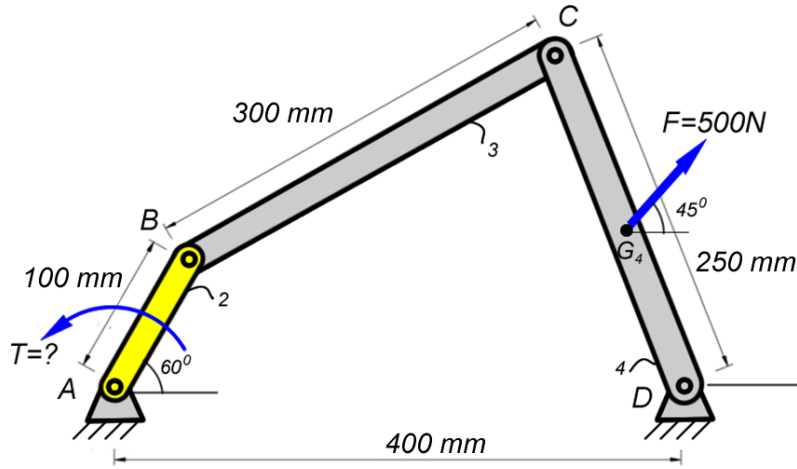


MAKİNE DİNAMİĞİ (3. Hafta)

MEKANİK SİSTEMLERİN KONUM ANALİZİ

Bir mekanizmanın üzerinde Statik yada Dinamik analiz yapabilmek için öncelikle mekanizma üzerindeki tüm uzuvların boy ve açılarının bilinmesi gerekir. Bir mekanizmanın üzerinde her hangi bir anda fotoğrafın çekildiği esnada basit geometrik/trigonometrik hesaplarla yada Solidworks gibi paket programlar kullanarak çizimle aranan konum bilgileri (boy ve açılar) bulunabilir. Fakat bu sadece o an için geçerli bir çözümdür. Esas hesaplanması gereken mekanizmanın tüm hareketleri için aranan değerlerin bulunmasıdır. Bu nedenle daha geçerli bir yöntem hareketin konumlarını hesaplayan analitik formüllerin çıkarılmasıdır.

Örnek problem olarak aşağıdaki 4 çubuk mekanizmasını ele alalım.

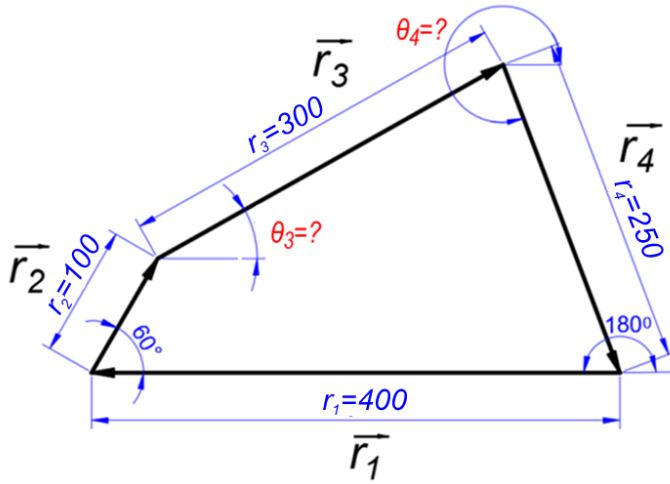


Burada 2 nolu çubuğun A noktasına bir motor bağlanıp mekanizmayı hareket ettirmesi istenebilir fakat sistemi hareket ettiren bir tork varsa sistem dinamiktir. Biz sistemi ilk olarak statik olarak çözmek istiyoruz. Yani sistem hareket etmiyor, üzerindeki kuvvetler denge halindedir. Dolayısı ile sağ taraftaki 500 N luk kuvveti dengeleyecek motorun T torku nedir diye sorulacaktır.

Böyle bir mekanizma tasarladığımızda mekanizmayı oluşturan tüm kolların boyları ve şasi uzunlukları biliniyordu (sonuçta yaptığımız tasarımın ölçülerini biz biliyoruz). Ayrıca harekete zorlayan motorunda dönme açısı da biliniyordu (step, servo motor bağlanmış olabilir yada enkoder ile her anın açısı ölçülebilir). Tek bilinmeyen ise fotoğrafın çekildiği esnadaki 3 ve 4 nolu çubukların açılarıdır. Çünkü bu açılar hareket esnasında sürekli değişecektir. Fotoğrafı çektiğimiz esnada ne olduğunu bilemeyiz. Kuvvetlerin dengesini hesaplayabilmek için bu açıları hesaplamamız gerekecek. Kısaca statik yada dinamik kuvvet analizi yapabilmek için tüm çubukların (uzuvların) boy ve açılarının biliniyor olması gerekir.

Mekanizma üzerindeki bilinmeyen boy ve açıları bulmak için konum hesabı yapılmalıdır. Fotoğrafın çekildiği esnada bilinmeyen boy ve açıları bildiğimiz basit geometrik yöntemlerle rahatlıkla hesaplayabiliriz. Fakat biz mekanizmanın her anının konumu için boy ve açıları bulmamız gerekiyor. Bu nedenle hareketin denklemlerini çıkarmak ve programatik olarak her konum için bu açıların bulunması bizim için daha önemlidir. Böylece sonraki dinamik hesaplara geçtiğimizde hareketin her anı için bilinmeyen boy ve açıları bulabiliriz.

Konum Analizinde temel hedef mekanizmayı temsil eden Vektörel poligonun üzerindeki her bir vektörün boy ve açısını bulmaktır, yani aşağıdaki **Konum Tablosunun** ini doldurmaktır. Burada sadece θ_3 ve θ_4 açıları bilinmiyor. Analiz yaparken bu tabloda 2 tane bilinmeyen olmalıdır. Daha fazla olursa bir hata var demektir yada sistem çözülemez. Vektörel poligonu oluştururken tüm vektörler aynı yöne bakmalı ve açıları her vektörün başlangıç kısmında x ekseninden itibaren alınmalıdır.



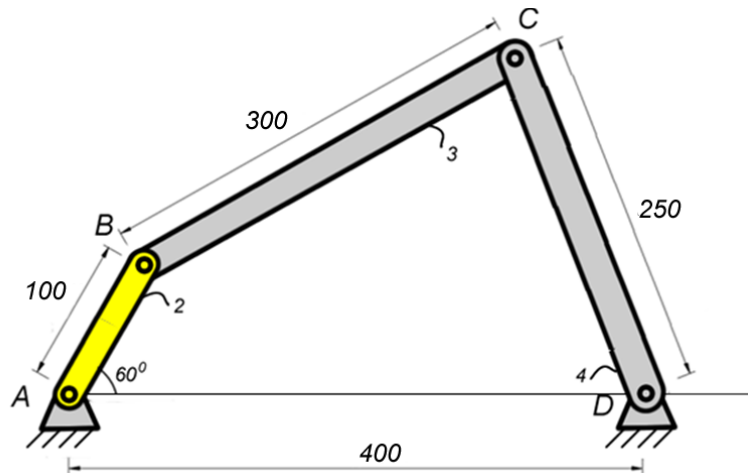
Vektörel poligonun Konum Tablosu				
	$\vec{r}_1$	$\vec{r}_2$	$\vec{r}_3$	$\vec{r}_4$
r	400	100	300	250
θ	180°	60°	$\theta_3=?$	$\theta_4=?$

Mekanizmayı temsil eden **Vektörel Poligon**

KONUM TABLOSUNU BULMAK İÇİN ANALİTİK, GEOMETRİK VE NÜMERİK YÖNTEMLERİN KULLANIMI

Örneğin Tanımlaması

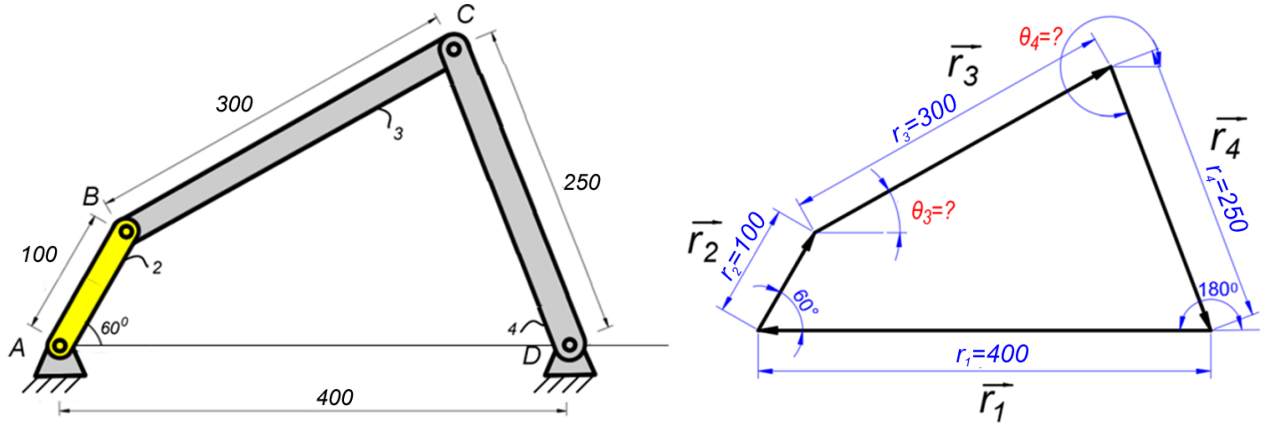
Konum hesabı için aşağıdaki 4 çubuk mekanizması örneğini kullanalım. Bu mekanizma konum hesabından sonra üzerine eklenen dış kuvvetlerin dengesini hesaplamak için kullanılacak (Statik Analiz). Daha sonra da sisteme hareket vererek dış kuvvetlerin ve atalet kuvvetlerinin hesabını yaparak sisteme bağlanacak motor gücünü hesaplayacağız. Tüm bu hesaplamalar mekanizmanın bir periyodu için yapılacak. Anlık hesaplamalar ihtiyaç olan motor gücünü göstermez. Tüm sistem bir döngü boyunca hareket ettiğinde en yüksek motor gücünün gerektiği ana göre seçim yapılmalıdır. Bu nedenle anlık hesaplamalar (fotoğrafın çekildiği esnadaki hesaplamalar) yapılacak fakat tüm döngüyü hesaplamak için C# program ve Paket Programı (Solidworks) kullanılacak. Böylece anlık hesaplamalar denklemlerin yada işlemlerin doğrulaması için kullanılacak, ardında tüm döngü için hesaplar yapıp döngü boyunca oluşan değişimler grafikte gösterilecek.



A. Vektörel Denklemler ile Konumun Hesaplanması

Bir mekanizmayı mafsal ve mesnet noktalarından parçalara ayırdığımızda her bir uzvu vektörel konum denklemi ile gösterebiliriz. Bu durumda eğer mekanizma üzerindeki vektörel döngü kapalı bir poligon oluşturuyorsa bu vektörlerin toplamı sıfır olacaktır. Buradan türetilen denklemlerle mekanizmanın tüm uzuvlarının konumları

(her bir uzun boy ve açısı) bulunabilir. Bütün bu işlemleri yine vektör matematiğini kullanarak çözeceğiz. Bu işlemler sonucunda hedefimiz mekanizma üzerindeki tüm boy ve açıları Konum Tablosu içerisine yazıp göstermektir.

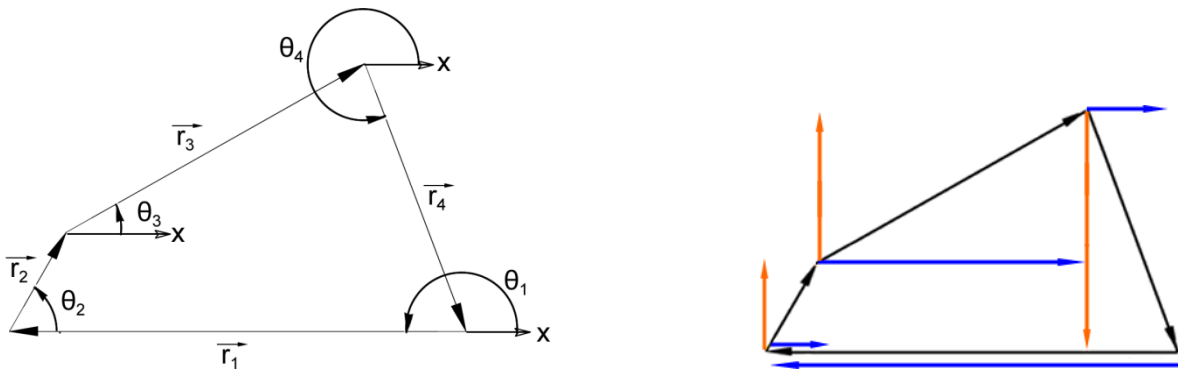


(Not: Makine tasarımlarında ölçüler **mm** olmalıdır. Birimi yazılmayan uzunluk ölçüleri mm alınmalıdır)

Mekanizma üzerindeki mafsal ve mesnet noktalarından ayrılan her uzvu bir konum vektörü olarak gösterebiliriz. Bu vektörlerin yönlerini aynı yöne bakacak şekilde kapalı bir döngü haline getirirsek vektörel toplamları sıfır olacaktır.

Vektörel poligonu isimlendirirken sabit olan şase "1" numara ile isimlendirilir. Her vektörün açısı gösterilirken, başlangıcına x eksenini konur ve saatin tersi yönünde gösterilir. Tüm açılar aynı yöne bakmalıdır. Ayrıca vektörlerin yönleri de aynı yönde döngü oluşturmalıdır.

Aynı yöne bakan ve kapalı döngü oluşturan vektörlerin toplamının sıfır olduğunu aşağıdaki şekilde görebiliriz. Vektörleri dikey ve yatay bileşenlere ayırdığımızda aynı eksen üzerindeki bileşenlerin toplamalarının birbirini götürdüğünü görebiliriz.



Konum Analizinde hedefimiz mekanizma üzerindeki tüm uzuvların boy ve açılarını bulmaktır. Buradaki 4 çubuk mekanizmasını 4 adet vektörle gösterdiğimizize göre bu vektörlerin boy ve açıları Konum tablosu ile gösterilebilir. Bu tablo içerisine başlangıçta bilinen konum değerlerini ve bulunacak değerleri yazalım.

Vektörel Konum Tablosu				
	$\vec{r}_1$	$\vec{r}_2$	$\vec{r}_3$	$\vec{r}_4$
r (boy)	400 mm	100 mm	300 mm	250 mm
θ (açı)	180°	60°	$\theta_3=?$	$\theta_4=?$

Bu tabloda iki tane bilinmeyen vardır. Bu iki bilinmeyi vektörel denklemleri kullanarak bulalım. İstersek vektörel denklem yerine geometrik kuralları kullanarak da çözebiliriz. Yada ölçekli olarak Solidworks gibi programlar kullanarak çizerek bilinmeyen bu değerleri bulabiliriz. Fakat bulduğumuz bu değerler sadece fotoğrafın çekildiği esna için çözüm verir. Mekanizmanın her anı için hesabı yapacak yöntemi bulmalıyız. Bu durumda Geometrik hesaplama ve Çizim yöntemi pratik olmaz.

Onun yerine Vektörel yöntemle bu açıları veren matematiksel denklemler bulunursa ve bunlarda programa dökülürse, mekanizmanın her hareketi için konumlar kolaylıkla hesaplanabilir. Bu açıdan hesaplamalarda vektörel denklemleri yada uygun formülasyonları kullanmak daha önemlidir.

Şimdi vektörel yöntemle Konum Tablosundaki bilinmeyenleri nasıl hesaplayacağımıza bakalım.

Vektörel poligondaki tüm vektörlerin toplamı sıfır olacaktır (aynı yöne bakan ve kapalı döngü oluşturan vektörlerin toplamı sıfırdır).

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_4 = 0 \quad \text{Bunları birim vektörler cinsinden yazalım. } \overrightarrow{\mu(\theta)} \text{ birim vektördür. (Boyu 1 ve açısı } \theta \text{ dir).}$$

$$\overrightarrow{r_1 \mu(\theta_1)} + \overrightarrow{r_2 \mu(\theta_2)} + \overrightarrow{r_3 \mu(\theta_3)} + \overrightarrow{r_4 \mu(\theta_4)} = 0$$

Bu denklem **Konum denklemi** olmuş oluyor. Bilinenleri ve bilinmeyenleri üzerinde gösterelim.

$$\underbrace{r_1}_{400} \underbrace{\mu(\theta_1)}_{180^\circ} + \underbrace{r_2}_{100} \underbrace{\mu(\theta_2)}_{180^\circ} + \underbrace{r_3}_{300} \underbrace{\mu(\theta_3)}_{?} + \underbrace{r_4}_{250} \underbrace{\mu(\theta_4)}_{?} = 0$$

Denklemde iki tane bilinmeyen var.

Bilinmeyenlerden birini yok etmek için, yanındaki birim vektörü sıfır yapan bir katsayı ile çarpalım.

Bu katsayı yine bir birim vektör olacaktır.

Önceki konuda birim vektörlerin

skaler çarpım formüllerine bakınız.

$$\overrightarrow{\sigma(\theta_4)} * \{ \underbrace{r_1 \mu(\theta_1)}_{?} + \underbrace{r_2 \mu(\theta_2)}_{?} + \underbrace{r_3 \mu(\theta_3)}_{?} + \underbrace{r_4 \mu(\theta_4)}_{?} \} = 0 \quad \begin{array}{l} \mu(\theta_4) \text{ ü yok etmek için } \sigma(\theta_4) \text{ ile çarpıyoruz.} \\ \text{Çünkü } \overrightarrow{\mu(\theta_n)} \cdot \overrightarrow{\sigma(\theta_n)} = 0 \text{ dir.} \end{array}$$

$$\underbrace{r_1 \mu(\theta_1) \sigma(\theta_4)}_{\sin(\theta_1 - \theta_4)} + \underbrace{r_2 \mu(\theta_2) \sigma(\theta_4)}_{\sin(\theta_2 - \theta_4)} + \underbrace{r_3 \mu(\theta_3) \sigma(\theta_4)}_{\sin(\theta_3 - \theta_4)} + \underbrace{r_4 \mu(\theta_4) \sigma(\theta_4)}_0 = 0$$

Skaler birim vektör çarpımlarının sonucu formüller kullanarak yazalım.

$$r_1 \sin(\theta_1 - \theta_4) + r_2 \sin(\theta_2 - \theta_4) + r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4) = 0 \quad \text{.....[1]} \quad \begin{array}{l} \text{Denklemi çözebilmek için} \\ \text{bir denklem daha bulalım. Bu sefer} \\ \mu(\theta_3) \text{ ü yok etmek için } \sigma(\theta_3) \text{ ile} \\ \text{çarpalım.} \end{array}$$

$$\overrightarrow{\sigma(\theta_3)} * \{ \underbrace{r_1 \mu(\theta_1)}_{?} + \underbrace{r_2 \mu(\theta_2)}_{?} + \underbrace{r_3 \mu(\theta_3)}_{?} + \underbrace{r_4 \mu(\theta_4)}_{?} \} = 0$$

$$\underbrace{r_1 \mu(\theta_1) \sigma(\theta_3)}_{\sin(\theta_1 - \theta_3)} + \underbrace{r_2 \mu(\theta_2) \sigma(\theta_3)}_{\sin(\theta_2 - \theta_3)} + \underbrace{r_3 \mu(\theta_3) \sigma(\theta_3)}_0 + \underbrace{r_4 \mu(\theta_4) \sigma(\theta_3)}_{\sin(\theta_4 - \theta_3)} = 0$$

$$r_1 \sin(\theta_1 - \theta_3) + r_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3) = 0 \quad \text{..... [2]}$$

1 ve 2 nolu denklemleri **Sin(A-B) = SinA CosB - CosA SinB** trigonometrik dönüşüm formülü ile açalım.

$$r_1 \sin(\theta_1 - \theta_4) + r_2 \sin(\theta_2 - \theta_4) + r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4) = 0$$

$$r_1 (\sin \theta_1 \cos \theta_4 - \cos \theta_1 \sin \theta_4) + r_2 (\sin \theta_2 \cos \theta_4 - \cos \theta_2 \sin \theta_4) + r_3 (\sin \theta_3 \cos \theta_4 - \cos \theta_3 \sin \theta_4) = 0$$

$$r_1 \sin \theta_1 \cos \theta_4 - r_1 \cos \theta_1 \sin \theta_4 + r_2 \sin \theta_2 \cos \theta_4 - r_2 \cos \theta_2 \sin \theta_4 + r_3 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - r_3 \cos \theta_3 \sin \theta_4 = 0$$

$$400 \sin 180 \cos \theta_4 - 400 \cos 180 \sin \theta_4 + 100 \sin 60 \cos \theta_4 - 100 \cos 60 \sin \theta_4 + 300 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - 300 \cos \theta_3 \sin \theta_4 = 0$$

$$0 + 400 \sin \theta_4 + 86,6 \cos \theta_4 - 50 \sin \theta_4 + 300 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - 300 \cos \theta_3 \sin \theta_4 = 0$$

Aynı işlemleri 2 nolu denklem için de yapalım.

$$r_1 \sin(\theta_1 - \theta_3) + r_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3) = 0$$

$$r_1 (\sin \theta_1 \cos \theta_3 - \cos \theta_1 \sin \theta_3) + r_2 (\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \cos \theta_2 \sin \theta_3) + r_4 (\sin \theta_4 \cos \theta_3 - \cos \theta_4 \sin \theta_3) = 0$$

$$r_1 \sin \theta_1 \cos \theta_3 - r_1 \cos \theta_1 \sin \theta_3 + r_2 \sin \theta_2 \cos \theta_3 - r_2 \cos \theta_2 \sin \theta_3 + r_4 \sin \theta_4 \cos \theta_3 - r_4 \cos \theta_4 \sin \theta_3 = 0$$

$$400 \sin 180 \cos \theta_3 - 400 \cos 180 \sin \theta_3 + 100 \sin 60 \cos \theta_3 - 100 \cos 60 \sin \theta_3 + 250 \sin \theta_4 \cos \theta_3 - 250 \cos \theta_4 \sin \theta_3 = 0$$

$$0 + 400 \sin \theta_3 + 86,6 \cos \theta_3 - 50 \sin \theta_3 + 250 \sin \theta_4 \cos \theta_3 - 250 \cos \theta_4 \sin \theta_3 = 0$$

Ortaya çıkan bu iki denklemleri biraz daha formatlı gösterelim.

$$400 \sin \theta_4 + 86,6 \cos \theta_4 - 50 \sin \theta_4 + 300 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - 300 \cos \theta_3 \sin \theta_4 = 0$$

$$400 \sin \theta_3 + 86,6 \cos \theta_3 - 50 \sin \theta_3 + 250 \sin \theta_4 \cos \theta_3 - 250 \cos \theta_4 \sin \theta_3 = 0$$

Sonuç olarak bilinen değerleri yerine yazdığımızda denklemlerimiz aşağıdaki şekilde olacaktır. Sadece θ_3 ve θ_4 açıları bilinmiyor. Elde iki denklem var bu iki değişken bulunabilir.

$$350 \sin \theta_4 + 86,6 \cos \theta_4 + 300 \sin \theta_3 \cos \theta_4 - 300 \cos \theta_3 \sin \theta_4 = 0$$

$$350 \sin \theta_3 + 86,6 \cos \theta_3 + 250 \sin \theta_4 \cos \theta_3 - 250 \sin \theta_3 \cos \theta_4 = 0$$

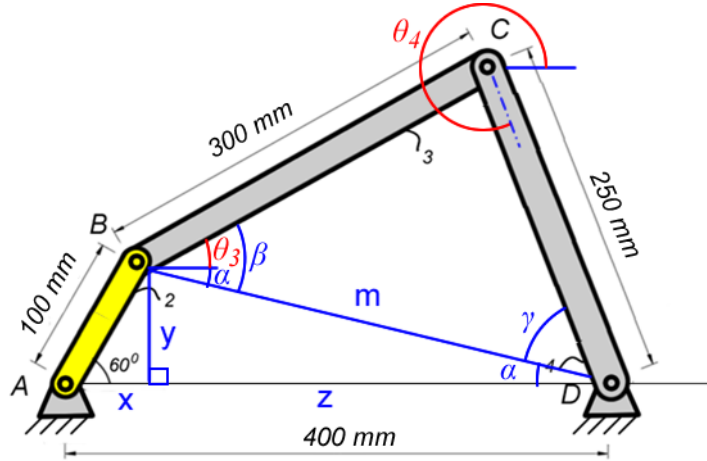
Bu iki denklem **Non-lineer** bir denklem takımı olduğu için analitik olarak (cebirsel yöntemlerle) bunu çözemeyiz. Bilgisayar kullanarak iteratif (tekrarlı) şekilde sayısal yöntemlerle çözebiliriz. Bu iki denklem takımını çözmek için Newton-Raphson yada Yarılama metodu (Bisection) metodunu kullanabiliriz.

Burada bu yöntemler yerine daha basit olduğu için geometrik olarak hesaplayıp, bulduğumuz formülleri genel hale getirip programda kullanacağız. Böylece mekanizmanın tüm hareket boyunca konumunu hesaplayabileceğiz.

B. Geometrik (Analitik) Hesaplama ile Anlık Konumun Bulunması

Şeklin üzerinde aşağıda gösterilen çizgileri çizersek trigonometrik formülleri kullanarak 3 ve 4 nolu uzuvların açılarını bulabiliriz. Analitik hesaplamada açı kullanıyorsak olabildiğince açıları hassas almalıyız. Çünkü Sin ve Cos

gibi değerler 1 altında çıkan sayılardır. Bu sayıları hassas olmazsa sonuçları çok fazla değiştirir. Bu nedenle virgülden sonra 6 hane hassasiyeti kullanalım.



$$\sin(60) = \frac{y}{100} \Rightarrow y = 86,60254 \text{ mm}$$

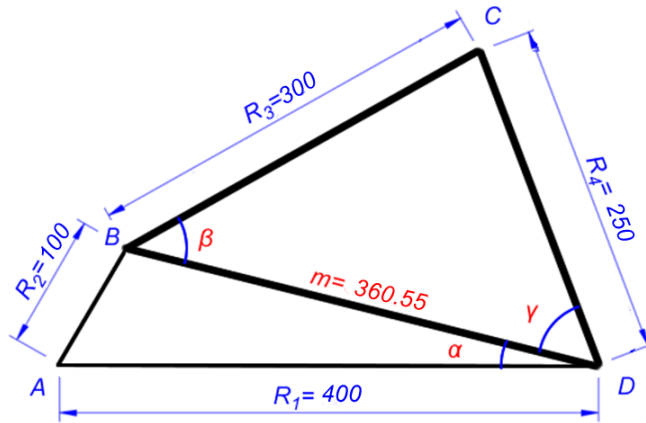
$$\cos(60) = \frac{x}{100} \Rightarrow x = 50 \text{ mm}$$

$$z = 400 - x = 400 - 50 \Rightarrow z = 350 \text{ mm}$$

$$m = \sqrt{y^2 + z^2} = \sqrt{86,60254^2 + 350^2} \Rightarrow m = 360,55512 \text{ mm}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{y}{z} = \frac{86,60254 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 0.247435 \Rightarrow \alpha = 13.897841^\circ$$

Üst kısımdaki BCD üçgenine odaklanırsak buradaki üç kenarı da biliyoruz. Kosinüs teoremiyle istediğimiz noktanın açısını hesaplayabiliriz.



$$R_4^2 = R_3^2 + m^2 - 2 \cdot R_3 \cdot m \cdot \cos(\beta)$$

$$250^2 = 300^2 + 360,55512^2 - 2 \cdot 300 \cdot 360,55512 \cdot \cos(\beta) \Rightarrow \cos(\beta) = 0.7280439 \Rightarrow \beta = 43.277343^\circ$$

$$\theta_3 = \beta - \alpha = 43.277343 - 13.897841 = 29.3795^\circ$$

Benzer yöntemle (Kosinüs teoremiyle) θ_4 açısını da bulalım.

$$R_3^2 = R_4^2 + m^2 - 2 \cdot R_4 \cdot m \cdot \cos(\gamma)$$

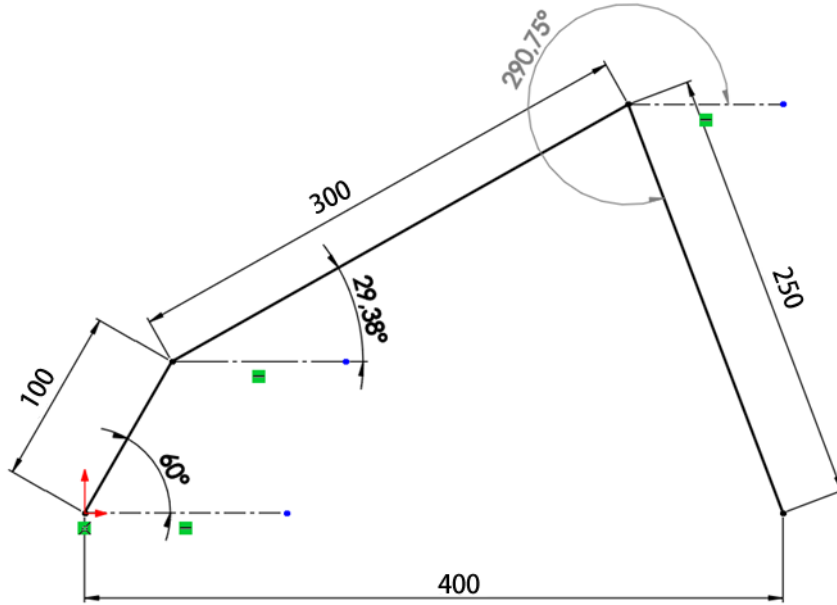
$$300^2 = 250^2 + 360,55512^2 - 2 \cdot 250 \cdot 360,55512 \cdot \cos(\gamma) \Rightarrow \cos(\gamma) = 0.5685676 \Rightarrow \gamma = 55.349599^\circ$$

$$\theta_4 = 360 - (\alpha + \gamma) = 360 - 13.897841 - 55.349599 = 290.752^\circ$$

Fotoğrafı çektiğimiz andaki θ_3 ve θ_4 açılarını bulduk fakat bize tüm periyot boyunca ortaya çıkan açılar lazım. Buradaki hesaplama yöntemini programa dökerek mekanizmanın tüm hareketi boyunca bu açıları hesaplayabiliriz.

C. Solidwork Kullanarak Çizimle Konum Değerlerinin Kontrol Edilmesi

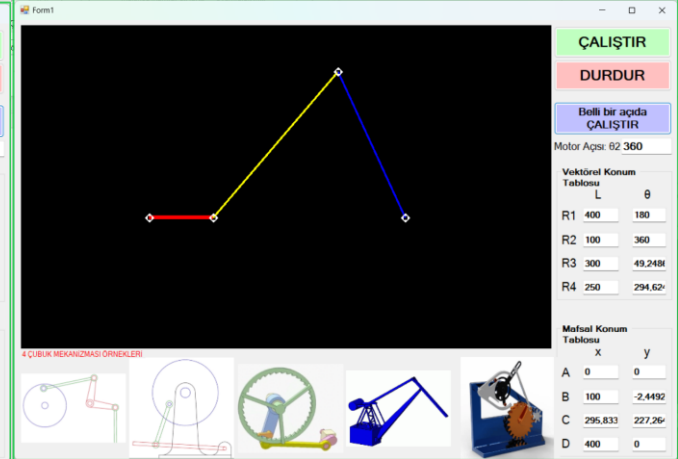
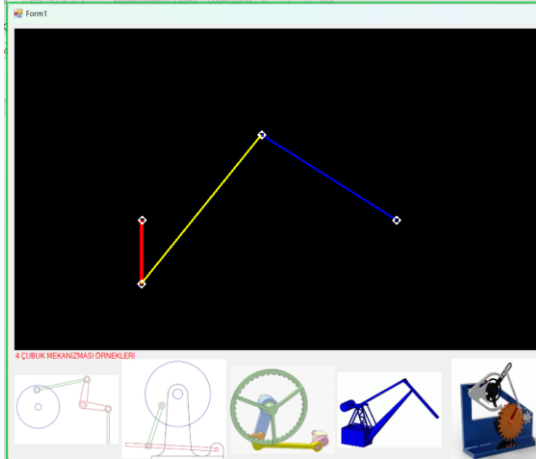
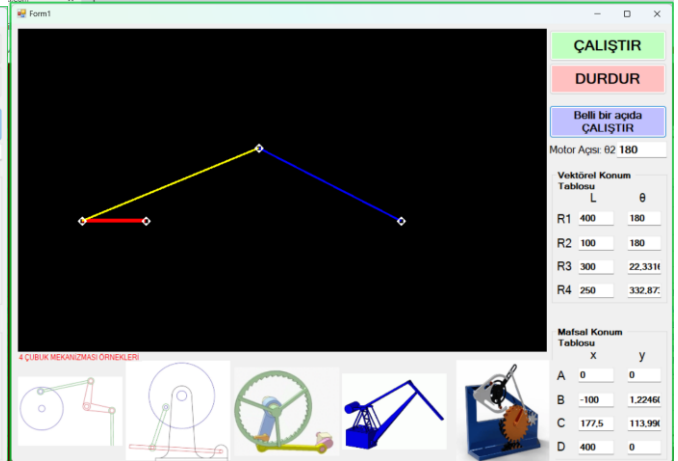
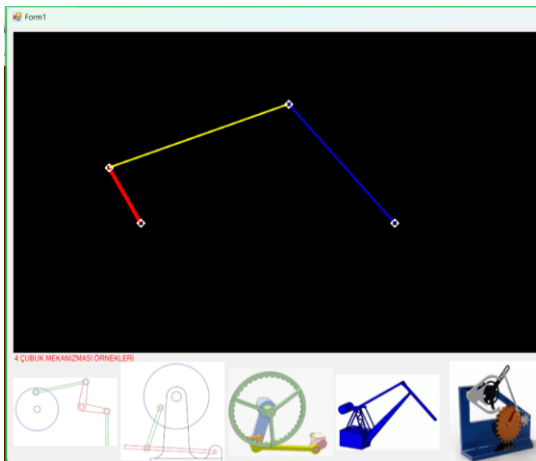
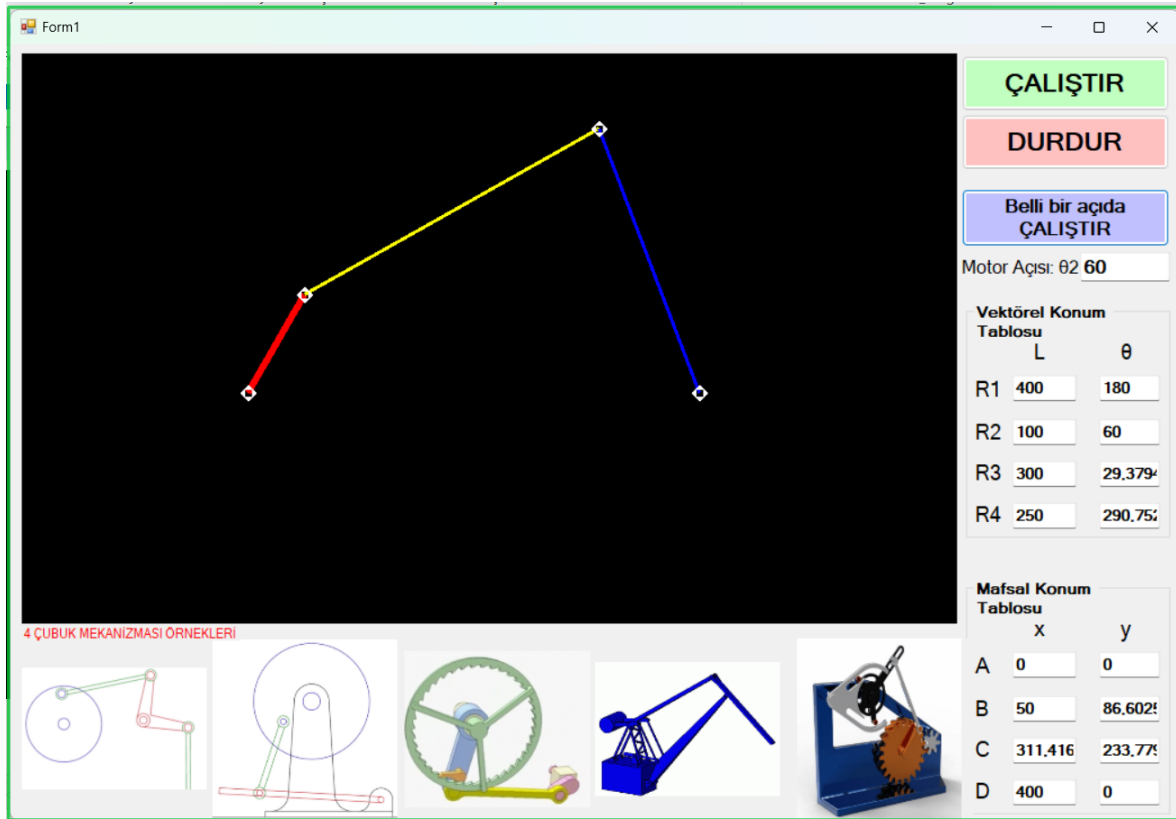
Basitçe Solidworks'da çizip θ_3 ve θ_4 açılarını görelim. Bu işlem daha çok hesaplamaları doğru yapıp yapmadığımızı gösterecektir. Yukarıda formüllerle yaptığımız hesapların doğru olduğunu görüyoruz. Aynı zamanda mafsal noktalarının (A,B,C,D) kartezyen koordinatlarını da hesaplayalım.



Vektörel Konum Tablosu				
	$\vec{r}_1$	$\vec{r}_2$	$\vec{r}_3$	$\vec{r}_4$
r (boy)	400 mm	100 mm	300 mm	250 mm
θ (açı)	180°	60°	$\theta_3=29.38$	$\theta_4=290.75$

D. Geometrik (Analitik) Hesaplama ile Tüm Döngü Boyunca Konumun Programlanarak Bulunması

Hesaplamalar yukarıda B maddesinde yapılan geometrik formülleri programa dökerek mekanizmanın tüm döngü boyunca konumlarını hesaplayalım.



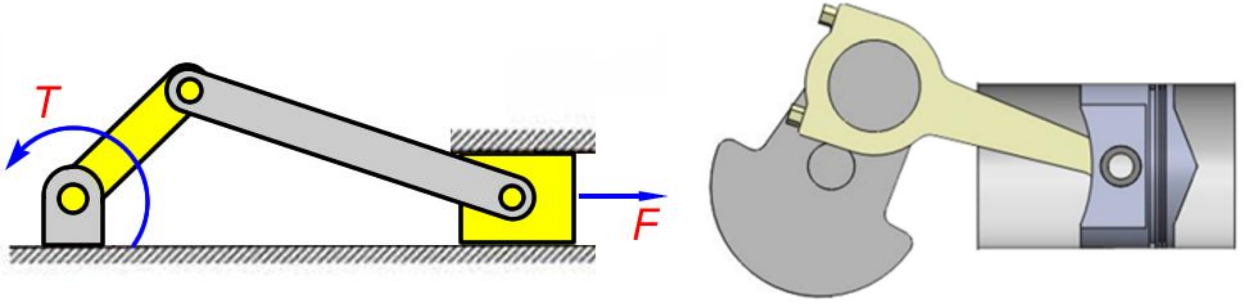
Program Linki: https://ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/MakineDinamigi/Mekanizma_Programi.rar

ÖDEVLER

Ödev 1: Yukarıda notlarda anlatıldığı şekilde aşağıdaki Krank biyel mekanizmasının hesaplarını ve programlamasını yapın.

- Vektörel Poligonu ve Vektörel Konum Tablosunu oluşturun. Konum tablosunda hesaplanacak büyüklükleri gösterin.
- Vektörel Konum denklemini kağıt üzerinde çıkarın. Bu denklemler Non-Lineer çıkmıyor ise denklemleri çözün ve Konum tablosunu doldurun. (Non-Lineer çıkıyorsa denklemleri son haline kadar getirin bırakın).
- Konum Tablosunu Geometrik yöntemler kullanarak çözün.
- Bulduğunuz değerleri Solidwork'de mekanizmayı çizerek kontrol edin, doğrulamasını yapın.
- Geometrik yöntemle bilinmeyen konumları hesaplarken kullandığınız denklemleri programda kullanacak hale getirip tüm açılar için hesaplamalarınızı yapın, programda gösterin. Mekanizmayı yukarıda örnek olarak verilen programa benzer şekilde oluşturun. Kodlar döngü şeklinde çalışabilsin. Ayrıca istenen açıdaki değerleri gösterebilir.

(Not: Herkesin mekanizma ölçüleri birbirinden farklı olacak. Birinizdeki tarz veya hatalar başkasında da çıkarsa ikisi de kopya alır. Pdf içinde mekanizmanın çalıştığını gösteren ekran görüntüleri koyun. Yukarıdaki örneği inceleyin. Kendinizden bir şeyler daha katarak ödevi zenginleştirin).



Ödev 2: Yukarıda notlarda anlatıldığı şekilde aşağıdaki resmi verilen Pres Mekanizmasının hesaplarını ve Animasyon programını yazın. Bunun için aşağıdaki adımları takip edin.

- Mekanizmanın fotoğrafının çekildiği an için hesapları yapılacaktır.
- Bu ödevde hesaplamamız gereken mekanizmadaki her bir uzvun (vektörün) konumunu bulmak (yani boy ve açılarını bulmaktır) ve böyle tüm uzuvların konum tablolarını doldurmaktır. Dikkat ederseniz sistemde iki ayrı mekanizma vardır. Kırmızı uzuv üzerinden hareket birinci mekanizmadan ikinci mekanizmaya aktarılmaktadır.

Birinci mekanizmada motor $\vec{R}_2$ vektörüne bağlı olduğu için fotoğrafı çektiğimiz esnada bu vektörün açısını biliyor olmamız gerekir. Gerçek dünya da motorun hangi açıda olduğu her zaman ölçülebilir ve biliniyor olmalıdır (step ve servo motorlarda açısı daima ölçülebilir. Asenkron motorlarda ise encoder kullanarak açısı ölçülebilir).

Bu birinci poligonda $\vec{R}_4$ vektörün konumu (boy ve açısı) biliniyorsa kırmızı uzuvun şeklide belli olduğuna göre ikinci poligonda $\vec{r}_2$ vektörün konumu (boy ve açısı) biliniyor olacak. Yani bu uzva bir motor bağlanmış gibi kabul edip ikinci poligonu da ayrı olarak çözüme devam edebiliriz.

Kısaca aşağıdaki tabloyu doldurmamız bu ödevde hedefimizdir.

Bu tabloda onay işaretli kısımlar (v) kendi tasarımınızdan zaten biliniyordur (Herkesin tasarımı farklı olacak. Başlangıç boy ve açılar farklı olmak zorundadır. Bağımsız çizerseniz zaten farklı olacaktır). Bu

kısımlara ait ölçüleri Solid deki tasarımınızdan alıp tabloyu doldurun. Solid'de soru işaretli kısımların ölçülerini de alıp doldurun. Hareket devam ettiğinde bu kısımların ölçüsü değişecektir ve hesaplanması gerekecek.

(1. Poligon, döngü, Mekanizma)					2. Poligon, döngü, mekanizma				
Konum	$\vec{R}_1$	$\vec{R}_2$	$\vec{R}_3$	$\vec{R}_4$	Konum	$\vec{r}_1$	$\vec{r}_2$	$\vec{r}_3$	$\vec{r}_4$
R	✓	✓	✓	✓	r	✓	✓	✓	✓
Θ	✓	✓	?	?	θ	✓	✓	?	?

- Fotoğrafın çekildiği an için Vektörel Poligonu ve denklemleri oluşturun. Denklemleri çözmeye çalışın. Non lineer denklemler çıkana kadar devam ettirin. Yani Sin ve Cos denklemlerin son hali oluşana kadar devam ettirin. Bu denklemler Cebirsel yöntemlerle çözülemeyeceği için orada bırakın (Çözebilmek için sayısal/nümerik yöntemler kullanmak gerekir).
- Poligonu Geometrik formüller kullanarak çözün. Yani üçgen, sinüs yada Cosinüs teoremlerini kullanarak çözün (konum tablolarını bu şekilde doldurun). Çıkan sonuçlar solidworks sonuçları ile karşılaştırın.
- Mekanizmaları tüm motorun dönme açıları için programlayarak animasyon ve konum tablosundaki değişimleri gösterin. Başlangıç motorunu (R_2 vektörü) timer ile döndürdüğünüzde diğer tüm çubuklar ona bağlı olarak hareket etmeli. Bu esnada ekranda tüm çubukların boy ve açıları textboxlar içinde gösterilmelidir. Ödevin esas kısmı bu programı yazabilmektir. Esas ağırlığı buraya verin. Sitede derste işlenen 4 çubuk mekanizmasının kodları vardır. Nasıl yapılacağını oradan da öğrenebilirsiniz.

(Not: Herkesin mekanizma ölçüleri birbirinden farklı olacak. Birinizdeki tarz veya hatalar başkasında da çıkarsa ikisi de kopya alır. Pdf içinde mekanizmanın çalıştığını gösteren ekran görüntüleri koyun. Yukarıdaki örneği inceleyin. Kendinizden bir şeyler daha katarak ödevi zenginleştirin).

