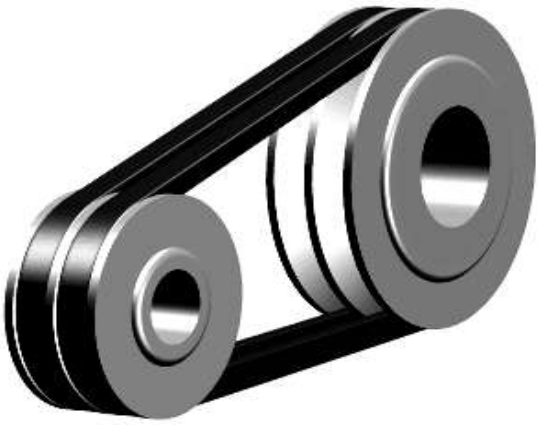
به نام خدا

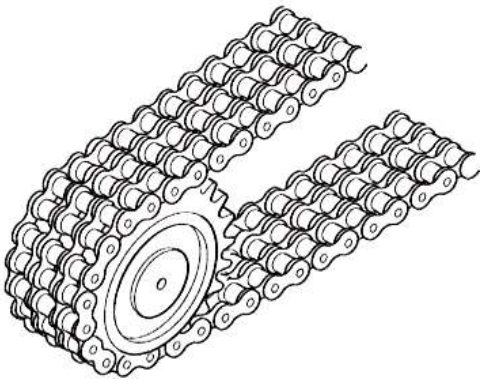
طراحی اجزاء ماشین II

محمود نوری زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

پائیز ۱۳۹۱

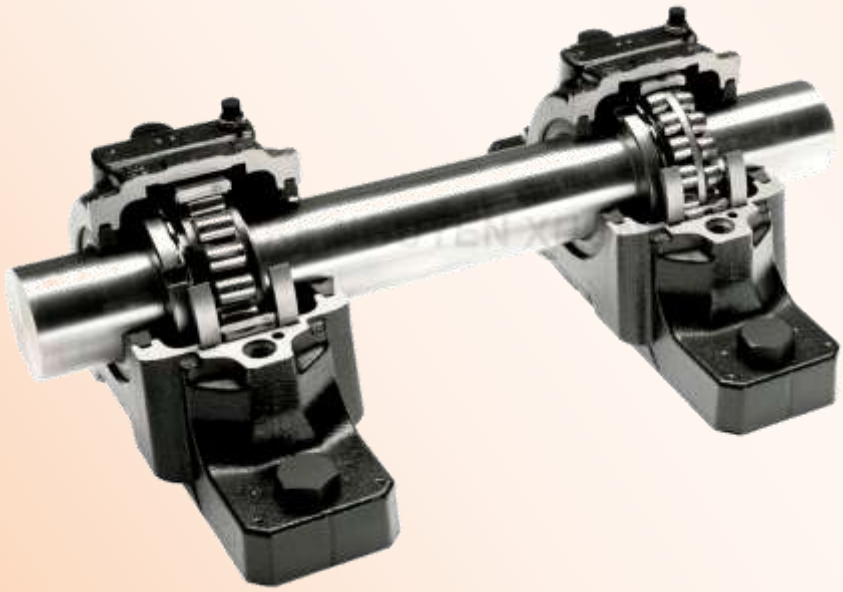




فصل اول

طراحی
یاتاقان های غلتشی

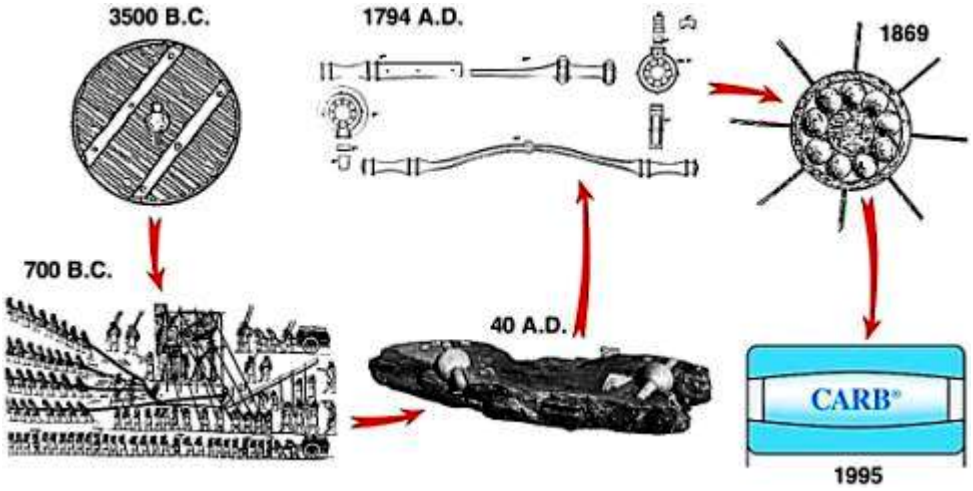
(بر اساس کاتالوگ شرکت SKF)



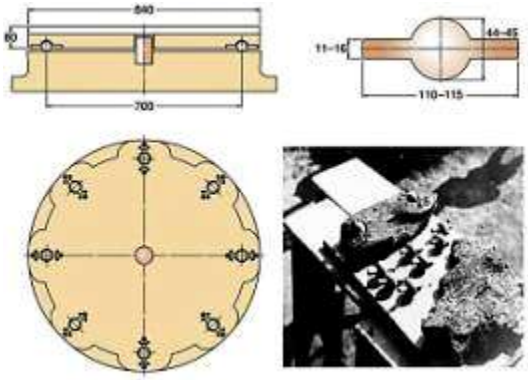
یاتاقان‌های غلتشی

معرفی یاتاقان‌های غلتشی

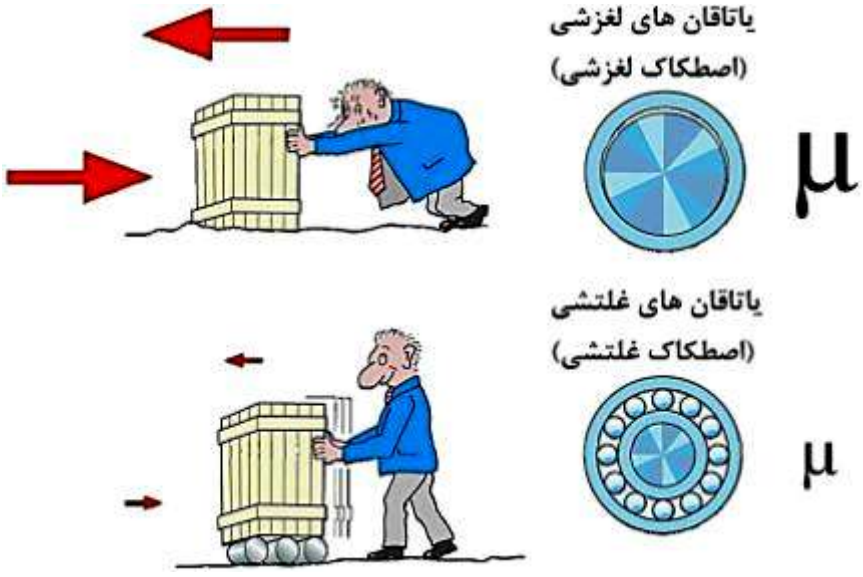
سیر تاریخی پیشرفت یاتاقان‌های غلتشی:



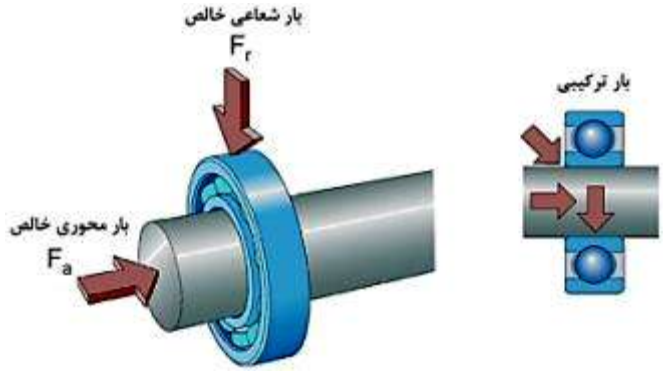
یاتاقان‌های کفگرد اولیه:



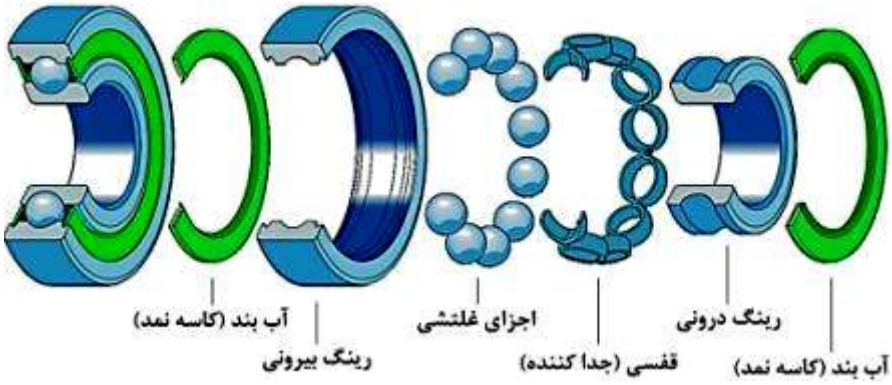
تفاوت یاتاقان‌های لغزشی و غلتشی از نظر اصطکاک:



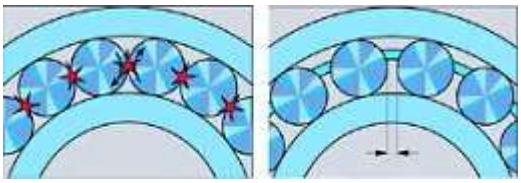
انواع بارهای اعمالی به یاتاقان‌های غلتشی:



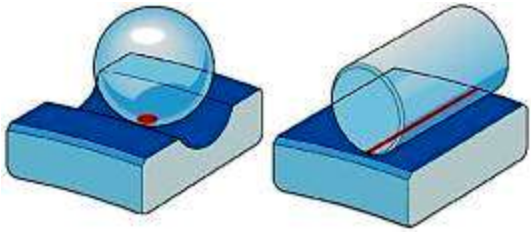
اجزای تشکیل دهنده یاتاقان‌های غلتشی:



کاهش اصطکاک ساچمه‌ها با استفاده از قفسی (Cage) یا جداکننده (Separator):



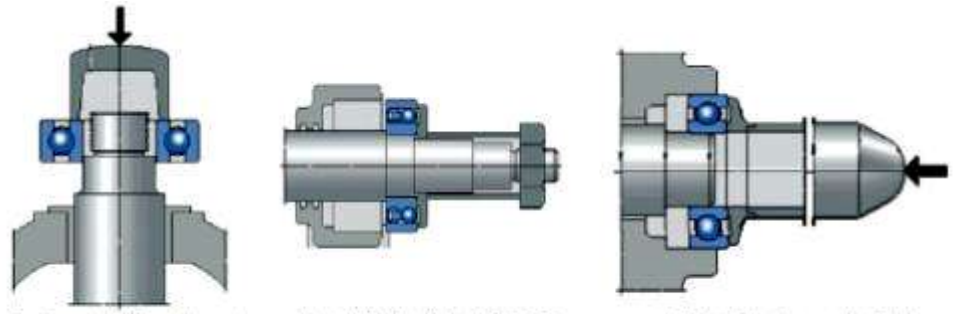
تفاوت ساچمه (Ball) و غلتک (Roller) از نظر طول تماس:



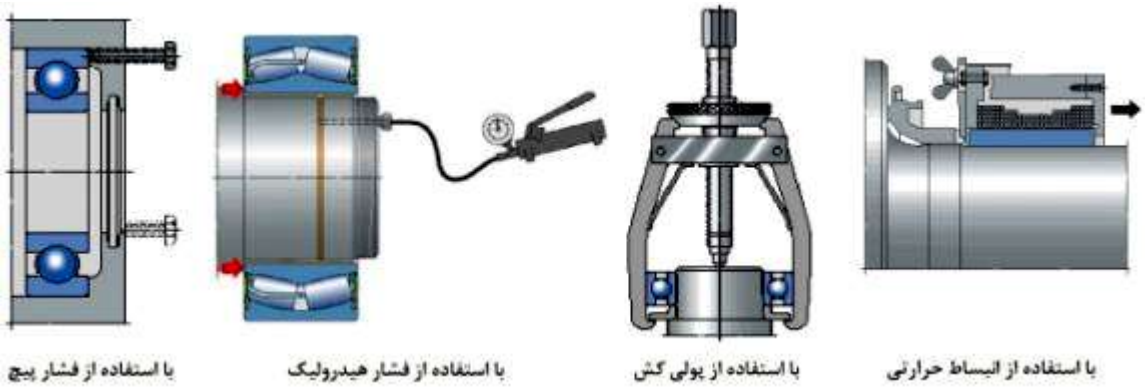
ابعاد اصلی در یاتاقان‌های غلتشی:

انواع اصلی یاتاقان‌های غلتشی:

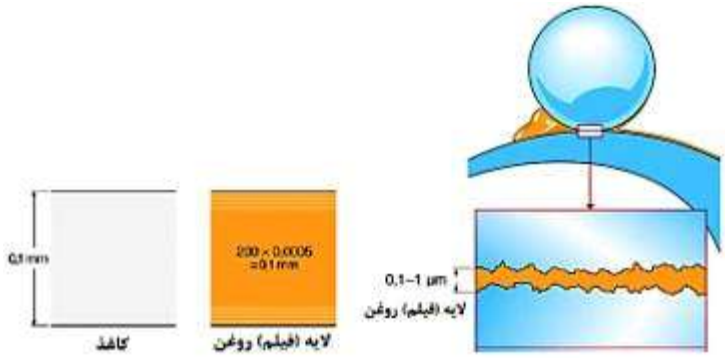
انواع روش‌های مرسوم جازدن یاتاقان‌ها بر روی میلمحور:



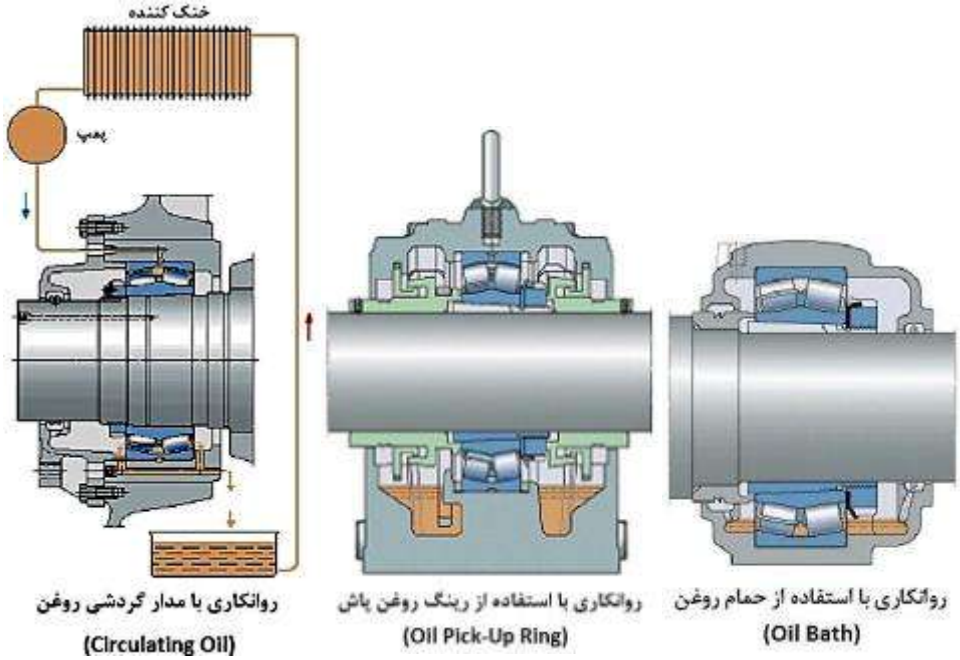
انواع روش‌های مرسوم بیرون آوردن یاتاقان‌ها از روی میلمحور یا داخل پوسته:



مقایسه ضخامت روغن روانکاری یاتاقان با ضخامت کاغذ:



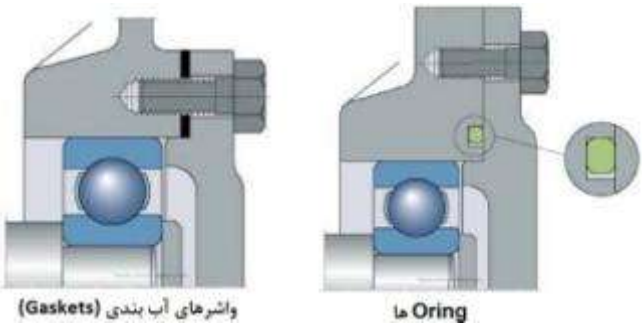
روش‌های متداول روانکاری یاتاقان‌ها:



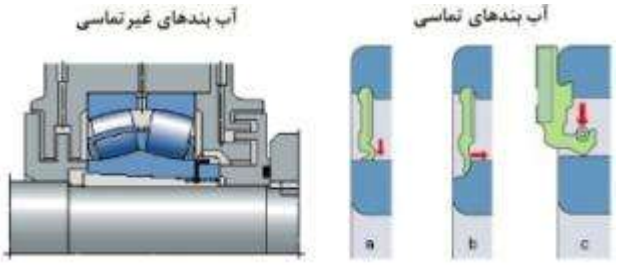
انتخاب روانکار مناسب:

گریس بکار ببرید اگر:	روغن بکار ببرید اگر:
۱- دما کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد است.	۱- دما بالا است.
۲- سرعت پایین است.	۲- سرعت بالا است.
۳- حفاظت در برابر نفوذ مواد خارجی الزامی نیست.	۳- کاربرد نشت بند در برابر خروج روغن آسان است.
۴- یاتاقان‌های با حفاظ ساده قابل استفاده است.	۴- امکان روانکاری یاتاقان از سیستم روانسازی بخشهای دیگر ماشین وجود دارد.
۵-کار بدون مراقبت در دراز مدت مطلوب باشد.	۵- استفاده از گریس برای این نوع یاتاقان مناسب نیست.

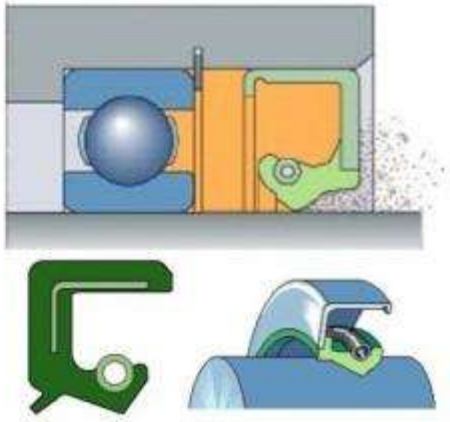
آب بندی محفظه یاتاقان:



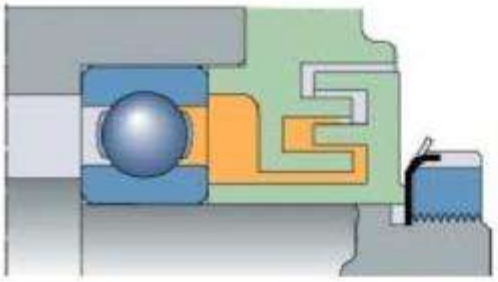
آب بندی میلمحور:



آب بند شعاعی میلمحور (کاسه نمد)
(Radial Shaft Seal)

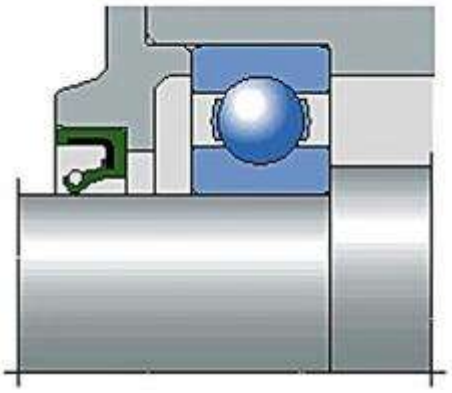


آب بند سادهٔ تک شکاف
Simple Gap-Type Seals

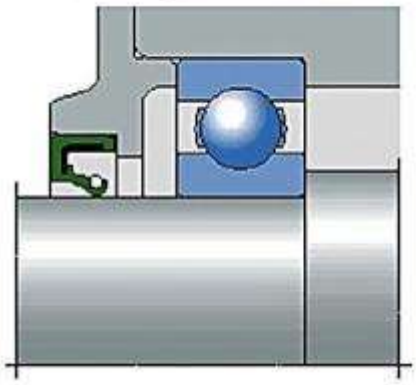


نصب کاسه نمد جهت آب بندی میلمحور:

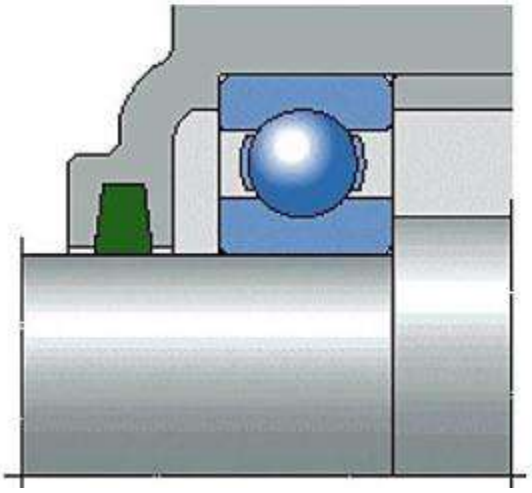
جلوگیری از ورود آلودگی



جلوگیری از خروج روانکار



آب بند نمدی: قابل استفاده برای جلوگیری از خروج گیریس
در سرعت های محیطی حداکثر 4m/s
و دمای کاری حداکثر ۱۰۰ درجه سانتیگراد



انواع یاتاقان‌های غلتشی

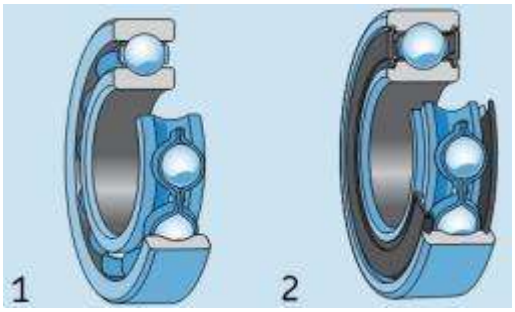
یاتاقان‌های شعاعی (Radial bearings):

✓ **یاتاقان‌های ساچمه‌ای شیار عمیق (Deep groove ball bearings)**

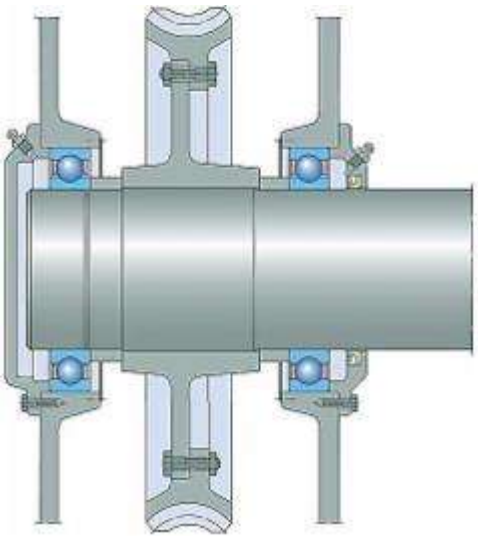
یک ردیفه، با یا بدون سوراخ ساچمه پرکن: مشخصه ۶

۱- طرح پایه (دوطرف باز)

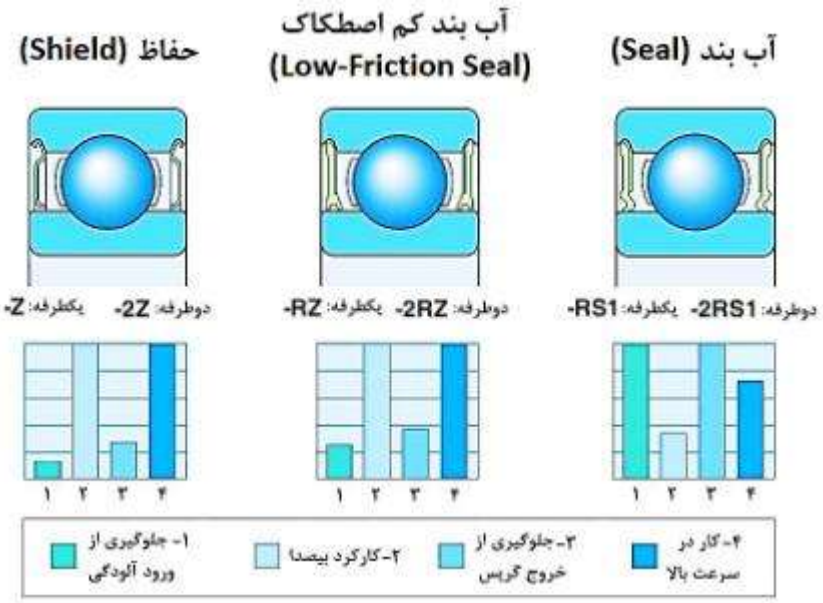
۲- دارای آب بندهای تماسی (contact seals)



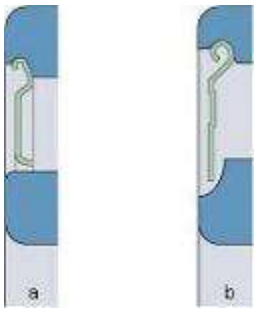
یک نمونه کاربرد یاتاقان‌های ساچمه‌ای شیار عمیق در مهار میل محور چرخ حلزون:



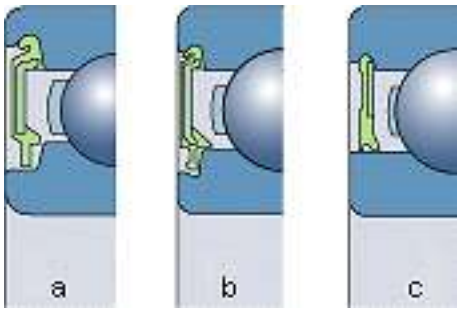
انواع آب بندهای مورد استفاده در یاتاقان‌های غلتشی در شکل زیر آورده شده‌است. پسوندی که در صورت انتخاب این آب بندها بایستی به کد مشخصه یاتاقان افزوده شود در پایین شکل یاتاقان آورده شده‌است و در پایین آن هم نمودارهای ستونی ویژگی‌های آب بندها جهت مقایسه نشان داده شده‌است.



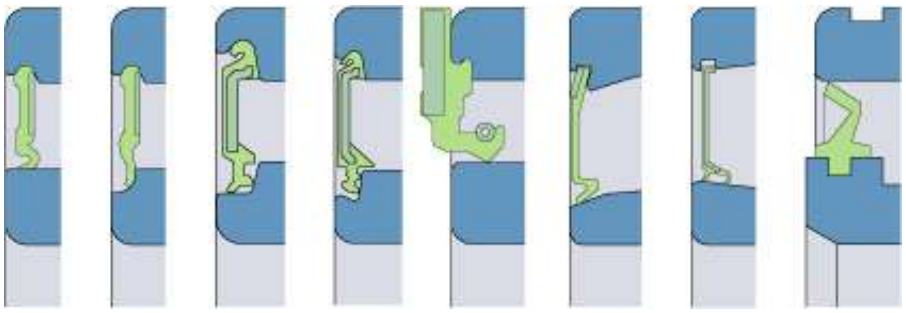
انواع حفاظ (Shield):



انواع آب بند کم اصطکاک (Low-Friction Seals):

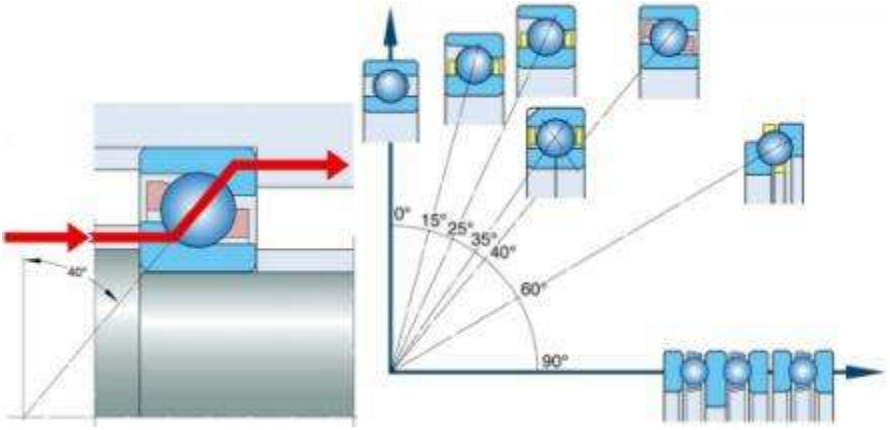


انواع آب بند تماسی (Contact Seals):



✓ یاتاقان‌های ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای (Angular contact ball bearings)

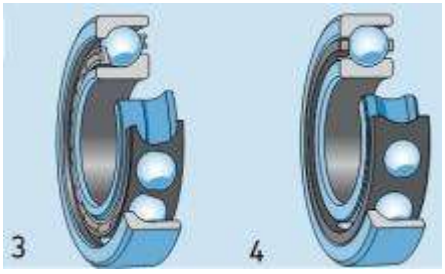
تغییر راستای تحمل حداکثر نیرو با تغییر زاویه تماس:



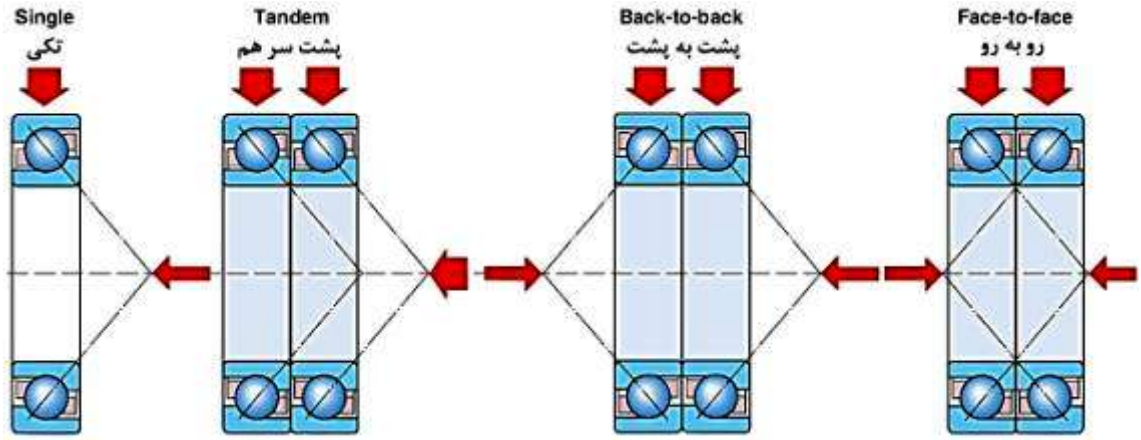
یک ردیفه (single row) طرح پایه برای نصب تکی: مشخصه ۷

۳- معمولی

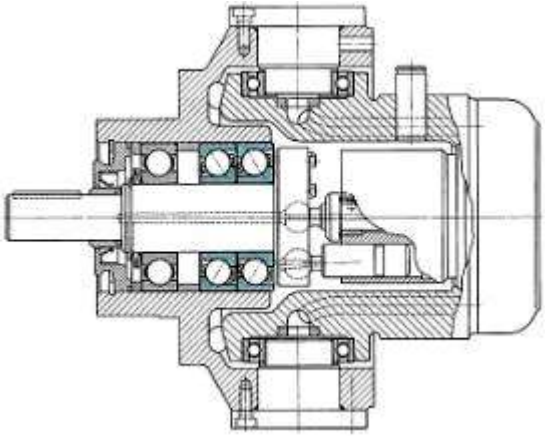
۴- دقیق



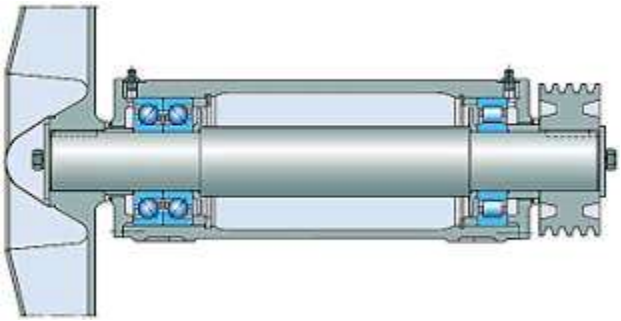
گاهی برای افزایش ظرفیت تحمل بار و یا تحمل بار محوری در دو جهت از جفت کردن (**Duplexing**) یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای استفاده می‌کنند. در شکل زیر انواع روش‌های جفت کردن دو یاتاقان تماس زاویه‌ای نشان داده شده‌است. روش‌های نصب پشت به پشت و رو به رو می‌توانند نیروهای محوری در دو جهت را تحمل کنند ولی در میان سه روش نصب نشان داده شده، روش نصب پشت به پشت در مقابل گشتاورهای اعمالی به محور بیشتر مقاومت می‌کند.



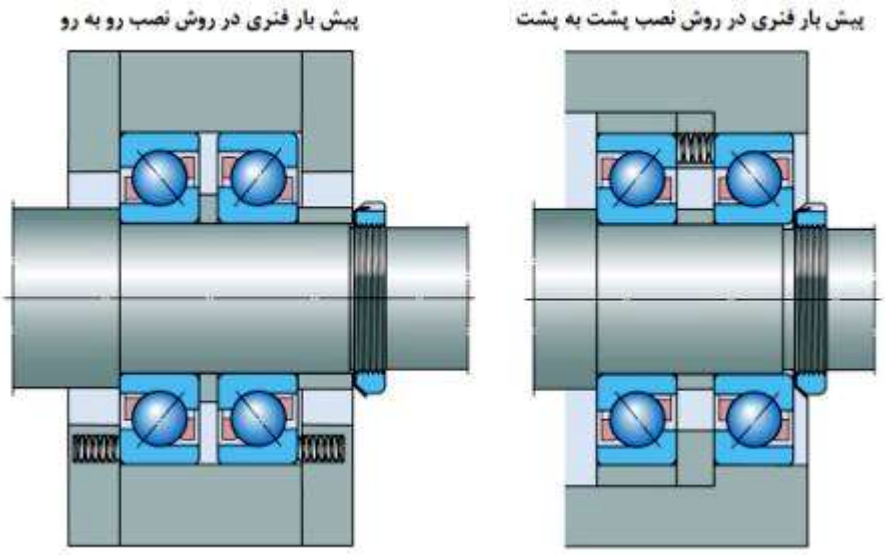
یک نمونه کاربرد نصب جفتی (پشت سر هم) یاتاقان‌های ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای در مهار میلمحور یک پمپ پیستونی:



نمونه ای دیگر از کاربرد نصب جفتی (پشت به پشت) یاتاقان‌های ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای در مهار میلمحور یک دستگاه فن:



در صورت نصب جفتی یاتاقان‌های ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای بایستی از یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای استفاده نمود که شرکت سازنده برای نصب جفتی تولید کرده است. در این گونه یاتاقان‌ها با ایجاد اختلاف در سطح بیرونی مقطع رینگ‌های داخلی و خارجی (با ایجاد جلوآمدگی در یکی از رینگ‌ها)، حین نصب نیروی پیش بار مورد نیاز برای جلوگیری از لق زدن ساچمه‌ها فراهم می‌شود. در غیر این صورت جهت اعمال پیش بار از فنر استفاده می‌شود:



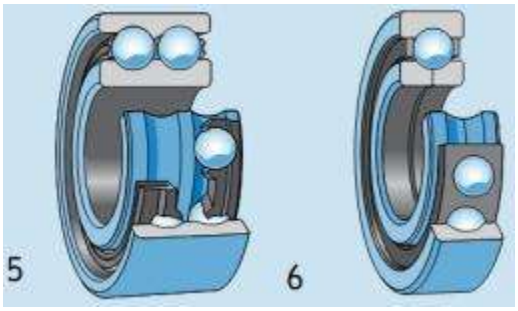
نکته: همواره در نصب یاتاقان‌ها، رینگی که متحرک است (می‌چرخد) به صورت پرسی (**press fit**) جا می‌خورد خواه رینگ داخلی باشد یا خارجی و رینگی که ثابت است (نمی‌چرخد) با فشار کمی (**push fit**)

جا می‌خورد. این موضوع در شکل قبلی هم دیده می‌شود چرا که فنرهای اعمال پیش فشار به رینگ خارجی که ثابت است نیرو اعمال می‌کنند چون این رینگ قابلیت جابجایی اندکی را تحت نیرو دارد.

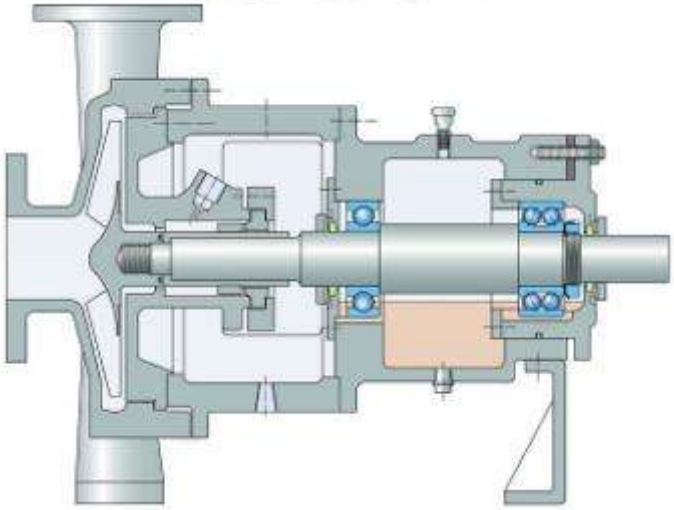
✓ **یاتاقان‌های ساچمه‌ای دوردیفه (double row ball bearings): مشخصه ۴**

۵- طرح پایه با رینگ داخلی یک تکه

۶- یاتاقان ساچمه‌ای تماس چهار نقطه‌ای (Four-point contact ball bearing) با رینگ داخلی دوتکه: مشخصه QJ



یک نمونه کاربرد: محور پمپ

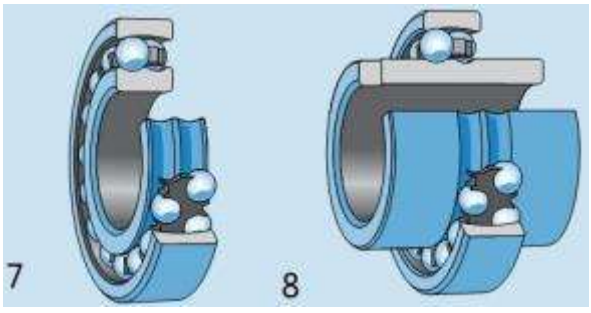


✓ **یاتاقان‌های ساچمه‌ای خود میزان (Self-aligning ball bearings): مشخصه ۱**

با سوراخ استوانه‌ای یا مخروطی (cylindrical or tapered bore)

۷- طرح پایه

۸- دارای رینگ داخلی طویل (extended inner ring)

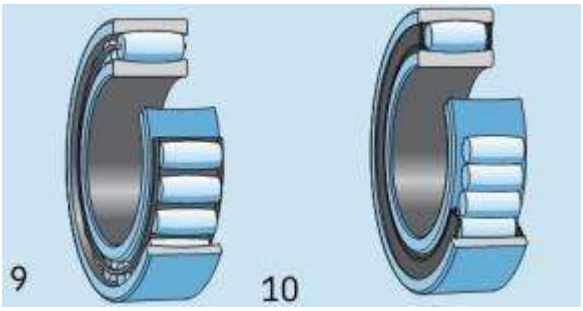


✓ یاتاقان‌های غلتک خمره‌ای تیپ CARB (Toroidal roller bearings) : مشخصه C

با سوراخ استوانه‌ای یا مخروطی

۹- با قفسه راهنمای مجموعهٔ غلطک‌ها (Cage-Guided Roller Set)

۱۰- دارای مجموعه غلتک کامل (full complement roller set) و با آب بندهای تماسی



✓ یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای (Cylindrical roller bearings): مشخصه N...

یک ردیفه

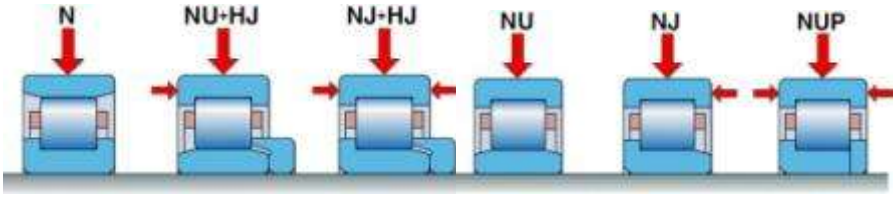
۱۱- طرح NU

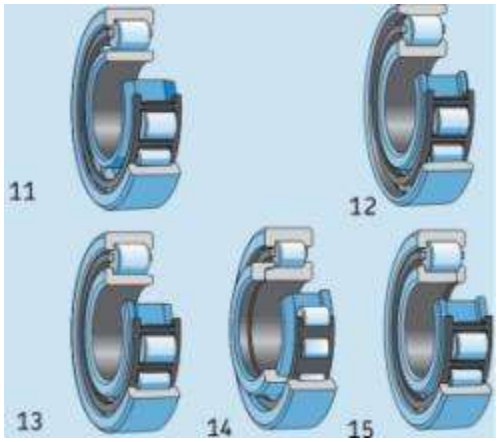
۱۲- طرح N

۱۳- طرح NJ

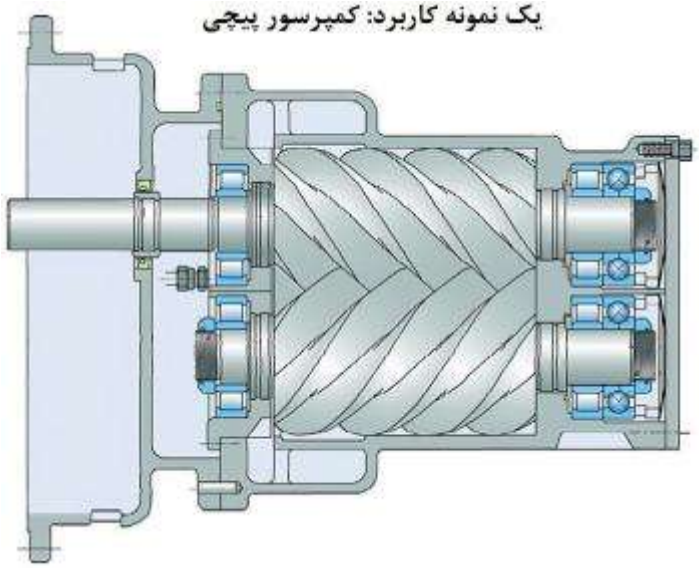
۱۴- طرح NJ با رینگ زاویه دار HJ

۱۵- طرح NUP





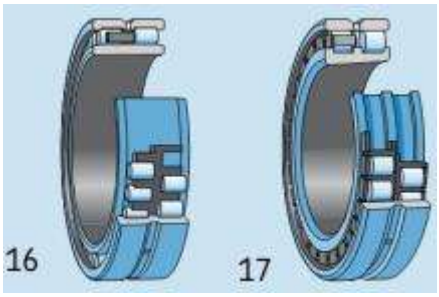
یک نمونه کاربرد: کمپرسور پیچی



دوردیفه، با سوراخ استوانه‌ای یا مخروطی: مشخصه NN...

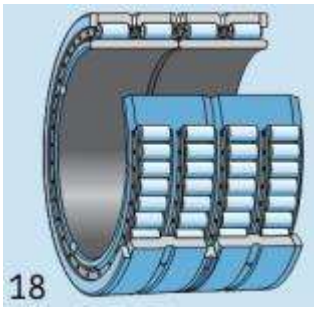
۱۶- طرح NNU

۱۷- طرح NN



چهاردیفه

۱۸- با سوراخ استوانه‌ای یا مخروطی



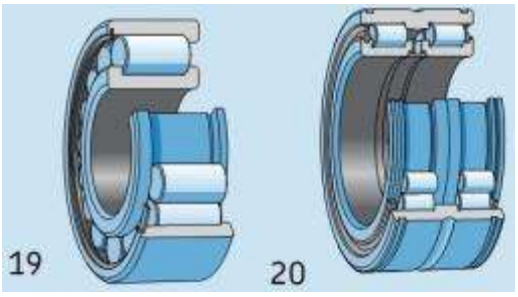
✓ **یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای با مجموعه غلتک کامل (full complement)**

یک ردیفه: مشخصه N...

۱۹- طرح NCF

دو ردیفه: مشخصه NN...

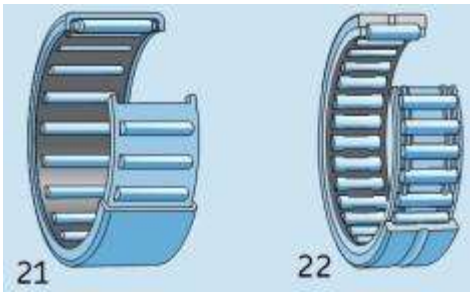
۲۰- دارای فلانچ‌های یکپارچه (integral flanges) با رینگ داخلی و خارجی و با آب بندهای تماسی



✓ یاتاقان‌های غلتک سوزنی (**Needle Roller Bearings**)

۲۱- با رینگ کششی(drawn cup needle roller bearings): **مشخصه** HK و BK

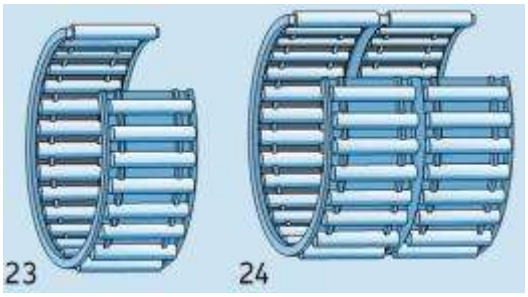
۲۲- دارای فلانچ (needle roller bearings with flanges) **و با یا بدون رینگ داخلی**



✓ یاتاقان‌های غلتک سوزنی-قفسی (**Needle Roller And Cage Assemblies**) : مشخصه **K**

۲۳- یک ردیفه

۲۴- دو ردیفه

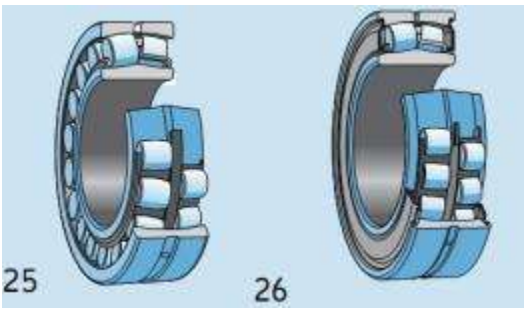


✓ یاتاقان‌های غلتکی کروی (**Spherical roller bearings**) : مشخصه **۲**

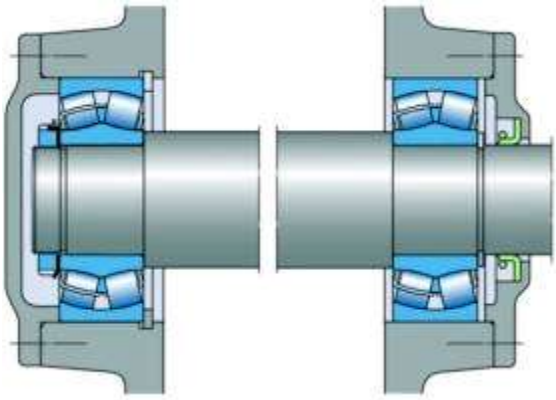
با سوراخ استوانه‌ای یا مخروطی

۲۵- طرح پایه (دوطرف باز)

۲۶- دارای آب بندهای تماسی

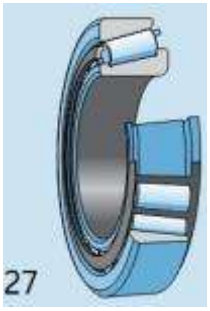


نمونه چیدمان یاتاقان‌های غلتکی کروی:

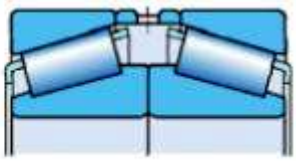


✓ **یاتاقان‌های غلتک مخروطی(Taper roller bearings): مشخصه ۳**

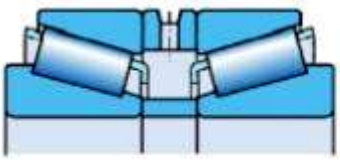
۲۷- یک ردیفه



استفاده از دو یاتاقان غلتک مخروطی یک ردیفه در کنار هم با دو چیدمان رو به رو و پشت به پشت:

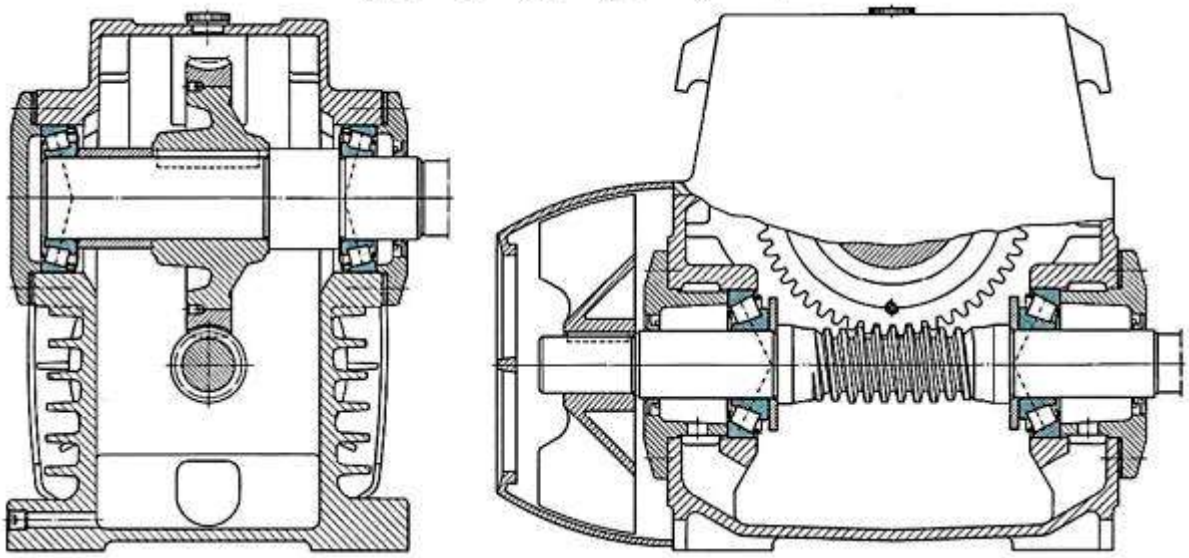


چیدمان رو به رو با پسوند DF

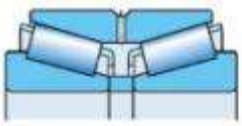


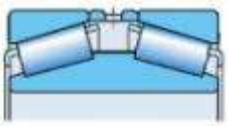
چیدمان پشت به پشت با پسوند DB

یک نمونه کاربرد: گیربکس حلزونی

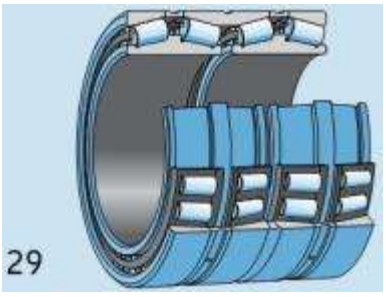


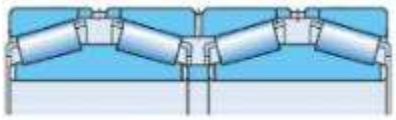
۲۸- دو ردیفه (دو پیکربندی پشت به پشت: TDO و رو به رو: TDI)



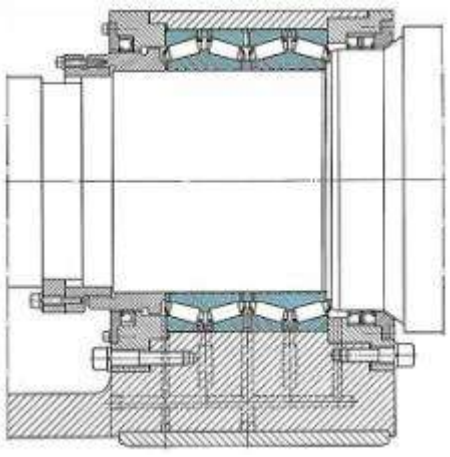


۲۹- چهار ردیفه (دو پیکربندیTQO و TQI)



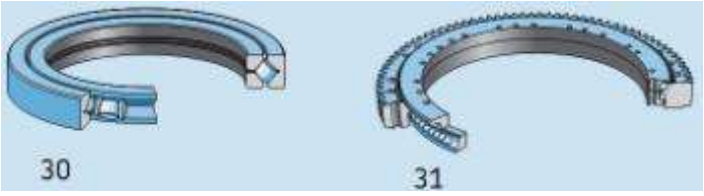


یک نمونه کاربردیاتاقان‌های غلتک مخروطی چهار ردیفه در غلتک‌های نورد سرد:

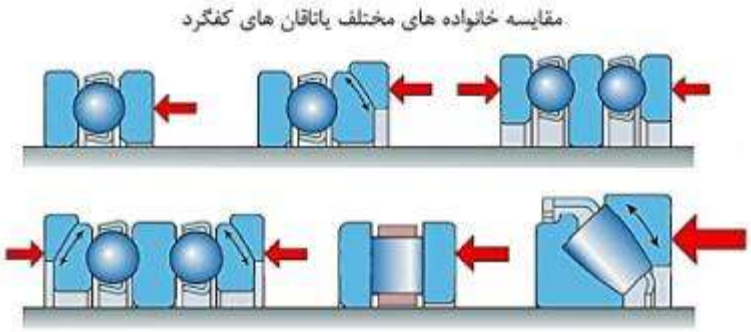


۳۰- غلتک مخروطی با شیب تند (Cross taper roller bearings)

۳۱- یاتاقان‌های چرخشی (Slewing bearings) **با یا بدون چرخدنده**



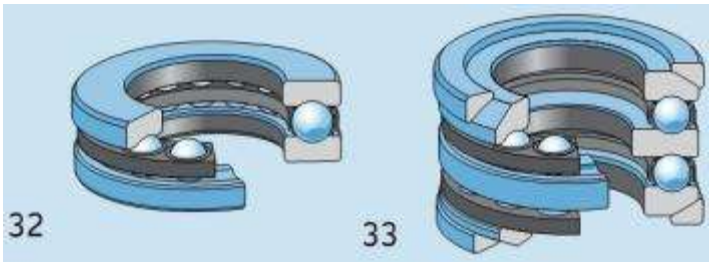
یاتاقان‌های کفگرد (Thrust bearings):



✓ یاتاقان‌های کفگرد ساچمه‌ای (Thrust ball bearings): مشخصه ۵

۳۲- یکطرفه (single direction) با رینگ نشیمن تخت (with flat housing washer)

۳۳- دوطرفه (double direction) با رینگ نشیمن کروی (with sphered housing washer)



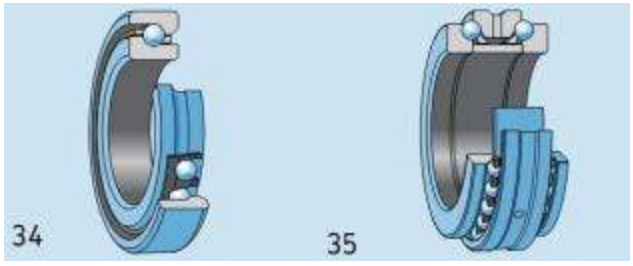
✓ یاتاقان‌های کفگرد ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای (Angular contact thrust ball bearings):

مشخصه B

یاتاقان‌های دقت بالا (high-precision bearings)

۳۴- یکطرفه با طرح پایه برای نصب تکی

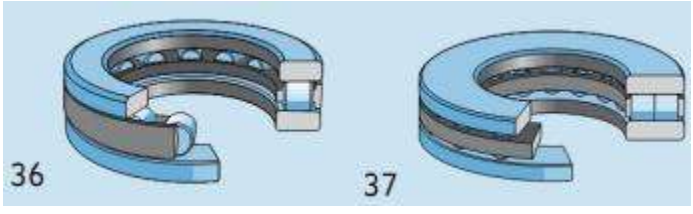
۳۵- دوطرفه در دو طرح استاندارد و پرسرعت



✓ یاتاقان‌های کفگرد غلتک استوانه‌ای (Cylindrical roller thrust bearings): مشخصه ۸

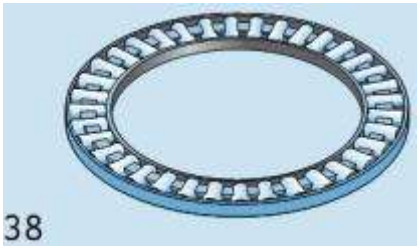
۳۶- یکطرفه یک ردیفه (single direction single row)

۳۷- یکطرفه دوردیفه (single direction double row)



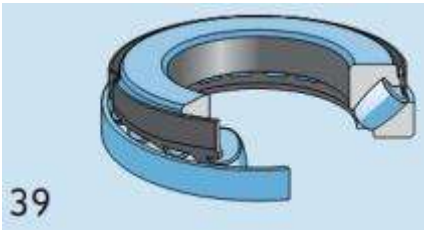
✓ یاتاقان‌های کفگرد غلتک سوزنی (Needle Roller Bearings) : مشخصه AXK

۳۸- یکطرفه



✓ یاتاقان‌های کفگرد غلتکی کروی (Spherical roller thrust bearings): مشخصه ۲

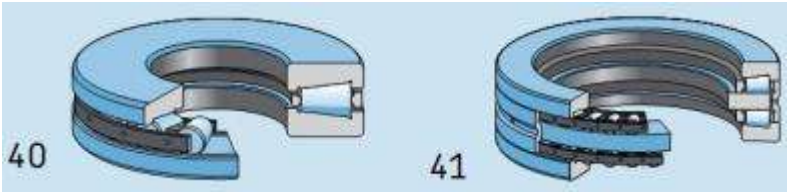
۳۹- یکطرفه



✓ یاتاقان‌های کفگرد غلتک مخروطی (Taper roller thrust bearings)

۴۰- یکطرفه

۴۱- دوطرفه



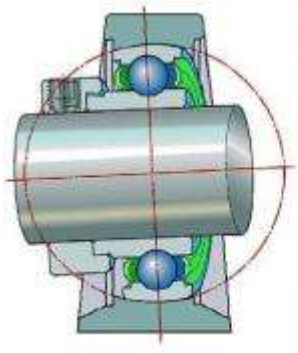
یاتاقان‌های خود میزان Y-bearing:

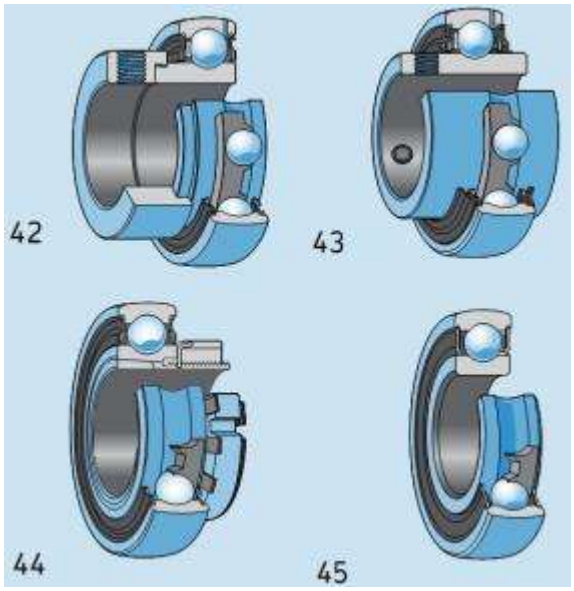
۴۲- با نافی قفل کنندهٔ خارج از مرکز، دارای رینگ داخلی طویل از یک طرف یا هردو طرف

۴۳- با پیچ مغزی، دارای رینگ داخلی طویل از یک طرف یا هردو طرف

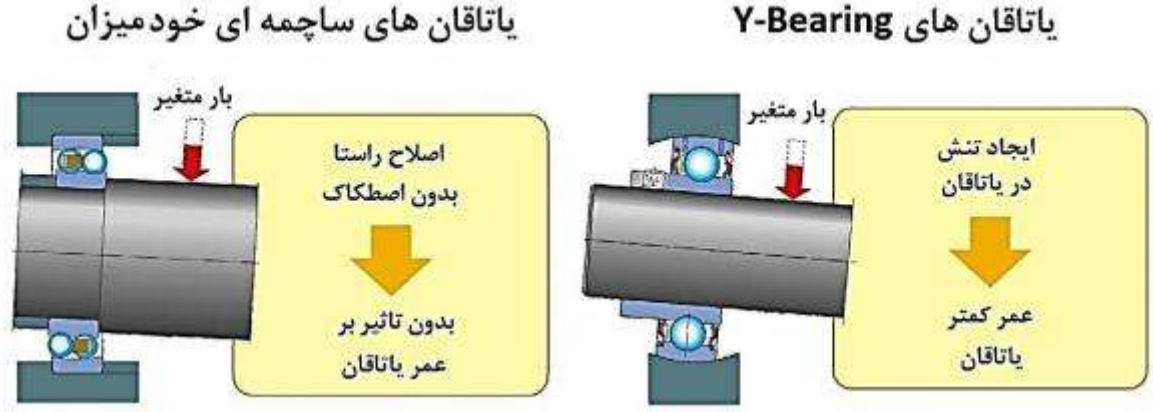
۴۴- با سوراخ مخروطی برای استفاده از بوش‌های تطبیق دهنده

۴۵- با رینگ داخلی استاندارد جهت تثبیت موقعیت بر روی شفت با جازدن پرسی





در کاربردهایی که در اثر تغییر شکل‌های خمشی ناشی از بارهای متغیر، راستای میلمحور در محل اتصال به یاتاقان مدام تغییر می‌کند استفاده از **Y-Bearing** توصیه نمی‌شود زیرا در اثر اصطکاک و تنش ایجاد شده در این نوع بلبرینگ‌ها، عمر به شدت کاهش می یابد. در عوض در این موارد استفاده از یاتاقان‌های ساچمه‌ای خودمیزان توصیه می‌شود. در شکل زیر این موضوع نشان داده شده‌است.

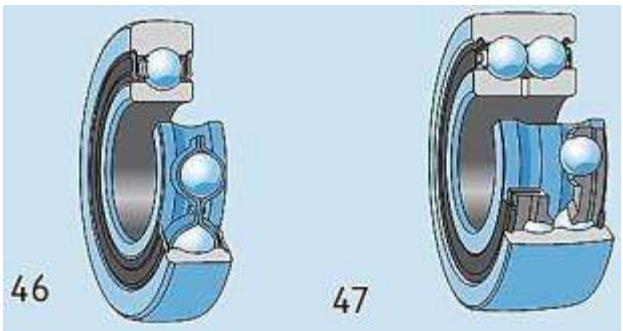


یاتاقان‌های قابل استفاده بعنوان چرخ و پیرو (Track runner bearings):

✓ **غلتک‌های بادامک (Cam rollers) : مشخصه ۳**

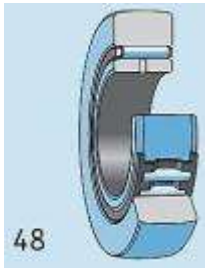
۴۶- ساچمه‌ای یک ردیفه با طراحی باریک

۴۷- ساچمه‌ای دوردیفه با طراحی پهن



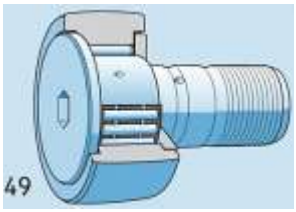
✓ غلتک‌های تکیه گاهی (Support rollers) : مشخصه R

۴۸- با یا بدون رینگ داخلی و آب بند تماسی



✓ پیروهای بادامک (Cam followers) : مشخصه KR

۴۹- با یا بدون آب بند تماسی

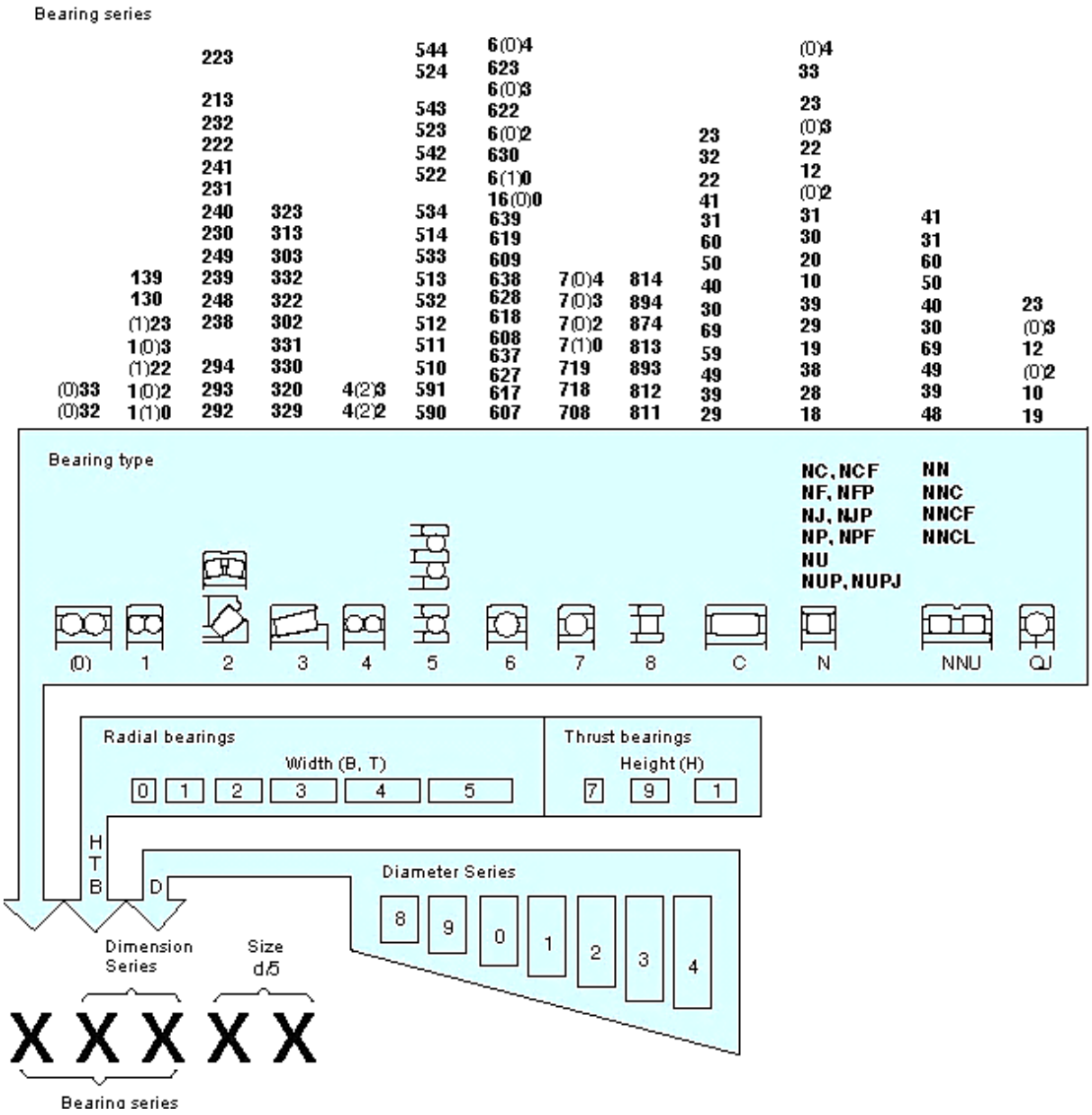


برخی مشخصه‌های پرکاربرد تعیین کنندهٔ نوع یاتاقان:

Designations	bearing type
0	Double row angular contact ball bearings
1	Self-aligning ball bearings
2	Spherical roller bearings, spherical roller thrustbearings
3	Taper roller bearings
4	Double row deep groove ball bearings
5	Thrust ball bearings
6	Single row deep groove ball bearings
7	Single row angular contact ball bearings
8	Cylindrical roller thrust bearings

Designations	bearing type
BK	Drawn cup needle roller bearings with closed ends
C	CARB
HK	Drawn cup needle roller bearings with open ends
K	Needle roller and cage thrust assemblies
N	Cylindrical roller bearings A second and sometimes a third letter are used to identifythe configuration of the flanges, e.g. NJ, NU, NUP; double or multi-row cylindrical roller bearing designations alwaysstart with NN
NA	Needle roller bearings with boundary dimensions to ISO 15
NK	Needle roller bearings
QJ	Four-point contact ball bearings
T	Taper roller bearings, a few metric sizes to ISO 355-1977 Inch-size taper roller bearings with dimensions to an ABMAseries are designated according to a different system toANSI-ABMA Standard 19 (see also under prefix K–)

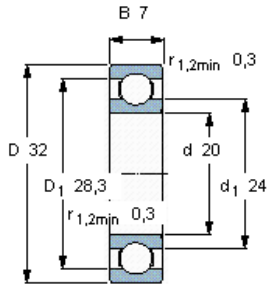
روش نامگذاری یاتاقان‌ها



مثال از نامگذاری یاتاقان‌ها:

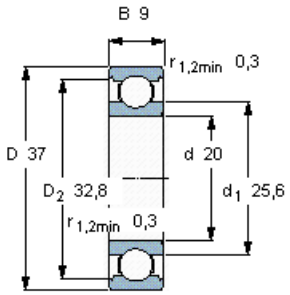
61804:

6: Deep Groove Ball Bearing
1: Bearing Width; B7
8: Diameter Series; D32
04: Bore Diameter; 04x5=20; d20



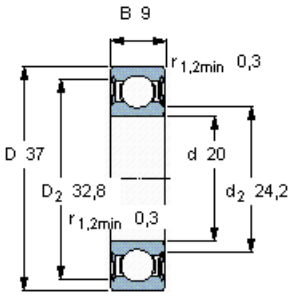
61904:

6: Single row Deep Groove Ball Bearing
1: Bearing Width; B9
9: Diameter Series; D37
04: Bore Diameter; 04x5=20; d20



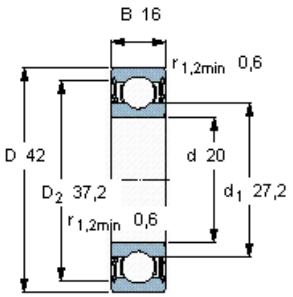
61904-2RS1:

6: Single row Deep Groove Ball Bearing
1: Bearing Width; B9
9: Diameter Series; D37
04: Bore Diameter; 04x5=20; d20
2RS1: Seals on both sides



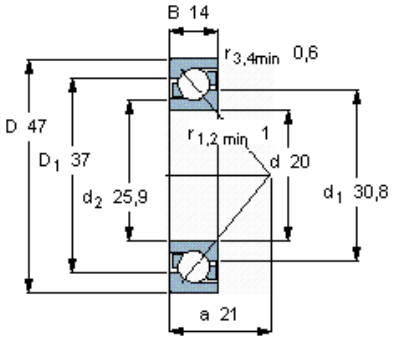
63004-2RS1:

6: Single row Deep Groove Ball Bearing
3: Bearing Width; B16
0: Diameter Series; D42
04: Bore Diameter; 04x5=20; d20
2RS1: Seals on both sides



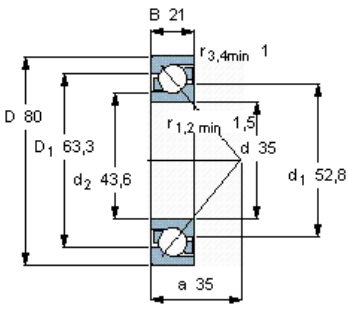
7204 BEP:

7: Single row angular contact ball bearings
2: Bearing Width; B14
-: Diameter Series; D47
04: Bore Diameter; 04x5=20; d20
BEP: 40° contact angle and optimised internal design**,** with moulded cage of glass fibre reinforced polyamide 6,6



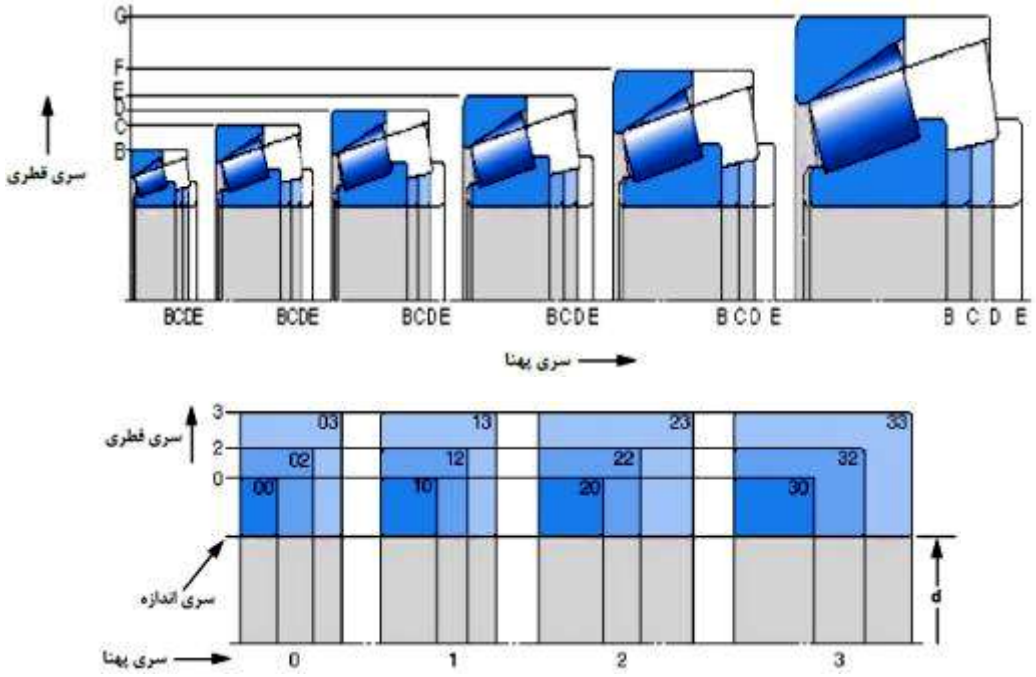
7307 BEY:

7: Single row angular contact ball bearings
3: Bearing Width; B21
-: Diameter Series; D80
07: Bore Diameter; 07x5=35; d35
BEY: 40° contact angle and optimised internal design**,** with ball centred pressed brass cage



ارتباط سری قطری و پهنای یاتاقان:

همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود کد پهنا در مشخصه یاتاقان مستقلاً تعیین کنندهٔ پهنا نیست بلکه به سری قطری نیز بستگی دارد (و بالعکس).



پسوندهای متداول برای نامگذاری یاتاقان‌ها:

A	C	C1	DH	G	IS	LO	MPS	Q	RSL	S2	TT	VA701	VQ424	Y
AC	CA	C2	DR	G..	ISR	LP	MR	QBC	RZ	S3	U	VA820	VT143	Z
ACD	CAC	C3	DS	GA	J	LPS	MT	QBT	2RF	S4	UP	VC025	VU001	2Z
ADA	CB	C4	DT	GB	JHA	LS	N	QFC	2RS	T	V	VE240	W	ZW
AS	CC	C5	D8	G	JR	2LS	NR	QFT	2RS1	TA	V...	VE447	WT	
ASR	CD	C02	E	GC	JW	LT	N1	QR	2RS2	TB	VA201	VE552	W20	
Axx(x)	CLN	C04	EC	H	K	M	N2	QT	2RSH	TBT	VA208	VE553	W26	
B	CL0	C08	ECA	HA	K30	MA	P	R	2RSL	TFT	VA228	VE632	W33	
BE	CL00	C083	ECAC	HB	HV	MAS	PA9	RF	2RZ	TH	VA301	VG114	W33X	
BEJ	CL3	C10	Exx(x)	HC	IS	MB	PA9A	RS	SM	TN	VA305	VH	W513	
BEM	CL7C	D	F	HE	L	MBS	PA9B	RS1	SORT	TNH	VA3091	VGS	W518	
BEP	CN	DB	FA	HM	LA	ML	PH	RS1Z	SP	TNHA	VA350	VL0241	W64	
BEY	CV	DF	FB	HT	LB	MO	PHA	RS2	S0	TN9	VA405	VL0271	W77	
Bxx(x)	CS	DG	2F	HV	LHT	MP	P63	RSH	S1	TR	VA406	VQ015	X	

استثنائات نامگذاری یاتاقان‌ها:

۱- برای یاتاقان‌های با قطر داخلی کمتر از **10mm** یا بزرگتر یا مساوی **500mm** ، برای نشان دادن قطر داخلی به جای استفاده از کد، خود قطر را بر حسب میلیمتر (بعد از علامت / در انتهای کد مشخصه) می نویسند، برای مثال:

قطر داخلی : **8mm** **618/8**

قطر داخلی : **530mm** **511/530**

❖ مطابق استاندارد **ISO15** برای قطرهای داخلی **22mm** و **28mm** و **32mm** نیز به همین منوال عمل می‌شود. برای مثال:

قطر داخلی : **22mm** **62/22**

۲- برای یاتاقان‌های با قطر داخلی**10mm**، **12mm** ، **15mm** و **17mm** از کدهای زیر برای نشان دادن قطر داخلی استفاده می‌شود:

00 = 10mm
01 = 12mm
02 = 15mm
03 = 17mm

۳- برای برخی از یاتاقان‌های با قطر داخلی کمتر از **10mm** (از قبیل شیار عمیق، خودمیزان وتماس زاویه‌ای)، قطر را بر حسب میلیمتر بدون فاصله در انتهای کد مشخصه می نویسند. برای مثال:

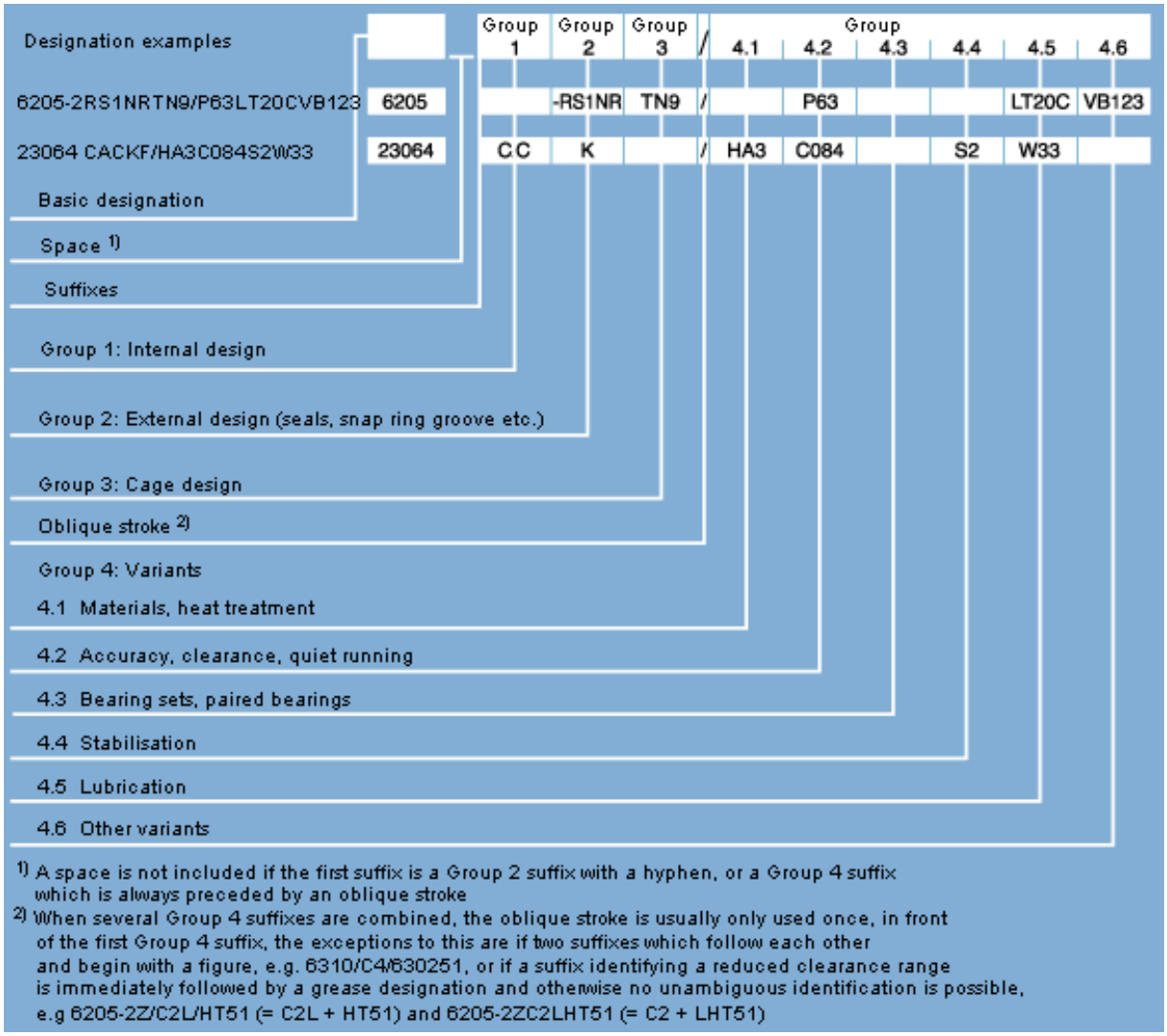
قطر داخلی : **9mm** **629**

قطر داخلی : **9mm** **129**

۴- برای یاتاقان‌هایی که قطر داخلی داخلی آنها استاندارد نیست، قطر داخلی آنها را با سه رقم اعشار بعد از علامت / در انتهای کد مشخصه می نویسند. برای مثال:

قطر داخلی : **15.875mm** **6202/15.875**

فرمت کامل نام گذاری یاتاقان‌ها:



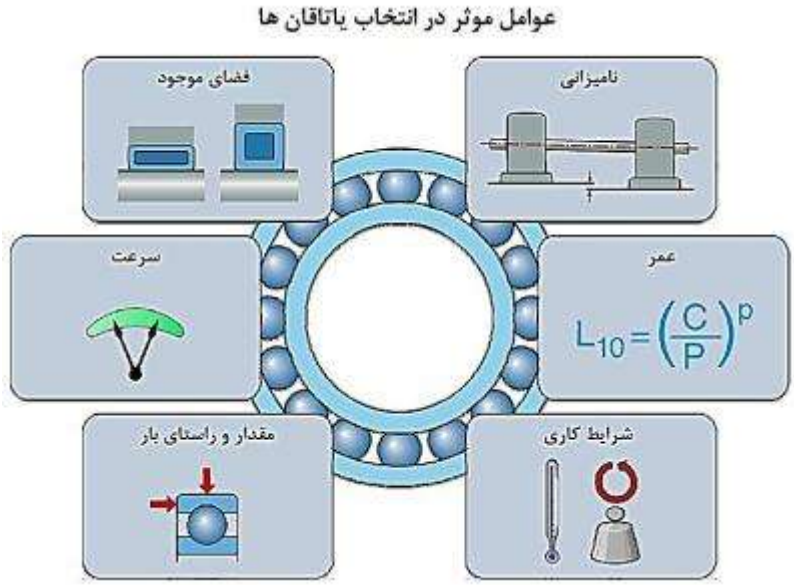
طراحی (انتخاب) یاتاقان مناسب

الف) انتخاب نوع یاتاقان

ب) انتخاب اندازه یاتاقان

الف) بررسی عوامل موثر در انتخاب نوع یاتاقان

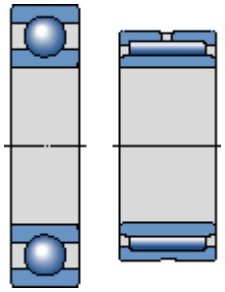
ده پارامتر اصلی موثر در انتخاب نوع یاتاقان در ادامه شرح داده شده‌است. در شکل زیر به طور خلاصه عوامل موثر نمایش داده شده‌است.



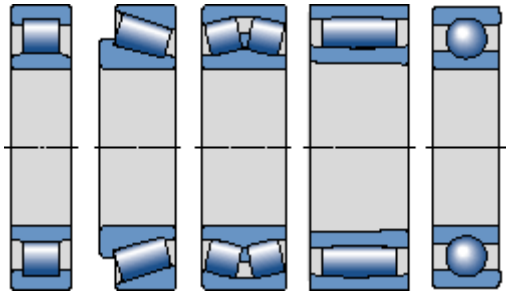
۱- فضای موجود

در طراحی، معمولاً پیش از انتخاب یاتاقان مناسب، میلمحور طراحی می‌شود و لذا قطر داخلی یاتاقان از پیش معلوم است.

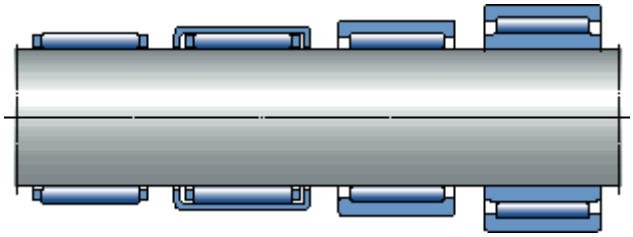
درصورتی که قطر میلمحور (و بنابراین قطر داخلی یاتاقان) کوچک باشد از همهٔ انواع یاتاقان می‌توان استفاده نمود، اما استفاده از یاتاقان‌های شیار عمیق و سوزنی عموماً رایج تر است.



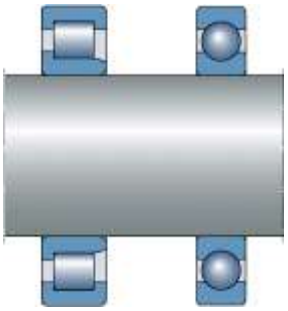
اما درصورتی که قطر میلمحور بزرگ باشد از یاتاقان‌های غلتکی استوانه‌ای، مخروطی، کروی و خمره‌ای و همچنین یاتاقان‌های شیارعمیق می‌توان استفاده نمود.



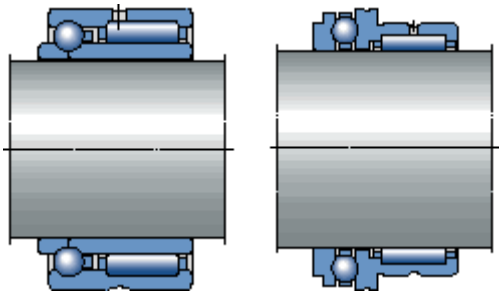
درصورتی که فضای محیطی محدود باشد از یاتاقان‌های با سری قطری 8 یا 9 استفاده می‌شود. همچنین از یاتاقان‌های سوزنی-قفسی، یاتاقان‌های سوزنی با رینگ کششی و یاتاقان‌های سوزنی بدون یا حتی با رینگ داخلی و سری‌های خاصی از یاتاقان‌های شیارعمیق و تماس زاویه‌ای، یاتاقان‌های غلتکی استوانه‌ای، مخروطی، کروی و خمره‌ای می‌توان استفاده نمود.



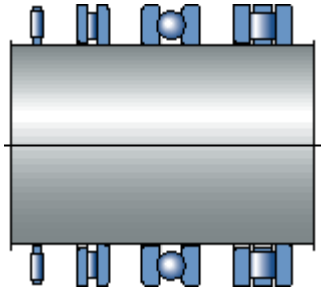
درصورتی که فضای محوری محدود باشد از سری‌های خاصی از یاتاقان‌های غلتکی استوانه‌ای برای تحمل بارهای شعاعی و یاتاقان‌های شیارعمیق برای تحمل بارهای ترکیبی می‌توان استفاده نمود.



همچنین از انواع گوناگونی از یاتاقان‌های سوزنی ترکیبی نیز برای تحمل بارهای ترکیبی می‌توان استفاده نمود.

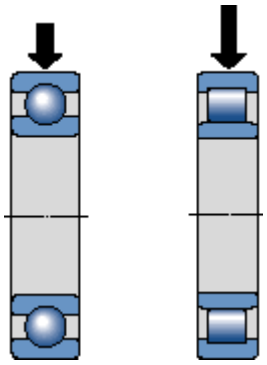


برای تحمل بارهای محوری خالص از یاتاقان‌های کفگرد سوزنی-قفسی (با یا بدون واشر) و یاتاقان‌های کفگرد ساچمه‌ای و غلتک استوانه‌ای می‌توان استفاده نمود.

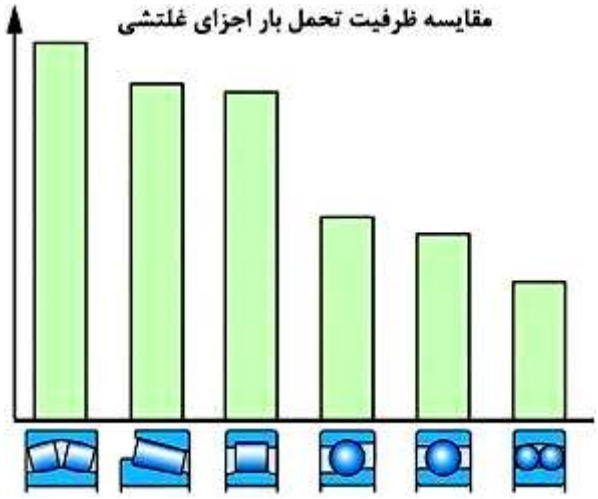


۲- بارهای اعمالی

مقدار بار اعمالی، یکی از فاکتورهای تعیین کننده اندازه یاتاقان است. بعلاوه یاتاقان‌های غلتکی عموماً توان تحمل بارهای سنگین تری را در مقایسه با یاتاقان‌های ساچمه‌ای هم اندازه دارند. از یاتاقان‌های ساچمه‌ای برای بارهای سبک یا متوسط استفاده می‌شود. درحالی که از یاتاقان‌های غلتکی برای بارهای سنگین و میلمحورهای قطور استفاده می‌شود. همچنین یاتاقان‌های دارای اعضای غلتنده کامل (Full Complement) از یاتاقان‌های دارای قفسی متناظر، بار بیشتری می‌توانند تحمل کنند.



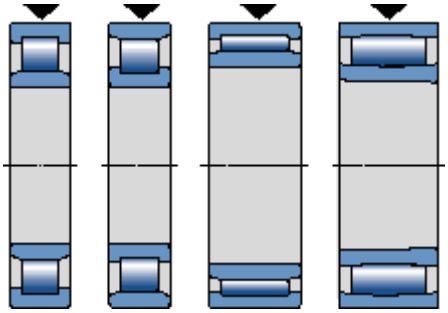
مقایسه سرعت و بار قابل تحمل انواع اصلی یاتاقان‌های غلتشی در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده‌است:



انتخاب یاتاقان‌ها بر اساس انواع بارهای اعمالی به یاتاقان به صورت زیر است:

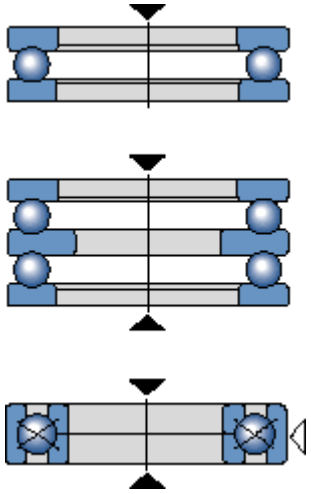
۱- بار شعاعی

برای تحمل بار شعاعی خالص می‌توان از یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای نوع N و نوع NU، یاتاقان‌های سوزنی و خمره‌ای استفاده نمود. سایر یاتاقان‌های شعاعی علاوه بر بار شعاعی توان تحمل مقداری بار محوری را نیز دارند.

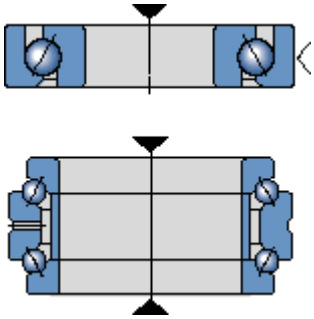


۲- بار محوری

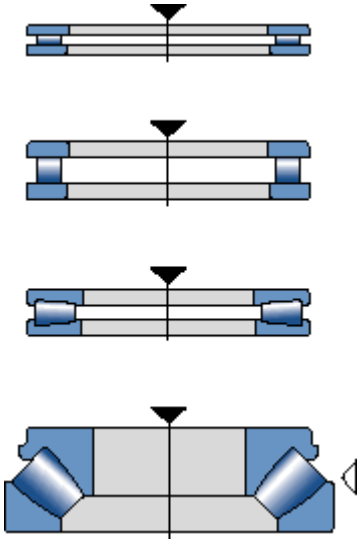
برای تحمل بارهای محوری خالص سبک تا متوسط، استفاده از یاتاقان‌های ساچمه‌ای تماس چهارنقطه‌ای و یاتاقان‌های ساچمه‌ای کفگرد مناسب است. یاتاقان‌های ساچمه‌ای کفگرد یک طرفه تنها می‌توانند بار محوری را در یک جهت تحمل کنند. برای تحمل بار محوری در دو جهت باید از یاتاقان‌های ساچمه‌ای کفگرد دوطرفه استفاده کرد.



یاتاقان‌های کفگرد ساچمه‌ای تماس زاویه‌ای برای تحمل بارهای محوری متوسط در سرعت‌های بالا مناسب هستند. نوع یک طرفه این یاتاقان‌ها می‌توانند بار شعاعی را نیز تحمل کنند در حالی که نوع دوطرفه معمولاً تنها برای تحمل بارهای محوری خالص به کار می‌روند.



برای تحمل بارهای محوری متوسط و سنگین از یاتاقان‌های کفگرد سوزنی، یاتاقان‌های کفگرد غلتکی استوانه‌ای، مخروطی و کروی می‌توان استفاده نمود. یاتاقان‌های کفگرد غلتکی کروی همزمان می‌توانند بار محوری را نیز تحمل کنند.

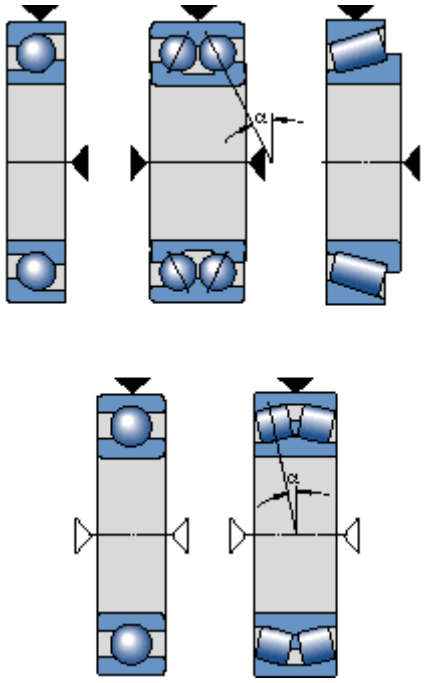


برای تحمل بارهای متناوب محوری می‌توان از نصب مجاور هم دو عدد یاتاقان کفگرد غلتک استوانه‌ای یا دو عدد یاتاقان کفگرد غلتکی کروی استفاده نمود.

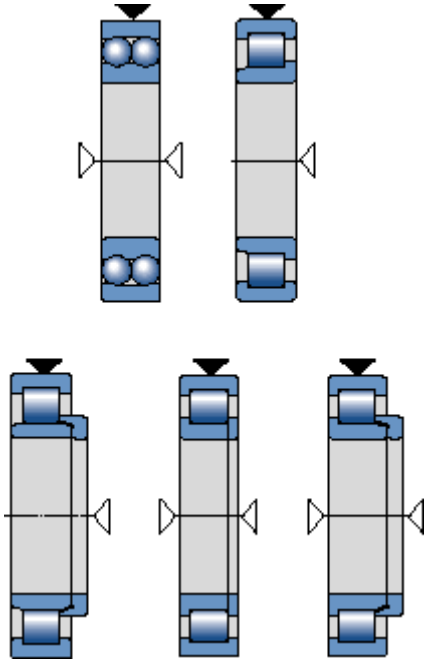
۳- بار ترکیبی

بارهای ترکیبی به طور همزمان شامل بارهای محوری و شعاعی هستند. توانایی تحمل بار محوری در یک یاتاقان بستگی به زاویه تماس آن دارد که اثر آن در محاسبه بار معادل در ضریب Y دیده می‌شود. در یاتاقان‌های شیارعمیق میزان تحمل بار محوری به طراحی داخلی یاتاقان و لقی داخلی آن بستگی دارد.

برای تحمل بارهای ترکیبی استفاده از یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای یک‌ردیفه و دوردیفه و یاتاقان‌های غلتکی مخروطی یک ردیفه بسیار رایج است. البته یاتاقان‌های شیارعمیق و یاتاقان‌های غلتکی کروی نیز برای این منظور مناسب هستند.

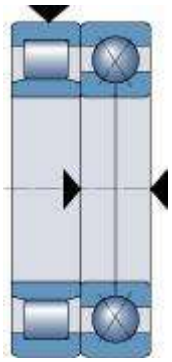


همچنین درصورتی که بخش محوری بار ترکیبی کوچک باشد از یاتاقان‌های ساچمه‌ای خود میزان و یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای نوع NJ و نوع NUP و همچنین نوع NJ و نوع NU با رینگ‌های زاویه‌ای HJ می‌توان استفاده نمود.

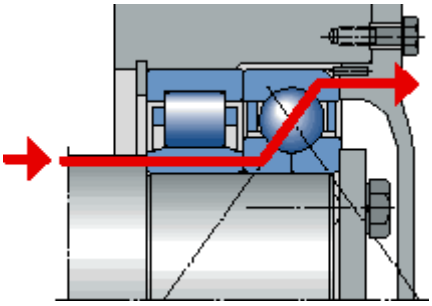


یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای‌یک ردیفه و یاتاقان‌های غلتکی مخروطی یک ردیفه، یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای نوع NJ و نوع NU+HJ و یاتاقان‌های کفگرد غلتکی‌کروی بار محوری را تنها در یک جهت می‌توانند تحمل کنند. برای تحمل بارهای متناوب که حین اعمال دارای تغییر جهت هستند، همراه با یاتاقان‌های مذکور، یک یاتاقان دیگر نیز باید به کار گرفته شود. به همین منظور می‌توان یک یاتاقان تماس زاویه‌ای یک ردیفه یا یک یاتاقان غلتکی مخروطی یک ردیفه را با یاتاقان مورد نظر جفت کرد.

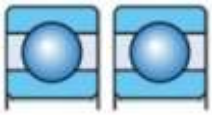
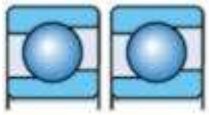
اگر بخش محوری بار ترکیبی بزرگ باشد بایستی از یک یاتاقان مستقل برای مهار آن استفاده کرد. برای این منظور علاوه بر یاتاقان‌های کفگرد از برخی یاتاقان‌های شعاعی مانند شیارعمیق یا تماس زاویه‌ای چهار نقطه‌ای نیز می‌توان استفاده کرد.



در این صورت بمنظور کسب اطمینان از تنها اعمال بار محوری (و عدم اعمال بار شعاعی) به یاتاقان مورد نظر، رینگ خارجی آن را به صورت لق در پوسته جا می‌زنند.

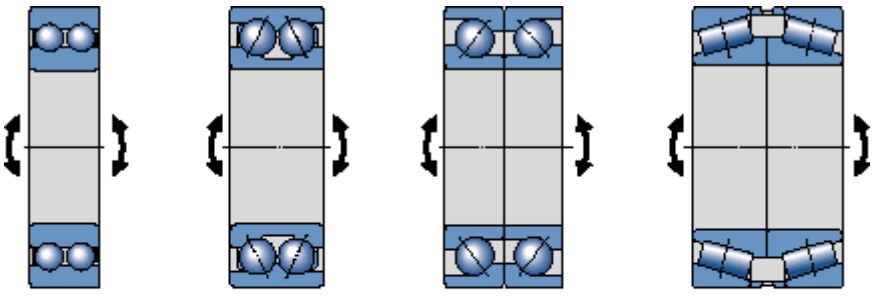


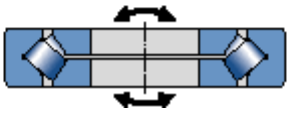
جدول نمونه یاتاقان‌های پیشنهادی جهت تحمل ترکیب بارهای با شدت‌های مختلف

نیروی شعاعی / نیروی محوری	نیروی شعاعی سبک	نیروی شعاعی متوسط	نیروی شعاعی سنگین
نیروی محوری سبک			
نیروی محوری متوسط			
نیروی محوری سنگین			

۴- بار گشتاوری

وقتی که باری خارج از مرکز به یک یاتاقان وارد می‌شود در آن بار گشتاوری ایجاد می‌کند. این نوع بار را یاتاقان‌های دو ردیفه مثل شیار عمیق و تماس زاویه‌ای دو ردیفه می‌توانند تحمل کنند اما استفاده از یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای یک ردیفه یا یاتاقان‌های غلتک مخروطی یک ردیفه به صورت جفت شده روبرو یا پشت به پشت مناسب‌تر است.

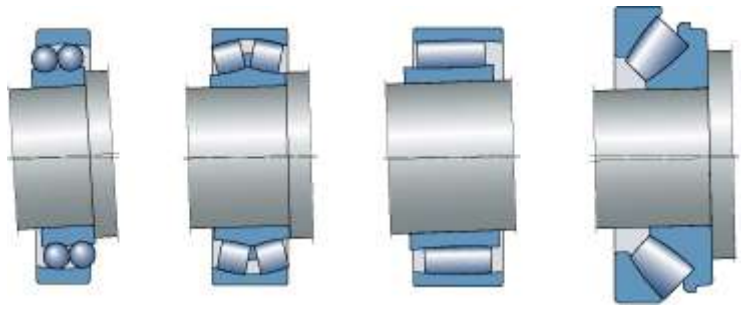




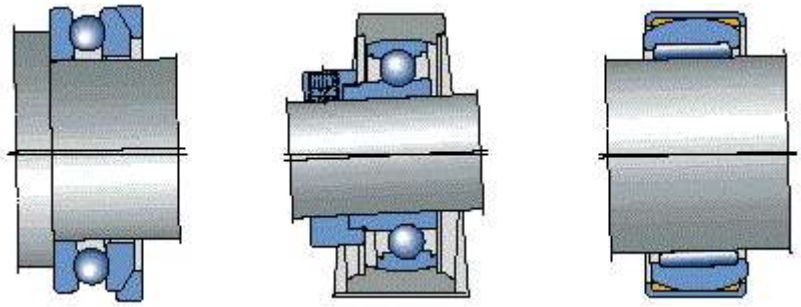
۳- نامیزانی

یاتاقان‌های صلب مثل شیار عمیق یا غلتک استوانه‌ای نمی‌توانند خود را با نامیزانی تطبیق دهند و تنها می‌توانند خود را با نامیزانی اندکی تطبیق دهند و بیشتر از آن موجب اعمال نیرو بر آنها خواهد شد. در مقابل یاتاقان‌های خود میزان از جمله یاتاقان‌های ساچمه‌ای خود میزان، یاتاقان‌های غلتکی کروی، یاتاقان‌های خمره‌ای و یاتاقان‌های کفگرد غلتکی

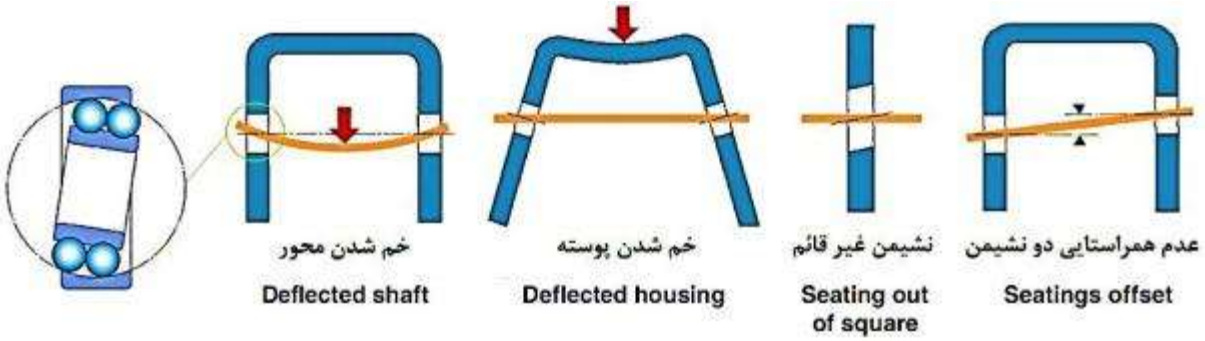
کروی می‌توانند خود را با نامیزانی‌های ناشی از نحوه کارکرد تطبیق دهند و نامیزانی‌های ناشی از خطاهای اولیه ماشینکاری تکیه‌گاه‌ها و خطاهای نصب را جبران کنند. نامیزانی مجاز قابل تحمل توسط هر یک از این یاتاقان‌ها در کاتالوگ ارائه شده‌است.



برای جبران نامیزانی‌های ناشی از خطاهای اولیه ماشینکاری تکیه گاه‌ها و خطاهای نصب می‌توان از یاتاقان‌های کفگرد ساچمه‌ای با رینگ‌های نشمین و واشرهای کروی شکل، واحدهای Y-Bearing و یاتاقان‌های سوزنی قابل تنظیم (Alignment Needle Roller Bearings) استفاده کرد.



موارد لزوم استفاده از یاتاقان‌های خود میزان در شکل زیر آورده شده‌است:

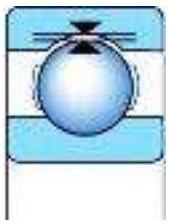


۴- دقت

یاتاقان‌های با دقت بیش از دقت معمول (Normal Precision) برای کاربردهایی مورد نیاز هستند که دقت‌های بالای حرکتی نیاز داریم (مثل اسپیندل ماشین‌های ابزار) یا اینکه به سرعت‌های دورانی خیلی بالایی نیازمند هستیم.

دقت کلیه یاتاقان‌ها را با استفاده از پارامتر کلاس تلرانسی (موجود در کاتالوگ) می‌توان مقایسه کرد. برای نمونه جدول لقی شعاعی داخلی یاتاقان‌های شیار عمیق در زیر آورده شده‌است. لقی شعاعی با یک پسوند در کد مشخصه یاتاقان ذکر می‌شود مثلاً برای کلاس نرمال از پسوند CN (معمولاً همراه با یک کد توضیحی H، L یا P برای تعیین دقیق تر

محدوده لقی) و برای کلاس C3 از پسوند C3 و برای سایر کلاس‌ها هم به صورت مشابه پسوندی در نام مشخصه ارائه می‌شود.



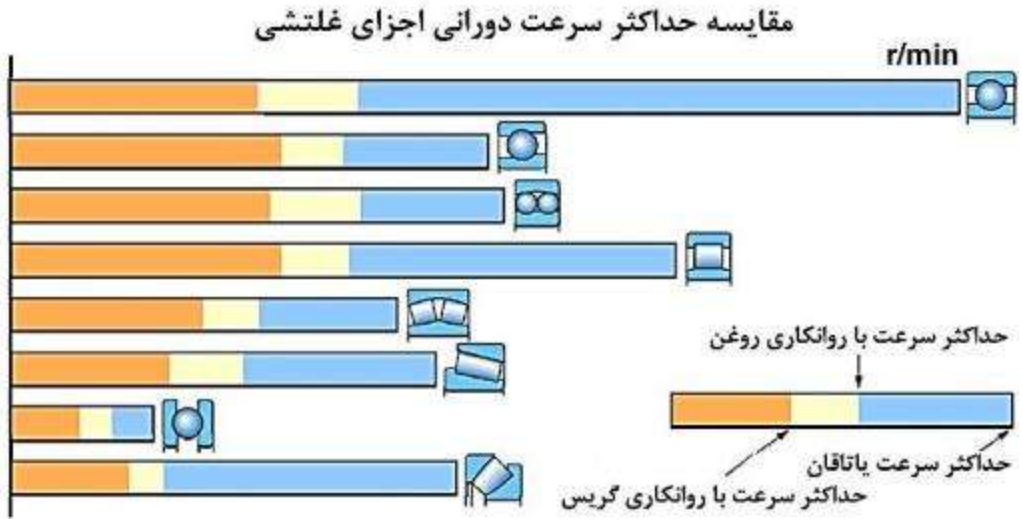
Bore diameter D		Radial internal clearance C2		Normal		C3		C4		C5	
over	incl.	min	max	min	max	min	max	min	Max	min	max
mm		Mm									
	6	0	7	2	13	8	23	-	-	-	-
6	**10**	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	**18**	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	**24**	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	**30**	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	**40**	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	**50**	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	**65**	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	**80**	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1 120	**1 250**	40	180	180	400	400	640	640	910	910	1 220
1 250	**1 400**	60	210	210	440	440	700	700	1 000	1 000	1 340
1 400	**1 600**	60	230	230	480	480	770	770	1 100	1 100	1 470
1 600	**1 800**	60	250	250	520	520	830	830	1 220	1 220	1 650

یاتاقان‌های دقت بالا از انواع تماس زاویه‌ای تک‌ردیفه، غلتک استوانه‌ای تک‌ردیفه و دوردیفه و کفگرد تماس زاویه‌ای تک‌ردیفه و دوردیفه موجود می‌باشند.

۵- سرعت

حد دمای کاری مجاز یاتاقان محدود کنندهٔ سرعت آن است. بنابراین یاتاقان‌هایی که اصطکاک کمتری دارند حرارت کمتری تولید می‌کنند و با سرعت بیشتری می‌توانند کار کنند. در صورتی که بار خالص محوری داشته باشیم یاتاقان‌های شیار عمیق و یاتاقان‌های خود میزان می‌توانند بیشترین سرعت را تامین کنند. ولی درصورت اعمال بارهای ترکیبی بیشترین سرعت ممکن با یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای قابل اعمال است. بویژه در مورد یاتاقان‌های تماس زاویه‌ای و شیار عمیق دارای ساچمه‌های سرامیکی این موضوع صادق است.

یاتاقان‌های کفگرد به علت طراحی خاص آنها، نمی‌توانند سرعت‌های بالا را مانند یاتاقان‌های شعاعی تحمل کنند. مقایسه سرعت قابل تحمل انواع اصلی یاتاقان‌های غلتشی در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده‌است.



۶- کارکرد بیصدا

برای برخی کاربردها مانند موتورهای وسایل خانگی یا تجهیزات اداری، سر و صدا یک فاکتور مهم در انتخاب یاتاقان است. بهترین گزینه برای کاهش سر و صدا استفاده از یاتاقان‌های شیار عمیق است.

۷- سفتی (Stiffness)

سفتی یک یاتاقان عبارت است از مقاومت آن در برابر تغییر شکل الاستیک حین اعمال بار، که معمولاً خیلی کم و قابل چشم پوشی است. ولی در برخی کاربردها مثل اسپیندل ماشین ابزار یا مهار پینیون، سفتی یاتاقان اهمیت پیدا می‌کند.

به علت شرایط تماس عضو غلتشی با کنس، یاتاقان‌های غلتکی مثل غلتک استوانه‌ای یا غلتک مخروطی در مقایسه با یاتاقان‌های ساچمه‌ای از سفتی بیشتری برخوردار هستند.

همچنین اعمال پیش بار یکی از راه‌های افزایش سفتی یاتاقان‌ها است.

۸- جابجایی محوری (Axial Displacement)

معمولاً بمنظور جلوگیری از آسیب دیدن یاتاقان در اثر انبساط و انقباض میلمحور و یا پوسته، یاتاقان‌های مهار کنندهٔ میلمحور را در راستای محوری، تنها از یک طرف موقعیت‌دهی می‌کنند (**Locating**) و از طرف مقابل آزاد (**Non-Locating**) می گذارند.

به عنوان یاتاقان‌های موقعیت‌دهنده بایستی از یاتاقان‌هایی استفاده شود که توان تحمل بارهای ترکیبی را داشته باشند یا اینکه با جفت شدن با یک یاتاقان دیگر بتوانند نیروی محوری را تحمل کنند.

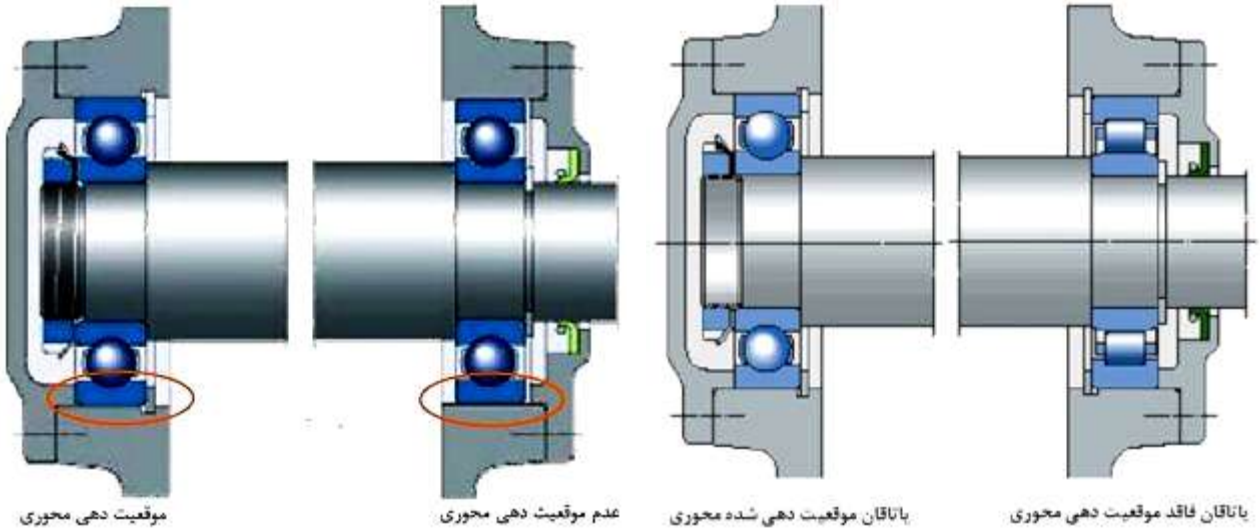
در مقابل به عنوان یاتاقان‌های آزاد بایستی از یاتاقان‌هایی استفاده شود که به میلمحور اجازه جابجایی محوری را بدهند تا مثلاً حین انبساط میلمحور تحت اضافه بار قرار نگیرند. بدین منظور یاتاقان‌های سوزنی، یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای نوع N و نوع NU و همچنین یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای نوع NJ و برخی یاتاقان‌های غلتک استوانه‌ای دارای مجموعه غلتک کامل (full complement roller set) مناسب می‌باشند. جابجایی محوری مجاز هر یک از یاتاقان‌ها در جداول مربوطه ذکر شده‌است.

درصورتی که بازی محوری زیادی نیاز داریم و ممکن است نامیزانی هم داشته باشیم، یاتاقان‌های غلتک خمره‌ای تیپ CARB بهترین گزینه است.

درصورتی که از یاتاقان‌های جدایی ناپذیر مثل یاتاقان‌های شیار عمیق یا یاتاقان‌های غلتکی کروی به عنوان یاتاقان آزاد استفاده شود بایستی یکی از کنس‌های یاتاقان (معمولاً کنس خارجی) دارای انطباق لق باشد.

موقعیت‌دهی و عدم موقعیت‌دهی محوری:

معمولاً بمنظور جلوگیری از آسیب دیدن یاتاقان در اثر انبساط و انقباض میلمحور و یا پوسته، یاتاقان‌های مهار کنندهٔ میلمحور را تنها از یک طرف موقعیت‌دهی می‌کنند و از طرف مقابل آزاد می گذارند.

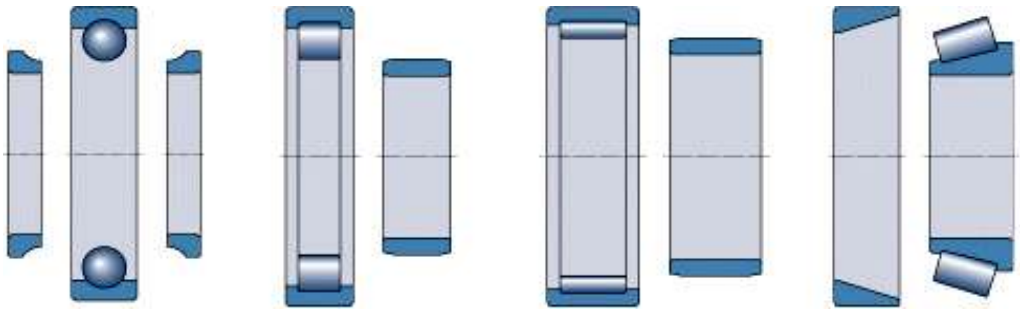


۹- جازدن و درآوردن (Mounting And Dismounting)

یاتاقان‌ها از نظر نصب در دو دسته کلی بررسی می‌شوند:

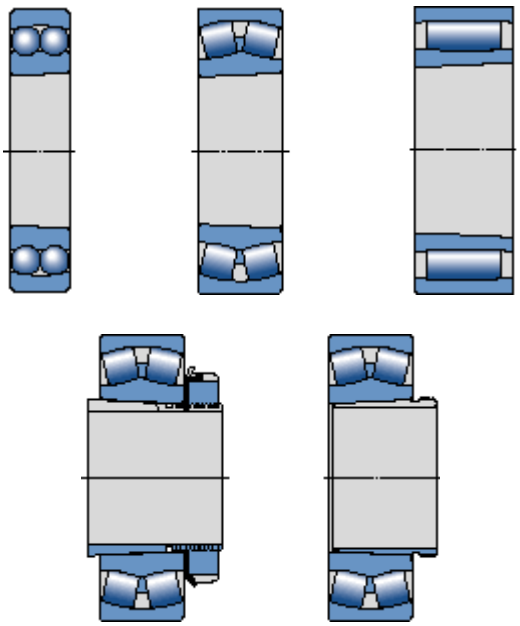
۱- یاتاقان‌های با سوراخ داخلی استوانه‌ای

نصب و باز کردن یاتاقان‌های با سوراخ داخلی استوانه‌ای درصورتی که از نوع یاتاقان‌های جدایی‌پذیر (چند تکه) باشند آسان‌تر است بویژه اگر هر دو کنس یاتاقان به صورت پرسی جا بخورد. همچنین استفاده از یاتاقان‌های جدایی‌پذیر برای کاربردهایی که باز و بسته کردن زیاد یاتاقان مورد نیاز است مناسب‌تر است چرا که اجزای یاتاقان جداگانه نصب می‌شوند و احتمال آسیب دیدن آنها حین نصب کمتر است. یاتاقان‌های‌تماس چهارنقطه‌ای، یاتاقان‌های سوزنی، یاتاقان‌های غلتکی استوانه‌ای و مخروطی از نمونه‌های یاتاقان‌های جدایی‌پذیر هستند.

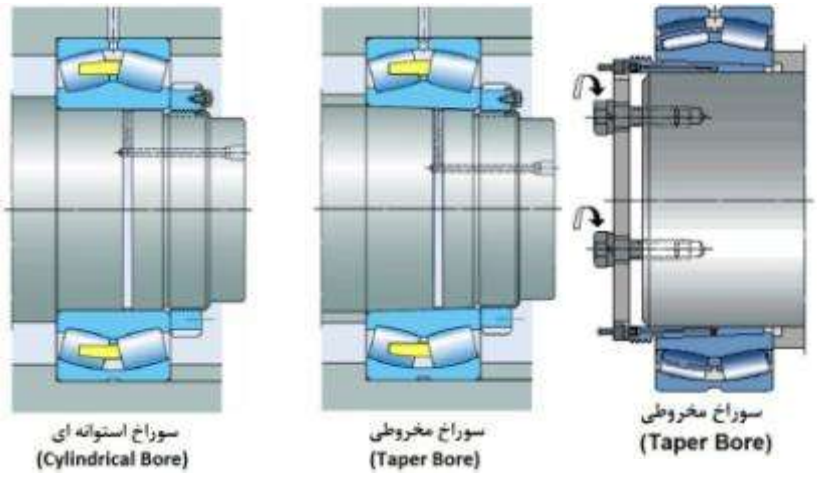


۲- یاتاقان‌های با سوراخ داخلی مخروطی

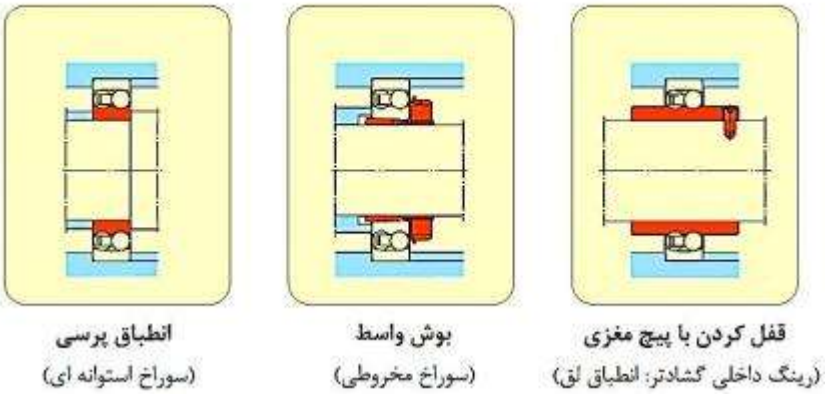
یاتاقان‌های با سوراخ داخلی مخروطی را می‌توان به راحتی بر روی میلمحورهای دارای ناحیه مخروطی متناظر و یا با استفاده از یک بوش واسط مخروطی یا یک بوش پله دار بر روی میلمحورهای استوانه‌ای نصب کرد.



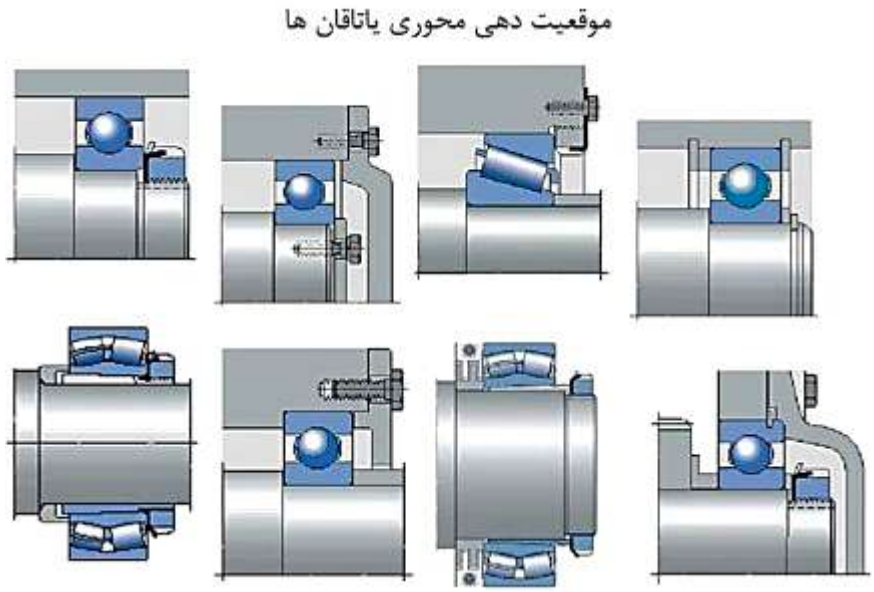
نحوهٔ نصب یاتاقان‌های با سوراخ استوانه‌ای و سوراخ مخروطی بر روی میلمحور (بصورت مستقیم و یا با استفاده از بوش واسط مخروطی) در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده‌است.



روش های مرسوم نصب یاتاقان ها بر روی میلمحور



نمونه‌های دیگری از نصب یاتاقان‌ها:



۱۰- آب بندها (Integral Seals)

انتخاب آب بند مناسب برای یاتاقان اهمیتی حیاتی در کارکرد درست یاتاقان دارد. پیش از این در مورد انواع آب بندها و کد مشخصه آنها توضیح داده شده‌است.

در جدول مقایسه‌ای زیر ویژگی‌های انواع یاتاقان‌ها مقایسه شده‌است و برای انتخاب نوع یاتاقان می‌تواند بسیار مفید باشد.

ب) انتخاب اندازه یاتاقان

پس از انتخاب نوع یاتاقان بایستی یک اندازهٔ اولیه برای آن حدس بزنیم و تحمل استاتیکی و عمر آن را تحت شرایط بارگذاری مساله بررسی کنیم. پس از بررسی نتایج محاسبات اولین اندازه انتخابی ممکن دو حالت رخ بدهد که نحوهٔ برخورد با مساله در هر حالت به صورت زیر است:

۱) درصورتی که ضریب اطمینان استاتیکی یاتاقان با اندازهٔ اولیهٔ حدس زده شده‌از میزان لازم برای کاربرد مورد نظر (طبق توصیهٔ سازنده) کمتر بود یا اینکه عمر محاسبه شده برای کارکرد آن از عمر مطلوب ما کمتر بود در این صورت بایستی یاتاقان دیگری از همان نوع ولی با اندازهٔ بزرگتر را انتخاب و تحمل استاتیکی و عمر آن را بررسی کنیم و این روند را ادامه دهیم تا اندازهٔ مناسب برای یاتاقان را بدست آوریم.

۲) درصورتی که ضریب اطمینان استاتیکی محاسبه شده برای یاتاقان از میزان لازم خیلی بیشتر بود و همچنین عمر محاسبه شده برای کارکرد آن نیز از عمر مطلوب ما خیلی بیشتر بود، در این صورت بایستی یاتاقان دیگری از همان نوع ولی با اندازهٔ کوچکتر را انتخاب و تحمل استاتیکی و عمر آن را بررسی کنیم و این روند را ادامه دهیم تا اندازهٔ مناسب برای یاتاقان را بدست آوریم.

علاوه بر تحمل استاتیکی و عمر یاتاقان بایستی حداقل بار دینامیکی مورد نیاز برای کارکرد یاتاقان را نیز بررسی کرد که درصورت بار اعمالی بر یاتاقان از حداقل بار دینامیکی مورد نیاز کمتر بود بایستی یا به نحوی بار دینامیکی را افزایش داد (مثلاً با پیش بار فنری) یا اینکه از یاتاقان سبک‌تری استفاده کرد. علاوه بر این می‌توان از یاتاقان‌های اصطلاحاً بدون سایش (NoWear) استفاده کرد. در این یاتاقان‌ها کلیهٔ سطوح تماس داخلی با لایه ای از پوشش سرامیکی پوشانده شده‌اند و برای سرعت‌های بالا و دمای کاری بالا مناسب هستند و نیاز به نگهداری کمتری دارند. همچنین حداقل بار دینامیکی مورد نیاز برای کارکرد این نوع یاتاقان کمتر است.

بررسی استاتیکی یاتاقان‌ها

نرخ بار استاتیکی پایه C_0 ***(Basic Static Load Rating):*** مقدار باری است که به لحاظ تئوری اگر بر یاتاقان اعمال شود موجب تغییر شکل دائمی در عضو غلتشی و کنس‌های یاتاقان به میزان 0.0001 قطر عضو غلتشی خواهد شد.

بار استاتیکی معادل P_0 وارد بر یاتاقان تابعی از بارهای محوری و شعاعی اعمالی به یاتاقان می‌باشد که بایستی بر اساس فرمول‌های ارائه شده در کاتالوگ -که برای هر نوع یاتاقان متفاوت است- محاسبه و با نرخ بار استاتیکی پایه C_0 مقایسه شود. برای نمونه در مورد یاتاقان‌های شیارعمیق بار استاتیکی معادل بر اساس کاتالوگ SKF به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{01} = 0.6F_r + 0.5F_a$$

$$P_{02} = F_r$$

$$P_0 = Max(P_{01}, P_{02})$$

در رابطهٔ فوق F_r بار شعاعی و F_a بار محوری وارد بر یاتاقان است در حالتی که میلمحور دارای چرخش آهسته، حرکت نوسانی آهسته و یا ساکن باشد.

ضریب اطمینان استاتیکی S_0 از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود و همواره در انتخاب یاتاقان بایستی چک شود.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

در رابطهٔ فوق C_0 از جداول موجود در کاتالوگ یاتاقان استخراج می‌شود که قسمتی از این جداول برای نمونه در زیر آورده شده‌است.

جدول (۱)

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			KN		KN	r/min		kg	
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	**6404**
22	50	14	14	7,65	0,325	30000	19000	0,12	**62/22**
22	50	14	14	7,65	0,325	-	9000	0,12	**62/22-2RS1**
22	56	16	18,6	9,3	0,39	28000	18000	0,18	**63/22**
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	**61805**
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

در جدول زیر حداقل مقادیر ضریب اطمینان استاتیکی بر اساس شرایط کاری آورده شده‌است. ضریب اطمینان استاتیکی محاسبه شده از رابطهٔ فوق را با مقدار تعیین شده در این جدول مقایسه می‌کنیم و در صورتی که ضریب محاسبه شده بزرگتر از مقدار جدول بود، از نظر استاتیکی یاتاقان قابل قبول است در غیر این صورت بایستی یاتاقان سنگین تری با C_0 بزرگتر انتخاب کنیم.

جدول (۲)

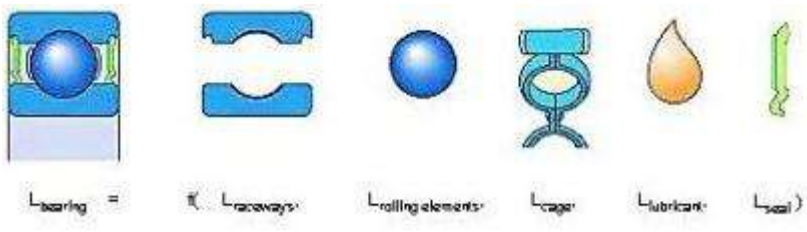
Type of operation	**Rotating** bearing Requirements regarding quiet running						**Non-rotating** Bearing	
	unimportant		Normal		High			
	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller bearings	Ball bearings	Roller Bearings
Smooth, vibration-free	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Pronounced shock loads[1)]	≥1,5	≥2,5	≥1,5	≥3	≥2	≥4	≥1	≥2

For spherical roller thrust bearings it is advisable to use $s_0 \geq 4$, for full complement taper roller bearings (screw-down bearings) $s_0 \geq 2,5$, and for cylindrical and taper roller bearings with steel, pin-type cages $s_0 \geq 2$

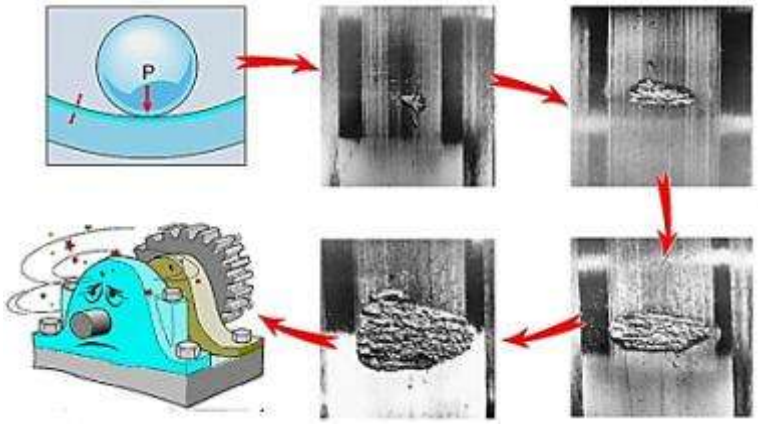
[1] Where the magnitude of the load is not known values of s_0 which are at least as large as those quoted above should be used. If the magnitude of the shock loads is exactly known, smaller values of s_0 can be applied

بررسی عمر یاتاقان‌ها

عمر هر یک از اعضای اصلی یاتاقان بر عمر مفید آن موثر است:



اصلی ترین عامل کاهش عمر یاتاقان خستگی است:



عمر یاتاقان (Bearing Life) (L) در مجموعه‌ای از یاتاقان‌ها که برای آزمایش تحت بار مشخصی قرار گرفته‌اند، برابر است با تعداد دورهایی که رینگ داخلی یاتاقان‌ها دوران می‌کند (یا ساعات کاری که رینگ داخلی آنها با سرعت مشخص دوران می‌کند) تا جایی که، فقط درصد از پیش تعیین شده‌ای از یاتاقان‌ها سالم بماند.

محاسبه عمر پایه یاتاقان

عمر پایه یاتاقان (L10) در مجموعه ای از یاتاقان‌ها که برای آزمایش تحت بار مشخصی قرار گرفته‌اند، برابر است با تعداد دورهایی که رینگ داخلی یاتاقان‌ها دوران می‌کند (یا ساعات کاری که رینگ داخلی آنها با سرعت مشخص دوران می‌کند) تا جایی که، 90 درصد از یاتاقان‌ها سالم بماند (10 درصد معیوب شود).

نرخ بار دینامیکی پایه (Basic Dynamic Load Rating) (**C**) مقدار باری است که با اعمال آن به مجموعه ای از یاتاقان‌های مورد آزمایش، عمر L10برابر یک میلیون دور بدست آید. یعنی پس از اینکه رینگ داخلی یاتاقان‌ها یک میلیون دور زد،90 درصد از یاتاقان‌ها سالم بماند (10 درصد معیوب شود).

رابطه بار و عمر: آزمایش نشان داده است که رابطهٔ بار اعمالی با عمر یاتاقان‌های غلتشی به صورت زیر است:

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^q$$

که در آن برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای (Ball Bearing):

$$q = 3$$

و برای یاتاقان‌های غلتکی (Roller Bearing):

$$q = \frac{10}{3}$$

حال اگر در رابطهٔ فوق قرار دهیم:

$$L_1 = 1000{,}000\ rev$$
$$F_1 = C$$

خواهیم داشت:

$$L_2 = \left(\frac{C}{F_2}\right)^q \times 10^6\ rev$$

که معمولاً این رابطه را به صورت زیر می نویسند:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^q ; \quad \begin{cases} q = 3 & \text{(Ball Bearing)} \\ q = \frac{10}{3} & \text{(Roller Bearing)} \end{cases}$$

در رابطهٔ بالا واحد نیروهای P و C بایستی یکسان باشد و واحد عمر پایه L_{10} محاسبه شده‌از این رابطه بر حسب میلیون دور خواهد بود. اگر رابطه فوق را به صورت زیر بنویسیم، عمر پایه بر حسب ساعت بدست می‌آید:

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \times 10^6}{60 \times n}$$

که در رابطه اخیر n سرعت دورانی متوسط یاتاقان حین کارکرد است (برحسب دور بر دقیقه یا rpm).

نرخ بار دینامیکی پایه (C) در کاتالوگ سازندگان یاتاقان‌ها موجود است و برای محاسبه عمر یک یاتاقان در شرایط کاری معلوم، بایستی تنها P (بار معادل اعمالی به یاتاقان) را محاسبه نموده و در رابطهٔ فوق قرار داد. بار معادل همواره تابعی از بارهای محوری و شعاعی اعمالی به یاتاقان می‌باشند.

در کاتالوگ شرکت‌های سازنده برای محاسبه بار معادل فرمول‌هایی ارائه شده که این فرمول‌ها برای انواع مختلف یاتاقان‌ها متفاوت است. برای نمونه در مورد یاتاقان‌های شیارعمیق SKF داریم:

$$P = F_r \qquad If \quad F_a/F_r \le e$$
$$P = XF_r + YF_a \qquad If \quad F_a/F_r > e$$

که در آن F_a بار محوری و F_r بار شعاعی وارد بر یاتاقان در شرایط کاری مورد استفاده است. پارامتر مقایسه‌ای e و پارامترهای X و Y از جدول زیر استخراج می‌شود:

جدول (۳)

$f_0 F_a/ C_0$	Normal clearance e	X	Y	C3 clearance e	X	Y	C4 clearance e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

در جدول بالا پارامترهای مذکور در سه گروه ارائه شده‌اند گروه اول از چپ، لقی معمولی (**Normal clearance**)، گروه دوم که لقی بیشتری نسبت به اولی دارد، لقی **C3** و آخری که از همه لقی بیشتری دارد لقی **C4** است. هرچه لقی داخلی یاتاقان‌های شیار عمیق بیشتر باشد میزان تحمل بار محوری آنها نیز بیشتر می‌شود (**X**، **Y** و **e** را در یک سطر جدول مقایسه کنید).

برای استفاده از جدول فوق بایستی ابتدا مقدار عبارت $\boldsymbol{f_0F_a/C_0}$ را برای پیدا کردن سطر مربوطه از ستون اول، بدست آورده و براساس آن پارامترهای فوق الذکر را از جدول استخراج نمود. در این عبارت مقدار بار محوری ($\boldsymbol{F_a}$) که از شرایط کاربرد معلوم است. مقدار پارامتر $\boldsymbol{C_0}$ از جدول مشخصات یاتاقان‌ها استخراج می‌شود.

جدول (۱) - تکرار

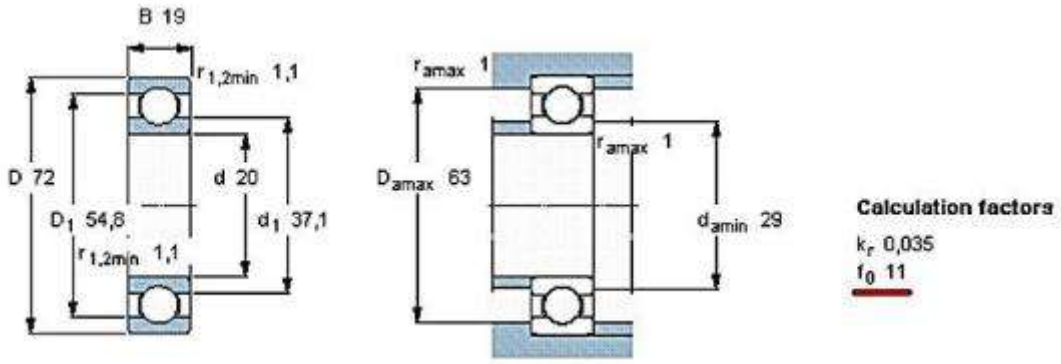
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
d	D	B	**C**	**C_0**	P_u				
mm			KN		KN	r/min		kg	
20	52	21	15,9	7,8	0,335	-	9500	0,2	**62304-2RS1**
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	**6404**
22	50	14	14	7,65	0,325	30000	19000	0,12	**62/22**
22	50	14	14	7,65	0,325	-	9000	0,12	**62/22-2RS1**
22	56	16	18,6	9,3	0,39	28000	18000	0,18	**63/22**
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	**61805**
25	37	7	4,36	2,6	0,125	-	11000	0,022	**61805-2RS1**
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	19000	0,022	**61805-2RZ**
25	42	9	7,02	4,3	0,193	36000	22000	0,045	**61905**

و پارامتر f_0 از اطلاعات موجود در کاتالوگ هر یاتاقان قابل استخراج است برای نمونه:

جدول (۴)

Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			kN		kN	r/min		kg	-
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	**6404**



محاسبهٔ عمر پایهٔ یاتاقان تحت بارهای متغیر با زمان

درصورتی که مقدار و یا راستای بارهای اعمالی به یاتاقان در طول زمان کارکرد متغیر باشد، برای محاسبهٔ عمر دو روش وجود دارد:

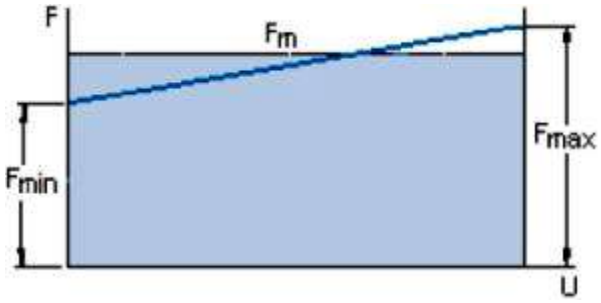
۱) محاسبهٔ بار متوسط و استفاده از آن برای محاسبهٔ عمر

محاسبهٔ بار متوسط با توجه به شرایط مختلف ترکیب بارها، ممکن است از روش‌های متفاوتی صورت بگیرد، در اینجا تنها دو حالت متداول ذکر می‌شود. ضمناً محاسبهٔ بار متوسط در محاسبهٔ ضریب اطمینان استاتیکی نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

الف) محاسبهٔ بار متوسط در شرایط تغییر یکنواخت بار در بازه‌های زمانی

وقتی بار اعمالی به یک یاتاقان مطابق نمودار زیر در بازه‌های زمانی مشخص از یک مقدار مینیمم به یک مقدار ماکزیمم می‌رسد (و یا برعکس)، در این صورت مقدار بار متوسط از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_m = (F_{min} + 2F_{max})/3$$

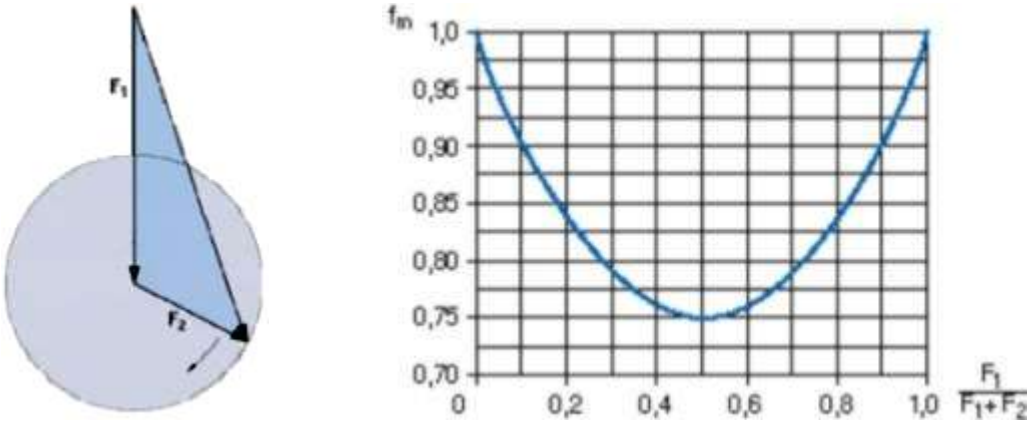


ب) محاسبهٔ بار متوسط در ترکیب بار چرخان و بار ثابت

اگر مطابق شکل زیر یک بار ثابت (هم از نظر مقدار و هم راستا و جهت) (F_1) و یک بار با راستای چرخان و مقدار ثابت (F_2) بر یک یاتاقان اعمال شود بار متوسط از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

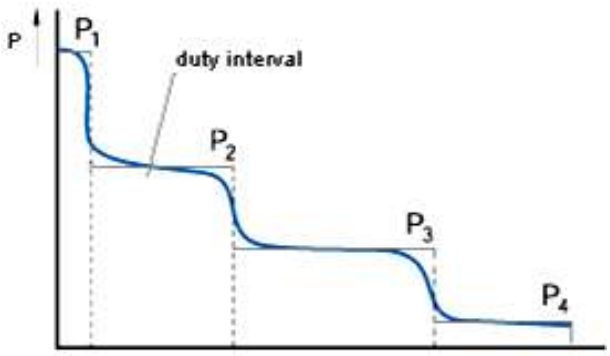
$$F_m = f_m(F_1 + F_2)$$

که در رابطهٔ فوق پارامتر f_m از نمودار زیر بر حسب نسبت $\frac{F_1}{F_1+F_2}$ بدست می‌آید.



۲) محاسبهٔ عمر متوسط

در صورتی که بتوان بازهٔ زمانی کاکرد یاتاقان را به زیربازه‌هایی تقسیم کرد که در طول هر زیربازه‌ها بار اعمالی ثابت باشد می‌توان در هر زیر بازه عمر را برای بار اعمالی در آن زیربازه محاسبه کرد و در نهایت از عمرهای بدست آمده متوسط گیری نمود.



عمر متوسط از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_{10} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10_1}} + \frac{U_2}{L_{10_2}} + \frac{U_3}{L_{10_3}} + \cdots}$$

در رابطهٔ فوق:

L_{10_1} و L_{10_2} و ... عمر یاتاقان تحت بار منفرد P_1 و P_2 و ... است.

U_1 و U_2 و ... نمایانگر کسری از زمان است که بارهای P_1 و P_2 و ... بر یاتاقان اعمال می‌شود و بنابراین بایستی رابطهٔ زیر برقرار باشد:

$$U_1 + U_2 + U_3 + \cdots = 1$$

پرسش نمونه:

لازم است یک یاتاقان با مشخصهٔ ***6404*** تحت سیکل کاری زیر کار کند:

- برای ***25%*** از زمان، تحت بار شعاعی ***7kN*** و سرعت ***2000rpm***
- برای ***20%*** از زمان، تحت بار شعاعی ***1kN*** و سرعت ***500rpm***
- برای ***55%*** از زمان، تحت بار شعاعی ***0.4kN*** و سرعت ***800rpm***

الف) عمر پایهٔ این یاتاقان را برحسب ساعت حساب کنید.

ب) اگر از این یاتاقان در دستگاهی استفاده شود که به طور متوسط در ماه ۲۱ روز و در روز ۸ ساعت کار کند، بر اساس عمر پایه، این یاتاقان چند سال عمر می‌کند؟

پاسخ:

از کاتالوگ ***SKF*** داریم:

$$C = 30.7\ kN$$

طبق فرمول اخیر برای محاسبهٔ عمر متوسط داریم:

$$L_{10} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10_1}} + \frac{U_2}{L_{10_2}} + \frac{U_3}{L_{10_3}} + \cdots} = \frac{1}{\frac{U_1}{\left(\frac{C}{P_1}\right)^q} + \frac{U_2}{\left(\frac{C}{P_2}\right)^q} + \frac{U_3}{\left(\frac{C}{P_3}\right)^q} + \cdots} = \frac{C^q}{U_1 P_1^q + U_2 P_2^q + U_3 P_3^q + \cdots}$$

که با توجه به ساچمه‌ای بودن یاتاقان:

$$q = 3$$

با جایگذاری داریم:

$$L_{10} = \frac{30.7^3}{0.25 \times 7^3 + 0.20 \times 1^3 + 0.55 \times 0.4^3} = 336.5\ MRev$$

برای محاسبهٔ عمر بر حسب ساعت لازم است ابتدا سرعت متوسط را محاسبه کنیم:

$$n_m = u_1 n_1 + u_2 n_2 + u_3 n_3 = 0.25 \times 2000 + 0.20 \times 500 + 0.55 \times 800 = 1040\ rpm$$

بنابراین:

L_{10}

ب) محاسبهٔ عمر بر حسب سال

هر سال ۱۲ ماه و هر ماه ۲۱ روزکاری و هر روز ۸ ساعت کاری است بنابراین هر سال $= 8 \times 21 \times 12$ 2016 ساعت است و بنابراین عمر یاتاقان $2.7\ \text{year} = \frac{5392\ hr}{2016\ \text{hr/year}}$ است.

محاسبه عمر واقعی (اصلاح شده) یاتاقان

عمر واقعی یاتاقان ***(L_{nm})*** عبارت است از عمر یاتاقان در شرایط واقعی کارکرد آن و این عمر با اعمال ضرایبی در عمر پایه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$L_{nm} = a_1 a_{skf} \left(\frac{C}{P}\right)^q \qquad \text{(بر حسب میلیون دور)}$$

$$(L_{nm})_h = \frac{10^6}{60n} L_{nm} \qquad \text{(بر حسب ساعت)}$$

ضریب اصلاح قابلیت اطمینان ***(a_1)***: همانطور که پیش از این نیز اشاره شد عمر پایه یاتاقان با قابلیت اطمینان 90% (خرابی 10% از مجموعه یاتاقان‌های تحت آزمایش) محاسبه می‌شود، درصورتی که در کاربردهای واقعی ممکن است قابلیت اطمینان بالاتری نیاز داشته باشیم. در رابطهٔ محاسبهٔ عمر واقعی ضریب a_1 به همین منظور در نظر گرفته شده‌است و در جدول زیر مقادیر این ضریب به ازای قابلیت اطمینان‌های (و درصد خرابی‌های) مختلف آورده شده‌است.

در حروف لاتین در نظر گرفته شده برای نمایش عمر واقعی حرف n نشان دهندهٔ درصد معیوبی یاتاقان است و حرف m ابتدای کلمهٔ Modified به معنای اصلاح شده‌است. برای مثال عمر واقعی یک یاتاقان با قابلیت اطمینان 95% (خرابی 5%) با L_{5m} نشان داده می‌شود.

جدول (۵)

Values for life adjustment factor a_1

Reliability %	Failure probability %	Rating life L_{nm}	Factor a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,62
96	4	L_{4m}	0,53
97	3	L_{3m}	0,44
98	2	L_{2m}	0,33
99	1	L_{1m}	0,21

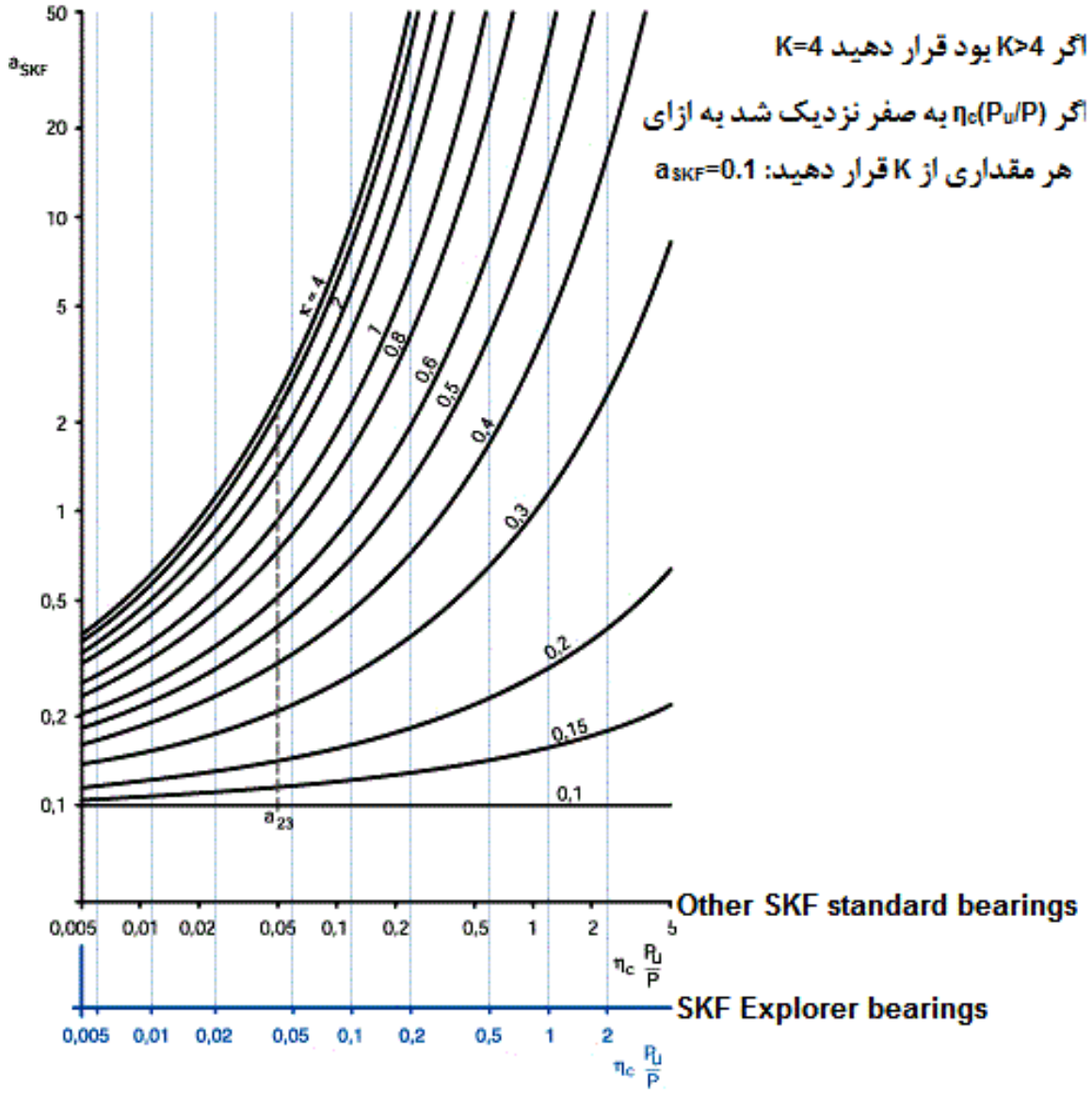
ضریب اصلاح عمر SKF ***(a_{skf})***: بمنظور اعمال شرایط کارکرد یاتاقان که بر عمر آن موثر است ولی در محاسبهٔ عمر پایه اعمال نشده، در نظر گرفته می‌شود و شرایط روانکار مورد استفاده در یاتاقان و وضعیت آلودگی داخلی یاتاقان و حد خستگی موادی که یاتاقان از آن ساخته شده را در محاسبهٔ عمر داخل می‌کند.

ضریب اصلاح عمر SKF (a_{skf}) از نمودار استخراج می‌شود. هر نوع یاتاقان نمودار مخصوص به خود دارد که در زیراین نمودار برای یاتاقان‌های شعاعی ساچمه‌ای آورده شده‌است.

نمودار (۱)

ضریب اصلاح عمر a_{SKF} برای یاتاقان های شعاعی ساچمه ای

Factor a_{SKF} for radial ball bearings



همواره ضریب اصلاح عمر SKF (a_{skf}) نبایستی از عدد ۵۰ بیشتر انتخاب شود. برای بدست آوردن این ضریب از نمودار فوق بایستی ابتدا مقادیر پارامترهای K و $\eta_c \frac{P_u}{P}$ را بدست آورد.

در نمودار فوق محور افقی به دو صورت درجه‌بندی شده‌است. درجه‌بندی بالایی مربوط به یاتاقان‌های استاندارد SKF است درحالی که درجه‌بندی پایینی مربوط به یاتاقان‌های نوین بهبودیافتهٔ این شرکت است که اصطلاحاً به آنها یاتاقان‌های SKF Explorer گفته می‌شود (این یاتاقان‌ها با یک علامت ستاره * در انتهای کد مشخصه شناسایی می‌شوند). بنابراین درصورتی که یاتاقان انتخاب شده از هر یک از دو دستهٔ فوق بود بایستی از محور افقی مربوط به آن استفاده کرد.

محاسبهٔ پارامتر K (نرخ ویسکوزیته)

رابطهٔ محاسبهٔ پارامتر K به صورت زیر است.

$$K = \frac{\upsilon}{\upsilon_1}$$

که در آن:

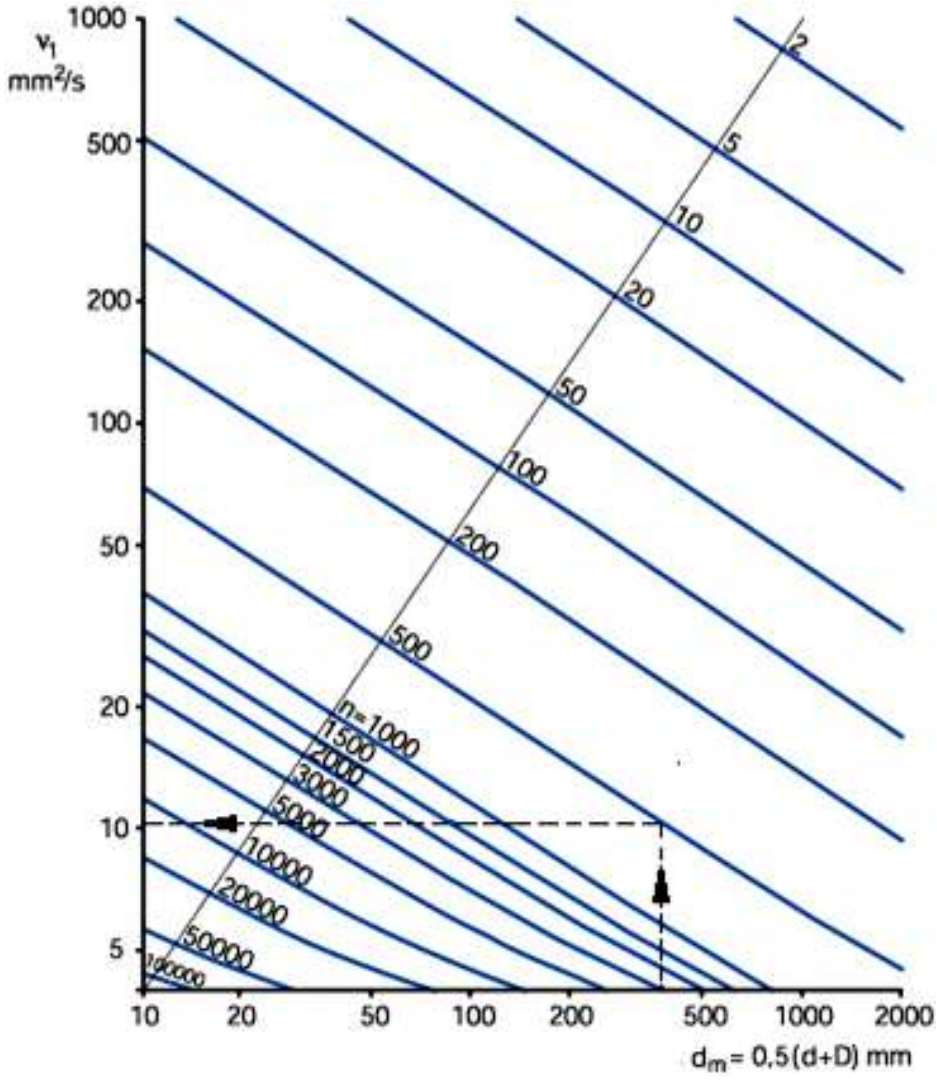
υ : ویسکوزیتهٔ سینماتیکی روانکار مورد نیاز در دمای مرجع $(40°C)$

υ_1 : ویسکوزیتهٔ سینماتیکی روانکار مورد نیاز در دمای کارکرد یاتاقان

ویسکوزیتهٔ سینماتیکی روانکار مورد نیاز در دمای کارکرد یاتاقان (υ_1) به قطر میانگین و سرعت دورانی یاتاقان بستگی دارد و از نمودار زیر بدست می‌آید:

نمودار (۲)

محاسبهٔ ویسکوزیتهٔ سینماتیکی روانکار مورد نیاز در دمای کارکرد یاتاقان (υ_1)



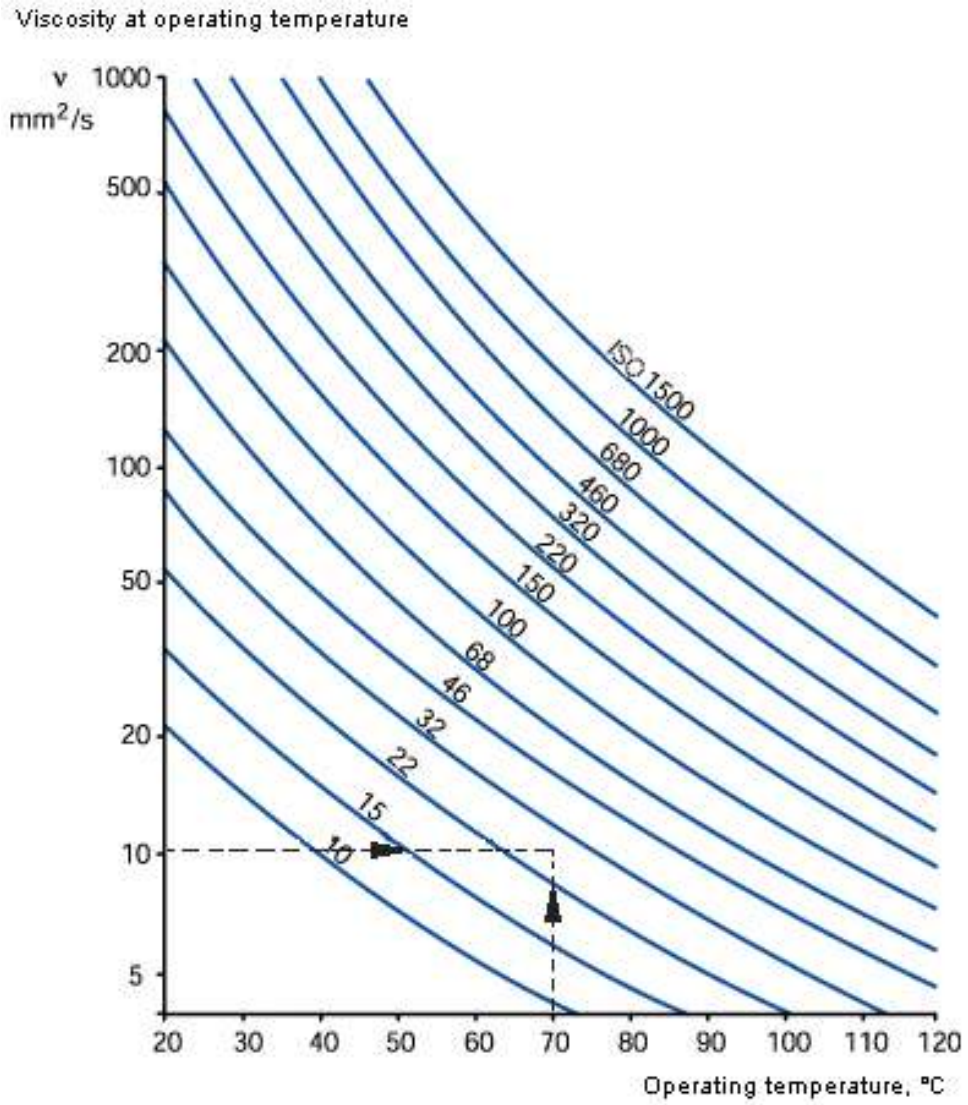
روش استفاده از این نمودار بدین صورت است که ابتدا قطر میانگین یاتاقان (d_m) را محاسبه (حاصل جمع قطر داخلی و خارجی تقسیم بر دو) و در روی محور افقی مشخص می‌کنیم، سپس با توجه به سرعت دورانی یاتاقان یکی از خطوط مورب را انتخاب می‌کنیم و از نقطه‌ای بر روی محور افقی که

تعیین کنندهٔ قطر میانگین است خطی عمودی رسم می‌کنیم تا خط مورب فوق الذکر را قطع نماید. از نقطهٔ تقاطع بدست آمده، خطی افقی رسم می‌کنیم تا محور عمودی را قطع نماید، در این نقطه مقدار υ_1 را از روی محور می‌خوانیم.

حال با استفاده از مقدار بدست آمده برای υ_1 و با آگاهی از دمای کارکرد یاتاقان، شمارهٔ کد استاندارد روغن مناسب را از نمودار زیر استخراج می‌کنیم:

نمودار (۳)

بدست آوردن شمارهٔ کد استاندارد روغن از دمای کاری و ویسکوزیتهٔ سینماتیکی در دمای کارکرد



بدین منظور بایستی مقدار بدست آمده برای υ_1 را بر روی محور قائم و دمای کارکرد یاتاقان را بر روی محور افقی مشخص نموده و از این دو نقطه به ترتیب یک خط افقی و یک خط عمودی رسم کنیم تا یکدیگر را در یک نقطه قطع نمایند، حال عدد نوشته شده بر روی نزدیکترین منحنی بالای نقطه تقاطع را به عنوان شمارهٔ کد استاندارد روغن مناسب اعلام می‌کنیم.

حال با داشتن شمارهٔ کد استاندارد روغن مناسب به جدول زیر مراجعه کرده و پارامتر υ یا ویسکوزیتهٔ سینماتیکی روانکار مورد نیاز در دمای مرجع ($40°C$) را از ستون دوم جدول (زیر عبارت mean) می‌خوانیم (این مقدار تقریباً با مقدار عددی کد استاندارد برابر است) و بدین ترتیب ضریب K را محاسبه می‌کنیم ($K = \frac{\upsilon}{\upsilon_1}$).

جدول (۶)

Viscosity classification to ISO 3448

Viscosity grade	Kinematic viscosity at 40 °C		
	mean	min	max
-	mm^2/s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

محاسبهٔ عبارت $\eta_c \frac{P_u}{P}$

در این عبارت، پارامتر **P** برابر بار معادل دینامیکی است که پیش از این محاسبه شده‌است. پارامتر $\mathbf{P_u}$ حد بار خستگی است که در جداول اصلی یاتاقان‌ها در کاتالوگ موجود است. نمونه‌ای از این جداول در زیر جهت یادآوری تکرار شده‌است.

جدول (۱) - تکرار

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
d	D	B	C	C_0	P_u				
mm			KN		KN	r/min		kg	
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	**6404**
22	50	14	14	7,65	0,325	30000	19000	0,12	**62/22**
22	50	14	14	7,65	0,325	-	9000	0,12	**62/22-2RS1**
22	56	16	18,6	9,3	0,39	28000	18000	0,18	**63/22**
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	**61805**

پارامتر η_c سطح آلودگی در یاتاقان (The Contamination Level In The Bearing) است که بر اساس شرایط کارکرد یاتاقان از نظر میزان آلودگی از جدول زیر محاسبه می‌شود:

جدول (۷)

Guideline values for factor η_c for different level of contamination

Condition	Factor η_c [1)] for bearings with diameter d_m< 100 mm	$d_m \geq$ 100 mm
Extreme cleanliness Particle size of the order of the lubricant film thickness Laboratory conditions	1	1
High cleanliness Oil filtered through extreme fine filter Conditions typical of bearings greased for life and sealed	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Normal cleanliness Oil filtered through fine filter Conditions typical of bearings greased for life and shielded	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Slight contamination Slight contamination in lubricant	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Typical contamination Conditions typical of bearings without integral seals, coarse filtering, wear particles, and ingress from surroundings	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Severe contamination Bearing environment heavily contaminated and bearing arrangement with inadequate sealing	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Very severe contamination (under extreme contamination values of η_c can be outside the scale resulting in a more severe reduction of life than predicted by the equation for L_{nm})	0	0

[1)] The scale for η_c refers only to typical solid contaminants.
Contamination by water or other fluids detrimental to bearing life is not included.
In case of very heavy contamination (η_c = 0), failure will be caused by wear, the useful life of the bearing can be below the rated life.

محاسبه حداقل بار دینامیکی مورد نیاز

وقتی بار دینامیکی وارد بر یاتاقان از حدی کمتر می‌شود روابطی که برای محاسبهٔ عمر کارکرد به کار می‌رود دیگر صادق نخواهد بود. این موضوع بویژه درصورت کارکرد یاتاقان تحت شتاب زیاد و یا با سرعت بالا (بیش از 50% حد سرعت[1]) و یا تغییرات سریع در جهت چرخش، با ایجاد لغزش میان اجزای غلتنده و کنس یاتاقان، مکانیزم‌های خرابی یاتاقان را تغییر می‌دهد. بنابراین بمنظور کارکرد رضایت بخش یاتاقان، بایستی همواره یک بار کمینه‌ای بر آن اعمال شود. یک قاعدهٔ سرانگشتی برای

[1] limiting speed

محاسبهٔ حداقل بار دینامیکی بدین صورت است که برای یاتاقان‌های غلتکی برابر $0.02 \times C$ و برای یاتاقان‌های ساچمه‌ای برابر $0.01 \times C$ تخمین زده می‌شود که با توجه به نوع یاتاقان، این بار می‌تواند شعاعی یا محوری باشد.

در کاتالوگ سازنده برای هر نوع یاتاقان رابطهٔ مشخصی برای محاسبهٔ حداقل بار دینامیکی مورد نیاز ارائه شده (همراه با تعیین شعاعی یا محوری بودن آن) که برای نمونه در مورد یاتاقان‌های شیار عمیق بار دینامیکی مورد نیاز شعاعی است و مطابق کاتالوگ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{rm} = k_r \left(\frac{\nu n}{1000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

که در این رابطه:

k_r ضریب حداقل بار است که از کاتالوگ قابل استخراج می‌باشد.

ν ویسکوزیتهٔ روغن در دمای کاری یاتاقان ($\mathrm{mm^2/s}$) است که در بخش پیشین نحوهٔ استخراج آن از نمودارهای مربوطه تشریح شد.

n سرعت دورانی است (rpm).

d_m قطر متوسط است ($d_m = \frac{d+D}{2}$).

پرسش نمونه ۱:

یاتاقان ساچمه‌ای شیار عمیق به شماره *6206 را در تکیه‌گاهی استفاده نموده‌ایم که در آن مقدار بار شعاعی خالص F_r=2000N و سرعت دورانی n=3000rpm می‌باشد. با فرض دمای کارکرد $T = 60°C$ و شرایط تمیزی معمولی روغن (Normal Cleanliness) مطلوب است:

الف) محاسبه عمر پایه یاتاقان (L_{10}=?)

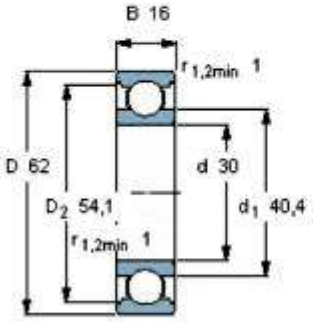
داده‌های مساله:

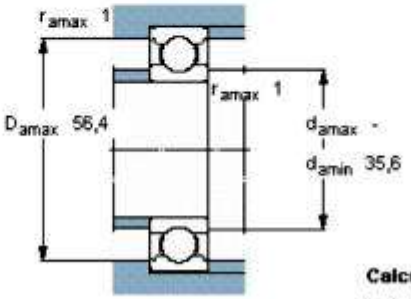
F_r=2000N n=3000rpm $T = 60°C$

برای یاتاقان شماره *6206 از کاتالوگ SKF داریم:

Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				* - SKF Explorer bearing
mm			kN		kN	r/min		kg	-
30	62	16	20,3	11,2	0,475	24000	15000	0,2	**6206** *





Calculation factors

k_r 0,025
f_0 14

d= 30 mm ، D=62 mm

C=20.3 KN ، C_0= 11.2 KN

P_u= 0.48 ، f_o= 14

K_r= 0.025

P=F_r= 2 kN

جایگذاری : $L_{10} = (\frac{20.3}{2})^3 = 1045.68$ (میلیون دور)

$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10} = 5809.3$ (ساعت)

ب) ضریب اطمینان استاتیکی یاتاقان را محاسبه نمایید

$S_0 = \frac{C_o}{P_o} = \frac{11.2}{2} = 5.6$ **(مقایسه با جدول ۲)**

ج) شماره روغن براساس ISO

می‌دانیم :

$$d_m = \frac{1}{2}(d+D) = \frac{1}{2}(30+62) = 46(mm)$$

حال داریم : $d_m = 46(mm)$, $n = 3000(rpm)$ ➔ $v_1 = 11\frac{mm^2}{s}$ **(از نمودار ۲)**

Required viscosity at operating temp.

T= 60 °C

$v_1 = 11\frac{mm^2}{S}$ ➔ ISO VG22 (انتخاب روغن) ➔ $v = 22\frac{mm^2}{S}$ $(at\ T = 40^\circ c)$ **(از نمودار ۳)**

د) مقدار عمر اصلاح شده یاتاقان براساس کاتالوگ SKF را با فرض قابلیت اطمینان 95% محاسبه کنید.

R= 95% L_{nm}=?

L_{5m}=? R= 95%

a_1= 0.62 **(از جدول ۵)** ، $k = \frac{v}{v_1} = \frac{22}{11} = 2$

از 0.5 استفاده میشود ($\eta_c = 0.5,...,0.6$) (از جدول ۷) Normal cleanliness

$$\Rightarrow \eta_c \times \frac{P_u}{P} = 0.12 \rightarrow 0.5\frac{0.48}{2} = 0.12$$

با مراجعه به **نمودار ۱** داریم:

For explorer bearing: $a_{skf} \approx 7$

حال داریم:

$$L_{nm} = a_1 a_{skf} (\frac{C}{P})^q$$

$$L_{5m} = (0.62)(7)(\frac{20.3}{2})^3 = 4538.24 \quad \text{(میلیون دور)}$$

$$L_{5mh} = 25213 \quad \text{(ساعت)}$$

هـ) برای بالبرینگ فوق حداقل بار شعاعی موردنیاز را محاسبه کنید:

$$F_{rm} = K_r \left(\frac{\upsilon_1 \times n}{1000}\right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$$

v_1: oil viscosity at operating temp

$$F_{rm} = (0.025)(\frac{11*3000}{1000})^{2/3}(\frac{46}{100})^2 = 0.054(KN)$$

پرسش نمونه ۲:

بالبرینگ شیار عمیق شماره 6318*برای تکیه‌گاهی با بار شعاعی F_r=8000 (N) و بار محوری F_a=5000(N) مورد استفاده قرار گرفته‌است. سرعت دورانی شافت n= 1500 rpm و دمای کارکرد یاتاقان T=75 °C می‌باشد. وضعیت روغن را بصورت Normal Cleanliness در نظر بگیرید.

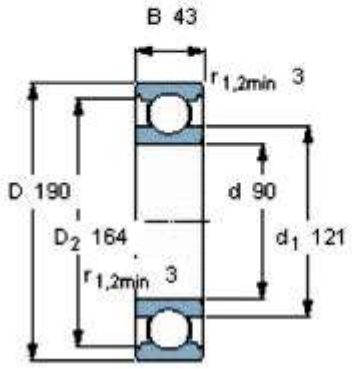
الف) عمر پایه یاتاقان را محاسبه کنید

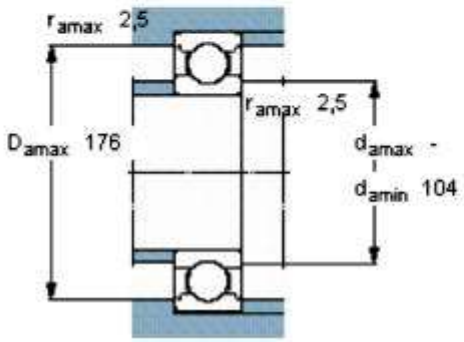
L_{10} , L_{10h}=?

For *6318 (از کاتالوگ SKF)→

Deep groove ball bearings, single row

Principal dimensions			Basic load ratings dynamic	static	Fatigue load limit	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass	Designation
d	D	B	C	C_0	P_u				* - SKF Explorer bearing
mm			kN		kN	r/min		kg	-
90	190	43	151	108	3,8	7500	4800	4,9	**6318** *





Calculation factors

k_r 0,03
f_0 13

d= 90 mm

D=190 mm C= 151 KN

C_0= 108 KN P_u= 3.8 KN

K_r= 0.03 f_o= 13

$$f_o \frac{F_a}{C_o} = (13)\frac{5000}{108000} = 0.602$$

→ e=0.25 , X=0.56 , Y=1.78 (از جدول ۳ با میانیابی)

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{5000}{8000} = 0.625 > e \Rightarrow P = XF_r + YF_a$$

$$\Rightarrow P = 13380(N) \Rightarrow L_{10} = (\frac{C}{P})^q = (\frac{151}{13.38})^3 = 1437.35 \text{ (million Rev.)}$$

$$(L_{10})_h = \frac{10^6}{60n} \times L_{10} = 15970.6 \quad \text{ساعت}$$

ب) ضریب اطمینان استاتیکی

P_{01}= 0.6 F_r+0.5 F_a = 7300 (N)

P_{02}= F_r = 8000 N

P_0 = Max (P_{01}, P_{o2}) = 8000 (N)

$$S_0 = \frac{C_o}{P_o} = \frac{108KN}{8KN} = 13.5 \quad ok$$

(مقایسه با جدول ۲)

ج) مقدارعمر اصلاح شده با قابلیت اعتماد 90%

$(R= 90\%)$ L_{10m} , $L_{10\,mh}$= ?

d_m= 140 mm

n= 1500 rpm → υ_1= 9 (mm^2/s) (از نمودار ۲)

T=75°C → ISO VG 32 (از نمودار ۳)

$$K = \frac{v}{v_1} = \frac{32}{9} = 3.6$$

(Normal cleanliness حالت) → $\eta_c = 0.6$ (از جدول ۷)

d_m>100 mm

$$\Rightarrow \eta_c \frac{P_u}{P} = (0.6)\frac{3.8}{13.38} = 0.17$$

نمودار ۱ → $a_{SKF} \approx 20$

R=90% → a_1= 1

$$L_{10m} = (1)(20)(\frac{151}{13.38})^3 = 28746.9$$ میلیون دور

L_{10mh}=31941.0 (ساعت)

د) محاسبه حداقل بار شعاعی ? =F_{rm}

$$F_{rm} = (0.03)(\frac{9*1500}{1000})^{\frac{2}{3}}(\frac{140}{100})^2 = 0.333KN$$

تمرین:

در صورت امکان بالبرینگ شیار عمیق ساده‌ای برای شرایط تکیه‌گاهی ذیل انتخاب نمایید:

F_r=6000 (N) d= 75 mm

F_a = 4700 (N) n= 2000 rpm

همچنین نوع ماشین ایجاب می نماید که حداقل عمر مطلوب برای یاتاقان 40000 ساعت و قابلیت اعتماد R=96% باشد.

Slight Contamination: سطح آلودگی روغن

$T = 60^oC$ (دمای کارکرد یاتاقان)