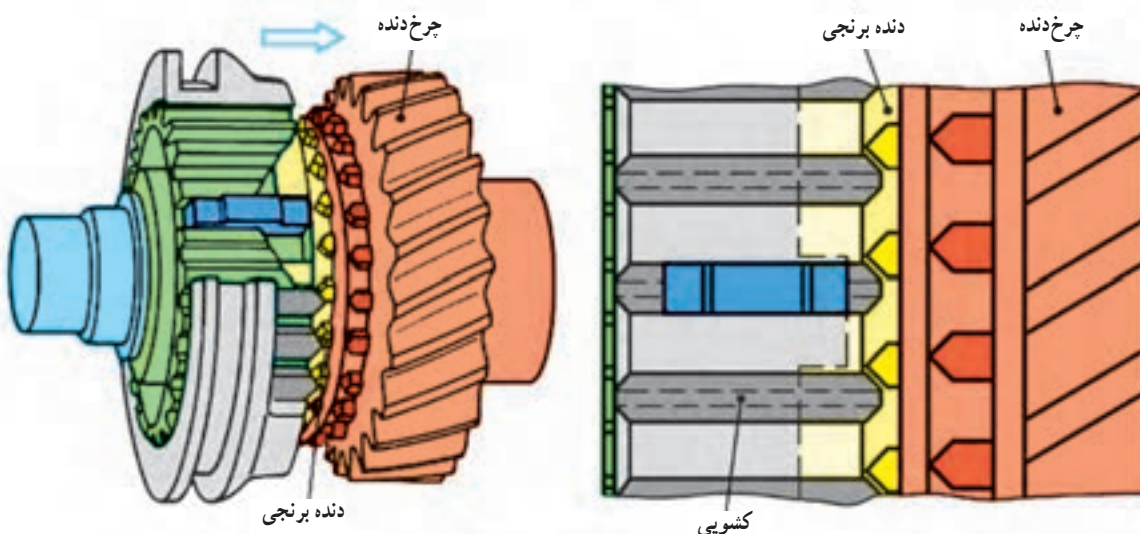
۳-۱۴-۳- خار هماهنگ‌کننده (خار موشکی): سیستم سنکرونیزه معمولاً دارای سه عدد خار موشکی است که در سه شیار تعبیه شده روی توپ قرار می‌گیرند و همراه با آن دوران می‌کنند. برجستگی خار موشکی با فرورفتگی داخلی کشویی هماهنگ شده است، به طوری که با حرکت کشویی، خار موشکی

نیز حرکت محوری می‌کند. حرکت محوری خار موشکی به دنده برنجی منتقل می‌شود و دنده برنجی به قسمت مخروطی چرخ دنده نیرو اعمال می‌کند و دور چرخ دنده را با دور خود یکسان می‌سازد. ۴-۱۴-۳- فنر خار موشکی (فنر النگویی): این فنر که در دو طرف توپ و در قسمت داخلی آن قرار می‌گیرد با اعمال یک نیروی شعاعی پشت خار موشکی، باعث می‌شود که برجستگی خار موشکی با نیروی پیش بار با کشویی درگیر شود.

۵-۱۴-۳- دنده هماهنگ‌کننده (دنده برنجی): قسمت داخلی این دنده به صورت مخروطی و دارای شیارهای اصطکاکی است. این دنده روی قسمت مخروطی چرخ دنده قرار می‌گیرد و همراه با آن یک کلاچ اصطکاکی مخروطی را تشکیل می‌دهد. این دنده، حرکت محوری را از خار موشکی دریافت می‌کند و با اعمال نیرو به قسمت مخروطی چرخ دنده مورد نظر، دور آن چرخ دنده را با دور خود یکسان می‌سازد.

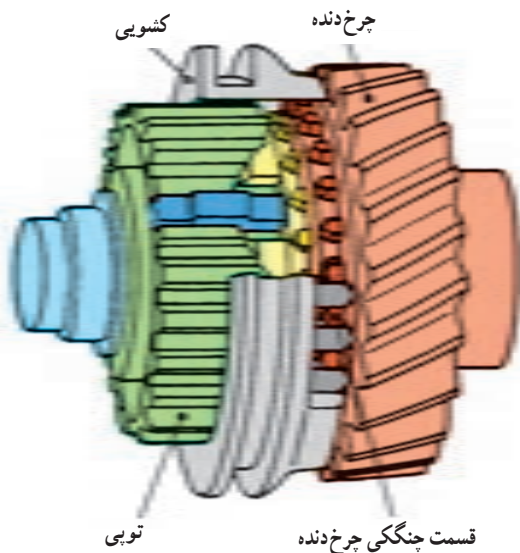
## ۱۵-۳- نحوه عملکرد مکانیزم سنکرونیزه با خار هماهنگ‌کننده (خار موشکی)

با حرکت اهرم تعویض دنده به منظور تعویض دنده، این حرکت از طریق اهرم بندی به ماهک منتقل می‌شود و ماهک (که روی شیار خارجی کشویی قرار دارد) نیز کشویی را مطابق شکل ۳-۳۳ به سمت چرخ دنده مربوط به آن دنده حرکت می‌دهد.



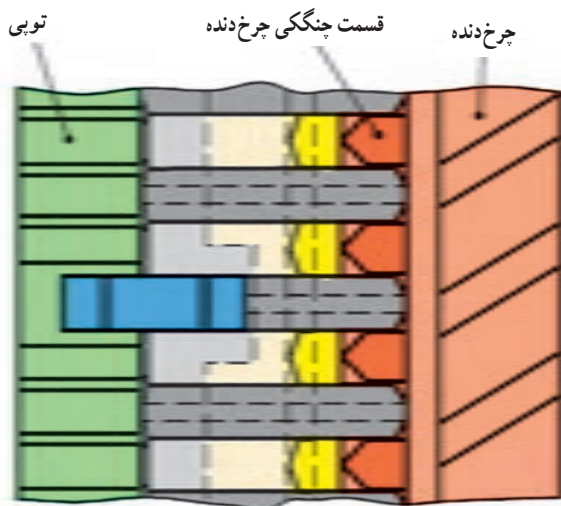
شکل ۳-۳۳- حرکت کشویی به سمت چرخ دنده

هنگامی که کشویی و چرخ دنده هم دور شدند، چون دنده برنجی و خار موشکی امکان حرکت خطی بیشتر ندارند، با اعمال نیروی بیشتر، دندانه‌های داخلی کشویی به برآمدگی خار موشکی نیرو وارد می‌سازند و خار موشکی‌ها نیز فنر النگویی را کمی جمع می‌کنند و به سمت داخلی تویی به حرکت درمی‌آیند. در این صورت امکان حرکت خطی بیشتر کشویی، مطابق شکل ۳-۳۴ فراهم می‌گردد و دندانه‌های داخلی کشویی با دندانه‌های چنگکی چرخ دنده درگیر می‌شوند. در نتیجه چرخ دنده‌ای که بر روی شفت هرز بوده است، از طریق کشویی و تویی به شفت وصل می‌گردد.



شکل ۳-۳۴- درگیری کشویی با چرخ دنده

درون کشویی فرورفتگی‌هایی وجود دارد که برجستگی خار موشکی‌ها بر آنها منطبق می‌شود. از این رو با حرکت کشویی، ابتدا کشویی خار موشکی را به صورت محوری حرکت می‌دهد و از آنجایی که لبه خار موشکی نیز در شیار دنده برنجی قرار گرفته است، دنده برنجی نیز حرکت محوری انجام می‌دهد و به سمت چرخ دنده مورد نظر حرکت می‌کند. با اعمال نیرو از دنده برنجی به قسمت مخروطی چرخ دنده، نیروی اصطکاک ایجاد شده بین دو سطح مخروطی باعث می‌شود چرخ دنده (که قبلاً به صورت هرز بر روی شفت خروجی در حال دوران بوده است) با دنده برنجی، خار موشکی، کشویی، تویی و نهایتاً شفت خروجی هم دور شود.



### ۳-۱۶- مکانیزم تعویض دنده

همان گونه که ملاحظه می‌شود، اهرم تعویض دنده<sup>۱</sup> که توسط راننده حرکت داده می‌شود، در بالای پوسته جعبه دنده قرار گرفته است. انتهای اهرم تعویض دنده درون شکاف‌های روی میل ماهک‌ها<sup>۲</sup> قرار می‌گیرد. بنابراین با حرکت اهرم تعویض دنده، میل ماهک به سمت جلو یا عقب حرکت می‌کند. روی هر یک از میل ماهک‌ها، قطعه‌ای به نام ماهک قرار گرفته که توسط

همان گونه که تشریح شد، برای درگیری یک دنده در جعبه دنده دستی، کشویی مجموعه سنکرونیزه باید به سمت چرخ دنده مربوط به آن دنده حرکت کند و آن چرخ دنده را با شفت جعبه دنده یکپارچه کند. بنابراین برای انتقال حرکت از اهرم تعویض دنده به کشویی، به «مکانیزم تعویض دنده»<sup>۱</sup> نیاز است. شکل ۳-۳۵ مکانیزم تعویض دنده در جعبه دنده دستی یک خودروی محرک عقب را نشان می‌دهد.

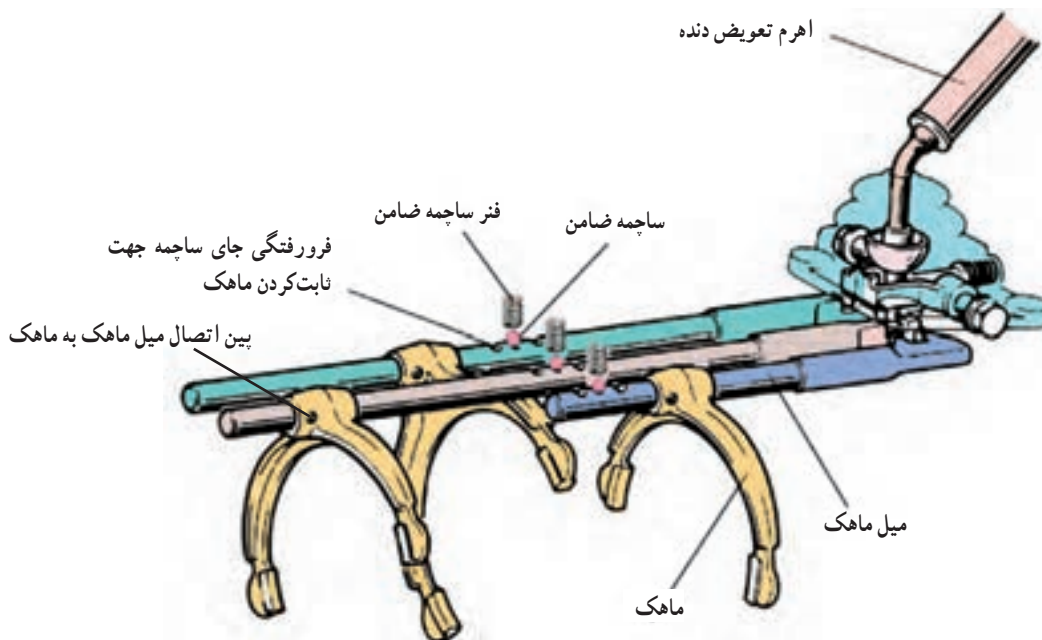
۱- Gear shift mechanism

۲- Shift lever

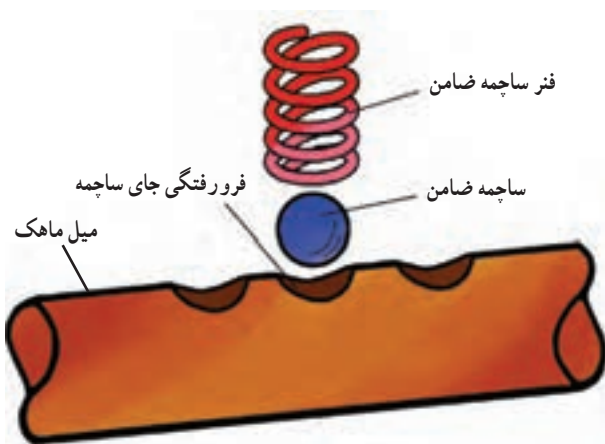
۲- Shift fork shaft

عقب و جلو حرکت می‌کند. روی میل ماهک‌ها سه فرورفتگی ایجاد شده، که مربوط به ساچمه ضامن است.

پیچ یا پین به میل ماهک متصل شده است. بنابراین با حرکت اهرم تعویض دنده به سمت عقب و جلو، ماهک مورد نظر نیز به سمت



شکل ۳۵-۳ اجزای مکانیزم تعویض دنده جعبه‌دنده دستی در خودروی محرک عقب



شکل ۳۶-۳ فرورفتگی‌های روی میل ماهک

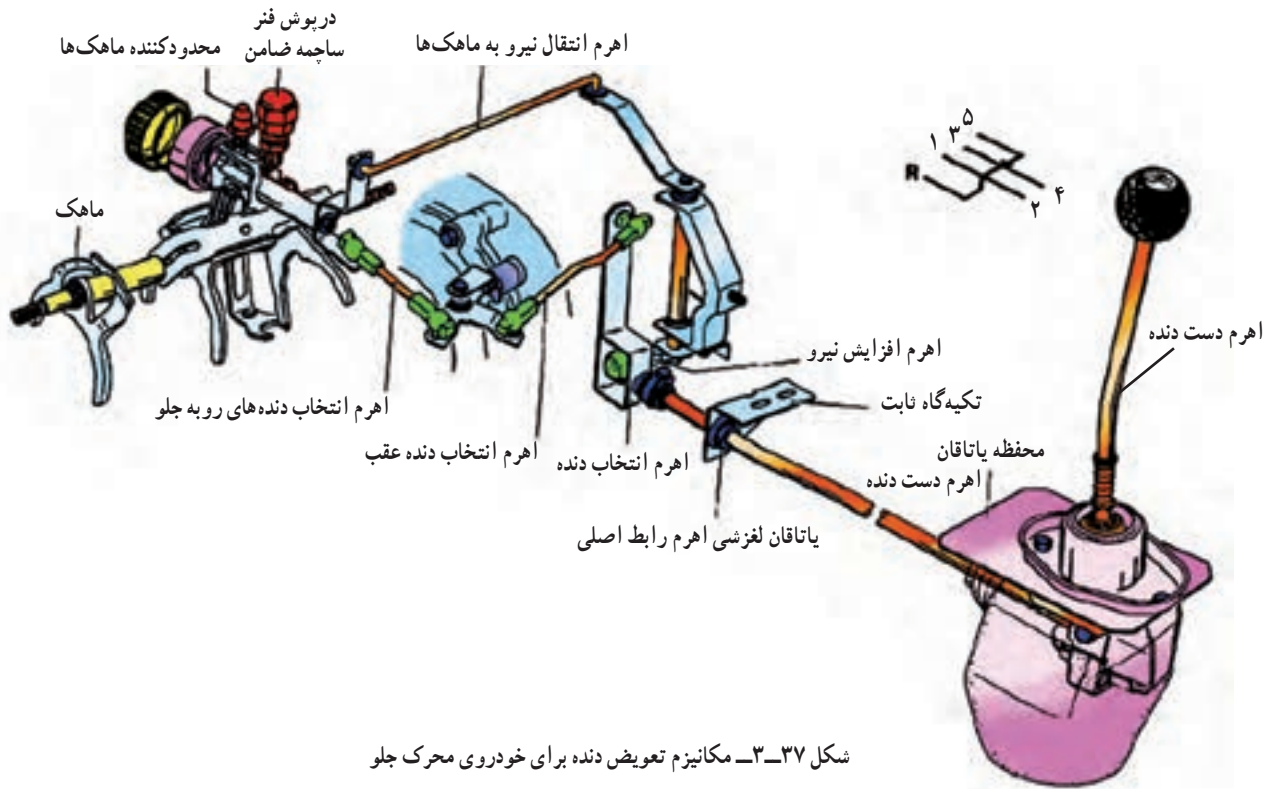
شکل ۳۷-۳ اجزای مکانیزم تعویض دنده برای خودروی محرک جلو را نشان داده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این مکانیزم، حرکت اهرم تعویض دنده از طریق یک اهرم بندی به میل ماهک‌ها منتقل می‌شود.

در مکانیزم تعویض دنده برای جلوگیری از حرکت ناخواسته میل ماهک‌ها از ساچمه ضامن استفاده شده است. این ساچمه دارای سه موقعیت روی میل ماهک و به شکل فرورفتگی است و در شکل ۳۶-۳ نشان داده شده است. موقعیت وسط مربوط به وضعیت خلاص است. زمانی که اهرم تعویض دنده در وضعیت خاصی قرار می‌گیرد، حرکت اهرم به میل ماهک منتقل می‌شود و آن را حرکت می‌دهد.

با حرکت میل ماهک، ساچمه در خلاف جهت نیروی فنر به حرکت درمی‌آید و فنر را جمع می‌کند و سپس به فرورفتگی مربوط به وضعیت انتخاب شده می‌رسد و داخل آن قرار می‌گیرد و تا تعویض دنده بعدی میل ماهک را در آن وضعیت نگه می‌دارد. باید توجه شود که نیروی فنر به گونه‌ای طراحی شده که تنها با حرکت میل ماهک، که ناشی از اعمال نیروی دست راننده به اهرم تعویض دنده است، ساچمه می‌تواند حرکت کند.

می‌شود که برای ایجاد این وضعیت، چرخ‌دنده هرزگرد توسط مکانیزم تعویض دنده حرکت محوری کرده و بین چرخ‌دنده‌های محرک و متحرک دنده عقب قرار می‌گیرد.

چگونگی ایجاد وضعیت دنده عقب نسبت به وضعیت‌های دنده رو به جلو اندکی متفاوت می‌باشد. معمولاً در اغلب جعبه‌دنده‌ها برای ایجاد وضعیت دنده عقب از چرخ‌دنده‌های مستقیم استفاده



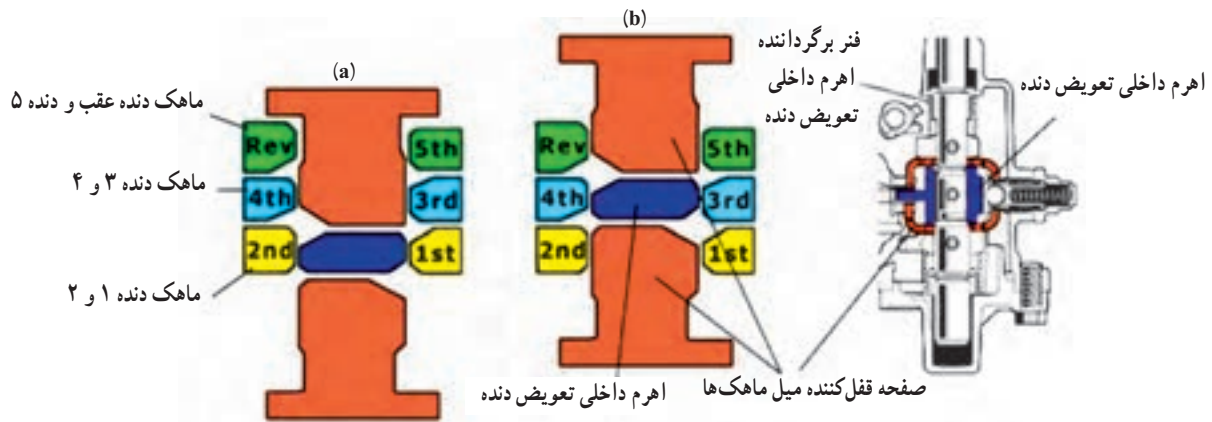
شکل ۳۷-۳- مکانیزم تعویض دنده برای خودروی محرک جلو

جعبه‌دنده، به آن آسیب شدید می‌رسد.

برای جلوگیری از درگیر شدن هم‌زمان دو دنده در جعبه‌دنده‌ها از یک مکانیزم ایمنی استفاده شده است که «مکانیزم محدودکننده ماهک» نامیده می‌شود. شکل ۳۸-۳ مکانیزم محدودکننده ماهک را نشان می‌دهد.

### ۱۷-۳- مکانیزم محدودکننده ماهک

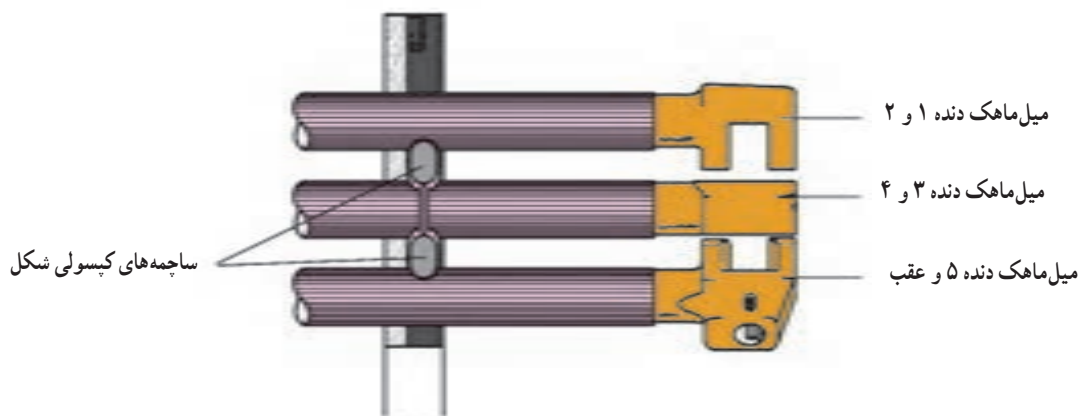
هرگاه در وضعیت حرکت، دو ماهک حرکت کنند و دو دنده جعبه‌دنده توأم درگیر شوند، در این حالت شفت خروجی جعبه‌دنده باید هم‌زمان با دو دور متفاوت (با توجه به نسبت دنده‌های متفاوت دنده‌ها) دوران کند، که عملاً امکان‌پذیر نیست و با قفل شدن



شکل ۳۸-۳- مکانیزم محدودکننده ماهک

فک‌های آن مانع حرکت میل ماهک مربوط به دنده ۱ و ۲ و میل ماهک مربوط به دنده ۵ و عقب شده است. ملاحظه می‌گردد که با استفاده از این مکانیزم، در هر لحظه فقط یک دنده درگیر می‌شود و همین از درگیری هم‌زمان دو دنده و آسیب دیدن جعبه‌دنده جلوگیری می‌کند.

در برخی از جعبه‌دنده‌ها برای محدود کردن ماهک‌ها و جلوگیری از حرکت هم‌زمان دو ماهک، مطابق شکل ۳-۳۹، از ساچمه‌های کپسولی شکل و شیارهایی بر روی میل ماهک‌ها استفاده شده است. در این روش با حرکت میل ماهک و شیار روی آن، ساچمه کپسولی شکل دچار حرکت جانبی می‌گردد و در شیار میل ماهک مجاور نشسته و آن را قفل می‌کند. بنابراین از درگیری هم‌زمان دو دنده و آسیب دیدن جعبه‌دنده جلوگیری می‌شود.



شکل ۳-۳۹- مکانیزم محدودکننده ماهک با ساچمه کپسولی شکل

مطابق وضعیت (a) شکل ۳-۳۸، هرگاه اهرم تعویض دنده، برای انتخاب دنده ۱ یا ۲ حرکت جانبی داشته باشد، صفحه قفل‌کننده میل ماهک‌ها به سمت راست حرکت می‌کند، به گونه‌ای که فک‌های آن درون شیار میل ماهک دنده‌های ۳ و ۴ و ۵ و عقب قرار می‌گیرد و از حرکت میل ماهک‌های دنده‌های ۳ و ۴ و ۵ و عقب جلوگیری می‌کند. بنابراین، شکاف صفحه قفل‌کننده ماهک در وضعیتی قرار می‌گیرد که اهرم داخلی تعویض دنده می‌تواند با بالا و پایین رفتن، میل ماهک مربوط به دنده ۱ و ۲ را حرکت دهد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در وضعیت (b) نیز اهرم تعویض دنده در حالت انتخاب دنده ۳ یا ۴ قرار گرفته است. در این وضعیت صفحه قفل‌کننده میل ماهک طوری قرار گرفته که

فکر می‌کنید چه باید کرد؟ آیا به تولید خارجی باید رو آورد؟ نه، راه‌حل این نیست. حمایت از تولید داخلی وظیفه همه ماست. اما اعتمادآفرینی هم مهم‌ترین و فوری‌ترین نیاز و وظیفه همه بنگاه‌های تولیدی است. راستی اعتماد مردم چگونه جلب می‌شود؟ ممکن است شما هم فردا یک کار تولیدی یا خدماتی را بر عهده بگیرید برای جلب اعتماد مشتریان خود چه خواهید کرد؟

## حمایت از کار و سرمایه ایرانی

احتمالاً شاهد برخی از قضاوت‌ها و گفت‌وگوهای گله‌مندانه مردم درباره خودرو و تولید داخل که از یکی از کارخانجات خریداری کرده‌اند، بوده‌اید. اگر شرایط اقتصادی در دهه‌های اخیر مانند، محاصره اقتصادی، شرایط دوران دفاع مقدس، ممنوعیت ورود و امثال این‌ها نبود، آیا فروش آنها از آنچه بوده، پایین‌تر نمی‌آمد،

- ۱- وظایف جعبه‌دنده در خودرو را بیان کنید.
- ۲- انواع جعبه‌دنده‌های مورد استفاده در خودروهای سواری را نام ببرید.
- ۳- چرخ‌دنده ماریپچ را توضیح داده و مزایا و معایب آن را بیان کنید.
- ۴- مفاهیم زیر را تعریف کنید.  
الف) گام دنده  
ب) نسبت دنده
- ۵- نسبت دنده اوردرایو را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۶- چهار شفت موجود در جعبه‌دنده محرک عقب چهار سرعته را نام ببرید.
- ۷- مسیر انتقال قدرت در حالت دنده ۱ جعبه‌دنده محرک عقب را شرح دهید.
- ۸- مکانیزم سنکرو نیزه با خار هماهنگ‌کننده را توضیح دهید.
- ۹- در مکانیزم تعویض دنده برای جلوگیری از حرکت ناخواسته میل ماهک‌ها از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟  
توضیح دهید.
- ۱۰- وظیفه مکانیزم محدودکننده ماهک چیست؟ توضیح دهید.