

# ANR 305-02

## HAREKET ANALİZİ

### 2025-2026 GÜZ DÖNEMİ

Ders Sorumlusu:

Dr. Serdar Arıtan

Derslik:

Spor Bilimleri Fakültesi B blok  
Biyomekanik Laboratuvarı



## Hacettepe Üniversitesi

[www.hacettepe.edu.tr](http://www.hacettepe.edu.tr)

## Spor Bilimleri Fakültesi

[www.sbt.hacettepe.edu.tr](http://www.sbt.hacettepe.edu.tr)

## Egzersiz ve Spor Bilimleri Bölümü

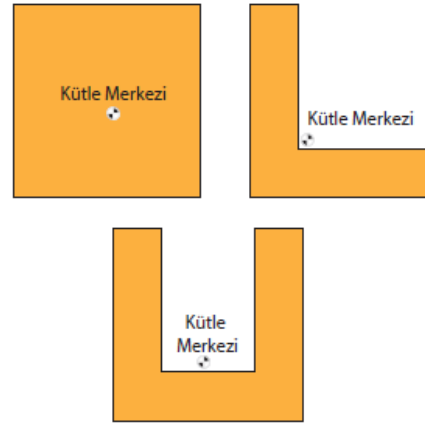
[www.esb.hacettepe.edu.tr](http://www.esb.hacettepe.edu.tr)

## Biyomekanik Araştırma Grubu

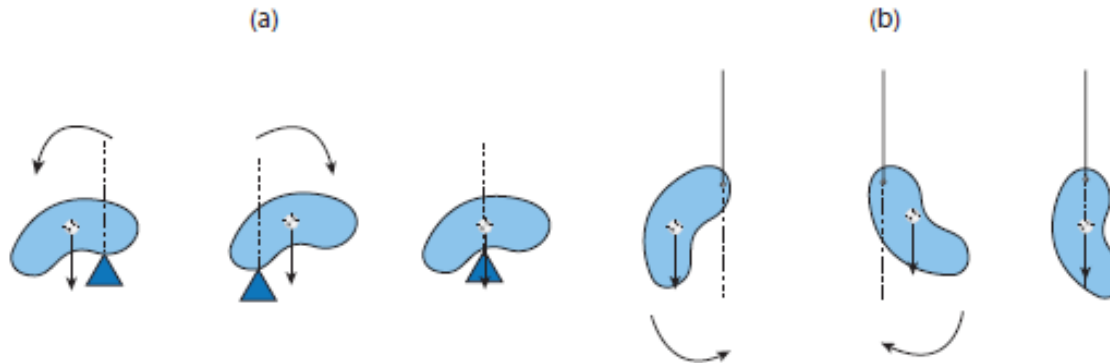
[www.biomech.hacettepe.edu.tr](http://www.biomech.hacettepe.edu.tr)

# Kütle Merkezi

Kütle merkezi, bir cismin toplam kütesinin ortalama konumunu ifade eder. Kütle merkezinin konumu, cismin yoğunluğuna ve şekline bağlı olarak cismin üzerinde veya dışında bulunabilir.

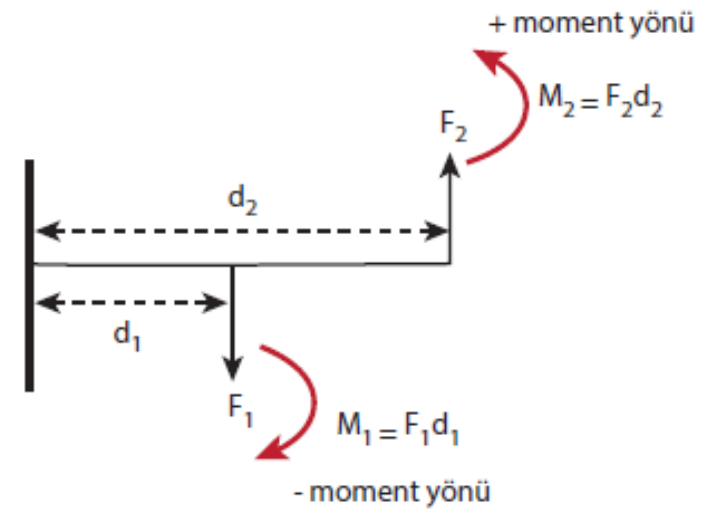
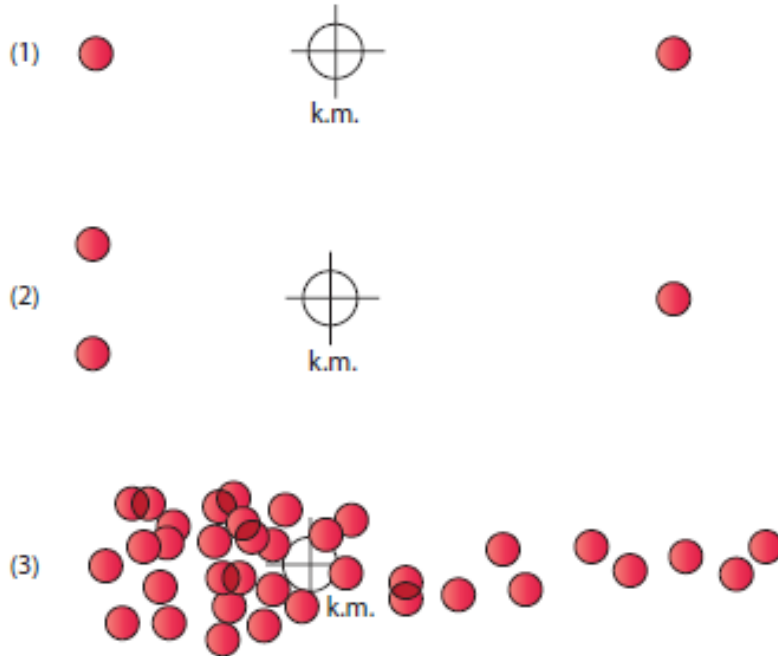


Bir katı cisim tam olarak kütle merkezinin bulunduğu noktadan desteklendiğinde veya asıldığında hareketsiz kalarak denge durumunda bulunur.



# Kütle Merkezi

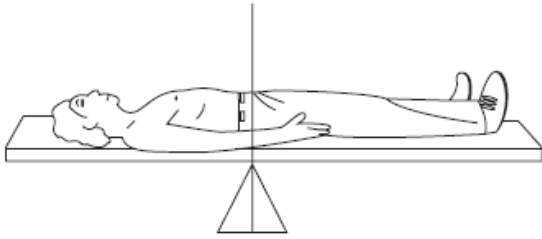
Denge durumunda cisim kütlelerinin, kütle merkezine göre meydana getirdikleri momentlerin toplamı sıfırdır.



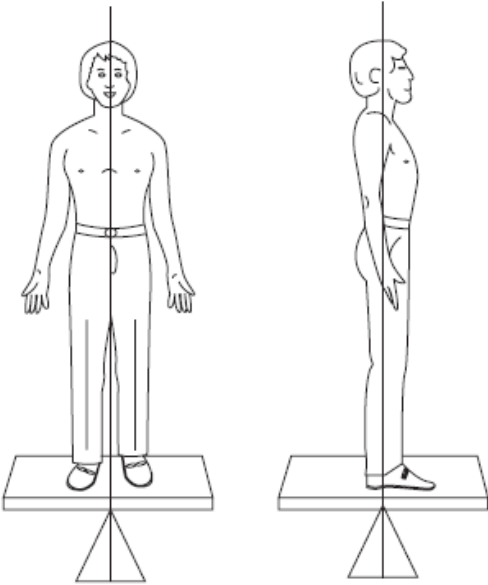
# İnsan kütle merkezinin bulunması

## *Denge tahtası yöntemi*

Hareket edebilen iki veya daha fazla üyeye sahip sistemlerin (insan vücudu gibi) kütle merkezini bulmak görece zordur. Üyeler hareket ettiğinde sistemin şekli ve ağırlığın sistemdeki dağılımı da değişmektedir.



İtalyan matematikçi Borelli'nin geliştirdiği *denge tahtası yöntemi*.

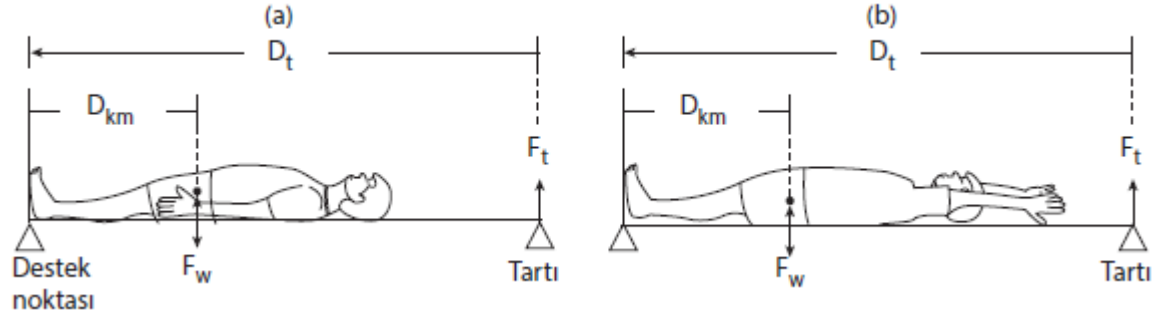


Bu yöntemde kişi bir denge tahtası üzerinde yatarak ve ayakta durarak vücudunu konumlandırır.

Tahtanın hareketsiz kalarak dengede bulunduğu pozisyonda kütle merkezinin konumu bulunmuş olur.

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Reaksiyon tahtası yöntemi



*Reaksiyon tahtası yöntemi*

Destek noktası dönme eksenini belirler. Zıt yönleredeki kuvvetlerin destek noktasında meydana getirdikleri momentler hesaplanarak kişinin kütle merkezinin konumu hesaplanabilir.

$$\sum M = 0$$

$$F_w D_{km} + F_t D_t = 0$$

# İnsan kütle merkezinin bulunması

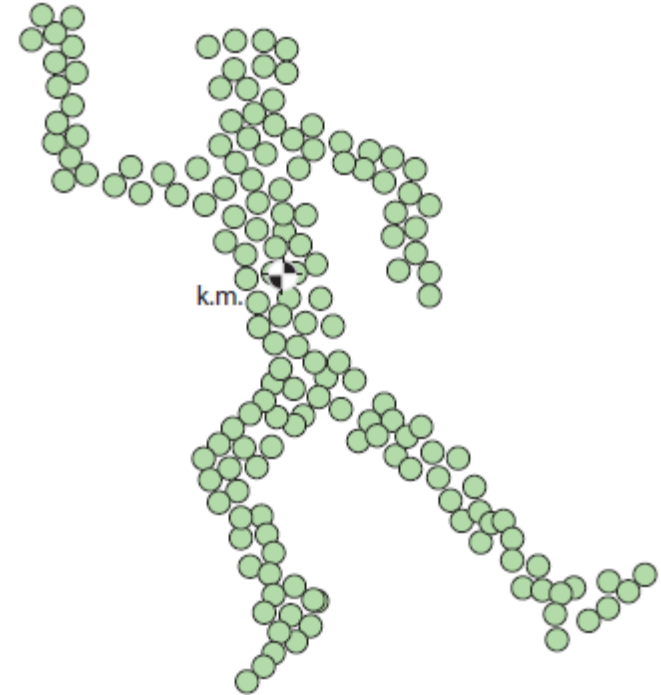
## *Segmentasyon yöntemi*

Dinamik hareketler sırasında vücut kütle merkezinin konumu **nasıl bulunur?**

İnsan vücudunun kütle merkezini bulmak için kullanılan yöntemlerden biri *segmentasyon yöntemi*dir.

Vücut kütle merkezini hesaplamak için üye kütle oranlarına ve üye kütle merkezlerinin konum bilgisine ihtiyaç vardır.

Vücut kütle merkezi, üye kütle merkezlerinin **ağırlıklı ortalamasıdır**.



# İnsan kütle merkezinin bulunması

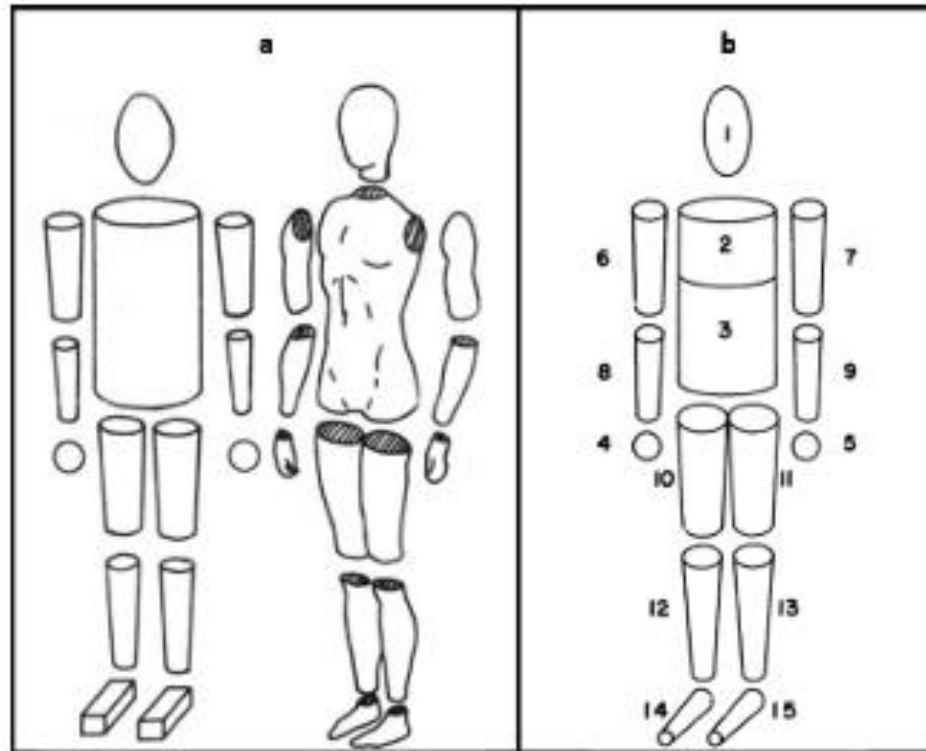
## *Vücut segment parametreleri*

(1962, Whitsett)

Some Dynamic Response Characteristics of Weightless Man

(1964, Hanavan)

A mathematical model of the human body

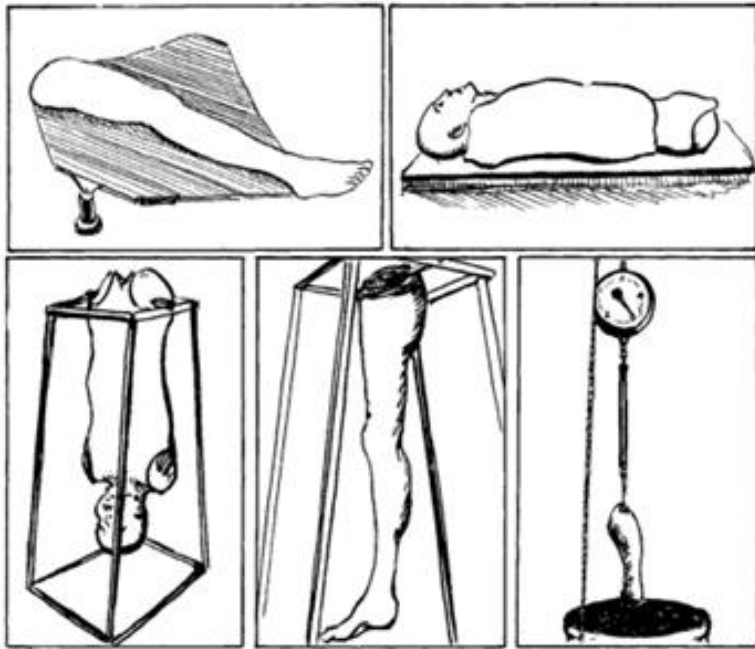


# İnsan kütle merkezinin bulunması

## *Vücut segment parametreleri*

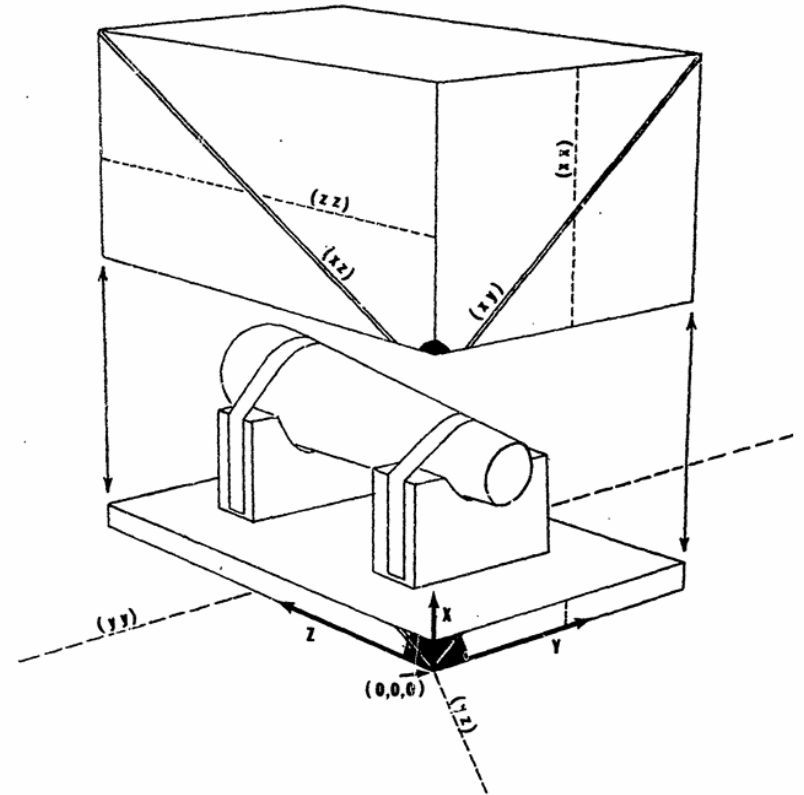
(1955, Dempster et al)

Space requirements of the seated operator



(1975, Chandler et al)

Investigation of Inertial Properties of the Human Body





# İnsan kütle merkezinin bulunması *Vücut segment parametreleri*

## **SPACE REQUIREMENTS OF THE SEATED OPERATOR**

**Geometrical, Kinematic, and Mechanical Aspects of the Body**

**With Special Reference to the Limbs**

*WILFRED TAYLOR DEMPSTER*

*UNIVERSITY OF MICHIGAN*

*JULY 1955*

AERO MEDICAL LABORATORY

CONTRACT No. AF 18(600)-43

PROJECT No. 7214

WRIGHT AIR DEVELOPMENT CENTER  
AIR RESEARCH AND DEVELOPMENT COMMAND  
UNITED STATES AIR FORCE  
WRIGHT-PATTERSON AIR FORCE BASE, OHIO

8 kadavra üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda üyelerin:

- Eylemsizlik
- Kütle merkezi konumu
- Kütle miktarı
- Uzunluk
- Dönme merkezi

gibi parametreleri tablolaştırılmıştır.



# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Vücut segment parametreleri

**Dempster's Body Segment Parameter Data for 2-D Studies<sup>1</sup>**

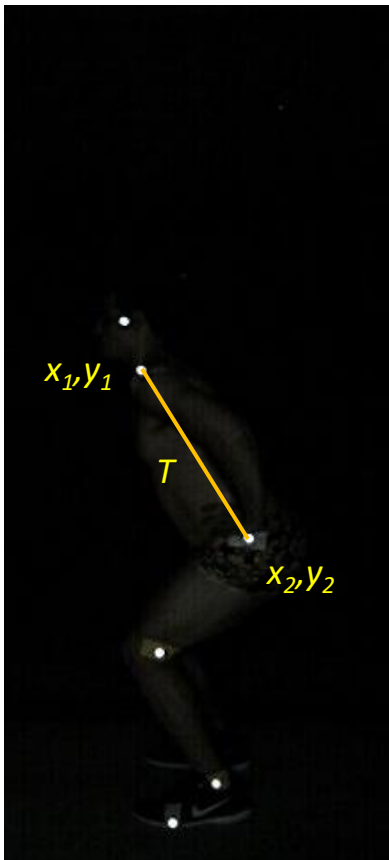
Segment name	Endpoints (proximal to distal)	Seg. mass /total mass (P)	Centre of mass /segment length		Radius of gyration /segment length		
			( $R_{proximal}$ )	( $R_{distal}$ )	( $K_p$ )	( $K_{proximal}$ )	( $K_{distal}$ )
Hand	wrist axis to knuckle II third finger	0.0060	0.506	0.494	0.298	0.587	0.577
Forearm	elbow axis to ulnar styloid	0.0160	0.430	0.570	0.303	0.526	0.647
Upper arm	glenohumeral joint to elbow axis	0.0280	0.436	0.564	0.322	0.542	0.645
Forearm & hand	elbow axis to ulnar styloid	0.0220	0.682	0.318	0.468	0.827	0.565
Upper extremity	glenohumeral joint to elbow axis	0.0500	0.530	0.470	0.368	0.645	0.596
Foot	lateral malleolus to head metatarsal II	0.0145	0.500	0.500	0.475	0.690	0.690
Leg	femoral condyles to medial malleolus	0.0465	0.433	0.567	0.302	0.528	0.643
Thigh	greater trochanter to femoral condyles	0.1000	0.433	0.567	0.323	0.540	0.653
Leg & foot	femoral condyles to medial malleolus	0.0610	0.606	0.394	0.416	0.735	0.572
Lower extremity	greater trochanter to medial malleolus	0.1610	0.447	0.553	0.326	0.560	0.650
Head	C7-T1 to ear canal	0.0810	1.000	0.000	0.495	1.116	0.495
Shoulder	sternoclavicular joint to glenohumeral joint	0.0158	0.712	0.288			
Thorax	C7-T1 to T12-L1	0.2160	0.820	0.180			
Abdomen	T12-L1 to L4-L5	0.1390	0.440	0.560			
Pelvis	L4-L5 to trochanter	0.1420	0.105	0.895			
Thorax & abdomen	C7-T1 to L4-L5	0.3550	0.630	0.370			
Abdomen & pelvis	T12-L1 to greater trochanter	0.2810	0.270	0.730			
Trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.4970	0.495	0.505	0.406	0.640	0.648
Trunk & head	greater trochanter to glenohumeral joint	0.5780	0.660	0.340	0.503	0.830	0.607
Head, arms & trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.6780	0.626	0.374	0.496	0.798	0.621
Head, arms & trunk	greater trochanter to midrib	0.6780	1.142	-0.142	0.903	1.456	0.914

<sup>1</sup> Adapted from D.A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Second edition. John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1990.

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Üye kütle merkezi

Bir segmentin kütle merkezinin konumu nasıl hesaplanır?



Proksimal ve distal uçlarının konumu bilinen bir segmentin kütle merkezinin konumu *Dempster (1955) segment parametreleri* kullanılarak hesaplanabilir.

Segment name	Endpoints (proximal to distal)	Seg. mass /total mass (P)	Centre of mass /segment length	
			$(R_{proximal})$	$(R_{distal})$
Trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.4970	0.495	0.505

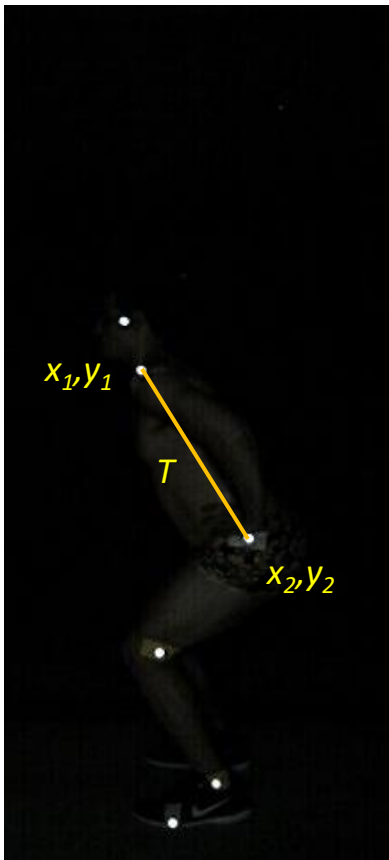
$$X_{km} = X_{proximal} + R_{proximal}(X_{distal} - X_{proximal})$$

$$Y_{km} = Y_{proximal} + R_{proximal}(Y_{distal} - Y_{proximal})$$

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Üye kütle merkezi

Üye kütle merkezinin konumunu hesaplamak için proksimal ve distal uçların konum bilgisini ve Dempster segment parametrelerini kullanalım.



Nokta	X (m)	Y (m)
Omuz	0.37	1.24
Kalça	0.63	0.79

$$X_{km} = X_{proximal} + R_{proximal}(X_{distal} - X_{proximal})$$

$$X_{km} = 0.37 + 0.495(0.63 - 0.37)$$

$$X_{km} = 0.49 \text{ m}$$

$$Y_{km} = Y_{proximal} + R_{proximal}(Y_{distal} - Y_{proximal})$$

$$Y_{km} = 1.24 + 0.495(0.79 - 1.24)$$

$$Y_{km} = 1.01 \text{ m}$$

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Vücut kütle merkezi

Vücut (sistem) kütle merkezinin konumu nasıl hesaplanır?

Vücut kütle merkezinin (VKM) konumunu hesaplamak için sistemde yer alan üyelerin kütle merkezlerinin konum bilgilerine ve kütle değerlerine ihtiyaç vardır.

$$X_{vkm} = \frac{\sum_{S=1}^L P_S X_{km}}{\sum_{S=1}^L P_S}$$

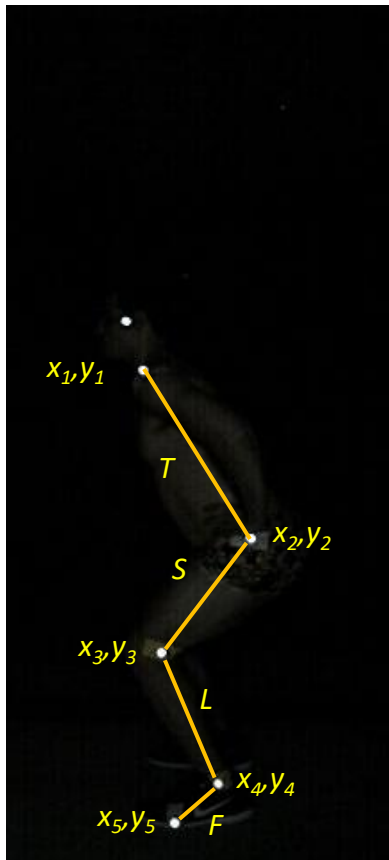


$$X_{vkm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_i x_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i}$$

$$Y_{vkm} = \frac{\sum_{S=1}^L P_S Y_{km}}{\sum_{S=1}^L P_S}$$



$$Y_{vkm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_i y_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i}$$

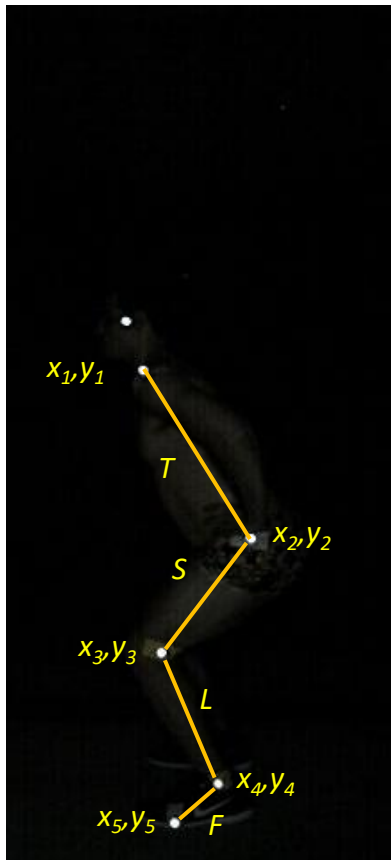


**Kütlesi fazla olan segmentin kütle merkezinin konumuna olan etkisi de fazladır.**

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Vücut kütle merkezi

Segment kütlelerini hesaplamak için Dempster segment parametrelerini kullanalım.



$$m_{vücut} = 75 \text{ kg}$$

$$m_{segment} = m_{vücut}(P)$$

$$m_{trunk} = 75(0.4970)$$

$$m_{thigh} = 75(0.1000)$$

$$m_{leg} = 75(0.0465)$$

$$m_{foot} = 75(0.0145)$$



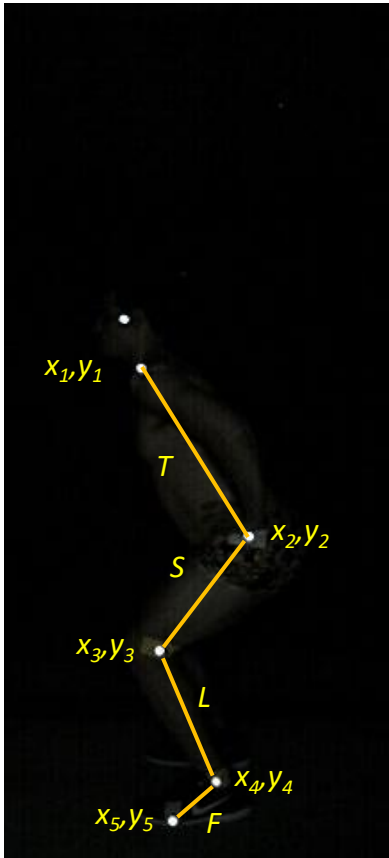
Segment name	Endpoints (proximal to distal)	Seg. mass /total mass (P)	Centre of mass /segment length	
			( $R_{proximal}$ )	( $R_{distal}$ )
Trunk	greater trochanter to glenohumeral joint	0.4970	0.495	0.505
Thigh	greater trochanter to femoral condyles	0.1000	0.433	0.567
Leg	femoral condyles to medial malleolus	0.0465	0.433	0.567
Foot	lateral malleolus to head metatarsal II	0.0145	0.500	0.500

Üye	Kütle (kg)
Gövde	37.2
Üstbacak	7.5
Altbacak	3.4
Ayak	1.0

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Vücut kütle merkezi

Segment kütle merkezlerinin ağırlıklı ortalamasını alarak vücut kütle merkezinin konumunu (*t*) anı için hesaplayalım.



	$X_{km} (m)$	$Y_{km} (m)$	$m (kg)$
Gövde	0.50	1.01	37.2
Üstbacak	0.54	0.65	7.5
Altbacak	0.47	0.33	3.4
Ayak	0.49	0.08	1.0

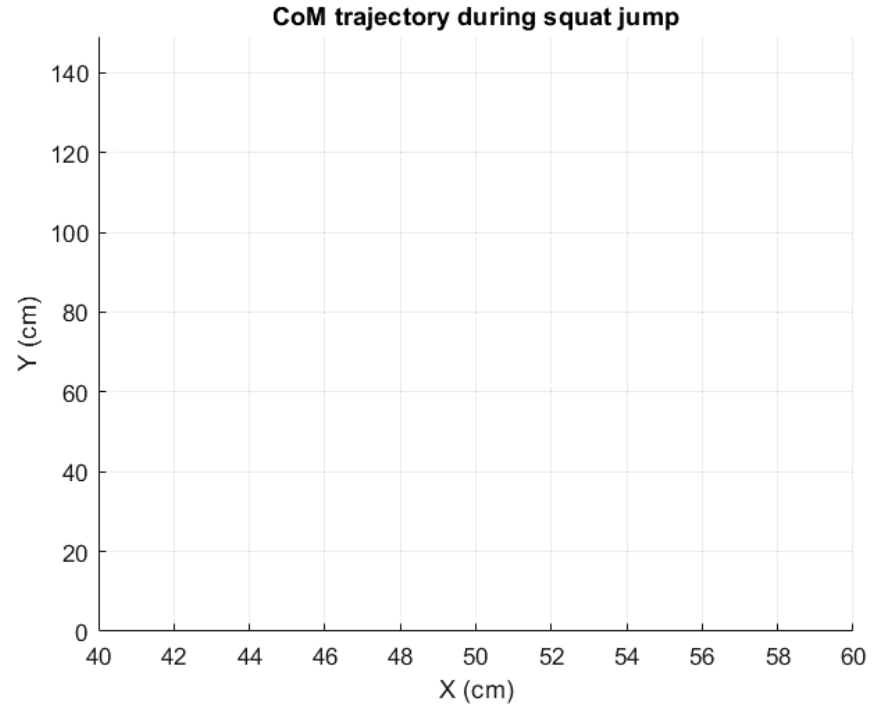
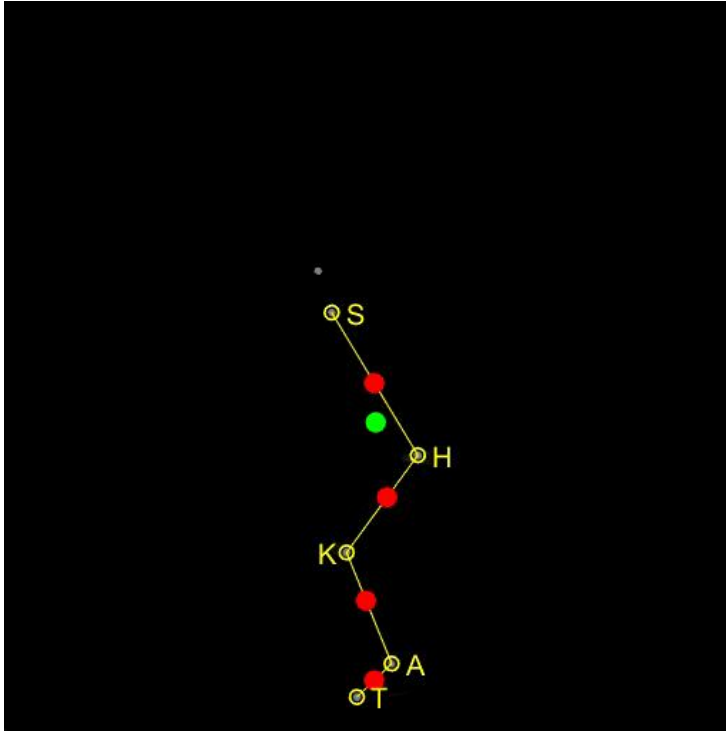
$$X_{vkm} = \frac{37.2(0.50) + 7.5(0.54) + 3.4(0.47) + 1.0(0.49)}{37.2 + 7.5 + 3.4 + 1.0} = 0.50 \text{ m}$$

$$Y_{vkm} = \frac{37.2(1.01) + 7.5(0.65) + 3.4(0.33) + 1.0(0.08)}{37.2 + 7.5 + 3.4 + 1.0} = 0.89 \text{ m}$$

# İnsan kütle merkezinin bulunması

## *Üye ve vücut kütle merkezi*

Squat sıçrama sırasında üye ve vücut kütle merkezi konumunun değişimi.

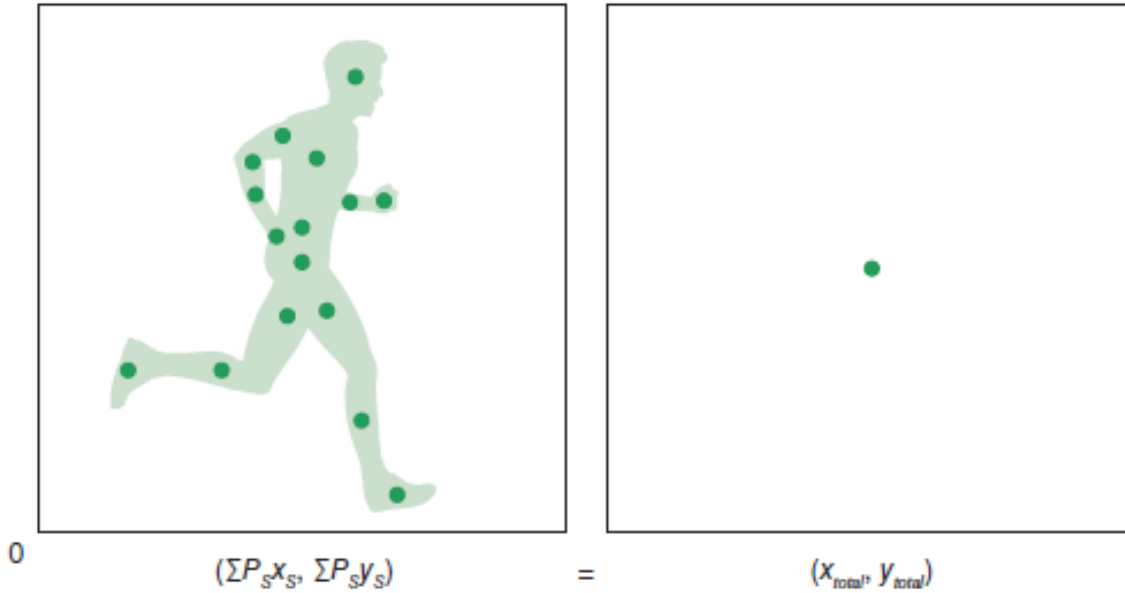


# İnsan kütle merkezinin bulunması

## Vücut kütle merkezi

Vücut kütle merkezi,  $(x_{total}, y_{total})$  üye kütle merkezlerinin **ağırlıklı ortalamasıdır.**

Tüm vücut için  $P$  değerlerinin toplamı 1.0'dir.



$$X_{vkm} = \frac{\sum_{s=1}^L P_s X_{km}}{\sum_{s=1}^L P_s}$$

$$Y_{vkm} = \frac{\sum_{s=1}^L P_s Y_{km}}{\sum_{s=1}^L P_s}$$



$$X_{vkm} = \sum_{s=1}^L P_s X_{km}$$

$$Y_{vkm} = \sum_{s=1}^L P_s Y_{km}$$