

Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği

Mekatronik Tasarım Projesi Raporu

T.C.

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ (İ.Ö.)



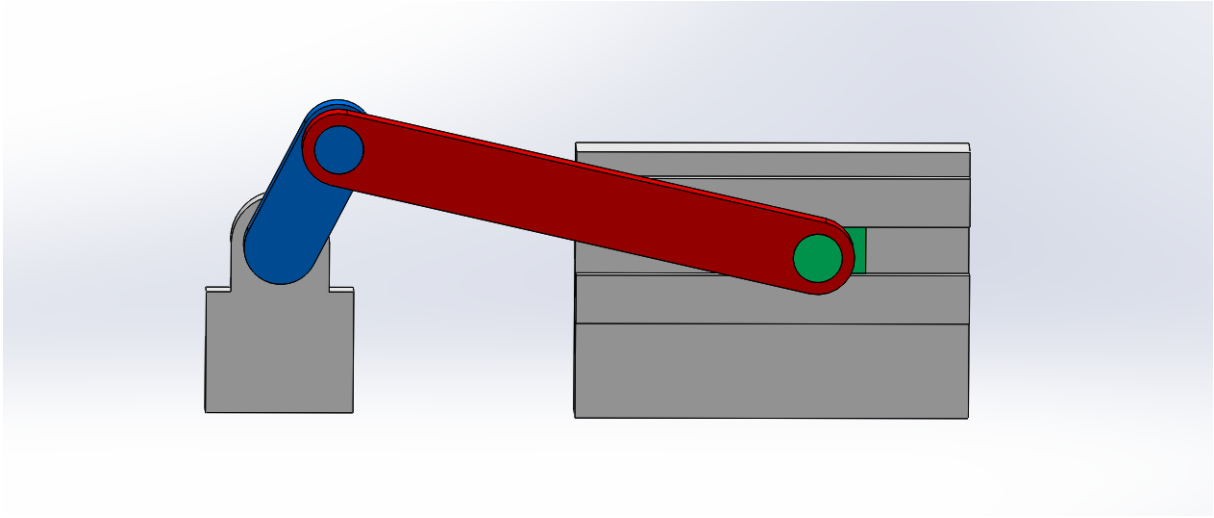
Proje Konusu: Slider Crank Mekanizmanın Kinematik Analizi ve SolidWorks Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Grup No: 72

Emre Çetinkaya 150223036

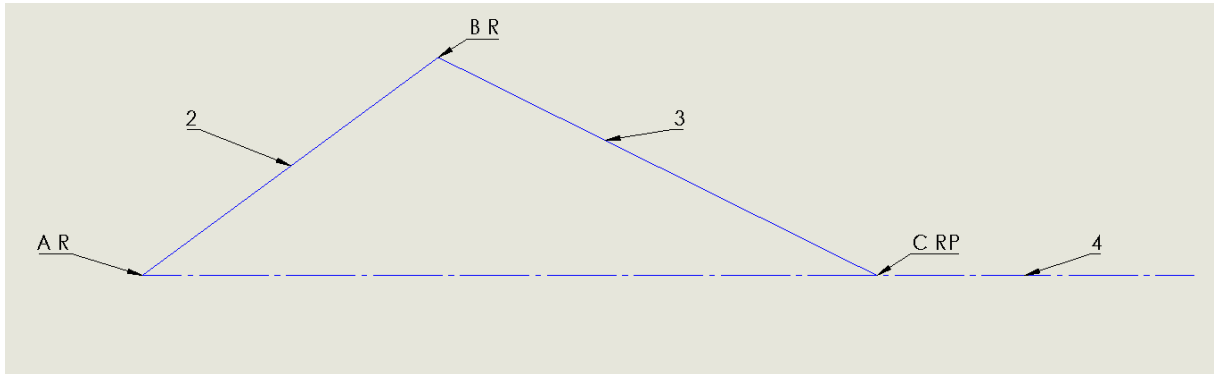
Yasin Mehmet Mersin 160224017

Giriş



Şekil 1: Slider crank mekanizması

Slider crank mekanizmaları, pistonlu motorlarda, pistonlu kompresörlerde ve rotatif motorlarda kullanılan dört çubuk mekanizmalarıdır. Sabit alınan çubuğa göre işlevi değişir. Hızlı geri dönüş mekanizması, salınlı silindir buhar motoru ve basit el pompası slider crank mekanizmalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 2: Mekanizmanın şematik hâli, uzuvları ve mafsalları

Slider krank mekanizmasını tasarlarken, crank kolu olan 2 numaralı uzvun (AB) uzunluğunun sliderın hareket ettiği uzunluğun iki katı olmasına dikkat edilmelidir.

$$r_2 = \Delta r_4 / 2$$

3 numaralı uzvun ise slider hareketi ile bir ilgisi yoktur. O yüzden 2 numaralı uzvun en az 3 kat olmak üzere herhangi bir uzunluk olabilir. 3 katın tavsiye edilmesinin sebebi anlık inanılmaz artan ivme verimini hesaba katabilmek içindir.

Yukarıdaki denklemi kullanarak 100mm salınım isteniyorsa:

$$r_2 = 50mm$$

$$r_3 = 200mm$$

seçilebilir.

Serbestlik derecesi:

$$M = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i$$

$$n = 4 \text{ (uzuv sayısı)}$$

$$j = 4 \text{ (mafsal sayısı)}$$

$$\lambda = 3$$

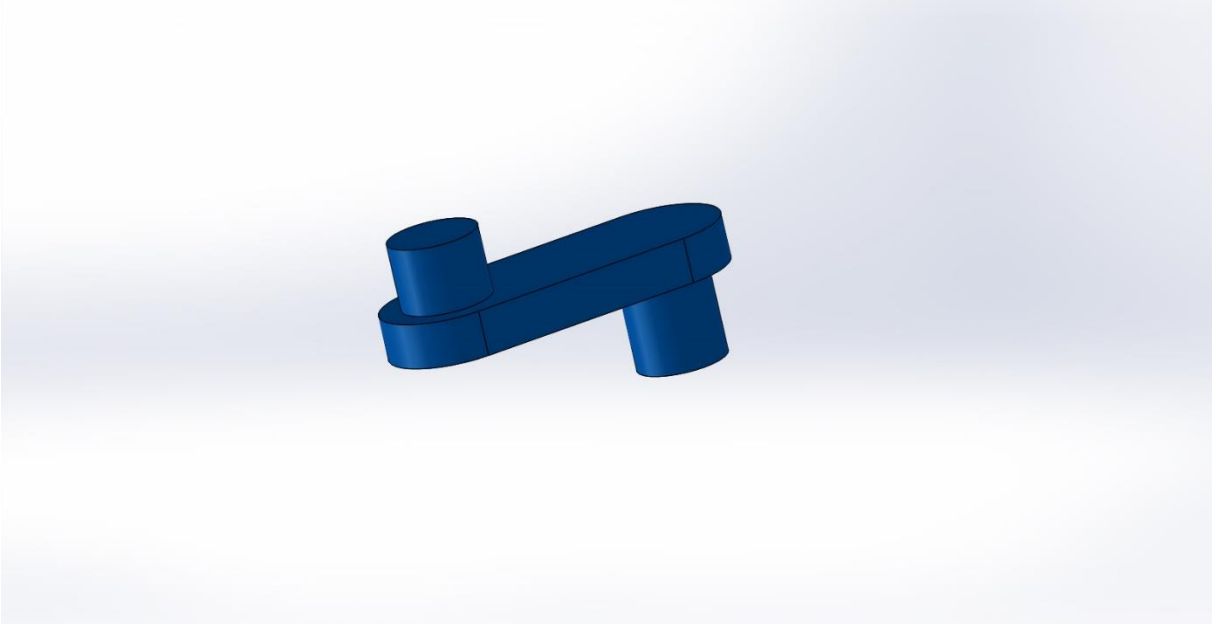
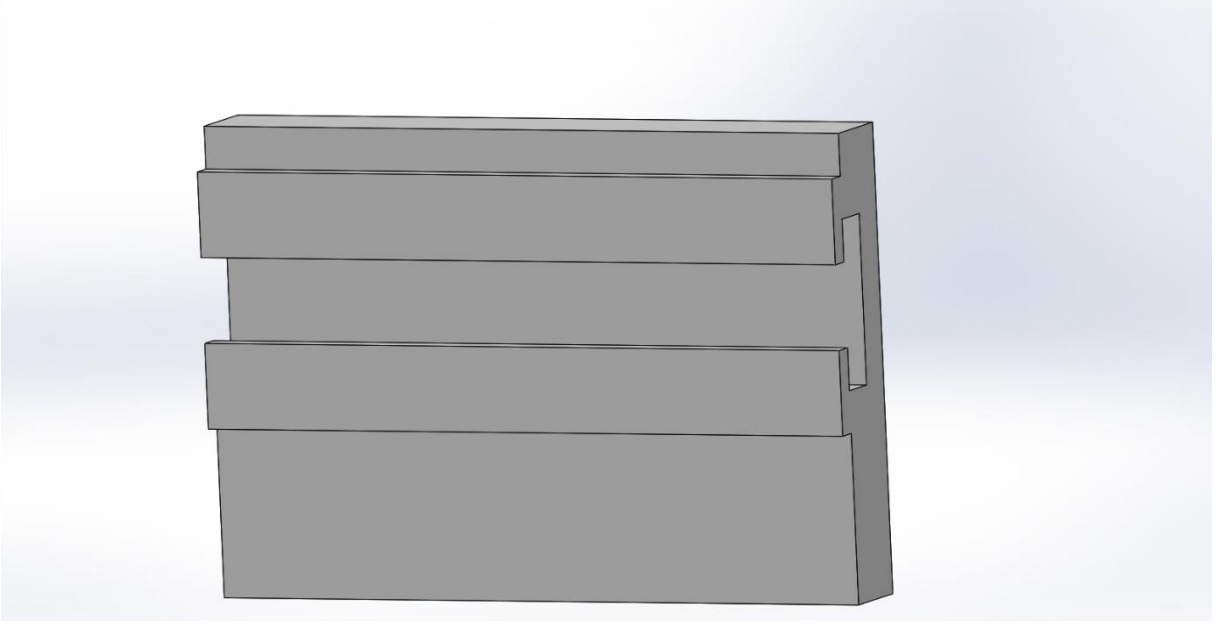
$$\sum_{i=1}^j f_i = 1 + 1 + 1 + 1 = 4$$

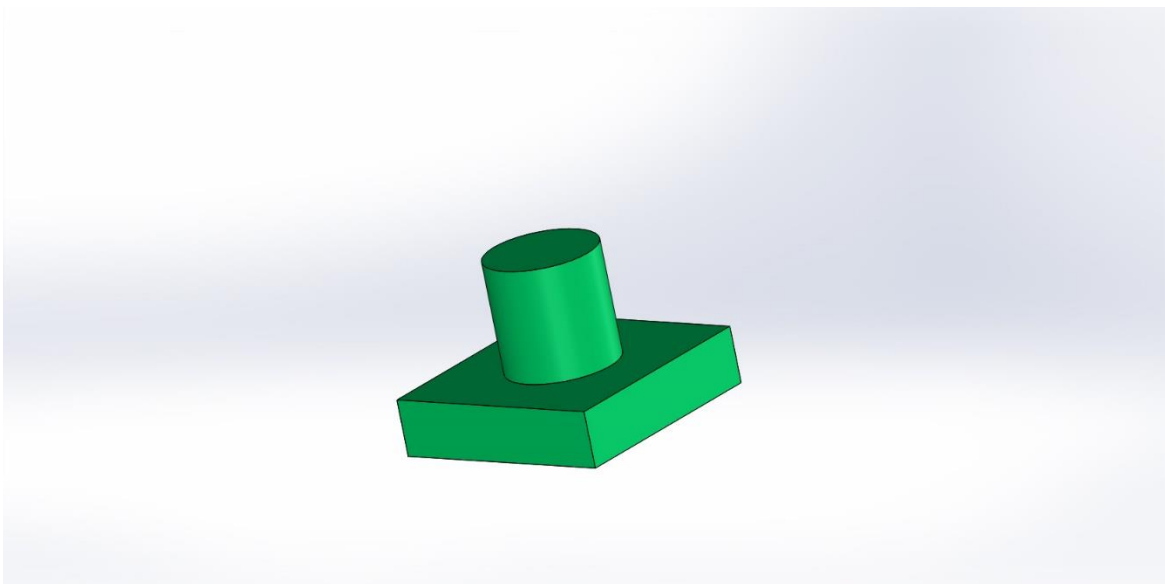
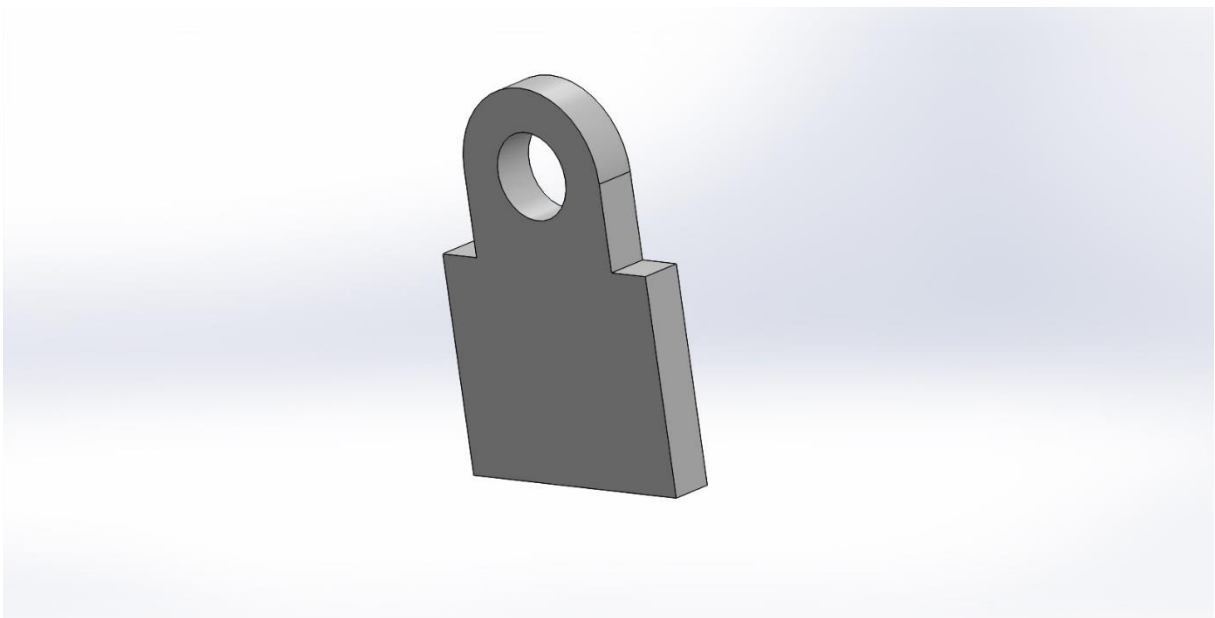
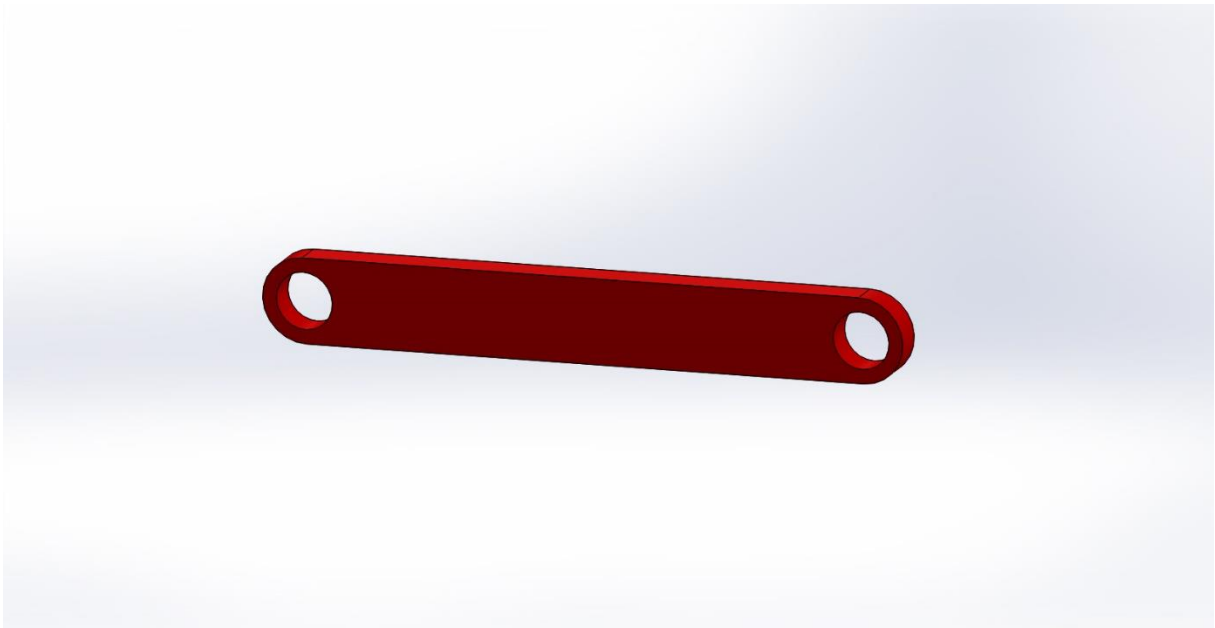
$$M = 3(4 - 4 - 1) + 4$$

$$M = 1$$

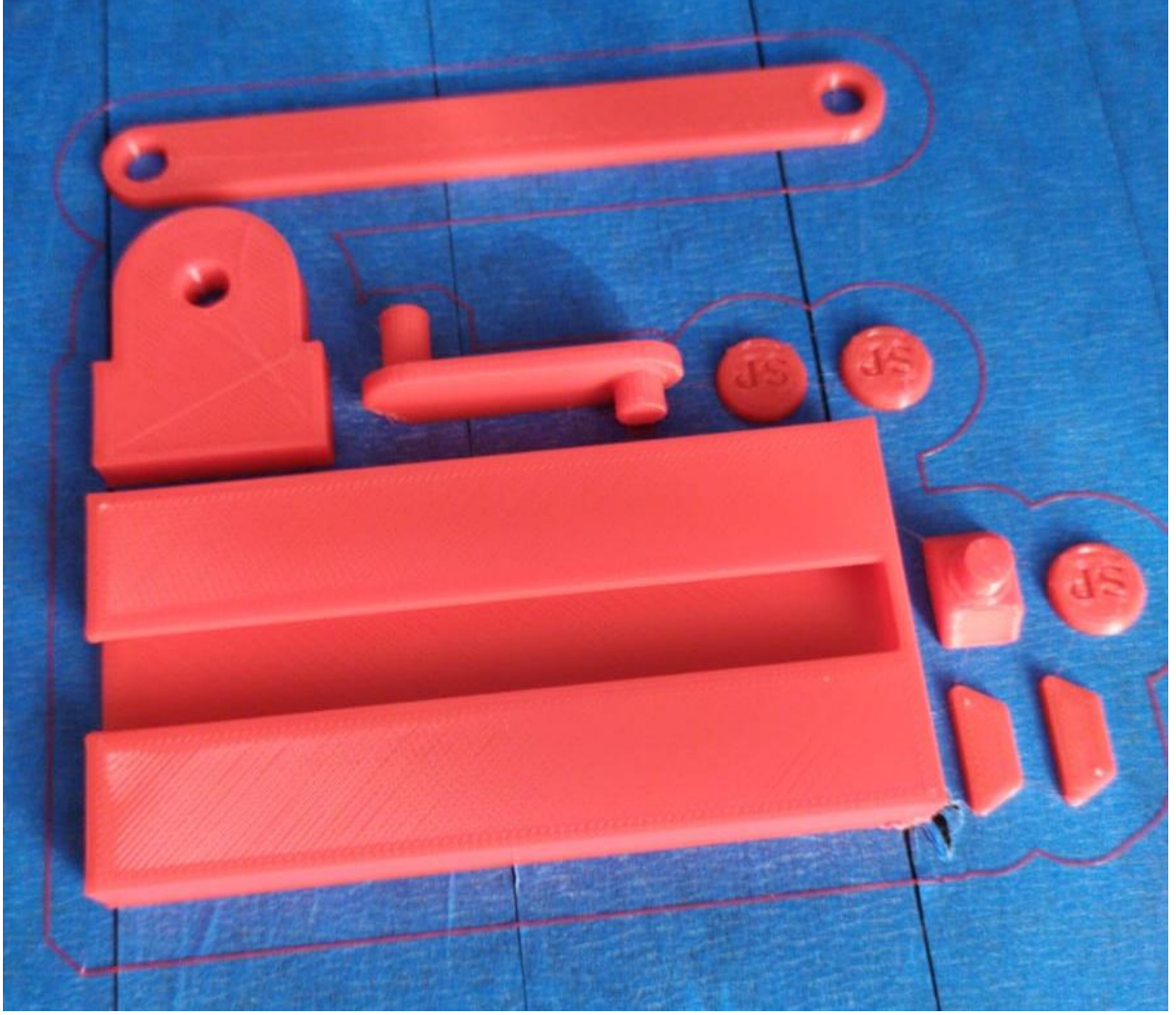
Tasarım

Tasarlanan 3 boyutlu parçalar:

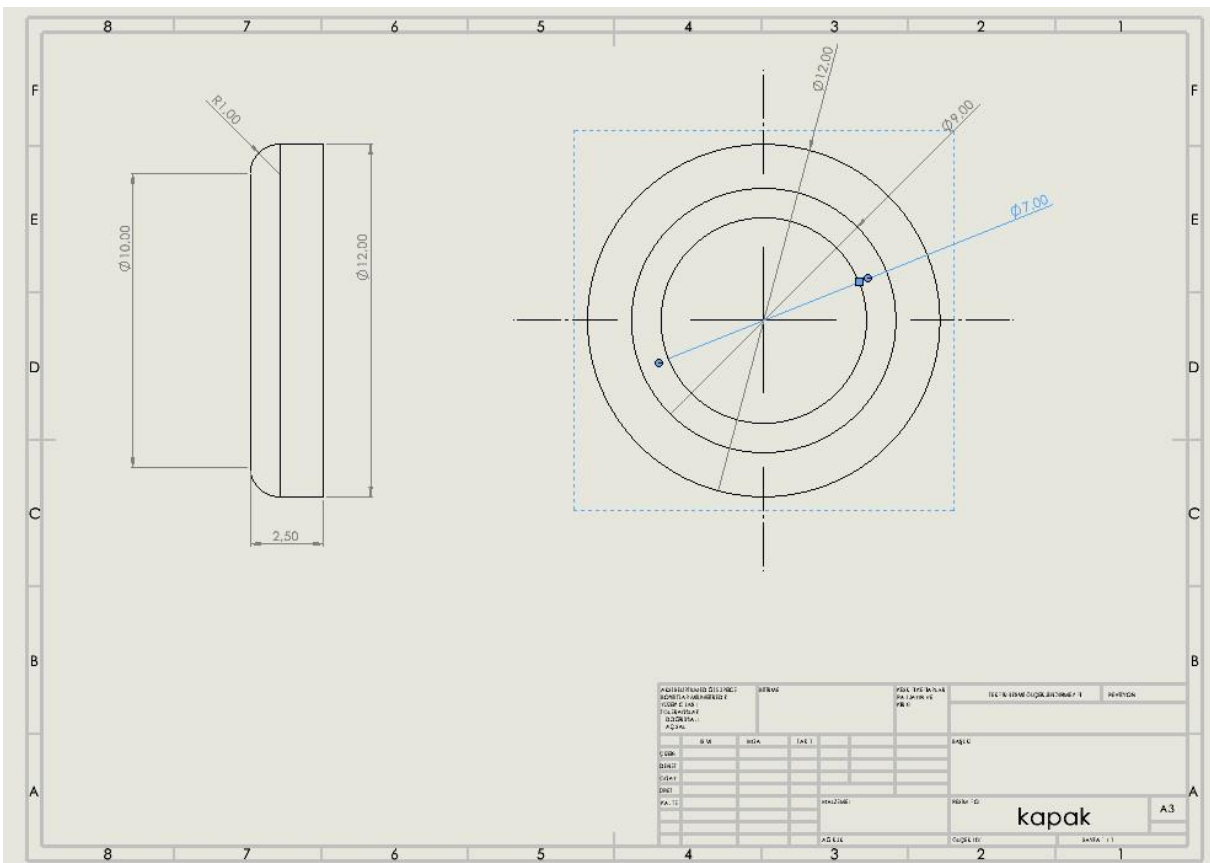
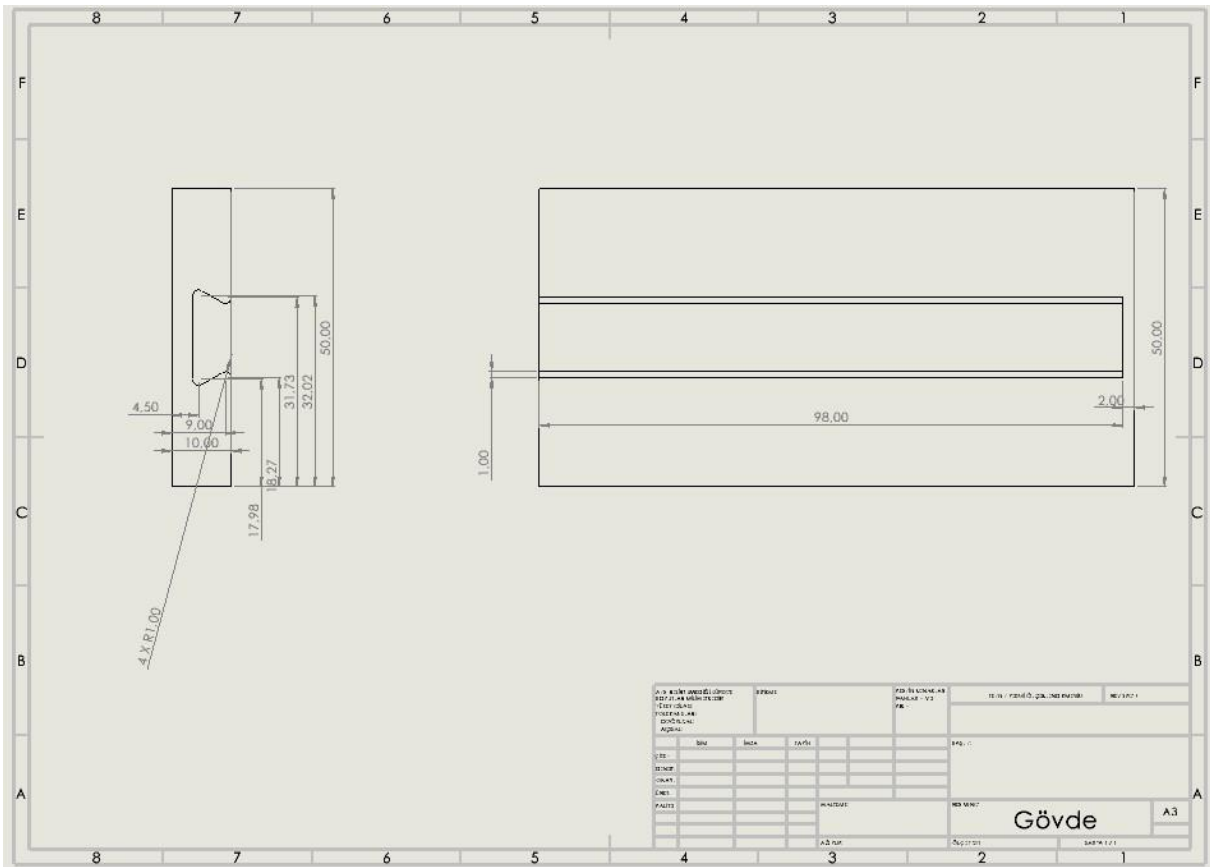


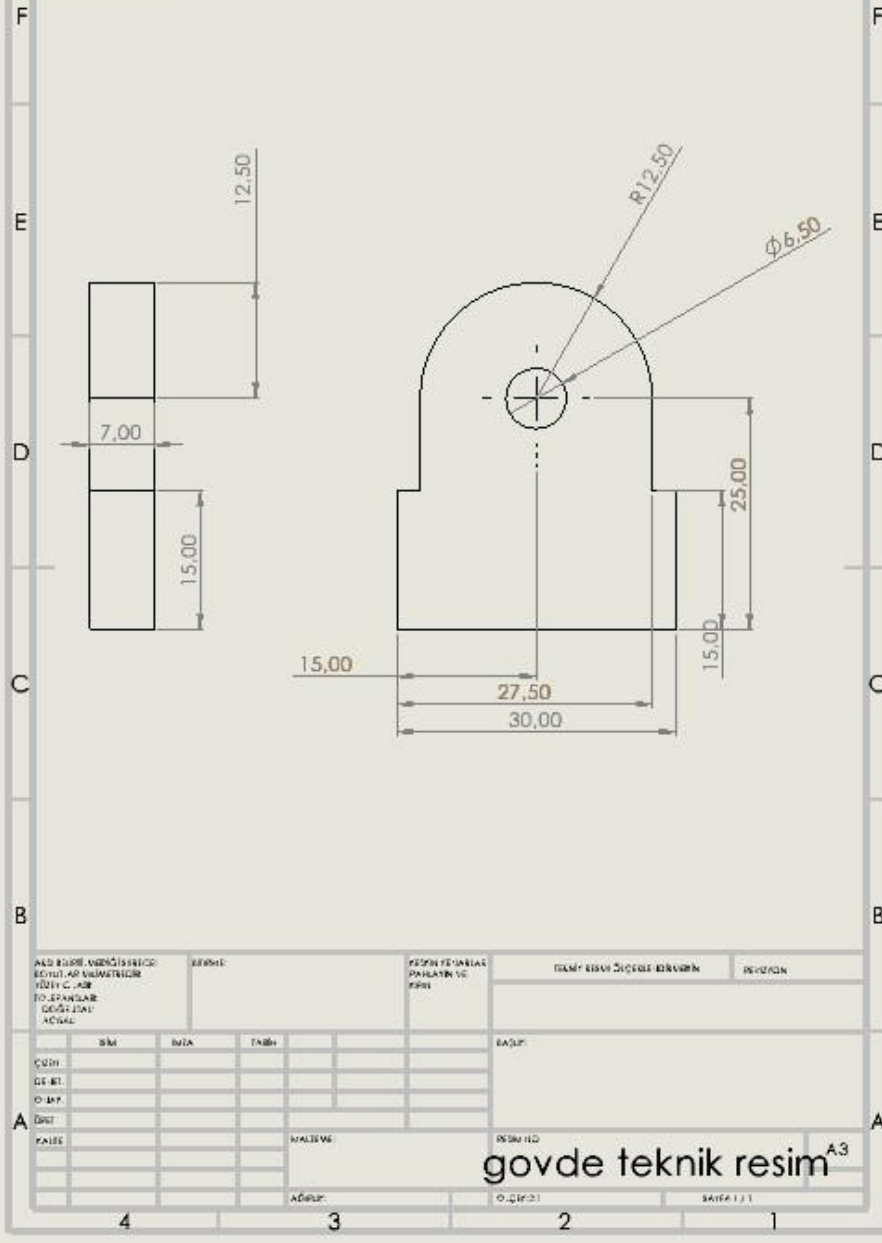


Basılan 3 boyutlu parçalar:



Teknik çizimler:





ALD BİRE, ÜRÜN İSİME
BÖLÜM, KİMLİK NO
KİMLİK NO, KİMLİK NO
KİMLİK NO, KİMLİK NO
KİMLİK NO, KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO, KİMLİK NO
KİMLİK NO, KİMLİK NO

KİMLİK NO, KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

KİMLİK NO

Hesaplamalar

Slider crank mekanizmasının analitik yöntemle kinematik analizi.

$\theta_2 = 30^\circ$ ve $\theta_2 = 45^\circ$ (İki farklı konum için)

$$r_2 = 50 \text{ mm}$$

$$r_3 = 200 \text{ mm}$$

$$\theta_4 = 0^\circ$$

$$\theta_3 = ?$$

$$r_4 = ?$$

Vektör denklemleri:

$$\vec{r}_2 + \vec{r}_3 = \vec{r}_4$$

$$r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 = r_4 \cos \theta_4$$

$$r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 = r_4 \sin \theta_4$$

$\theta_4 = 0$ olduğundan ($\cos 0^\circ = 1$, $\sin 0^\circ = 0$) ikinci denklemde θ_3 bulunabilir.

$$r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 = 0$$

$$\theta_2 = 30^\circ \text{ için } \theta_3 = 352,819^\circ$$

$$\theta_2 = 45^\circ \text{ için } \theta_3 = 349,818^\circ$$

θ_3 değeriyle ilk denklemde r_4 bulunabilir.

$$r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 = r_4$$

$$\theta_2 = 30^\circ \text{ için } r_4 = 241,733 \text{ mm}$$

$$\theta_2 = 45^\circ \text{ için } r_4 = 232,206 \text{ mm}$$

Hız analizi yapabilmemiz için vektör denklemlerinin türevini almalıyız. Sabitleri ve değişkenleri belirlemek türev almamızı kolaylaştırabilir.

r_2 : *sabit*

r_3 : *sabit*

r_4 : *değişken*

θ_2 : *değişken*

θ_3 : *değişken*

θ_4 : *sabit*

$\dot{\theta}_3 = ?$

$\dot{r}_4 = ?$

Vektör denklemlerinin türevi:

$$\dot{\vec{r}}_2 + \dot{\vec{r}}_3 = \dot{\vec{r}}_4$$

$$-r_2\dot{\theta}_2\sin\theta_2 - r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3 = \dot{r}_4$$

$$r_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2 + r_3\dot{\theta}_3\cos\theta_3 = 0$$

Crank hızını $\dot{\theta}_2 = 50 \text{ RPM} = 5,256 \text{ rad/s (CCW)}$ alalım. 3 numaralı linkin açısal hızı $\dot{\theta}_3$ ikinci denklemden bulunabilir.

$$\dot{\theta}_3 = \frac{-r_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2}{r_3\dot{\theta}_3\cos\theta_3}$$

$$\theta_2 = 30^\circ \text{ için } \dot{\theta}_3 = -1.143 \text{ rad/s CW}$$

$$\theta_2 = 45^\circ \text{ için } \dot{\theta}_3 = -0.94 \text{ rad/s CW}$$

$\dot{\theta}_3$ değerinin negatif çıkması, θ_2 nin açısal hızını saat yönünün tersinde (CCW) pozitif aldığımızdan, 3 numaralı linkin saat yönünde (CW) döndüğü anlamına gelir.

Birinci denklemden kayan cismin hızı olan \dot{r}_4 doğrusal hızı bulunabilir.

$$\dot{r}_4 = -r_2\dot{\theta}_2\sin\theta_2 - r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3$$

$$\theta_2 = 30^\circ \text{ için } \dot{r}_4 = -159,476 \text{ mm/s}$$

$$\theta_2 = 45^\circ \text{ için } \dot{r}_4 = -218,354 \text{ mm/s}$$

Doğrusal hızın eksi işaretli çıkması +x yönünü pozitif aldığımızdan kayan cismin -x yönünde hareket ettiği anlamına gelir.

İvme analizi yapabilmemiz için vektör denklemlerinin ikinci dereceden türevlerini bulmamız gerekir. Türev alırken belirlenen sabitler ve değişkenlere ek olarak:

$\dot{\theta}_3$: *değişken*

$\dot{\theta}_2$: *sabit*

\dot{r}_4 : *değişken*

$\ddot{\theta}_2 = 0^\circ$

$\ddot{\theta}_3 = ?$

$\ddot{r}_4 = ?$

Vektör denklemlerinin ikinci dereceden türevi:

$$\ddot{\vec{r}}_2 + \ddot{\vec{r}}_3 = \ddot{\vec{r}}_4$$

$$-r_2\dot{\theta}_2^2 \cos\theta_2 - \ddot{\theta}_3 r_3 \sin\theta_3 - \dot{\theta}_3^2 r_3 \cos\theta_3 = \ddot{r}_4$$

$$-r_2\dot{\theta}_2^2 \sin\theta_2 + \ddot{\theta}_3 r_3 \cos\theta_3 - \dot{\theta}_3^2 r_3 \sin\theta_3 = 0$$

İkinci denklemden $\ddot{\theta}_3$ açısal hızı bulunabilir.

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{r_2\dot{\theta}_2^2 \sin\theta_2 + \dot{\theta}_3^2 r_3 \sin\theta_3}{\ddot{\theta}_3 r_3 \cos\theta_3}$$

$\theta_2 = 30^\circ$ için $\ddot{\theta}_3 = 3,289 \text{ rad/s}^2 \text{ CCW}$

$\theta_2 = 45^\circ$ için $\ddot{\theta}_3 = 4,765 \text{ rad/s}^2 \text{ CCW}$

Birinci denklemden \ddot{r}_4 doğrusal ivme bulunabilir.

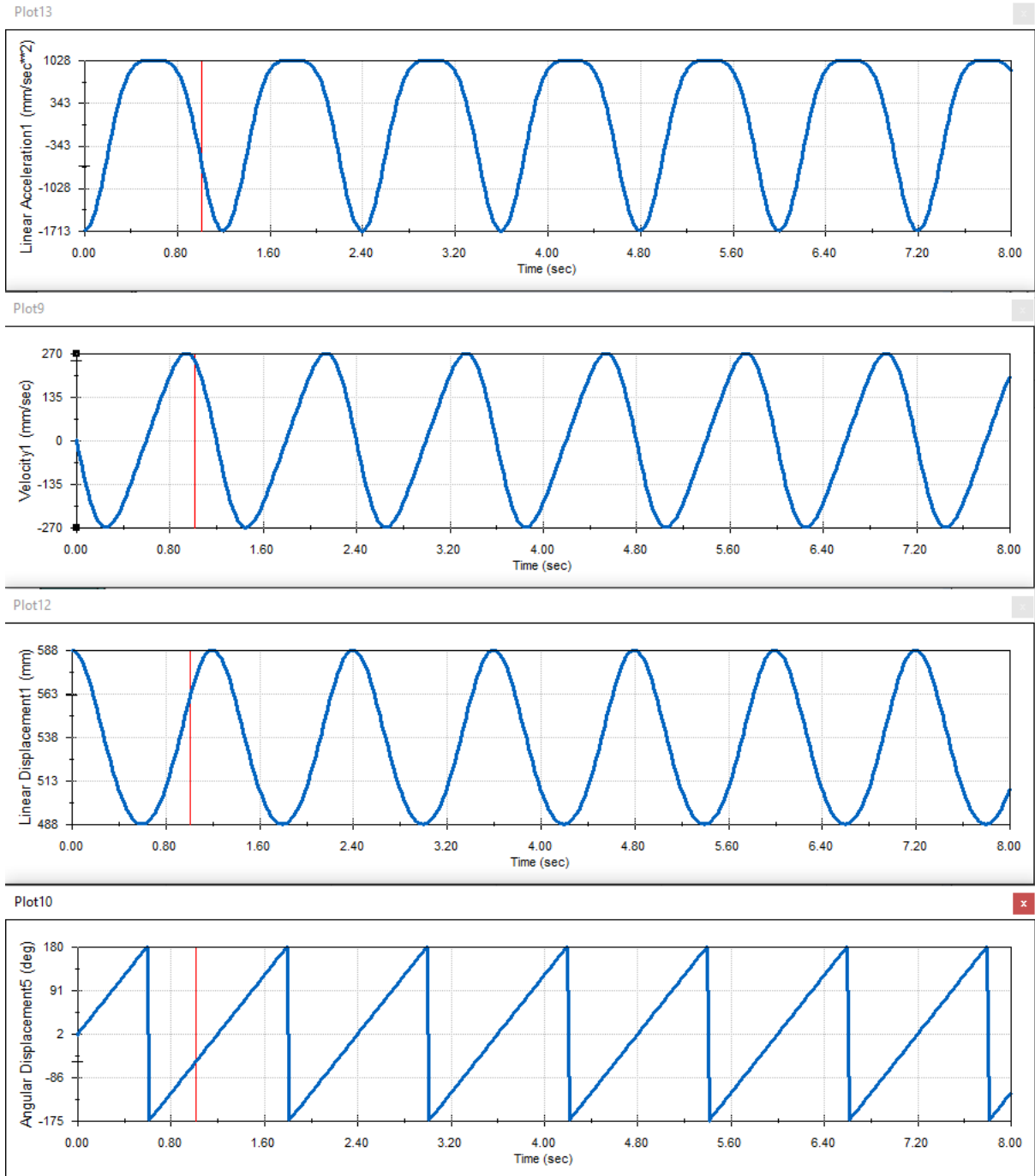
$$\ddot{r}_4 = -r_2\dot{\theta}_2^2 \cos\theta_2 - \ddot{\theta}_3 r_3 \sin\theta_3 - \dot{\theta}_3^2 r_3 \cos\theta_3$$

$\theta_2 = 30^\circ$ için $\ddot{r}_4 = -1364,147 \text{ mm/s}^2$

$\theta_2 = 45^\circ$ için $\ddot{r}_4 = -974,761 \text{ mm/s}^2$

Doğrusal ivmenin negatif çıkması, kayan cismin $-x$ yönünde ivmelendiği anlamına gelir.

SolidWorks çıktıları:



Şekil 3: SolidWorks sonuçları

Şekil 3'teki sonuçlar aşağıdan yukarıya doğru:

- 1- Crank kolunun açısal konumu, (θ_2)
- 2- Sliderın (hareketli cisim) x eksenine göre konumu, (r_4)
- 3- Sliderın doğrusal hızı, (\dot{r}_4)
- 4- Sliderın ivmesi anlamına gelmektedir. (\ddot{r}_4)

Sliderın konumu en uzakta:

$$r_4 = r_2 + r_3 = 200 + 50 = 250 \text{ mm}$$

En yakında:

$$r_4 = r_3 - r_2 = 200 - 50 = 150 \text{ mm}$$

Buradan hareketle crank kolunun döndüğü mafsalin merkezi 338 mm'de olmalıdır. Karşılaştırılabilmesi için analitik analizdeki r_4 değerlerini taşımamız gerekir.

$$\theta_2 = 30^\circ \text{ için } r_4 = 241,733 + 338 = 579,733 \text{ mm}$$

$$\theta_2 = 45^\circ \text{ için } r_4 = 232,206 + 338 = 570,206 \text{ mm}$$

Karşılaştırma yapılırken SolidWorks değerleri, Excel dosyası olarak çıkarılan (proje dosyasında 'Excel Sonuçlar') değerlerden 30° ve 45° değerlerine ulaşılan zamanlar alınarak ($t=0.1$ s ve $t=0.15$ s) okunmuştur.

$\theta_2 = 30^\circ$ için SolidWorks sonuçları:

$$\theta_2 = 29,841^\circ$$

$$t = 0,1 \text{ s}$$

$$r_4 = 579,536 \text{ mm}$$

$$\dot{r}_4 = -158,744 \text{ mm/s}$$

$$\ddot{r}_4 = -1367,436 \text{ mm/s}^2$$

$\theta_2 = 45^\circ$ için SolidWorks sonuçları:

$$\theta_2 = 44,841^\circ$$

$$t = 0,15 \text{ s}$$

$$r_4 = 569,864 \text{ mm}$$

$$\dot{r}_4 = -217,853 \text{ mm/s}$$

$$\ddot{r}_4 = -979,492 \text{ mm/s}^2$$

Sonuç

SolidWorks sonuçlarıyla analitik analiz sonuçlarını karşılaştıralım.

$$Hata = \left| \frac{SolidWorks\ Sonucu - Analiz\ Sonucu}{SolidWorks\ Sonucu} \right| \times 100$$

$\theta_2 = 30^\circ$ için hatalar:

$$r_4 = \left| \frac{579,536 - 579,733}{579,536} \right| \times 100 = \%0,034$$

$$\dot{r}_4 = \left| \frac{-158,744 - (-159,476)}{-158,744} \right| \times 100 = \%0,461$$

$$\ddot{r}_4 = \left| \frac{-1367,436 - (-1364,147)}{-1367,436} \right| \times 100 = \%0,002$$

$\theta_2 = 45^\circ$ için hatalar:

$$r_4 = \left| \frac{569,864 - 570,206}{569,864} \right| \times 100 = \%0,06$$

$$\dot{r}_4 = \left| \frac{-217,853 - (-218,354)}{-217,853} \right| \times 100 = \%0,23$$

$$\ddot{r}_4 = \left| \frac{-979,492 - (-974,761)}{-979,492} \right| \times 100 = \%0,005$$

Açılar tam değerleri seçilemediğinden hatalar oluştu. Daha yüksek çözünürlükte (virgülden sonraki basamak sayısı daha fazla olursa) daha hatasız sonuçlar alınabilir.