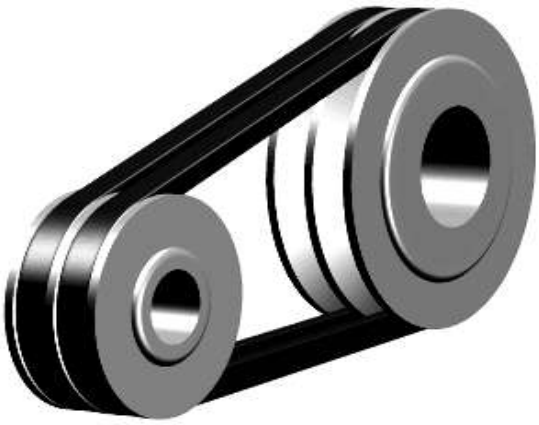
به نام خدا

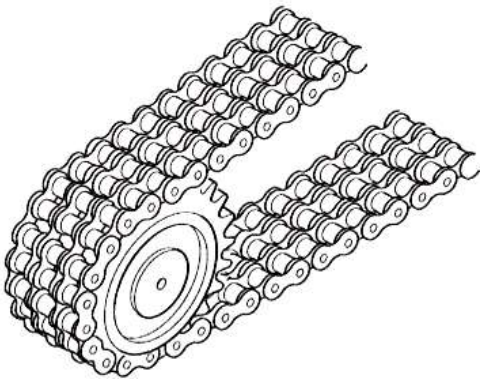
# طراحی اجزاء ماشین II


**محمود نوری زاده**

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین**


**پائیز ۱۳۹۱**

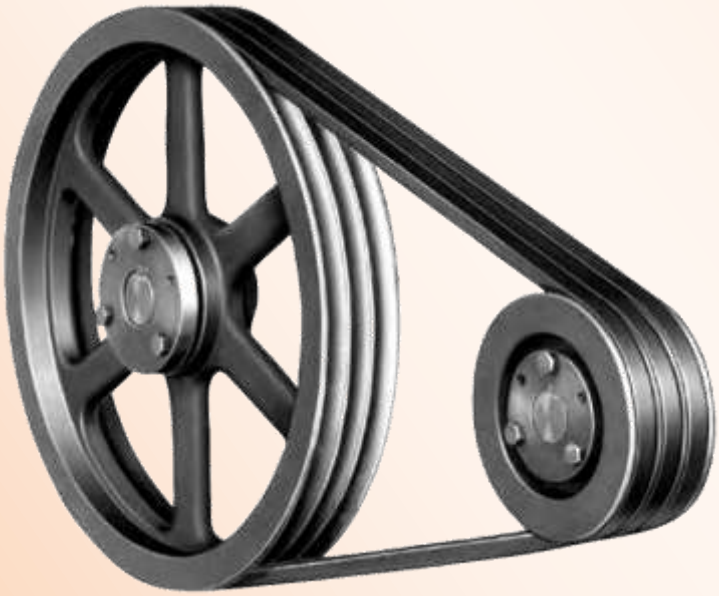




فصل دوم

# طراحی
# محرکه های تسمه ای

(بر اساس "Machinery H.B. 26")



# محرکه های تسمه ای

## معرفی سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر

سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر شامل انواع تسمه ها، زنجیرها و کابل ها است که معمولاً هنگامی برای انتقال توان از آنها استفاده می شود که فاصلهٔ محورهای محرک و متحرک نسبتاً زیاد باشد و در این شرایط جایگزین چرخ دنده ها می شوند که در فواصل محوری زیاد قابل استفاده نیستند. به طور خلاصه مزایای سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر عبارت است از:

۱- انتقال توان میان محورهای با فاصلهٔ نسبتاً زیاد
۲- جذب بارهای شوکی و میراندن ارتعاشات سیستم (بهترین گزینه در مواردی که بارهای شوکی زیاد است.)
۳- افزایش عمر ماشین (در نتیجهٔ مزیت ۲)
۴- کاهش هزینه های ساخت و قیمت تمام شده

مهمترین کاستی سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر عمر محدود آنها به علت سایش، فرسودگی و افت کشسانی آنها پس از مدتی کارکرد است.

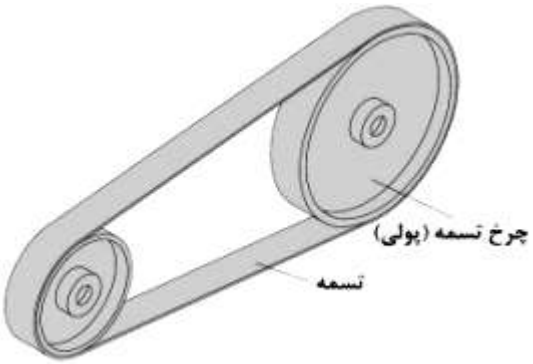
تسمه دندانه دار یا تایم (Timing or Synchronous Belt)

## تسمه ها (Belts)

تسمه ها یکی از انواع سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر هستند که دارای ویژگی های زیر می باشند:

۱- تسمه ها در مقایسه با سایر انواع سیستم های انتقال توان انعطاف پذیر (زنجیر و کابل) سر و صدای کمتری تولید می کنند.
۲- استفاده از تسمه ها در سرعت های بالا توصیه می شود و به علت لغزش بایستی از کاربرد آنها در سرعت های پایین اجتناب کرد. در حالی که در مورد زنجیر عکس این موضوع صادق است و استفاده از زنجیر در سرعت های بالا موجب گسسته شدن آن در اثر نیروی گریز از مرکز می شود.
۳- تسمه ها (به جزء نوع دندانه دار) حین کارکرد اندکی بر روی چرخ تسمه (Pulley) می لغزند و بنابراین نسبت سرعت زاویه ای دو میلمحور اولاً ثابت نیست و ثانیاً با نسبت قطر چرخ تسمه ها دقیقاً برابر نیست و اندکی اختلاف دارد.
۴- تسمه ها گاهی حین کار اندکی دچار افزایش طول می شوند که در این صورت برای جلوگیری از شل شدن تسمه از یک قرقرهٔ هرزگرد قابل تنظیم استفاده می شود که در این صورت تعویض تسمه هم ساده تر می شود.

البته در مورد دومین ویژگی ذکر شده در بالا بایستی توجه کرد که گاهی وجود محدودیت هایی مانند وجود روغن در محیط و یا لغزش موجب برتری دادن زنجیر نسبت به تسمه می شود و از زنجیر در سرعت های بالا نیز استفاده می شود (مانند زنجیر تایمینگ موتور). در مقابل گاهی نیز وجود محدودیت هایی مانند وجود گرد و خاک زیاد و یا نیروهای شوکی شدید موجب برتری دادن تسمه نسبت به زنجیر می شود و از تسمه در سرعت های پایین نیز استفاده می شود (مانند ماشین های کشاورزی).




## انواع تسمه ها

تسمه ها به چهار گونهٔ اصلی دسته بندی می شوند:

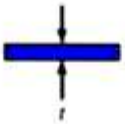
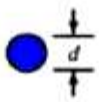
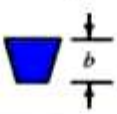
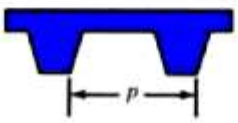
۱- تسمه تخت (Flat Belts)

۲- تسمه گرد (Round Belts)

۳- تسمه V-شکل (V-Belts یا Wrapped Construction)

۴- تسمه دندانه دار یا تایم (Timing or Synchronous Belts)

در جدول زیر چهار گونهٔ اصلی تسمه از لحاظ شکل، امکان اتصال از دو سر آزاد، بازهٔ اندازه و فاصلهٔ دو محور از یکدیگر مقایسه شده اند.

| نوع تسمه | شکل | اتصال | بازهٔ اندازه | فاصله دو مرکز |
|---|---|---|---|---|
| تخت |  | بله | $t = \begin{cases} 0.03 \text{ تا } 0.20 \text{ in} \\ 0.75 \text{ تا } 5 \text{ mm} \end{cases}$ | بی‌حد بالا |
| گرد |  | بله | $d = \frac{1}{8}$ تا $\frac{3}{4}$ in | بی‌حد بالا |
| V |  | نیست | $b = \begin{cases} 0.31 \text{ تا } 0.91 \text{ in} \\ 8 \text{ to } 19 \text{ mm} \end{cases}$ | محدود |
| دندانه‌دار |  | نیست | $p = 2$ mm و بیشتر | محدود |

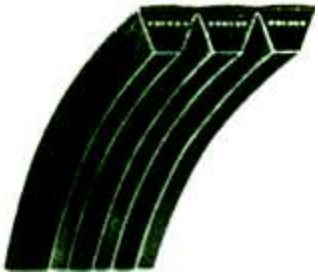
البته انواع دیگری از تسمه ها نیز مانند تسمه های گوه ای (Wedged Belts)، تسمه های V-شکل چاکدار ( Cogging V-Belts)، تسمه های V-شکل بندبند (Composite V-Belts) تسمه های V-شکل چند ردیفه (Vee Band)، تسمه های V-شکل دو طرفه (Double Angle V-Belt)، تسمه های چند راهه (Poly-Rib Belt) و ... نیز وجود دارد، که می توان آنها را نیز در دسته بندی آورد که به علت کاربرد کمتر از آنها صرف نظر شده است. در شکل زیر برخی انواع تسمه ها نشان داده است.

تسمه دندانه دار یا تایم
(Timing or Synchronous Belt)

تسمه V-شکل چاکدار
(Die Cut or Cogging V-Belt)

تسمه V-شکل
(V-Belt or Wrapped Construction)

تسمه V-شکل دو طرفه
(Double Angle V-Belt)



تسمه V-شکل چند ردیفه
(Vee Band)

تسمه چند راهه
(Poly-Rib Belt)

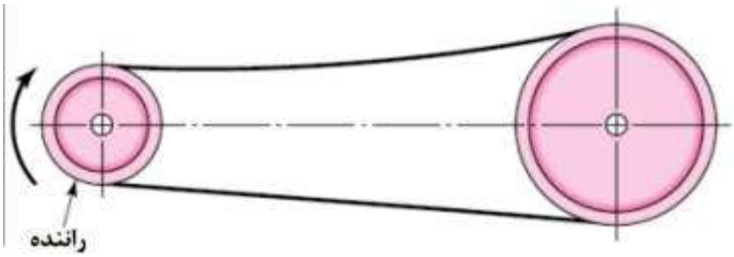
تسمه V-شکل بندبند
(Composite V-Belt)

تسمه گوه ای
(Wedge Belt)

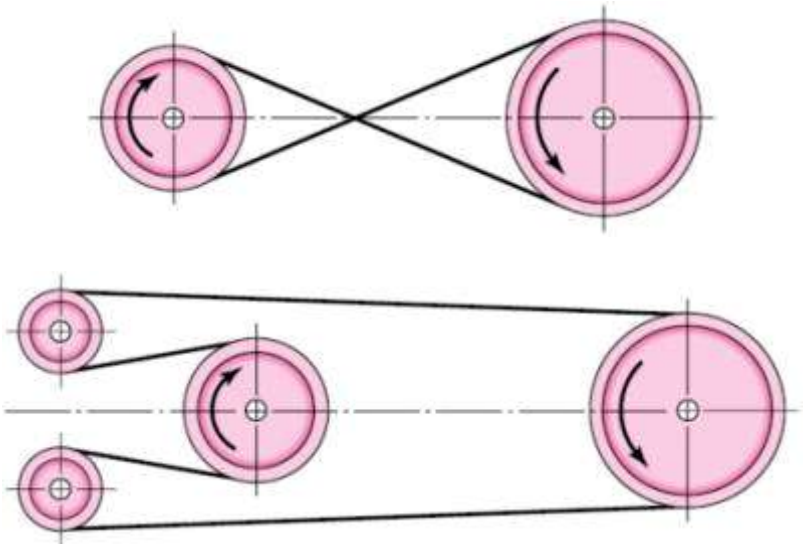
جنس تسمه ها عموماً از چرم، لاستیک، پلی یورتان و ... است که غالباً با رشته هایی از جنس کتان، فولاد یا الیاف ویژه پلیمری مانند نایلون، برزنت و ... جهت تحمل کشش تقویت شده اند.

## پیکره بندی های مختلف تسمه ها

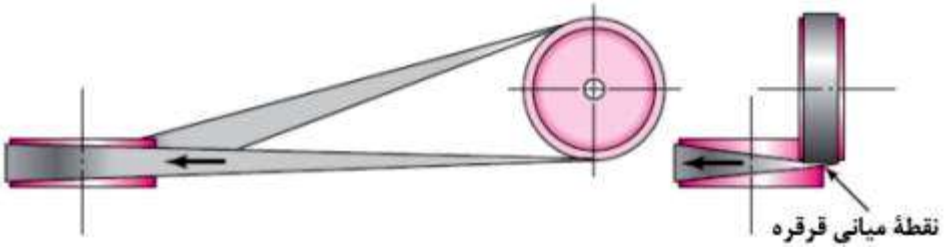
ساده ترین پیکره بندی تسمه در انتقال قدرت میان دو محور موازی است (شکل زیر). در این شرایط برای افزایش زاویهٔ تماس تسمه و چرخ تسمه، بهتر است طرف سفت تسمه در پایین و طرف شل آن در بالا قرار بگیرد، این موضوع تنها برای تسمه های تخت الزامی است و البته بهتر است برای سایر تسمه ها نیز رعایت شود.



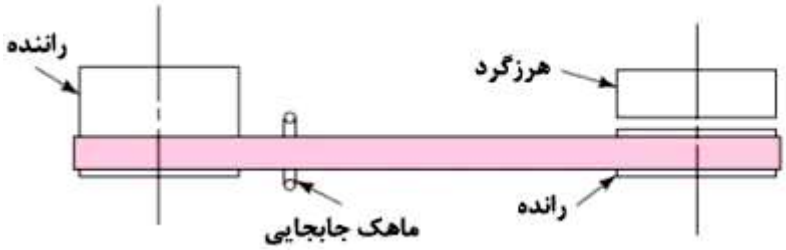

دو شیوهٔ مرسوم برای معکوس کردن جهت حرکت در شکل های زیر آمده است. در این طرح ها هر دو طرف تسمه با چرخ تسمه تماس پیدا می کند. بنابراین از تسمه های V-شکل یکطرفه یا تایمینگ یکطرفه در این طرح ها نمی توان استفاده کرد.



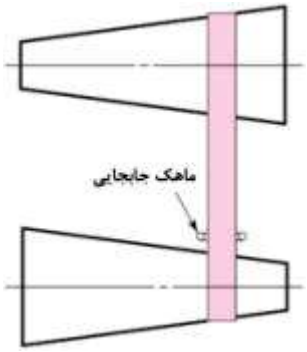
شکل زیر ساده ترین شیوه استفاده از تسمهٔ تخت برای انتقال قدرت میان چرخ تسمه های ناهم صفحه (متنافر) را نشان می دهد. در این پیکره بندی الزامی به تعامد میلمحورها (همانند شکل) نیست.




یکی از کاربرد های تسمه تخت به عنوان کلاچ در شکل زیر آمده است. در این طرح تسمه توسط یک ماهک متصل به اهرم کنترل جابجا می شود و از قرقرهٔ راننده به قرقرهٔ هرزگرد (و بالعکس) منتقل می شود و عمل کلاچ گیری را انجام می دهد.



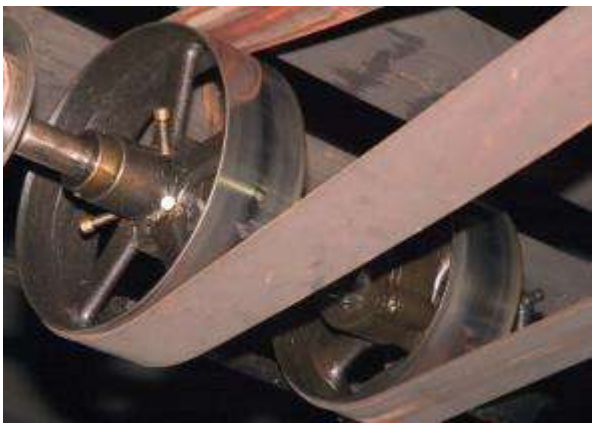
دو طرح انتقال قدرت با سرعت متغیر در شکل های زیر آمده است. طرح اول که استفاده از چرخ تسمه های مخروطی است فقط برای تسمه های تخت قابل استفاده است. در این طرح با جابجایی تسمه توسط ماهک، نسبت قطر راننده به رانده به صورت پیوسته تغییر می کند و متناسب با آن نسبت سرعت نیز قابل تنظیم است.



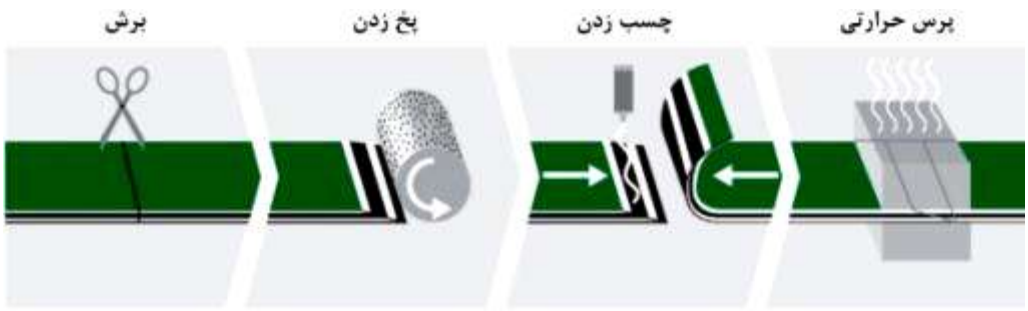

از طرح دوم برای تغییر سرعت به صورت گسسته (پلکانی) استفاده می شود. در این طرح تغییر سرعت مستلزم توقف حرکت و جابجایی تسمه از یک جفت چرخ تسمه به جفت قرقرهٔ مجاور است. در این طرح از تسمه های V-شکل نیز می توان استفاده کرد. نمونه کاربرد این طرح در ماشین های مته کارگاهی است.

## تسمه های تخت

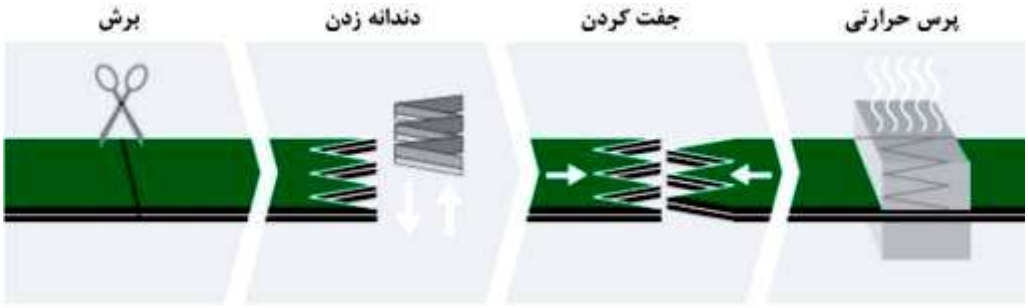
- تسمه‌های تخت از راندمانی بالا (98%) در مقایسه با سایر تسمه‌ها برخوردار هستند (بویژه در سرعت‌های بالا).
- تسمه های تخت معمولاً برای حمل بار و گاهی برای انتقال قدرت استفاده می شوند.
- تسمه های تخت بی سر و صدا کار می کنند و جذب ارتعاشات بهتری دارند.
- عموماً تسمه های تخت به صورت لول (توپ) عرضه می شوند و به طول دلخواه بریده شده و از دو سر با ابزارهای مخصوص به هم اتصال می دهند.



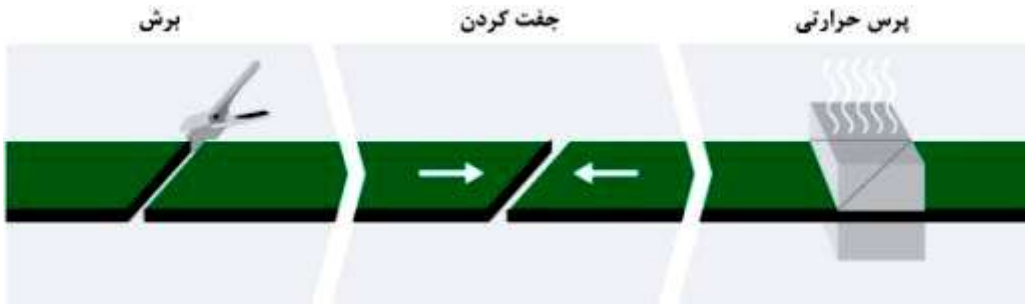
یک نمونه کاربرد تسمه های تخت




مراحل اتصال تسمه تخت به روش چسب زنی




مراحل اتصال تسمه تخت به روش دندانه زنی




مراحل اتصال تسمه تخت به روش ذوبی

انواع مختلف اتصالات مکانیکی

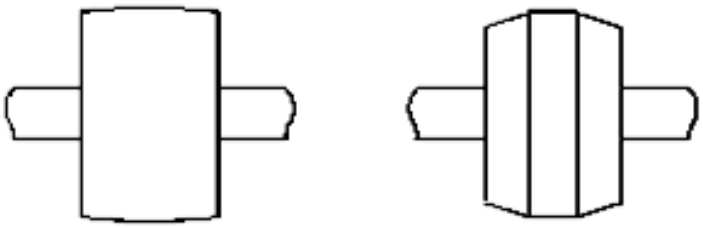
انواع مختلف اتصالات مکانیکی

گیره های اتصال تسمه تخت (Lacing Alligator)

نمونه ابزارآلات اتصال مکانیکی تسمه های تخت

## چرخ تسمه های گرده دار (Crowned pulleys)

بزرگترین مشکلی که در استفاده از تسمه های تخت رخ می دهد فرار جانبی تسمه از روی چرخ تسمه است که برای جلوگیری از آن، حداقل یکی از چرخ تسمه ها را (ترجیحاً هر دو را) به صورت گرده دار می سازند. شکل زیر دو نوع متداول چرخ تسمه های گرده دار را نشان می دهد.



چرخ تسمه های گرده دار (سمت چپ نوع زاویه دار، سمت راست نوع قوس دار)

در این چرخ تسمه ها ارتفاع گرده به قطر چرخ تسمه بستگی دارد که برای قطرهای مختلف چرخ تسمه در جدول زیر آمده است.

**ارتفاع گرده براساس قطر چرخ تسمه تسمه تخت (بر حسب mm)**

| قطر $D$ | گرده $h$ |
|---|---|
| $40 \le D \le 112$ | 0.3 |
| $125 \le D \le 140$ | 0.4 |
| $160 \le D \le 180$ | 0.5 |
| $200 \le D \le 224$ | 0.6 |
| $250 \le D \le 280$ | 0.8 |
| $315 \le D \le 355$ | 1 |
| $400 \le D \le 500$ | 1 |
| $560 \le D \le 710$ | 1.2 |

| | عرض | |
|---|---|---|
| | $b \le 250$ | $b \ge 280$ |
| $800 \le D \le 1000$ | 1.2 | 1.5 |
| $1120 \le D \le 1400$ | 1.5 | 2 |
| $1600 \le D \le 2000$ | 1.8 | 2.5 |

## تسمه های تخت فلزی

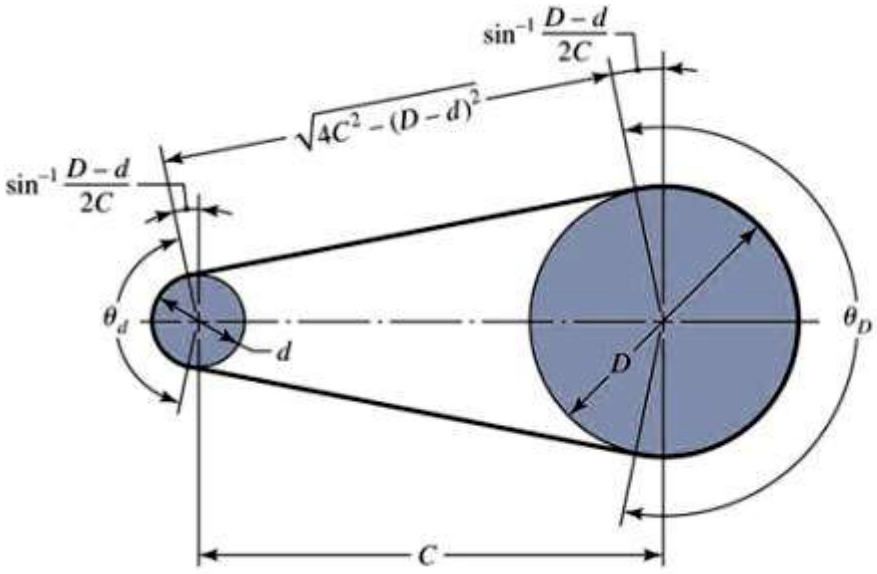
تسمه های تخت از جنس فلز نیز ساخته می شوند که به تسمه های تخت فلزی (Metal Flat Belt) معروف هستند. انتخاب این نوع تسمه براساس روابط و رویه هایی متفاوت با انواع غیرفلزی انجام می گیرد. این تسمه ها از پایداری اندازهٔ خوبی برخوردارند و آنها را تا دمای 370°C می توان به کار برد. درصورت ساخت این تسمه ها از جنس فولاد ضد زنگ، مقاومت آنها در محیط های خورنده بسیار خوب خواهد بود و استفاده از آنها را در صنایع دارویی و غذایی امکان پذیر می کند. این نوع تسمه ها را حتی می توان ضدعفونی کرد.

نمونه کاربرد تسمه تخت فلزی سوراخدار (کارکرد بی لغزش)

برای جلوگیری از فرار تسمه از روی چرخ تسمه در این نوع تسمه ها نیز از چرخ تسمه های گرده دار استفاده می شود.

## بررسی هندسی محرکه های تسمه ای تخت

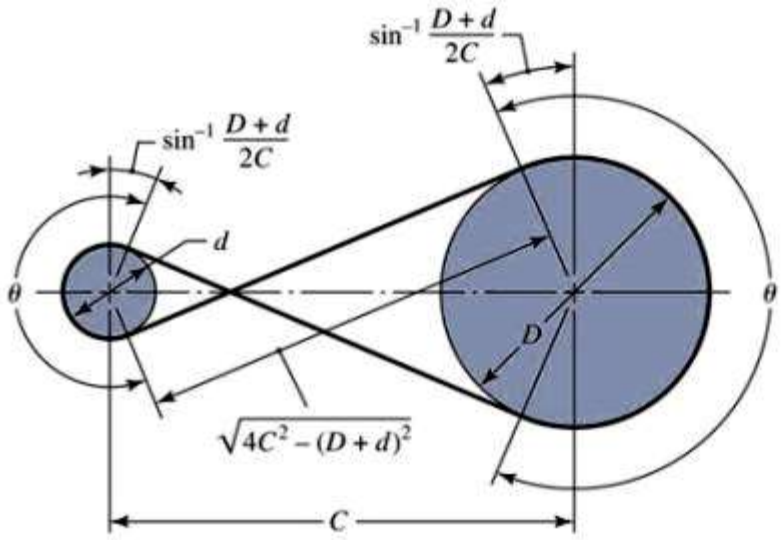
نمایش هندسی دو طرح متداول و سادهٔ پیکره بندی محرکه های تسمه ای تخت در شکل های زیر نشان داده شده است. در این شکل مقادیر طول تسمه و زاویه تماس تسمه با قرقرهٔ کوچک و قرقرهٔ بزرگ محاسبه شده است.




$$\theta_d = \pi - 2\sin^{-1}\frac{D-d}{2C}$$

$$\theta_D = \pi + 2\sin^{-1}\frac{D-d}{2C}$$

$$L = \sqrt{4C^2-(D-d)^2} + \tfrac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$




$$\theta = \pi + 2\sin^{-1}\frac{D+d}{2C}$$

$$L = \sqrt{4C^2-(D+d)^2} + \frac{1}{2}(D+d)\theta$$

در روابط فوق:

$L$ : طول کل تسمه

$C$ : فاصلهٔ مرکز تا مرکز دو چرخ تسمه

$D$ : قطر قرقرهٔ بزرگ

$d$ : قطر قرقرهٔ کوچک

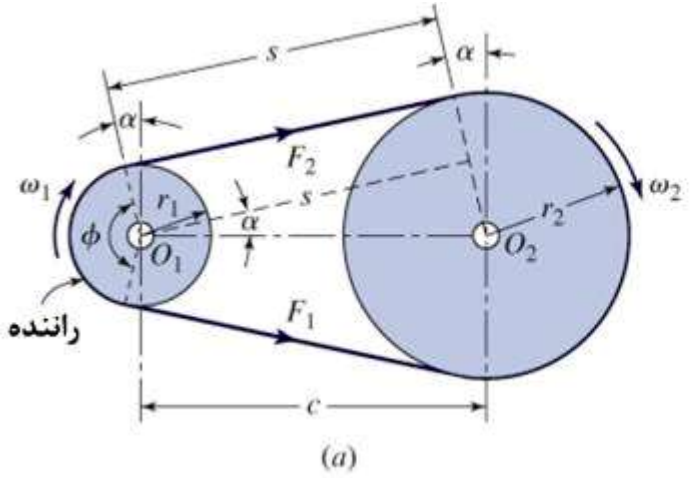
$\theta_D$ : زاویهٔ تماس تسمه با قرقرهٔ بزرگ

$\theta_d$ : زاویهٔ تماس تسمه با قرقرهٔ کوچک

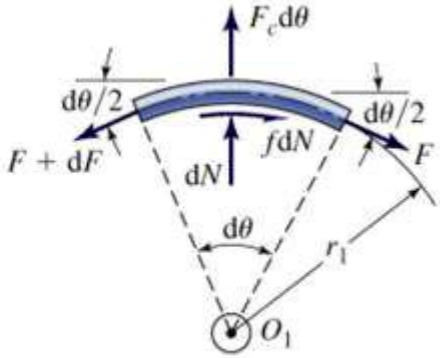
توجه شود که در شکل های فوق عبارت رادیکالی نوشته شده برای طول تسمهٔ آزاد (بدون تماس با چرخ تسمه) به صورت حاصلجمع طول های تسمه در بالا و پایین نوشته شده است و طول تسمهٔ آزاد در یک طرف نصف عبارت رادیکالی نوشته شده است.

## بررسی نیرویی محرکه های تسمه ای تخت

در شکل زیر یک نمونه سیستم انتقال قدرت تسمه تخت (شکل a) به همراه نمایه پیکرهٔ آزاد یک جزء از تسمه (شکل b) نشان داده شده است.




(a)




(b)

همانطور که در این شکل مشاهده می شود تسمه وظیفهٔ انتقال قدرت یک قرقرهٔ راننده را به یک قرقرهٔ رانده برعهده دارد. برای سادگی فهم مساله، فرض کنید محور قرقرهٔ رانده به نحوی ثابت شده است و قرقرهٔ راننده تا آستانهٔ لغزش اعمال گشتاور می کند. در این صورت واضح است که تسمه در پایین شل و در بالا سفت است بنابراین نیروی کشش تسمه در بالا بیشتر از پایین است یعنی:

$$F_1 > F_2$$

با نوشتن روابط تعادل برای یک جزء از تسمه و حل معادلات دیفرانسیل به رابطهٔ زیر می رسیم:

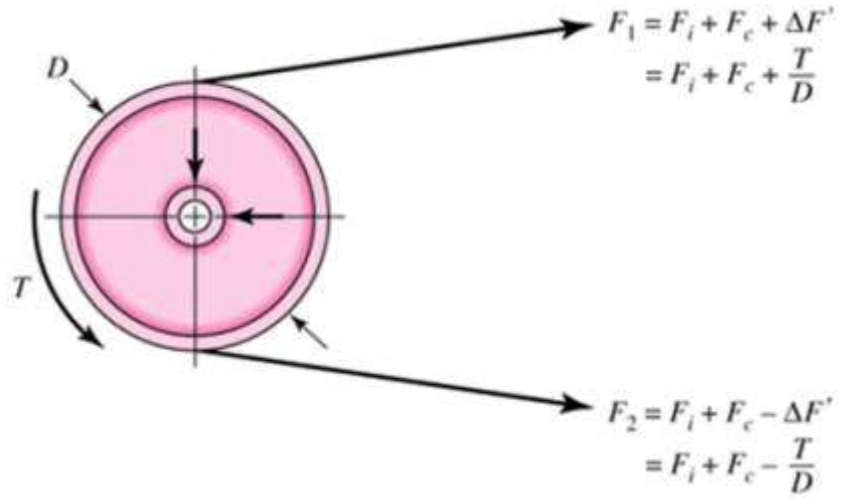
$$\frac{F_1 - F_C}{F_2 - F_C} = e^{f\varphi}$$

که در آن $f$ ضریب اصطکاک لغزشی (نه ایستایی!) ، $\varphi$ زاویهٔ تماس تسمه با چرخ تسمه کوچک و $F_C$ اثر نیروی گریز از مرکز است و از رابطهٔ زیر محاسبه می شود:

$$F_C = mr^2\omega^2$$

که در رابطهٔ اخیر، $m$ جرم واحد طول تسمه است، $r$ شعاع چرخ تسمه، $\omega$ سرعت زاویه ای چرخ تسمه و برابر با $\omega = 2\pi n/60$ که $n$ برحسب $rpm$ سرعت دوراتی چرخ تسمه است. توجه شود که بایستی $r$ و $\omega$ هر دو مربوط به یک چرخ تسمه باشد البته فرقی نمی کند که کدام چرخ تسمه انتخاب شود.

در شکل زیر نیروهای کشش تسمه ($F_1$ و $F_2$) بر حسب اجزای تشکیل دهندهٔ آنها نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده می شود نیروی کشش تسمه از نیروی کشش اولیه ($F_i$)، نیروی کشش ناشی از گریز از مرکز ($F_C$) و نیرویی که قدرت را انتقال می دهد ($\Delta F'$) تشکیل شده است.




همچنین با توجه به اینکه هر دو نیروی $F_1$ و $F_2$ به قرقرهٔ رانده نیز وارد می شود و با گشتاورگیری حول مرکز قرقرهٔ رانده واضح است که تمایل این دو نیرو برای گرداندن قرقرهٔ رانده، خلاف یکدیگر است لذا نیروی خالصی که موجب ایجاد گشتاور در قرقرهٔ رانده می شود عبارت است از:

$$F_1 - F_2 = 2\Delta F'$$

و گشتاور حاصل عبارت است از:

$$T = 2\Delta F' \times \frac{D}{2} = \Delta F' D$$

بنابراین:

$$\Delta F' = \frac{T}{D}$$

از حل دستگاهی شامل دو عبارت فوق به صورت:

$$\begin{cases} F_1 = F_i + F_C - \dfrac{T}{D} \\ F_2 = F_i + F_C + \dfrac{T}{D} \end{cases}$$

نیروی کشش اولیهٔ مورد نیاز در تسمه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_C$$

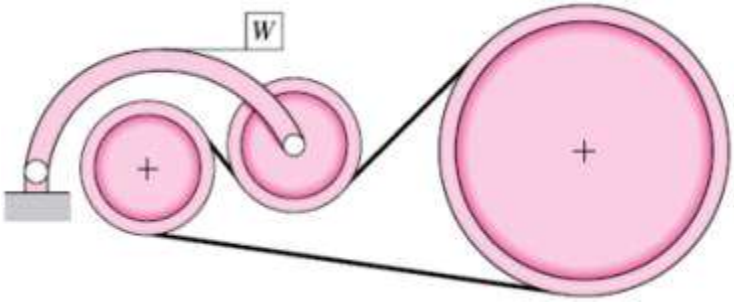
که با جایگذاری مقادیر $F_1$ و $F_2$ خواهیم داشت:

$$F_i = \frac{T}{D} \times \frac{e^{f\varphi} + 1}{e^{f\varphi} - 1}$$

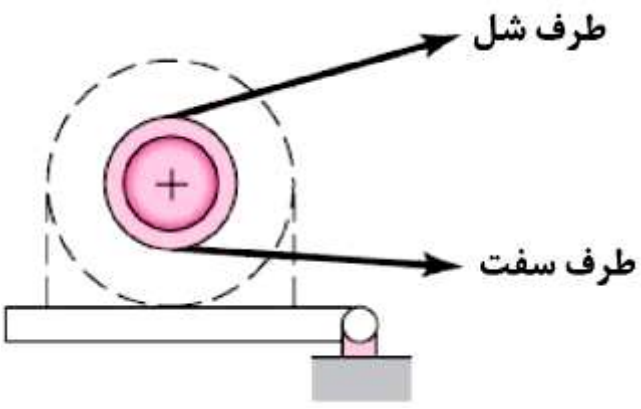
این رابطه نشان می دهد که نیروی کشش اولیه و گشتاور انتقالی با یکدیگر رابطهٔ مستقیم دارند و واضح است که:

$$IF \quad F_i = 0 \;\Rightarrow\; T = 0$$

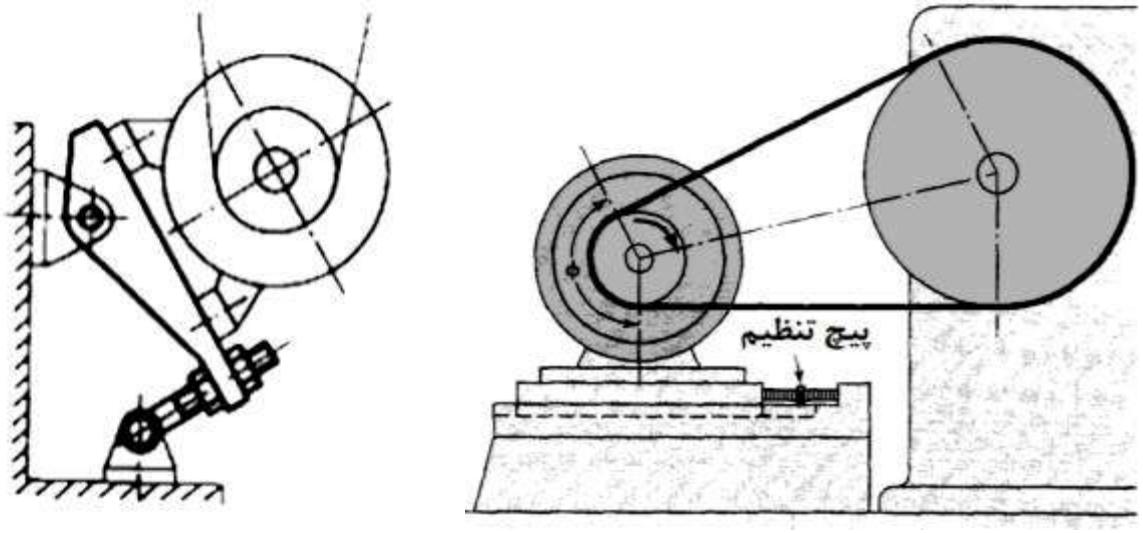
بنابراین انتقال توان و گشتاور در محرکه های تسمه ای مستلزم اعمال کشش اولیه در تسمه است. در تسمه های تخت وقتی برای انتقال قدرت در فواصل دور مورد استفاده قرار می گیرند، معمولاً وزن تسمه خود به تنهایی موجب ایجاد کشش اولیهٔ کافی می شود. در غیر این صورت لازم است از مکانیزم هایی جهت اعمال کشش اولیه استفاده کرد که نمونه هایی از آن را در شکل های زیر مشاهده می کنید.




استفاده از هرزگرد با اعمال نیروی ثقلی برای اعمال کشش اولیه به تسمه (همچنین افزایش زاویهٔ تماس)




نصب مجموعهٔ موتور و چرخ تسمه بر روی لولا و استفاده از گشتاور حاصل از وزن آنها برای اعمال کشش اولیه به تسمه




استفاده از پیچ تنظیم برای اعمال کشش اولیه به تسمه (راست) و استفاده از گشتاور حاصل از وزن با مهار پیچی (چپ)

اگر روابط مقادیر $F_1$ و $F_2$ را پس از جایگذاری، ساده کنیم به روابط زیر می رسیم:

$$F_1 = F_C + F_i \frac{2e^{f\varphi}}{e^{f\varphi}+1}$$

$$F_2 = F_C + F_i \frac{2}{e^{f\varphi}+1}$$

توان انتقالی برحسب watt به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P(w) = (F_1 - F_2)(N) \times V(m/s)$$

و برحسب اسب بخار:

$$P(HP) = \frac{(F_1 - F_2)(n) \times V(m/s)}{745.7}$$

در رابطهٔ فوق V سرعت خطی تسمه برحسب m/s است که بصورت زیر از سرعت دورانی بدست می آید:

$$V(m/s) = \frac{\pi . d(mm) . n(rpm)}{60000}$$

همانطور که از روابط دیده می شود افزایش زاویه تماس موجب افزایش گشتاور و توان انتقالی می شود، به همین دلیل درصورت نیاز می توان با استفاده از چرخ تسمه های هرزگرد زاویهٔ تماس را افزایش داد. در این صورت برای جلوگیری از خمش بیش از اندازهٔ تسمه بایستی قطر هرزگردها بزرگتر از قطر کوچکترین قرقرهٔ درگیر باشد. برای نمونه در شکل زیر استفاده از چهار هرزگرد را مشاهده می کنید.

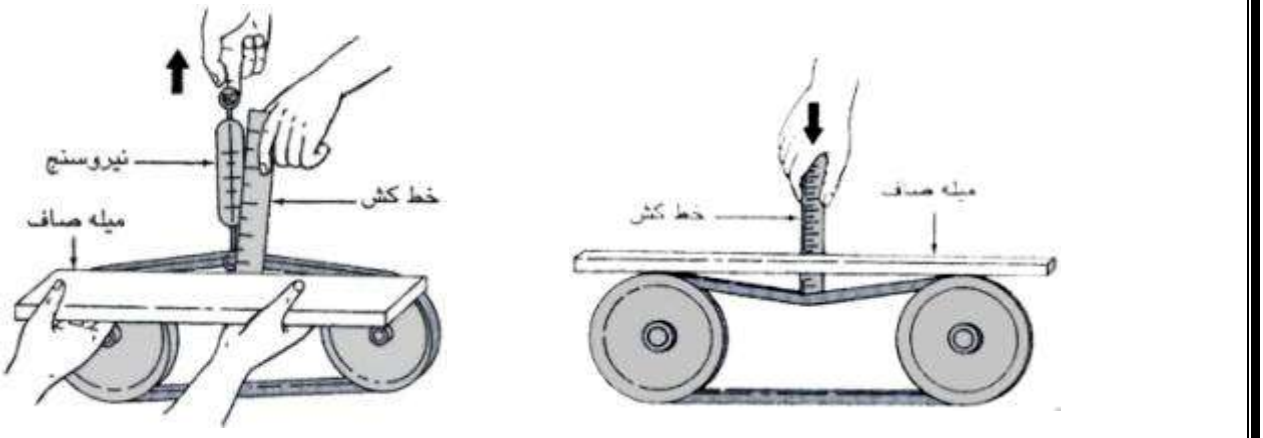
استفاده از چهار هرزگرد بمنظور افزایش زاویه تماس تسمه با چرخ تسمه ها

**لغزش انبساطی**: در اثر اعمال نیروی کششی، تسمه مقداری دچار افزایش طول می شود (کش آمدگی). هنگام عبور تسمه از روی چرخ تسمهٔ راننده و در ناحیهٔ تماس، نیروی کشش از $F_1$ تا $F_2$ به تدریج از نقطهٔ شروع تماس تا پایان آن، کاهش می یابد. با کاهش کشیدگی تسمه، طول آن نیز به صورت موضعی کوتاهتر می شود (جمع می شود)، برعکس همین اتفاق هم بر روی چرخ تسمهٔ رانده رخ می دهد. این کوتاه و بلند شدن های مداوم تسمه بر روی چرخ تسمه ها باعث ایجاد لغزش ناچیزی میان تسمه و چرخ تسمه می شود که به آن لغزش انبساطی می گویند. لغزش انبساطی باعث ایجاد اختلاف سرعت محیطی اندکی (حدود 1-2%) میان چرخ تسمهٔ رانده و راننده می شود. از این اختلاف سرعت معمولاً در محاسبات چشم پوشی می شود ولی بایستی سطح چرخ تسمه ها صاف و صیقلی باشد تا از سایش و کاهش عمر شدید تسمه جلوگیری شود. بدلیل وجود لغزش انبساطی در محاسبات تسمه از ضریب اصطکاک لغزشی ($f$) به جای ضریب اصطکاک ایستایی استفاده می شود.

**لغزش انتقالی (سرشی)**: درصورتی که اختلاف نیروی کشش تسمه بر روی تسمه راننده ($F_1 - F_2$) از نیروی اصطکاک بیشتر گردد تسمه بر روی چرخ تسمه خواهد لغزید، این پدیده را لغزش انتقالی می نامند. لغزش انتقالی همواره بر روی چرخ تسمهٔ کوچکتر رخ می دهد.

## اندازه گیری کشش اولیهٔ تسمه

برای کنترل و اندازه گیری کشش اولیهٔ تسمه از ابزارهای اندازه گیری ویژه استفاده می شود که ساده ترین انواع آن به کمک خط کش و نیروسنج را در شکل زیر می بینید.




ابزارهای اندازه گیری مدرن تری نیز وجود دارد که کشش اولیهٔ تسمه را می توان به کمک آنها اندازه گیری کرد. برای مثال چند نمونه در شکل زیر نشان داده شده است.

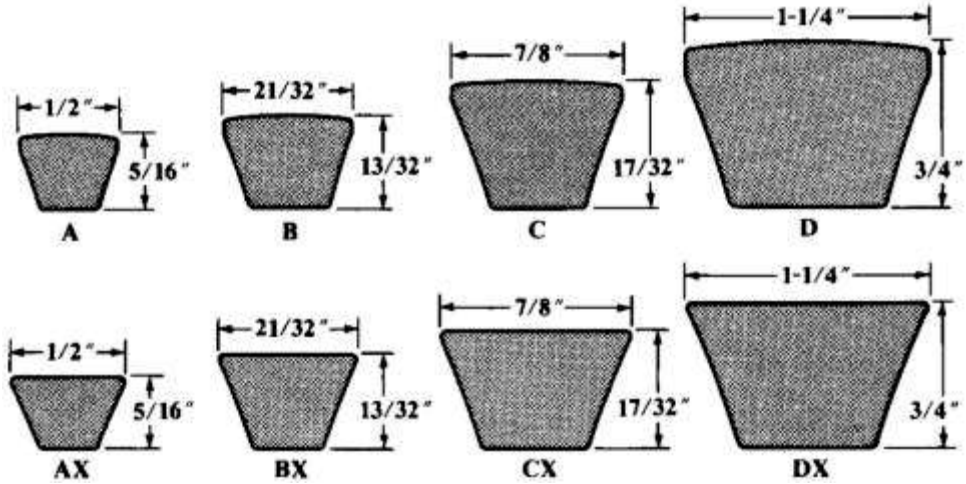
## تسمه های گرد

تسمه های گرد برای انتقال گشتاورهای پایین استفاده می شود. از این تسمه ها برای انتقال قدرت میان محورهای متنافر نیز می توان استفاده کرد.

یک نمونه کاربرد تسمه های گرد

## تسمه های V-شکل

تسمه های V-شکل معمولاً برای انتقال قدرت و گاهی در شرایط خاص برای حمل بار استفاده می شوند. اندازهٔ مقطع این تسمه ها را سازندگان استاندارد کرده اند و هرمقطع دارای یک مشخصه به صورت یک حرف لاتین (استاندارد آمریکایی) و یا یک عدد (استاندارد متریک) است که توسط آن شناخته می شود. البته تفاوتی در روش طراحی و انتخاب تسمه های دو استاندارد فوق وجود ندارد و تنها جداول و برخی روابط متفاوت است. در شکل زیر انواع مقاطع تسمه های V-شکل کلاسیک (استاندارد آمریکایی) و حروف مشخصهٔ آنها نشان داده شده است.




طول تسمه ها نیز استاندارد شده است و تسمه ها فقط در طول های استاندارد تولید می شوند. جدول زیر طول های استاندارد تسمه های V-شکل کلاسیک (استاندارد آمریکایی) را برحسب محیط سطح داخلی تسمه نشان می دهد.

| مقطع | محیط درونی in |
|---|---|
| A | 26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128 |
| B | 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300 |
| C | 51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 |
| D | 120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |
| E | 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |

برای محاسبهٔ طول گام تسمه کافی است طول داخلی بدست آمده از جدول فوق را با عدد داده شده در جدول زیر (برای هر مقطع) جمع کنید.

اختلاف اندازهٔ طول گام تسمه با طول داخلی آن

| مقطع تسمه | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| به محیط درون | 1.3 | 1.8 | 2.9 | 3.3 | 4.5 |

برای شناسایی یک تسمه از یک کد شامل مشخصهٔ مقطع و طول استاندارد آن استفاده می شود مثلاً کد B75 معرف تسمه با مقطع B و با طول داخلی 75 اینچ و طول گام 75+1.8=76.8 اینچ است.

## روند طراحی محرکه های تسمه V-شکل کلاسیک

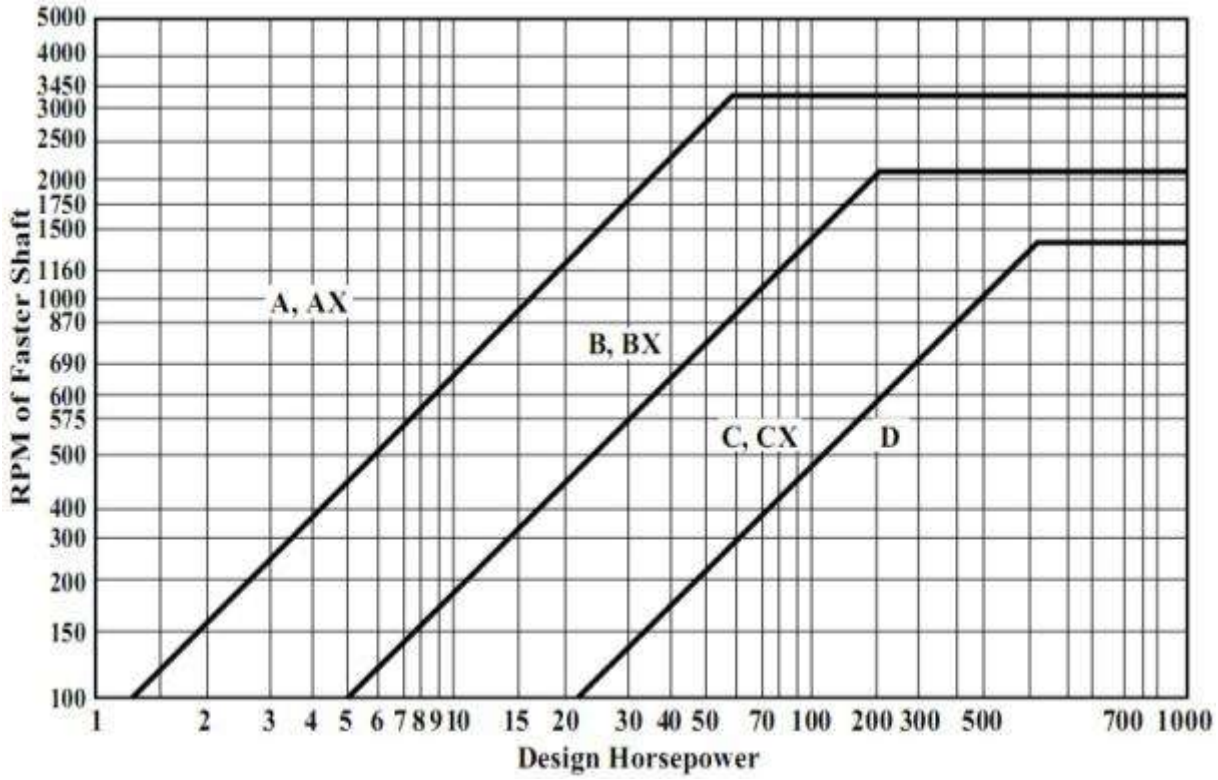
**توجه**: روابط و جداول ارائه شده در این فصل برای طراحی محرکه های تسمه ای مورد استفاده در کاربردهای عمومی ماشین سازی ارائه شده است و برای استفاده در خودرو و ماشین آلات کشاورزی که دارای استانداردهای ویژه هستند مناسب نمی باشد و در این موارد بایستی مطابق استانداردهای مربوطه، فرایند طراحی صورت بگیرد.

برای شروع طراحی با توجه به نسبت سرعت دورانی یا نسبت گشتاور به صورت اولیه، قطرهای چرخ تسمه های کوچک و بزرگ را انتخاب می کنیم و فاصلهٔ اولیهٔ مرکز تا مرکز (C) چرخ تسمه ها را در بازهٔ $(D < C < 3(D + d))$ انتخاب و با معلوم بودن توان انتقالی و سرعت دورانی چرخ تسمهٔ کوچکتر، رویهٔ زیر را دنبال می کنیم. در روابطی که در ادامه آورده می شود همواره اندیس d مربوط به چرخ تسمهٔ کوچک و اندیس D مربوط به چرخ تسمهٔ بزرگ است.

### ۱- انتخاب مقطع تسمه

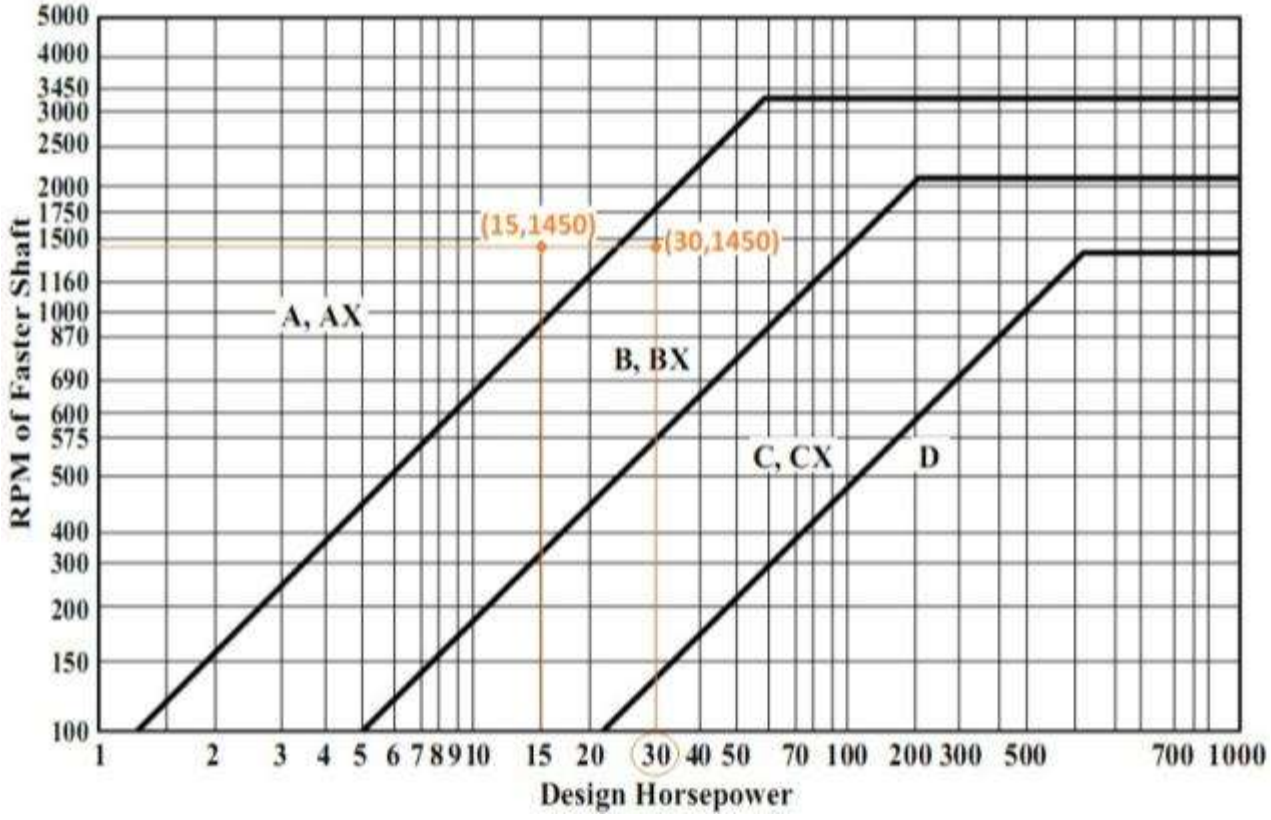
با توجه به تاثیر تفاوت ابعاد مقطع در تحمل بار تسمه ها اولین گام برای طراحی محرکه های تسمه ای انتخاب مقطع تسمه است. مقطع تسمه با استفاده از نمودار زیر و بر اساس توانی که قرار است توسط یک ردیف تسمه انتقال داده شود و سرعت دورانی (دور) چرخ تسمهٔ کوچکتر (با دور بیشتر) انتخاب می شود.

از توان انتقالی برحسب اسب بخار (hp) و دور چرخ تسمهٔ کوچکتر بر حسب دور بر دقیقه (RPM) مقطع مناسب از نمودار زیر بدست خواهد آمد. درصورتی که توان انتقالی به اندازه ای زیاد باشد که هیچ یک از مقاطع تسمه ها مناسب نباشد، یا به دلایلی بخواهیم از تسمه های با مقطع کوچکتر استفاده کنیم، در این صورت از دو یا تعداد بیشتری تسمه در کنار یکدیگر باید استفاده کرد. بدین منظور بایستی توان انتقالی را به تعداد تسمه ها تقسیم کرد و از نمودار مقطع مناسب را انتخاب نمود.




شکل ۱- انتخاب مقطع تسمهV -شکل کلاسیک

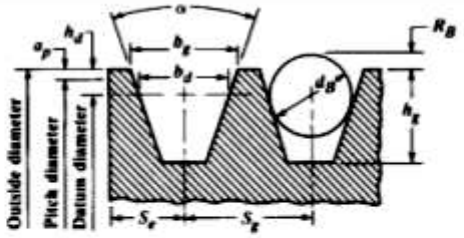
برای نمونه درصورتی که انتقال توان از یک موتور AC تکفاز 30 hp با دور 1450 RPM که مستقیماً به چرخ تسمهٔ کوچک کوپل شده است مد نظر باشد، مقطع مناسب برای یک ردیف تسمه مقطع B یا BX است. درصورتی که اگر بخواهیم توان موتور را با دو ردیف تسمه منتقل کنیم، مقطع مناسب A یا AX خواهد بود. (شکل زیر)




یک نمونه انتخاب مقطع تسمهV -شکل کلاسیک

## ۲- تعیین ابعاد و حداقل قطر مبنای (Min Datum Diameter) چرخ تسمه کوچک ($d_d$)

با توجه به این که عمر تسمه با قطر چرخ تسمه رابطهٔ مستقیم دارد و با کاهش قطر چرخ تسمه، عمر تسمه نیز کاهش می یابد لذا حداقل قطر چرخ تسمهٔ کوچک از حدی نمی تواند کوچکتر انتخاب شود. حداقل قطر مبنای چرخ تسمه برای مقطع های مختلف تسمه در جدول زیر آمده است.




Face Width of Standard and Deep Groove Sheaves = $S_g(N_g - 1) + 2S_r$, where $N_g$ = number of grooves

| Standard Groove Dimensions | | | | | | | | | | | | Design Factors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cross Section | | Datum[a] Diameter Range | α Groove Angle ±0.33° | $h_d$ Ref | $b_g$ | $h_g$ Min | $2h_d$ | $R_B$ Min | $d_B$ ±0.0005 | $S_r^b$ ±0.025 | $S_e$ | Min Recom. Datum Diameter | $2\alpha_p$ |
| A, AX | | Through 5.4 | 34 | 0.418 | 0.494 | 0.460 | 0.250 | 0.148 | 0.4375 | 0.625 | 0.375 +0.090 −0.062 | A 3.0 | 0 |
| | | Over 5.4 | 38 | | 0.504 ±0.005 | | | 0.149 | (7/16) | | | AX 2.2 | |
| B, BX | | Through 7.0 | 34 | 0.530 | 0.637 | 0.550 | 0.350 | 0.189 | 0.5625 | 0.750 | 0.500 +0.120 −0.065 | B 5.4 | 0 |
| | | Over 7.0 | 38 | | 0.650 ±0.006 | | | 0.190 | (9/16) | | | BX 4.0 | |
| Combination | A, AX Belt | Through 7.4[c] | 34 | 0.508[b] | 0.612 | 0.612 | 0.634[a] | 0.230 | 0.5625 | 0.750 | 0.500 +0.120 −0.065 | A 3.6[c] | 0.37 |
| | | Over 7.4 | 38 | | 0.625 ±0.006 | | 0.602[a] | 0.226 | (9/16) | | | AX 2.8 | |
| | B, BX Belt | Through 7.4[c] | 34 | | 0.612 | | 0.333[a] | 0.230 | | | | B 5.7[c] | −0.01 |
| | | Over 7.4 | 38 | | 0.625 ±0.006 | | 0.334[a] | 0.226 | | | | BX 4.3 | |
| C, CX | | Through 7.99 | 34 | 0.757 | 0.879 | 0.750 | 0.400 | 0.274 | 0.7812 | 1.000 | 0.688 +0.160 −0.070 | C 9.0 | 0 |
| | | Over 7.99 to and incl. 12.0 | 36 | | 0.887 ±0.007 | | | 0.276 | (25/32) | | | CX 6.8 | |
| | | Over 12.0 | 38 | | 0.895 | | | 0.277 | | | | | |
| D | | Through 12.99 | 34 | 1.076 | 1.259 | 1.020 | 0.600 | 0.410 | 1.1250 | 1.438 | 0.875 +0.220 −0.080 | 13.0 | 0 |
| | | Over 12.99 to and incl. 17.0 | 36 | | 1.271 ±0.008 | | | 0.410 | (1 1/8) | | | | |
| | | Over 17.0 | 38 | | 1.283 | | | 0.411 | | | | | |

جدول (الف)

| Deep Groove Dimensions[f] | | | | | | | | | | | | Design Factors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cross Section | Datum[a] Dia. Range | α Groove Angle ± 0.33° | $h_g$ Ref | $b_g$ | $h_g$ Min | $2h_d$ Ref | $R_B$ Min | $d_B$ ± 0.0005 | $S_r^b$ ± 0.025 | $S_e$ | Min Rec. Datum Diameter | $2\alpha_p$ |
| B, BX | Through 7.0 | 34 | 0.530 | 0.747 | 0.730 | 0.710 | 0.007 | 0.5625 | 0.875 | 0.562 +0.120 −0.065 | B 5.4 | 0.36 |
| | Over 7.0 | 38 | | 0.774 ±0.006 | | | 0.008 | (9/16) | | | BX 4.0 | |
| C, CX | Through 7.99 | 34 | 0.757 | 1.066 | 1.055 | 1.010 | −0.035 | 0.7812 | 1.250 | 0.812 +0.160 −0.070 | C 9.0 | 0.61 |
| | Over 7.99 to and incl. 12.0 | 36 | | 1.085 ±0.007 | | | −0.032 | (25/32) | | | CX 6.8 | |
| | Over 12.0 | 38 | | 1.105 | | | −0.031 | | | | | |
| D | Through 12.99 | 34 | 1.076 | 1.513 | 1.435 | 1.430 | −0.010 | 1.1250 | 1.750 | 1.062 +0.220 −0.080 | 13.0 | 0.83 |
| | Over 12.99 to and incl. 17.0 | 36 | | 1.514 ±0.008 | | | −0.009 | (1 1/8) | | | | |
| | Over 17.0 | 38 | | 1.569 | | | −0.008 | | | | | |

جدول (ب)

شکل ۲- تعیین حداقل قطر مبنای (Min Datum Diameter) چرخ تسمه کوچک و ابعاد چرخ تسمه های الف) با شیار استاندارد و ب) با شیار عمیق

در شکل بالا جدول اول (الف) مربوط به ابعاد چرخ تسمه های با شیار استاندارد است درحالی که جدول پایین مربوط به ابعاد چرخ تسمه های با شیار عمیق است. چرخ تسمه های شیار عمیق در مواقعی به کار می روند که امکان فرار تسمه از روی چرخ تسمه وجود داشته باشد و یا محور چرخ تسمه ها عمودی باشد و وزن تسمه تمایل داشته باشد تسمه را از روی چرخ تسمه خارج کند.

گاهی چرخ تسمه را طوری می سازند که هم برای تسمه های با مقطع A/AX و هم با مقطع B/BX مناسب باشد به این چرخ تسمه ها اصطلاحاً ترکیبی (Combination) می گویند که داده های مربوط به آن در جدول (الف) آمده است.

با توجه به اینکه در جدول (ب) داده های مربوط به چرخ تسمه شیار عمیق با مقطع A یا AX موجود نمی باشد، در صورت نیاز بایستی از داده های چرخ تسمه استاندارد مربوط به استفادهٔ ترکیبی A/AX و B/BX از جدول (الف) استفاده نمود.

توجه: در تسمه های V-شکل چاکدار، وجود چاک های داخلی، موجب افزایش انعطاف پذیری تسمه حین خم شدن پیرامون چرخ تسمه (پولی) می شود و لذا امکان استفاده از چرخ تسمه های با قطر کمتر را فراهم می کند.

## ۳- محاسبهٔ قطر گام چرخ تسمهٔ کوچک ($d_p$)

قطر گام چرخ تسمهٔ کوچک از قطر مبنای آن به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d_p = d_d + 2h_d - 2a_p \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

که در آن $d_d$ قطر مبنا، $d_p$ قطر گام و $2a_p$ و $2h_d$ پارامترهایی مطابق شکل بالای جدول فوق می باشند و از جداول شکل (۲) بدست می آیند.

## ۴- محاسبهٔ قطر گام چرخ تسمهٔ بزرگ ($D_p$)

با صرف نظر از لغزش انبساطی، قطر گام چرخ تسمهٔ بزرگ بر اساس نسبت سرعت دورانی یا نسبت گشتاور انتقالی بدست می آید.

$$\frac{D_p}{d_p} = \frac{\omega_d}{\omega_D}$$

که در آن $\omega_D$ سرعت زاویه ای چرخ تسمهٔ بزرگ و $\omega_d$ سرعت زاویه ای چرخ تسمهٔ کوچک بر حسب $\frac{rad}{s}$ است. با توجه به اینکه سرعت زوایه ای از رابطهٔ زیر محاسبه می شود:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

که $n$ سرعت دورانی برحسب $rpm$ است لذا رابطه به صورت زیر در می آید:

$$\frac{D_p}{d_p} = \frac{n_d}{n_D} \qquad \text{رابطهٔ (۲)}$$

همچنین رابطهٔ نسبت قطر گام چرخ تسمه ها با گشتاور اعمالی به چرخ تسمه ها از رابطهٔ زیر بدست می آید:

$$\frac{D_p}{d_p} = \frac{T_D}{T_d} \qquad \text{رابطهٔ (۳)}$$

که در آن $T_D$ گشتاور اعمالی به چرخ تسمهٔ بزرگ و $T_d$ گشتاور اعمالی به چرخ تسمهٔ کوچک برحسب $Nm$ است.

## ۵- محاسبه طول مبنای تسمه (L)

طول مبنای تسمه از رابطهٔ زیر که در مورد تسمه های تخت بدست آمد و برای سایر تسمه ها قابل استفاده است، محاسبه می شود:

$$L = \sqrt{4C^2 - (D_p - d_p)^2} + \frac{1}{2}(D_p\theta_D + d_p\theta_d)$$

که در آن:

$$\theta_d = \pi - 2sin^{-1}\frac{D_p - d_p}{2C}$$

$$\theta_D = \pi + 2sin^{-1}\frac{D_p - d_p}{2C}$$

با کمی ساده سازی و تقریب رابطهٔ طول مبنای تسمه به شکل زیر در می آید:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C}$$ (رابطهٔ ۴)

به همین ترتیب برای پیکره بندی ضربدری تسمه نیز رابطهٔ طول تسمه به صورت زیر در می آید:

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p + d_p)^2}{4C}$$ (رابطهٔ ۵)

## ۶- تعیین طول استاندارد تسمه ($L_S$) براساس طول مبنای محاسبه شده

تسمه ها فقط در طول های استاندارد تولید می شوند که در جدول زیر طول های استاندارد آورده شده است.

جدول۱- طول های مبنای استاندارد تسمه های V-شکل کلاسیک

| Standard Length Designation* | Standard Datum lengths | | | | Permissible Deviations from Std. Datum Length | Matching Limits for One Set |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cross Section | | | | | |
| | A, AX | B, BX | C, CX | D | | |
| 26 | 27.3 | ... | ... | ... | +0.6, -0.6 | 0.15 |
| 31 | 32.3 | ... | ... | ... | +0.6, -0.6 | 0.15 |
| 35 | 36.3 | 36.8 | ... | ... | +0.6, -0.6 | 0.15 |
| 38 | 39.3 | 39.8 | ... | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 42 | 43.3 | 43.8 | ... | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 46 | 47.3 | 47.8 | ... | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 51 | 52.3 | 52.8 | 53.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 55 | 56.3 | 56.8 | ... | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 60 | 61.3 | 61.8 | 62.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.15 |
| 68 | 69.3 | 69.8 | 70.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.30 |
| 75 | 75.3 | 76.8 | 77.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.30 |
| 80 | 81.3 | ... | ... | ... | +0.7, -0.7 | 0.30 |
| 81 | ... | 82.8 | 83.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.30 |
| 85 | 86.3 | 86.8 | 87.9 | ... | +0.7, -0.7 | 0.30 |
| 90 | 91.3 | 91.8 | 92.9 | ... | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 96 | 97.3 | ... | 98.9 | ... | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 97 | ... | 98.8 | ... | ... | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 105 | 106.3 | 106.8 | 107.9 | ... | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 112 | 113.3 | 113.8 | 114.9 | ... | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 120 | 121.3 | 121.8 | 122.9 | 123.3 | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 128 | 129.3 | 129.8 | 130.9 | 131.3 | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 144 | ... | 145.8 | 146.9 | 147.3 | +0.8, -0.8 | 0.30 |
| 158 | ... | 159.8 | 160.9 | 161.3 | +1.0, -1.0 | 0.45 |
| 173 | ... | 174.8 | 175.9 | 176.3 | +1.0, -1.0 | 0.45 |
| 180 | ... | 181.8 | 182.9 | 183.3 | +1.0, -1.0 | 0.45 |
| 195 | ... | 196.8 | 197.9 | 198.3 | +1.1, -1.1 | 0.45 |
| 210 | ... | 211.8 | 212.9 | 213.3 | +1.1, -1.1 | 0.45 |
| 240 | ... | 240.3 | 240.9 | 240.8 | +1.3, -1.3 | 0.45 |
| 270 | ... | 270.3 | 270.9 | 270.8 | +1.6, -1.6 | 0.60 |
| 300 | ... | 300.3 | 300.0 | 300.8 | +1.6, -1.6 | 0.60 |
| 330 | ... | ... | 330.9 | 330.8 | +2.0, -2.0 | 0.60 |
| 360 | ... | ... | 380.9 | 360.8 | +2.0, -2.0 | 0.60 |
| 540 | ... | ... | ... | 540.8 | +3.3, -3.3 | 0.90 |
| 390 | ... | ... | 390.9 | 390.8 | +2.0, -2.0 | 0.75 |
| 420 | ... | ... | 420.9 | 420.8 | +3.3, -3.3 | 0.75 |
| 480 | ... | ... | ... | 480.8 | +3.3, -3.3 | 0.75 |
| 600 | ... | ... | ... | 600.8 | +3.3, -3.3 | 0.90 |
| 660 | ... | ... | ... | 660.8 | +3.3, -3.3 | 0.90 |

طول مبنای بدست آمده از رابطهٔ (۴) را با طول های استاندارد (جدول فوق) مقایسه و نزدیک ترین طول استاندارد را انتخاب می کنیم.

## ۷- اصلاح فاصلهٔ مرکز تا مرکز چرخ تسمه ها (C) براساس طول استاندارد تسمه

با توجه به اینکه با انتخاب طول استاندارد تسمه، فاصلهٔ مرکز تا مرکز چرخ تسمه ها (C) تغییر می کند، لذا بایستی فاصلهٔ اولیهٔ مرکز تا مرکز چرخ تسمه ها را اصلاح کرد. مقدار اصلاح شدهٔ این فاصله ($C_m$) از رابطهٔ زیر بدست می آید:

$$C_m = \frac{K+\sqrt{K^2-32(D_p-d_p)^2}}{16} \qquad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

که در آن:

$$K = 4L_S - 2\pi(D_p + d_p)$$

که $L_S$ طول استاندارد تسمه است که در گام (۶) از جدول انتخاب شده است.

## ۸- محاسبه حداکثر توان انتقالی تسمه ($P_m$)

حداکثر توان انتقالی توسط تسمه های V-شکل کلاسیک برای هر مقطع دارای رابطهٔ جداگانه ای مطابق زیر است که مقادیر محاسبه شده توسط این روابط برحسب اسب بخار می باشد.

$$\text{A:HP} = d_p r\left[1.004 - \frac{1.652}{d_p} - 1.547\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.2126\log(d_p r)\right] + 1.652r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

$$\text{AX:HP} = d_p r\left[1.462 - \frac{2.239}{d_p} - 2.198\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.4238\log(d_p r)\right] + 2.239r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

$$\text{B:HP} = d_p r\left[1.769 - \frac{4.372}{d_p} - 3.081\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.3658\log(d_p r)\right] + 4.372r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

$$\text{BX:HP} = d_p r\left[2.051 - \frac{3.532}{d_p} - 3.097\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.5735\log(d_p r)\right] + 3.532r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۱۰)}$$

$$\text{C:HP} = d_p r\left[3.325 - \frac{12.07}{d_p} - 5.828\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.6886\log(d_p r)\right] + 12.07r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$\text{CX:HP} = d_p r\left[3.272 - \frac{6.655}{d_p} - 5.298\times10^{-4}(d_p r)^2 - 0.8637\log(d_p r)\right] + 6.655r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$$\text{D:HP} = d_p r\left[7.160 - \frac{43.21}{d_p} - 1.384\times10^{-3}(d_p r)^2 - 1.454\log(d_p r)\right] + 43.21r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right) \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

در روابط بالا :

$$r = \frac{n_d}{1000}$$

و $K_{SR}$ که ضریب نسبت سرعت (Speed Ratio Factor) نام دارد از جدول زیر براساس نسبت سرعت چرخ تسمه ها (برابر با نسبت قطر چرخ تسمهٔ بزرگ به کوچک) بدست می آید.

جدول۲- ضریب اصلاح سرعت ($K_{SR}$) برای محاسبه حداکثر توان انتقالی تسمه

| گسترهٔ نسبت سرعت ($D_p/d_p$) | $K_{SR}$ | گسترهٔ نسبت سرعت ($D_p/d_p$) | $K_{SR}$ |
|---|---|---|---|
| 1.00–1.01 | 1.0000 | 1.15–1.20 | 1.0586 |
| 1.02–1.04 | 1.0112 | 1.21–1.27 | 1.0711 |
| 1.05–1.07 | 1.0226 | 1.28–1.39 | 1.0840 |
| 1.08–1.10 | 1.0344 | 1.40–1.64 | 1.0972 |
| 1.11–1.14 | 1.0463 | Over 1.64 | 1.1106 |

با توجه به اینکه روابط فوق برای محاسبهٔ توان با فرض زاویهٔ تماس °180 بدست آمده اند لذا لازم است با ضرب حاصل عبارت در ضریب اصلاح زاویه تماس ($K_\Theta$) آن را اصلاح کرد (جدول پایین صفحه).

همچنین برای در نظر گرفتن اثر طول تسمه در حداکثر توان انتقالی ضریب اصلاح طول ($K_L$) را نیز در آن ضرب می کنیم. این ضریب از جدول زیر برحسب مقاطع مختلف و طول های استاندارد تسمه ارائه شده است.

جدول۳- ضریب اصلاح طول ($K_L$)

| Std. Length Designation | Cross Section | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A, AX | B, BX | C, CX | D |
| 26 | 0.78 | ... | ... | ... |
| 31 | 0.82 | ... | ... | ... |
| 35 | 0.85 | 0.80 | ... | ... |
| 38 | 0.87 | 0.82 | ... | ... |
| 42 | 0.89 | 0.84 | ... | ... |
| 46 | 0.91 | 0.86 | ... | ... |
| 51 | 0.93 | 0.88 | 0.80 | ... |
| 55 | 0.95 | 0.89 | ... | ... |
| 60 | 0.97 | 0.91 | 0.83 | ... |
| 68 | 1.00 | 0.94 | 0.85 | ... |
| 75 | 1.02 | 0.96 | 0.87 | ... |
| 80 | 1.04 | ... | ... | ... |
| 81 | ... | 0.98 | 0.89 | ... |
| 85 | 1.05 | 0.99 | 0.90 | ... |
| 90 | 1.07 | 1.00 | 0.91 | ... |
| 96 | 1.08 | ... | 0.92 | ... |
| 97 | ... | 1.02 | ... | ... |
| 105 | 1.10 | 1.03 | 0.94 | ... |
| 112 | 1.12 | 1.05 | 0.95 | ... |
| 120 | 1.13 | 1.06 | 0.96 | 0.88 |
| 128 | 1.15 | 1.08 | 0.98 | 0.89 |
| 144 | ... | 1.10 | 1.00 | 0.91 |
| 158 | ... | 1.12 | 1.02 | 0.93 |
| 173 | ... | 1.14 | 1.04 | 0.94 |
| 180 | ... | 1.15 | 1.05 | 0.95 |
| 195 | ... | 1.17 | 1.08 | 0.96 |
| 210 | ... | 1.18 | 1.07 | 0.98 |
| 240 | ... | 1.22 | 1.10 | 1.00 |
| 270 | ... | 1.24 | 1.13 | 1.02 |
| 300 | ... | 1.27 | 1.15 | 1.04 |
| 330 | ... | ... | 1.17 | 1.06 |
| 360 | ... | ... | 1.18 | 1.07 |
| 390 | ... | ... | 1.20 | 1.09 |
| 420 | ... | ... | 1.21 | 1.10 |
| 480 | ... | ... | ... | 1.13 |
| 540 | ... | ... | ... | 1.15 |
| 600 | ... | ... | ... | 1.17 |
| 660 | ... | ... | ... | 1.18 |

جدول۴- ضریب اصلاح زاویه تماس ($K_\Theta$)

| $\frac{D_d - d_d}{C_m}$ | $\theta_d$ (deg) | $K_\Theta$ | | $\frac{D_d - d_d}{C_m}$ | $\theta_d$ (deg) | $K_\Theta$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V-V | V-Flat[a] | | | V-V | V-Flat[a] |
| 0.00 | 180 | 1.00 | 0.75 | 0.80 | 133 | 0.87 | 0.85 |
| 0.10 | 174 | 0.99 | 0.76 | 0.90 | 127 | 0.85 | 0.85 |
| 0.20 | 169 | 0.97 | 0.78 | 1.00 | 120 | 0.82 | 0.82 |
| 0.30 | 163 | 0.96 | 0.79 | 1.10 | 113 | 0.80 | 0.80 |
| 0.40 | 157 | 0.94 | 0.80 | 1.20 | 106 | 0.77 | 0.77 |
| 0.50 | 151 | 0.93 | 0.81 | 1.30 | 99 | 0.73 | 0.73 |
| 0.60 | 145 | 0.91 | 0.83 | 1.40 | 91 | 0.70 | 0.70 |
| 0.70 | 139 | 0.89 | 0.84 | 1.50 | 83 | 0.65 | 0.65 |

a: منظور از V-flat استفاده از یک چرخ تسمهٔ کوچک ۷-شکل همراه با یک چرخ تسمهٔ تخت بزرگ است.

## ۹- محاسبهٔ تعداد ردیف های تسمه مورد نیاز

از تقسیم توان انتقالی مورد نیاز بر حداکثر توان انتقالی تسمه، تعداد ردیف های تسمه مورد نیاز برای سیستم انتقال قدرت محاسبه می شود.

$$P_m = \mathrm{K_L} \times K_\theta \times \mathrm{HP}$$
$$N = \frac{P_T}{P_m} \qquad \text{(رابطهٔ ۱۴)}$$

عدد بدست آمده از رابطهٔ فوق بایستی به طرف بالا گرد شود تا تعداد ردیف های تسمه مورد نیاز بدست آید.

### مثال:

برای راه اندازی یک فن سانتریفیوژ با دور 800rpm از محرکهٔ تسمه ای استفاده می شود. برای تامین توان از یک موتور AC تکفاز 1.5kw با دور 1400rpm استفاده می شود. فاصلهٔ محورهای موتور و فن حدود 800mm است. سیستم انتقال قدرت تسمه ای از نوع V-شکل کلاسیک را طراحی نمائید.

**پاسخ**: از صورت مساله، داده های زیر مشخص است:

$$n_d = 1400\ rpm$$

$$n_D = 800\ rpm$$

$$P_T = 1.5\ kw = 1.5\ kw \times \frac{1\ hp}{0.7457\ kw} = 2\ hp$$

$$C = 800\ mm = 800\ mm \times \frac{1\ "}{25.4\ mm} = 31.5"$$

***گام ۱) :*** با $\mathrm{P_T} = 2\ \mathrm{hp}$ و $\mathrm{n_d} = 1400\ \mathrm{rpm}$ و مراجعه به نمودار شکل (۱)، مقطع مناسب تسمه از نوع A انتخاب می شود.

***گام ۲) :*** با مقطع A و انتخاب چرخ تسمه از نوع استاندارد (به جای شیارعمیق) حداقل قطر مبنای چرخ تسمه را از جدول (الف) از شکل (۲) برابر $\mathrm{d_d} = 3"$ بدست می آید و همچنین از این جدول مقادیر $2\mathrm{a_p} = 0"$ و $2\mathrm{h_d} = 0.250"$ نیز بدست می آید (مورد استفاده در گام بعدی).

***گام ۳) :*** از رابطهٔ (۱) قطر گام چرخ تسمهٔ کوچک به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d_p = d_d + 2h_d - 2a_p = 3 + 0.250 - 0 = 3.250"$$

***گام ۴) :*** از رابطهٔ (۲) قطر گام چرخ تسمهٔ بزرگ به صورت زیر بدست می آید:

$$\frac{D_p}{d_p} = \frac{n_d}{n_D} \quad \Rightarrow \quad D_p = d_p \times \frac{n_d}{n_D} = 3.250" \times \frac{1400\ rpm}{800\ rpm} = 5.69"$$

***گام ۵) :*** محاسبهٔ طول مبنای تسمه از رابطهٔ (۴):

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4C} = 2 \times 31.5" + \frac{\pi}{2}(5.69" + 3.25") + \frac{(5.69" - 3.25")^2}{4 \times 31.5"} = 77.1"$$

**گام ۶ :** با "L=77.1 ، انتخاب نزدیکترین طول استاندارد تسمه از جدول (۱) برابر $L_S = 75.3"$ : بنابراین تسمهٔ مورد نیاز برای این دستگاه دارای مشخصهٔ **A75** است.

**گام ۷ :** محاسبهٔ فاصلهٔ مرکز چرخ تسمهٔ بزرگ تا مرکز چرخ تسمهٔ کوچک از رابطهٔ (۶):

$$K = 4L_S - 2\pi(D_p + d_p) = 4 \times 75.3" - 2\pi(5.69" + 3.25") = 245.03"$$

$$C_m = \frac{K + \sqrt{K^2 - 32(D_p - d_p)^2}}{16} = \frac{245.03" + \sqrt{245.03"^2 - 32(5.69" - 3.25")^2}}{16} = 30.60"$$

**گام ۸ :** با نسبت سرعت $\frac{1400\ rpm}{800\ rpm} = 1.75$ ، از جدول (۲) ضریب اصلاح سرعت برابر $K_{SR} = 1.1106$ بدست می آید.

**گام ۹ :** محاسبهٔ مقدار اصلاح نشدهٔ حداکثر توان انتقالی توسط یک ردیف تسمه نوع A از رابطهٔ (۷) :

$$r = \frac{n_d}{1000} = \frac{1400}{1000} = 1.4$$

$$HP = d_p r\left[1.004 - \frac{1.652}{d_p} - 1.547 \times 10^{-4}(d_p r)^2 - 0.2126\log(d_p r)\right] + 1.652r\left(1 - \frac{1}{K_{SR}}\right)$$

$$HP = 3.250 \times 1.4\left[1.004 - \frac{1.652}{3.250} - 1.547 \times 10^{-4}(3.250 \times 1.4)^2 - 0.2126 \times \log(3.250 \times 1.4)\right] + 1.652 \times 1.4\left(1 - \frac{1}{1.1106}\right) = 1.85\ hp$$

**گام ۱۰ :** ضریب اصلاح طول تسمه از جدول (۳) برای تسمهٔ A75 برابر $K_L = 1.02$ بدست می آید.

**گام ۱۱ :** با معلوم بودن $\frac{D_p - d_p}{C_m} = \frac{5.69" - 3.25"}{30.60"} = 0.08$ و برای سیستم انتقال قدرت تسمه ای که هر دو چرخ تسمهٔ آن از نوع V-شکل است (V-V)، ضریب اصلاح زاویهٔ تماس از جدول (۴) با میانیابی بدست می آید:

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \Rightarrow \frac{y - 1}{0.08 - 0} = \frac{0.99 - 1}{0.1 - 0} \Rightarrow y - 1 = 0.08 \times -\frac{0.01}{0.1} \Rightarrow y = 1 - 0.008 = 0.992$$

بنابراین $K_\theta = 0.992$ بدست می آید.

**گام ۱۲ :** محاسبهٔ مقدار اصلاح شدهٔ حداکثر توان انتقالی توسط یک ردیف تسمه با ضرب ضریب اصلاح طول و ضریب اصلاح زاویهٔ تماس تسمه در مقدار اصلاح نشدهٔ حداکثر توان انتقالی بدست می آید:

$$P_m = K_L \times K_\theta \times HP = 1.02 \times 0.992 \times 1.85hp = 1.87\ hp$$

**گام ۱۳ :** تعیین تعداد ردیف های تسمهٔ مورد نیاز با مقایسهٔ مقدار اصلاح شدهٔ حداکثر توان انتقالی و توان انتقالی مورد نیاز (توان موتور) از رابطهٔ (۱۴) بدست می آید:

$$N = \frac{P_T}{P_m} = \frac{2hp}{1.87hp} = 1.07 \approx 2$$

با گرد کردن عدد حاصل از کسر فوق به طرف بالا تعداد ردیف های تسمه مورد نیاز برای این سیستم انتقال قدرت ۲ ردیف تسمه محاسبه می شود.