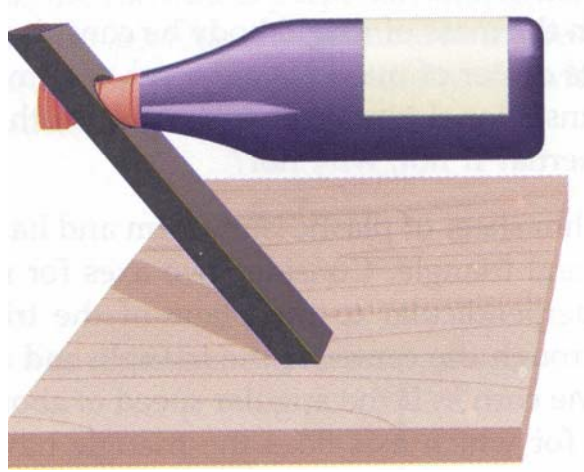




I.1. FİZİKSEL BÜYÜKLÜKLER BİRİMLER VE STANDARTLAR STATİK

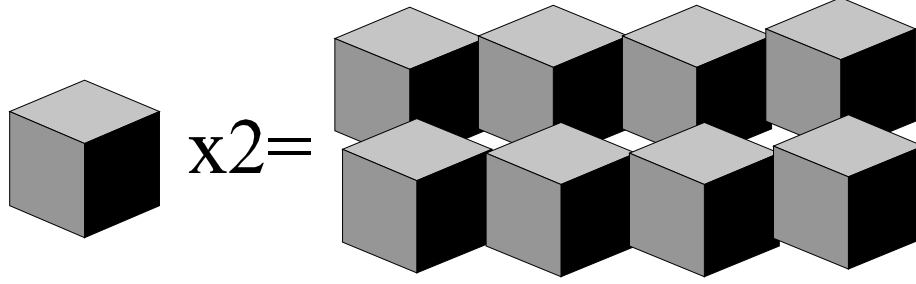
I.1.01. ÖLÇEK ETKİSİ VE CİSİMLERİN BOYUTLARI

Ölçek, günlük kullanımda bir küçültme etkenini belirler. Bir haritada yer alan uzaklıklar, gerçek uzaklığa göre 100.000 defa küçükse bu haritanın ölçeği, 1/100.000 denir.

Bilim dalında ölçek etkisi, bütün uzunlukların onunla çarpılacağı bir sayıyı belirler. Herhangi bir anda his edilemeyecek kadar kısa zaman aralığında dünyamızdaki bütün cisimlerin ve bütün canlı varlıkların boyu, genişliği ve yüksekliği iki kat büyümüş olsun. Bu yeni durumu acaba fark edebilir miydik? İlk anda, kendi kendimize, bunu fark edemeyiz diye düşünürdük. Çünkü herkes büyümüş canlıların ve cisimlerin kendileri de aynı şekilde büyümüş olacaktı.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Ayrıca büyüme oranları aynı kalacağından ne cisimler ne canlılar biçim değiştirmemiş olacaktır. Şekil 01'de boyutları 2 defa büyüyen bir küpün ilk ve son hali gösterilmiştir. Sonuçta küpün hacmi, boyutlarının iki kat artmasına karşın; 8 kat artmıştır.



Şekil 01 Boyutları iki kat artan cismin hacmi ve ağırlığı 8 kat artar.

Diğer taraftan, olayın gerçek yüzü ise başkadır; örneğin kasaplardaki askıya ipile asılı olan sucuklar ve bu durumda olan diğer cisimler bunları tutan iplerin kopması nedeni ile yere düşecektir. Bunun nedenini ise ancak *ölçek etkisi* açıklayabilmektedir. İple asılı cisimlerin hacmi sekiz kat artmışken boylar ise iki kat, yüzeyler dört kat artmıştır. Sicimlerin kopma direnci sadece kesitle orantılı olduğundan, kopma direncinin dört kat artmasına rağmen, cisimlerin hacimleri sekiz kat artacak dolayısıyla ağırlıkları da sekiz kat artacağından sicimler kopacaktır. Sonuç olarak, normal koşullarda, kopma sınırlarının altında olan ipler, boyutları iki defa artan dünyada koparlar. Daha genel anlatımla bu yeni dünyada tüm yapılar tehlikeli halde kırılgan hale gelir ve bazıları da yıkılmış olurlar.

Jonathan Swift tarafından 1726 tarihinde yazılan **Guliver'in** Gezileri adlı eserde dev boyutlu insanlardan, dev yelkenlilerden, dev ineklerden, ağaçlardan, vs.. bahsedilmektedir. Oysa doğada meydana gelen yapıların boyutlarının çok büyük ölçüde artırılması olanaksızdır. Normal dünya koşullarına göre dünyada boyutları büyük ölçüde artırılan doğadışı büyüklükte insanlar, ağaçlar, hayvanlar, binalar, vs, kendi ağırlıkları altında ezilecek, kırılacak ve yıkılacaklardır. Bu nedenle, modern bilimsel bilgilere göre olanaksız olacak hayaller kurulmamalıdır. Örnek olarak, **Galile**'nin hikayesindeki gibi normale göre iki kat büyüklükteki, iki kat süt ve et veren ineklerin normal olarak ahırlarda ayakta durmalarına imkan olmayacaktır. Bu inekler, balinaların denizlerde yaşadıkları gibi bir havuzda yüzerek yaşamak zorunda kalacaklardır. Bu ve buna benzer birçok nedenlerden dolayı doğa olayları incelenirken ölçek etkisi önemli bir rol oynamaktadır.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Doğanın incelenmesi amacıyla fizik bilim dalı oluşmuş ve bu bilim dalı bugün ki teknolojinin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Doğanın bilimi olan Fizik, bilimsel gelişmeler sonunda (Mekanik, Elektrik, Çekirdek, Atom fiziği, Katı hal fiziği, vb.) pek çok dallara ayrılmıştır.

Diğer yandan fiziği matematikten ayıran en önemli özelliklerden biri, fizikte kullanılan enerji, ağırlık, hız, ivme, kuvvet, hacim, gibi benzeri büyüklüklerin boyutlarının olmasıdır. Oysa matematikteki saf x, y, z , vb., gibi büyüklüklerin boyutları yoktur.

Cisimlerin denge ve hareketlerini inceleyen bilim dalına mekanik adı verilir. Mekanik bilim dalının başlangıcı neredeyse medeniyetin başlangıcı kadar eskidir. Mekanikte kuvvetlerin etkisinde cisimlerin dengesini inceleyen kısmına *statik* ve hareketlerini inceleyen kısmına da *dinamik* adı verilir. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte mekaniğin (Klasik mekanik) yasaları yetersiz kalmıştır bu nedenle, bazı araştırmalarda incelenen parçacıkların hızlarının ışık hızlarına yaklaşmasını açıklayabilen mekaniğin *rölativite* ve çekirdek fiziğinde incelenen sistemin boyutlarının çok küçük olması nedeniyle onların incelenmesini sağlayan mekaniğin *kuantum mekaniği* dalları oluşmuştur. Statik, kuvvet, kuvvetin döndürme etkisi (moment), ağırlık merkezi ve denge konularını inceleyen mekaniğin bir dalıdır.

Bu bölümde, önce fiziksel büyüklükler, birimler ve standartlar ve vektörel büyüklükler gibi bazı temel kavramları ele alıp sonra Statik konusuna kuvvet kavramı ile başlayıp bir kuvvetin döndürme etkisini Tork (Moment), ağırlık merkezi ve denge konularını inceleyeceğiz.

I.1.02. FİZİKSEL NİCELİKLER

Değişim gösteren, büyüyüp küçülen her şeye nicelik adı verilmektedir. Niceliklerin, Fiziksel, Matematiksel, Kimyasal, Biyolojik, vb., bir çok sınıfı vardır. Fiziksel nicelikler doğa yasalarının incelenmesi için gerekli olup bu yasaların açıklanmasında kullanılır. Fiziksel niceliklerin doğa yasalarını tam olarak anlatabilmesi amacıyla, bunların kaç temel büyüklükten oluşacağı konusu bilim ve teknolojinin gelişmesiyle açıklık kazanmaktadır.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Temel Fiziksel nicelikler o şekilde seçilmelidir ki, bunlarla ve bunlardan türetilenlerle doğa yasaları anlatılabilir. Fiziğin bilim dalları, doğayı daha iyi anlatım amacıyla şimdilik mekanik, termodinamik, molekül fiziği, atom fiziği, çekirdek fiziği, katı hal fiziği, yüksek enerji fiziği ve vb. kısımlardan oluşmaktadır. Bu çeşitlilik içinde daha çok fiziksel niceliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak, neredeyse insanlık tarihi kadar eski olan Mekanik bilim dalında, onunla ilgili doğa yasalarını anlatabilmek için *uzunluk, kütle, zaman ve onlardan türetilen* fiziksel nicelikler yeterli olmaktadır.

Fiziksel büyüklükler görünüm ve izlenimlerine göre **skaler** ve **vektörel** olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar. Günlük yaşantımızdan gözlemlerle bile bu ayrımı hisseder ve anlarız. Örnek olarak arabamızı bir yere park ederken arkamızdaki bir kişi bu park etmeye yardım ediyorsa, bize sesleniş; sol yap yavaş gel, biraz sağa kır yavaş gel, tamam ama sağ yapıp az daha git gibi şeklinde olur, buradaki yavaş gel sözü esasında fiziksel bir büyüklük olan ve arabanın birim zamandaki hareketini belirleyen *hız* 'dır ve böylece bu büyüklüğün, hem birim zamandaki hareketi anlatırken ayrıca bunun birde yönle birlikte belirtilmesine gereksinimi olduğunu anlarız. Rüzgar ölçümlerinde de büyüklük ve yönden bahsedilir.

Örnek olarak rüzgar kuzey batı yönünde saatte 12 km/hızla esecektir diye ifade edilir. Örneklerde belirtildiği gibi, birimiyle birlikte yönüyle (yön kapsamında doğrultuda olacaktır) anlam kazanan, kuvvet, hız, ivme, elektrik alan, kütle çekim kuvveti ve vb., büyüklüklere *vektörel nicelikler* denir. Diğer taraftan, yalnızca bir sayı ve birimiyle belirlenen, uzunluk, kütle, yoğunluk, sıcaklık ve vb, niceliklere *skaler nicelikler* denilmektedir.

Skaler nicelikler yapılan işlemlerde (toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi) cebir kuralları uygulanır ve skaler niceliklerin pozitif olanları (+ elektrik yükü, + İş) olduğu gibi negatif olanları da (- elektrik yükü, - iş) vardır. Vektörlerle yapılan işlemlerde cebir kuralları uygulanamaz bunlara uygulanacak işlemler, vektörel işlemler, analitik metot ve grafik metotlardır.

Bugün ki bilimsel ve teknolojik gelişmenin sonuçlarına göre, *uzunluk, kütle, zaman, elektrik akımı, termodinamik sıcaklık, cismin çokluğu ve aydınlatma şiddeti* gibi temel fiziksel büyüklükler ve bunlardan türetilen niceliklerin, şimdilik bilinen fizik yasalarını açıklayabileceğine inanılmaktadır.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

I.1.03. ÖLÇÜ BİRİMLERİ

Bütün pozitif bilimler gibi fizik de kuramla deneyin karşılaştırılmasına dayanılarak sonuçlara varır. Deneylerde ise ölçümlere baş vurulur. Yapılan bütün ölçümlerin de hassas ve evrensel olarak bilinen ölçü ayarları (standart veya etalon) yardımıyla gerçekleştirilmelidir. Böylesine ölçü ayarlarına dayanan uluslar arası ölçü birimleri sistemini kurmak, korumak, mümkünse geliştirmek, özellikle **METROLOJİ**'nin (ÖLÇÜ bilimi) konusudur. **Metroloji**'nin tüm amacı, bütün birimleri, bilinen kesin ve değişmez büyüklükler olan; Elektron kütlesi, elektron yükü, ışığın boşluktaki hızı, boyutsuz olan 1/137 Sommer Fieit ince yapı sabiti, yerküre kütle çekim sabiti gibi Fiziğin temel değişmezleri ile tanımlamaya çalışmaktır.

Fiziksel temel niceliklerin genel bir tanımı için anılan niceliğin nasıl ölçülebileceğinin bir kurala bağlanması ve onunda bir birimle tanımlanması gerekir. Fiziksel standart (etalon) ve onların birimleri uygun seçilmelidir. 1971 yılına değin Fizikteki temel büyüklükler ve onların birimleri çoğu ülke için onların kendi keyfi seçimlerine göre oluşturdukları nicelikler ve birimlerdi. 1971 yılında toplanan uluslar arası ağırlık ve ölçmeler genel konferansında, ortak bir görüşe varılarak yedi fiziksel standart temel büyüklük olarak seçildi. Seçilen bu yedi temel standart uluslararası birim sistemini, **Fransızcası; Systeme Internationale (SI)** meydana getirir (Tablo -01)

Tablo-0 1

SI Standart Temel Nicelikler

Büyüklik	Adı	Senbolü
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akımı	Amper	Amp.
Termodinamik sıcaklık	Kelvin	K
Cismin çokluğu	mole	mol
Aydınlatma şiddeti	candela	cd

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

SI temel fiziksel nicelikleri ve onlardan türetilen, kuvvet, hız, ivme,elektriksel direnç, vb. fiziksel nicelikler her türlü sanayi ve teknolojik kurumlarda da benimsenerek bilimsel tek bir dil kullanılma yoluna gidilmektedir. Bu nedenlerden çalışmalarımızda SI birim sistemi kullanılacaktır.

Uluslararası birim sistemindeki temel fiziksel niceliklerden olan, uzunluk, kütle ve zaman standartlarının, tarihsel değişimine değinilmeden, ne oldukları aşağıda açıklanmaktadır;

Uzunluk standardı, 1960 yılında toplanan uluslararası ağırlık ve ölçmeler konferansında zamanımızdaki şeklini almıştır .Buna göre, SI birim sisteminde uzunluk birimi olarak, milletlerce temin edilmesi oldukça kolay olan Kripton izotopunun elektriksel uyarılması sonunda yayınladığı ışığın dalga boyu standart olarak alınmış ve bu dalga boyunun 1 650 763,73 katı *bir metre* olarak seçilmiştir. Bu standarda göre ayarlanmış ve uygulamalarda ölçüler yapabilecek ölçü aletleri üretilmeye başlanmıştır.

Tablo-02

SI birimlerinin alt ve üst kat etkileri

ADI	SİMGE	MİKTAR
Ekza	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
santi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Kütle standardı, SI birim sisteminde kütle standardı olarak, Uluslar arası ağırlıklar ve ölçmeler bürosunda saklanan ve uluslar arası anlaşmalara göre kütlesi 1 kg denen platin-iridyum alaşımından yapılmış bir silindir kullanılır. Ülkeler bu standarttan yararlanılarak elde edilen standart kopyaları temin ederek işlemlerinde kullanırlar.

Zaman standardı, televizyon izleyeceğimiz zaman günlük televizyon programına bakıp, onun programda hangi saatte olduğunu inceleriz. Günlük yaşantımızda bazı aktivitelerimizi sıraya koymak için günün saatlerinden yararlanmamız gerekir. Bazı bilimsel çalışmalarda da bir olayın saat kaçta olduğu önemlidir.

Diğer taraftan sabah kahvaltısında rafadan yumurta yemek istiyorsak, yumurtanın üç dakikalık zaman dilimi içinde bu kıvama geleceğini biliriz. Bazı olayların saat kaçta olduğundan ziyade, o olayın oluştuğu zaman aralığı önemlidir. Bazı hallerde de bir olayın ne kadar zaman dilimi içinde devam ettiği önemlidir. Bu nedenle zamanı ölçebilmek için, kendini periyodik olarak tekrarlayan bir olaydan yararlanılır. Yerkürenin kendi etrafında dönmesinden oluşan güneş günü zamanı yüzyıllar boyunca kullanılarak zaman standardı olarak kullanılmıştır.

Bir ortalama güneş günü saniyesi, bir ortalama güneş gününün $1/86400$ ü olarak tanımlanmıştır. Zamanın tayini astronomik gözlemlere dayanılarak yapılmakta ve bu gözlemler bir kaç haftayı bulmaktadır. Zaman ölçmede kullanılan ve bu gözlemlere göre ayarlanmış periyodik salınımlı kuvartz saatlerin en iyileri bile yılda 0,02 saniyelik sapma yapmaktadır.

Zaman ölçmede standart olarak, 1967 yılında toplanan uluslararası ağırlık ve ölçmeler genel konferansında, Cesium atom saati kullanılmıştır. Buna göre Cesium atomunun belirlenen geçiş periyodunun $9\,129\,631\,770$ katı *bir saniye standardı* olarak kabul edilmiştir

Zaman standardını duyuran radyo yayınları bulunmaktadır ve bunlar saniyelik zaman süresini sinyallerle bildirirken, her dakika başında sözlü olarak Greenwich saatini de verirler. Ülkemiz televizyon ve radyo kuruluşlarından bazıları, Greenwich 'e göre düzenlenmiş yerel saatleri genelde saat başlarında vermektedir.

I.1.04. BOYUTLAR VE BOYUT ANALİZİ

Bir fiziksel niceliğin boyutu bu niceliği ifade eden fiziksel bir özelliktir. Örnek olarak, zaman uzunluk, kütle gibi standart niceliklerin boyutları basit bir gösterimle, zaman (T), uzunluk (L) ve kütle (M) dir. Diğer fiziksel niceliklerin boyutları bu ve diğer standart niceliklerden türetilir. Örnek olarak v hızının boyutu, uzunluğun zamana bölümü ve a ivmesinin boyutu da uzunluğun zamanın karesine bölümü,

$$[v] = \frac{[L]}{[T]}$$

$$[a] = \frac{[L]}{[T^2]}$$

dür. Bu işlem *boyut analizi* olarak isimlendirilir ve bir bağıntıdaki hatayı bulmada yardımcı olur. Boyut analizi sadece aynı boyuttaki niceliklerin birbirine eşit olması gerçeğine dayanmaktadır. Değişik boyuttaki nicelikler toplanıp çıkarılamaz.

Örnek olarak ,

$$x = x_0 + v.t + \frac{1}{2} a t^2$$

Denklemini verilmiş olsun. Burada v hızı, X yolu (uzunluk), a ivmeyi ve t zamanı gösterir.

Bağıntının boyutunu kontrol edersek;

$$[L] = [L] + \frac{[L]}{[T]}[T] + \frac{[L]}{[T^2]}[T^2]$$

elde ederiz. Sağ taraftaki zaman boyutları sadeleşirse her bir terim $[L]$ boyutunda olur.

Böylece verilen bağıntının doğru olduğu sonucuna varırız böylece bağıntının hatalı olmadığını anlarız.

Boyut analizi yaparken, i) Ele alınan fiziksel özelliğe göre bir bağıntıdaki her nicelik için bir boyut belirlenir, ii) Cebir kurallarına göre boyutların çarpımı ve bölümü yapılır. iii) Her terimin sadeleşen boyutlarının uyumluluğu kontrol edilir. Boyut analizi bir bağıntıda herhangi bir sayının (π ve 3 gibi) varlığını dışlamak veya kabullenmek için kullanılamaz.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

I.1.05. DUYARLILIK VE ANLAMLI SAYILAR.

Bir fiziksel niceliğin ölçü değerlerinin duyarlılığı kullanılan anlamlı sayıların sayısı belirtilerek anlam kazanır. 20,5 sayısının üç tane anlamı varken, 9,7 sayısının ise anlamlı sayısı iki tanedir. Bir sayının solundaki sıfırlar anlamlı sayı olarak kabul edilmezler. 0,025 sayısının iki tane anlamlı sayısı vardır. Bir sayıyı izleyen sıfırlar ondalık noktasından sonraysa anlamlı sayıdır. Buna göre 3,50 sayısının anlamlı sayısı üç tanedir. Bir anlamlı sayı, bir sayıdaki sayılardan birisidir, ancak sayının önündeki sıfırların anlamlı olmayıp, sonundakiler yalnızca öyle olduğu belirtilirse anlamlıdır. Bir sayıdaki en az anlamlı sayı en sağdaki olanıdır. Örnek olarak 6,28 sayısının en az anlamlı sayısı 8 dır. Bir İngiliz arkadaşınız boyunun 71 inç olduğunu size söylese sizde bunun duygularınızla algılayabildiğiniz SI birim sistemindeki karşılığını bulmak isterseniz, 71 inç değerini 0,0254 çevirme çarpanı ile çarparak ,

$$(71 \text{ inç}).(0,0254) \text{ m/inç} = 1,8034 \text{ m}$$

elde edersiniz. Eğer bu değer boy ölçüsünün karşılığı olarak kullanılırsa, boy 0,1 mm (bir kitap sayfası kalınlığı) duyarlılıkla ifade edilmiş olur ki, bu tür verilişin bir anlamı olmayacaktır. Aşırı ve gereksiz hesaplamalardan kaçınmak amacıyla SI biriminde bulduğumuz sayı, İngiliz birim sistemindeki orijinal değer duyarlık derecesiyle uyumlu olmalıdır. Eğer hesap makinelerinde bulduğunuz, hesaplamalardaki değerleri düşünmeden kullanırsanız, sonuç olarak bu tamamen son örnek gibi saçma olabilir. Çünkü hesap makinesi verilen her sayıyı tam doğru değer olarak nitelendirilmektedir. Hesap makinesinin hesaplama sonunda verdiği sayı **yuvarlanarak** istenilen değer duyarlılık derecesini yansıtabilecek şekilde getirilir.

Yuvarlama kuralları ;

1. yuvarlama, eğer en küçük anlamlı sayının sağındaki sayının değeri 4 veya küçükse atılır. Bu sayı 5 veya daha büyükse en küçük anlamlı sayının değeri bir arttırılır. Örnek olarak, anlamlı sayısı iki olan 7,54 sayısındaki 4 sayısı atılarak 7,5 yazılır. Eğer iki anlamlı sayıda sonuç 7,55 ise bu yuvarlanarak 7,6 olarak yazılır. Bazen 5 öndeki sayı çiftse düşer tekse yükseltir.

2. çarpma ve bölme; çarpma ve bölmenin sonucunda elde edilen sayının anlamlı sayısı bu hesaplamalarda kullanılan sayılardan en az, duyarlılık derecesiyle bilinen sayının kiyle aynıdır.

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\frac{2,263\text{m}}{0,32\text{s}} = 7,1\text{m/s}$$

3. Toplama ve çıkarma; Bu işlemlerin sonundaki en az anlamlı sayının yeri ve adedi, hesaplamaya giren sayılardan virgülden sonrası en az anlamlı sayısı olan sayınıninkiyle aynıdır. Buna örnek,

$$9,1 \text{ m} + 5,77 \text{ m} = 14,9 \text{ m}$$

$$8,83 \text{ m} - 8,2 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$$

4.Transandant fonksiyonlar; bu tür (sin, ln, gibi) fonksiyonun elde edilen değeri, fonksiyonun argümanı olan sayıyla aynı anlamlı sayıda sayıya sahip olmalıdır;

$$\cos 57 = 0,54$$

$$\ln 7,275 = 1,984$$

Yukarıda verilen kurallar istatistik analizlere dayalı olmasa da arzu edilen duyarlılık derecesini vermektedir.

Hesap makinesiyle yapılan işlemlerde, ara işlemler gerçekleştirilirken, en küçük anlamlı rakamın ötesinde bir veya iki sayının tutulması gerekir. Hatta bu ara işlemler yapılırken, hesap makinesinde tüm sayıların saklanması sakınca yoktur. Kullanılan sayıların duyarlılık derecesini yansıtan değerler sadece işlemler sonucu elde edilen sonuç yanıttan sonra gösterilmesi daha uygun olur.

I.1.06. KUVVET

Kuvvet etkisini gözlemlerimizle ve yaptığımız hareketler esnasındaki etkileriyle anlarız. Bir cismi çekmek, itmek veya kırmak istediğimizde karşılaştığımız zorluk bize kuvvetin varlığını anlatır. Bir cismin yüksekte bırakılınca düştüğünü izleriz ve böylece buna etkiyen bir kuvvetin varlığını anlarız. Kuvvetin biri **statik** ve diğeri **dinamik** olmak üzere iki ayrı etkisi bulunmaktadır.

Statik etki, kuvvet etkidiğinde, cisimlerin hacim ve şekillerini değiştirir, bir yay veya lastik gibi nesnelerin uzayıp kısılmasını sağlar. Kuvvet etkisinde bazı cisimlerin şekli değişir fakat bu kuvvet kalkınca cisim ilk şekline geri döner. İşte bu özellikten yararlanılarak kuvvetin

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

değerinin (şiddetinin) ölçümü için, belli bir standarda ve birim sistemine göre skalası yapılmış yaylı kuvvet ölçerler (*dinamometre*) yapılmıştır.

Dinamik etki, Kuvvet hareketli cisimleri durdurabilir ve duran cisimleri harekete geçirebilir veya cismin hızında değişimler yapabilir. Kuvvetin tanımı onun dinamik etkisiyle yapılmaktadır :Buna göre kuvvet, duran bir cismi harekete geçiren veya onun hızında değişimler yapan etkiye denilmektedir. Bu andaki bilgilerimize göre doğada dört değişik kökenli kuvvet bulunmaktadır. Bunlar,

- 1 - Kütlesel çekim kuvveti
- 2 - Elektromanyetik (elektrik yükleri arasındaki itme ve çekme kuvveti) kuvvet
- 3 - Güçlü çekirdek (Nükleer), (örnek Atom çekirdeğinde, proton ve nötronları birbirine bağlayarak çekirdeği oluşturan kuvvet) kuvveti.
- 4 - Zayıf çekirdek (örnek, radyoaktivitenin oluşmasını sağlayan kuvvet) kuvveti

Bu kuvvetlerden, çekim kuvveti evrenseldir, daha açık olarak her kütleli parçacık, kütlesine ve enerjisine bağlı olarak bu kuvvetten etkilenir. Kütlesel çekim kuvveti bu dört kuvvet içinde en zayıf olanıdır öyle ki bunun büyük uzaklıklardaki etkisi onun çekici özelliği olmasaydı algılanamazdı.

Dünya ve güneş gibi iki büyük kütleli cismin tek tek parçacıkları arasında çok zayıf çekim kuvvetleri birbirinin üzerine etkilenecek belirgin kuvvetler doğurmaktadırlar. Elektromanyetik kuvvet kütle çekim kuvvetinden daha büyük tür. Örnek olarak; hidrojen atomunda elektron ve proton arasındaki elektriksel kuvvet $8,2 \cdot 10^{-8}$ N ve bunların arasındaki kütleli çekim kuvveti $3,7 \cdot 10^{-47}$ N dur.

Buna göre elektriksel kuvvet çekim kuvvetinden 10^{39} kez daha büyüktür. Diğer taraftan günlük yaşantımızda karşılaştığımız kütleli olmayan her kuvvet elektriksel kökenlidir. Elektronları çekirdeğe bağlayarak atomu oluşturan, atomları bir araya getirerek molekülleri oluşturan ve atom ve moleküllerini bir araya getirerek katı ve sıvı cisimleri oluşturan

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

elektiriksel kuvvettir. Bilim adamları zayıf çekirdek kuvvetiyle elektromanyetik kuvveti birleştirerek bu iki kuvvetin güçlü çekirdek kuvvetiyle birleştirilmesine ilişkin ve adına büyük birleşik kuram adı verilen bir kuram üzerinde çalışmaktadırlar.

Bu dört temel kuvvetin oluşturduğu sistemlerin birbiriyle doğrudan veya dolaylı etkileşimi nedeniyle oluşan ve diğer türemiş kuvvet çeşitleri de bulunmaktadır ve bunlardan bazıları, çekme ve itme kuvveti, havanın direnç kuvveti, esneklik kuvvetleri, yer çekim kuvveti (cismin ağırlığı), sürtünme kuvveti, atalet kuvveti, ve vb. 'dır. Böylece *kuvvet vektörel bir büyüklüktür*. Bundan sonraki kısımda vektörlerin kısa bir tanıtımı yapılacaktır ve kuvvet bir vektör olduğu için orada vektörel büyüklükler kullanılacaktır.

I.1.07. VEKTÖREL BÜYÜKLÜKLER

Vektörel büyüklüklerin matematiksel olarak tarifi için, şiddetlerinin, doğrultularının ve yönlerinin bilinmesi gerekmektedir. Fiziksel incelemelerde sağlayacağı kolaylık nedeniyle, matematiksel vektör tanımına birde vektörün uygulama noktası gibi keyfi bir kavram eklenebilmektedir. Bu yeni seçime göre fiziksel kavramlı vektör,

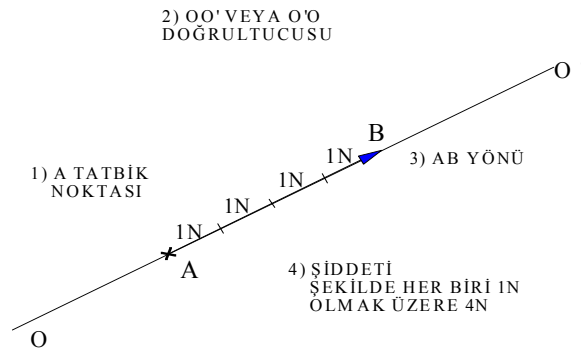
1) Uygulama noktası (başlangıç noktası)

2) Doğrultusu

3) Yönü

4) Şiddeti (değeri)

bilinmesiyle belirlenir.(Şekil 02)



Şekil 02. Bir vektörün gösterimi.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

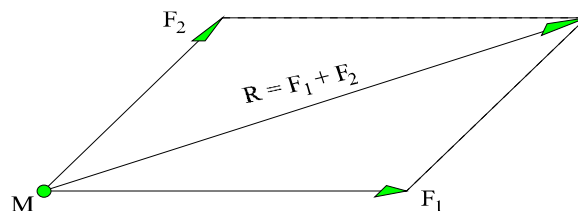
Vektörlerle işlem yapılırken vektörel büyüklük olan kuvvet kullanılacaktır. Vektörel büyüklükler koyu büyük harfle ve onların şiddetleri de kullanılan büyük harfin açık tonu ile gösterilecektir. Eski kitaplarda veya el yazmalarında vektörel büyüklükler kullanılan harfin üzerine bir ok yapılarak belirtilirler. Böylece bir kuvvetin vektörel gösterimi $\mathbf{F}$ ile ve şiddeti de F ile belirtilir. Vektörlerin Fizikte kullanılmasının amacı, fizik yasalarının vektörlerle ifadesinde koordinat eksenlerinin seçimine bağımlı olmamak ve kullanım kolaylığı sağlamaktır.

I.1.08. VEKTÖRLERLE TOPLAMA, ÇIKARMA VE ÇARPMA İŞLEMLERİ

Vektörler, kendi doğrultularında ve kendi doğrultularına paralel olarak kaydırılabilirler. Vektörlerin seçilen bir koordinat sisteminin eksenleri üzerindeki izdüşümleri skaler bir büyüklüktür. Vektörlerle işlem yapılırken bu özellikten yararlanılmaktadır. Vektörlerle toplama, çıkarma, ve çarpma işlemleri yapılmaktadır. Vektörlerin toplama işlemleri geometrik ve analitik yöntemle yapılabilmektedir, Buna göre;

Vektörlerin geometrik olarak toplanması; Bir cisme aynı noktasına etkiyen $\mathbf{F}_1$ ve $\mathbf{F}_2$ gibi iki vektörün toplam etkisi bulunmak istenirse, önce bu vektörler tanımlandığı gibi, doğrultu, yön ve şiddet değerleri göz önünde bulundurularak oluşturulur, buna ilaveten bunların ikisinin etkidiği M noktası dikkate alınır, vektörler kendi doğrultularında veya bu doğrultulara paralel olarak kaydırılarak bunların başlangıç noktaları uygulama noktasına gelinceye kadar kaydırılır. Bu işlemler sonunda, $\mathbf{F}_1$ ve $\mathbf{F}_2$ vektörleri iki kenarı olmak üzere bir paralel kenar oluşturulur: Elde edilen bu paralel kenarın uygulama noktasına ulaşan köşeni, iki vektörün toplam etkisini gösteren vektör olur.

Toplam vektörün doğrultusu köşegendir, yönü başlangıcı uygulama noktasında ve bitimi eşkenar dörtgenin köşesinde olacak tarzdadır ve şiddeti de birimlendirilerek çizilen eşkenar dörtgenin köşegen uzunluğu kadardır. Vektörlerin toplam etkisini veren *bileşke vektör* $\mathbf{R}$ simgesi ile gösterilir (Şekil 03).



BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

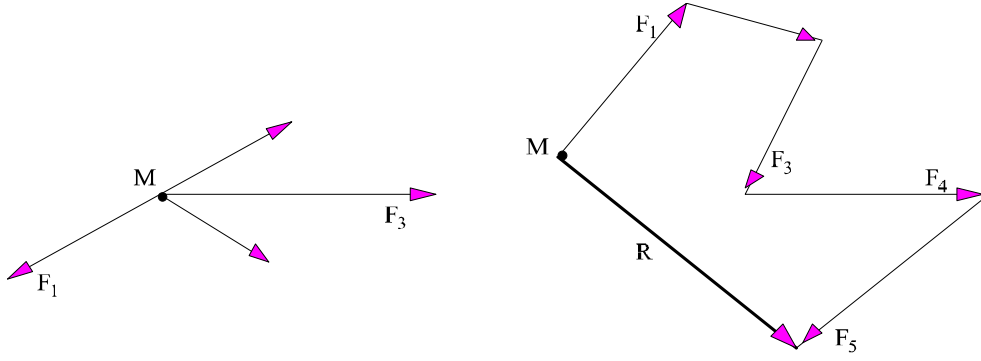
Şekil 03. İki vektörün bileşkesi.

İki vektörün toplamı bileşke vektör,

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (01)$$

dır. Burada $\mathbf{R}$ ye *bileşke vektör* denilmektedir. Bileşke vektör iki vektörün yaptığı etkiyi tek başına yapan vektördür. Uygulama noktasına $\mathbf{F}_1$ ve $\mathbf{F}_2$ vektörü etkidiğinde ne etki yapıyorsa bu iki vektör yerine uygulama noktasına $\mathbf{R}$ vektörü etkidiğinde aynı etkiyi yapar.

İkiden fazla vektör bir cismin aynı bir noktasına etkiyorsa bunların bileşke vektörü çokgen metodundan yararlanılarak bulunur.



Şekil 04.a,b. İkiden fazla vektörün bileşkesinin çokgen metoduyla bulunması

Örnek olarak F_1, F_2, F_3, F_4 ve F_5 gibi beş vektör bir cismin aynı noktasına etkiyorsa bunların bileşkesini bulmak için, önce bir uygulama noktası seçilir (M), bu vektörlerden herhangi biri seçilerek onun başlangıç noktası seçilen bu uygulama noktasına kaydırmalarla getirilir, sonra diğer bir vektör seçilerek seçilen vektörün başlangıç noktası bir önceki vektörün bitim noktasına gelinceye kadar kaydırılır ve böylece bu işlem diğer kalan vektörlere de uygulanarak bir ucu açık bir çokgen elde edilir.

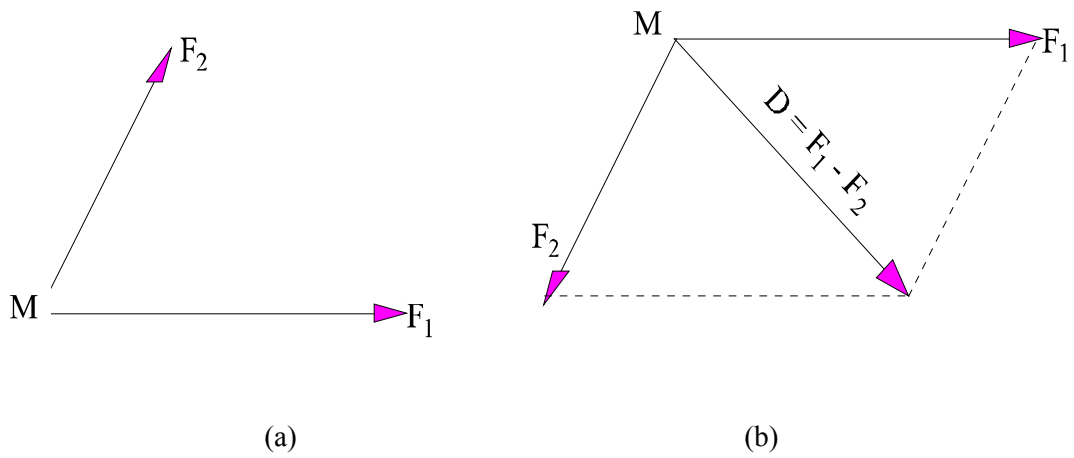
Uygulama noktası ile şekil çiziminde uygulanan son vektörün uç noktasını birleştiren doğru bileşke vektörü verir (Şekil 04.a,b). Bu durumda bileşke vektör,

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \mathbf{F}_5 \quad (02)$$

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

bağıntısıyla gösterilir. (02) bağıntısı aynı bir noktaya etkiyen kaç adet kuvvet (vektör) olursa olsun geçerlidir. Genel kural olarak, vektörler hangi sırada ve gruplar altında toplanırsa toplansın toplamın sonucu değişmez.

Vektörlerin çıkarılması, F_1 vektöründen F_2 vektörünü çıkarmak için, önce bir uygulama noktası seçilir F_1 vektörü oraya konuşlandırılır, F_2 vektörünün yönü zıt yönde alınır ve bu haldeki vektör seçilen uygulama noktasına kaydırılır. Negatif vektörle F_1 vektörü bir paralel kenara tamamlanırsa, uygulama noktasından geçen köşegen, başlangıcı yine uygulama noktası olan *fark vektörünü* oluşturur. (Şekil 05 .a.b.)



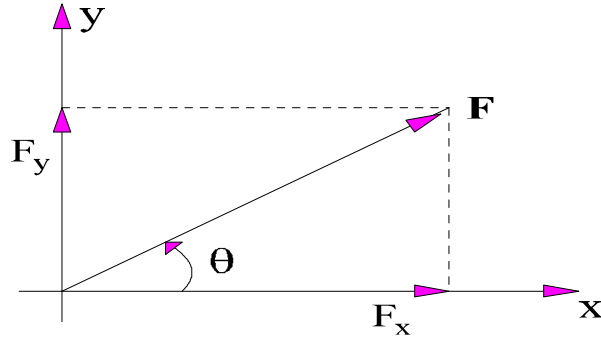
Şekil 05.a,b. Vektörlerin çıkarılması.

Analitik yöntemle vektörlerin bileşenlerine ayrılması ve toplanması; Geometrik yöntemle vektörlerin toplanması üç boyutlu sistemde zorluklar yaratmaktadır: Bu nedenle vektörlerin toplanması için belli bir koordinat sistemi, genellikle dik koordinat sistemi seçilerek işlemler yapılır. **Bir vektörün seçilen bir koordinat sisteminin eksenleri üzerindeki iz düşümleri skaler büyüklüklerdir.**

İki boyutlu dik bir koordinat sisteminde F vektörünün uygulama noktası koordinat sisteminin başlangıç noktasında olsun ve bu pozitif X eksenine ile saat ibreleriyle ters dönümlü bir açısı yapsın (Şekil 06). Bu durumda F 'in X ve Y eksenindeki bileşenleri F_x ve F_y ,

$$F_x = F \cos\theta \quad \text{ve} \quad F_y = F \sin\theta \quad (03)$$

dır.



Şekil 06 .Analitik yöntemle vektörlerin toplanması .

θ açısının değerine göre F_x ve F_y pozitif veya negatif olabilir. Bu durumda $\mathbf{F}$ vektörünü belirlemek için F (vektörün şiddeti) ve θ yerine F_x ve F_y büyüklüklerini kullanılabilir ve büyüklükler cinsinden,

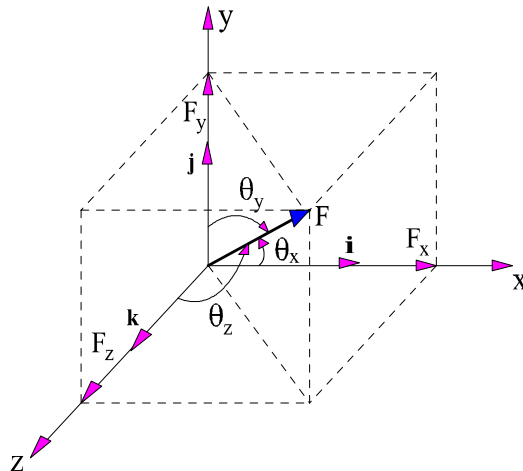
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ ve } \tan \theta = \frac{F_y}{F_x} \quad (04)$$

olur. Vektörün üç boyutlu dik koordinat sistemindeki bileşenleri ve bileşenler cinsinden onun büyüklüğünün ve eksenlerle yaptığı açılarda (Şekil 07),

$$F_x = F \cdot \cos \theta_x \quad F_y = F \cdot \cos \theta_y \quad F_z = F \cdot \cos \theta_z \quad (05)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (06)$$

olacaktır.



BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Şekil 07. Dik uzay koordinat sisteminde bir vektörün bileşenleri.

Vektörlerin bileşenleri cinsinden belirlenmesi için, dik koordinat sisteminde, pozitif x,y ve z yönlerini göstermek üzere sırasıyla i, j ve k şeklinde *birim vektörler* kullanılır. Buna üç boyutlu koordinat sisteminde bulunan F_1 ve F_2 vektörleri ve onların toplamı olan bileşke vektörü R , birim vektörler cinsinden,

$$F_1 = i F_{1x} + j F_{1y} + k F_{1z} \quad (07)$$

$$F_2 = i F_{2x} + j F_{2y} + k F_{2z} \quad (08)$$

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} \quad R_y = F_{1y} + F_{2y} \quad R_z = F_{1z} + F_{2z} \quad (09)$$

olmak üzere,

$$R = (F_{1x} + F_{2x}) i + (F_{1y} + F_{2y}) j + (F_{1z} + F_{2z}) k \quad (10)$$

şeklinde yazılır. Aynı işlemleri iki boyutlu dik koordinat sistemine de uygularsak, bu kez k birim vektörü ve F_1, F_2 vektörlerinin F_{1z} ve F_{2z} bileşenleri olmayacağından, böyle iki vektörün iki boyutlu dik koordinat sistemindeki toplam vektörü, yani bileşkesi,

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} \quad R_y = F_{1y} + F_{2y} \quad (11)$$

olmak üzere,

$$R = (F_{1x} + F_{2x}) i + (F_{1y} + F_{2y}) j \quad (12)$$

olacaktır.

Son iki bağıntıdan, iki boyutlu dik koordinat sistemindeki iki vektörün toplamı olan bileşke vektörün şiddeti (Büyüklik) ve onun pozitif x eksenine ile yaptığı açısı,

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad \text{ve} \quad \tan \theta = \frac{R_y}{R_x} \quad (13)$$

dır.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Vektörlerin çarpılması, Aynı cins skaler büyüklükler birbiriyle toplanabildiği gibi ancak aynı cins vektörel büyüklükler birbirleriyle toplanabilirler. Diğer taraftan, skaler kemiyetler gibi farklı cinsten vektörel büyüklükler birbiriyle çarpılarak yeni fiziksel büyüklükler elde edilir. Vektörel çarpım, bir vektörün bir skaler büyüklükle çarpılması, iki vektörün skaler bir büyüklük verecek şekilde çarpılması (*skaler çarpım*) ve iki vektörün vektörel büyüklük verecek şekilde çarpılması (vektörel çarpım) gibi üç türlü olabilir. Bir vektörün bir skalerle çarpılması sonunda o vektörün doğrultusu sabit kalır fakat çarpan skaler büyüklüğün işaretine göre yönü değişir ve boyu çarpan skaler büyüklüğü kadar uzar.

İki vektörün skaler çarpımı, **A** ve **B** gibi iki vektörün skaler çarpımı, iki vektör arasındaki açı θ ise,

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta \quad (14)$$

dir. Buna göre iki vektörün skaler çarpımı, vektörlerden herhangi birinin şiddeti ile öteki vektörün onun üzerindeki izdüşümünün çarpımına eşittir ve çarpım sonucu skaler bir büyüklüktür. Böyle bir tanım sonunda, iş, kütle çekim potansiyel enerjisi, elektriksel potansiyel ve vb., gibi fiziksel büyüklükler iki vektörün skaler çarpımı sonunda elde edilebileceklerdir. θ açısı, 90° ile 270° arasında ise, skaler çarpım sonucu negatif bir büyüklük olur. $\theta = 90^\circ$ veya **B** sıfırdan farklı bir değerde iken $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 0$ olursa iki vektör birbirlerine diktirler.

Birim vektörlerin skaler çarpımları aşağıda gösterilmiştir;

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1$$

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{i} = 0$$

İki vektörün vektörel çarpımı, İki vektörün vektörel olarak çarpılması sonunda bir başka vektörel büyüklük elde edilir. Bu şekilde tanımlanan bir çarpımla bir çok vektörel fiziksel büyüklük elde edilir.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Örnek olarak manyetik alanda hareket eden bir yüklü parçacığa etkiyen kuvvet, bir kuvvetin döndürme etkisini veren moment, açısal momentum ve vb., gibi fiziksel büyüklükler vektörel çarpım büyüklükleridir. **A** ve **B** gibi iki vektörün vektörel çarpımı **AxB** şeklinde gösterilir ve bunların çarpımı yine bir **C** vektörü

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B} \quad (15)$$

dir. (15) bağıntısındaki **C** vektörünün şiddeti,

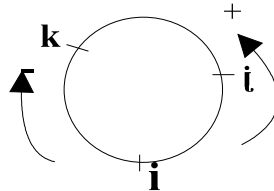
$$C = A B \sin \theta \quad (16)$$

Vektörel çarpımda elde edilen **C** vektörü **A** ile **B** vektörünün oluşturduğu düzleme diktir ve yönü, eksen **A** ile **B** nin kurduğu düzleme dik olan sağa yivli bir vidanın, **A** dan **B** ye döndürülmesinde ilerlediği yöndür. Bir vektör çarpımda vektörlerin çarpım sırası, sonuç üzerinde ,

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = - \mathbf{B} \times \mathbf{A} \quad (17)$$

şeklinde etkili olur. Çarpımı yapılan vektörler arasındaki açı $\theta = 90^\circ$ olursa bu üç vektör birbirine dik olur.

Birim vektörlerin vektörel çarpımlarının sonuçları Şekil 08 den yararlanılarak bulunur.



Şekil 08. Birim vektörlerin vektörel çarpımları ve sonuçlarının işaretinin bulunması

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \quad \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \quad \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}$$

$$\mathbf{j} \times \mathbf{i} = -\mathbf{k} \quad \mathbf{i} \times \mathbf{k} = -\mathbf{j} \quad \mathbf{k} \times \mathbf{j} = -\mathbf{i}$$

Birim vektörlerin vektörel çarpımında Şekil 08 den yararlanarak, çarpımda önce gelen birim vektör sonrakiyle çarpılırken bu yön şekle göre saat ibreleri yönündeyse sonuç artı, aksiyse sonuç eksi olur. Diğer taraftan şekle göre, çarpılanlardan bir sonra gelende çarpımın sonucu birim vektör olur. Ayrıca birim vektörler birbirleriyle vektörel olarak çarpıldığında (16) bağıntısına göre, $\sin \theta$ değeri $\theta = 0$ için $\sin 0 = 0$ olacağından ;

$$\mathbf{i} \times \mathbf{i} = 0 \quad \mathbf{j} \times \mathbf{j} = 0 \quad \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0$$

bulunur.

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} \quad \text{ve} \quad \mathbf{B} = B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}$$

gibi iki vektörün vektörel çarpımının sonucu aşağıdaki determinant işlemiyle;

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k} \quad (17^1)$$

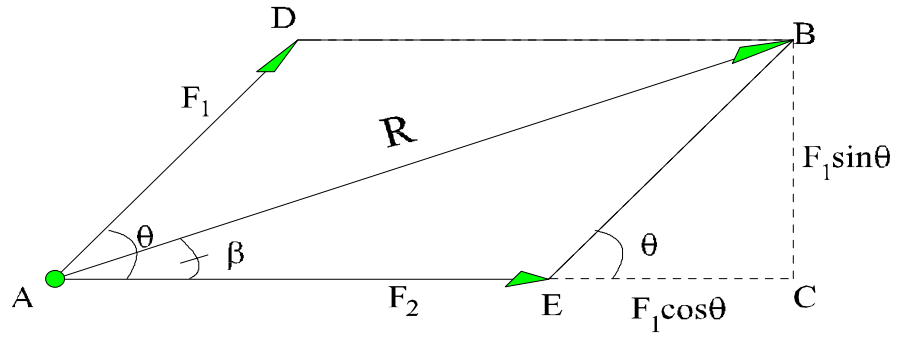
olarak elde edilir.

I.1. 09. KESİŞEN İKİ KUVVETİN BİLEŞKESİ.**AYNI DOĞRULTULU PARALEL KUVVETLER**

Kesişen iki kuvvetin bileşkesi, vektörel olarak ,

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

bağıntısıyla gösterilir. Bu iki kuvvetin bileşkesinin şiddeti, (Şekil 09)' da ABC üçgeninde,



Şekil 0 9 Kesişen iki kuvvetin bileşkesinin. Bulunması.

$$(AB)^2 = (AC)^2 + (BC)^2$$

$$AB = R \quad AC = F_2 + EC = F_2 + F_1 \cos \theta \quad \text{ve} \quad BC = F_1 \sin \theta$$

olduğuna göre,

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \theta \quad (18)$$

dir. θ açısı 90° den büyük olduğunda $2F_1.F_2.\cos\theta$ ifadesindeki $+$ işareti $-$ olur. Bileşke kuvvetin(R), F_2 kuvvetiyle yaptığı β açısı,

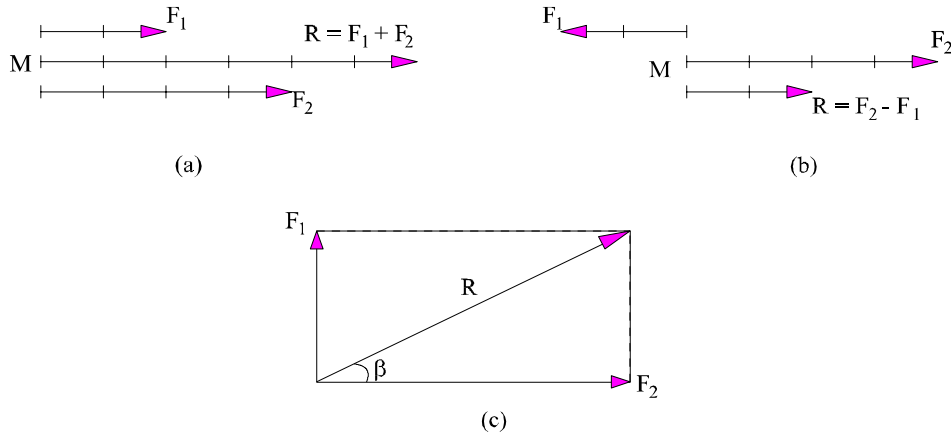
$$\text{tg}\beta = \frac{F_1 \sin \theta}{F_1 \cos \theta + F_2} \quad (19)$$

dir.

Kesişen iki kuvvetin bileşkesi aralarındaki açının ve kuvvetlerin şiddetine göre ;

1) $\theta = 0^\circ$ ise kuvvetler aynı doğrultulu ve yönlü olacağından, bu iki kuvvetin bileşkesi, (18) bağıntısına, göre $R = F_1 + F_2$ ve doğrultusu $\beta = 0^\circ$ olur (Şekil 10.a.).

2) $\theta = 180^\circ$, $F_2 > F_1$ ve F_2 sağa yönlü bu yön pozitif seçilirse, iki kuvvetin bileşkesi $R = F_2 - F_1$ ve doğrultusu $\beta = 0$ olur (Şekil 10.b).

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.


Şekil 10.a.b.c Bazı vektörlerin bileşkeleri

3) $\theta = 90^\circ$ yani iki kuvvet birbirine dik ise, bu iki kuvvetin bileşkesi $R^2 = F_1^2 + F_2^2$ ve bileşkenin doğrultusu $\tan \beta = F_1/F_2$ 'dir (Şekil 10.c).

4) Aralarındaki açı θ olan iki eşit ($F_1 = F_2$) kesişen kuvvetin bileşkesi, (18) bağıntısından $F = F_1 = F_2$ yazılarak,

$$R^2 = 2F^2(1 + \cos \theta) \quad \text{ve} \quad 1 + \cos \theta = 2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad \text{den}$$

$$R = 2F \cos \frac{\theta}{2} \quad (20)$$

dır.

Aynı doğrultulu (paralel) kuvvetlerin bileşkesi: İki'den fazla aynı doğrultulu kuvvetlerin toplanması için,

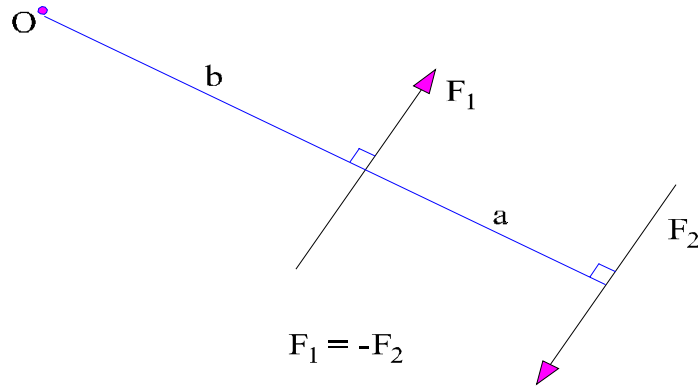
1) Önce bir pozitif yön seçilir,

2) Pozitif yönde olan kuvvetler kendi aralarında ve diğer yönde (negatif) olanlar kendi aralarında toplanırlar,

3) Bu toplamlara göre, mutlak değerce büyük olandan mutlak değerce küçük olan çıkarılır ve sonuçta mutlak değerce büyük olanın işareti kullanılarak, bu kuvvetlerin *bileşkesi* bulunur.

I.1.10. KUVVET ÇİFTİ

Aynı şiddetli ve doğrultulu zıt yönlü iki kuvvetin oluşturduğu sisteme ($F_1 = -F_2$) **kuvvet çifti** adı verilir (Şekil 11).Şekilde, iki kuvvet arasındaki en kısa uzaklık a ve F_1 kuvvetinin seçilen bir O noktasından en kısa uzaklığı da b olarak simgelenmiştir.



Şekil 11. Kuvvet çifti

Bir vidayı sıkıştırmakta kullanılan tornavidanın ucu ile vida bir kuvvet çifti dir. Kuvvet çifti uygulandığı sisteme bir dönme hareketi verir. Kuvvet çiftinin bileşkesi,

$$R = F_1 - F_2 = 0$$

Bu sistemde bileşkenin şiddeti sıfırdır. Bir kuvvet çiftinin etkisini bir tek kuvvetle oluşturmak mümkün değildir ve bir kuvvet çifti bir tek kuvvetle dengede tutulamaz. Kuvvet çifti ancak eşit ve karşı bir kuvvet çiftiyle dengede tutulabilir.

I.1.11. BİR KUVVETİN DÖNDÜRME ETKİSİ (TORK)

Bir eksene göre tork

Bir eksen etrafında dönme oluşturan kuvvetin etkisi (torku), kuvvet ile bu eksenenden kuvvetin tesir çizgisine indirilen dik uzaklığın (kuvvet kolu) çarpımına eşittir ve buna *bir eksene göre tork* adı verilir.

Bir noktaya göre tork,

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

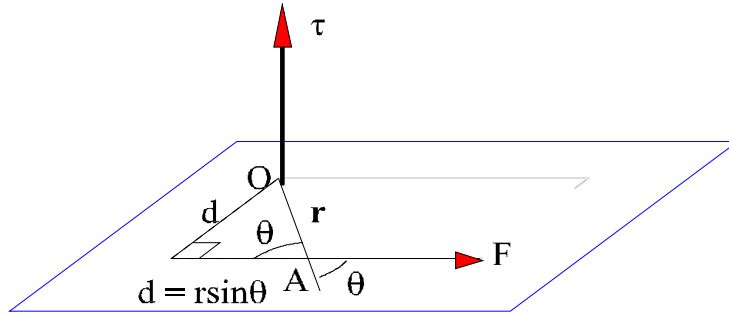
Bir nokta etrafında bir dönme oluşturan kuvvetin etkisi (torku) kuvvet ile bu noktadan kuvvetin tesir çizgisine indirilen dik uzaklığın (kuvvet kolu) çarpımına eşittir ve buna *bir noktaya göre tork* denilir.

Tork vektörel bir büyüklüktür, bu büyüklüğü τ ile, kuvveti F ile ve seçilen eksene veya noktaya göre olan uzaklığı yer değiştirme vektörü r ile gösterirsek, moment

$$\tau = F \times r \quad (21)$$

olur. (Şekil 12)'de bir kuvvetin bir noktaya göre momenti olan τ vektörü gösterilmiştir.

Tork, yer değiştirme vektörü ile, kuvvetin oluşturduğu düzleme dik bir vektördür. Torkun yönü, çarpımda önde gelen r yer değiştirme vektörünü yönü açık parmaklar yönünde avucumuza alır ve parmaklarımızı kuvvet vektörüne doğru avucumuza kapatır ve baş parmağımızı açarsak, bu parmağın yönü torkun yönü olur.



Şekil 12. Bir kuvvetin bir noktaya göre tork'u

(21) bağıntısı ve Şekil 12 den bu torkun şiddeti,

$$\tau = F \cdot r \cdot \sin \theta = F \cdot d \quad (22)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Tork etki ettiği sistemi saat ibreleri yönünde döndürüyorsa değeri (+) ve tersi yönünde döndürüyor ise (-) olarak alınır. Bu seçim keyfidir ama, hep bir yönde döndürme etkisi yapan torkların aynı işaretli alınması ve bunun tersinde döndürme etkisi yapan torkların da ilk seçilen işarete göre tersi işaretli alınması gereklidir. SI birim sisteminde torkun birimi Nxm 'dir. Bu birimim fiziksel büyüklük olan $\hat{I}_\theta$ in SI birim sistemine göre, birimi olan " Nm" ile karıştırılmaması gereklidir.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Birimlerinin aynı olmasına karşın, İş skaler bir büyüklük, tork ise vektörel bir büyüklüktür ve bunlar birbirlerinden tamamen farklı fiziksel büyüklüklerdir. Bu nedenle torkun birimi yazılırken kuvvet birimi ile kuvvet kolu birimi arasında x işareti ($\mathbf{N \times m}$) kullanılır, işte ise bunlar arasında (Nm) nokta işareti kullanılır.

I.1.12. KUVVETLERİN DENGESİ VE DENGİ ŞARTLARI

Maddesel bir cisme etkiyen kuvvetlerin etkisi birbirlerini yok ediyorsa, cisim durgun haldeyken durgunluğunu koruyorsa, hareketli iken, ne ötelenme ve nede dönme hareketini değiştirmiyorsa bu durumdaki cisme *dengede'* dir denir. Maddesel bir cisim birçok kuvvetin etkisi altında dengede ise,

1) Cisme etkiyen kuvvetlerin seçilen bir doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı sifıra eşit olmalıdır,

$$\Sigma \mathbf{F}=0 \quad \text{veya} \quad \Sigma F_x=0 \quad \Sigma F_y=0 \quad \Sigma F_z=0 \quad (23)$$

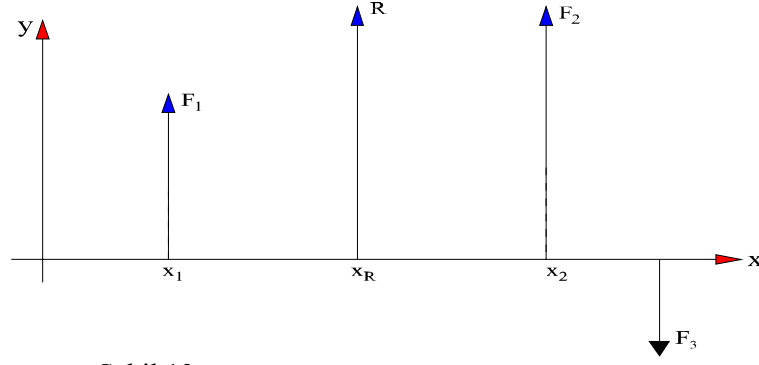
2) Cismin dönme hareketinde bir değişim *olmaması* için, cisme uygulanan kuvvetlerin seçilen bir eksene göre momentlerinin cebirsel toplamı sifıra eşit olmalıdır,

$$\Sigma \tau=0 \quad \text{veya} \quad \Sigma \tau_x=0 \quad \Sigma \tau_y=0 \quad \Sigma \tau_z=0 \quad (24)$$

I.1.13. PARALEL KUVVETLER VE TORKLAR TEOREMİ

Paralel kuvvetlere ilişkin özellikleri daha önce incelemiştik. Bu özellikleri analitik olarak ta belirtmek olasıdır. İki boyutlu uzayda seçilen dik koordinat eksenlerinde, y eksenini kuvvetlerin doğrultularını belirlesin ve y ekseninin pozitif yönü, kuvvetlerin yönü içinde pozitif yön olarak kabul edilsin. F_1 , F_2 ve F_3 gibi üç paralel kuvvetin bileşkesi R ve bunların koordinat eksenlerinin başlangıç noktalarına olan uzaklıkları (*tesir çizgileri*) sırasıyla x_1 , x_2 , x_3 ve X_R ile simgelenir (Şekil 13). X_R aynı zamanda *bileşkenin uygulama noktası* adını da alır.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.



Şekil 13 .Paralel kuvvetlerin bileşkesi

Bu durumda kuvvetlerin bileşkesi R , yön ve değerce, F_1 , F_2 ve F_3 kuvvetlerinin cebirsel toplamına eşit olacaktır:

$$R = F_1 + F_2 + F_3$$

Tüm kuvvetler y eksenine paralel olduğundan bu kuvvetlerin vektörel büyüklükleri yerine skaler büyüklükleri ele alınarak işlem yapılabilir. Böylece skaler büyüklükler cinsinden F_1 , F_2 , ve F_3 kuvvetlerinin bileşkenin uygulama noktasına (x_R) göre torklarını alalım. Sistem dengede olduğundan, torklar toplamı sıfır olacaktır.

$$F_1 (X_R - x_1) + F_2 (X_R - x_2) - F_3 (X_R - x_3) = 0$$

$$X_R (F_1 + F_2 - F_3) = F_1 x_1 + F_2 x_2 - F_3 x_3$$

$$R X_R = F_1 x_1 + F_2 x_2 - F_3 x_3$$

Bu işlemler aynı şekilde ikiden fazla birçok paralel kuvvete uygulanırsa ,

$$R X_R = \sum F x \quad (25)$$

olur. Son bağıntıdan yararlanılarak *momentler teoremi*; "**Bir paralel kuvvetler sistemine ait bileşkesinin seçilen bir eksene göre momenti, paralel kuvvetlerin aynı eksene göre momentlerinin cebirsel toplamına eşittir**" şeklinde tanımlanır. Momentler teoremi uzaysal dik koordinat sisteminde,

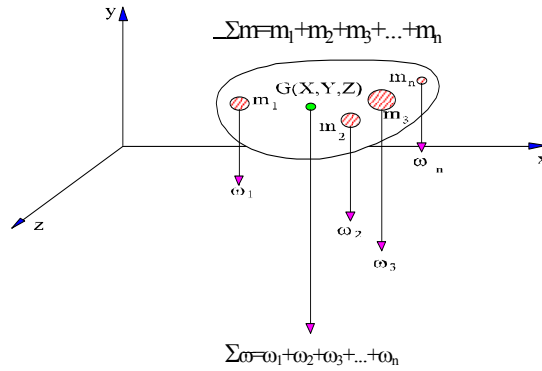
$$R X_R = \sum F_x \quad R Y_R = \sum F_y \quad R Z_R = \sum F_z \quad (26)$$

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Yerkürenin kütleçekim kuvvetinin, maddesel cismin noktalarına etki ettiği kuvvetler, yerküreye dik doğrultulu ve yerküreye yönlü paralel kuvvetlerdir ve bu paralel kuvvetlerin bileşkesine cismin ağırlığı (Bir kuvvettir) ve bunun cisimde etki ettiği nokta yada **cismin ağırlık merkezi** adı verilir.

1.1.14. AĞIRLIK MERKEZİ VEYA KÜTLE MERKEZİ

Yerkürenin kütleçekim kuvvetinin, maddesel cismin noktalarına uyguladığı kuvvetler yerküreye dik doğrultulu ve yerküreye (aşağı) yönlü paralel kuvvetlerdir. **Bu kuvvetlerin bileşkesine cismin ağırlığı (Bir kuvvettir) ve bu bileşkenin uygulama noktasının yerinde cismin ağırlık merkezi adı verilir.** Şekil 14.



Şekil 14. Bir cismin ağırlık merkez yerinin bulunması

Bu noktaya cismin ağırlığına eşit ve yukarı yönlü bir kuvvet uygulanırsa cisim dengede kalır. Herhangi bir cismin kütlesi m ve onun ağırlığı $\mathbf{W}$ ise, skaler büyüklük olan m kütlesi ile vektörel büyüklük olan $\mathbf{W}$ ağırlığı arasındaki bağıntı,

$$\mathbf{W} = m\mathbf{g} \quad (27)$$

dır. Burada $\mathbf{g}$ 'ye, (bunun büyüklüğü; yerkürenin enlemi ,boylamı ve yerküreden olan yüksekliğe göre değişmesine karşılık, yerkürede bulunan nokta için sabit olarak kabul edildiğinden) **yerküre çekim sabiti denir**. SI birim sisteminde $\mathbf{g}$ vektörünün büyüklüğü, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ 'dir. (Şekil 14) Paralel kuvvetlere ait torklar teoremi ve ağırlık ile kütle arasındaki ilişkiyi vurgulayan (27) bağıntısından yararlanarak,

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\begin{aligned} \sum wX = \sum wx \quad \text{veya} \quad \sum mX = \sum mx \quad \text{ve buradan} \quad X &= \frac{\sum mx}{\sum m} \\ \sum wY = \sum wy \quad \text{veya} \quad \sum mY = \sum my \quad \text{ve buradan} \quad Y &= \frac{\sum my}{\sum m} \quad (28) \\ \sum wZ = \sum wz \quad \text{veya} \quad \sum mZ = \sum mz \quad \text{ve buradan} \quad Z &= \frac{\sum mz}{\sum m} \end{aligned}$$

bulunur. *İncelen cisim çizgisel , yüzeysel ve hacimsel olabilir.* Bu cisimlerin kütleleri, onların birimsel büyüklüklerinin yoğunluğu ile orantılı olacağından, eğer cisim çizgisel ise $\sum m$ yerine $\sum L$, cisim yüzeysel ise $\sum m$ yerine $\sum S$ ve cisim hacimsel ise $\sum m$ yerine $\sum V$ alınır ve cismin şekline göre bunlar (28) bağıntılarına iletilerek, elde edilen yeni bağıntılarla gerekli hesaplamalar yapılır. Örnek olarak cismimiz yüzeysel ise,

$$X = \frac{\sum Sx}{\sum S} \quad \text{ve} \quad Y = \frac{\sum Sy}{\sum S}$$

olur.

Ağırlık merkezi integralle de hesaplanabilir, eğer maddesel nokta sistemi, levha veya katı cisim gibi sürekli bir cismin noktaları ise, ağırlık merkezinin koordinatları, (28) bağıntılarındaki, $\sum mx$, $\sum m$, $\sum my$, $\sum m$ ve $\sum mz$, $\sum m$ toplamaları yerine, integral kullanılarak hesaplanır,

$$X = \frac{\int x dm}{\int dm} \quad Y = \frac{\int y dm}{\int dm} \quad Z = \frac{\int z dm}{\int dm} \quad (29)$$

Cisim çizgisel, düzlemsel veya hacimsel ise, bunlardan her birinin *elemanter kütleleri*, sırasıyla çizgisel yoğunluğu (μ), elemanter çizgi uzunluğu dl , yüzeysel yoğunluğu (κ), elemanter yüzey dS ve hacimsel yoğunluğu (ρ), birim hacim dV ise,

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\text{elemantar çizgisel kütle} \quad dm = \mu \, dl$$

$$\text{elemantar yüzeysel kütle} \quad dm = \kappa \, dS \quad (30)$$

$$\text{elemantar hacimse kütle} \quad dm = \rho \, dV$$

dır. Bu şekilde kütlelerin belirlenmesi sonunda, (30) bağıntıları cisimlerin şekillerine göre (29) bağıntılarına iletilerek, incelenen cismin ağırlık merkezi bulunur. Örnek olarak cisim yüzeysel ise, (30) ve (29) bağıntılarından, ağırlık merkezinin koordinatları;

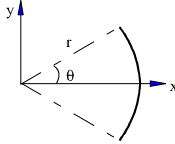
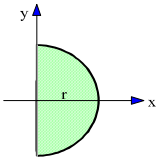
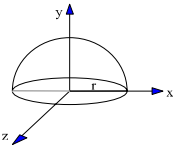
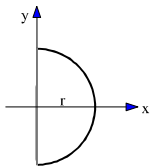
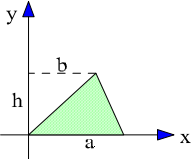
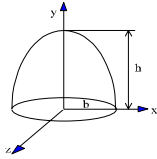
$$X = \frac{\int x \, ds}{\int ds} \quad \text{ve} \quad Y = \frac{\int y \, ds}{\int ds}$$

bağıntılarıyla hesaplanır.

Yer küredeki cismin ağırlığının, kütleyle birlikte etkeni olan $\mathbf{g}$ vektörünün büyüklüğünün, hesaplama yapılan yerküre noktasında sabit değerli olmasından ve cismin boyutlarının yerkürenin boyutlarına göre çok küçük olması nedeniyle, cismin kütle merkeziyle ağırlık merkezinin çakışık olduğunu kabul edilir. Bu nedenle *ağırlık merkezine, kütle merkezide* denir.

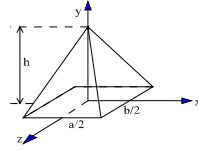
1.1.15. BAZI ÇİSİMLERİN AĞIRLIK MERKEZLERİ

Tablo 3 Bazı cisimlerin ağırlık merkezleri

CİSİM	NİCELİK	$\bar{X}$	$\bar{Y}$
Daire yayı		Üçgen	Yarım Elips
Yarım daire		Yarım Küre	
Yarım çember			

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Piramit



$$2.r/\pi$$

$$0$$

$$h/4$$

$$S=1/2 a.h$$

$$4.r/3\pi$$

$$0$$

$$V=2/3 \pi .r^3$$

$$(a+b)/3$$

$$0$$

$$l=2.r.\theta$$

$$V=2/3 \pi .h.b^2$$

$$0$$

$$h/3$$

$$l=\pi.r$$

$$V=1/3 a.b.h$$

$$0$$

$$3r/8$$

$$(r.\sin\theta)/\theta$$

$$0$$

$$S=\pi.r^2/2$$

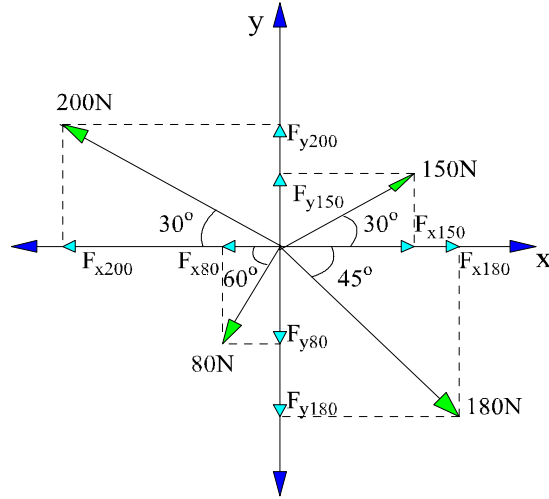
$$3h/8$$

dikdörtgen ve karesel yüzeyli sistemlerde ağırlık merkezi köşegenlerin kesim noktasındadır.

Esasında bir cismin ağırlık merkeziyle kütle merkezinin çakışık olduğunu kabul etmek doğru bir yaklaşımdır. Her ne kadar bunlar makro boyutlarda farklı kavramlar ise de göz önüne alınan cismin boyutlarının yer küre boyutlarına göre küçük olması ve yerküre kütle çekim sabiti **g** nin yükseklikten bağımsız bir sabit gibi ele alınması nedeniyle bu iki kavram eş anlamlı olarak kullanılabilir. Gerçekte kütle merkezi cismin tüm kütlelerinin yoğunlaşmış olduğu noktaya denir. Cisim tüm dış kuvvetler bu noktaya etkiyormuş gibi hareket eder. Ayrıca kütle merkezi hiçbir cismin veya yıldızın kütle çekim sabitine bağlı değildir.

I.1.16. ÖRNEK PROBLEMLER

1) Şekil 15 deki kuvvetler sisteminin bileşkesini ve bileşkenin x eksenine yaptığı açiyı hesaplayınız.



Şekil15. Örnek problem 1.

Çözüm ;

$$\Sigma F_x = F_{x180} + F_{x150} - F_{x200} - F_{x80}$$

$$\Sigma F_x = 180 \cdot \cos 45 + 150 \cos 30 - 200 \cos 30 - 80 \cos 60 \cong -44 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = F_{y150} + F_{y200} - F_{y180} - F_{y80}$$

$$\Sigma F_y = 150 \sin 30 + 200 \sin 30 - 180 \sin 45 - 80 \sin 60 = -21,56 \text{ N}$$

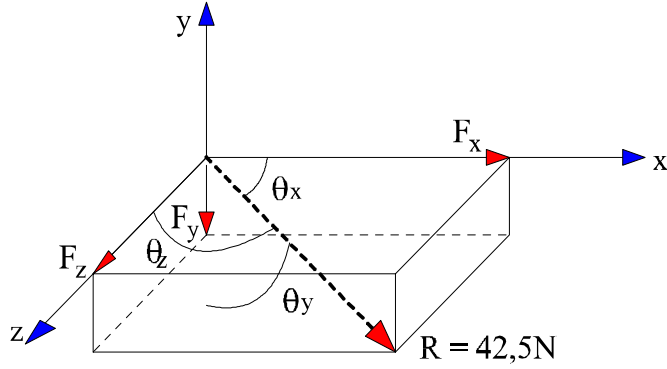
$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 49 \text{ N.}$$

$$\tan \theta_x = - \frac{21,56}{44} = -0,489 \quad \text{ve} \quad \theta_x = 360^\circ - 26^\circ = 334^\circ$$

2) Uzaysal dik koordinat sisteminde başlangıçları orijinde olan 20, 15, 30 ve 50 N 'luk kuvvetlerin uç noktalarının koordinatları sırasıyla (2,1,6), (4, -2,5), (-3, -2,1) ve (5, 1, -2) dir.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Bu kuvvetlerin her birinin eksenler üzerindeki bileşenlerini , kuvvetlerin bileşkesini ve bileşkenin her eksenle yaptığı açıyı hesaplayınız (Şekil 16)



Şekil 16.Örnek problem2.

Çözüm ; 20 N 'luk kuvvet vektörünün büyüklüğü $\sqrt{2^2 + 1^2 + 6^2} = \sqrt{41}$ dir. Buradan, bu vektörün kuvvetlerle yaptığı açılar,

$$\cos\theta_{x20} = \frac{2}{\sqrt{41}} = 0,313, \quad \cos\theta_{y20} = \frac{1}{\sqrt{41}} = 0,156 \quad \text{ve} \quad \cos\theta_{z20} = \frac{6}{\sqrt{41}} = 0,938$$

dır. Bu kuvvetin eksenler üzerindeki izdüşümleri de,

$$F_{x20} = 20 \cdot \cos\theta_{x20} = 20 \cdot 0,313 = 6,26 \text{ N}$$

$$F_{y20} = 20 \cos\theta_{y20} = 20 \cdot 0,156 = 3,12 \text{ N}$$

$$F_{z20} = 20 \cos\theta_{z20} = 20 \cdot 0,938 = 18,8 \text{ N}$$

olarak hesaplanır. Aynı yolla 15 N, 30 N ve 50 N 'luk kuvvetlerin koordinat eksenleri üzerindeki izdüşümleri de,

$$F_{x15} = \frac{15.4}{\sqrt{45}} = 8,96 \text{ N}, \quad F_{y15} = - \frac{15.2}{\sqrt{45}} = - 4,47 \text{ N},$$

$$F_{z15} = \frac{15.5}{\sqrt{45}} = 11,2 \text{ N}.$$

$$F_{x30} = - \frac{30.3}{\sqrt{14}} = - 24,1 \text{ N}, \quad F_{y30} = - \frac{30.2}{\sqrt{14}} = - 16,1 \text{ N}.$$

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$F_{z30} = \frac{30.1}{\sqrt{14}} = 8,04 \text{ N.}$$

$$F_{x50} = 50\sqrt{\frac{5}{30}} = 45,6 \text{ N.}$$

$$F_{y50} = 50\sqrt{\frac{1}{30}} = 9,15 \text{ N.}$$

$$F_{z50} = -50\sqrt{\frac{2}{30}} = -18,3 \text{ N.}$$

dır. Bu bağıntılardan kuvvetlerin x, y ve eksenleri üzerindeki izdüşümlerinin toplamaları F_x , F_y ve F_z

$$\Sigma F_x = 6,26 + 8,98 - 24,1 + 45,6 = 36,7 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 3,12 - 4,47 - 16,1 + 9,15 = -8,3 \text{ N.}$$

$$\Sigma F_z = 18,8 + 11,2 + 8,04 - 18,3 = 19,7 \text{ N}$$

ve kuvvetlerin bileşkesi de,

$$R = \sqrt{\Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2 + \Sigma F_z^2} = [(36,72)^2 + (-8,3)^2 + (19,7)^2]^{1/2} = 42,5 \text{ N}$$

olur.

Bileşkenin eksenlerle yaptığı açılarda,

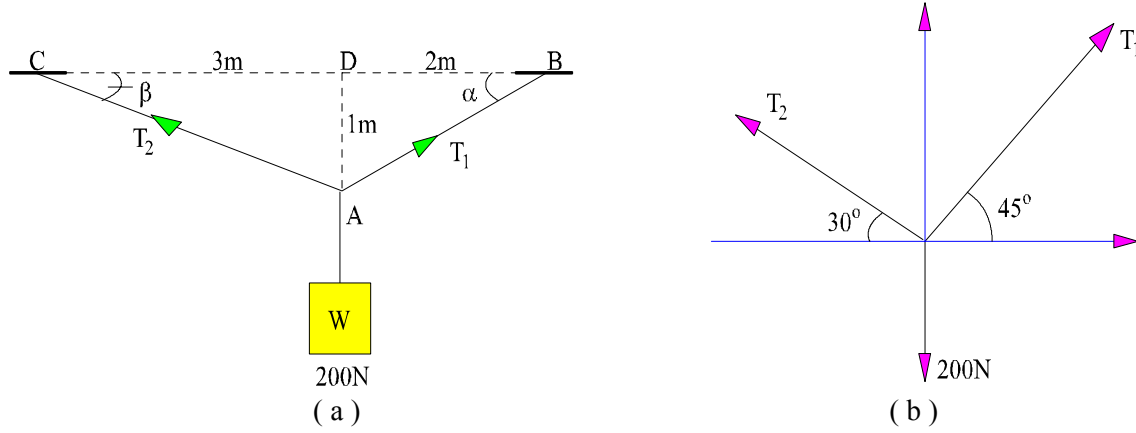
$$\cos \theta_x = \frac{\Sigma F_x}{R} = \frac{36.7}{42.5} = 0,8645, \quad \theta_x = 30,28^0$$

$$\cos \theta_y = \frac{\Sigma F_y}{R} = -\frac{8.3}{42.5} = -0,1953 \quad \theta_y = 101,26^0$$

$$\cos \theta_z = \frac{\Sigma F_z}{R} = \frac{19.7}{42.5} = 0,4635 \quad \theta_z = 62,4^0$$

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

3) Bir trafik lambası kalın bir AB ve AC telleriyle B ve C noktalarına asılmıştır ve $\theta = 45^\circ$, $\theta=30^\circ$ dir. Lambanın ağırlığı 200 N olduğuna göre, tellerin her birindeki gerilimi hesaplayınız (Şekil17.a.b.)



Şekil 17 .a.b. Örnek problem 3.

Çözüm; kuvvetlerin etkisi altında dengede olan bu sistemin dik koordinat sisteminde vektör diyagramını çizelim (Şekil 15.b). Denge şartlarından ($\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$) ve 200 N luk kuvvetin x eksenı üzerindeki bileşeni sıfır olacağından,

$$F_x = T_{1x} - T_{2x} = T_1 \cos 45 - T_2 \cos 30 = 0$$

$$F_y = T_{1y} + T_{2y} - W = T_1 \sin 45 + T_2 \sin 30 - 200 = 0$$

ve bu iki eşitlikten

$$T_1 = 180,6 \text{ N} \quad \text{ve} \quad T_2 = 147 \text{ N} \quad \text{bulunur.}$$

4) Şekil 17 .a 'da α ve β açıları bilinmediğine ve $DB= 2 \text{ m}$, $CD =3 \text{ m}$ ve $AD = 1 \text{ m}$ olduğuna göre T_1 ve T_2 gerilimlerini hesaplayınız.

Çözüm, Sistem dengede olduğuna göre önce C noktasına göre momentler toplamını alalım, Bunun için saat ibreleri dönmeyi + ve zıddını eksi etki olarak seçelim,

$$\Sigma \tau_c = 200 \cdot 3 - T_2 \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \right) 0 - T_1 \left(\frac{1}{\sqrt{5}} \right) 5 = 0$$

buradan $T_1 = 268,3 \text{ N}$ olarak bulunur. Ayrıca B noktasına göre momentler toplamı alınarak,

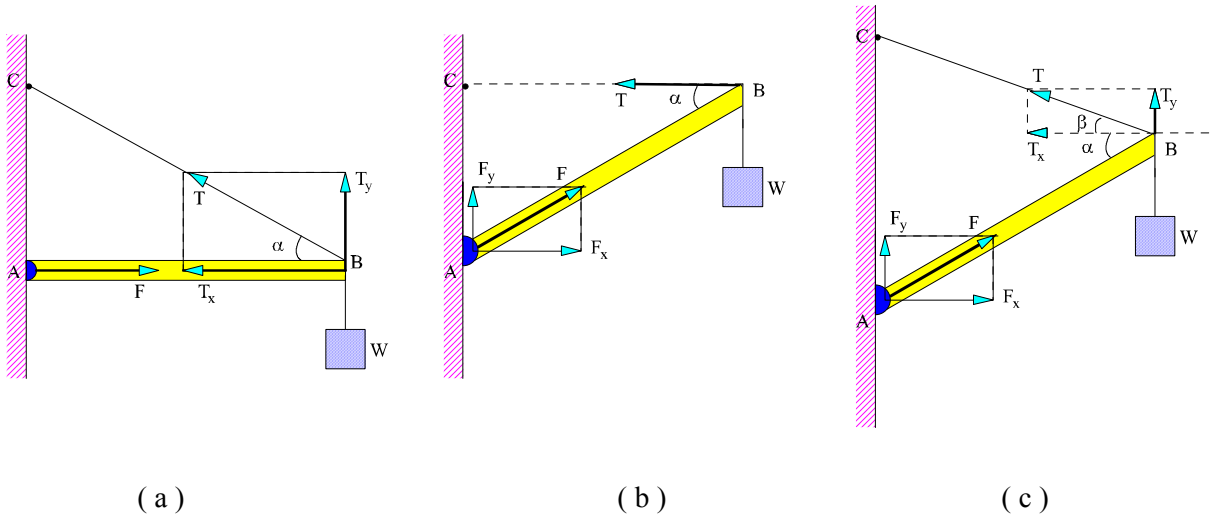
BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\Sigma \tau_B = -200.2 + T_2 \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \right) 5 - T_1 \left(\frac{1}{\sqrt{5}} \right) .0 = 0$$

dan $T_2 = 253 \text{ N}$ olarak hesaplanır.

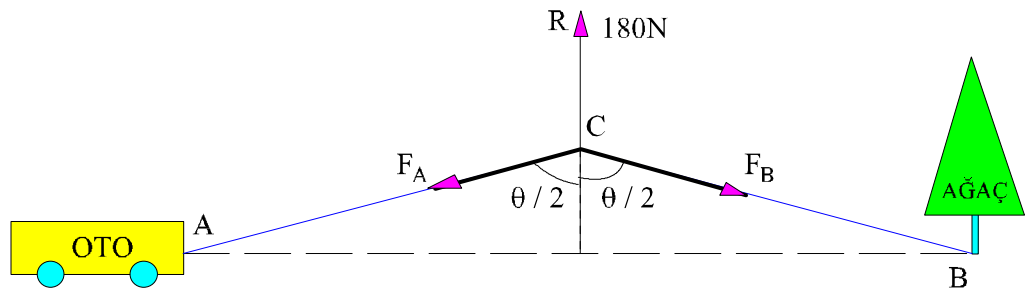
5) Şekil 18.a,b,c'deki sistemlere etkiyen kuvvetlerin, dik koordinat sistemindeki diyagramlarını çiziniz

Çözüm, sisteme etkiyen kuvvetler, ilgili şekiller üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 18 a,b,c. Örnek problem 5.

6) 14 m. uzunluğundaki halatın bir ucu bir ağaca diğer ucu da çamura saplanmış bir otoyola bağlanıyor. Bir adam halatın orta noktasından tutarak 180 N 'luk bir kuvvetle halatı 50 cm yukarı kaldırıyor (Yana da çekebilir). Otoyola etkiyen kuvveti hesaplayınız (Şekil 19)



BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

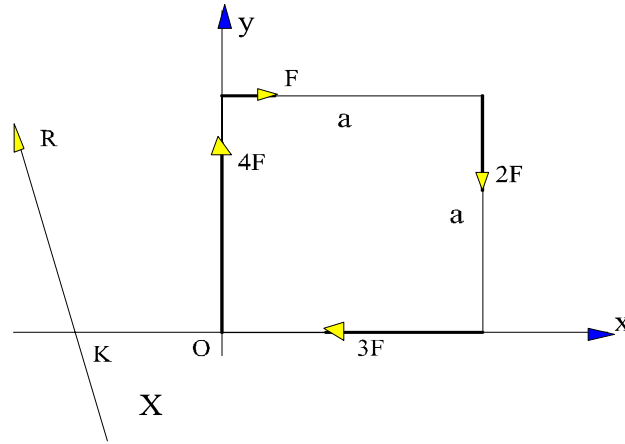
Şekil 19. Örnek problem 6

Çözüm , Şekilden , $F = F_A = F_B$ 'dir. Bu iki kuvvet arasındaki açı ise, (20) bağıntısından,

$$F = \frac{\frac{R}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} = \frac{\frac{180}{2}}{\frac{0,5}{7}} = 1260 \text{ N.}$$

elde edilir.

7) Telden yapılmış kenarları a olan karesel sisteme çeşitli kuvvetler etmektedir. Sistem dengede olduğuna göre,bileşke kuvveti, bileşkenin x eksenini ile yaptığı açığı ve bileşkenin etki noktasını (O noktasına göre etkidiği yeri) bulunuz (Şekil 20).



Şekil 20. Örnek problem 7

Çözüm; Denge şartlarından,

$$\sum F_x = F - 3.F = -2.F,$$

$$\sum F_y = -2.F + 4.F = 2.F$$

$$R = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} = \sqrt{(-2F)^2 + (2F)^2}$$

$$R = 2\sqrt{2} . F$$

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

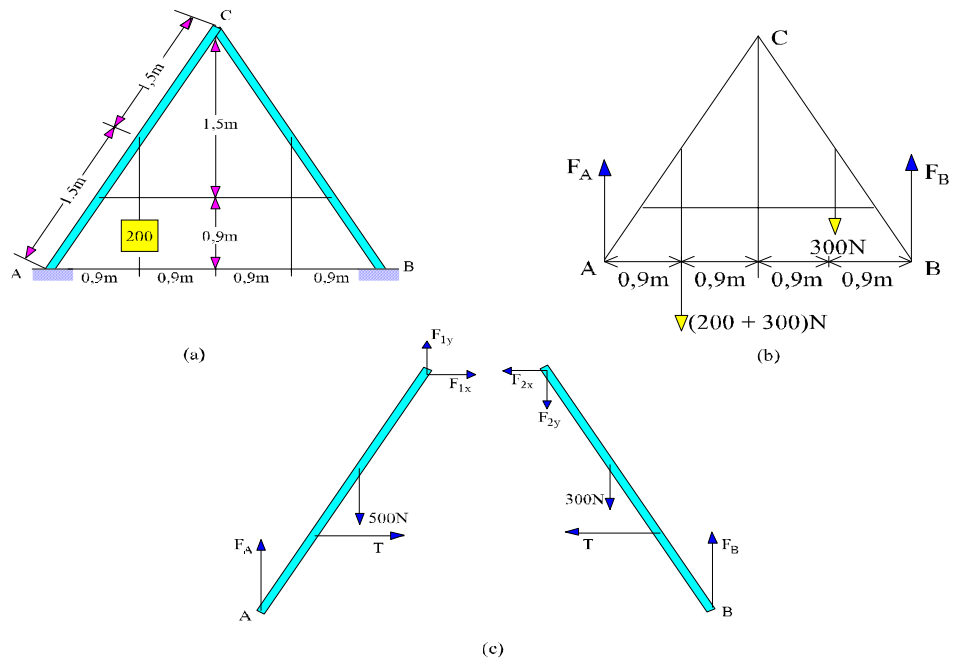
$$\operatorname{tg}\theta_x = \frac{2.F}{-2.F} = -1 \quad \theta_x = 135^\circ$$

Etki çizgisi X i bulmak için K noktasına göre momentler toplamının sıfır olması gerçeğinden yararlanalım böylece,

$$F.a + 2F.(a + X) + 3.F(0) - 4.F.X = 0$$

$$X = + \frac{3}{2} .a$$

8) Şekil 21.a 'da ki A çerçevesi diye anılan yapı tipinde çerçevenin her kolunun ağırlığı 300 N dur ve onların ağırlık merkezi kendi merkezindedir. 200 N luk bir ağırlık çerçevelerden birinin merkezine asılmıştır. Çerçeve belli bir yerinden bağlama kablosu ile bağlanmıştır. Çerçevenin dayandığı noktalarındaki yukarı yönlü kuvvetleri, bağlama kablosundaki gerilme kuvvetini, her kolun diğer kola etkidiği kuvvetleri ve tepedeki birleşim noktasına etkiyen kuvvetleri hesaplayınız.



BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Şekil 21.a,b,c. Örnek problem 8

Çözüm, önce Şekil 21.b' de çerçevenin dayandığı noktalardaki yukarı yönlü F_A ve F_B kuvvetlerini ve ağırlık etkili kuvvetleri gösterelim. İkinci basamak olarak bütün sistem için keyfi bir yön alarak (burada sağa doğru ve yukarı doğru olan kuvvetler artı diğerleri eksi seçilmiştir) bir kuvvet diyagramı oluşturalım Şekil 21.c. Sistem dengede olduğuna göre, Şekil 21.b 'de A noktasına göre moment alırsak,

$$\sum \tau_A = -F_B \cdot 3,6 + 300 \cdot 2,7 + 500 \cdot 0,9 = 0$$

$$F_B = 350 \text{ N ,}$$

ve B noktasına göre moment alırsak,

$$\sum \tau_B = -500 \cdot 2,7 - 300 \cdot 0,9 + F_A \cdot 3,6 = 0$$

$$F_A = 450 \text{ N}$$

olarak bulunur. Şekil 21.c'deki çerçevenin sol parçasına etki eden kuvvetler için, sistem dengede olduğundan,

$$\sum F_x = F_{1x} + T = 0, \quad \sum F_y = F_{1y} + F_A - 500 = 0$$

ve

$$\sum \tau_c = -T \cdot 1,5 - 500 \cdot 0,9 + F_A \cdot 1,8 = 0$$

hesaplanan değerler ve son eşitliklerden,

$$T = 240 \text{ N.} \quad F_{1x} = -240 \text{ N} \quad \text{ve} \quad F_{1y} = 50 \text{ N}$$

elde edilir. Burada T ve F_{1y} kuvvetlerinin işareti artı olduğu için, simgesel olarak seçilen bu kuvvetlerin yönünün doğru olarak seçildiğini fakat F_{1x} 'in işareti negatif olduğundan, F_{1x} 'nin yönünün seçilenin tersi yönünde olduğunu anlarız. Bu işaretlere göre yorumlama sadece yönü kapsamaktadır, bulunan sayısal değer doğrudur. Şekil 21.c 'de C noktasına, sol çerçevede ve sağ çerçevede etkiyen kuvvetler birbirinin tepki kuvvetleridir

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Buna göre $F_{1x} = -F_{2x}$, $F_{1y} = -F_{2y}$ olacaktır. Böylece, çerçevenin sol tarafındaki kuvvetlere göre yapılan işlemleri, bulduğumuz değerlerin kontrolü için çerçevenin sağ tarafına uygulayabiliriz,

$$\sum F_x = -T - F_{2x} = 0, \quad \sum F_y = F_B - F_{2y} - 300 = 0 \text{ ve}$$

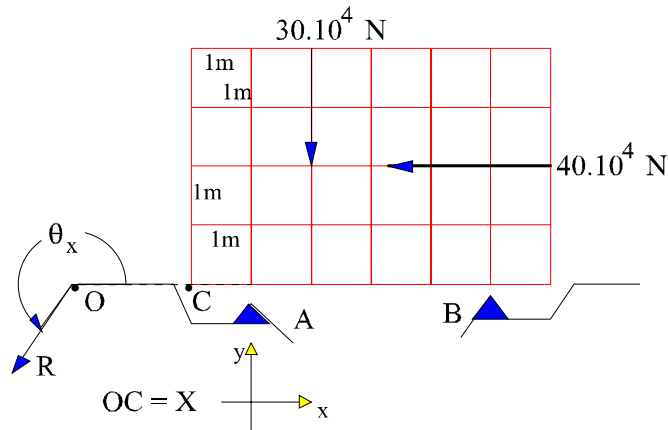
$$\sum \tau_c = 300 \cdot 0,9 - F_B \cdot 1,8 + T \cdot 1,5 = 0$$

buradan,

$$\sum F_x = -240 - (-240) = 0, \quad \sum F_y = 350 - 50 - 300 = 0 \text{ ve}$$

$$\sum \tau_c = 300 \cdot 0,9 - 350 \cdot 1,8 + 240 \cdot 1,5 = 0$$

9) Şekil 22'deki köprüye etkiyen kuvvetlerin bileşkesini ,bileşkenin A ya göre etki çizgisini ve bileşkenin x eksenini ile yaptığı açığı bulunuz.



Şekil 22. Örnek problem 9

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Çözüm ;

$$R = \sqrt{(30 \cdot 10^4)^2 + (40 \cdot 10^4)^2} = 50 \cdot 10^4 \text{ N.}$$

Bileşkenin A noktasına olan uzaklığına X+1 dersek , sistemin dengede olduğu düşünülürse, O noktasına göre tork alındığında;

$$30 \cdot 10^4 \cdot (X+1) - 40 \cdot 10^4 \cdot 2 = 0$$

ve buradan

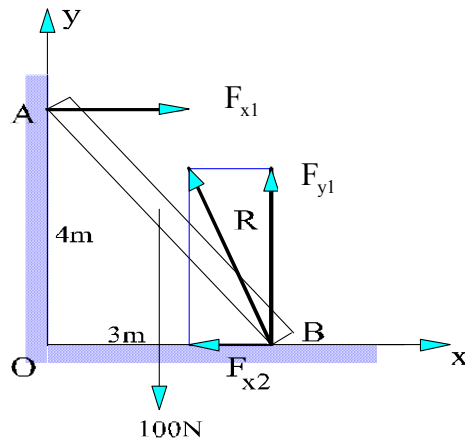
$$X = \frac{1}{3} \text{ m}$$

bulunur. Diğer taraftan;

$$\tan \theta_x = \frac{-30 \cdot 10^4}{-40 \cdot 10^4} = \frac{3}{4} \quad (\text{üçüncü bölge}) \quad \text{ve}$$

$$\theta_x = 180^\circ + \arctg \frac{3}{4} \quad \text{olur.}$$

10) Uzunluğu 5m, ağırlığı 100 N olan bir merdiven pürüzsüz bir duvara tabanı duvardan 3m uzakta olmak üzere dayanıştır. Merdivene A ve B noktalarında etkiyen kuvvetlerin yön ve değerlerini, merdivenin tabanına etkiyen kuvvetlerin bileşkesini ve bunun x eksenini ile yaptığı açıyı bulunuz (Şekil.23).



Şekil 23. Örnek problem 10

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Çözüm , AOB dik üçgeninden AO uzunluğunun 4 m olduğu kolayca hesaplanabilir. Merdiven dengede olduğuna göre,

$$\sum F_x = F_{x1} - F_{2x} = 0 \quad F_y = F_{y1} - 100 = 0$$

$$\sum \tau_0 = 100 \cdot 1,5 + F_{x1} \cdot 4 - F_{y1} \cdot 3 = 0$$

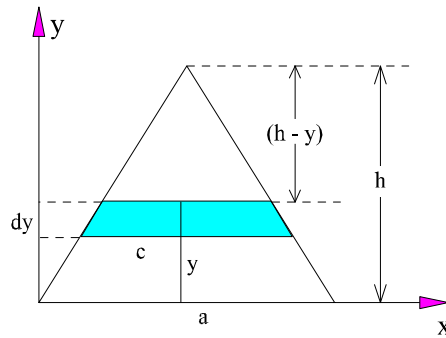
bu eşitliklerden,

$$F_{x1} = 37,5 \text{ N} \quad F_{x2} = 37,5 \text{ N} \quad \text{ve} \quad F_{y1} = 100 \text{ N}$$

bulunur. B noktasındaki bileşke değer,

$$R = \sqrt{37,5^2 + 100^2} = 106,8 \text{ N}, \quad \text{tg } \theta_x = \frac{100}{37,5} \text{ ve} \quad \theta_x = 69,44^\circ$$

11) Şekil 24 'deki üçgen levhanın ağırlık merkezinin Y değerini integrale hesaplayınız.



Şekil 24. Örnek problem 11

Üçgenin tabanı a ve yüksekliği h ise, $c/a = (h - y)/h$ ve buradan $c = a \cdot (h - y)/h$ dir. Üçgenin alanı $S = 1/2 a \cdot h$ ve elemanter (taralı) alan $dS = c \cdot dy = a \cdot (h - y)/h \cdot dy$ olacaktır.

$$S \cdot Y = \int y dS$$

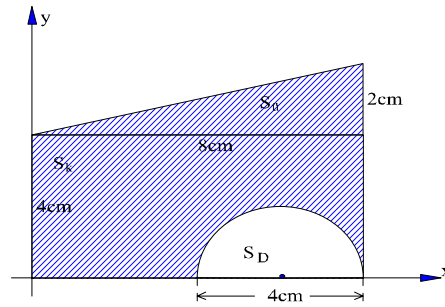
BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

$$\frac{1}{2} \cdot ah \cdot Y = \int y \frac{a}{h} (h - y) dy = a \cdot \frac{h^2}{6}$$

$$Y = a \cdot \frac{h^2}{6} \cdot \frac{2}{ah} = \frac{1}{3} h.$$

Çözümünden görüldüğü gibi *bir üçgenin ağırlık merkezinin geometrik yeri, tabanına ait yükseklik üzerinde ve tabandan $\frac{1}{3}h$ uzaklıktaki tabana paralel doğru üzerindedir.*

12) Şekil 25 'teki taralı kısmın ağırlık merkezinin koordinatlarını bulunuz.



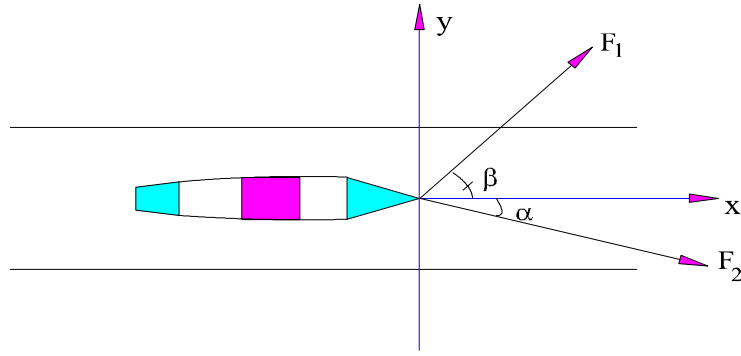
Şekil 25. Örnek problem 12.

Çözüm; Kare, üçgen ve dairenin alanları sırasıyla, $S_k = 4 \cdot 8 = 32 \text{ cm}^2$, $S_u = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 8) = 8 \text{ cm}^2$ ve $S_d = \pi \cdot 2^2 = 4\pi$ olacaktır. (27) bağıntılarından,

$$X = \frac{32 \cdot (4) + 8 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 8\right) - 2\pi \cdot (4 + 2)}{32 + 8 - 2\pi} = 3,94 \text{ cm}$$

$$Y = \frac{32 \cdot (2) + 8 \cdot \left(4 + \frac{1}{3} \cdot 2\right) - 2\pi \cdot \left(\frac{4 \cdot 2}{3\pi}\right)}{32 + 8 - 2\pi} = 2,85 \text{ cm.}$$

13) Şekil 26 'da $F_1 = \frac{5}{3} F_2$ dir. Bu durumda kanalda hareket ettirilen kenarlara çarpması için, ve açıları arasında nasıl bir bağıntı olmalıdır. $\alpha = 37^\circ$ ve $\beta = 53^\circ$ ve $F_1 = 900 \text{ N}$ ise F_2 değerini hesaplayınız.



Şekil 26.Örnek problem 13.

Çözüm; Kayığın kenarlara çarpmaması için x doğrultusunda hareket etmesi gerekmektedir. Bu durumda F_1 ve F_2 Kuvvetlerinin Y eksenini üzerindeki izdüşüm değerleri mutlak değerce birbirine eşit olmalıdır,

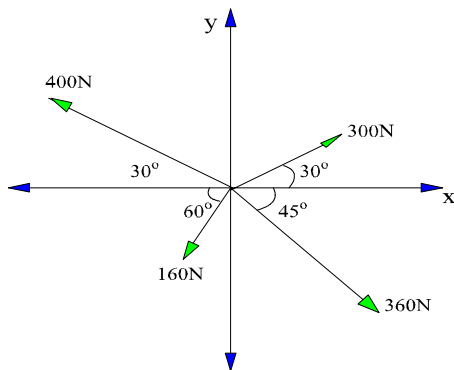
$$F_1 \sin \beta = F_2 \sin \alpha \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{3}{5} F_2}{F_2} = \frac{5}{3}$$

$$F_2 = F_1 \frac{\sin 53}{\sin 37} = 900 \cdot \frac{0,8}{0,6} \quad \text{buradan} \quad F_2 = 1200 \text{ N.}$$

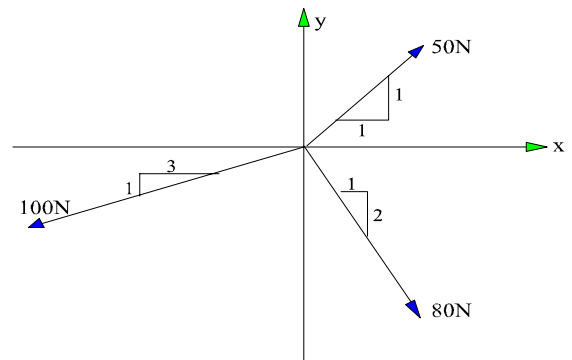
I.1.17. PROBLEMLER

1) Şekil 27'daki kesişen kuvvetlerin bileşkesini ve bileşkenin x eksenini ile yaptığı açığı (bileşkenin doğrultusunu) hesaplayınız.

Cevap ; $R = 98 \text{ N}$, $\theta_x = -26^\circ$



Şekil 27.Problem 1.



Şekil 28.Problem 4.

2) Aralarında 120° açılı bulunan üç eşit kuvvetin bileşkesini bulunuz.

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Cevap; $R = 0 \text{ N}$

3) Ağırlığı 10^3 N olan bir sandık eşit uzunlukta iki zincir ile kaldırılıyor. **a-** her zincirdeki gerilme kuvveti 10^3 N iken zincirler arasındaki açıyı, **b-** zincirler arasındaki açı 100° iken zincirlerdeki gerilme kuvvetini hesaplayınız.

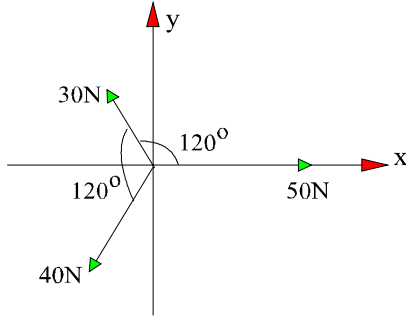
Cevap ; **a-** $\theta = 120^\circ$, **b-** 778 N .

4) Şekil 28 'deki kuvvetlerin bileşkesini ve bileşkenin doğrultusunu hesaplayınız.

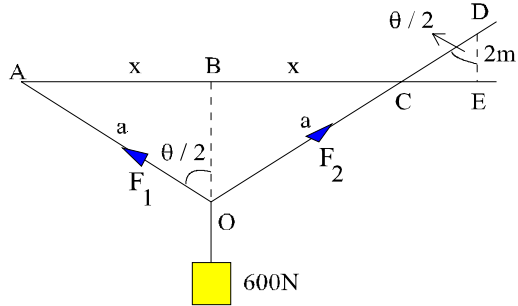
Cevap ; $R = 71,65 \text{ N}$ ve $\theta_x = 250,7^\circ$.

5) Bir cismin aynı noktasına etkiyen $30, 40$ ve 50 N . luk kuvvetler aralarında 120° açı yapıyor. Bu cismi dengede tutabilmek için uygulanması gerekli dördüncü kuvvetin büyüklük ve doğrultusunu hesaplayınız (Şekil 29)

Cevap ; $17,32 \text{ N}$ ve $\theta_x = 330^\circ$



Şekil 29.Problem 5.



Şekil 30.Problem7.

6) Uzunluğu 6 m ve ağırlığı 2500 N olan düzgün bir kiriş eşit uzunlukta paralel iki iple asılmıştır. İpin birisi kirişin bir uçundan 1 m ve diğeri diğer uçundan 2 m içerden bağlanmıştır. Ağırlığı 800 N olan bir insan kirişin orta yerinde ayakta durmaktadır. Buna göre her ipteki gerilme kuvvetini hesaplayınız.

Cevap ; $F_1 = 1100 \text{ N}$ ve $F_2 = 2200 \text{ N}$.

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

7.) Üzerine halka geçirilmiş olan 15m. uzunluğundaki bir halatın uçları tavanda sabit iki noktaya bağlanmıştır. Bu noktalar arasındaki yatay uzaklık 10m. ve yükseklik farkı 2m. dir. 600 N ağırlığındaki bir insan halkaya asıldığında, **a-** halkanın duracağı yeri, **b-** halatın her iki kısmındaki gerilme kuvvetini hesaplayınız(Şekil 30).

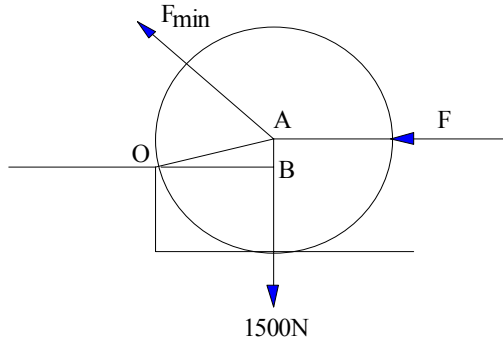
Yol gösterme; $2x + CE = 10$, $2a + CD = 15$, $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{Ce}{CD}$ ve $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{x}{a}$

ve denge halinde $F_1 = F_2 = \frac{R}{2 \cos \frac{\theta}{2}}$ bağıntısından hesaplamalar yapılır.

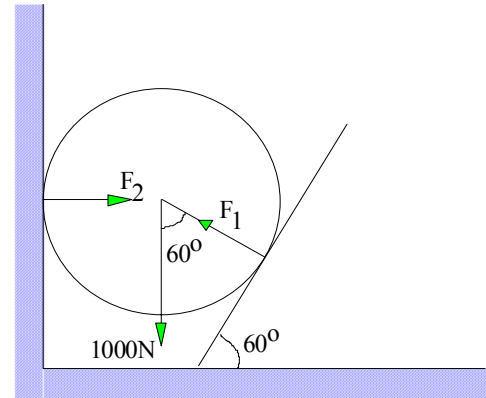
Cevap; a) $CD = 2,68 \text{ m}$, $a = 6,16 \text{ m}$, $x = 4,1 \text{ m}$ ve $CE = 1,8 \text{ m}$ b). $F_1 = F_2 = 402,5 \text{ N}$.

8) 20 cm yarıçaplı ve ağırlığı 1500 N olan bir bahçe silindiri yatay bir düzlem üzerinde yuvarlanırken 15cm. yüksekliğindeki bir basamağa rastlıyor. **a-**silindiri basamaktan aşırarak için silindirin eksenini yüksekliğindeki yatay kuvveti, **b-**bu kuvvetin minimum değerini hesaplayınız (Şekil 31)

Cevap ; **a-** $F = 5809,5 \text{ N}$, **b-** $F_{\min} = 1452,5 \text{ N}$.



Şekil 31.Problem 8.



Şekil 32.Problem 9.

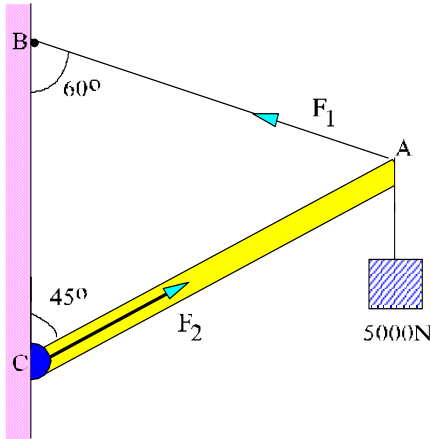
9) 1000 N ağırlığındaki pürüzsüz bir küre, pürüzsüz iki duvar arasında dengededir Şekil 32. Duvarların küreye uyguladığı tepki kuvvetlerini hesaplayınız.

Cevap; $F_1 = 2000 \text{ N}$, $F_2 = 1732 \text{ N}$.

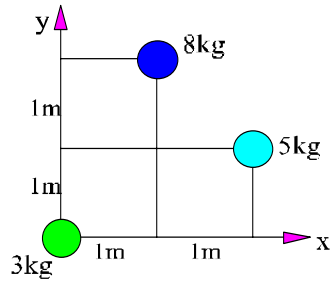
10) Şekil 33 'deki ,AB kablосundaki gerilme ile AC çubuğundaki gerilmeyi hesaplayınız.

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Cevap ; $F_1 = 3670 \text{ N}$, $F_2 = 4200 \text{ N}$.



Şekil 33.Problem 10.



Şekil 34 .Problem12.

11) Uzunluğu 1 m. kütlesi 60 gr. olan homojen silindirik bir bastonun, ağırlığı 0,98 N ve yarıçapı 2 cm.olan madeni bir küresel sapı vardır. **a-** bütün bastonun ağırlık merkezini, **b-** kürenin ağırlığı sabit kalmak üzere, ağırlık merkezinin küre ile sapın birleştiği yerde olması için kürenin yarıçapını hesaplayınız.

Cevap; **a-** küresel olmayan uçtan 82,5 cm. de. **b-** 30 cm.

12) Şekil 34'deki ağırlıkların, kütle (ağırlık merkezi) merkezinin koordinatlarını hesaplayınız.

Cevap; $X = 1,12 \text{ m}$, $Y = 1,32 \text{ m}$.

13) Ayın kütlesi yerkürenin kütlesinin 0,013 'ü kadardır. Ayın ve yerkürenin merkezleri arasındaki uzaklık,yerküre çapının 60 katıdır. Yerküre ay sisteminin kütle merkezinin, yerkürenin merkezinden olan uzaklığını hesaplayınız. Yerkürenin yarıçapı 6400 km. dir.

Cevap;9856 km

BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

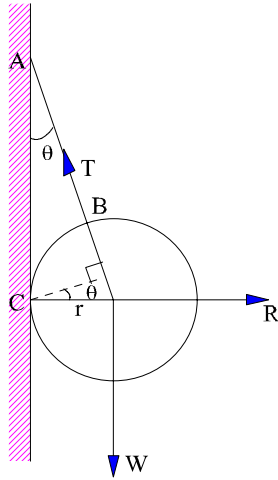
14) İki parçacığın kütle merkezlerine olan uzaklıkları arasındaki oranın, kütleleri arasındaki oranın tersi olduğunu gösteriniz.

15) Yarıçapı r olan bir küre B noktasından uzunluğu $3r$ olan bir ip ile A noktasına asılmıştır. Kürenin dayandığı duvar pürüzsüzdür. Sicimin duvarla yaptığı açını $\sin\theta=1/4$ olduğunu gösteriniz. Sicimdeki gerilme kuvvetini ve duvarın silindire uyguladığı karşı kuvveti hesaplayınız (Şekil 35).

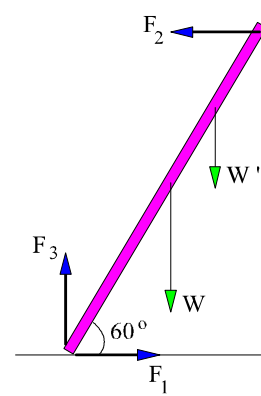
Cevap ; $T = \frac{W}{\cos\theta}$, $R = W \cdot \tan\theta$

16) 6 metre uzunluğunda ve 500 N ağırlığında bir merdiven pürüzsüz bir duvara yatayla 60° lik açı yapacak şekilde dayanmıştır. Ağırlığı 759 N olan bir adam merdivenin alt ucundan merdiven üzerinde 4. metreye kadar çıktığına göre, duvarın merdivene etkidiği kuvveti bulunuz (Şekil 36).

Cevap ; $F_3 \cong 440 \text{ N}$.



Şekil 35.Problem 15.



Şekil 36.Problem16.

17) 6 N 'luk bir kuvvet iki bileşene ayrılıyor. Bileşenlerden biri 2 N dur ve bileşke ile 60° 'lik açı yapmaktadır: Diğer bileşenin değerini ve bileşke ile yaptığı açığı hesaplayınız.

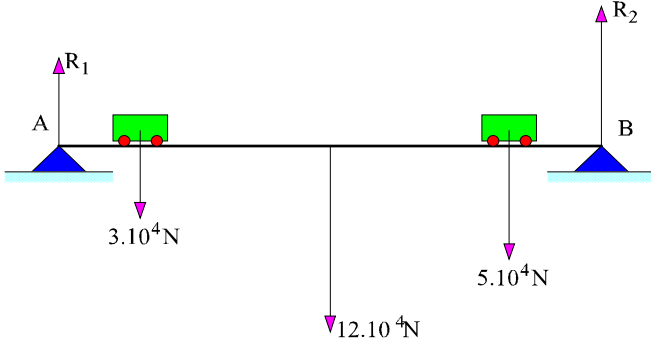
Cevap ; $F=5,29 \text{ N}$, $\alpha = 19^\circ$.

18) 15 m. uzunluğunda ve $12 \cdot 10^4 \text{ N}$. ağırlığında bir köprünün bir ucundan 3 metre uzaklıkta $3 \cdot 10^4 \text{ N}$. luk ve aynı uçtan 12 m. uzaklıkta $5 \cdot 10^4 \text{ N}$. luk iki kamyon durmaktadır.

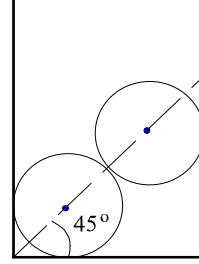
BÖLÜM.1.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.

Köprünün uzaklık tayin edilen uçuna ve diğer uçuna etkiyen karşı tesirleri hesaplayınız (Şekil 37).

Cevap ; $R_1 = 9,4 \cdot 10^4 \text{ N}$, $R_2 = 10,6 \cdot 10^4 \text{ N}$.



Şekil 37.Problem18.



Şekil 38.Problem 19.

19) Şekil 38 'deki gibi dikdörtgen prizma şeklindeki bir kutunun dibine aynı yarıçaplı ve ağırlıkları 5N. olan iki küre konmuştur ve bu küreler dengede durumundadırlar. Kürelerin merkezlerinden geçen doğru yatayla 45° lik açı yaptığına göre, **a-** küreler üzerine kutu duvarlarının, **b-** kürelerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetleri hesaplayınız.

Cevap; a) $F_1=10 \text{ N}$, $F_2=5 \text{ N}$ b) $F_3=7 \text{ N}$

20) İtalya'nın kuzey batısında Cenova liman kentine yakın bir yerde üniversite kenti olan Pizza 'da bulunan tarihi Pizza kulesinin boyu 55m ve çapı 7m 'dir. Kulenin tepe noktası düşey doğrultudan 4,5m. ayrılmış şekilde yatık durumdadır. Kule bu haliyle dengesini koruyarak yıkılmadan durmaktadır. Kuleyi düzgün bir silindir kabul ederek, **a-** kulenin tepesi bu halinden ne kadar daha saptığında kule yıkılma noktasına gelir ?, **b-** yıkılma noktasındaki kulenin düşey doğrultu ile yaptığı açığı hesaplayınız.

Şekil 19.20. problem. Pizza kulesi

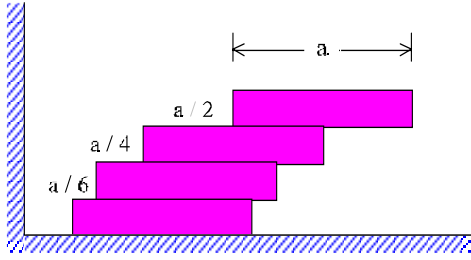
Yol gösterme ; Bu türde bir yapının ağırlık merkezinin yer küre üzerindeki izdüşümü tabana ait çevre üzerine geldiğinde yapı yıkılacaktır.

21) Her biri a uzunluğunda olan dört benzer tuğla, bir biri üstüne bir kısmı dışarı taşacak şekilde konulmuştur (Şekil 39).Dengenin sağlanması için maksimum taşıma uzaklıklarının, en üstteki tuğlanın altındaki tuğlaya göre $a/2$ kadar, üstten ikinci tuğlanın altındakine göre $a/4$ kadar ve üstten üçüncü tuğlanın en alttakine göre $a/6$ kadar olması gerektiğini gösteriniz.

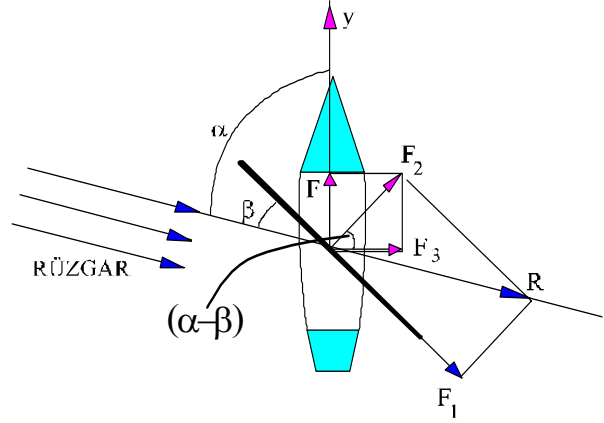
Yol gösterme; tuğlaların birim uzunluk ağırlığı $k=G/a$ olsun, en üstteki parçanın B noktasının sağındaki parça uzunluğu x ve altındaki tuğlanın üstünde kalan parçasının uzunluğu $a - x$ olacak ve bu kısmın ağırlık merkezinin yeri B noktasına göre $(a - x)/2$ olacaktır. Taşan kısmın ağırlığı

$G_2 = kx = Gx/L$ dir. Tuğlanın diğer kısmının ağırlığı $G_1 = k(a - x) = G(a - x)/L$ dir. En üstteki tuğla dengede olduğundan B noktasına göre torkların toplamı sıfır olacağından ,
 $G_2 \cdot (x/2) - G_1 \cdot (a - x)/2 = 0$ ve buradan $a = 1/2$ elde edilir. Diğer tuğlalar içinde aynı yolla çözüme gidebilirsiniz.

BÖLÜM.I.1 FİZİKSEL NİCELİKLER, BİRİMLER VE STANDARTLAR. STATİK.



Şekil 39.Problem 21.



Şekil 40.Problem 22.

22) Şekil 40 'daki yelkenlinin rüzgarın itme kuvvetinden maksimum ölçüde yararlanması yani istenilen yere en çabuk gitmesi için, **a-** α ve β açıları arasındaki ilişkinin $\beta = \alpha/2$ olduğunu ve **b-** yelkenliye etkiyen kuvvetin aldığı yol ekseni (y ekseni) doğrultusundaki maksimum değerinin $F = R \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ olduğunu bulunuz. gösteriniz.

Yol gösterme: $F_2 = R \sin \beta$ ve $F = F_2 \sin(\alpha - \beta)$ ve $dF/d\beta = 0$ bağıntılarından yararlanarak bir yelkenliyle bir yere en çabuk gitmek amacıyla, yelkenin rüzgarla yaptığı β açısını. yelkenlinin gidiş yönü ve rüzgar yönü arasındaki α açısı cinsinden hesaplayınız. Buradan da F kuvvetini bulacaksınız.