

**بسم الله الرحمن الرحيم**



**گزارش پروژه طراحی اجزا (۲)**

**طراحی گیربکس جرثقیل سقفی**

**استاد درس:**

**دکتر محمدحسین قاجار**

**طراحان:**

**محمد رضا جلیلی\_9626003**

**محمد خراسانی\_9626573**

**سینا تقی زاده\_9625793**

**خرداد 1399**

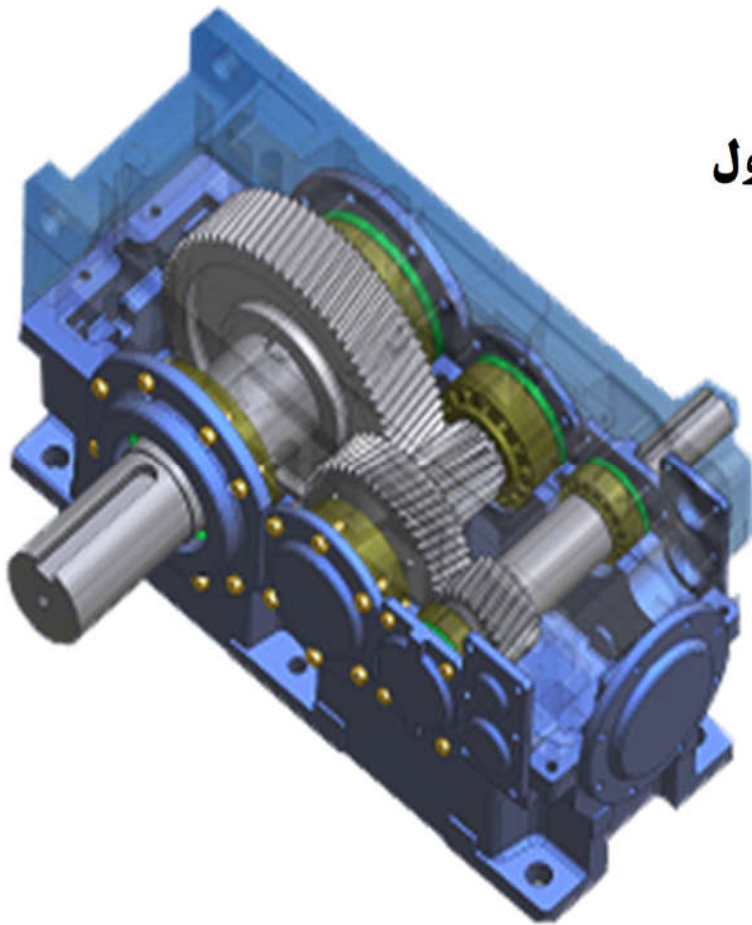
## تشخیص نیاز:

در صنعت بسیاری مواقع لازم است که در سالن هایی قطعاتی را مونتاژ کنند یا محصولاتی را جابجا کنند.

اگر این قطعات و محصولات که لازم است به حرکت واداشته شوند، از یک مقدار معینی سنگین تر باشند (برای مثال در شرکت های خودروسازی) که انسان نتواند آنها را جابجا کند، لازم است ابزاری وجود داشته باشد تا این کار را انجام دهد.

لذا با توجه به ضرورت وجود چنین ابزاری، جرثقیل های سقفی با انواع مختلفی و ابعاد متفاوتی طراحی و ساخته می شوند.





**نمای کلی گیربکس های معمول**

**در جرثقیل های سقفی**

### **تعریف مسئله:**

در این پروژه ما قصد داریم با بهره جویی از استاندارد های AGMA و CMAA74، گیربکس جرثقیل سقفی را طراحی کنیم که دارای مشخصات زیر باشد:

حداکثر ظرفیت جرثقیل :  $1360 \text{ kg} = 2999 \text{ (lb)}$

سرعت خطی حمل بار =  $20 \text{ m/min} = 787.4 \text{ in/min}$

## استراتژی کلی:

از انجایی که بسیاری از مطلوبات طراحی به ما داده نشده است؛ ما نیاز به یکسری حدس زدن ها و انتخاب های اولیه و ایجاد یک استراتژی درست و مناسب برای درگیر شدن با این مسئله ی خاص داشتیم.

پس از بررسی های فراوان و ازمون خطاهای بسیار به استراتژی معنی دار زیر برای این طراحی رسیدیم :

1. انتخاب الکتروموتور (براساس داده های مسئله)
  2. تخمین قطر شفت خروجی (حدس)
  3. یافتن نسبت تبدیل و تعداد دندانه های چرخ دنده ها و بررسی عملکرد الکتروموتور انتخابی در قسمت 1
  4. طراحی کامل چرخدنده ها
  5. ترسیم طرح کلی جعبه دنده
  6. طراحی کامل شفت ها به طور کامل بر اساس استحکام و تغییر شکل و بررسی قطر شفت حدسی در قسمت 2
  7. طراحی و انتخاب کامل یاتاقان ها
  8. ایجاد نقشه های مهندسی برای ساخت
- در ادامه بر اساس این استراتژی کلی به پیش میرویم.

# شروع طراحی

## مرحله 1 (انتخاب الکتروموتور)

در اینجا میتوانیم توان مورد نیاز الکتروموتور را براساس باری که میخواهد جابجا کند و سرعت بار بدست آوریم.

البته این الکترو موتور در مراحل بعدی هم راستی آزمایی خواهد شد.

$$H=f*v=1360*9.81*20/60=4.45kW=5.96hp$$

انتخاب الکتروموتور از شرکت موتوژن تبریز:

الکتروموتورهای سه فاز صنعتی تک دور یا فریم آلومینیومی مطابق با استانداردهای IEC ، روتور قفس سنجایی ، درجه حفاظت IP54 (۱) ، مناسب برای کاردانم ، روش تهویه IC411 با پروانه خنک کننده و پره های روتور ، کلاس حرارتی F، فرکانس کار 50HZ و ولتاژ نامی 380V (۲)

| نوع پایه دار    | وزن برای | ممان اینرسی | گشتاور شکست | گشتاور راه اندازی | گشتاور راه اندازی | جریان نامی | ضریب قدرت | راندمان | گشتاور | جریان نامی    | سرعت | ولتاژ نامی  | قدرت خروجی |      | اندازه | تایپ   |
|-----------------|----------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|------------|-----------|---------|--------|---------------|------|-------------|------------|------|--------|--------|
|                 |          |             |             |                   |                   |            |           |         |        |               |      |             | KW         | HP   |        |        |
| 3000 RPM-2 POLE | 2.5      | 0.000090    | 3.9         | 3.5               | 3.1               | 0.56       | 58        | 0.56    | 0.3    | 0.73Δ / 0.42Y | 2840 | 220Δ / 380Y | 0.09       | 0.12 | 56     | 56-2A  |
|                 | 3.4      | 0.000105    | 3.8         | 3.8               | 4.1               | 0.61       | 60        | 0.61    | 0.4    | 0.86Δ / 0.50Y | 2835 | 220Δ / 380Y | 0.12       | 0.16 | 56     | 56-2B  |
|                 | 4        | 0.000149    | 3.0         | 3.2               | 3.9               | 0.70       | 64        | 0.70    | 0.63   | 1.06Δ / 0.61Y | 2750 | 220Δ / 380Y | 0.18       | 0.25 | 63     | 63-2A  |
|                 | 4.6      | 0.000184    | 3.9         | 3.7               | 5                 | 0.73       | 65        | 0.73    | 0.85   | 1.4Δ / 0.8Y   | 2825 | 220Δ / 380Y | 0.25       | 0.33 | 63     | 63-2B  |
|                 | 6        | 0.000383    | 2.6         | 2.4               | 4.7               | 0.80       | 70        | 0.80    | 1.25   | 1.74Δ / 1Y    | 2825 | 220Δ / 380Y | 0.37       | 0.50 | 71     | 71-2A  |
|                 | 6.9      | 0.000463    | 3.0         | 2.8               | 5.2               | 0.72       | 74        | 0.72    | 1.86   | 2.71Δ / 1.57Y | 2830 | 220Δ / 380Y | 0.55       | 0.75 | 71     | 71-2B  |
|                 | 8.8      | 0.000718    | 2.6         | 2.6               | 4.4               | 0.79       | 70        | 0.79    | 2.56   | 3.6Δ / 2.1Y   | 2795 | 220Δ / 380Y | 0.75       | 1.0  | 80     | 80-2A  |
|                 | 10.4     | 0.000889    | 3.1         | 3.1               | 5.7               | 0.82       | 77        | 0.82    | 3.72   | 4.6Δ / 2.65Y  | 2825 | 220Δ / 380Y | 1.1        | 1.5  | 80     | 80-2B  |
|                 | 13.3     | 0.001483    | 2.6         | 2.3               | 5.9               | 0.87       | 80        | 0.87    | 5.06   | 5.7Δ / 3.3Y   | 2830 | 220Δ / 380Y | 1.5        | 2.0  | 90L    | 90L2A  |
|                 | 15.4     | 0.001816    | 2.7         | 2.5               | 6.3               | 0.88       | 81        | 0.88    | 7.42   | 8.1Δ / 4.7Y   | 2830 | 220Δ / 380Y | 2.2        | 3.0  | 90L    | 90L2B  |
|                 | 20.2     | 0.002998    | 2.9         | 2.9               | 6.8               | 0.87       | 84        | 0.87    | 10.01  | 10.8Δ / 6.2Y  | 2860 | 220Δ / 380Y | 3          | 4.0  | 100L   | 100L2  |
|                 | 27.0     | 0.005326    | 3.4         | 2.6               | 7.1               | 0.86       | 86        | 0.86    | 13.2   | 8.2Δ / 4.75Y  | 2895 | 380Δ / 660Y | 4          | 5.5  | 112M   | 112M2  |
|                 | 39.7     | 0.011716    | 2.9         | 2.4               | 6.2               | 0.86       | 86        | 0.86    | 18.14  | 11.3Δ / 6.5Y  | 2895 | 380Δ / 660Y | 5.5        | 7.5  | 132M   | 132M2A |
|                 | 44.9     | 0.014361    | 3.2         | 2.8               | 7.2               | 0.85       | 88        | 0.85    | 24.65  | 15.2Δ / 8.8Y  | 2905 | 380Δ / 660Y | 7.5        | 10   | 132M   | 132M2B |
|                 | 71.5     | 0.035588    | 2.9         | 2.8               | 7.5               | 0.88       | 89        | 0.88    | 35.73  | 21.3Δ / 12.3Y | 2940 | 380Δ / 660Y | 11         | 15   | 160L   | 160L2A |
|                 | 87.7     | 0.045925    | 3.1         | 2.2               | 8.1               | 0.91       | 91        | 0.91    | 48.97  | 27.8Δ / 16Y   | 2925 | 380Δ / 660Y | 15         | 20   | 160L   | 160L2B |
|                 | 90       | 0.053162    | 2.5         | 3.5               | 8.4               | 0.85       | 91        | 0.85    | 60.1   | 36.3Δ / 21Y   | 2940 | 380Δ / 660Y | 18.5       | 25   | 160L   | 160L2C |
| 1500 RPM-4 POLE | 2.7      | 0.000148    | 2.8         | 2.7               | 2.3               | 0.63       | 53        | 0.63    | 0.42   | 0.47Δ / 0.27Y | 1380 | 220Δ / 380Y | 0.06       | 0.08 | 56     | 56-4A  |
|                 | 3.6      | 0.000172    | 2.4         | 2.5               | 2.8               | 0.67       | 54        | 0.67    | 0.64   | 0.65Δ / 0.38Y | 1335 | 220Δ / 380Y | 0.09       | 0.12 | 56     | 56-4B  |
|                 | 4.1      | 0.000222    | 2.1         | 1.9               | 2.8               | 0.77       | 57        | 0.77    | 0.85   | 0.72Δ / 0.42Y | 1350 | 220Δ / 380Y | 0.12       | 0.16 | 63     | 63-4A  |
|                 | 4.6      | 0.000279    | 2.2         | 2.2               | 3.0               | 0.70       | 58        | 0.70    | 1.27   | 1.2Δ / 0.67Y  | 1350 | 220Δ / 380Y | 0.18       | 0.25 | 63     | 63-4B  |
|                 | 5.8      | 0.000612    | 2.4         | 2.3               | 3.7               | 0.70       | 65        | 0.70    | 1.71   | 1.4Δ / 0.83Y  | 1400 | 220Δ / 380Y | 0.25       | 0.33 | 71     | 71-4A  |
|                 | 6.6      | 0.000744    | 2.2         | 2.1               | 4.1               | 0.71       | 69        | 0.71    | 2.54   | 2Δ / 1.15Y    | 1390 | 220Δ / 380Y | 0.37       | 0.50 | 71     | 71-4B  |
|                 | 8.8      | 0.001134    | 2.3         | 2.0               | 4.1               | 0.76       | 70        | 0.76    | 3.78   | 2.72Δ / 1.6Y  | 1390 | 220Δ / 380Y | 0.55       | 0.75 | 80     | 80-4A  |
|                 | 10.0     | 0.001424    | 2.4         | 2.4               | 4.3               | 0.76       | 70        | 0.76    | 5.17   | 3.7Δ / 2.15Y  | 1385 | 220Δ / 380Y | 0.75       | 1.0  | 80     | 80-4B  |
|                 | 12.5     | 0.002385    | 2.2         | 1.9               | 4.6               | 0.80       | 77        | 0.80    | 7.53   | 4.7Δ / 2.7Y   | 1395 | 220Δ / 380Y | 1.1        | 1.5  | 90L    | 90L4A  |
|                 | 14.9     | 0.003001    | 2.7         | 2.4               | 4.9               | 0.78       | 79        | 0.78    | 10.2   | 6.4Δ / 3.7Y   | 1405 | 220Δ / 380Y | 1.5        | 2.0  | 90L    | 90L4B  |
|                 | 19       | 0.004613    | 2.5         | 2.1               | 5.2               | 0.80       | 81        | 0.80    | 14.9   | 8.9Δ / 5.15Y  | 1410 | 220Δ / 380Y | 2.2        | 3.0  | 100L   | 100L4A |
|                 | 22.9     | 0.006274    | 2.7         | 2.5               | 5.6               | 0.79       | 83        | 0.79    | 20.25  | 12Δ / 6.95Y   | 1415 | 220Δ / 380Y | 3          | 4.0  | 100L   | 100L4B |
|                 | 30.9     | 0.011467    | 2.6         | 2.3               | 6.0               | 0.84       | 85        | 0.84    | 26.9   | 8.5Δ / 4.9Y   | 1420 | 380Δ / 660Y | 4          | 5.5  | 112M   | 112M4  |
|                 | 44.8     | 0.024381    | 2.3         | 2.1               | 5.4               | 0.83       | 86        | 0.83    | 36.73  | 11.7Δ / 6.75Y | 1430 | 380Δ / 660Y | 5.5        | 7.5  | 132M   | 132M4A |
|                 | 53.5     | 0.031417    | 2.7         | 2.5               | 6.7               | 0.82       | 88        | 0.82    | 49.56  | 15.8Δ / 9.1Y  | 1445 | 380Δ / 660Y | 7.5        | 10   | 132M   | 132M4B |
|                 | 81.7     | 0.062502    | 2.1         | 2.2               | 6.0               | 0.83       | 89        | 0.83    | 72.2   | 22.6Δ / 13Y   | 1455 | 380Δ / 660Y | 11         | 15   | 160L   | 160L4A |
|                 | 97       | 0.080486    | 2.3         | 2.0               | 6.7               | 0.85       | 90        | 0.85    | 98.45  | 29.8Δ / 17.2Y | 1455 | 380Δ / 660Y | 15         | 20   | 160L   | 160L4B |

الکتروموتور سه فاز صنعتی با فرم آلومینیومی 4 قطعه 132M4A

قدرت خروجی = 7.5 hp

دور = 1430 RPM

راندمان = 0.86

→  $H = 7.5 \cdot 0.86 = 6.45 \text{ hp}$

که نزدیک ترین الکتروموتور به مطلوب ما میباشد.

### مرحله 2 (حدس قطر شفت خروجی)

$$D_3 = 2i_n = 50.8 \text{ mm}$$

در واقع این حدس دومین حدس ما برای طراحی است و حدس اول ما 2.5 اینچ بود که پس از انجام طراحی متوجه شدیم بیش از اندازه آنرا بزرگ گرفته و طراحی over design شده بود که مطلوب ما نبود. در انتها خواهیم دید که این حدس دوم ما دقیقا با قطر شفتی که از محاسبات بدست می آید دقیقا برابر خواهد بود! در این پروژه حدس های اولیه ی نادرست که منجر به نتایج نامطلوب شده بودند را به دلیل صرفه جویی در فضا و زمان ذکر نکردیم و تنها حدس های نهایی و صحیح را آورده ایم.

### مرحله 3 (یافتن نسبت تبدیل و تعداد دندانه ها و بررسی عملکرد)

#### الکتروموتور انتخابی در قسمت 1)

یافتن سرعت زاویه شفت خروجی:



$$\frac{D_3}{2} \omega_5 = V$$

$$\omega_5 = \frac{787.4 \times 2}{2} \times \frac{1}{2\pi} = 125.3 \text{ rpm}$$

یافتن نسبت تبدیل گیربکس:

$$e = \frac{125.3}{1430} = \frac{1}{11.41}$$

چون در تصاویری که از گیربکس جرثقیل سقفی دیده ایم و در ابتدای گزارش نیز آورده ایم شفت های ورودی و خروجی در یک راستا نبودند و البته لزومی هم به اینکار نیست همچنین به دلیل قطور تر بودن شفت خروجی، چرخدنده ی آن نیز نسبت به باقی چرخدنده ها بزرگتر بوده اند ما نیز نسبت تبدیل بزرگتری را برای 2 چرخدنده ی انتهایی نسبت به 2 چرخدنده ی ابتدایی در نظر میگیریم تا به واقعیت نزدیک تر باشیم.

$$e = \frac{1}{11.41} = \frac{1}{4.5} \times \frac{1}{2.54} \quad \longrightarrow \quad \frac{N_2}{N_3} = \frac{1}{2.54} \quad \frac{N_4}{N_5} = \frac{1}{4.5}$$

برای دو چرخدنده ی ابتدایی (2 و 3) برای دو چرخدنده ی انتهایی (4 و 5)

یافتن Min تعداد دندانه های پینیون ها (چرخدنده های 2 و 4)

بر اساس فرمول موجود برای کمترین تعداد دندانه ی پینیون:

$$N_p = (2 / ((1 + 2 * m) * 0.11697777844051097)) * (m + (m ** 2 + (1 + 2 * m) * 0.1169) ** .5)$$

$$N_2 = 15 \quad \longrightarrow \quad N_3 = 38$$

$$\left. \begin{array}{l} N_2 = 15 \\ N_3 = 38 \end{array} \right\} \longrightarrow e = \frac{15 \times 16}{38 \times 72} = \frac{1}{11.4}$$

7

$$N_4 = 16 \quad \longrightarrow \quad N_5 = 72$$

$\Phi = 20$   
 (بدلیل مرسومیت)  
 Full depth  
 فرض ها

$$\omega_3 = \omega_4 = \frac{15}{38} \times 1430 = 564.5 \text{ rpm}$$

یافتن گشتاور های هر شفت:

$$T_2 = \frac{H}{\omega} = \frac{7.5 \times 0.86}{1430} \times \frac{33000}{2\pi} = 23.7 \text{ lbf.ft}$$

$$T_3 = T_4 = T_3 \times \frac{\omega_2}{\omega_3} = 60 \text{ lbf.ft}$$

$$T_5 = T_2 \frac{\omega_2}{\omega_5} = 270.4 \text{ lbf.ft}$$

جمع بندی این بخش:

|            |            |                               |                                 |
|------------|------------|-------------------------------|---------------------------------|
| $N_2 = 15$ | $N_3 = 38$ | $\omega_2 = 1430$             | $T_2 = 23.7 \text{ lbf.ft}$     |
| $N_4 = 16$ | $N_5 = 72$ | $\omega_3 = \omega_4 = 564.5$ | $T_3 = T_4 = 60 \text{ lbf.ft}$ |
|            |            | $\omega_5 = 125.3$            | $T_5 = 270.4 \text{ lbf.ft}$    |

راستی آزمایی الکتروموتور انتخابی بر اساس گشتاور:

$$T_{\text{مورد نیاز برای بالا آوردن بار}} = 2999 \times \frac{2}{2} = 2999 \text{ lbf.in} = 250 \text{ lbf.ft}$$



که کمتر از T5 محاسبه شده میباشد پس الکترو موتور توانایی بالابردن بار را به راحتی خواهد داشت.

### مرحله 4 (طراحی کامل چرخدنده ها)

از چرخدنده 4 شروع میکنیم چون نیروی وارد به آن از چرخدنده ی 2 بیشتر بوده و نسبت به چرخدنده های 3 و 5 کوچکتر است لذا چرخدنده ی بحرانی ما میباشد.

انتخاب گام قطری: چون محدودیتی روی اندازه ی کل گیربکس نداریم هر گام قطری بخواهیم میتوانیم استفاده کنیم و اگر مناسب نبود عوض میکنیم. منتها چون نمیخواهیم ابعاد خیلی هم بزرگ شود از یک گام قطری معمولی و نه خیلی کوچک که منجر به بزرگ شدن بیش از اندازه گیربکس شود استفاده میکنیم.

$$\rho = 6 \text{ teeth/in}$$

قطرهای چرخدنده ها:

$$d_2 = 15/6 = 2.5 \text{ in}$$

$$d_3 = 38/6 = 6.34 \text{ in}$$

$$d_4 = 16/6 = 2.67 \text{ in}$$

$$d_5 = 72/6 = 12 \text{ in}$$

همچنین چون  $3\rho < F < 5\rho$

$$F = 4 \frac{\pi}{\rho} = 2.09 \quad \longrightarrow \quad 2 \text{ in موجود در بازار}$$

### طراحی چرخدنده 4:

در استاندارد CMAA74 درباره ی عمر چرخدنده ها چیزی نگفته بود ولی عمر بلبرینگ ها را 5000h داده بود ولی چون چرخدنده عضو مهمتر و گرانتری میباشد و

در صورت خراب شدن مجموعه را دچار مشکل بزرگتری میکند؛ ما عمر آن را طبق استاندارد کتاب شیگلی 12000 ساعت در نظر میگیریم.

در رابطه با ضریب اطمینان استاندارد CMAA74 ضریب اطمینان را 1.35 در نظر گرفته بود که ما برای محکم کاری 1.4 در نظر گرفتیم.

در این قسمت به علت زیاد بودن حجم محاسبات برای محاسبه ی تنش های خمشی و سایشی چرخنده ها از برنامه نویسی بهره جسته ایم و نتایج را در اینجا آورده ایم:

$$V45 = 394.58796428169506$$

$$Wt45 = 539.4234474117084$$

$$I = 0.1314792837818182$$

$Q_v$  طبق توصیه ی استاندارد CMAA74 باید از 5 به بالا گرفته میشد که ما آنرا 5 در نظر گرفتیم.

$$K_v = 1.3272385007570895$$

$$K_o = 1.5$$

منبع توان یکنواخت و بار ضربه ای متوسط

$$C_{pf} = 0.06240636704119851$$

$$C_{ma} = 0.158228$$

$$K_m = 1.2206343670411985$$

$$Z_c = 99381.687013657$$

تنش سایشی

$$Z_n = 0.8654795552665133$$

$$C_h = 1$$

$$S_c = 160759.84807783837$$

فولاد درجه دو تماما سخت کاری شده تا 360HB → انتخاب جنس →

$$S_c = 160000 \text{ psi}$$

$$S_t = 53120 \text{ psi}$$

با این فولاد انتخاب شده داریم.

→  $n_c = 1.39$  (ضریب اطمینان برای سایش)

$$K_b = 1$$

$$J = 0.27$$

$$Z = 14565.088724901601$$

$$Y_n = 0.9199674461285343$$

$$S = 48868.67073834774$$

→  $n_s = 3.35$  (ضریب اطمینان خمشی)

### طراحی چرخنده 5:

همان ماده ی انتخابی برای چرخنده 4 را انتخاب میکنیم.

$$I = 0.1314792837818182$$

$$K_v = 1.3272385007570895$$

$$C_{pf} = 0.06240636704119851$$

$$C_{ma} = 0.158228$$

$$K_m = 1.2206343670411985$$

$$Z_c = 99381.687013657$$

$$Z_n = 0.9173885264610313$$

$$C_h = 1$$

$$Sc = 160000$$

$$Z_{call} = 146782.164233765$$

$$\longrightarrow N_c = 1.48$$

$$K_b = 1$$

$$J = 0.415$$

$$Z = 9476.08182102032$$

$$Y_n = 0.9550039758486829$$

$$Z_{all} = 50729.81119708204$$

$$\longrightarrow N_s = 5.35$$

### طراحی چرخدنده 2:

برای چرخدنده های 2 و 3 که کمتر در معرض خطر هستند  $F = 1.5$  را انتخاب میکنیم. علاوه بر این برای این دو چرخدنده ی 2 و 3 بهتر است جنس ضعیف تری انتخاب کنیم چرا که کمتر در معرض خطر هستند.

جنس: فولاد درجه 1 تماماً سخت کاری شده تا 360HB

$$Sc = 145020 \text{ psi}$$

$$St = 40628 \text{ psi}$$

با این فولاد انتخاب شده داریم.

$$V_{23} = 935.9328113819593$$

$$W_{t23} = 227.42017099038827$$

$$I = 0.1153022972022599$$

$$K_v = 1.5007643469128469$$

$$C_{pf} = 0.04125$$

$$C_{ma} = 0.15049075$$

$$K_m = 1.1917407500000001$$

$$Z_c = 86397.36341298482$$

$$Z_n = 0.8351594311673876$$

$$C_h = 1$$

$$S_c = 145020$$

$$Z_{call} = 121114.82070789454$$

$$N_c = 1.4 \text{ (ضریب اطمینان سایشی)}$$

$$K_b = 1$$

$$J = 0.25$$

$$Z = 9761.903652250314$$

$$Y_n = 0.8990305412971027$$

$$Z_{all} = 36525.81283181869$$

$$N_s = 3.74 \text{ (ضریب اطمینان خمشی)}$$

**طراحی چرخدنده 3:**

همان ماده ی انتخابی برای چرخدنده 2 و 1.5 = F

$$I = 0.1153022972022599$$

$$K_v = 1.5007643469128469$$

$$C_{pf} = 0.04125$$

$$C_{ma} = 0.15049075$$

$$K_m = 1.1917407500000001$$

$$Z_c = 86397.36341298482$$

$$Z_n = 0.918335808736232$$

$$Ch = 1$$

$$Sc = 145020$$

$$Z_{call} = 133177.05898292837$$

$$N_c = 1.54 \text{ (ضریب اطمینان سایشی)}$$

$$K_b = 1$$

$$J = 0.365$$

$$Z = 6686.23537825364$$

$$Y_n = 0.8872363671150082$$

$$Z_{all} = 36046.639123148554$$

$$N_s = 5.4 \text{ (ضریب اطمینان خمشی)}$$

گام قطری انتخابی مناسب بوده و طراحی چرخنده ها در این قسمت به پایان میرسد.

## مرحله 5 (ترسیم طرح کلی جعبه دنده )

شفت ها را به دلیل سادگی و قابل انجام بودن تحلیل تغییر شکل آنها به روش تحلیلی و نه روش های عددی، جز در محل یاتاقان ها یکنواخت فرض کرده ایم که به دلیل ممان صفر در این محل ها تاثیری در تحلیل نخواهد داشت. که برای عملکرد بهتر است اینگونه نباشد.

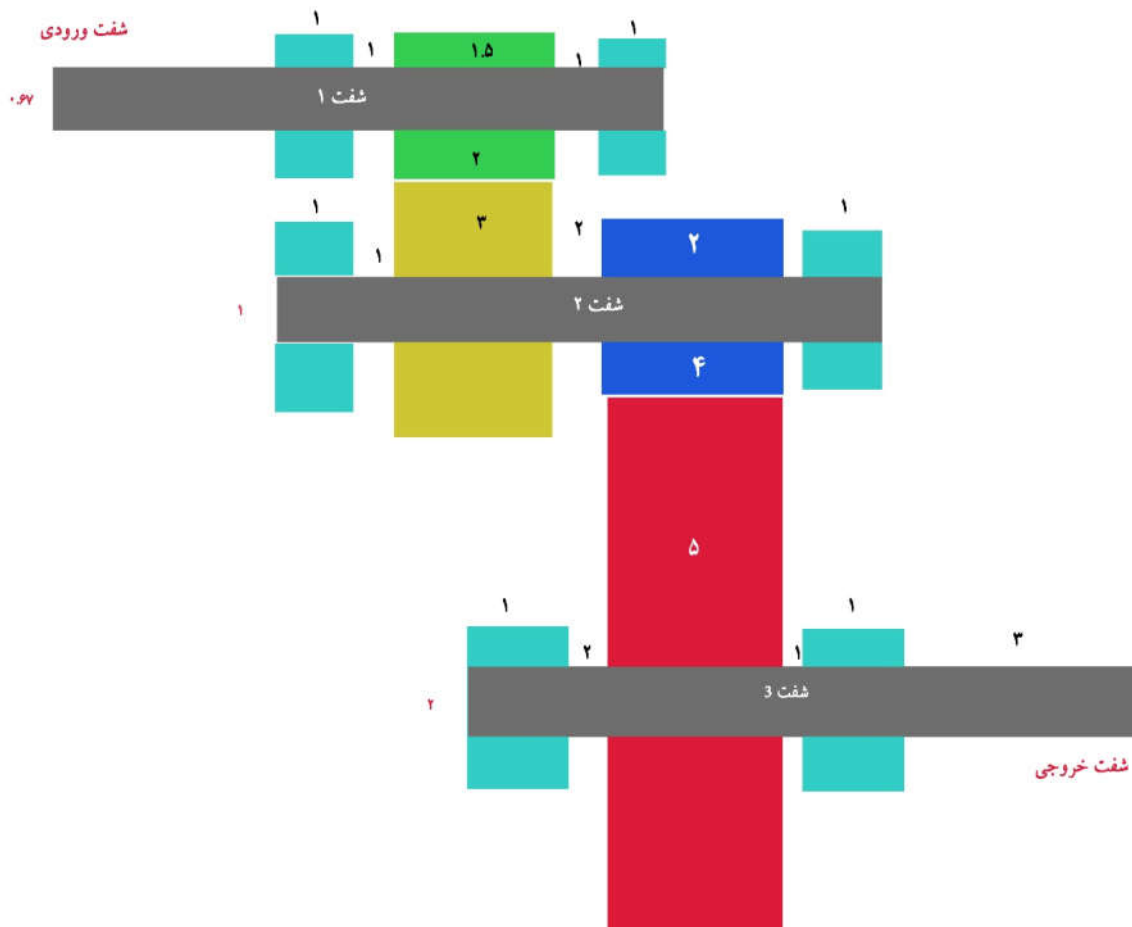
استاندارد CMAA7 یک سری شروط برای فاصله ی یاتاقان ها با توجه به سرعت زاویه ای شفت های آن ارائه کرده بود که این طرح ما همه را ارضا میکند.

$$L_1 < 42 \text{ in}$$

$$L_2 < 85 \text{ in}$$

$$L_3 < 251 \text{ in}$$

همه صدق میکند(شروط CMAA74 برای فاصله ی یاتاقان ها)





## مرحله 6 (طراحی شافت ها بر اساس استحکام و تغییر شکل)

در ابتدا جنس شافت را براساس استاندارد CMAA7 از فولاد سردکشیده انتخاب میکنیم در ابتدا فولاد ارزان قیمت 1020CD را انتخاب میکنیم در ادامه اگر مناسب نبود آنرا تغییر میدهیم.

$$S_{ut} = 470\text{Mpa} = 68\text{ kpsi}$$

$$w_{45}^t = 539.4\text{ lbf}$$

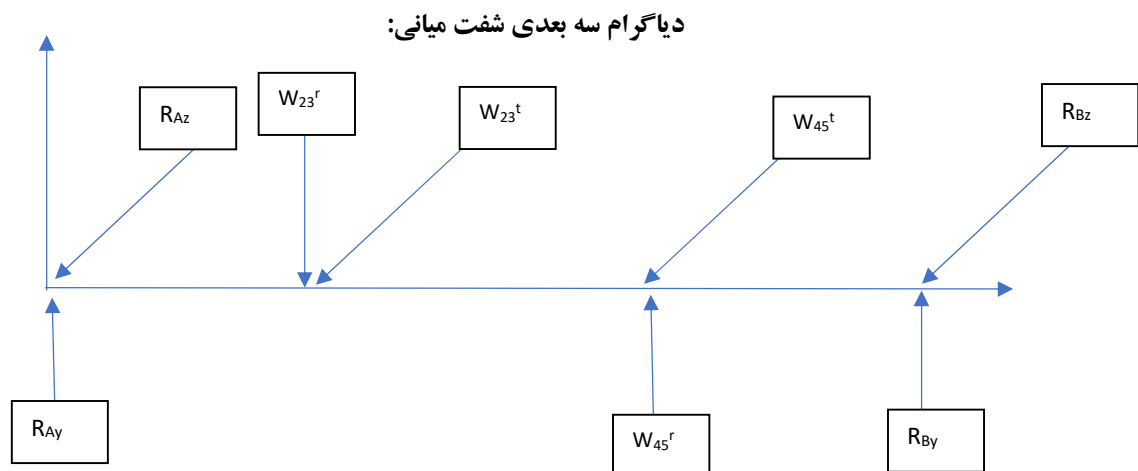
$$w_{23}^t = 227.4\text{ lbf}$$

$$S_y = 390\text{Mpa} = 57\text{kpsi}$$

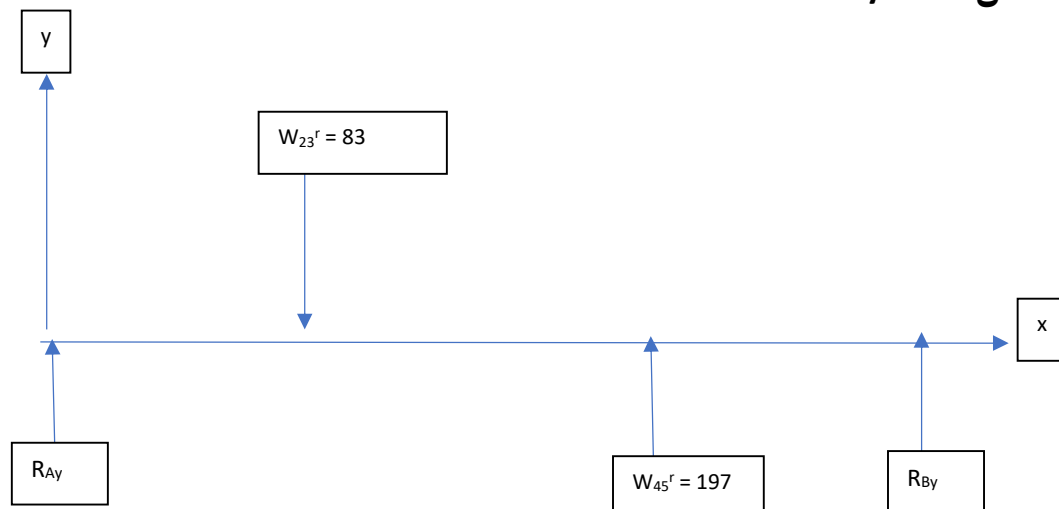
$$w_{45}^r = 197\text{ lbf}$$

$$w_{23}^r = 83\text{ lbf}$$

### بررسی استحکام شفت میانی (2):



### بررسی تعادل صفحه xy:



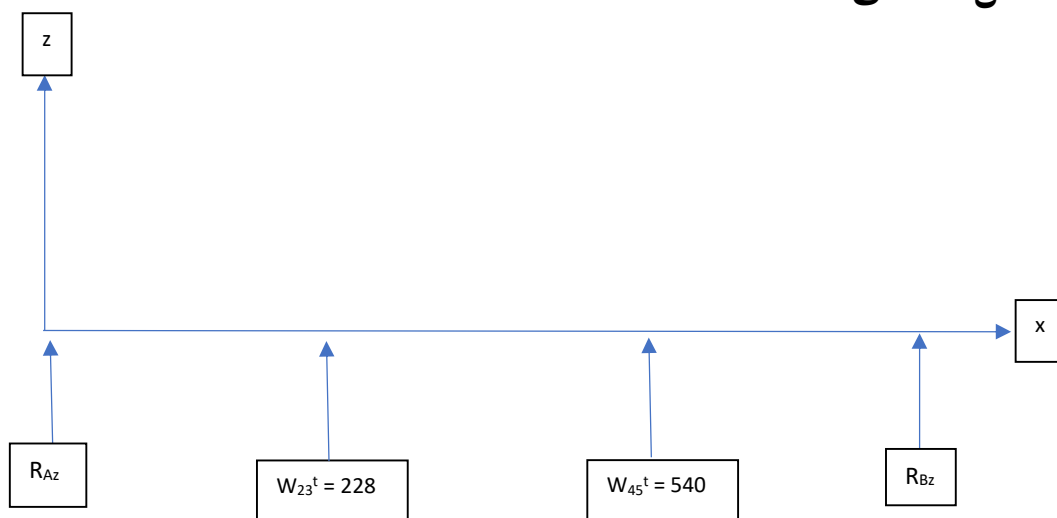
$$R_{Ay} + R_{By} = -114$$

$$83 \times 2.25 - 197 \times 6 = 8.5 \times R_{By}$$

$$R_{Ay} = 3$$

$$R_{By} = -117$$

بررسی تعادل صفحه ی  $xz$ :



$$R_{Az} + R_{Bz} = -768$$

$$228 \times 2.25 - 540 \times 6 = 8.5 \times -R_{Bz}$$

$$R_{Az} = -326$$

$$R_{Bz} = -442$$

یافتن  $M_{max}$  در صفحه  $xy$ :

$$M = 3 \langle x - 0 \rangle - 83 \langle x - 2.25 \rangle + 197 \langle x - 6 \rangle$$

$$0 < x < 2.25 \quad M = 3x$$

$$2.25 < x < 6 \quad M = 3x - 83 \langle x - 2.25 \rangle$$

$$6 < x < 8.5 \quad M = 3x - 83 \langle x - 2.25 \rangle + 197 \langle x - 6 \rangle$$

یافتن  $M_{max}$  در صفحه  $xz$ :

$$M = -326 \langle x - 0 \rangle + 228 \langle x - 2.25 \rangle + 540 \langle x - 6 \rangle$$

$$0 < x < 2.25 \quad M = -326x$$

$$2.25 < x < 6 \quad M = -326x + 228 < x - 2.25 >$$

$$6 < x < 8.5 \quad M = -326x + 228 < x - 2.25 > + 540 < x - 6 >$$

بنابراین بیشترین ممان در نقطه ی وسط چرخنده 2 اعمال میشود و مقدار آن برابر است با:

$$M_{max} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{294^2 + 1101^2} = 1140 \text{ lbf.in}$$

همچنین گشتاور پیچشی اعمالی بین 2 چرخنده عمل میکند و مقدار آنرا در ابتدا بدست آورده بودیم.

$$T_3 = T_4 = T_3 \times \frac{\omega_2}{\omega_3} = 60 \text{ lbf.ft} = 720 \text{ lbf.in}$$

چون شرایط بار ضربه ای است ضریب کاربری  $k=1.5$  را مطابق ضریبی که برای چرخنده نیز در نظر گرفتیم در اینجا در نظر میگیریم.

$$T_m = 1.5 * 720 = 1080 \text{ lbf.in}$$

$$M_a = 1.5 * 1140 = 1710 \text{ lbf.in}$$

با داشتن  $T_m$  و  $M_a$  و با استغاده از معیار گودمن و ضریب اطمینان 1.4 ( استاندارد CMAA74) قطر این شفت را پیدا میکنیم.

$$D_2 = 1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

**بررسی تغییر شکل شفت میانی (2):**

**تغییر شکل در صفحه xy:**

$$\frac{M}{EI} = \ddot{y}$$

$$M = EI \ddot{y}$$

$$EI \dot{y} = +\frac{3}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{83}{2} \langle x - 2.25 \rangle^2 + \frac{197}{2} \langle x - 6 \rangle^3 + C1$$

$$EI y = +\frac{3}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{83}{6} \langle x - 2.25 \rangle^3 - \frac{197}{6} \langle x - 6 \rangle^3 + C1 * x$$

با شرایط مرزی:  $C1=422$

$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi و } I = \frac{\pi}{4} 0.5^4 \quad EI = 1472621.5 \text{ psi. in}^4$$

$$y = \frac{1}{EI} \times [+5 \times 2.25^3 + 422 \times 6] = 0.0011 \quad \text{تغییر شکل در چرخنده ی 3}$$

$$y = \frac{1}{EI} \times [5 \times 6^3 - 13.84(3.75)^3 + 422 \times 6] = 0.0020 \quad \text{تغییر شکل در چرخنده ی 4}$$

### تغییر شکل در صفحه ی xz

به شیوه ی مشابه:

$$EI_z = -\frac{326}{6} \langle x - 0 \rangle^3 + \frac{228}{6} \langle x - 2.25 \rangle^3 + \frac{540}{6} \langle x - 6 \rangle^3 + C1 x$$

با شرایط مرزی:  $C1=2668$

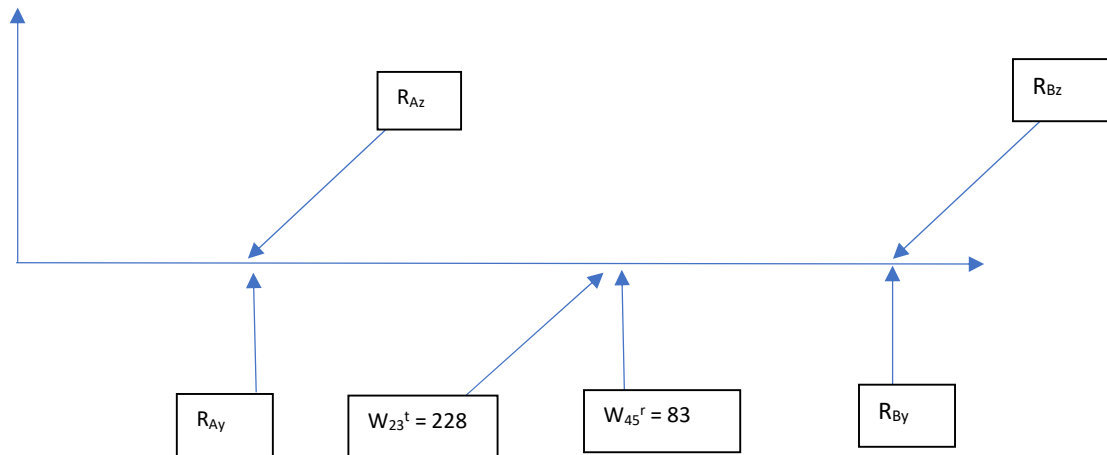
$$z = 0.0052 \quad \text{تغییر شکل در چرخنده ی 3} \quad z = 0.0058 \quad \text{تغییر شکل در چرخنده ی 4}$$

$$\text{تغییر شکل کلی در چرخنده ی 3} = \sqrt{y^2 + z^2} = \sqrt{0.0011^2 + 0.0052^2} = 0.0053 \text{ in}$$

$$\text{تغییر شکل کلی در چرخنده ی 4} = \sqrt{y^2 + z^2} = \sqrt{0.002^2 + 0.0058^2} = 0.0062 \text{ in}$$

تغییر شکل مجاز بر اساس استاندارد برای چرخنده های ساده برابر 0.01 اینچ میباشد که هر 2 تغییر شکل کمتر از این عدد هست پس طراحی شافت میانی کاملاً قابل قبول است.

### طراحی شفت ورودی (1):



در شفت های ورودی و خروجی (1 و 3) فقط استحکام را بررسی میکنیم و از بررسی تغییر شکل آنها به دلیل کوچک بودن طول شافت نسبت به شفت میانی صرف نظر میکنیم.

بررسی تعادل (بدلیل تقارن):

$$R_{Ay} = -42 \quad R_{By} = -42 \quad R_{Bz} = 114 \quad R_{Az} = 114$$

$$M_{\max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2} = \sqrt{(42 \times 2.25)^2 + (114 \times 2.25)^2} = 274 \text{ lbf.in}$$

$$T_m = T_2 = 23.7 \text{ lbf.ft} = 285 \text{ lbf.in}$$

با اعمال ضریب بار:

$$T_m = 285 \times 1.5 = 427 \text{ lbf.in}$$

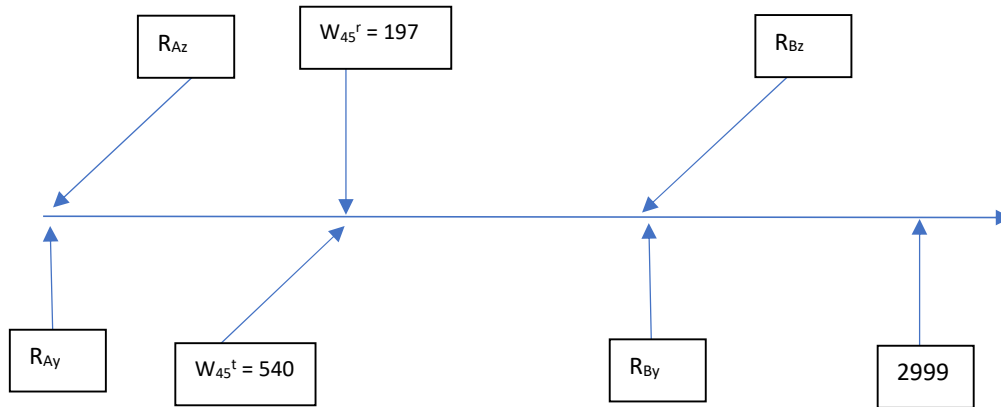
$$M_a = 274 \times 1.5 = 411 \text{ lbf.in}$$

مثل شافت قبلی با معیار گودمن و ضریب اطمینان 1.4 داریم.

$$D_1 = 0.67 \text{ in} = 17 \text{ mm}$$

### طراحی شافت خروجی (3):

بررسی تعادل:



$$R_{Ay} + R_{By} = 2999 + 197$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 540$$

$$197 \times 3.5 - 2999 \times 9 = 6 \times R_{By}$$

$$540 \times 3.5 = 6 \times R_{Bz}$$

$$R_{Ay} = -1418 \quad R_{By} = 4614 \quad R_{Az} = 225 \quad R_{Bz} = 315$$

در نقطه ی  $x = 6\text{in}$  ماکزیمم خمش رخ میدهد .

$$M_{xy} = 1418 \times 6 + 197 \times 2.5 = 9000 \text{ lbf.in}$$

$$M_{xz} = 0$$

$$M_{\max} = M_{xy} = 9000$$

$$T_s = T_m = 270.4 \text{ lbf.ft} = 3245 \text{ lbf.in}$$

با اعمال ضریب بار:

$$T_m = 3245 \times 1.5 = 4867 \text{ lbf.in}$$

$$M_a = 9000 \times 1.5 = 13500 \text{ lbf.in}$$

با معیار گودمن و ضریب اطمینان 1.4

$$D_3 = 2.001 \text{ in}$$

این قطر را ما در ابتدا حدس زده بودیم که مقدار حدس زده شده ی ما (2in) که دقیقا معادل این مقدار است! پس طراحی ما قابل قبول بوده و قطر شفت خروجی همان 2in خواهد بود.

$$D_3 = 2 \text{ in} = 50.8\text{mm}$$



## مرحله 7 (طراحی یاتاقان ها)

در رابطه با طراحی یاتاقان ها، استاندارد CMAA74 عمر آنها را با توجه به شرایط کاری جرثقیل سقفی مشخص کرده است که برای یاتاقان های جرثقیل ما، عمر 5000h را پیشنهاد داده است. و همچنین ما  $R = 99\%$  مانند آنچه در چرخنده ها در نظر گرفته بودیم؛ در نظر میگیریم.

چون نیروی محوری نداریم میتوانیم از یاتاقان های غلتک استوانه ای استفاده کنیم. همچنین یاتاقان ها را از کاتالوگ شرکت معتبر و پیشگام SKF انتخاب میکنیم.

نوع یاتاقان ها: single row cylindrical roller bearing

### یاتاقان های شفت میانی:

قطر محل قرارگیری یاتاقان ها: 25mm

$$\begin{array}{lcl}
 \left. \begin{array}{l} R_{Az} = 326 \\ R_{Ay} = 3 \end{array} \right\} \text{یاتاقان سمت چپ} & \longrightarrow & R_A = 327 \text{ lbf} \\
 c_{10} = af \times R_A \frac{\frac{60 \times n \times L}{10^6}}{(0.02 + 4.4 \times 39 \times (1 - 0.99))^{\frac{1}{1.483}}} & & af = 1.5
 \end{array}$$

$$\text{پس از جاگذاری} \longrightarrow c_{10} = 3606 \text{ lbf} = \mathbf{16 \text{ kN}}$$

$$\text{یاتاقان سمت راست} \longrightarrow R_B = 458 \text{ lbf} \longrightarrow c_{10} = 5051 \text{ lbf} = \mathbf{22.5 \text{ kN}}$$

انتخاب از جدول: (برای هر دو سمت شفت یک نوع یاتاقان پیدا میشود که C10 آن 32.5KN میباشد)

| Principal dimensions |    |    | Basic load ratings |                       | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass  | Designations               | Alternative standard cage <sup>1)</sup> |
|----------------------|----|----|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------|----------------------------|---|
| d                    | D  | B  | dynamic C          | static C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>     | Reference speed | Limiting speed |       | Bearing with standard cage |   |
| mm                   |    |    | kN                 |                       | kN                 | r/min           |                | kg    | –                          |   |
| 15                   | 35 | 11 | 12,5               | 10,2                  | 1,22               | 22 000          | 26 000         | 0,047 | NU 202 ECP                 | PHA                                     |
|                      | 35 | 11 | 12,5               | 10,2                  | 1,22               | 22 000          | 26 000         | 0,048 | NJ 202 ECP                 | PHA                                     |
| 17                   | 40 | 12 | 17,2               | 14,3                  | 1,73               | 19 000          | 22 000         | 0,068 | NU 203 ECP                 | PHA                                     |
|                      | 40 | 12 | 17,2               | 14,3                  | 1,73               | 19 000          | 22 000         | 0,07  | NJ 203 ECP                 | PHA                                     |
|                      | 40 | 12 | 17,2               | 14,3                  | 1,73               | 19 000          | 22 000         | 0,072 | NUP 203 ECP                | PHA                                     |
|                      | 40 | 12 | 17,2               | 14,3                  | 1,73               | 19 000          | 22 000         | 0,066 | N 203 ECP                  | PH                                      |
|                      | 40 | 16 | 23,8               | 21,6                  | 2,65               | 19 000          | 22 000         | 0,087 | NU 2203 ECP                | –                                       |
|                      | 40 | 16 | 23,8               | 21,6                  | 2,65               | 19 000          | 22 000         | 0,093 | NJ 2203 ECP                | –                                       |
|                      | 40 | 16 | 23,8               | 21,6                  | 2,65               | 19 000          | 22 000         | 0,097 | NUP 2203 ECP               | –                                       |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 20,4                  | 2,55               | 15 000          | 20 000         | 0,12  | * NU 303 ECP               | –                                       |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 20,4                  | 2,55               | 15 000          | 20 000         | 0,12  | * NJ 303 ECP               | –                                       |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 20,4                  | 2,55               | 15 000          | 20 000         | 0,12  | * N 303 ECP                | –                                       |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
| 20                   | 47 | 14 | 28,5               | 22                    | 2,75               | 16 000          | 19 000         | 0,11  | * NU 204 ECP               | ML,PHA                                  |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 22                    | 2,75               | 16 000          | 19 000         | 0,11  | * NJ 204 ECP               | ML,PHA                                  |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 22                    | 2,75               | 16 000          | 19 000         | 0,12  | * NUP 204 ECP              | ML,PHA                                  |
|                      | 47 | 14 | 28,5               | 22                    | 2,75               | 16 000          | 19 000         | 0,11  | * N 204 ECP                | –                                       |
|                      | 47 | 18 | 34,5               | 27,5                  | 3,45               | 16 000          | 19 000         | 0,14  | * NU 2204 ECP              | –                                       |
|                      | 47 | 18 | 34,5               | 27,5                  | 3,45               | 16 000          | 19 000         | 0,14  | * NJ 2204 ECP              | –                                       |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
|                      | 52 | 15 | 35,5               | 26                    | 3,25               | 15 000          | 18 000         | 0,15  | * NU 304 ECP               | –                                       |
|                      | 52 | 15 | 35,5               | 26                    | 3,25               | 15 000          | 18 000         | 0,15  | * NJ 304 ECP               | –                                       |
|                      | 52 | 15 | 35,5               | 26                    | 3,25               | 15 000          | 18 000         | 0,16  | * NUP 304 ECP              | –                                       |
|                      | 52 | 15 | 35,5               | 26                    | 3,25               | 15 000          | 18 000         | 0,15  | * N 304 ECP                | –                                       |
|                      | 52 | 21 | 47,5               | 38                    | 4,8                | 15 000          | 18 000         | 0,21  | * NU 2304 ECP              | –                                       |
|                      | 52 | 21 | 47,5               | 38                    | 4,8                | 15 000          | 18 000         | 0,22  | * NJ 2304 ECP              | –                                       |
|                      | 52 | 21 | 47,5               | 38                    | 4,8                | 15 000          | 18 000         | 0,22  | * NUP 2304 ECP             | –                                       |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
| 25                   | 47 | 12 | 14,2               | 13,2                  | 1,4                | 18 000          | 18 000         | 0,083 | NU 1005                    | –                                       |
|                      |    |    |                    |                       |                    |                 |                |       |                            |   |
|                      | 52 | 15 | 32,5               | 27                    | 3,35               | 14 000          | 16 000         | 0,13  | * NU 205 ECP               | J, ML,PHA                               |
|                      | 52 | 15 | 32,5               | 27                    | 3,35               | 14 000          | 16 000         | 0,14  | * NJ 205 ECP               | J, ML,PHA                               |

## یاتاقان های شفت ورودی:

قطر محل قرارگیری یاتاقان ها: 15mm

به شیوه مشابه:

$$\text{یاتاقان سمت چپ و راست} \longrightarrow \text{RA=RB} = 164 \longrightarrow c_{10} = 2391 \text{ lbf} = 10.5 \text{ kN}$$

انتخاب از جدول:

| Principal dimensions |    |    | Basic load ratings |                       | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass  | Designations               | Alternative standard cage <sup>1)</sup> |
|----------------------|----|----|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------|----------------------------|---|
| d                    | D  | B  | dynamic C          | static C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>     | Reference speed | Limiting speed |       | Bearing with standard cage |   |
| mm                   |    |    | kN                 |                       | kN                 | r/min           |                | kg    | –                          |   |
| 15                   | 35 | 11 | 12,5               | 10,2                  | 1,22               | 22 000          | 26 000         | 0,047 | NU 202 ECP                 | PHA                                     |
|                      | 35 | 11 | 12,5               | 10,2                  | 1,22               | 22 000          | 26 000         | 0,048 | NJ 202 ECP                 | PHA                                     |

## یاتاقان های شفت خروجی :

قطر محل قرارگیری یاتاقان ها: 50mm

یاتاقان سمت راست :  $R_B = 4624 \text{ lbf}$   $c_{10} = 32480 \text{ lbf} = 144.5 \text{ kN}$

انتخاب از جدول:

| Principal dimensions |     |    | Basic load ratings |                       | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass | Designations               | Alternative standard cage <sup>1)</sup> |
|----------------------|-----|----|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|------|----------------------------|---|
| d                    | D   | B  | dynamic C          | static C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>     | Reference speed | Limiting speed |      | Bearing with standard cage |   |
| mm                   |     |    | kN                 |                       | kN                 | r/min           |                | kg   | -                          |   |
| 50<br>cont.          | 90  | 23 | 90                 | 88                    | 11,4               | 8 500           | 9 000          | 0,56 | * NU 2210 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 90  | 23 | 90                 | 88                    | 11,4               | 8 500           | 9 000          | 0,57 | * NJ 2210 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 90  | 23 | 90                 | 88                    | 11,4               | 8 500           | 9 000          | 0,59 | * NUP 2210 ECP             | J, M, ML, PH                            |
|                      | 110 | 27 | 127                | 112                   | 15                 | 6 700           | 8 000          | 1,15 | * NU 310 ECP               | J, M, ML, PH                            |
|                      | 110 | 27 | 127                | 112                   | 15                 | 6 700           | 8 000          | 1,15 | * NJ 310 ECP               | J, M, ML, PH                            |
|                      | 110 | 27 | 127                | 112                   | 15                 | 6 700           | 8 000          | 1,15 | * NUP 310 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 110 | 27 | 127                | 112                   | 15                 | 6 700           | 8 000          | 1,15 | * N 310 ECP                | -                                       |
|                      | 110 | 40 | 186                | 186                   | 24,5               | 6 700           | 8 000          | 1,75 | * NU 2310 ECP              | J, ML, PH                               |
|                      | 110 | 40 | 186                | 186                   | 24,5               | 6 700           | 8 000          | 1,75 | * NJ 2310 ECP              | J, ML, PH                               |
|                      | 110 | 40 | 186                | 186                   | 24,5               | 6 700           | 8 000          | 1,75 | * NUP 2310 ECP             | J, ML, PH                               |

یاتاقان سمت چپ  $R_A = 1436 \text{ lbf}$   $c_{10} = 10085 \text{ lbf} = 45 \text{ kN}$

انتخاب از جدول:

| Principal dimensions |     |    | Basic load ratings |                       | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass | Designations               | Alternative standard cage <sup>1)</sup> |
|----------------------|-----|----|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|------|----------------------------|---|
| d                    | D   | B  | dynamic C          | static C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>     | Reference speed | Limiting speed |      | Bearing with standard cage |   |
| mm                   |     |    | kN                 |                       | kN                 | r/min           |                | kg   | -                          |   |
| 40<br>cont.          | 90  | 33 | 129                | 120                   | 15,3               | 8 000           | 9 500          | 0,94 | * NU 2308 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 90  | 33 | 129                | 120                   | 15,3               | 8 000           | 9 500          | 0,95 | * NJ 2308 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 90  | 33 | 129                | 120                   | 15,3               | 8 000           | 9 500          | 0,98 | * NUP 2308 ECP             | J, M, ML, PH                            |
|                      | 110 | 27 | 96,8               | 90                    | 11,6               | 7 000           | 8 500          | 1,3  | NU 408                     | MA                                      |
|                      | 110 | 27 | 96,8               | 90                    | 11,6               | 7 000           | 8 500          | 1,3  | NJ 408                     | MA                                      |
| 45                   | 75  | 16 | 44,6               | 52                    | 6,3                | 11 000          | 11 000         | 0,25 | NU 1009 ECP                | PH                                      |
|                      | 75  | 16 | 44,6               | 52                    | 6,3                | 11 000          | 11 000         | 0,26 | NJ 1009 ECP                | PH                                      |
|                      | 85  | 19 | 69,5               | 64                    | 8,15               | 9 000           | 9 500          | 0,43 | * NU 209 ECP               | J, M, ML                                |
|                      | 85  | 19 | 69,5               | 64                    | 8,15               | 9 000           | 9 500          | 0,44 | * NJ 209 ECP               | J, M, ML                                |
|                      | 85  | 19 | 69,5               | 64                    | 8,15               | 9 000           | 9 500          | 0,45 | * NUP 209 ECP              | J, M, ML                                |
|                      | 85  | 19 | 69,5               | 64                    | 8,15               | 9 000           | 9 500          | 0,43 | * N 209 ECP                | M                                       |
|                      | 85  | 23 | 85                 | 81,5                  | 10,6               | 9 000           | 9 500          | 0,52 | * NU 2209 ECP              | J                                       |
|                      | 85  | 23 | 85                 | 81,5                  | 10,6               | 9 000           | 9 500          | 0,54 | * NJ 2209 ECP              | J                                       |
|                      | 85  | 23 | 85                 | 81,5                  | 10,6               | 9 000           | 9 500          | 0,55 | * NUP 2209 ECP             | J                                       |
|                      | 100 | 25 | 112                | 100                   | 12,9               | 7 500           | 8 500          | 0,9  | * NU 309 ECP               | J, M, ML, PH                            |
|                      | 100 | 25 | 112                | 100                   | 12,9               | 7 500           | 8 500          | 0,89 | * NJ 309 ECP               | J, M, ML, PH                            |
|                      | 100 | 25 | 112                | 100                   | 12,9               | 7 500           | 8 500          | 0,93 | * NUP 309 ECP              | J, M, ML, PH                            |
|                      | 100 | 25 | 112                | 100                   | 12,9               | 7 500           | 8 500          | 0,88 | * N 309 ECP                | -                                       |
|                      | 100 | 36 | 160                | 153                   | 20                 | 7 500           | 8 500          | 1,3  | * NU 2309 ECP              | ML                                      |
|                      | 100 | 36 | 160                | 153                   | 20                 | 7 500           | 8 500          | 1,35 | * NJ 2309 ECP              | ML                                      |
|                      | 100 | 36 | 160                | 153                   | 20                 | 7 500           | 8 500          | 1,35 | * NUP 2309 ECP             | ML                                      |
|                      | 120 | 29 | 106                | 102                   | 13,4               | 6 700           | 7 500          | 1,65 | NU 409                     | -                                       |
|                      | 120 | 29 | 106                | 102                   | 13,4               | 6 700           | 7 500          | 1,65 | NJ 409                     | -                                       |
| 50                   | 80  | 16 | 46,8               | 56                    | 6,7                | 9 500           | 9 500          | 0,27 | NU 1010 ECP                | -                                       |

## مرحله 8 (مدل سازی طرح در Solid Works)

