

MAKİNA DİNAMIĞI

Ders işleyiş kurallarının tartişılması

Genel Kavramlar

Dinamik Prensipler, Makinalarda Kuvvetler

Statik Kuvvetler Etkisi Altında Denge

DERS İŞLEYİŞ KURALLARININ TARTIŞILMASI

Dersin Amacı, İletişim Kanalları, Haftalık Ders Programları, Kazanıçlarımız
ve Değerlendirme Kuralları

Ders işleyiş kurallarının tartışılması

Dersin Amacı:

- Bu dersin amacı, Herhangi bir makinede veya mekanizmada etkili olan kuvvetlerin statik ve dinamik dengeleme metotlarını öğretmektir.

Öğrenme Çıktıları:

- Bir mekanizmaya etkiyen kuvvet/kuvvetleri analiz eder. Uzunluklar arası kuvvet iletimini metodik olarak çizer ve hesaplar.
- Makinalarda statik ve dinamik dengeleme ilkelerini bilir.
- Çok silindirli motorlarda dengeleme esaslarını dikkate alır. Volan boyutlandırması ve hesaplarını yapar.
- Motorun kendi elemanlarının kütle atalet momentlerini hareket denklemlerinde hesaba katar.
- Kütle indirgenmesinde indirgenecek nokta sayısı ile seçilecek parametre sayısı arasında ilişki kurar. Krank-muylu eksenine ve piston-perno merkezine indirgenmiş kütlelerin atalet kuvvetlerini hesaplar
- Mekanik titreşimlerde temel kavramları, doğal frekansı, zorlanmış titreşimi, yay karakteristik denklemini, yay sabiti, yayların bağlanma şekillerini, sönüm elemanları ve sönüm katsayılarını bilir.

Ders işleyiş kurallarının tartışılması

- İletişim:
- Ders Notları, Tüm duyurular ve Sınav Sonuçları:
<http://otomatikkontrol.omu.edu.tr/>
- Oda: 329 [Tel:1536](tel:1536)
- Email:nurdan.bilgin@omu.edu.tr

Ders işleyiş kurallarının tartışılması

- Bu dersi almadan önce, **dinamik, mekanizma tekniği ve sayısal yöntemler** derslerinin geçilmiş, en azından alınmış olması gerekir.
- Bu dersi alan öğrencinin mekanizmalarda konum, hız ve ivme analizini yapabiliyor olması ve ikinci dereceden bir diferansiyel denklemi çözebiliyor olması beklenmektedir.
- Bazı ödevler küçük projeler şeklinde olacaktır ve 2-3 haftalık bir zamanda tamamlanması beklenecektir. Ödevlerde kendi seçtiğiniz bir programlama dili veya paket program kullanmaya gereksinim duyacaksınız.
- Ödevlerin ve kısa sınavların telafisi yapılmayacaktır. Kopya veya kopya şüphesi ilgili ödev veya sınavdan **sıfır** alma sebebidir.
- Bölümün kabul ettiği mazaretler çerçevesinde telafi sınavı alabilirsiniz, ancak telafi sınavlarının **normal zamanlı sınavlardan daha ağır olacağını** dikkate almanızı öneririm..

Haftalık Ayrıntılı Ders İçeriği

Haftalar	Ders İçeriği	Ders İçi ve Dışı Etkinlik Planları
1. Hafta	Makinalarda Kuvvet Analizi : Temel Kavramlar, Statik Kuvvetler Etkisi Altında Denge Problemine Giriş	
2. Hafta	Statik Kuvvetler Etkisi Altında Denge Problemi	Ev Ödevi 1
3. Hafta	Dinamik Kuvvet Analizi	Kısa Sınav 1 (Dersten hemen sonraki saat)
4. Hafta	Dinamik Kuvvet Analizi	Ev Ödevi 2
5. Hafta	Virtüel İş prensibi ile statik ve dinamik kuvvet analizi	
6. Hafta	Makinalarda Dinamik Hareket Analizi	Kısa Sınav 2 (Dersten hemen sonraki saat)
7. Hafta	Hareket Denklemi; Hareket Denklemlerinin Sayısal Yöntemlerle Çözümü	Proje Dağıtımı + Ev Ödevi 3
8. Hafta	Hareket Denklemlerinin Sayısal Yöntemlerle Çözümü; Volan Seçimi	
9. Hafta	Ara Sınav	

Haftalık Ayrıntılı Ders İçeriği

Haftalar	Ders İçeriği	Ders İçi ve Dışı Etkinlik Planları
10. Hafta	Tahrik Elemanı Motor	
11. Hafta	Dengelemeye Giriş; Dönen Cisimlerin Dengelenmesi	
12. Hafta	Dengeleme Makinası, Yerinde Dengeleme, Mekanizmaların Dengelenmesi	Ev Ödevi 4
13. Hafta	Pistonlu Makinalarda Dengeleme	
14. Hafta	Bir serbestlik dereceli sönümlü serbest titreşim	Kısa Sınav 3 (Dersten hemen sonraki saat)

Ders işleyiş kurallarının tartışılması

Değerlendirme		
Yarıyıl (Yıl) İçi Etkinlikleri	Sayısı	Katkı Yüzdesi , %
Ara Sınav	1	50
Quiz	3	25
Ev Ödevi	4	25
Toplam		100
Yarıyıl (Yıl) Sonu Etkinlikleri	Sayısı	Katkı Yüzdesi , %
Final Sınavı	1	50
Proje Hazırlama	1	25
Proje Sunma	1	25
Toplam		100
Yarıyıl (Yıl) İçi Etkinliklerinin Başarı Notuna Katkısı		40
Yarıyıl (Yıl) Sonu Sınavının Başarı Notuna Katkısı		60
	TOPLAM	100

Ders işleyiş kurallarının tartışılması

- **Dersin Kitabı / Malzemesi / Önerilen Kaynaklar**
- **Ders Kitabı:** “Makina Teorisi-2 Makina Dinamiği”, Eres Söylemez, Birsen Yayınevi, İstanbul, Güncelleştirilmiş 3. Baskı 2017.
- **References:**
 1. “Design of Machinery” R. L. Norton, McGraw Hill, 2011.
 2. “Makina Teorisi”, Özgür Turhan, Nobel Yayınevi, 2012.
 3. “Makina Dinamiği”, İbrahim Deniz Akçalı, Karahan Yayınevi, 2011.
 4. “Teori ve Problemlerle Makina Dinamiği”, Fatih. M. Botsalı,, 2. Baskı, Nobel Yayın, 2010.

MAKİNALARDA KUVVET ANALİZİ

- Mekanizmalar, sadece kinematik özellikleri karşılamak üzere tasarlandıklarında, bir makinenin parçası olarak kullanıldığında düzgün çalışmayabilir.
 - Sürtünmeden dolayı sıkışabilir,
 - Mafsallar üzerinde etki eden kuvvetler çok yüksek olabilir veya
 - Çok yüksek atalet kuvvetleri ortaya çıkabilir.
- Bir mekanizma, temel olarak kuvvet ve hareket iletmek için özel olarak tasarlanır ve kullanılır.
 - Bir mekanizmadaki hareketin belirlenmesinden sonra,
 - Her bir mafsal ve uzvun üzerine gelecek kuvvet ve momentler hesaplanarak yeniden boyutlandırılması gereklidir.
 - Mekanizma olarak, iyi çalıştığını düşündüğünüz bir tasarım üzerine gelecek yükleri karşılayacak malzeme olanaksız olduğundan gerçekleştirilemeyebilir.
- Makineler, yaylar gibi elastik elemanları da içerir. Bu elemanlar kuvvet analizi sırasında sistemi etkileyeceklerinden hesaplamalara dahil edileceklerdir.

Dinamik Prensipler

- Dinamik analizde kullanılan prensipler Newton'un hareket kanunlarıdır.
 - Bir maddesel noktaya etki eden bileşke kuvvet sıfır ise, maddesel nokta başlangıçta duruyor ise durmaya, hareket ediyorsa hareketini sabit hızla sürdürmeye devam eder.
 - Bir maddesel noktaya etki eden kuvvetler sıfır değilse, maddesel noktadaki momentum değişimi bileşke kuvvetin şiddeti ile orantılı ve bu bileşke kuvvetin yönündedir.

$$F = \frac{dmv}{dt} \text{ ancak } m \text{ sabit ise } \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

- Her etkiye eşit ve ters yönde bir tepki vardır.

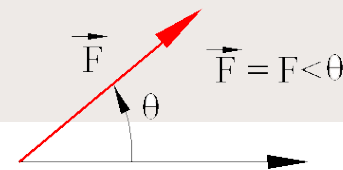
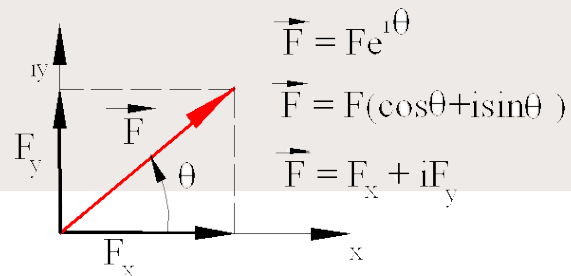
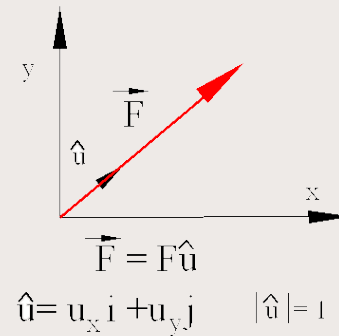
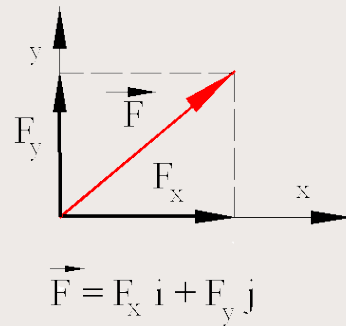
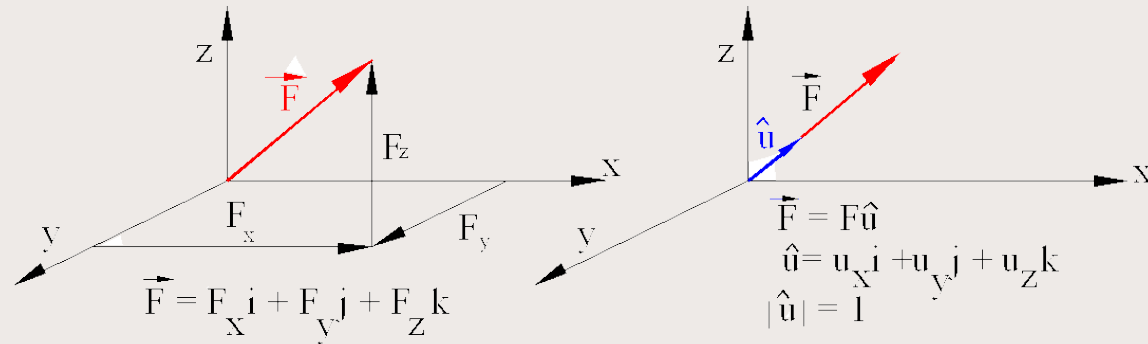
Dinamik Sistemlerde Temel Boyutlar

- Kuvvet:
 - 1. yasaya göre, bir maddesel noktanın hareket durumunu değiştiren değer
 - 2. yasaya göre, bir standart kütleye bir birim ivme veren yönü ve şiddeti olan bir vektörel kavramdır.
- Kütle
 - 2. yasaya göre, maddesel noktaya etki eden kuvvet ile, bu kuvvet sonucu oluşan ivmenin oranıdır.
- Zaman
 - Olayları sıralamak için kullanılan kavramdır.

Değer	Birim İsmi	Sembol
Uzunluk	Metre, (milimetre)	m, (mm)
Kütle	Kilogram	kg
Kuvvet	Newton	N
Zaman	Saniye	s
İş ve Enerji	Joule	J
Güç	Watt	W
Frekans	Hertz	Hz

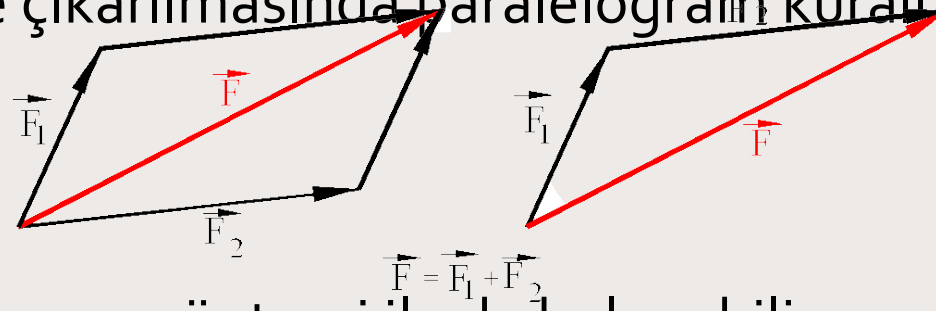
Kuvvet ve Kuvvet Çiftleri

- **Kuvvet** bir vektörel değerdir; *şiddeti, yönü ve etki noktası* vardır.

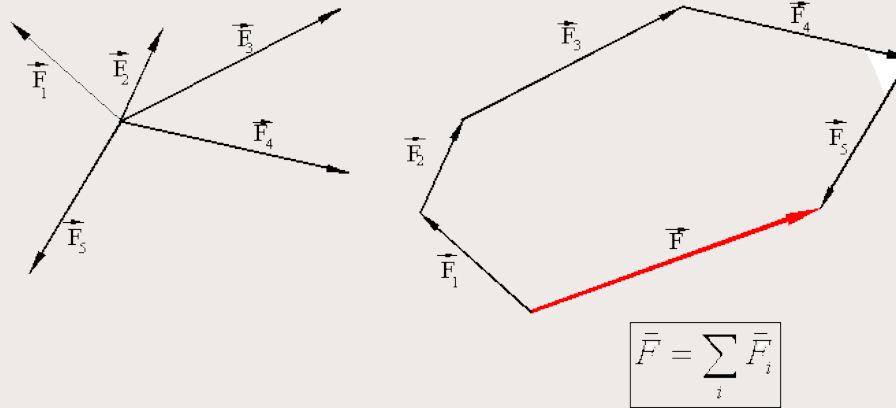


Kuvvet ve Kuvvet Çiftleri

- Kuvvetlerin toplanması ve çıkarılmasında paralelogram kuralı geçerlidir.



- Bileşke kuvvet kuvvet poligonu yöntemi ile de bulunabilir.



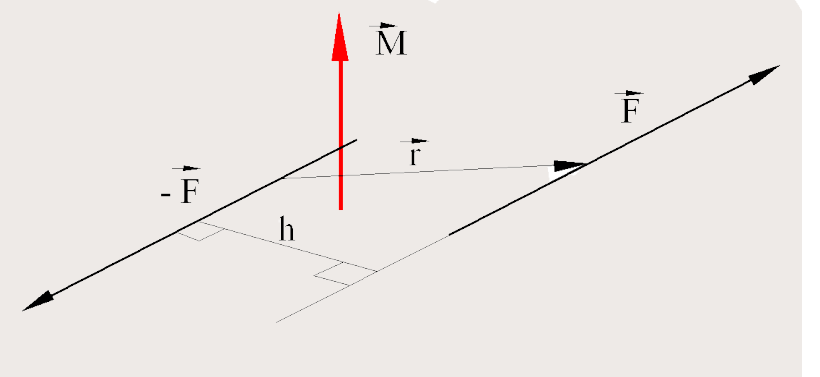
Kuvvet ve Kuvvet Çiftleri

- Etki kuvvetleri birbirine paralel şiddetleri eşit ve ters yönde iki kuvvete kuvvet çifti denir. Kuvvet çiftinin moment kolu bu iki etki doğrultusu arasındaki dik uzaklıktır (h uzaklığı) Bu kuvvet çiftinin momenti kuvvetlerin bulunduğu düzleme dik, yönü sağ el kuralı ile belirlenen M ile gösterilen bir vektördür.

- Bu momentin şiddeti $M = hF$ olarak bulunur. Moment vektörü vektörel çarpım olarak şöyle yazılır.

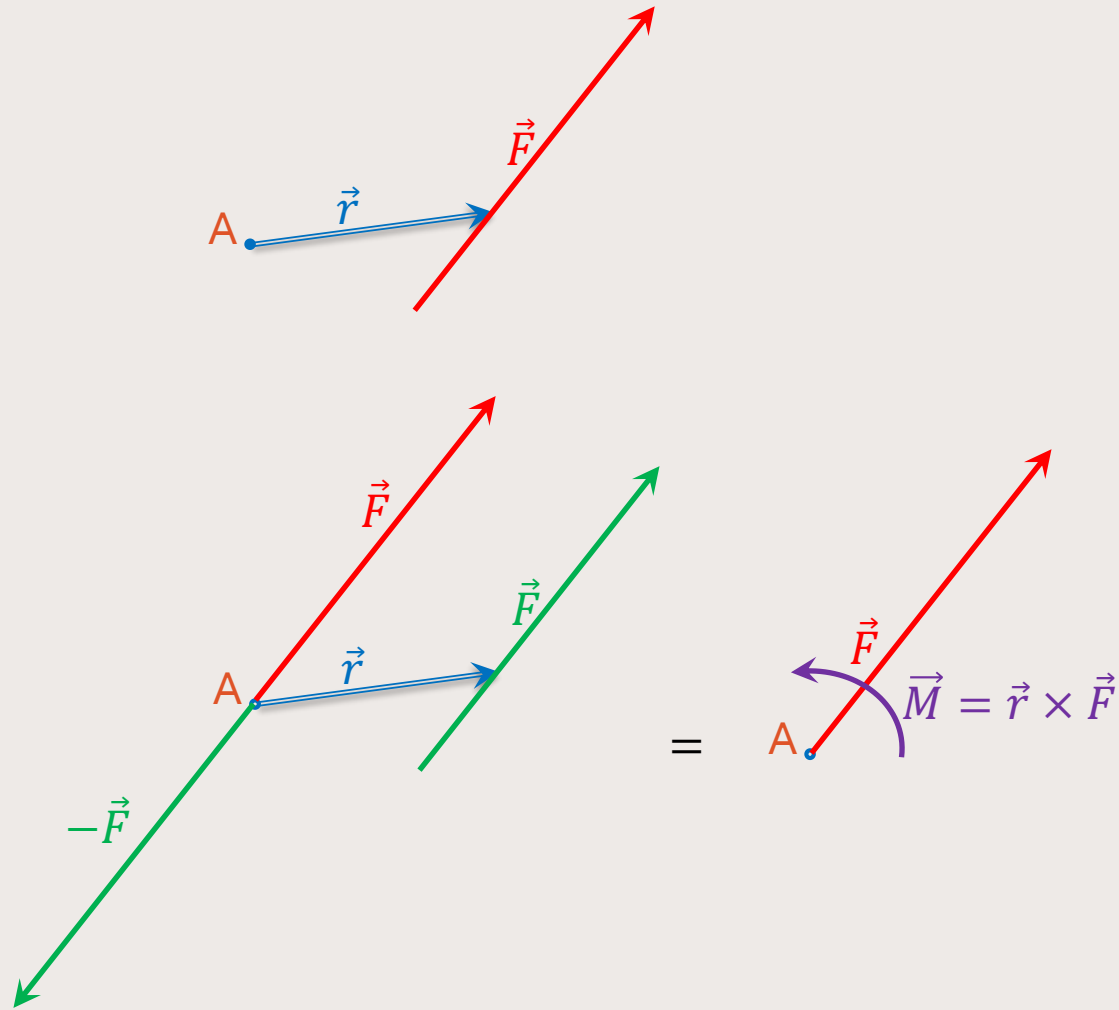
$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (M = r \times F)$$

- a) Bu moment vektörünün etki noktası yoktur.
- b) Bağlı konum vektörü r , kuvvet çiftini oluşturan iki ters yönlü kuvvetin etki doğrultuları arasında çizilen herhangi bir vektördür.
- c) M moment vektörünü yaratan kuvvet çifti tek değildir. Yani çok sayıda kuvvet çifti aynı yöne ve şiddete sahip momenti yaratabilir.



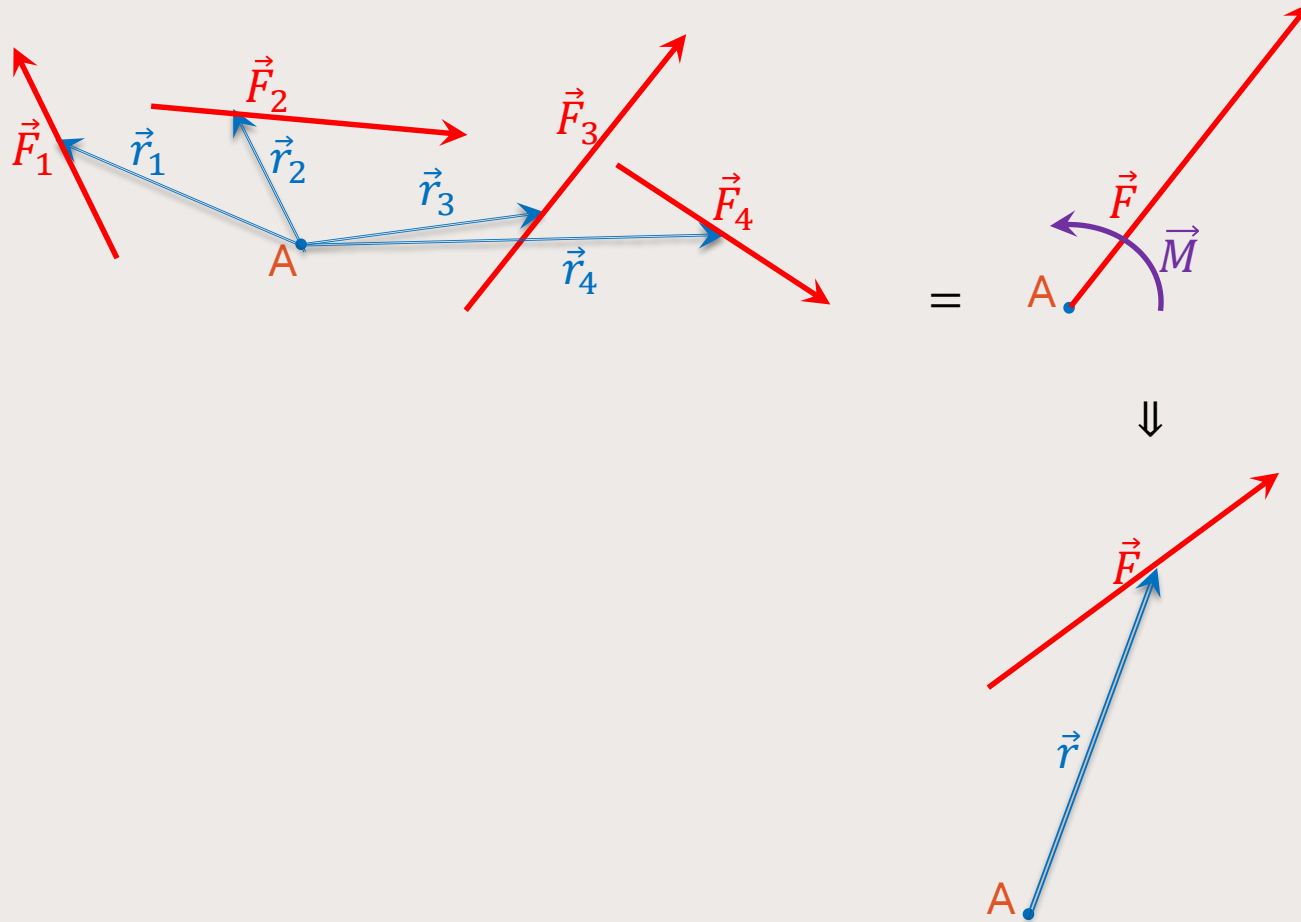
F Kuvvetinin Taşınması

- F kuvvetinin etki noktasını A noktasından geçecek hale getirmek.



F Kuvvetinin Taşınması

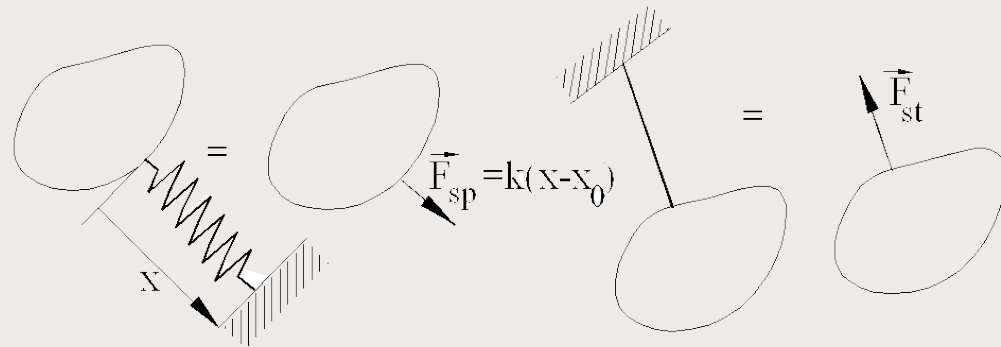
- F kuvvetinin etki noktasını A noktasından geçecek hale getirmek.



Makinalarda Kuvvetler


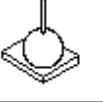
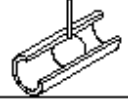
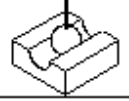
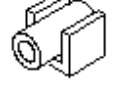
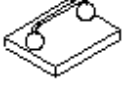

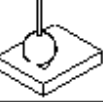
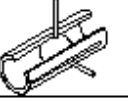
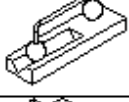
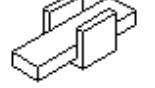

Makine, rijit kabul edilen bir grup cismin (uzuv) mafsallarla birleştirildiği, belirli bir iş yapmak üzere tasarlanmış bir sistemdir. Makinalarda uzuvlara çeşitli tipte kuvvetler etkir.

- Tepki Kuvvetleri (Mafsal Kuvvetleri)
 - Mafsal Kuvvetleri, etki-tepki şeklinde mafsalların temas noktasında oluşur.
 - Mafsal kuvveti, mafsalın sınırlandığı yönde, yani hareketin olmadığı yönde oluşur.
- Fiziksel Kuvvetler
 - Sürtünme ve Direnç Kuvvetleri
 - Atalet Kuvvetleri



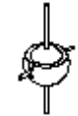
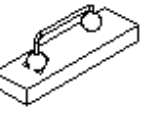


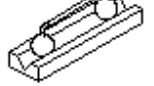
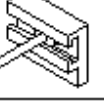
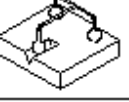
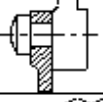
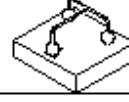


TABLO I

DÖNME VE ÖTELEME SERBESTLİKLERİ BİRBİRİNDEN BAĞIMSIZ KİNEMATİK ÇİFTLER

SERBESTLİK DEREJESİ	DÖNME SERBESTLİĞİ	ÖTELEME SERBESTLİĞİ	İSİM	ŞEKİL KAPALI	KUVVET KAPALI
5	3	2	Paralel düzlem- küre çifti		
4	3	1	Küre-silindir çifti		
	2	2	Paralel düzlem-silindir çifti		
3	3	0	Küre-kabuk çifti		
	2	1	Kamalı küre-silindir çifti		
	1	2	Düzlem çifti		

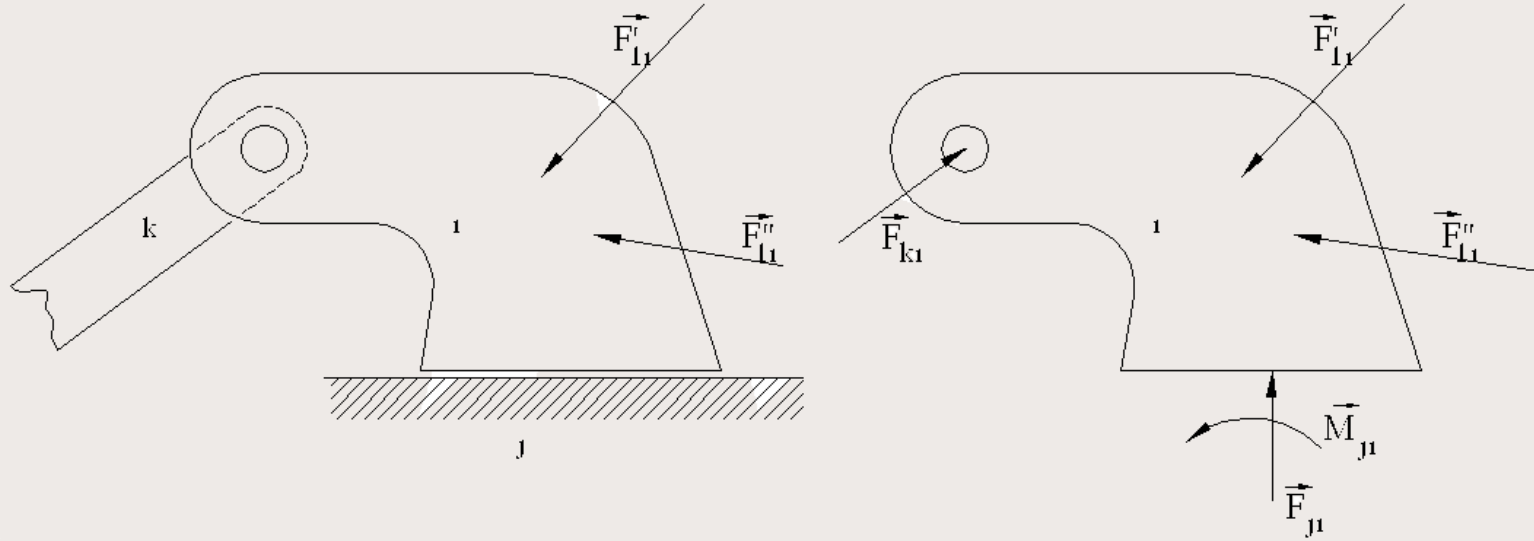
TABLO I

DÖNME VE ÖTELEME SERBESTLİKLERİ BİRBİRİNDEN BAĞIMSIZ KİNEMATİK ÇİFTLER

SERBESTLİK DEREJESİ	DÖNME SERBESTLİĞİ	ÖTELEME SERBESTLİĞİ	İSİM	ŞEKİL KAPALI	KUVVET KAPALI
2	2	0	Kamalı küre-kabuk çifti		
	2	0	Torus		
	1	1	Silindir çifti		
	1	1	Kamalı silindir		
1	1	0	Döner çift		
	0	1	Kayar çift		

Serbest Cisim Görüntüsü

- Bir makine çok sayıda rijit cisimden oluşur. Bir rijit cisim veya rijit cisim grubunu bağımsız olarak ele alıp, üzerine etkiyen tüm kuvvet ve momentleri göstermek üzere çizilen resme serbest resim diyagramı (Free Body Diagram) adı verilir.
 - Serbest Cisim Diagramının (SCD) temiz ve düzgün çizilmesi konunun anlaşılmasına yardımcı olur.
 - SCD yanlış veya eksik çizilirse yanlış sonuçlara ulaşılır.



Statik Denge

Newton'un 1. yasasına göre bir cisme etki eden kuvvet ve momentlerin toplamı sıfır ise cisim statik dengededir. Bu denge durumu iki denklemle ifade edilir.

$$\sum F = 0 \text{ ve } \sum M = 0$$

Uzaysal Sistemlerde;

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$

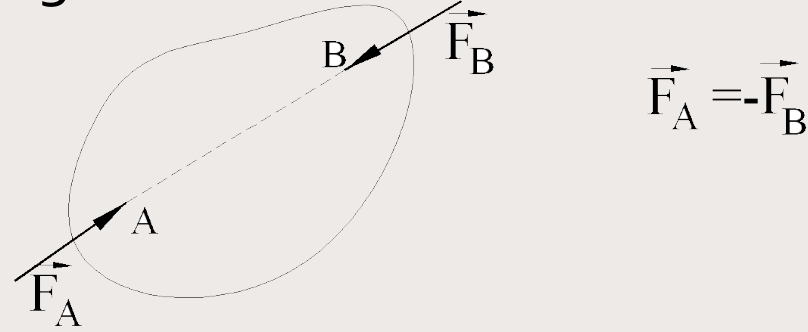
$$\sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0$$

Düzlemsel sistemlerde;

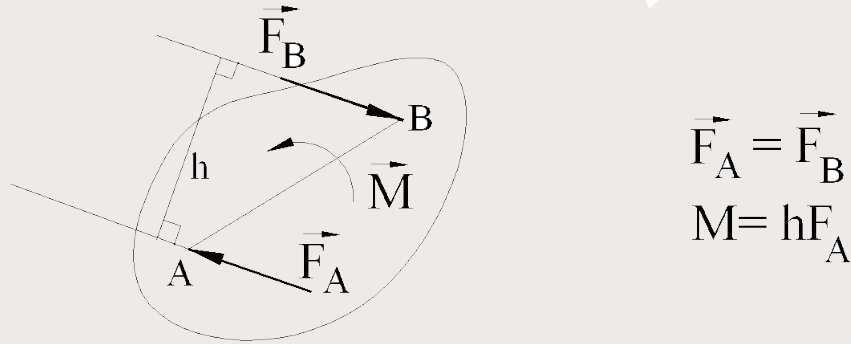
$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_z = 0$$

Bir cisim üzerine etkiyebilecek kuvvet sistemleri

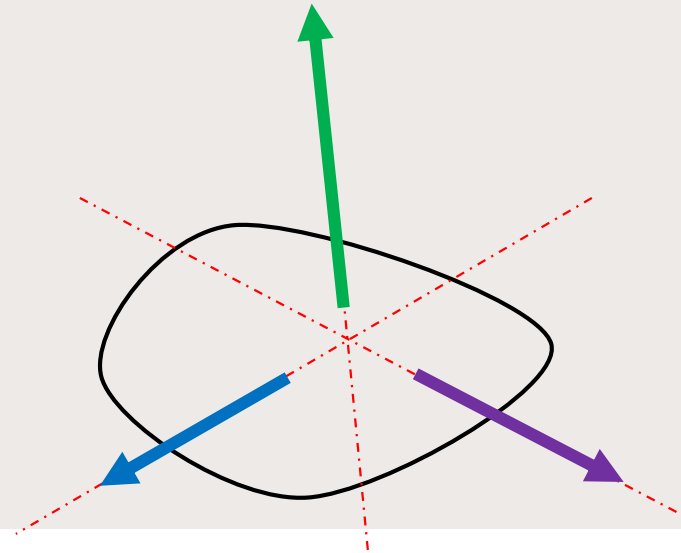
- İki kuvvet etkisi altında denge



- İki kuvvet, bir moment etkisi altında denge



- Üç kuvvetin etkisi altında denge



Statik Kuvvetler Etkisi Altında Denge

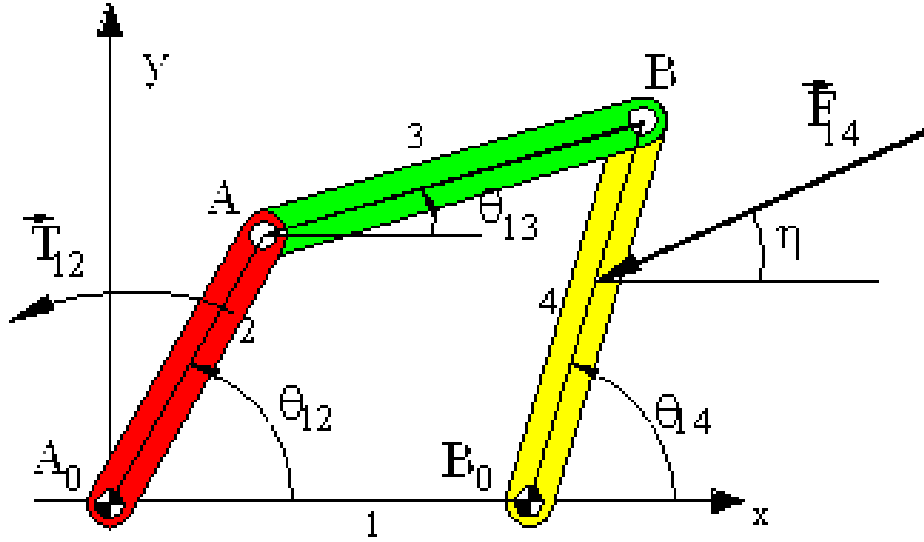
Sürtünmenin Olmadığı Durum

İlk olarak problemi en basit formunda ele alacağız. Daha sonra *sürtünmeyi* ve *atalet kuvvetlerini* de dikkate alarak hesaplama yapacağız.

İşlem Sırası:

- Her bir hareketli cismin ayrı ayrı SCD çiz
- SCD üzerinde bilinen ve bilinmeyenleri belirt
- Her bir cisim için denge denklemlerini yaz
- Eğer işlemler doğru yapıldı ise bilinmeyen sayısı kadar denklem elde edilmiş olmalıdır.
- Denklemleri çöz, bilinmeyenleri bul.

Dört Çubuk Mekanizması Örneği

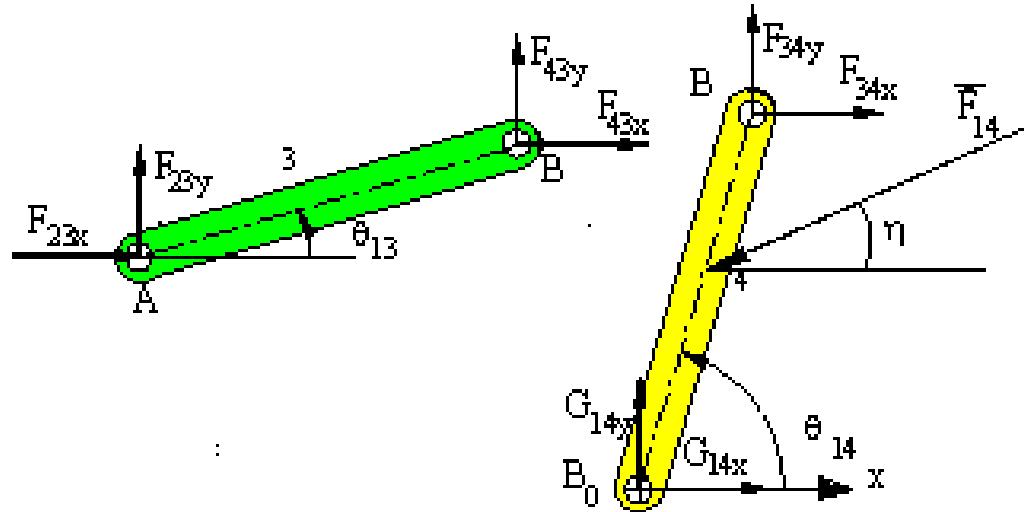
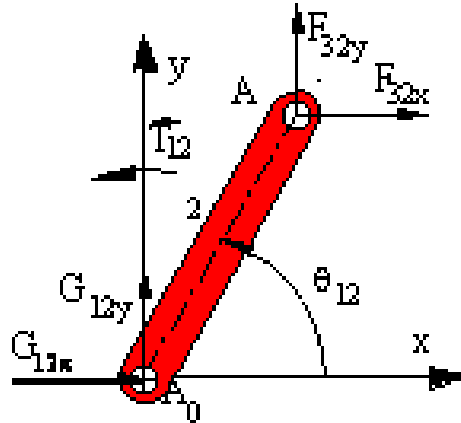


$$A_0B_0 = a_1; A_0A = a_2; AB = a_3; B_0B = a_4$$

F_{14} kuvvetinin şiddeti ve yönü (η açısı) bilinmektedir. T_{12} momentini ve mafsal kuvvetlerini bulmamız istenmektedir.

Bu durumda bilinmeyenler:

$$T_{12}, G_{12x}, G_{12y}, F_{32x}, F_{32y}, F_{23x}, F_{23y}, F_{43x}, F_{43y}, G_{14x}, G_{14y}, F_{34x}, F_{34y}$$



Denklemler

13 bilinmeyen için 13 denklem şu şekilde elde edilir.

- Her bir cisim için üç denge denklemi ($3 \times 3 = 9$)
- Mafsal kuvvetleri için Newton'un 3. yasasının uygulanması ile

$$(F_{ijx} = -F_{jix} \text{ ve } F_{ijy} = -F_{jiy}) (2 \times 2 = 4)$$

4 uzvu için:

$$F_{34y} + G_{14y} - F_{14} \sin \eta = 0 \quad \sum F_y = 0$$

$$F_{34x} + G_{14x} - F_{14} \cos \eta = 0 \quad \sum F_x = 0$$

$$F_{34y} \cdot a_4 \cos(\theta_{14}) - F_{34x} \cdot a_4 \sin(\theta_{14}) + F_{14} \cdot r_4 (\cos \eta \sin \theta_{14} - \sin \eta \cos \theta_{14}) = 0 \quad \sum M_{B_0} = 0$$

Denklemler

3 uzvu için:

$$F_{23y} + F_{43y} = 0 \quad \sum F_y = 0$$

$$F_{23x} + F_{43x} = 0 \quad \sum F_x = 0$$

$$F_{43y} \cdot a_3 \cos(\theta_{13}) - F_{43x} \cdot a_3 \sin(\theta_{13}) \\ = 0 \quad \sum M_A = 0$$

Newton'un 3. yasasına göre

$$F_{32x} = -F_{23x} \text{ ve } F_{32y} = -F_{23y}$$

$$F_{43x} = -F_{34x} \text{ ve } F_{43y} = -F_{34y}$$

2 uzvu için:

$$F_{32y} + G_{12y} = 0 \quad \sum F_y = 0$$

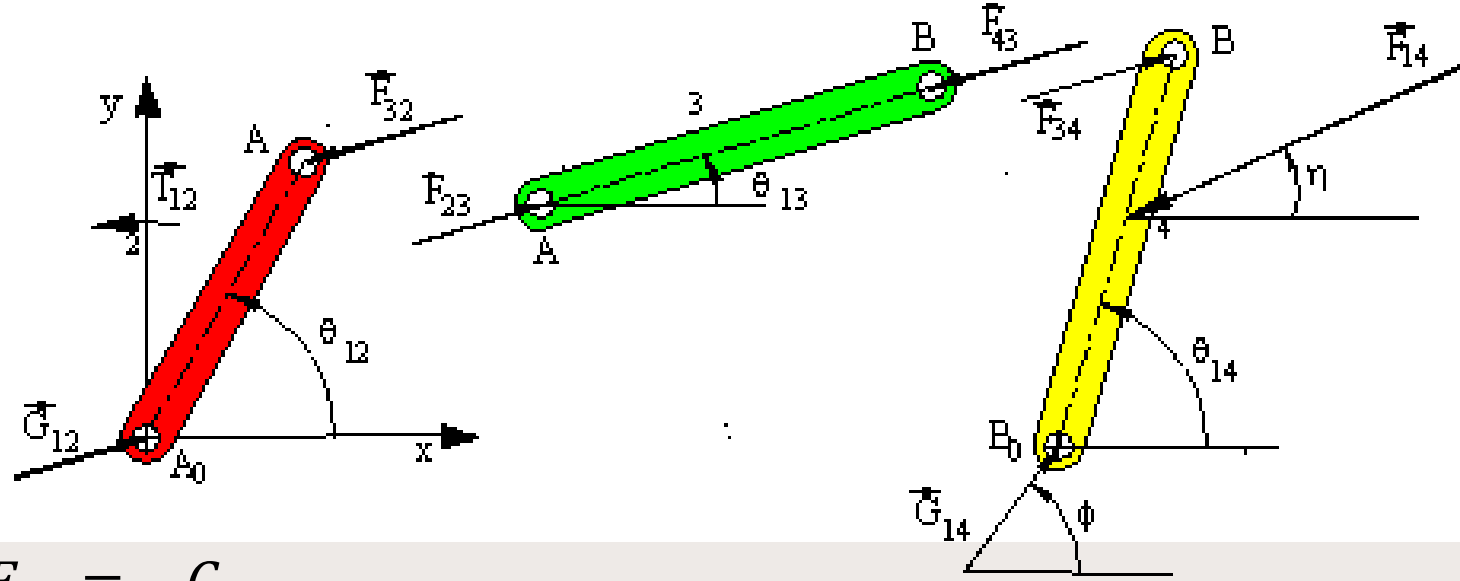
$$F_{32x} + G_{12x} = 0 \quad \sum F_x = 0$$

$$F_{32y} \cdot a_2 \cos(\theta_{12}) - F_{32x} \cdot a_2 \sin(\theta_{12}) + T_{12} \\ = 0 \quad \sum M_{A_0} = 0$$

Denklemleri Azaltmak-SCD Yeniden Çizmek

- Yazılan 13 denklem, bilinen eşitlik ilişkileri değerlendirilerek azaltılabilir.
- Eğer iki kuvvet birbirine eşitse iki ayrı kuvvet olarak yazmamıza gerek yoktur.
- Şimdi bu ilişkileri kullanarak, SCD yeniden çizelim ve denklem sayımızı azaltalım. Bunun için 4 farklı ilkeden yararlanacağız.
 1. Mafsal kuvvetleri için etki-tepki bağıntısı $F_{ij} = -F_{ji}$
 2. İki kuvvetin etkisi altındaki uzuv dengede ise etkiyen kuvvetler birbirine eşit ve ters yöndedir.
 3. İki kuvvet ve bir momentin etkisi altındaki uzuv dengede ise etkiyen kuvvetler birbirlerine eşit ve ters yöndedir. Büyüklükleri ise **kuvvet* moment kolu= etkiyen moment** eşitliğini vermek zorundadır.
 4. Üç kuvvetin etkisi altındaki uzuvlar için üç denge denklemi yazmamız gerekir. $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M_z = 0$

SCD Yeniden Çizimi



3. İlkeye göre $F_{32} = -G_{12}$

2. İlkeye göre $F_{32} = -F_{23} = F_{43} = -F_{34} = -G_{12}$

Bu durumda

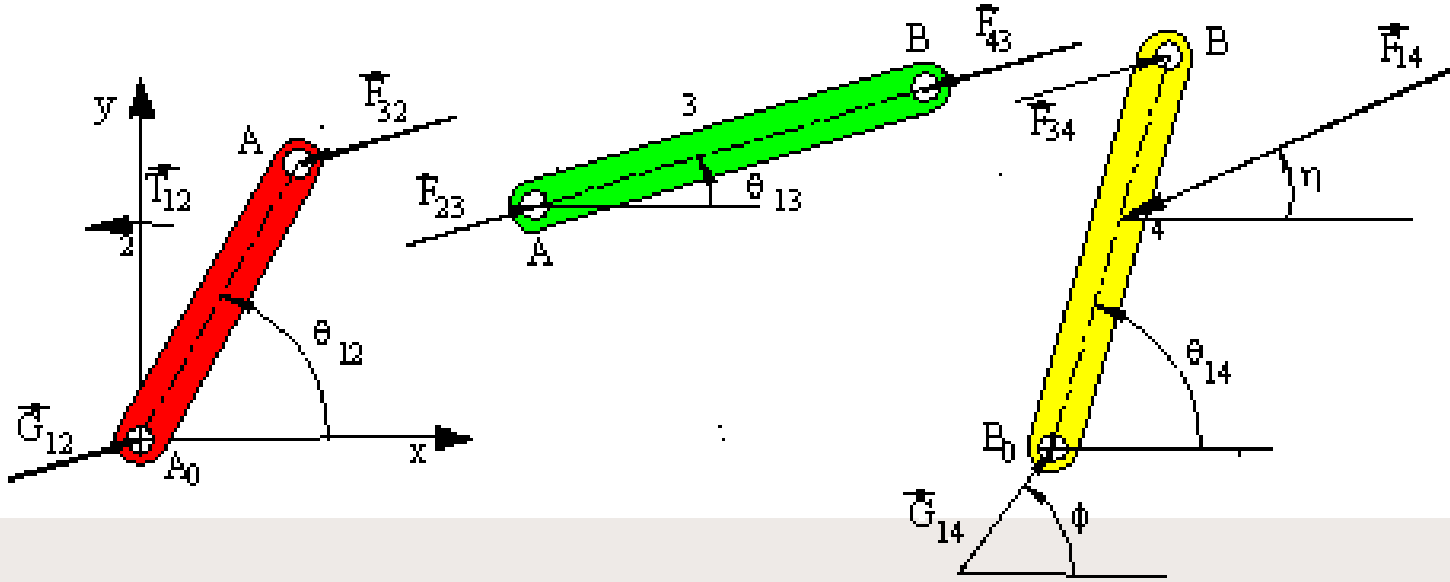
2 uzvu, iki kuvvet bir momentin etkisi altında olduğu için sadece bir moment denklemi yazmamız yeterli olacaktır.

3 uzvu için denklem yazmamıza gerek yoktur.

4 uzvu için ise 2 kuvvet ve 1 moment eşitliği olmak üzere 3 denklem yazmamız gereklidir.

Böylece, denklem sayısı 13'den 4'e düşürülmüş oldu.

Denklemlerin Yeniden Yazımı



2 uzvu için

$$F_{32} \cdot a_2 (\cos(\theta_{13}) \sin(\theta_{12}) - \sin(\theta_{13}) \cos(\theta_{12})) + T_{12} = 0$$

Not: $F_{32} = -F_{34}$

4 uzvu için

$$F_{34} \sin(\theta_{13}) + G_{14} \sin \phi - F_{14} \sin \eta = 0$$

$$F_{34} \cos(\theta_{13}) + G_{14} \cos \phi - F_{14} \cos \eta = 0$$

$$F_{34} \cdot a_4 (\sin(\theta_{13}) \cos(\theta_{14}) - \cos(\theta_{13}) \sin(\theta_{14})) + F_{14} \cdot r_4 (\cos \eta \sin \theta_{14} - \sin \eta \cos \theta_{14}) = 0$$

Bilinmeyenler: $F_{34}, T_{12}, G_{14}, \phi,$