



## Research Article

## Metabolic Heat Production with Energy Transfer and Laws of Human Thermodynamics: The Energy Balance of the Human Body

\*Emin Taner ELMAS<sup>1</sup>, İsmail KUNDURACIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey

<sup>2</sup> Lecturer, Technology Transfer Office, Iğdır University & Ph.D. Student Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Mechatronics Engineering, Iğdır University, Turkey

**\*Corresponding author: Emin Taner ELMAS**

Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey  
Email: [e.taner.elmas@igdir.edu.tr](mailto:e.taner.elmas@igdir.edu.tr)

+90 (0) 543 733 64 21

### Abstract

This article explains the System for “Metabolic Heat Production with Energy Transfer and Laws of Human Thermodynamics: The Energy Balance of the Human Body”.

The study has been realized within the scope of a Ph.D. lesson which is lectured by Asst. Prof. Dr. Emin Taner ELMAS. The name of this Ph.D. lesson is “Medical Engineering and Advanced Biomechanics” and taught at the Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences at Iğdır University, Turkey. İsmail KUNDURACIOĞLU is a Ph.D. student and he is one of the students taking this course. This article has been prepared within the scope of this Ph.D. lecture, as a part of one of his (İsmail KUNDURACIOĞLU) homework assignment tasks which was prepared using the summary translation of Reference [1]: Book Chapter 4. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50].

**Keywords:** Metabolic Heat Production, Energy Balance of the Human Body, Metabolic Heat Rate, Basal Metabolic Rate, Body Temperature Regulation, Human Thermodynamics, Thermodynamics, Energy Transfer, Fluid Mechanics, Heat Transfer, Mathematics, Medical Technique, Medical Engineering, Medicine, Biomechanics, Biomechanical Analysis, Bioengineering, Health Science, Energy Balance

### Introduction

#### İnsan Vücudunun Termodinamik Yapısı

İnsan vücudu, termodinamiğin yasalarına uyan bir termodinamik makine olarak kabul edilebilir. Termodinamiğin birinci yasası, bir cismin iç enerjisindeki değişimin ( $\Delta U$ ), bir termal rezervuar ile ısı alışverişi  $\Delta Q$  veya iş yapma  $\Delta W$  yoluyla değişebileceğini belirtir:[1]

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

Vücudun iç enerjisi, rezervuardan gelen ısı akışı ile artar ( $+\Delta Q$ ) ve çevreye ısı akışı ile azalır ( $-\Delta Q$ ). İnsan vücudu için  $+\Delta Q$ , genellikle yiyeceklerin metabolize edilmesi yoluyla, bir yanma motorundaki gibi kimyasal enerji ile sağlanırken, ısı kaybı ( $-\Delta Q$ ) farklı yollarla gerçekleşir. Benzer şekilde, iç enerji, yapılan iş eklenerek veya çıkarılarak değişir. Örneğin,

bir asansörle yukarı çıkarılan kişinin iç enerjisi artarken ( $-\Delta W$ ), kişinin odun kesmek gibi iş yapması iç enerjisini tüketir ( $+\Delta W$ ). Mekanik iş verimliliği şu şekilde tanımlanır:[1]

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{\Delta W}$$

Yani, birim kimyasal enerji başına yapılan iş miktarı. Her termodinamik makinede olduğu gibi, bu oran birden küçüktür. Denge durumunda,  $\Delta Q = \Delta W$  ve  $\Delta U = 0$  olur. Ancak bu denge her zaman,  $\Delta Q$  ve  $\Delta W$ 'nin zamansal değişimleriyle belirlenen dinamik bir dengedir. Bu nedenle değişim hızını şu şekilde ele almak makul olacaktır:[1]

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt}$$

Burada  $dU/dt$  metabolik hızı,  $dQ/dt$  ısı giriş-çıkışını ve  $dW/dt$  mekanik gücü ifade eder. [1]

### Kalorik Oksijen Eşdeğeri (COE)

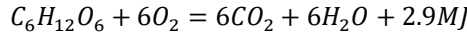
Vücut, yiyecekleri yakarak enerji kazanır. Metabolizma, organik bileşiklerin oksijen ile karbon dioksit ( $CO_2$ ) ve suya ( $H_2O$ ) dönüşümüdür. Bu nedenle metabolik enerji kazanımı, oksijen tüketimiyle hesaplanabilir. Yaklaşık olarak, 1 litre oksijenin 20 kJ enerji ürettiği iyi bir yaklaşım olarak kabul edilir.[1]

$$1l[O_2] \approx 20kJ$$

Bu ilişki, kalorik oksijen eşdeğeri (COE) olarak bilinir. Önemli besin maddeleri şunlardır:

1. Karbonhidratlar (şeker, glikoz):  $C_m(H_2O)_n$
2. Yağ (örn. trigliserit):  $C_{55}H_{98}O_6$
3. Proteinler (örn. alanin):  $CH_3 - HCNH_2 - COOH$
4. Alkol (örn. etanol):  $C_2H_5(OH)$

Örnek olarak, 1 mol glikozun ( $C_6H_{12}O_6$ ) COE değerini ele alalım. Oksijen ile reaksiyonu şu şekildedir:



Öncelikle reaksiyonun mol kütlelerini belirleyelim:

$$180g + 192g = 264g + 108g$$

Buradan reaksiyonun mol hacmini hesaplayabiliriz: 22.4 L  $C_6H_{12}O_6$  (glikoz), 134.4 L  $O_2$  (oksijen), 134.4 L  $CO_2$  (karbondioksit), 134.4 L  $H_2O$  (su buharı). Oksijen hacmini kullanarak şu değeri buluruz:

$$\frac{2.9 MJ}{134.4 l[O_2]} = 21.5 \frac{kJ}{l[O_2]}$$

Bu, oksijenin yanma başına verdiği enerji miktarını gösteriyor. Yani 1 litre oksijenin yanmasıyla 21.5 kJ enerji açığa çıkmaktadır. Diğer besin maddelerinin COE değerlerini hesapladığımızda, Tablo 1'de listelenen değerleri elde ederiz. Alkol ve yağ en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olsa da benzer COE değerlerine sahiptir.[1]

**Tablo 1:** Önemli besin maddeleri için enerji yoğunluğu ve kalorik oksijen eşdeğeri (COE).

Besin maddesi	Enerji yoğunluğu [kJ/g]	COE [kJ/ $lO_2$ ]
Karbonhidratlar	16.1	21.5
Proteinler	17.6	18.7
Etanol	29.8	20.4
Yağ	27	19.7

## Method, Findings and Discussion

### Metabolik Hız

Yiyeceklerin enerji içeriği hesaplandıktan sonra, vücudun enerji gereksinimi ve tüketim hızına bakılır. Vücudun temel metabolizma hızı (BMR), birim kütle başına saatlik enerji tüketimi olarak tanımlanır ve bu enerji, iç organların temel işlevlerini sürdürmek için gereklidir. Referans durumda, sağlıklı bir vücut, yemek yedikten 3-4 saat sonra dinlenme halindeyken ölçülür. Bu durumda, enerji kullanımı sadece hayati organlar için yeterlidir. Daha az kısıtlayıcı bir ölçüm ise dinlenme metabolik hızı (RMR) olarak adlandırılır. BMR ve RMR, solunum yoluyla alınan oksijen analiz edilerek hesaplanabilir. Mifflin St Jeor formülü bu hızı kütle (kg), boy (cm) ve yaş (yıl) fonksiyonunda verir: [1]

Burada, s erkekler için +5, kadınlar için -160 olarak alınır. Ortalama bir birey için bu hız yaklaşık 7–8 MJ/gün veya 80 Watt civarındadır. Organların enerji tüketimi Tablo 2’de gösterilmiştir. [1]

**Tablo 2:** Vücut organlarının enerji tüketimi

Organ	Enerji Tüketimi (%)
Karaciğer	27%
Beyin	19%
İskelet kasları	18%
Böbrekler	10%
Kalp	7%
Diğer organlar	19%

Beyin vücut ağırlığının 2%’si olmasına rağmen oksijen tüketiminin 19%-20%’sini kullanır. Uyku halinde veya uyanıkken tüketim miktarı neredeyse aynı kalır, çünkü aktivite beyindeki farklı bölgelere kayar. Fiziksel aktivite sırasında oksijen ve enerji tüketimi hızla artar (Tablo 3). [1]

**Tablo 3:** Temsili aktiviteler için oksijen ve vücut enerji tüketimi

Aktivite	Oksijen Tüketimi (ml/dak kg)	Vücut Enerji Tüketimi (Watt)
Dinlenme	3.5	80
Yavaş yürüme	10	230
16 km/sa hızla bisiklet sürme	20	460
Hafif koşu	30-40	500-600
Squash	30	700
40 km/sa hızla bisiklet yarışı	70	1600

Oksijen alım kapasitesi yaşa ve kişisel kondisyona göre değişir; örneğin, düşük kondisyondaki bir birey 20 ml/dak kg alım kapasitesine sahiptir, ki bu ancak yavaş bisiklet sürmeye yeter. Yüksek güç gerektiren egzersizlerde vücut anaerobik faza geçer. Bu durumda, kısa süreli yüksek güç için kreatin fosfat ve glukoz laktata dönüşerek ekstra enerji sağlar. Uzun süreli egzersiz içinse aerobik fazda oksijen alımı ve tüketimi dengelenmelidir. [1]

**Tablo 4:** Çeşitli İnsan Aktivitelerinin Verimliliği

Aktivite	Verimlilik [%]
Bisiklet sürme	≈ 20
Yüzeyde yüzmeye	< 2
Su altında yüzmeye	≈ 4
Kar küreme	≈ 3

Çeşitli görevler için verimlilik karşılaştırmaları Tablo 4’te verilmiştir. İnsan fiziksel iş verimliliğini bisiklet sürme örneği üzerinden belirlersek, kimyasal enerji tüketimi 460 Watt iken mekanik güç üretimi yaklaşık 100 Watt olup, verim 20%-21% civarındadır. [1]

### Vücudun Metabolik Isı Üretimi

Vücudun depoladığı toplam termal enerji, denge vücut sıcaklığının 37 °C (310 K) olduğu ve vücudun 80%’inin su veya suya benzer maddelerden oluştuğu varsayılarak hesaplanabilir. 70 kg’lık bir vücut için termal enerji şöyle hesaplanır: [1]

$$\Delta Q_{toplam} = c_{su}m\Delta T = C_{su}\Delta T = \frac{245kJ}{K}\Delta T$$

Burada c suyun özgül ısısıdır ve C ise suyun ısı kapasitesidir. Bu durumda, 37 °C (310 K) vücut sıcaklığı için depolanan toplam termal enerji 76 MJ’dir. Metabolik ısı üretimi, depolanan enerjinin zaman içinde sabit kalmasını sağlar, yani ısı kaybı metabolik ısı üretimiyle dengelenmelidir. Metabolik ısı üretimi (MHR - Metabolic Heat Rate), Bazal Metabolizma Hızı (BMR - Basal Metabolic Rate) ve fiziksel aktivitelerden kaynaklanan ısıların toplamıdır: [1]

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{MHR} = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{BMR} + \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{aktivite}$$

BMR için yaklaşık 300 kJ/saat gereklidir, bu da:

$$P_{BMR} = \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{BMR} = 300 \frac{kJ}{h}$$

Metabolik ısı üretim oranı şöyle yazılabilir:

$$\left( \frac{dQ}{dt} \right)_{MHR} = P_{BMR} + \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{aktivite} = 6P_{BMR}$$

Buradaki 6 (metabolik aktivite faktörü) dinlenme için 1, ağır iş için 20 arasında değişebilir.

## Vücudun Isı Kaybı

Metabolik hız hesaplandıktan sonra, sıcaklık değişim oranını türetebiliriz. Bu oran şu şekilde hesaplanır: [1]

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{C} \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{metab} = 6 \cdot 300 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \cdot \frac{1}{245} \left[ \frac{K}{kJ} \right] = 1.2 \cdot 6 \left[ \frac{K}{h} \right]$$

Bu denklem, dinlenme sırasında vücut sıcaklığının saatte 1.2 K arttığını ve aktivite sırasında bu artışın daha fazla olduğunu gösterir. [1]

Vücuttan ısı kaybı dört farklı şekilde gerçekleşir, bunlar: a) Isı iletimi - Kondüksiyon, b) Radyasyon - Işınım, c) Konveksiyon - Taşınım, d) Terleme ve Titreme

### a) Isı iletimi (Kondüksiyon)

Isı iletimi, ısı kaynağından ısı deposuna ısı taşıyan bir ortam gerektirir. Bu ortam gaz, sıvı veya katı olabilir. Isı iletim hızı, sıcaklık farkı ve malzemenin termal iletkenliğiyle doğru orantılıdır. Ohm kanununa benzer olarak, ısı iletim oranı şu şekilde hesaplanır: [1]

$$\left( \frac{dQ}{dt} \right)_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{cond}}$$

Burada  $R_{cond}$  termal iletkenliktir. Ayrıca, termal direnç seri bağlandığında toplanır ve paralel bağlandığında tersine eklenir. Kıyafetler arasında hava boşlukları, iyi bir termal izolasyon sağlar. Çeşitli materyallerin termal iletkenlikleri Tablo 5'te sunulmuştur. Ancak giysiler suyla ıslanırsa, suyun yüksek iletkenliği ısıнын hızla kaybolmasına neden olur. Örneğin, soğuk suya düşmek ciddi bir tehlike oluşturabilir. [1]

**Tablo 5:** Bazı malzemelerin termal iletkenliği

Materyal	Isı İletimi
Hava	0.01–0.1 W/mK
Giysiler (pamuk)	0.1 W/mK
Su	0.6 W/mK
Doku	0.1–0.2 W/mK
Metal	200–400 W/mK

### b) Isı Radyasyonu (Işınım)

Isı kaybı, sürekli olarak radyasyon yoluyla gerçekleşir; vücut, yansıtmadan veya iletmeden elektromanyetik radyasyonu emen ve yaygın bir siyah cisim gibi davranır. Stefan–Boltzmann kanununa göre, toplam yüzey alanı A olan ve sıcaklığı T olan bir siyah cismin,  $4\pi$  katı açısına yaydığı ısı, saniyede şu şekilde hesaplanır: [1]

$$\left( \frac{dQ}{dt} \right)_{rad} = \varepsilon \sigma A T^4$$

Burada  $\sigma (= 5.66 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4})$  Stefan–Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve  $\varepsilon$ , yüzeyin düzgünlük derecesine bağlı olarak cismin yayılabilirlik (emisivite) katsayısıdır. Cilt için  $\varepsilon$  genellikle 1 olarak alınır. Isı akışı, vücut sıcaklığı ile dördüncü kuvvetine orantılı olarak artar. Çoğu durumda, sıcaklığı  $T_1$  olan bir siyah cisim yalnız değildir. Yakınında, sıcaklığı  $T_2$  olan başka bir cisim bulunur. Cisim 1, kendi sıcaklığına göre radyasyon yayar ve cisim 2'den, sıcaklığı  $T_2$  olan radyasyonu emer. Cisim 1'in cisim 2'ye olan etkili ısı akışı şu şekilde olur: [1]

$$\left( \frac{dQ}{dt} \right)_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \approx \varepsilon \sigma A T^3 \Delta T$$

Burada  $T^3$  ortalama sıcaklık ve  $\Delta T = T_1 - T_2$  sıcaklık farkıdır. Bu yaklaşık hesaplama, sıcaklık farkı  $\Delta T$ 'nin, cisimlerin mutlak sıcaklıklarına göre küçük olduğu durumlar için geçerlidir. Bu denklem Newton'un ısı kaybı yasası olarak bilinir ve bir cismin çevresindeki ortamda yaydığı radyasyonun, sıcaklık farkının üçüncü kuvvetine orantılı olduğunu belirtir.  $37^\circ\text{C}$  (310 K) vücut sıcaklığına sahip çıplak bir insan,  $20^\circ\text{C}$  (293 K) bir ortamda, yalnızca radyasyonla ısı kaybı yaşayarak hızla soğuyabilir. Bu nedenle, giyinmek, özellikle kuzey yarımkürede, önemli bir koruma sağlar. [1]

### c) Konveksiyon (Taşınım)

Isı kaybı, hareket etmeyen bir ortamda iletim yoluyla gerçekleşir. Ancak, gaz veya sıvının laminar veya türbülanslı akışı, sıcak bir yüzeye dokunuyorsa, birim zamanda daha fazla ısı taşınabilir. Açık bir sistemde, hava her zaman sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru akar; bu, genellikle baca etkisi olarak bilinir. Sıcak ülkelerde, hava akış yönü, binaları soğutacak şekilde kontrol edilebilir. Cilde uygulandığında, vücudun ısını taşıyan hava akışına rüzgar soğutması (wind chill) denir. Yazın sıcak dalgasında rüzgar soğutması rahatlatıcı olabilirken, kış fırtınasında tehlikeli olabilir ve soğumaya (undercooling) yol açabilir. [1]

Konveksiyon yoluyla enerji kaybı, ilk yaklaşımda, çıplak cilt ile çevre arasındaki sıcaklık farkına doğrusal olarak bağlıdır:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{conv} = K_{conv}A(T_{cilt} - T_{çevre})$$

Burada  $A$ , cildin toplam çıplak alanıdır ve  $K_{conv}$ , hava akış hızı  $V$ 'ye bağlı bir sabittir ve şu şekilde yaklaşık hesaplanır:

$$K_{conv} = (10.5 - v + 10\sqrt{v})$$

Konveksiyon yoluyla ısı kaybı, özellikle rüzgar hızının yüksek olduğu durumlarda önemli olabilmektedir. [1]

### d) Terleme (Buharlaşma – Evaporasyon) ve Titreme

Diğer ısı kontrol mekanizmaları yetersiz kaldığında, vücut hala aşırı ısınmayı terleyerek ve aşırı soğumayı titreyerek kontrol edebilir. [1]

Terleme: Terin buharlaşması, cilt yüzeyinden enerji gerektirir, bu da vücut ısını soğutur. Bir litre suyun buharlaşması için gereken enerji,  $100^\circ\text{C}$ 'de 2.26 MJ'dir. Buharlaşma verimliliği, çevredeki havanın bağıl nemine bağlıdır; yüksek nem buharlaşmayı engellerken, kuru hava buharlaşmayı artırır. Buharlaşma nedeniyle enerji kaybı şu şekilde hesaplanır: [1]

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{buharlaşma} = K_{buharlaşma}A\Delta p$$

Burada  $K_{buharlaşma}$ , buharlaşma ısı katsayısı  $A$ , terleyen vücudun yüzeyi ve  $\Delta p$ , cilt ile çevre arasındaki su buharı basıncı farkıdır. [1]

**Titreme:** Soğuk karşısında, vücut ısınmayı sağlamak için kas aktivitesini artırır, buna titreme denir. Bu, metabolizmayı hızlandırır ve ısı üretir, bu da soğumanın önüne geçer. [1]

Isı Kaybı Mekanizmalarının Özeti:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{toplam} = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{cond} + \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{rad} + \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{conv} + \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{buharlaşma}$$

Vücudun toplam ısı kaybı, iletim, radyasyon, konveksiyon ve buharlaşma yoluyla kaybedilen ısıların toplamı olarak ifade edilir. Bu mekanizmalar, vücudun termal dengesini sağlamak için çeşitli çevresel koşullarda birlikte çalışır. [1]

### Vücut Sıcaklığı Regülasyonu

Vücut sıcaklığı, sofistike bir kontrol sistemiyle sabit tutulur. Sağlıklı bir kişi için merkezi vücut sıcaklığı ( $37 \pm 0.5$ )  $^\circ\text{C}$ 'dir. Bu sıcaklık, organların bulunduğu vücudun merkezi kısmında ve beyinde sabit tutulmalıdır. Vücudun hareket sistemine ait çevresel bölümler, çevreye bağlı olarak daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklara sahip olabilir. [1]

Herhangi bir sıcaklık kontrol sistemi, vücut dahil olmak üzere üç temel parçadan oluşur: (1) sıcaklık sensörü, (2) ısı kaynağı ve (3) ısı kaybı. Isı kaynağı ve ısı kaybı arasındaki denge, sıcaklığın sabit kalmasını sağlar. Sıcaklık sensörleri, gerçek sıcaklığı kaydeder ve bunu hedef sıcaklıkla karşılaştırır. Gerçek ve hedef sıcaklık arasındaki sapmalar, negatif geri

besleme sistemi gerektirir: Eğer gerçek sıcaklık hedef sıcaklıktan yüksekse, ısı üretimi düşürülür, tersine, düşükse ısı üretimi artırılır. [1]

Dinlenme halindeki bir yetişkin insan vücudu için, ısı iletimi, radyasyon, konveksiyon ve terleme nedeniyle kaybolan ısıyı telafi etmek için yaklaşık 90W ısı üretimi gereklidir. Isı üretimi, metabolizma ile sağlanır. Isı sensörleri, vücuttaki tüm deriye dağılmıştır, ancak özellikle sırt bölgesinde yoğunlukları daha yüksektir. Aşırı yüksek sıcaklıklar, derideki kan damarlarının genişlemesi, kan dolaşımının artması ve terleme için gözeneklerin açılmasıyla telafi edilir. Aşırı düşük sıcaklıklar ise derideki kan damarlarının daralması ve kanın vücudun iç kısımlarına yönlendirilmesiyle, nihayetinde titreme ile karşı durulur. Tüm bu durumlarda, hedef sıcaklık ile gerçek sıcaklık arasındaki farkı karşılaştıran ve sapmalara tepki veren termostat, hipotalamusta yer alır ve bu bölge aynı zamanda beyincinin bir parçasıdır. Merkezi vücut sıcaklığının düzenlenmesi, negatif geri besleme ile vücut sıcaklığı homeostazisi olarak bilinir. [1]

## Conclusion

İnsan vücudu, termodinamik ilkeler doğrultusunda çalışan karmaşık bir sistemdir. Vücut, iç enerjisini yiyeceklerden elde edilen kimyasal enerjiyi metabolize ederek üretir ve bu enerjiyi çeşitli mekanizmalarla kullanır. Metabolik süreçler, oksijen tüketimiyle doğrudan ilişkilidir ve besinlerin enerji yoğunluğu ile kalorik oksijen eşdeğerleri, vücudun enerji dengesinin anlaşılmasında kritik bir rol oynar. İnsan vücudunun enerji tüketimi hem temel metabolik hız hem de fiziksel aktivitelerle belirlenir. Farklı organlar, enerji tüketimi açısından farklılık gösterirken, beyin gibi organlar vücut ağırlıklarına oranla yüksek enerji harcamaktadır. Fiziksel aktivite sırasında enerji tüketimi ve oksijen ihtiyacı artarken, verimlilik ise yapılan göreve bağlı olarak değişmektedir. Bisiklet sürme gibi aktiviteler nispeten yüksek mekanik verimliliğe sahipken, yüzme gibi aktivitelerde verimlilik düşüktür.

Vücut, ürettiği ısıнын büyük bir kısmını dört ana mekanizma ile kaybeder: iletim (kondüksiyon), ışıınım (radyasyon), taşınım (konveksiyon) ve buharlaşma (evaporasyon). Çevresel faktörlere bağlı olarak bu mekanizmaların etkinliği değişebilir ve vücut sıcaklık düzenleyici mekanizmalarını devreye sokarak homeostazı korur. Hipotalamus tarafından kontrol edilen termoregülasyon sistemi, vücut sıcaklığını optimum aralıkta tutmak için negatif geri besleme mekanizmaları ile çalışır. Terleme ve titreme gibi fizyolojik tepkiler, aşırı sıcaklık değişimlerine karşı vücudun savunma mekanizmaları olarak işlev görmektedir.

İnsan vücudunun termodinamik yapısını anlamak, biyolojik süreçlerin verimli çalışmasını sağlamanın yanı sıra sağlık, spor performansı ve çevresel adaptasyon gibi alanlarda önemli uygulamalara sahiptir. Gelecekte, bu bilgilerin daha iyi anlaşılması, insan sağlığı ve fiziksel performansın optimize edilmesi açısından büyük katkılar sunacaktır. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50].

## References

1. Hartmut Zabel, Volume 1: Medical Physics, Physical Aspects of Organs and Imaging, ISBN: 978-3-11- 037281-6, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
2. Elmas, Emin Taner, "ELMAS's Theory of Thermodynamics": A Scientific Approach for 5th Law of Thermodynamics -A Theoretical Application Example for Medical Thermodynamics. Op Acc J Bio Sci & Res 2(1)-2020. DOI: 10.46718/JBGSR.2020.01.000030
3. Emin Taner ELMAS\*. Medical Treatment Method of Alzheimer's Disease & Parkinson's Disease by the Help of the Natural Musical Sound of Nây-ı Şerif, Instrument of Ney (Ney: Turkish Reed Flute, Nay). IJCMCR. 2024; 42(3): 004 DOI: 10.46998/IJCMCR.2024.42.001039
4. Elmas, Emin Taner (2020) Medical Treatment Method of "Bio-robotic Resonance and Thermodynamical Interaction" with Analogy of "Frequency – Resonance Setting Formation" on the Application of "Algorithm for Smart Drugs Controlled by a Bio-robotic System" developed for the "Treatment of Covid-19, Coronavirus and Virus Infections". Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGSR), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGSR.2 020.01.000007.
5. Elmas Emin Taner (2020) Scope of Applications for Medical Technique at Science and Engineering, Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGSR), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGSR.2020.01.000002.
6. Emin Taner ELMAS (2024) System Design and Development of a Novel Unique Neuro-Physical Medical Treatment Method for SMA-SPINAL MUSCULAR ATROPHIA-Disease and for Similar Neurological Muscle Diseases. Herculean Res 4(1):90-97
7. Fevzi Daş, Emin Taner Elmas and İhsan Ömür Bucak, Book Chapter: Innovative Use of Machine Learning-Aided Virtual Reality and Natural Language Processing Technologies in Dyslexia Diagnosis and Treatment Phases; From the Edited Volume Digital Frontiers - Healthcare, Education, and Society in the Metaverse Era;(2024) , Written By Fevzi Daş, Emin Taner Elmas and İhsan Ömür Bucak, DOI: 10.5772/intechopen.1006621, IntechOpen Limited, UNITED KINGDOM; indexed in the Book Citation Index in Web of Science™ Core Collection (BKCI)



8. Emin Taner ELMAS (2024) Design of Bionic Eye and Artificial Vision System; a Unique Project “Mobile Bio-Eye-Tronic System”. Herculean Res 4(1):97-100 <https://dx.doi.org/10.70222/hres23>
9. Emin Taner ELMAS\*. Project for “Amphibious Mobile Snow Track Ambulance” for Healthcare System. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(4) AJBSR.MS.ID.002990, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002990
10. Emin Taner ELMAS\*. The first “Olive Seedlings” and “Artichoke Seedlings” Planted in Iğdır Province, Turkey. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(5) AJBSR.MS.ID.002996, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002996
11. Emin T. Elmas, & İhsan Ö. Bucak. (2023). Modeling and Simulation of Smart-Drug Algorithms Through Frequency Modulation for the Treatment of Covid-19 and Similar Viruses. Global Journal of Research in Medical Sciences, 3(5), 1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10051793>
12. Emin T. E., & İhsan Ömür B. (2024). FM Modulated Smart Drug Algorithm for the treatment of Cancer Cells. In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 4, Number 1, pp. 1–6). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10463529>
13. Emin Taner ELMAS. (2023). Prototype Design, Production and Functioning of a Portable (Movable), Home-Type (Domestic) Hemodialysis Machine (Unit). In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 11–12). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10252972>
14. Elmas, Emin Taner (2019) Thermodynamical Balance Associated with Energy Transfer Analysis of the Universe Space as a Pressure Vessel Analogy. Journal of Applied Sciences, Redelve International Publications 2019(1): RDAPS- 10002.
15. Elmas, Emin Taner (2017) Productivity and Organizational Management (The Book) (Chapter 7): Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of Mechanical Engineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity. Machado Carolina, Davim J Paulo (Eds.), DEGRUYTER, Walter de Gruyter GmbH, Berlin / Boston, Spain (ISBN:978-3-11-035545-1)
16. Elmas, Emin Taner (2017) Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of MechanicalEngineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity). DeGruyter, Germany (DOI 10.1515 / 9783110355796-007)
17. Hartmut Zabel, Volume 1: Medical Physics, Physical Aspects of Organs and Imaging, ISBN: 978-3-11-037281-6, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
18. Hartmut Zabel, Medical Physics, Volume2: Radiology, Lasers, Nanoparticles and Prosthetics, ISBN: 978-3-11-055310-9, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017.
19. Steven Vogel, Comparative Biomechanics – Life’s Physical World, Published by Princeton University Press, ISBN:978-0-691-15566-1, USA, 2013
20. Roland Ennos, Solid Biomechanics, Published by Princeton University Press, ISBN:978-0-691-13550-2, USA, 2012
21. Mark Strikman, Kevork Spartalian, Milton W. Cole, Applications of Modern Physics in Medicine, Princeton University Press, ISBN:978-0-691-12586-2, USA, 2015
22. Emin Taner Elmas. Design of Bio-Artificial Liver Organ. J Biomed Sci Biotech Res. 2024. 2(3): 1-4. DOI: [doi.org/10.61440/JBSBR.2024.v2.12](https://doi.org/10.61440/JBSBR.2024.v2.12)
23. ELMAS, E. T. (2024). Design of Bionic Ear-Cochlear Implant and Artificial Hearing System; a Unique Project “Mobile Bio-Ear-Tronic System”. Journal homepage: <https://gjrpublishation.com/gjrms>, 4(02). <http://doi.org/10.5281/zenodo.12751385>
24. Emin Taner Elmas. A Review for Combined Cycle Power Plants. Bi-omed J Sci & Tech Res 58(1)-2024. BJSTR. MS.ID.009087. DOI: 10.26717/BJSTR.2024.58.009087
25. ELMAS, Emin Taner. (2024). Dimensional Unit Analysis Applications for Heat Pipe Design. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 12–26). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13741540>
26. ELMAS, Emin Taner. (2024). Calculation of the Filling Amount of Working Fluid to be Placed in a Heat Pipe. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 100–108). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13844847>
27. ELMAS, Emin Taner. (2024). Providing Fully Developed Flow for Waste Exhaust Gas at the Inlet Region of a Heat Pipe Air Recuperator. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 118–124). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13931542>
28. Emin Taner Elmas, (2024), ONLINE BOOKLET - E -Print - A Review for Combined Cycle Power Plants: <https://biomedres.us/view-reprints/82/a-review-for-combined-cycle-power-plants/> DOI: 10.26717/BJSTR.2024.58.009087
29. Emin Taner ELMAS, Doktora (Ph.D.) Tezi, “Yüksek Sıcaklıklı, Isı Borulu, Isı Geri Kazanım Ünitelerinin Tasarım Parametrelerinin Termodinamiksel ve Deneysel Analizi”, Tez Danışmanı:Prof. Dr. Ali Güngör, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalı, İzmir, 2011
30. Elmas, Emin Taner, (1999), Yüksek Lisans (M.Sc.) Tezi, “Evaporation Plant For Recyling of Caustic Soda”, Thesis Advisor: Prof. Dr. Fehmi Akdoğan, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı, İzmir.

31. Emin Taner E. (2023). Thermodynamical And Experimental Analysis of Design Parameters of a Heat Pipe Air Recuperator. *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences*, 3(6), 6–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10116309>
32. Emin T. E. (2023). Design, Production, Installation, Commissioning, Energy Management and Project Management of an Energy Park Plant Consisting of Renewable Energy Systems Established at Iğdır University. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 3, Number 6, pp. 67–82). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10406670>
33. ÇELİK ÜRETİMİNDE ELEKTRİK ARK OCAKLARINDA ENERJİ MALİYETLERİNİN VE ENERJİ VERİMLİLİK FAKTÖRLERİNİN ARAŞTIRILMASI INVESTIGATION ON ENERGY COSTS AND ENERGY EFFICIENCY FACTORS OF ELECTRIC ARC FURNACE FOR STEEL PRODUCTION, *Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering* Hasan TAMSÖZ \*, Emin Taner ELMAS \*\* FBU-DAE 2021 1 (3) : 163-180
34. SİNER TESİSLERİNDE ENERJİ KULLANIM NOKTALARI VE ENERJİYİ VERİMLİ KULLANACAK YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ DETERMINATION OF ENERGY UTILIZATION POINTS AND THE METHODS USING THE EFFICIENT ENERGY FOR SINTERING PLANTS, *Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering* Adem KAYA\*, Emin Taner ELMAS\*\* FBU-DAE 2022 2 (2) : 170-181
35. Emin Taner ELMAS. (2024). The Electrical Energy Production Possibility Research Study by using the Geothermal Hot Water Resources, which is a kind of Renewable Energy Resource, located at the Region of Mollakara Village which is a part of Diyadin Town and City of Ağrı, Turkey. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 1, pp. 90–101). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10729333>
36. ELMAS, Emin Taner. (2024). Energy Analysis, Energy Survey, Energy Efficiency and Energy Management Research carried out at Iğdır University. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 2, pp. 12–30). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10828077>
37. ELMAS, Emin Taner. (2024). A Research Study of Salt Dome (Salt Cave) Usage Possibility for CAES – Compressed Air Energy Storage Systems. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 2, pp. 128–131). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10980421>
38. ELMAS, Emin Taner. (2024). Wankel Rotary Piston Engine Design Project. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 3, pp. 1–4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11117047>
39. ELMAS, Emin Taner. (2024). An innovative solar dish type collector – concentrator system having an original – unique geometrical mathematical model called as DODECAGON which has 12 equal segments. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 3, pp. 31–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11397848>
40. Emin Taner ELMAS\*. Waste Heat Recovery Boilers (WHRBs) and Heat Recovery Steam Generators (HRSGs) used for Co-generation and Combined Cycle Power Plants. *Op Acc J Bio Sci & Res* 12(1)-2024. DOI: 10.46718/JBGSR.2024.12.000284
41. ELMAS, Emin Taner. (2024). Presentation and Curriculum of Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies & Department of Automotive Technology at Vocational School of Higher Education for Technical Sciences at Iğdır University, Turkey. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 3, pp. 60–67). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12536211>
42. Emin Taner ELMAS. (2023). Design and Production of a Unique Hand-Made Energy-Efficient 4 x 4 – Four Wheel Drive (4wd – 4 Matic) Traction System Electric Automobile. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 3, Number 6, pp. 48–51). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10359170>
43. ELMAS, Emin Taner. (2024). Three – Pass Fire Tube Boilers for production of Steam, Hot Water and Superheated Water. In *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences* (Vol. 4, Number 4, pp. 29–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12741030>
44. Elmas, Emin Taner, Evaporation Plant for Recycling of Caustic Soda, *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES-IJET* Emin Taner Elmas., Vol.3, No.3, 2017
45. Elmas, Emin Taner, (2014), Çağımızın Mühendisinden Beklenenler, Gece Kitaplığı, ISBN:9786053244158
46. Emin Taner E, Servet K. (2025). Biomechanical Analysis of Transtibial Prosthesis Designed for Runners. *Biomedical and Clinical Research Journal*, 1(2); DOI: <http://02.2025/BCRJ/007>.
47. Kunduracıoğlu, İ. (2018). Examining the Interface of Lego Mindstorms Ev3 Robot Programming. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 1(1), 28–46. <https://doi.org/10.31681/jetol.372826>
48. Kunduracıoğlu, I. (2024). CNN Models Approaches for Robust Classification of Apple Diseases. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 1, 235–251. <https://doi.org/10.59543/comdem.v1i.10957>
49. Kunduracıoğlu, I. (2024). Utilizing ResNet Architectures for Identification of Tomato Diseases. *Journal of Intelligent Decision Making and Information Science*, 1, 104–119. <https://jidmis.org/index.php/jidmis/article/view/11949>
50. ET Elmas and MA Cinibulak (2025) Fundamental Scientific and Technical Issues related with the “Hip Replacement Design and Biomechanical Analysis”. *Journal of Material Science and Nanotechnology, Matsci Nano J*, 2025