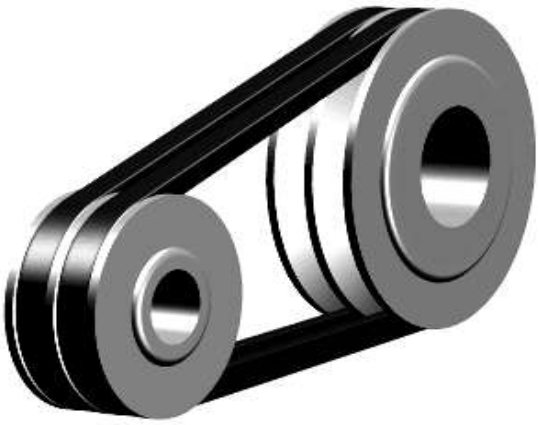
به نام خدا

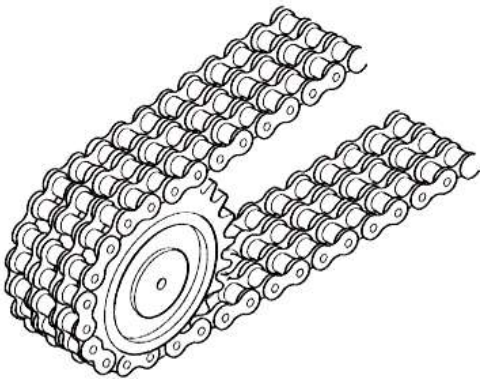
طراحی اجزاء ماشین II

محمود نوری زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

پائیز ۱۳۹۱

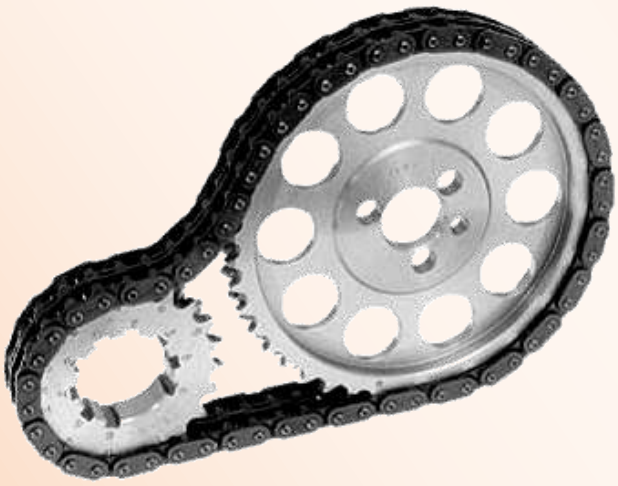




فصل سوم

طراحی
محرکه های زنجیری

(بر اساس کاتالوگ FENNER)



محرکه های زنجیری

معرفی محرکه های زنجیری

زنجیر (Chain) یکی از اجزای انتقال قدرت انعطاف پذیر است که از تعدادی بند (Link) تشکیل شده که توسط پین به یکدیگر متصل شده اند و قدرت را از یک میلمحور چرخان به دیگری انتقال می دهند. برای درگیری با زنجیر در انتهای میلمحورها چرخ های دندانه داری به نام چرخ زنجیر (Sprocket) نصب می شود.

در مقایسه با محرکه های تسمه ای، زنجیرها از برتری های زیر برخوردارند:

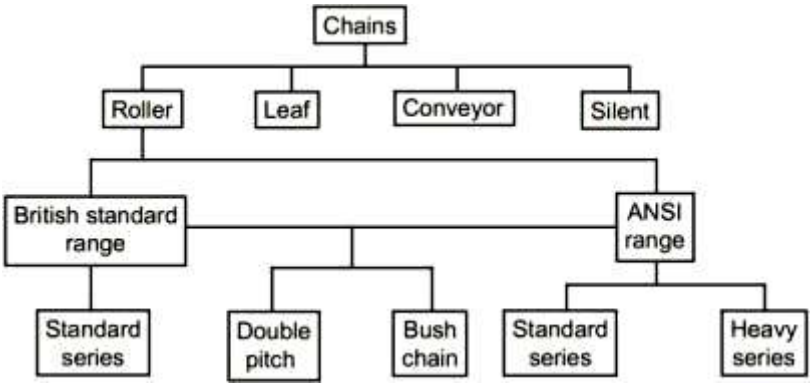
۱- امکان استفاده برای نسبت سرعت های بالاتر به علت محدودیت کمتر در حداقل قطر چرخ زنجیر و حداقل زاویه تماس مورد نیاز برای درگیری زنجیر و چرخ زنجیر محدودیت کمتر
۲- امکان استفاده برای محورهای با فاصله نزدیکتر به علت محدودیت کمتر در حداقل زاویه تماس
۳- اعمال بار کمتر به میلمحور و یاتاقان ها به علت عدم نیاز به کشش اولیه
۴- امکان کار در دماهای محیطی بالا
۵- امکان کار در محیط و هوای آلوده به ذرات روغن

البته زنجیرها کاستی های زیر را نیز در مقایسه با محرکه های تسمه ای دارا هستند:

۱- زنجیرها انعطاف پذیری کمتری نسبت به تسمه دارند. البته در مقایسه با چرخ دنده ها انعطاف پذیری خوبی دارند و انرژی ضربه های وارده را به خوبی و بدون آسیب جذب می کنند و برخلاف محرکه های چرخ دنده ای که صلبیت بالایی دارند، زنجیرها برای محافظت در برابر ضربه و شوک نیاز به واسط های انعطاف پذیر (کوپلینگ های ارتجاعی) ندارند.
۲- نیاز به نگهداری بیشتری دارند.
۳- نیاز به روانکاری دارند.
۴- بایستی در برابر ذرات معلق و گرد و خاک محافظت شوند.
۵- سر و صدای زیادی تولید می کنند.
۶- گران قیمت تر هستند.

انواع زنجیرها

زنجیرها دارای کاربردهای فراوان و انواع مختلفی هستند. دسته بندی کلی زنجیرها در شکل زیر آورده شده است.

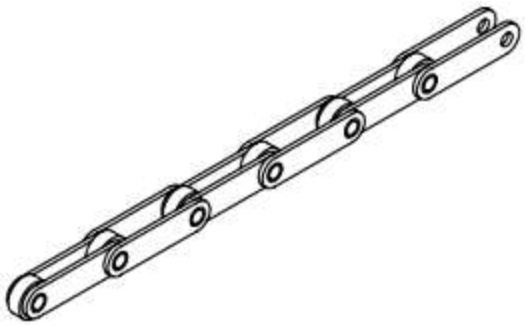


دسته بندی انواع زنجیرها

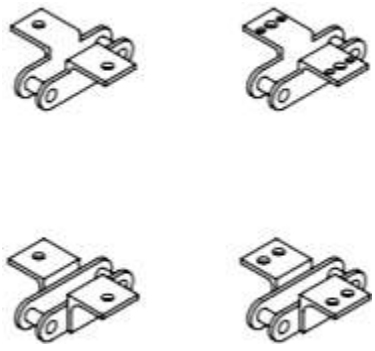
از زنجیرهای حلقه ای بیشتر برای کاربردهایی غیر از انتقال قدرت و انتقال مواد استفاده می شود به همین دلیل زنجیرهای حلقه ای در دسته بندی فوق آورده نشده است. یک مورد استفاده از این نوع زنجیرها در جرثقیل ها است که در شکل زیر نشان داده شده است.

نحوۀ درگیری زنجیر های مورد استفاده در جرثقیل های دستی

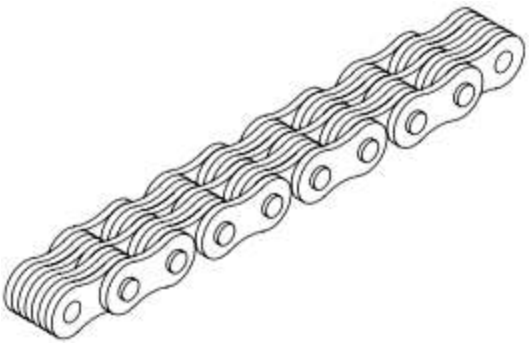
در شکل های زیر انواع اصلی زنجیر در دسته بندی فوق آورده شده است.



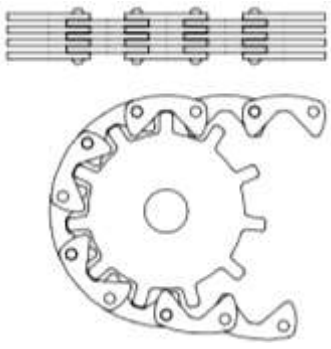
زنجیر غلتکی



زنجیر کانوایری



زنجیر برگی



زنجیر بی صدا

زنجیرهای بی صدا (Silent Chains)

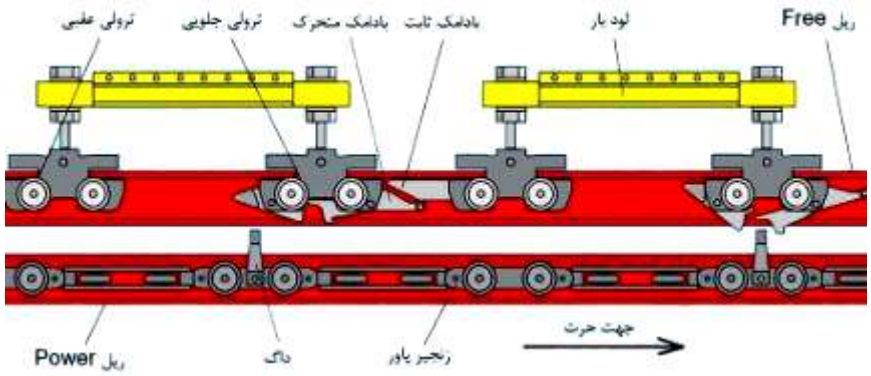
این زنجیرها برای کار در سرعت های بالا (حداکثر 30 m/s) مناسب هستند و حین کارکرد سر و صدای زیادی تولید نمی کنند. برای استفاده در ماشین های احتراق داخلی مناسب هستند. برای جلوگیری از فرار جانبی این زنجیرها از روی چرخ زنجیر، از لبه های بدون دندانه در وسط یا طرفین چرخ زنجیر یا زنجیر استفاده می شود.

نحوه درگیری حلقه های زنجیر بی صدا با چرخ زنجیر

لبه های بدون دندانه در وسط یا طرفین چرخ زنجیر یا زنجیر برای جلوگیری از فرار جانبی

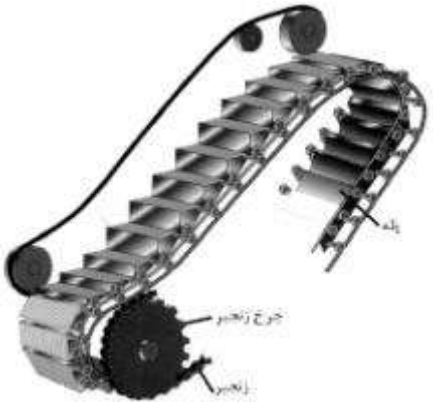
کاربردهای زنجیر

اصلی ترین کاربرد زنجیرها انتقال قدرت بین دو یا چند میل محور چرخان است. کاربرد رایج دیگر، استفاده از زنجیر در انواع کانوایر های صنایع مختلف از جمله کانوایرهای خودروسازی است. شکل زیر یک نمونه کانوایر زنجیری از نوع Power & Free را نشان می دهد.



یک نمونه کانوایر زنجیری از نوع Power & Free معکوس مورد استفاده برای انتقال بدنه های رنگ شده

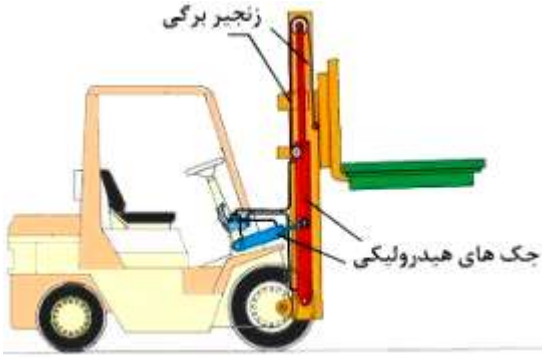
یک نوع کانوایر زنجیری از نوع تیغه ای



استفاده از زنجیر در پله برقی

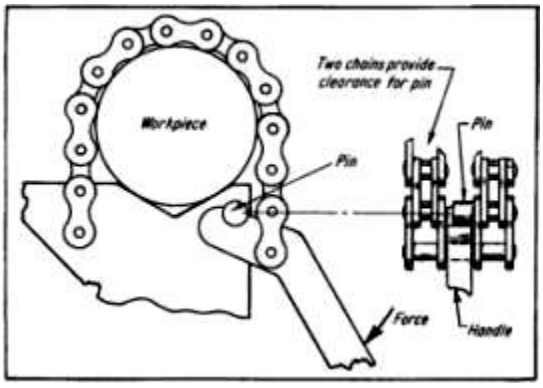
از زنجیرهای برگی در سیستم های تحت نیروهای کششی شدید مانند انواع لیفتراک ها استفاده می شود.

محل اتصال زنجیر برگی در لیفتراک

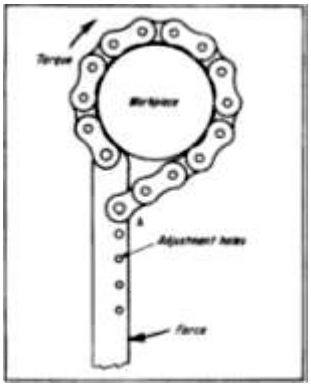


کاربرد زنجیر برگی در لیفتراک

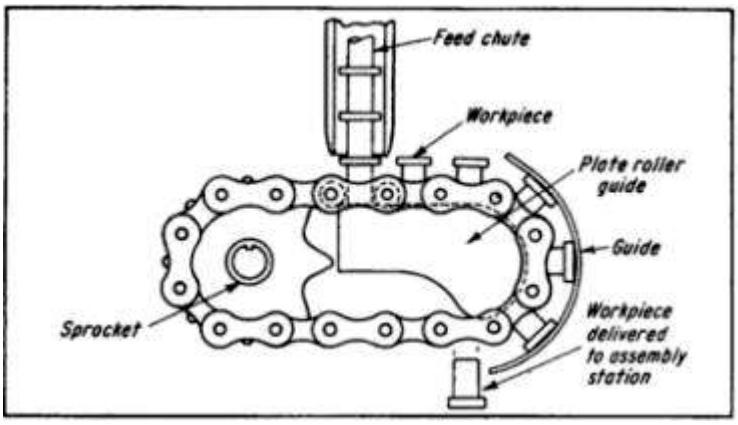
همچنین از زنجیر در انواع مختلف مکانیزم ها نیز می توان استفاده نمود. چند نمونه از مکانیزم های زنجیری در شکل زیر آورده شده است.



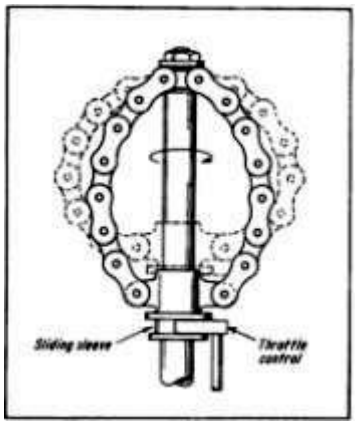
کلمپ



آچار



مکانیزم انتقال و تغییر جهت قطعات



گاورنر

زنجیرهای غلتکی (Roller Chains)

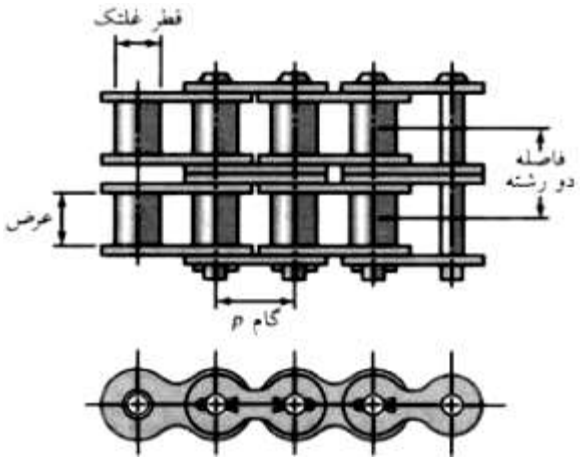
باتوجه به کاربرد فراوان زنجیرهای غلتکی، با تفصیل بیشتری به این نوع زنجیر می پردازیم. مهمترین ویژگی این سیستم های محرکهٔ زنجیری، نسبت سرعت ثابت، عدم لغزش و خزش، عمر زیاد و امکان راندن چند میلمحور با استفاده از یک منبع توان است. زنجیرها تا حداکثر سرعت دورانی 6000 rpm قابل استفاده هستند. در سرعت های بالاتر برخورد بندهای زنجیر با دندانه های چرخ زنجیر شدیدتر شده و ضمن افزایش سر و صدا، روغن کاری سطوح درگیر مشکل تر می شود. زنجیرهای غلتکی دارای انواع یک ردیفه، دوردیفه, سه ردیفه و چهار ردیفه مطابق شکل زیر می باشند.

زنجیر یک ردیفه (Simple Chain)

زنجیر دو ردیفه (Duplex Chain)

زنجیر سه ردیفه (Triplex Chain)

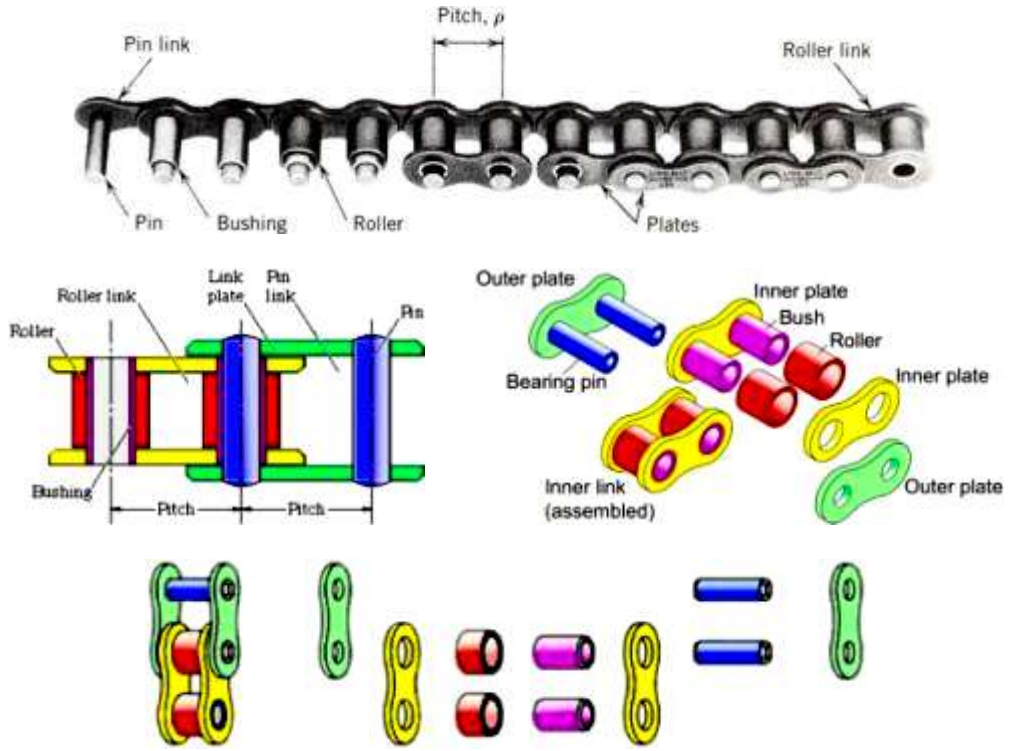
پارامترهای ابعادی اصلی زنجیرهای غلتکی در شکل زیر نشان داده شده است.



پارامترهای ابعادی اصلی زنجیرهای غلتکی

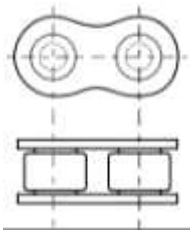
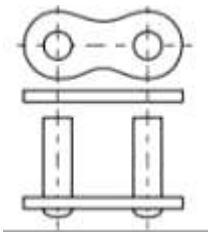
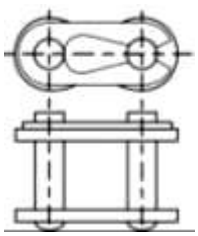
اجزای زنجیرهای غلتکی

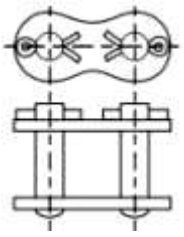
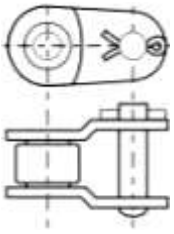
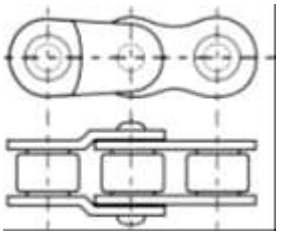
اجزای اصلی زنجیرهای غلتکی در شکل های زیر نشان داده شده است.



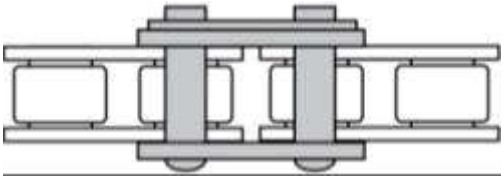
اجزای اصلی زنجیرهای غلتکی

اجزای استاندارد زنجیرهای غلتکی در جدول زیر به همراه کاربرد آنها آورده شده است.

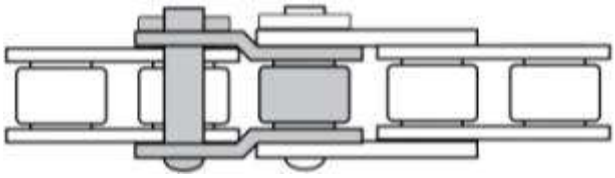
شکل	نام	نام لاتین	کاربرد
	میان بند	Inner Link	جزء اصلی تشکیل دهندهٔ زنجیر
	بند پینی پرچی	Rivet Pin Link	اتصال دهندهٔ بندهای داخلی زنجیر
	بند پینی با بست فنری	Spring Clip Connection Link	اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند زوج

	بند پینی اشپیلی	Cotter Connection Link	اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند زوج
	نیم بند	Offset Link	اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند فرد
	نیم بند جفت	Double Offset Link	اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند فرد

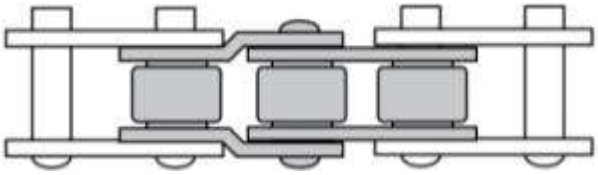
در شکل های زیر نحوۀ اتصال دو سر انتهایی زنجیر توسط بندهای اتصال دهنده نشان داده شده است.



نحوۀ اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند زوج توسط بند پینی با بست فنری یا پرچی یا اشپیلی



نحوۀ اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند فرد توسط نیم بند

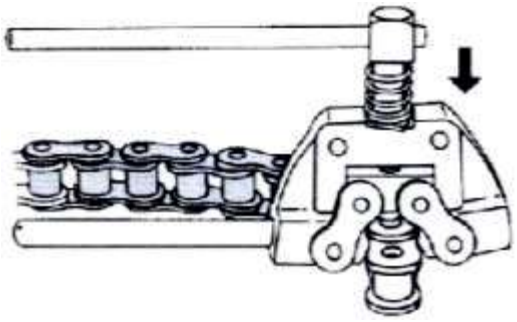


نحوۀ اتصال دو سر انتهایی زنجیر با تعداد بند فرد توسط نیم بند جفت

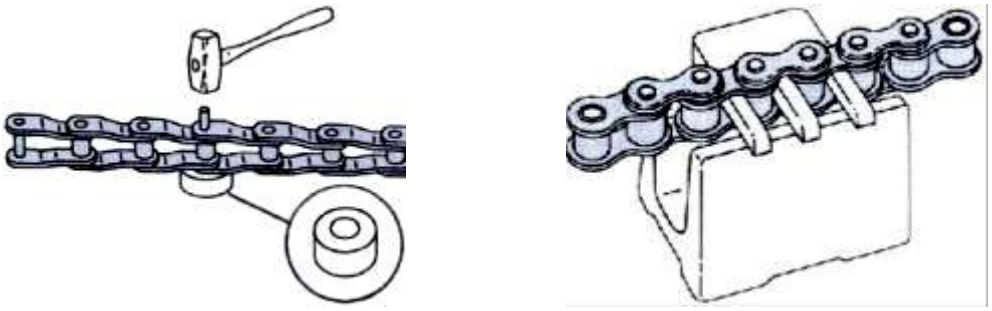
در شکل زیر ابزار مورد استفاده برای اتصال دو سر انتهایی زنجیر توسط یک بند پینی با بست فنری نشان داده شده است.

استفاده از یک بند پینی با بست فنری برای اتصال دو سر انتهایی زنجیر

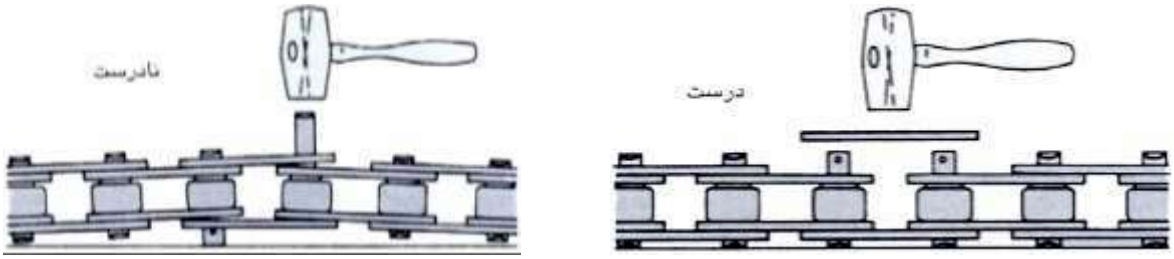
نحوهٔ اتصال دو سر زنجیر بر روی چرخ زنجیر



نحوهٔ پرچ کردن پین های زنجیر



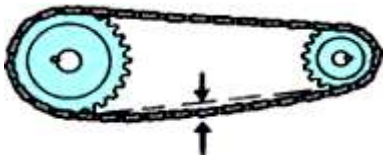
استفاده از زیرسری مناسب برای خارج کردن پین های زنجیر



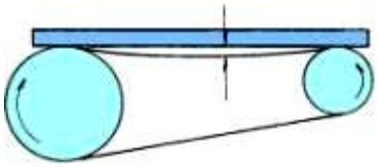
روش های درست و نادرست اتصال پرچی زنجیر توسط چکش

پیکره بندی های زنجیر

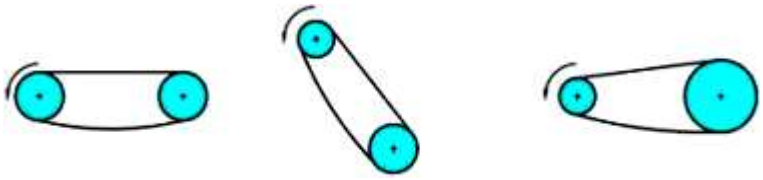
در زنجیرها هم مانند تسمه ها جهت گردش محورها اهمیت دارد و برعکس تسمه ها، در زنجیر بایستی بخش کشیده زنجیر در بالا و بخش شل در پایین قرار بگیرد تا از شلاق زدن زنجیر حین عملکرد، جلوگیری شود. البته مقدار مجاز آویزان شدن زنجیر در طرف شل برابر 2% فاصلهٔ میل محورها است.



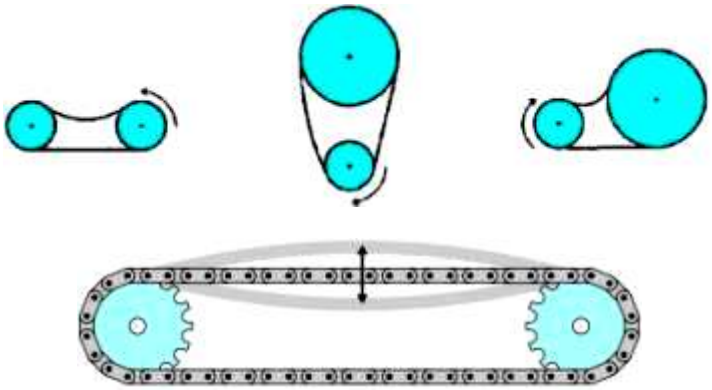
مقدار مجاز آویزان شدن زنجیر برابر 2% فاصلهٔ میل محور چرخ زنجیرها



روش اندازه گیری مقدار آویزان شدن زنجیر



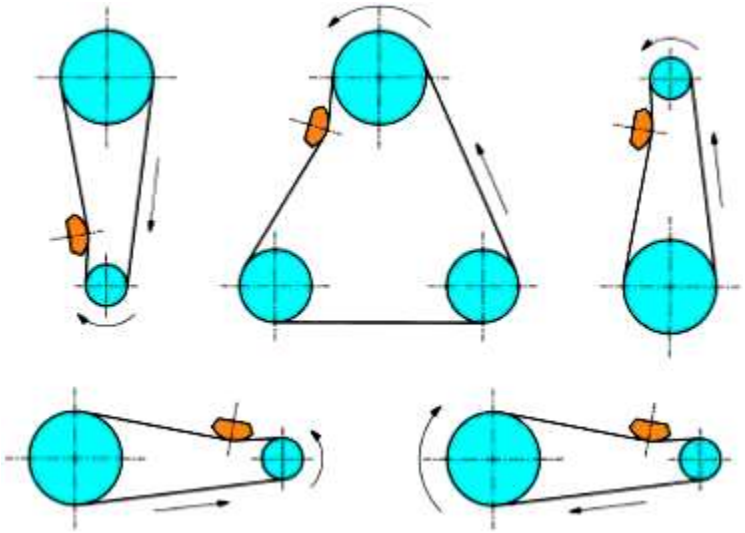
پیکره بندی های توصیه شده: طرف شل زنجیر پایین قرار دارد.

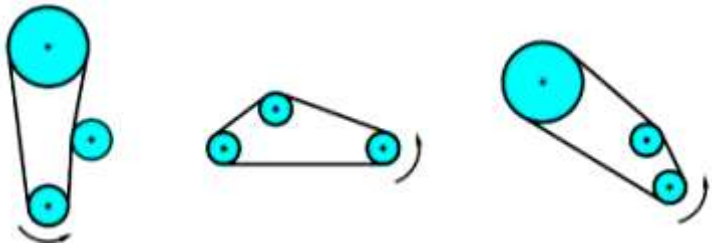


پیکره بندی های غیر قابل قبول: طرف شل زنجیر پایین قرار ندارد.

با توجه به اینکه درصورت قرارگیری زنجیر در وضعیت قائم، با وارد شدن بار وزن و افزایش طول ناشی از آن با گذشت زمان (خزش)، درگیری چرخ زنجیر پایینی با زنجیر دچار اشکال می شود، لذا استفاده از زنجیر در وضعیت قائم توصیه نمی شود. البته درصورت ضرورت می توان این نقص را با استفاده از مکانیزم های زنجیر سفت کن برطرف کرد.

هنگامی که یک زنجیر بر روی چندین (بیش از دو) چرخ زنجیر می گردد، استفاده از مکانیزم های زنجیر سفت کن الزامی است.



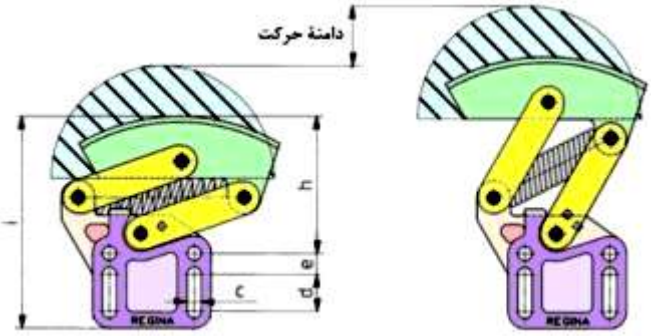


پیکره بندی های قابل قبول: طرف شل زنجیر پایین قرار ندارد ولی بازی آن مهار شده است.

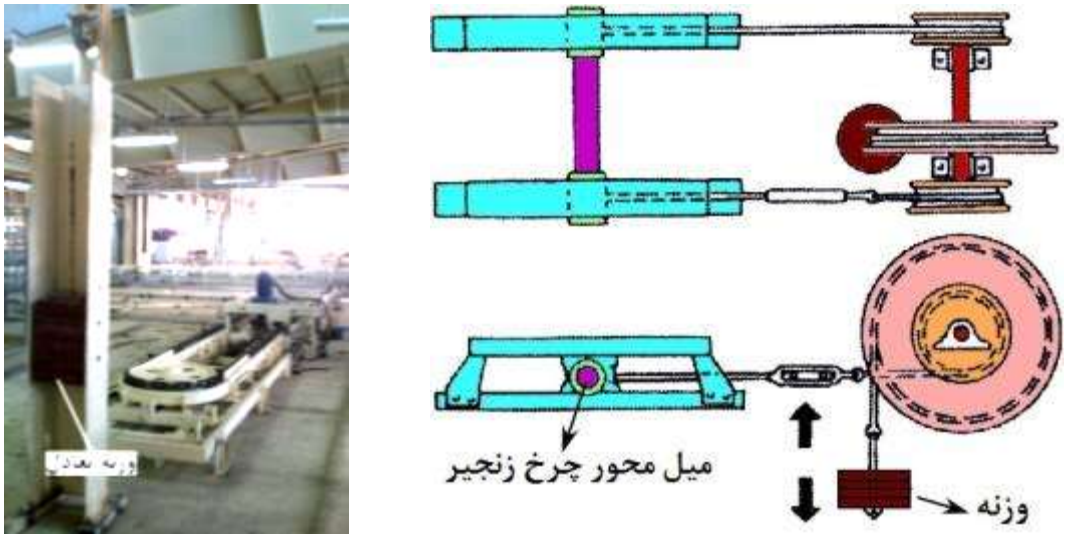
استفاده از زنجیر در وضعیتی که میلمحورها در راستای قائم قرار داشته باشند یعنی چرخ زنجیرها در صفحهٔ افق قرار بگیرند بایستی اجتناب کرد زیرا وزن زنجیر بر روی چرخ زنجیر باعث سائیدگی زودهنگام زنجیر و چرخ زنجیر می شود. در صورت ضرورت بایستی با استفاده از کفشک های لغزشی پلاستیکی برای تحمل وزن زنجیر استفاده نمود.

هدایت و تنظیم کشیدگی زنجیر

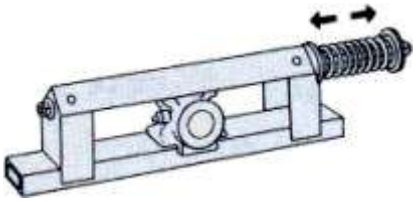
از آنجایی که زنجیرها در اثر کارکرد و سائیده شدن پین ها، دچار افزایش طول می شوند، لذا بایستی مکانیزم هایی برای جبران این افزایش طول پیش بینی شود. همچنین نوسانات دمایی و غیر یکنواختی بار هم از دیگر عوامل بوجود آورندهٔ تغییرات طول در زنجیر حین کارکرد است. افزایش طول ماندگار در زنجیر نباید از 3% طول زنجیر بیشتر شود که در غیر این صورت بایستی زنجیر را تعویض کرد.



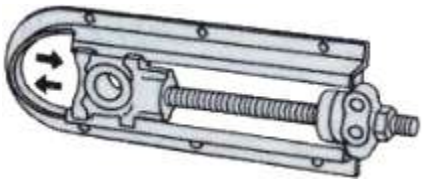
یک نمونه مکانیزم زنجیر سفت کن فنری



زنجیر سفت کن وزنه ای



زنجیر سفت کن فنری

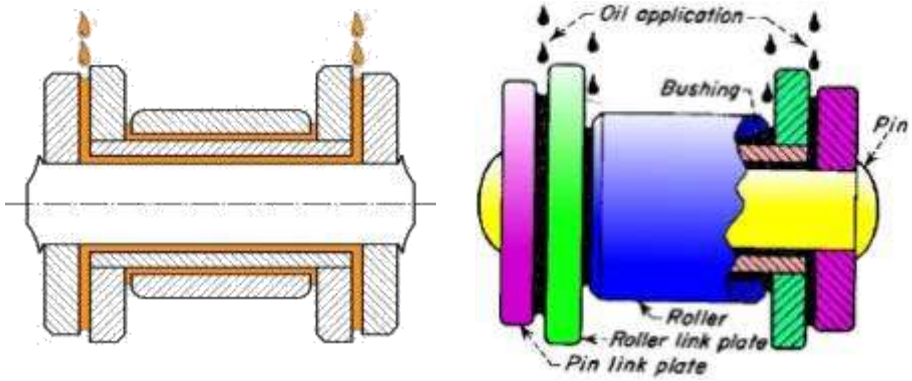


زنجیر سفت کن پیچی

اعمال کشش اولیه با وزن زنجیر

روانکاری زنجیرهای غلتکی

عملکرد موثر سیستم های زنجیری مستلزم روانکاری مناسب سطوح لغزنده اجزای داخلی زنجیر و سطوح تماس زنجیر با چرخ زنجیر است. طراح بایستی نوع روغن و مکانیزم های روانکاری زنجیر را تعیین نماید.



سطوح لغزنده اجزای داخلی زنجیر که نیاز به روانکاری دارند.

روغن های پایه نفتی مانند روغن موتور برای روانکاری زنجیر توصیه می شود. ویسکوزیته روغن بایستی مناسب باشد به نحوی که روغن کافی بین سطوح لغزنده وارد شود و باقی بماند. روغن بایستی تمیز و دور از رطوبت بماند. جدول زیر روانکار مناسب را برای شرایط کاری مختلف معرفی کرده است.

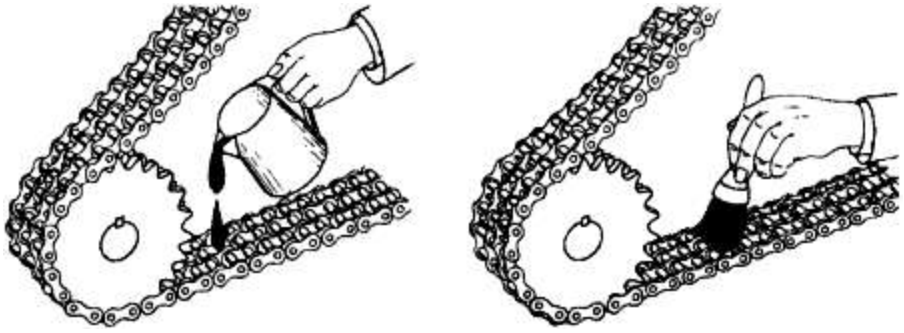
روغن مناسب برای رونکاری زنجیر

روغن مناسب	دمای محیط	
	°C	°F
SAE 20	-7 to 5	20 to 40
SAE 30	5 to 38	40 to 100
SAE 40	38 to 49	100 to 120
SAE 50	49 to 60	120 to 140

در استاندارد آمریکایی مکانیزم های روانکاری زنجیر به سه دسته تقسیم شده است که انتخاب یکی از این سه روش به سرعت دورانی و توان انتقالی زنجیر بستگی دارد و در فرایند طراحی زنجیر تعیین می شود. این روش ها به شرح زیر می باشند:

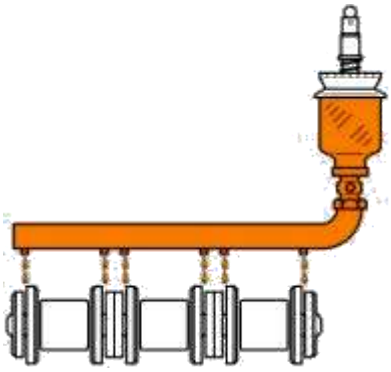
۱- روانکاری نوع A : روانکاری دستی یا قطره ای (Type A: Manual or Drip Lubrication)

در این نوع، روانکاری دستی توسط روغن پاش یا فرچه در فاصله های زمانی حداقل ۸ ساعته انجام می شود و یا اینکه به صورت قطره ای روغن بر روی هر ردیف زنجیر چکانده می شود.

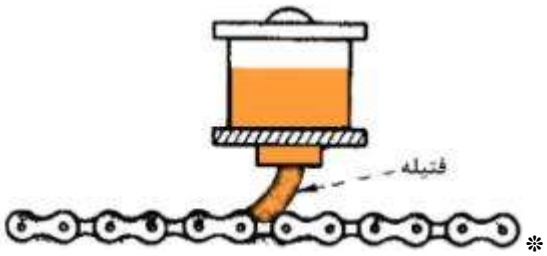


روانکاری دستی (نوع A)

اسپری روانکاری دستی (نوع A)



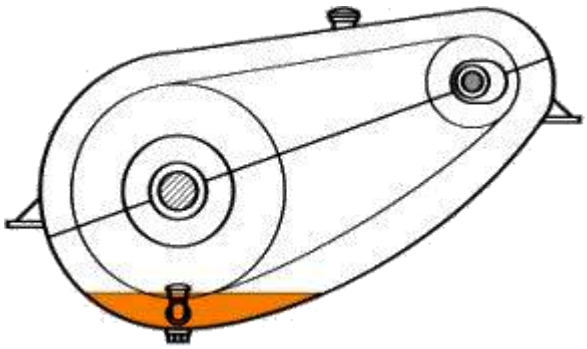
روانکاری قطره ای (نوع A)



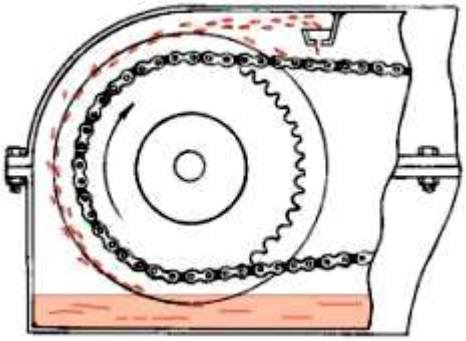
روانکاری قطره ای با استفاده از فتیله (نوع A)

۲- روانکاری نوع B : روانکاری دیسکی یا حمام روغن (Type B: Bath or Disk Lubrication)

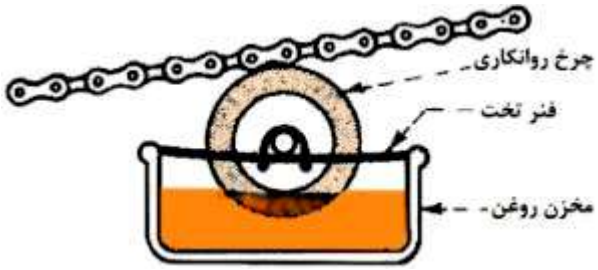
در این نوع روانکاری، یا زنجیر در بخشی از مسیر خود در چاله ای از روغن غوطه ور می شود و یا اینکه با استفاده از یک دیسک یا هر عضو کمکی دیگر روغن بالا آورده می شود طوری که روغن بر روی رشته پایینی زنجیر ریخته شود.



روانکاری در حمام روغن (نوع B)



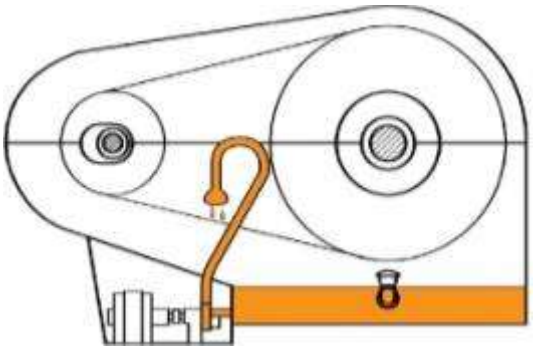
روانکاری دیسکی (نوع B)



روش دیگری از روانکاری دیسکی (نوع B)

۳-روانکاری نوع C : روانکاری گردشی (Type C: Oil Stream Lubrication)

در این نوع روانکاری، با استفاده از یک پمپ، جریان پیوسته ای از روغن تولید و بخش های پایینی زنجیر را روانکاری می نماید.



روانکاری گردشی (نوع C)

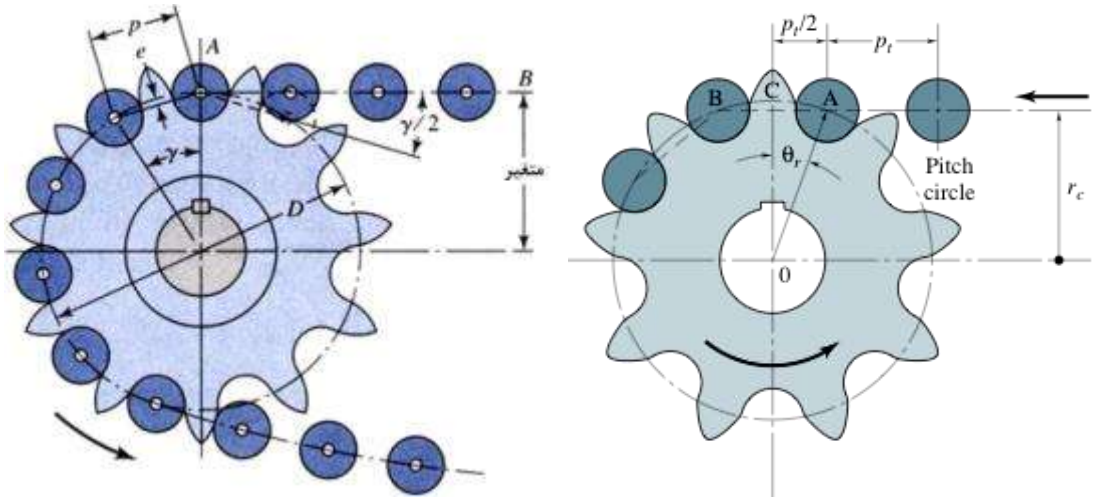
زنجیرهای غلتکی استاندارد

مشخصات سایزهای استاندارد زنجیر مطابق استاندارد آمریکایی ANSI در جدول زیر آورده شده است. معادل هریک از زنجیرهای جدول زیر، در استاندارد ISO هم زنجیر مشابهی وجود دارد.

نمره زنجیر ANSI	گام، in (mm)	عرض، in (mm)	کمترین مقاومت کششی، lbf (N)	وزن میانگین، lbf/ft (N/m)	قطر غلتک، in (mm)	فاصله رشته‌ها، in (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

هندسه درگیری زنجیر و چرخ زنجیر

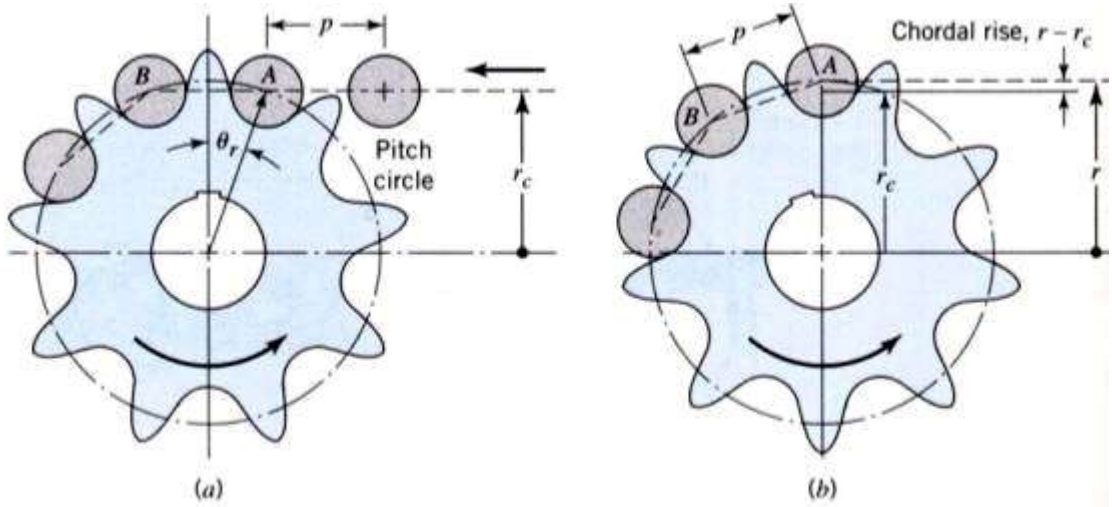
شکل زیر هندسه درگیری زنجیر و چرخ زنجیر نشان داده شده است. در ادامه روابط هندسی حاکم از این شکل استخراج شده است.



هندسه درگیری زنجیر و چرخ زنجیر

$$\sin\frac{\gamma}{2} = \frac{p/2}{D/2} \quad \text{or} \quad D = \frac{p}{\sin(\gamma/2)}$$

$$D = \frac{p}{\sin(180^\circ/N)} \qquad \frac{\gamma}{2} = \text{articulation angle}$$



$$\Delta r = r_c - r = r(1 - \cos\theta) = r[1 - \cos(180°/N_t)]$$

$$(\Delta V/V)100 = (\Delta r/r)100 = \%\ \text{speed variation}$$

روند طراحی محرکه های زنجیری غلتکی

در این بخش روند طراحی محرکه های زنجیری غلتکی استاندارد بر اساس کاتالوگ شرکت FENNER و برای زنجیرهای استاندارد انگلیسی (British Standard Chain) ارائه شده است. این روند برای سازندگان مختلف اندکی با هم تفاوت دارد ولی روند کلی مشابه است.

۱- ضریب نحوهٔ کارکرد (K_S)

نحوهٔ کارکرد زنجیر یعنی نوع منبع توان و نوع بار خارجی وارد بر چرخ زنجیر رانده در قالب ضریب نحوهٔ کارکرد بر انتخاب زنجیر تاثیر می گذارد و به عنوان یکی از ضرایب اصلاح توان به کار می رود. ضریب نحوهٔ کارکرد (K_S) از جدول-۱ استخراج می شود.

جدول-۱: ضریب نحوهٔ کارکرد

	TYPES OF PRIME MOVER					
	'Soft' starts			'Heavy' starts		
	Electric motors: A.C. – Star-delta start D.C. – Shunt wound Internal combustion engines with 4 or more cylinders. All prime movers fitted with centrifugal clutches, dry or fluid couplings.			Electric motors: A.C. – Direct-on-line start D.C. – Series and compound wound. Internal combustion engines with less than 4 cylinders.		
	Hours per day duty					
TYPES OF DRIVEN MACHINE	10 and under	Over 10 to 16	Over 16	10 and under	Over 10 to 16	Over 16
Light Duty Agitators (uniform density), Belt conveyors (uniformly loaded).	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Medium Duty Agitators and mixers (variable density). Belt conveyors (not uniformly loaded), Kilns, Laundry machinery, Lineshafts, Machine tools, Printing machinery, Sawmill and woodworking machinery, Screens (rotary).	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Heavy Duty Brick machinery, Bucket elevators, Conveyors (heavy duty), Hoists, Quarry plant, Rubber machinery, Screens (vibrating), Textile machinery.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7

۲- توان طراحی

از حاصلضرب توان انتقالی (توانی که قرار است زنجیر منتقل کند) در ضریب نحوهٔ کارکرد (K_S)، توان طراحی محاسبه می شود که برای انتخاب زنجیر به کار می رود.

$$P_D = P_T \times K_S \qquad \text{(رابطهٔ-۱)}$$

در رابطهٔ فوق:

P_T : توان انتقالی

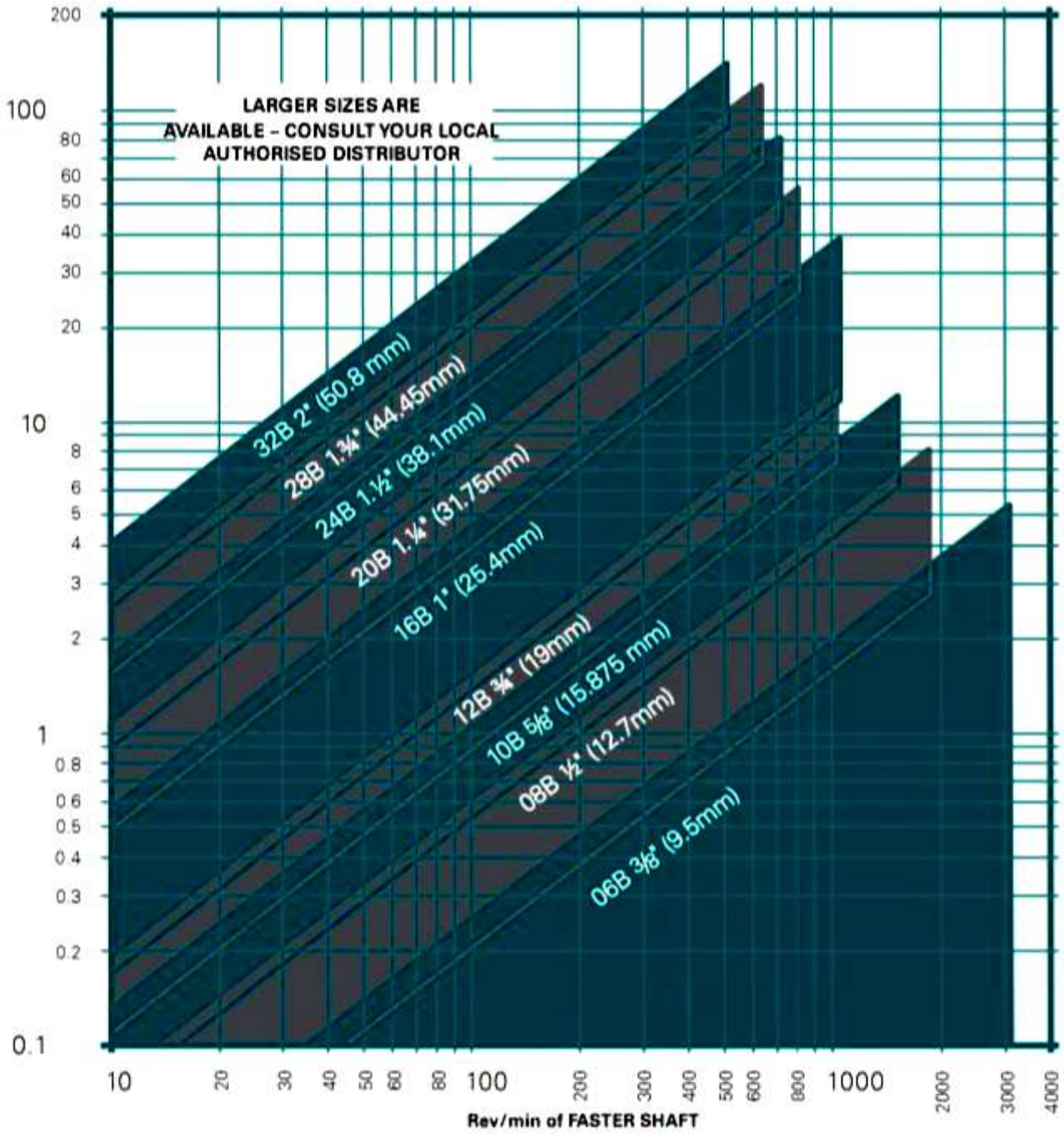
P_D : توان طراحی

K_S : ضریب نحوهٔ کارکرد

۳-انتخاب گام زنجیر

با استفاده از جدول-۲ و مشخص کردن سرعت دورانی چرخ زنجیر کوچکتر برحسب rpm بر روی محور افقی و توان طراحی محاسبه شده از رابطهٔ بالا برحسب kW بر روی محور عمودی، نقطه ای در نمودار مشخص می شود. این نقطه در محدودهٔ هر گام زنجیری قرار بگیرد، آن را انتخاب می کنیم.

جدول-۲: انتخاب گام زنجیر



۴-نسبت سرعت

از تقسیم سرعت چرخ زنجیر کوچکتر (با سرعت بیشتر) بر سرعت چرخ زنجیر بزرگتر (با سرعت کمتر)، نسبت سرعت محاسبه می شود.

$$i = \frac{n_d}{n_D} = \frac{Z_D}{Z_d}$$ (رابطهٔ-۲)

در رابطهٔ فوق:

i : نسبت سرعت

n_d : سرعت دورانی چرخ زنجیر کوچکتر

n_D : سرعت دورانی چرخ زنجیر بزرگتر

Z_d : تعداد دندانه های چرخ زنجیر کوچکتر

Z_D : تعداد دندانه های چرخ زنجیر بزرگتر

۵-انتخاب تعداد دندانه های چرخ زنجیرها

در جدول-۴ تعداد دندانه های استاندارد چرخ زنجیرها در سطر و ستون اول جدول آورده شده و در سایر خانه های جدول نسبت سرعت حاصل از هر جفت چرخ زنجیر آورده شده است. با استفاده از این جدول تعداد دندانه های چرخ زنجیرهای کوچک (در سطر اول) و بزرگ (در ستون اول) را طوری انتخاب می کنیم که نسبت سرعت متناظر با آن برابر نسبت سرعت محاسبه شده در گام پیشین باشد. اعداد نوشته شده به صورت ضخیم مربوط به چرخ زنجیرهای با سوراخ مخروطی است که در اولویت انتخاب قرار دارند.

جدول-۴: نسبت سرعت

Number of teeth – Driving Sprocket																		
Number of teeth – Driven Sprocket	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	30
10	1.00																	
11	1.10	1.00																
12	1.20	1.09	1.00															
13	1.30	1.18	1.08	**1.00**														
14	1.40	1.27	1.17	1.08	1.00													
15	1.50	1.36	1.25	**1.15**	1.07	**1.00**												
16	1.60	1.45	1.33	1.23	1.14	1.07	1.00											
17	1.70	1.55	1.42	**1.31**	1.21	**1.13**	1.06	**1.00**										
18	1.80	1.64	1.50	1.38	1.29	1.20	1.13	1.06	1.00									
19	1.90	1.73	1.58	**1.46**	1.36	**1.27**	1.19	**1.12**	1.06	**1.00**								
20	2.00	1.82	1.67	1.54	1.43	1.33	1.25	1.18	1.11	1.05	1.00							
21	2.10	1.91	1.75	**1.62**	1.50	**1.40**	1.31	**1.24**	1.17	**1.11**	1.05	**1.00**						
22	2.20	2.00	1.83	1.69	1.57	1.47	1.38	1.29	1.22	1.16	1.10	1.05	1.00					
23	2.30	2.09	1.92	**1.77**	1.64	**1.53**	1.44	**1.35**	1.28	**1.21**	1.15	**1.10**	1.05	**1.00**				
24	2.40	2.18	2.00	1.85	1.71	1.60	1.50	1.41	1.33	1.26	1.20	1.14	1.09	1.04	1.00			
25	2.50	2.27	2.08	**1.92**	1.79	**1.67**	1.56	**1.47**	1.39	**1.32**	1.25	**1.19**	1.14	**1.09**	1.04	**1.00**		
26	2.60	2.36	2.17	2.00	1.86	1.73	1.63	1.53	1.44	1.37	1.30	1.24	1.18	1.13	1.08	1.04		
27	2.70	2.45	2.25	**2.08**	1.93	**1.80**	1.69	**1.59**	1.50	**1.42**	1.35	**1.29**	1.23	**1.17**	1.13	**1.08**	**1.00**	
28	2.80	2.54	2.33	2.15	2.00	1.87	1.75	1.65	1.56	1.47	1.40	1.33	1.27	1.22	1.17	1.12	1.04	
29	2.90	2.64	2.42	2.23	2.07	1.93	1.81	1.71	1.61	1.53	1.45	1.38	1.32	1.26	1.21	1.16	1.07	
30	3.00	2.73	2.50	2.31	2.14	2.00	1.88	1.76	1.67	1.58	1.50	1.43	1.36	1.30	1.25	1.20	1.11	1.00
38	3.80	3.45	3.17	**2.92**	2.71	**2.53**	2.38	**2.24**	2.11	**2.00**	1.90	**1.81**	1.73	**1.65**	1.58	**1.52**	1.41	1.27
57	5.70	5.18	4.75	**4.38**	4.07	**3.80**	3.56	**3.35**	3.17	**3.00**	2.85	**2.71**	2.59	**2.48**	2.38	**2.28**	2.11	1.90
76	760	6.91	6.33	**5.85**	5.43	**5.07**	4.75	**4.47**	4.22	**4.00**	3.80	**3.62**	3.45	**3.30**	3.17	**3.04**	2.81	2.53
95	9.50	8.64	7.92	**7.31**	6.79	**6.33**	5.94	**5.59**	5.28	**5.00**	4.75	**4.52**	4.32	**4.13**	3.96	**3.80**	3.52	3.17

۶- ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z)

از آنجایی که جداول نرخ توان برای چرخ زنجیر کوچک با ۱۹ دندانه ارائه شده، لذا درصورتی که تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر کوچک عددی غیر از ۱۹ باشد باید اعداد ارائه شده به عنوان نرخ توان در جداول مربوط به آن را در ضریب اصلاح تعداد دندانه ضرب کرد. در جدول-۶ در سطر اول تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر کوچک و در سطر دوم ضریب اصلاح تعداد دندانه متناظر با آن آورده شده است.

جدول-۶: ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z)

N° Teeth	11	13	15	17	19	21	23	25	27
Factor	0.5	0.65	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4

۷- نرخ توان (Power Rating) و بررسی گام و تعداد ردیف های زنجیر

جداول نرخ توان (جدول-۷) برای زنجیرهای با گام های مختلف به صورت جداگانه ارائه می شود. با استفاده از جدول نرخ توان زنجیر با گام انتخاب شده (در مرحلهٔ-۳) و براساس سرعت دورانی چرخ زنجیر کوچک، ابتدا نرخ توان (P_r) مربوط به زنجیر یک ردیفه (Simplex) را از جدول خوانده و پس از ضرب در ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z)، نرخ توان اصلاح شده (P_{rm}) محاسبه می شود.

$$P_{rm} = P_r \times K_Z \qquad \text{(رابطهٔ-۳)}$$

با مقایسهٔ نرخ توان اصلاح شده با توان طراحی، درصورتی که توان طراحی (P_D) کوچکتر یا مساوی نرخ توان اصلاح شده (P_{rm}) باشد، زنجیر یک ردیفه با گام انتخاب شده، انتخاب مناسبی است، در غیر این صورت یا بایستی زنجیری با گام بزرگتر انتخاب کرد یا اینکه از زنجیر با گام فعلی ولی با تعداد ردیف بیشتر استفاده کرد که در این صورت از ستون های مربوط به نرخ توان زنجیر دوردیفه (Duplex) یا سه ردیفه (Triplex) و ضرب کردن در ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z)، نرخ توان واقعی را محاسبه و مقایسه با توان طراحی را بایستی تکرار کرد.

جدول-۷: نرخ توان برحسب kW برای چرخ زنجیر کوچک با ۱۹ دندانه (استاندارد انگلیسی)

06B ⅜" (9.5mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
20	0.06	0.10	0.15	
40	0.11	0.19	0.27	
60	0.16	0.27	0.40	
80	0.20	0.34	0.50	1
100	0.25	0.43	0.62	
200	0.46	0.78	1.15	
400	0.86	1.46	2.15	
600	1.24	2.11	3.10	
800	1.60	2.72	4.00	
1000	1.96	3.33	4.90	2
1200	2.31	3.93	5.77	
1400	2.65	4.51	6.62	
1600	2.99	5.10	7.47	
1800	3.33	5.66	8.32	
2000	3.66	6.22	9.15	
2200	3.99	6.78	9.97	
2400	4.31	7.33	10.77	
2600	4.63	7.87	11.57	3
2800	4.95	8.42	12.37	
3000	5.27	8.96	13.17	

08B ½" (12.7mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	0.07	0.12	0.17	
20	0.14	0.24	0.35	
30	0.20	0.34	0.50	
40	0.26	0.44	0.65	
50	0.31	0.53	0.77	
60	0.37	0.63	0.92	1
70	0.42	0.71	1.05	
80	0.48	0.82	1.20	
100	0.58	0.99	1.45	
200	1.09	1.85	2.72	
300	1.57	2.67	3.92	
400	2.03	3.45	5.07	
500	2.48	4.22	6.20	
600	2.92	4.96	7.30	
800	3.78	6.43	9.45	2
900	4.63	7.87	11.57	
1200	5.45	7.27	13.62	
1400	6.26	10.64	15.65	
1600	7.06	12.00	17.65	
1800	7.85	13.35	19.62	3

10B ⅝"(15.875 mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	0.13	0.22	0.33	
20	0.25	0.43	0.63	
30	0.36	0.61	0.89	
40	0.46	0.78	1.15	
50	0.57	0.96	1.40	1
60	0.67	1.13	1.66	
70	0.76	1.29	1.90	
80	0.86	1.47	2.15	
100	1.07	1.78	2.62	
200	1.96	3.33	4.90	
300	2.88	4.80	7.05	
400	3.65	6.21	9.13	
500	4.55	7.60	11.17	
600	5.25	8.94	13.15	2
800	6.81	11.58	17.03	
900	7.76	13.19	19.40	
1000	8.33	14.16	23.33	
1200	9.81	16.68	24.42	
1500	12.01	20.42	29.90	3

12B ¾" (19mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	0.19	0.32	0.48	
20	0.36	0.61	0.90	
30	0.51	0.87	1.28	
40	0.66	1.12	1.65	
50	0.84	1.43	2.10	1
60	0.96	1.63	2.40	
70	1.10	1.87	2.75	
80	1.24	2.11	3.10	
90	1.38	2.35	3.45	
100	1.55	2.64	3.88	
200	2.90	4.93	7.25	
300	4.07	6.92	10.18	
400	5.27	8.96	13.18	
500	6.62	11.25	16.55	
600	7.60	12.92	19.00	
700	8.95	15.22	22.38	2
800	9.84	16.73	24.60	
900	11.26	19.14	28.15	
1000	12.03	20.45	35.08	
1200	14.55	24.74	36.38	

16B 1" (25.4mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
5	0.31	0.53	0.78	
10	0.58	0.99	1.45	
20	1.09	1.85	2.73	
30	1.57	2.67	3.93	
40	2.03	3.45	5.08	
50	2.48	4.22	6.20	1
60	2.92	4.96	7.30	
70	3.36	5.71	8.40	
80	3.79	6.44	9.48	
90	4.21	7.16	10.53	
100	4.63	7.87	11.58	
200	8.64	14.69	21.60	
300	12.45	21.17	31.13	
400	16.13	27.42	40.33	
500	19.72	33.52	49.30	2
600	23.23	39.49	58.08	
700	26.69	46.37	66.73	
800	30.10	51.17	75.25	
900	33.46	56.88	83.65	3
1000	36.79	62.54	91.98	

20B 1.¼" (31.75mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	1.02	1.73	2.55	
25	2.50	4.25	6.25	
50	4.65	7.90	11.63	1
100	8.65	14.70	21.63	
150	12.40	21.08	31.00	
200	16.20	27.54	40.50	
250	19.73	33.54	49.33	
300	23.27	39.56	58.18	
350	26.70	45.40	66.75	2
400	30.20	51.34	75.50	
450	33.50	56.95	83.75	
500	36.92	62.76	92.30	
600	43.50	73.95	108.75	
700	49.95	84.91	124.88	3
800	55.50	94.35	138.75	

24B 1.½" (38.1mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	2.22	3.77	5.55	
25	5.03	8.55	12.58	1
50	9.40	15.98	23.50	
100	17.50	29.75	43.75	
150	25.30	43.01	63.25	
200	32.70	55.59	81.75	2
300	47.20	80.24	118.00	
400	61.60	104.72	154.00	
500	74.60	126.82	186.50	
600	88.00	149.60	220.00	3
700	94.00	159.80	235.00	

28B 1.¾" (44.45mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	3.44	5.85	8.60	
25	7.83	13.31	19.58	1
50	14.32	24.34	35.80	
100	27.30	46.41	68.25	
150	39.39	66.96	98.48	
200	51.10	86.87	127.75	
250	62.66	106.52	156.65	2
300	73.18	124.41	182.95	
350	84.30	143.31	210.75	
400	94.70	160.99	236.75	
450	105.90	180.03	264.75	
500	116.40	197.88	291.00	3
600	133.50	226.95	333.75	

32B 2" (50.8mm) PITCH

Rev/min faster Shaft	19 Tooth			Type of Lubrication
	Simplex	Duplex	Triplex	
10	4.54	7.72	11.35	
25	10.44	17.75	26.10	1
50	19.40	32.98	48.50	
100	36.10	61.37	90.25	
150	51.80	88.06	129.50	
200	67.30	114.41	168.25	2
250	82.10	139.57	205.25	
300	97.00	164.90	242.50	
350	112.00	190.40	280.00	
400	126.00	214.20	315.00	
500	154.00	261.80	385.00	3

همواره استفاده از زنجیر با گام بزرگتر به جای استفاده از زنجیر با تعداد ردیف های بیشتر، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. لکن استفاده از زنجیرهای با گام کوچکتر دارای مزایایی است که گاهی با وجود نیاز به تعداد ردیف بیشتر و افزایش هزینه ها، باز هم ترجیح داده می شود. از جمله مزایای زنجیرهای با گام کوچک می توان به حرکت آرامتر و قابلیت استفاده در سرعت های بالاتر را نام برد.

۸-فاصلهٔ مرکزی (C)

فاصلهٔ مرکزی پیشنهادی (فاصلهٔ محورهای چرخ زنجیرها) برای زنجیر با گام های مختلف در جدول-۵ آورده شده است. توصیه شده است که فاصله مرکزی عددی نزدیک به اعداد پیشنهادی این جدول انتخاب شود.

جدول-۵: فاصلهٔ مرکزی پیشنهادی برای زنجیر با گام های مختلف

Chain Pitch	Inches	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	1.3/4"	2"
	mm	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4	31.75	38.1	44.45	50.8
Centre Distance	mm	450	600	750	900	1000	1200	1350	1500	1700

۹- ضریب اصلاح طول زنجیر (K_L)

بمنظور محاسبهٔ طول زنجیر مطابق رابطهٔ-۴ در مرحلهٔ بعد، لازم است ابتدا ضریب اصلاح طول زنجیر (K_L) از جدول-۳ برحسب اختلاف تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر بزرگ و کوچک استخراج شود.

جدول-۳: ضریب اصلاح طول زنجیر (K_L)

Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L	Z_D-Z_d	K_L
1	0	11	3	21	11	31	24	41	43	51	66	61	94	71	128	81	166
2	0	12	4	22	12	32	26	42	45	52	68	62	97	72	131	82	170
3	0	13	4	23	13	33	28	43	47	53	71	63	101	73	135	83	175
4	0	14	5	24	15	34	29	44	49	54	74	64	104	74	139	84	179
5	1	15	6	25	16	35	31	45	51	55	77	65	107	75	142	85	183
6	1	16	6	26	17	36	33	46	54	56	79	66	110	76	146	86	187
7	1	17	7	27	18	37	35	47	56	57	82	67	114	77	150	87	192
8	2	18	8	28	20	38	37	48	58	58	85	68	117	78	154	88	196
9	2	19	9	29	21	39	39	49	61	59	88	69	121	79	158	89	201
10	3	20	10	30	23	40	41	50	63	60	91	70	124	80	162	90	205

۱۰-طول زنجیر

طول زنجیر بر حسب تعداد گام از رابطهٔ زیر محاسبه می شود:

$$L = \frac{2C}{P} + \frac{Z_D+Z_d}{2} + \frac{K_L P}{C}$$ (رابطهٔ-۴)

که در این رابطه:

L : طول زنجیر بر حسب تعداد گام

C : فاصلهٔ مرکزی (فاصلهٔ میل محورهای چرخ زنجیرها) بر حسب mm

P : گام زنجیر بر حسب mm

K_L : ضریب اصلاح طول زنجیر از جدول-۳

Z_d : تعداد دندانه های چرخ زنجیر کوچک

Z_D : تعداد دندانه های چرخ زنجیر بزرگ

عدد بدست آمده از رابطهٔ فوق را بایستی به نزدیکترین عدد زوج گرد نموده و براساس آن فاصلهٔ مرکزی اصلاح شده را از رابطهٔ زیر محاسبه کرد.

$$C_m = \frac{P}{4}\left(L_{Ev} - \frac{Z_D}{2} - \frac{Z_d}{2} + \sqrt{\left(L_{Ev} - \frac{Z_D}{2} - \frac{Z_d}{2}\right)^2 - 8K_L}\right)$$ (رابطهٔ-۵)

در رابطهٔ فوق:

C_m : فاصلهٔ مرکزی اصلاح شده

L_{Ev} : طول زنجیر بر حسب تعداد گام که به نزدیکترین عدد زوج گرد شده است.

درصورتی که بدلیل محدودیت فضا و در نتیجه محدودیت در انتخاب فاصلهٔ مرکزی، امکان استفاده از زنجیر با تعداد دندانهٔ زوج وجود نداشته باشد، به ناچار باید از یک نیم بند (Offset Link) برای اتصال زنجیر استفاده کرد که در این صورت توان قابل انتقال توسط زنجیر (نرخ توان) به علت وجود خم در نیم بند، کاهش خواهد یافت (حدود 20% کاهش) و بایستی گام و تعداد ردیف زنجیر مجدداً بررسی شود.

مثال ۱

سیستم انتقال قدرت زنجیری مناسب را برای انتقال قدرت از یک گیربکس با توان خروجی 1.5 kW و سرعت دورانی 80 rpm که توسط یک موتور الکتریکی با مدار راه اندازی مستقیم به حرکت در می آید، طراحی کنید. این سیستم زنجیری برای به حرکت در آوردن یک کانوایر با بار یکنواخت به کار می رود که به سرعت دورانی 40 rpm و کار بمدت 12 ساعت در روز نیاز دارد. قطر میل محور خروجی گیربکس برابر 35 mm و قطر میلمحور کانوایر 65 mm است.

پاسخ:

از صورت مساله داده های زیر را داریم:

$P_T = 1.5\ kW$
$n_d = 80\ rpm$
$n_D = 40\ rpm$
$B_d = 35\ mm$
$B_D = 65\ mm$

شرایط کارکرد: موتور الکتریکی با مدار راه اندازی مستقیم، کار بمدت 12 ساعت در روز و کانوایر با بار یکنواخت

گام ۱) : ضریب نحوهٔ کارکرد

با توجه به شرایط کارکرد (موتور الکتریکی با مدار راه اندازی مستقیم، کار بمدت 12 ساعت در روز و کانوایر با بار یکنواخت) و از جدول-۱، ضریب نحوهٔ کارکرد (K_S) به صورت زیر محاسبه می شود:

$K_S = 1.2$

گام ۲) : توان طراحی

توان طراحی طبق رابطهٔ-۱ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_D = P_T \times K_S = 1.5\ kW \times 1.2 = 1.8\ kW$$

گام ۳) : گام زنجیر

با مراجعه به جدول-۲ و قطع دادن توان طراحی ($P_D = 1.8\ kW$) و سرعت دورانی چرخ زنجیر کوچکتر ($n_d = 80\ rpm$)، گام زنجیر "1 و شمارهٔ آن طبق استاندارد انگلیسی برابر 16B بدست می آید. این مشخصات بدست آمده از جدول-۲ کاملاً تقریبی هستند و در ادامهٔ فرایند طراحی، در صورت نیاز اصلاح خواهند شد.

گام ۴) : نسبت سرعت

از رابطهٔ-۲ نسبت سرعت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$i = \frac{n_d}{n_D} = \frac{80\ rpm}{40\ rpm} = 2$$

گام ۵) : تعداد دندانهٔ چرخ زنجیرها

از جدول-۴ برای نسبت سرعت $i = 2$ و با اولویت انتخاب اعداد نوشته شده به صورت ضخیم، تعداد دندانه های چرخ زنجیرهای بزرگ و کوچک به صورت زیر بدست می آید:

$Z_d = 19$
$Z_D = 38$

گام ۶) : *ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z)*

با توجه به اینکه تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر کوچک برابر $Z_d = 19$ انتخاب شد و با مراجعه به جدول-۶ داریم:

$$K_Z = 1$$

گام ۷) : *نرخ توان*

با مراجعه به جدول-۷ بخش مربوط به زنجیر نمرهٔ 16B، در سطر $n_d = 80\ rpm$، ستون مربوط به زنجیر یک ردیفه (Simplex) مقدار نرخ توان بدست می آید:

$$P_r = 3.79\ kW$$

و نرخ توان اصلاح شده با اعمال ضریب اصلاح تعداد دندانه (K_Z) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_{rm} = P_r \times K_Z = 3.79\ kW \times 1 = 3.79\ kW$$

با مقایسهٔ نرخ توان اصلاح شده ($P_{rm} = 3.79\ kW$) و توان طراحی ($P_D = 1.8\ kW$) در می یابیم که با توجه به کوچکتر بودن توان طراحی، زنجیر یک ردیفه با گام "1 یعنی (16B-1)، انتخاب مناسبی است.

گام ۸) : *فاصلهٔ مرکزی*

از جدول-۵ برای زنجیر با گام "1، فاصلهٔ مرکزی به صورت زیر تخمین زده می شود:

$$C = 1000\ mm$$

گام ۹) : *ضریب اصلاح طول زنجیر*

با مراجعه به جدول-۳ و قرار دادن $Z_D - Z_d = 38 - 19 = 19$ بدست می آید:

$$K_L = 9$$

گام ۱۰) : *طول زنجیر*

از رابطهٔ-۴ داریم:

$$L = \frac{2C}{P} + \frac{Z_D+Z_d}{2} + \frac{K_L P}{C} = \frac{2\times 1000\ mm}{25.4\ mm} + \frac{38+19}{2} + \frac{9\times 25.4\ mm}{1000\ mm} = 107.47 \text{ گام}$$

بنابراین طول اولیهٔ محاسبه شده برای زنجیر *107.47* برابر گام بدست می آید.

گام ۱۱) : *طول زنجیر اصلاح شده*

طول زنجیر را به نزدیکترین عدد زوج گرد می کنیم و طول اصلاح شدهٔ زنجیر را بدست می آوریم:

$$L_{Ev} = 108$$

بنابراین زنجیر انتخاب شده دارای *108* بند است که البته یکی از آنها بند اتصال خواهد بود.

گام ۱۲) : *فاصلهٔ مرکزی اصلاح شده*

با استفاده از رابطهٔ-۵ فاصلهٔ مرکزی اصلاح شده را به صورت زیر محاسبه می کنیم:

$$C_m = \frac{P}{4}\left(L_{Ev} - \frac{Z_D}{2} - \frac{Z_d}{2} + \sqrt{\left(L_{Ev} - \frac{Z_D}{2} - \frac{Z_d}{2}\right)^2 - 8K_L}\right)$$

$$C_m = \frac{25.4\ mm}{4}\left(108 - \frac{38}{2} - \frac{19}{2} + \sqrt{\left(108 - \frac{38}{2} - \frac{19}{2}\right)^2 - 8\times 9}\right) = 1006.8\ mm$$

نتیجه: زنجیر 16B-1 با طول 108 دانه و چرخ زنجیرهای 19 و 38 دندانه و فاصلهٔ مرکزی 1006.8 *mm* انتخاب شد.