



Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ergonomi

ÖRNEK PROBLEMLER

Dr.-Mak.Müh. Kemal ÜÇÜNCÜ



İNSAN VÜCUDU

- Kalbin kasılma sayısı erişkinler için dakikada 70–80 olup, her kasılışta aorta $60\text{--}70\text{ cm}^3$, akciğerlere de $60\text{--}70\text{ cm}^3$ olmak üzere, kalp her kasılmasında toplam $120\text{--}140\text{ cm}^3$ kan basılır ve enerji gerektiren hareketli işlerde bir miktar artar.
- Toplam kan hacmi erkeklerde $4,7\pm1$ litre, kadınlarda ise $3,7\pm0.8$ litredir

İNSAN VÜCUDU

Örnek Problem (Kan dolaşımı): Bir kadının vücudunda 0,75 saatte aorta basılan kan miktarı ortalama ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar?

Çözüm:

Kalp kasılma sayısı, ortalama : $KKSo = \frac{70+80}{2} = 75$ adet/dak

Her kasılıştaki basılan kan miktarı, ort.: $HKBKMo = \frac{60+70}{2} = 65 \text{ cm}^3/\text{ad}$

Vücuttaki kan miktarı, ortalama: $VKMo = 3,7$ litre

İşlem süresi : $İS = 0,75 \text{ saat} \times \frac{60 \text{ dak}}{1 \text{ saat}} = 45 \text{ dak}$

İNSAN VÜCUDU

Toplam kan basılma sayısı: $TKBS = 75 \frac{\text{adet}}{\text{dak}} \times 45 \text{ dak} = 3375 \text{ adet}$

Basılan kan miktarı, ortalama (cm^3): $BKMo = 3375 \text{ adet} \times 65 \text{ cm}^3/\text{ad}$

$$BKMo = 219375 \text{ cm}^3$$

1 litre = 1000 cm^3 ise;

Basılan kan miktarı, ortalama (l): $BKMo = 219375 \text{ cm}^3 \frac{1 \text{ litre}}{1000 \text{ cm}^3}$

$$BKMo = 219.375 \text{ litre}$$

Kan devir sayısı: $KDS = \frac{219.375 \text{ litre}}{3,7 \text{ litre}} \times 2$

$$KDS = 119 \text{ devir}$$

İNSAN VÜVUDU

Örnek Problem (Kan dolaşımı): Bir erkeğin vücudunda 1 saatte akciğerlere basılan kan miktarı ortalama ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar?

Çözüm:

Kalp kasılma sayısı, ortalama: $KKS_o = \frac{70+80}{2} = 75$ adet/dak

Her kasılıştaki basılan kan miktarı, ort.: $HKBKMo = \frac{60+70}{2} = 65 \text{ cm}^3/\text{ad}$

Vücuttaki kan miktarı, ortalama: $VKMo = 4,7$ litre

İşlem süresi $İS = 1 \text{ saat} \times \frac{60 \text{ dak}}{1 \text{ saat}} = 60 \text{ dak}$

Toplam kan basılma sayısı $TKBS = 75 \frac{\text{adet}}{\text{dak}} \times 60 \text{ dak} = 4500 \text{ adet}$

İNSAN VÜCUDU

Basılan kan miktarı, ortalama (cm³): BKMo = 4500 adet x 65 cm³/ad

$$\text{BKMo} = 292500 \text{ cm}^3$$

1 litre = 1000 cm³ ise;

Basılan kan miktarı, ortalama (l): BKMo = 292500 cm³ $\frac{1 \text{ litre}}{1000 \text{ cm}^3}$

$$\text{BKMo} = 292,5 \text{ litre}$$

Kan devir sayısı : $\text{KDS} = \frac{292,5 \text{ litre}}{4,7 \text{ litre}} \times 2$

$$\text{KDS} = 124 \text{ devir}$$

İNSAN VÜCUDU

Örnek Problem (Kan dolaşımı): Bir erkeğin vücudunda 1 saatte akciğerlere basılan kan miktarı en çok ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan ençok/enaz kaç devir yapar?

Çözüm:

Kalp kasılma sayısı, ençok: 80 adet/dak.

Her kasılıştaki basılan kan miktarı, ençok: 70 cm³/adet

Vücuttaki kan miktarı, en çok : 4,7 litre + 1 litre = 5,7 litre

Vücuttaki kan miktarı, en az : 4,7 litre - 1 litre = 3,7 litre

İşlem süresi = 1 saat x 60 dak/saat : 60 dak.

İNSAN VÜCUDU

Toplam kan basılma sayısı : $80 \text{ adet/dak} \times 60 \text{ dak} = 4800 \text{ adet}$

Basılan kan miktarı $4800 \text{ adet} \times 70 \text{ cm}^3/\text{adet} = \mathbf{336500 \text{ cm}^3}$

1 litre = 1000 cm^3 ise;

Basılan kan miktarı, ortalama: $336000 \text{ cm}^3 / 1000 \text{ cm}^3/\text{litre} = \mathbf{336 \text{ litre}}$

Kan devir sayısı, ençok : $336/3.7 \text{ litre} \times 2 = \mathbf{182 \text{ devir}}$

Kan devir sayısı, enaz : $336/5.7 \text{ litre} \times 2 = \mathbf{118 \text{ devir}}$

İNSAN VÜCUDU

Soru 1- Bir erkeğin vücudunda 1 saatte akciğerlere basılan kan miktarı minimum, ortalama ve maksimum ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar? Hesaplayınız.

Soru 2- Bir erkeğin vücudunda 1 saatte aorta basılan kan miktarı minimum, ortalama ve maksimum ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar? Hesaplayınız.

Soru 3- Bir kadının vücudunda 1 saatte akciğerlere basılan kan miktarı minimum, ortalama ve maksimum ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar? Hesaplayınız.

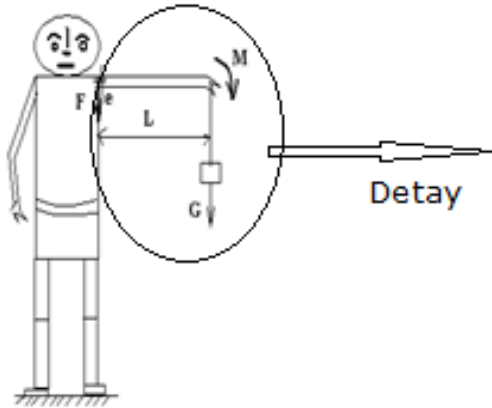
Soru 4- Bir kadının vücudunda 1 saatte aorta basılan kan miktarı minimum, ortalama ve maksimum ne kadardır? Bu süre içerisinde vücuttaki kan kaç devir yapar? Hesaplayınız.

İNSAN VÜCUDU

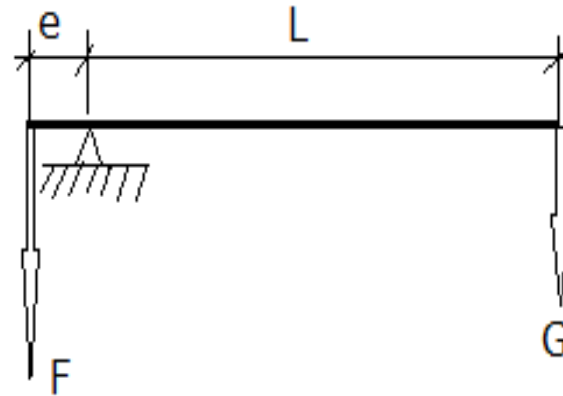
Kas mekaniği:

Ele gelen moment : $M = G \times L$

Omuza uygulanan moment : $M = F \times e$



Şekil 1



Şekil 2

İNSAN VÜCUDU

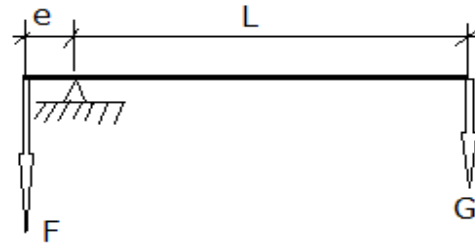
Örnek Problem (Kas mekaniği): Kolu yana açık ve 60 cm uzunluğunda olan birey bu konumda elinde 10 kp yük tutmaktadır. Omuz kas destek dokuları arasındaki mesafe (e) 34 mm'dir. Omuza etki eden kuvveti hesaplayınız. Omuza etki eden kuvvetin eldeki yüke oranı nedir?

Veriler:

$$L = 60 \text{ cm}$$

$$G = 10 \text{ kp}$$

$$e = 34 \text{ mm}$$



Eldeki yük: $G = 10 \text{ kp}; 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \Rightarrow G = 10 \text{ kp} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kp}} \rightarrow$

$$G = 98,1 \text{ N}$$

İNSAN VÜCUDU

Çözüm:

Kuvvet kolu uzunluğu: $L = 60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m}$

Yük kolu uzunluğu: $e = 34 \text{ mm} = 0,034 \text{ m}$

Ele gelen moment: $M = G \times L$

$$M = 98,1 \text{ N} \times 0,60 \text{ m} \rightarrow M = 58,86 \text{ Nm}$$

Omuza uygulanan kuvvet:

$$M = F \times e \text{ ile } F = M/e$$

$$F = 58,86 \text{ Nm} / 0,034 \text{ m} \rightarrow F = 1731 \text{ N}$$

$$1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}; F = 1731/9,81 \text{ kp}$$

$$F = 176,5 \text{ kp}$$

İNSAN VÜCUDU

Omuza uygulanan kuvvet için; kaldıraç mekaniği denklemi yardımıyla doğrudan hesaplanabilir.

$$F = \frac{G \times L}{e}$$

$$F = \frac{10 \text{ kp} \times 0,60 \text{ m}}{0,034 \text{ m}} \rightarrow F = 176,5 \text{ kp}$$

$$\frac{F}{G} = \frac{176,5 \text{ kp}}{10 \text{ kp}} \cong 18$$

İNSAN VÜCUDU

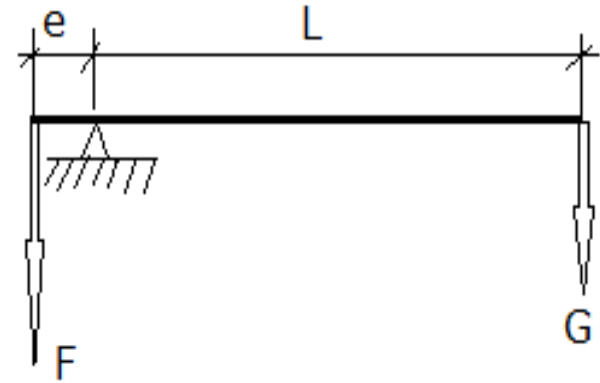
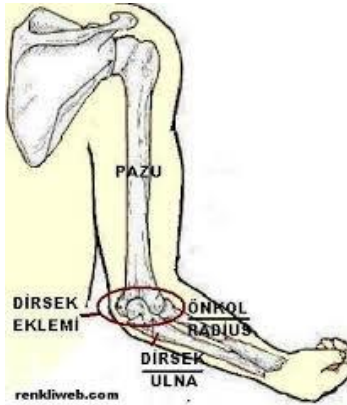
Örnek Problem (Kas mekaniği): Pazusu vücudu ile paralel bir işgörenin ön kol uzunluğu 32 cm olup, ön kol yere paralel olmak üzere elinde 12 kp yük taşımaktadır. İşgörenin dirseğine gelen kuvvet 96 kp olduğuna göre dirsek kas destek dokuları arası mesafesini hesaplayınız.

Veriler:

$$L = 32 \text{ cm} = 0,32 \text{ m}$$

$$G = 12 \text{ kp}$$

$$F = 120 \text{ kp}$$



İNSAN VÜCUDU

Çözüm:

$$M = G L$$

$$M = F e$$

$$G L = F e \rightarrow e = \frac{G}{F} L$$

$$e = \frac{12 \text{ kp}}{96 \text{ kp}} \times 0,32 \text{ m}$$

$$e = 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Protein Listesi

Besin maddesi	Protein (g)	Karbonhidrat (g)	Yağ (g)
100 gram az yağlı Yoğurt	5	7	1,5
1 bardak (200ml) yağlı süt	7	10	7
200 ml (1 bardak) kesik süt	1,7	8	0
1 adet tam yumurta	6-7	0	5
100 gram Tavuk eti	20	1	3
100 gram Balıketi	4	1	2
100 gram koyun peyniri	17	0	18
100 gram Sazan balığı	20	0	4
100 gram Sığır eti	30	1	12
100 gram Koyun eti	27	0	8
100 gram Keçi eti	26	0	4

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Karbonhidrat Listesi

Besin maddesi	Protein (g)	Karbonhidrat (g)	Yağ (g)
1 büyük patates	60	7	0
1 orta boy Elma	25	0	0
1 bardak portakal suyu (200ml):	22	0	0
100 gram buğdaylı çavdar ekmeği	61	11	2
100 gram Yulaf Ezmesi	63	12	7
100 gram Pirinç pilavı	70	7	1
100 gram Bulgur pilavı	64	10	0
100 gram patlamış mısır	67	11	5
100 gram Domates	3	1	0
125 gram Nohut	27	6	1,5

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

İşin Niteliği	Enerji ihtiyacı (kCal/dak)	Kalp Atış Sayısı
Hafif işler	2,5	90 veya daha az
Orta işler	5,0	100
Ağır işler	7,5	120
Çok ağır işler	10,0	140
Ekstra ağır işler	12,5	160 veya daha fazla

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Çeşitli işlerde enerji gereksinimi (ILO)		
Faaliyet	Enerji Gereksinimi	
	kCal/dak	kJ/dak
Tam istirahat	1	4,2
Ofis işleri	2	8,4
Araç kullanma	3	12,6
Araç – gereç ile çalışma	4	16,7
Normal yürüme	5	20,9
Toprak atma	6	25,1
Çekiçle çalışma	7	29,3
Rende işleri	8	33,5
Çelik işleri–yüksek fırın temizleme	9	37,7

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Enerji Tüketimi Ve Dinlenme Süresi): Çok ağır bir işte günde 7 saat çalışan bir işçinin çalışma süresince enerji tüketimini ve bu koşullarda dinlenme süresini hesaplayınız.

Çözüm:

Çok ağır işlerde çalışmada enerji ihtiyacı: $E = 10 \text{ kCal/dak}$

Toplam çalışma süresi : $T = 7 \text{ saat} \times 60 \frac{\text{dak}}{\text{saat}} = 420 \text{ dak}$

Enerji tüketimi : $ET = 10 \frac{\text{kCal}}{\text{dak}} \times 420 \text{ dak} = \mathbf{4.200 \text{ kCal}}$

Dinlenme süresi : $D = 0,1 \times T \left(\frac{E}{4} - 1 \right)$
 $= 0,1 \times 420 \text{ dak} \times \left(\frac{10}{4} - 1 \right)$

D = 63 dak

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Enerji Tüketimi Ve Dinlenme Süresi): Üretim ünitesinde işgörenlerce gerçekleştirilen faaliyetler aynı güçlük derecesinde ve orta işler düzeyinde enerji gerektirmektedir. İşçinin günlük zaman dağılımı şöyledir: 8 saat çalışma, 4 saat dinlenme, 4 saat araç kullanma ve 8 saat uyuma.

- a) İşgörenin çalışma peryodundaki dinlenme süresini Lehman'a göre hesaplayınız.
- b) Dinlenme süresini de dikkate alarak işgörenin enerji gereksinimini hesaplayınız.

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Çözüm:

a) İşgörenin çalışma peryodundaki dinlenme süresini Lehman'a göre hesaplayınız.

Rende işleri için $E = 8 \text{ kCal/dak}$

$$\text{İş süresi: } T = 8 \times 60 \frac{\text{dak}}{\text{saat}} = 480 \text{ dak}$$

$$\text{Dinlenme süresi: } D = 0,1 \times T \left(\frac{E}{4} - 1 \right) [\text{dak}]$$

$$D = 0,1 \times 480 \text{ dak} \times \left(\frac{8}{4} - 1 \right)$$

$$D = 48 \text{ dak}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

b) Dinlenme süresini de dikkate alarak işgörenin enerji gereksinimini hesaplayınız.

Faaliyet	Süre (dak/gün)	Birim enerji (8 kCal/dak)	Toplam (kCal/gün)
(İÇ) Çalışma*	$480 - 48 = (432)$	8	3.840 (3.456)
(SÇ) Dinlenme*	$240 + 48 = (288)$	1,2	288 (345,6)
(SÇ) Araç kullanma	240	3	720
(TÇ) Uyku	480	1,2	576
Toplam*			5.424 (5.097,6)

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Enerji Tüketimi ve Dinlenme Süresi): Ağır bir işte günde 9 saat çalışan bir işçinin çalışma süresince enerji tüketimini ve bu koşullarda dinlenme süresini hesaplayınız.

Çözüm:

Ağır işlerde çalışmada enerji ihtiyacı: $E = 7,5 \text{ kCal/dak}$

Toplam çalışma süresi $T = 9 \text{ saat} \times 60 \frac{\text{dak}}{\text{saat}} = 540 \text{ dak}$

Enerji tüketimi: $ET = 7,5 \frac{\text{kCal}}{\text{dak}} \times 540 \text{ dak} = \mathbf{4.050 \text{ kCal}}$

Dinlenme süresi: $D = 0,1 \times T \times \left(\frac{E}{4} - 1\right)$

$$D = 0,1 \times 540 \text{ dak} \times \left(\frac{7,5}{4} - 1\right) \rightarrow \mathbf{D = 47,25 \text{ dak}}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Enerji Tüketimi ve Dinlenme Süresi): Ağır iş kategorisine değerlendirilen X işini yapan işçinin günlük zaman dağılımı şöyledir: 8 saat X işçiliği, 4 saat ofis işi, 4 saat normal yürüme ve 8 saat uyku.

- a) İşçinin X işini yaparken gerekli dinlenme süresini Lehman'a göre hesaplayınız.
- b) İşçinin günlük enerji tüketimini, dinlenme süresini de dikkate alarak, hesaplayınız.

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Çözüm:

a) İşçinin X işini yaparken gerekli dinlenme süresini Lehman'a göre hesaplayınız.

Ağır işler için $E = 7,5 \text{ kCal/dak}$

Dinlenme süresi: $D = 0,1 \times T \times \left(\frac{E}{4} - 1 \right) [\text{dak}]$

$$D = 0,1 \times 480 \times \left(\frac{7,5}{4} - 1 \right) \rightarrow \mathbf{D = 42 \text{ dak}}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

b) İşçinin günlük enerji tüketimini (ET), dinlenme süresini de dikkate alarak, hesaplayınız.

- Çalışma süresi içindeki dinlenme süresi dikkate alınmadan;

Faaliyet	Süre (dak/gün)	E (8 KCal/dak)	ET (KCal/gün)
(İÇ) Çalışma/ağır iş	$8 \times 60 = 480$	7,5	3.600
(SÇ) Ofis işleri	$4 \times 60 = 240$	2	480
(SÇ) Normal yürüme	$4 \times 60 = 240$	5	1.200
(TÇ) Uyku	$8 \times 60 = 480$	1,2	576
Toplam			5.856

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

- Aslında 42 dakika dinlenme süresi uygulanırsa; X işi için 480 dakika yerine 438 dakika kullanılır.

Faaliyet	Süre (dak/gün)	E (8 KCal/dak)	ET (KCal/gün)
(İÇ) Çalışma/ağır iş	$8 \times 60 - 42 = 438$	7,5	3.285
(SÇ) Dinlenme*	42	1,2	50
(SÇ) Ofis işleri	$4 \times 60 = 240$	2	480
(SÇ) Normal yürüme	$4 \times 60 = 240$	5	1.200
(TÇ) Uyku	$8 \times 60 = 480$	1,2	576
Toplam			5.591

- Dolayısıyla, $42 * (7,5 - 1,2) = 265$ KCal/gün daha eksik enerji talebi olacaktır.

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

TEMEL ÇEVİRİM

Kadınlar (K) ve erkekler (E) için aşağıda TÇ bağıntıları verilmiştir (Harris ve Benedict):

$$TÇ(K) = 2750 + 8 B + 40 m - 20 Y \text{ [kJ/24 saat]}$$

$$TÇ(E) = 280 + 21 B + 58 m - 28 Y \text{ [kJ/24 saat]}$$

B: boy (cm), m: ağırlık (kg), Y: yaş (yıl)

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

30 yaşında erkeklerde ağırlık ve boya göre temel çevrim TÇ (kJ/gün)

Ağırlık (kg)	50	60	70	80	90
Boy(cm)150	5468	6048	6623	7203	7778
160	5678	6258	6833	7413	7988
170	5888	6468	7043	7623	8198
180	6098	6678	7253	7833	8408
190	6308	6888	7463	8043	8618

30 yaşında kadınlarda ağırlık ve boya göre temel çevrim TÇ (kJ/gün)

Ağırlık (kg)	50	60	70	80	90
Boy(cm)150	5334	5737	6140	6539	6943
160	5410	5813	6216	6615	7018
170	5489	5893	6296	6695	7098
180	5569	5972	6376	6775	7178

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Temel Çevrim): 40 yaşında 70 kg ağırlığında ve 170 cm boyunda kadın ve erkeğin temel enerji çevrimini bulunuz.

Erkek için:

$$\begin{aligned}TÇ(E) &= 280 + 21 \times 170 + 58 \times 70 - 28 \times 40 \\&= 280 + 3570 + 4060 - 1120 \\&= 6790 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Kadın için:

$$\begin{aligned}TÇ(K) &= 2750 + 8 \times 170 + 40 \times 70 - 20 \times 40 \\&= 2750 + 1360 + 2800 - 800 \\&= 6110 \text{ kJ}\end{aligned}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

VÜCUT YÜZEY ALANI

$$VYA = W^{(0.425)} \times H^{(0.725)} \times 0,007184$$

Burada, W ağırlık (kg), H vücut yüksekliği (cm) ve VYA vücut yüzey alanı (m²) birimleri ile işlem yapılır.

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Örnek Problem (Sürekli Performans Sınırı)

$$\text{SPS} \cong 300 \text{ W}$$

Aralarında 2 m mesafe bulunan ve bant üzerinde 0,5 m/s hızla hareket eden kutulara 20 kg (200 N) ağırlığındaki su pompaları yerleştirilecektir. Yerleştirme esnasında su pompaları 60 cm yukarıya kaldırılıyor. Bu iş için işçinin ortaya koyması gereken gücü bulunuz, SPS ile karşılaştırınız.

Çözüm:

Yapılan iş:

$$W = 200 \text{ N} \times 0,6 \text{ m} = 120 \text{ Joule}$$

Kutuların işçinin önüne gelme süresi:

$$t = 2 \text{ m} / 0,5 \text{ m/s} = 4 \text{ s}$$

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Ortaya konulan işin performansı:

$$P' = \frac{W}{t} = \frac{120 \text{ Joule}}{4 \text{ s}} = 30 \text{ Watt}$$

İşin ağırlıklı olarak yük kaldırma işidir ve yük kaldırma işinin verimi:

$\eta = \%9$ (Katalog değer: tabloda yük kaldırma için verim).

Bu iş için işçinin harcadığı güç:

$$P = \frac{P'}{\eta} = \frac{30 \text{ Watt}}{0,09} = 333 \text{ Watt}$$

333 Watt sürekli performans sınırı olan 300 W'ın üzerinde bir iştir. İşçi bu işi sürekli yapamaz. Ek molalara gereksinim vardır. Ayrıca, hesaplarda sadece yükü kaldırma işi dikkate alınmıştır montörü kutu içine yerleştirme de ayrı bir iştir ve bunun için de ayrı bir enerji harcanmaktadır.

İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Yapılan işe göre verim	
İş	Verim (%)
Statik tutma işi	0
Eğk konumda kürekle turma işi	3
Cıvata sıkmak	5
Normal konumda krekle çalışmak	6
Yük kaldırma	9
Kollu teker çevirme	13
Ağır çekiçle çalışma	15
Düz yolda yük taşıma ve yüksüz geri dönüş	17
Seyyar merdiveni yük ile çıkış, yüksüz iniş	19
Yokuş yolda sırtta yük taşıma ve yüksüz geri dönüş	20
Merdiveni yüksüz çıkıp inme	23
Araba çekmek	24
Bisiklete binmek	25
Araba itmek	27
Düz yolda yüksüz yürümek	27
5° eğimli yolda yüksüz yokuş yuarı çıkmak	30

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Oturarak çalışan işgörenlerin kullandığı hacim genellikle sınırlı ölçüde değişir. Bu hacimler, kol, bacak ve gövdenin dinamik antropometrik ölçüleri esas alınarak tasarlanmalıdır.
- Oturan ya da ayakta duran bir işgörenin omurgası, omuz eklemi, kalçası ya da ayak basma noktaları sabit iken hareket hacimleri ve çeşitli açılarda uzanma ve kavrama mesafeleri iş ve insan uyumu için önemli boyutları verirler. Dinamik antropometri ölçüleri zaman zaman dinamometrik ölçümlerle (en kolay erişilen, en rahat kavrama yapılan, en güçlü kavrama yapılabilecek noktaların belirlenmesi) desteklenir. Ayrıca, eklemleri zorlamayacak, mekanik açıdan avantajlı ve uzun süre işlem yapılabilecek işlem alanlarının incelenmesi gerekir.

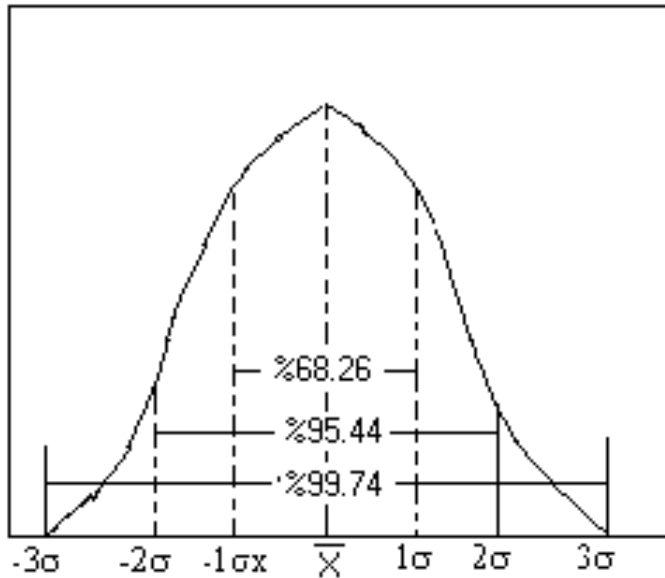
UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Sınırlı hacimlerin kullanımı halinde, işlerin normal giyimle ya da özel teçhizat ile yapılabileceği hacimler antropometrik teknikler kullanılarak belirlenir.
- Bütün antropometrik yaklaşımlarda ölçülerin, tasarımı sözkonusu araç, gereç ve makinayı kullanacak kişilerden istatistik yöntemlerle alınmalıdır.
- Antropometrik tasarım sırasında hacim ölçüleri için en büyük ölçüye (%95) göre, uzanma alanı tasarımında ise en küçük ölçüye (%5) göre ayarlamalar yapılmalıdır. Ayarlanabilir sandalye ve masa gibi yardımcı araçların ayar aralıkları %5 - %95 arasında olmalıdır.

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- İşyerlerinde antropometrik bulguların üst değerleri kullanılmalıdır. Örneğin, geçitler, kapılar. Bazı makinalarda ise, operatörlerin % 95 ve % 99'unun rahat kullanacağı uygun mesafeler dikkate alınır.

Tablo : Normal dağılım eğrisi ve değerleri



%	Z
80	1,28
90	1,64
95	1,96
98	2,33
99	2,58
99.	2,81
99,8	3,09
99,9	3,30

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Koltuk gibi bazı düzenekler, koltukta oturacak herhangi birinin rahat ve etkin görev yapacağı şekilde ayarlanabilir şekilde tasarımlanır. Bunun için % 5 alt sınır ve % 95 üst sınır değerleri dikkate alınır.

Alt sınır için	$L_{\min} = \bar{x} - \sigma * Z$	(1)
Üst sınır için	$L_{\max} = \bar{x} + \sigma * Z$	(2)
Ortalama	$L = \bar{x}$	(3)
Dağılımların ortalaması	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	(4)
Standart sapma	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$	(5)

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Hacimle ilgili tasarımlarda %95'lik dağılım değeri; (2) denklemi, erişimle ilgili tasarımlarda ise %5'lik dağılım değerleri; (1) denklemi dikkate alınır.
- Üretim ve satış yerlerinde rafların yüksekliği, istatistik ortalama değerlere göre ayarlanır.
- Bir tezgah üzerinde çalışmada, tezgah yüksekliği belirlenirken, çalışma yüksekliği için parça yüksekliğinin yarısı dikkate alınır. Genel yaklaşım, tezgah yüksekliğinin, parça yüksekliğinin yarısı kadar düşük seviyede olmasıdır.

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- **Örnek Problem (Taşıt Koltuğu ve Gösterge Tasarımı):** Bir işletmede özel amaçla kullanılacak bir taşıtın koltuğu ve önde bir göstergesinin konumu taşıtı kullanacak olan 6 operatöre göre belirlenecektir. Taşıtı kullanacak 6 elemanın ayak dahil baldır yükseklikleri ile ayak dahil göz yükseklikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.
- Koltuğun ayarlanabilir olacağı istendiğine göre; % 90 güvenle alt ve üst sınır değerleri ile gösterge yüksekliğini hesaplayınız. Operatörlere ilişkin baldır yüksekliği ve göz yüksekliği Tablo 1’de verilmiştir.
- Önce ilgili ölçülerin ortalamaları alınır. Bunun için (4) denklemi kullanılır. İlgili ölçülere ilişkin ortalamalar hesaplanarak veri tablosunda gösterilmiştir.

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

Tablo 1. Operatör ölçüleri

Operatör	Baldır yüksekliği (mm)	Göz yüksekliği (mm)
A	445	1230
B	435	1200
C	430	1220
D	440	1210
E	450	1240
F	455	1235

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

Çözüm:

Tablo 2. Hesap değerleri

Operatör	Baldır yüksekliği (mm)	Göz yüksekliği (mm)
Ortalama	442,5*	1222,5*
σ	8,54*	14,07*

** Hesaplanan değerler*

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

Ortalama baldır yüksekliği

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{445 + 435 + 430 + 440 + 450 + 455}{6} = 442.5mm$$

Ortalama göz yüksekliği

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1230 + 1200 + 1220 + 1210 + 1240 + 1235}{6} = 1222.5mm$$

- Standart sapma değerleri (5) denklemi ile hesaplanır.
- Baldır yüksekliği standart sapma değeri;

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(445 - 442,5)^2 + (435 - 442,5)^2 + (430 - 442,5)^2 + \dots}{6}}$$

$$\sigma_1 = 8,54mm$$

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Göz yüksekliği standart sapma değeri;

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(1230 - 1222,5)^2 + (1200 - 1222,5)^2 + (1220 - 1222,5)^2 + \dots}{6}}$$

$$\sigma_2 = 14,07mm$$

- %90 güven düzeyinde; $Z=1,64$ kullanılır.

- Koltuk ölçüleri;

- Alt sınırı

$$L_{\min} = \bar{x} - \sigma * Z = 442,5 - 8,54 * 1,64 = 428,50mm$$

- Üst sınır için

$$L_{\max} = \bar{x} + \sigma * Z = 442,5 + 8,54 * 1,64 = 456,50mm$$

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Koltuk 428,50 mm ile 456,50 mm arasında hareketli ayarlanabilir olacaktır.
- Gösterge yüksekliği; küçük boylularında görmesini sağlayacak, bu durumda uzun boyluların bir ölçüde aşağı bakmasının sorun yaratmayacağı düşünülürse, alt sınır değeri olarak (1) denklemi ile hesaplanabileceği düşünülebilir. Bu varsayımla gösterge yüksekliği

$$L_{\min} = \bar{x} - \sigma * Z = 1222,5 - 14,07 * 1,64 = 1199,43mm$$

olarak hesaplanır.

Ancak, bu durumlarda ortalama değerin alınmasının daha doğru olacağı, uzun ve kısa boylu insanların aynı ölçüde zorlanarak göstergeyi izleyeceği gerçeğinden hareketle, gösterge yüksekliği ortalama göz yüksekliğinde de alınabilir.

$$L = 1222,5mm$$

UYGULAMALI ANTROPOMETR

- Bu gibi durumlarda ölçülendirme kısa boylu insanlara göre yapılmakla birlikte, ölçülerin buradaki gibi dağılımı düzgün ve standart sapma küçük olursa uygulamada önemli sorun yaratmayacağı düşünülebilir, bu durum makine tasarımı açısından bir esneklik olarak avantaja dönüştürülebilir.

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- **Örnek Problem (Telefon Kabini Tasarımı):** Bir telefon kabini ve telefon cihazının yerleşimi tasarlanacaktır. Tasarımla ilgili olarak telefonu kullanacaklara ilişkin boy, dirsekler arası mesafe, öne doğru uzanma mesafesi ve göz yüksekliği aşağıdaki tabloda verilmiştir.
- % 95 güvenle telefon kabini boyutlarını ve telefon cihazı yüksekliğini hesaplayarak, şekli ölçekli olarak çiziniz. Telefon kabini için ayrıca hareket boşluğu önerecek misiniz?

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

Tablo 1: Kullanıcı ölçüleri

Kullanıcı	Boy (D) x_1 (cm)	Dirsekler arası (m) x_2 (cm)	Öne doğru uzanma (A) x_3 (cm)	Göz yüksekliği (E) x_4 (cm)
1	170	45	70	160
2	180	48	75	165
3	155	40	65	145
4	185	50	80	170
5	160	45	70	150
6	175	49	83	165
7	165	55	70	160
8	190	60	85	180

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

Çözüm:

Tablo 2: Hesap değerleri

Kullanıcı	Boy (D) x_1 (cm)	Dirsekler arası (m) x_2 (cm)	Öne doğru uzanma (A) x_3 (cm)	Göz yüksekliği (E) x_4 (cm)
* $\bar{x}$	172,5	49,0	74,8	161,9
* σ	11,4	5,8	6,7	10,3

* *Hesaplanan değerler*

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Ortalama boy yüksekliği;

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{170 + 180 + 155 + 185 + 160 + 175 + 165 + 190}{8} = 172.5cm$$

- Ortalama dirsekler arası mesafe;

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{45 + 48 + 40 + 50 + 45 + 49 + 55 + 60}{8} = 49.0cm$$

- Ortalama öne doğru uzanma mesafesi

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{70 + 75 + 65 + 80 + 70 + 83 + 70 + 85}{8} = 74.8cm$$

- Ortalama göz yüksekliği

$$\bar{x}_4 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{160 + 165 + 145 + 170 + 150 + 165 + 160 + 180}{8} = 161.9cm$$

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Standart sapma değerleri (5) denklemi ile hesaplanır.
- Boy standart sapma değeri;

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 11.4cm$$

- Dirsekler arası standart sapma değeri;

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 5.8cm$$

- Öne doğru uzanma standart sapma;

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 6.7cm$$

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Göz yüksekliği standart sapma;

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 10.3cm$$

- %95 güven düzeyinde; $Z=1,96$ kullanılır.

- Kabin yüksekliği;

- Üst sınır için $L_{\max 1} = \bar{x}_1 + \sigma_1 * Z = 194.8cm$

- Kabin genişliği;

- Üst sınır için $L_{\max 2} = \bar{x}_2 + \sigma_2 * Z = 60.4cm$

- Kabin derinliği;

- Üst sınır için $L_{\max 3} = \bar{x}_3 + \sigma_3 * Z = 87.9cm$

UYGULAMALI ANTROPOMETRİ

- Telefon cihazı yüksekliği;
- Alt sınır için $L_{\min 4} = \overline{x_4} - \sigma_4 * Z = 141.7cm$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Vücut Isıl Dengesi

Isıl denge, vücut ısı tutumu ile çevresel ısı alışverişi arasında oluşan dengedir. Ergonomik faaliyetlerde de kullanılan bu bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$S = M - W \mp C \mp R \mp K - E_s - C_r - E_r$$

Burada, S ısı tutumu, depolama, M metabolizma, W iş, C konveksiyon, R: radyasyon, K: ısı iletimi (zemin, sandalye, masa vb.), Es: ciltte buharlaşma, Cr: solunumla konveksiyon, Er: solunumla buharlaşma ısı. $S = 0$ durumunda enerji dengesi sağlanarak vücut sıcaklığı sabit tutulabilir; ısı tutumunda 225 kJ'lük artış vücut sıcaklığında 1 °C'lik artışa yol açar. Vücudun ısı dengesini sağlayan ve yukarıda sayılan faktörlerle ısı yükünün sabit tutulması ($S=0$) çalışanlara konforlu bir ortam sağlar. İnsan, ısını çok küçük sınırlar içerisinde kendi kendine kontrol edebilir.

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Isı tutumu): Bir kişide 94 kCal ısı tutumu oluşmuştur. Bu kişinin vücut sıcaklığındaki muhtemel artışı hesaplayınız.

Toplam ısı tutumu $S = 94 \text{ kCal}$

$\text{kJ cinsinden toplam ısı tutumu} = 94 \text{ KCal} \times 4,186 \text{ kJ/kCal} = 393,5 \text{ kJ}$

$225 \text{ kJ ısı tutumu karşılığı vücut sıcaklığındaki artış } 1 \text{ }^{\circ}\text{C'dir.}$

$\text{Vücut sıcaklığındaki artış} = 393,5 \text{ kJ}/225 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} = 1,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

$$\pm S = M \pm C \pm R - E$$

S ısı tutumu,

M metabolizma,

C iletim,

R radyasyon ve

E buharlaşma ısısidir.

Isı tutumunun (S) pozitif değerler göstermesi vücut ısısında artışları, negatif değerler alması ise azalışları ifade eder. Böylece, vücut sıcaklığı da artar ya da azalır.

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Kontrast/Yansıtma katsayısı): Bir operatörün çalıştığı makinanın yansıtma katsayısı % 76'dır. Operatörün tezgahı uygun biçimde ayırt edebilmesi için zeminin yansıtma katsayısı en çok ne olmalıdır?

Çözüm:

$$\frac{K_C - K_Z}{K_Z} > 1 \rightarrow K_C > 2 K_Z$$

$$K_Z = \frac{K_C}{2}$$

$$K_Z = \frac{76}{2} = 38$$

$$K_Z < \%38$$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Kontrast/Yansıtma katsayısı): Bir operatörün çalıştığı makinanın yerleştirildiği zeminin yansıtma katsayısı % 42'dir. Operatörün tezgahı uygun biçimde ayırt edebilmesi için tezgahın yansıtma katsayısı en az ne olmalıdır?

Çözüm:

$$\frac{K_C - K_Z}{K_Z} > 1 \rightarrow K_C > 2 K_Z$$

$$K_C > 2 * 42$$

$$K_C > \%84$$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Havalandırma): 80 öğrenci kapasiteli bir dersliğin minimum ve tavsiye edilen hacmini ve uygun boyutlarını belirleyiniz. Hava yenileme katsayısını 3 kabul ederek minimum ve tavsiye edilen toplam hava ihtiyacını hesaplayınız.

Çözüm:

Kişi başına hava hacmi (Katalog):

- Minimum : $12 \text{ m}^3/\text{kişi}$
- Tavsiye edilen: $18 \text{ m}^3/\text{kişi}$

Derslik hacmi:

- Minimum = $12 \text{ m}^3/\text{kişi} \times 80 \text{ kişi} = 960 \text{ m}^3$
- Önerilen = $18 \text{ m}^3/\text{kişi} \times 80 \text{ kişi} = 1.440 \text{ m}^3$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Derslik boyutları:

- Minimum = 20 m x 12 m x 4 m
- Tavsiye edilen= 24 m x 15 m x 4 m

Hava ihtiyacı:

- Minimum = 3 adet/saat x 960 m³ = 2.880 m³/saat
- Tavsiye edilen = 3 adet/saat x 1.440 m³ = 4.320 m³/saat

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Havalandırma): Mevcut bir dersliğin boyutları 20 m x 15 m x 4 m'dir. Söz konusu dersliğin uygun öğrenci kapasitesi en çok/en az ne kadar olabilir. Öğrenci kapasite değerlerine göre minimum ve tavsiye edilen toplam hava ihtiyacını hesaplayınız.

Çözüm:

Kişi başına hava hacmi:

- Minimum : 12 m³/kişi
- Tavsiye edilen: 18 m³/kişi

Kişi başına hava ihtiyacı:

- Minimum : 35 m³/saat-kişi
- Tavsiye edilen : 53 m³/saat-kişi

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Derslik hacmi = $20 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 1.200 \text{ m}^3$

Öğrenci kapasitesi:

- Minimum (en çok) = $1.200 \text{ m}^3 / 12 \text{ m}^3/\text{kişi} = 100 \text{ kişi}$
- Tavsiye edilen (en az) = $1.200 \text{ m}^3 / 18 \text{ m}^3/\text{kişi} = 67 \text{ kişi}$

Hava ihtiyacı:

- Minimum = $35 \text{ m}^3/\text{saat-kişi} \times 100 \text{ kişi} = 3.500 \text{ m}^3/\text{saat}$
= $35 \text{ m}^3/\text{saat-kişi} \times 67 \text{ kişi} = 2.345 \text{ m}^3/\text{saat}$
- Tavsiye edilen = $53 \text{ m}^3/\text{saat-kişi} \times 100 \text{ kişi} = 5.300 \text{ m}^3/\text{saat}$
= $53 \text{ m}^3/\text{saat-kişi} \times 67 \text{ kişi} = 3.551 \text{ m}^3/\text{saat}$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Ses ve Gürültü): Bir jeneratörün ses basınç düzeyi (SPL) 90 dB'dir. İki jeneratörün toplam SPL'sini hesaplayın.

Sound Pressure Level = SPL → SBS = Ses Basınç Seviyesi/Düzeyi

Çözüm:

Toplam ses basınç düzeyi formülü ile;

$$\text{SPL}(T) = N + 10 \log n$$

N = bir ses kaynağının ses basınç düzeyi (dB)

n = ses kaynaklarının sayısı

$$\text{SPL}(T) = 90 + 10 \log 2 = 93 \text{ dB}$$

$$\text{İlgili tablodan; } \text{SPL}(T) = 90 + 3 = 93 \text{ dB}$$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

- Ses şiddetinde şiddetler arası 10 birim artması şiddetin 10 kat olduğu anlamına gelir.
- Örneğin, 70 dB'lik bir ses 60 dB'lik bir sestən 10 kat daha fazladır. 90 dB'lik bir ses 60 dB'lik bir sestən $10 \times 10 \times 10 = 1000$ kat daha şiddetlidir.

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Ses ve Gürültü): Bir keman 67 dB SPL (ses basınç düzeyinde) müzik çalmaktadır. 100 keman aynı düzeyde ses üretirse toplam ses düzeyi ne olur?

Çözüm:

$$\text{SPL}(T) = N + 10 \log n$$

$$\text{SPL}(T) = 67 + 10 \log 100 = 67 + 20 \text{ dB} = 87\text{dB}$$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Ses ve Gürültü): Ses basınç düzeyleri 65 dB ve 68 dB olan iki kaynağın toplam SPL değerini hesaplayınız.

Çözüm:

$$\text{SPL'lerin farkı} = 68 - 65 = 3 \text{ dB}$$

Tablodan büyük olana eklenmesi gereken değer “2 dB” olduğu görülmektedir.

$$\text{SPL(T)} = 68 + 2 = 70 \text{ dB}$$

FİZİKSEL ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Örnek Problem (Ses ve Gürültü): Düzeyleri 65 dB, 68 dB ve 71 dB olan üç ses kaynağının toplam ses düzeyini hesaplayınız.

Çözüm:

İkiden fazla ses kaynağının toplam ses düzeyinin hesaplanması, kaynaklar ikişer ikişer gruplanarak gerçekleştirilir; toplama işlemine birbirine yakın ve düşük değerli olanlardan başlanır.

İlk iki kaynağın SPL'leri farkı = $68 - 65 = 3$ dB

Tabloya göre büyük SPL değerine 2 dB eklenir.

İlk iki kaynağın toplam SPL'si = $68 + 2 = 70$ dB

Düzey farkı = $71 - 70 = 1$ dB

Tabloya göre büyük SPL değerine 3 dB eklenir.

Üç kaynağın toplam ses düzeyi = $71 + 3 = 75$ dB

