



# Kronik Obstrüktif Akciğer Hastaları ile Sağlıklı Bireylerin Solunum İş Yükünün Termodinamik Analizi

Jale Çatak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 19 Ekim 2018 ve Kabul Tarihi 13 Kasım 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.472665)

## Öz

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) sigara dumanı ve diğer zararlı partiküller nedeniyle akciğer enflamasyonu ve hava yolu limitasyonu ile karakterize bir hastalıktır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yüksek morbidite ve mortaliteye sahip KOAH nedeni ölümlerin 2030 yılında üçüncü sırada olacağını öngörmektedir. Havayolu limitasyonu ve respiratuvar kasların yapısal ve fonksiyonel olarak değişmesi solunum kas kuvvetinde azalmaya neden olarak solunum iş yükünü artırır. Respiratuvar kasların termodinamik analizi ile, iş veriminin azalmasına yol açan enerji kayıplarının ölçülmesi (entropi) ve maksimum yararlı işin (ekserji) yıkımı hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, KOAH hastaları ile sağlıklı bireylerin solunum kas işlerinin termodinamik analizle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Respiratuvar kasların yaptığı işe termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulanmıştır. KOAH'lı hastaların ve sağlıklı bireylerin respiratuvar kaslarında termodinamik analizler kütle, enerji, ekserji ve entropi balansları uygulanarak yapılmıştır. KOAH'lı hastalar ile sağlıklı bireylerin solunum iş yükünün termodinamik analizi sonucunda ekserji yıkımı sırasıyla  $1.23 \times 10^{-2}$  kJ/min ile  $6.01 \times 10^{-3}$  kJ/min olarak hesaplanmıştır. Entropi üretimi ise KOAH'lı hastalarda  $4.12 \times 10^{-5}$  (kJ/K)/min iken sağlıklı bireylerde  $2.02 \times 10^{-5}$  (kJ/K)/min olduğu görülmüştür. Enerji dengesi analizi sonuçlarına göre solunum işi için harcanan glikoz miktarları KOAH'lı ve sağlıklı bireyler için sırasıyla 0.32-0.16 mmol/min olarak hesaplanmıştır. Bu termodinamik analiz ile, KOAH hastası bireylerde respiratuvar kasların yaptığı iş yükünün artmasıyla ekserji yıkımı ve entropi üretiminin arttığı belirlenmiştir. Enerji dengesi analizlerinin sonuçlarına bakıldığında, solunum işi için KOAH hastası bir bireyin, sağlıklı bireye göre 2 kat daha fazla glikoz kullandığı görülmüştür. KOAH hastalarında entropi üretimi ve ekserji yıkımı sağlıklı bireylere göre yüksek olduğundan, bu hastalarda entropi artışının dokulardaki hasarla sonuçlanacağı ve sağlıklı yaşlanma üzerinde olumsuz etkileri olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Gıda-Solunum Enerji Dönüşümü, Solunum Termodinamiği, Solunum Ekserji Yıkımı, Solunum Entropi Üretimi, Solunum İş Yükü Termodinamik Analizi, Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı Termodinamik Analizi, KOAH.

## Thermodynamic Analysis of Work of Breathing of Healthy Individuals and Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease

### Abstract

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a disease characterized by lung inflammation and airway limitation due to cigarette smoke and other harmful particles. World Health Organization (WHO) predicts that COPD with high morbidity and mortality will become the third leading cause of death worldwide by 2030. Airway limitation and structural and functional changes of respiratory muscles decrease respiratory muscle strength and increase work of breathing. By the thermodynamic analysis of the respiratory muscles, the measurement of energy losses (entropy) and the destruction of the maximum useful work (exergy) can be calculated. The aim of this study was to compare the work of respiratory muscles of patients with COPD and healthy individuals by thermodynamic analysis. Thermodynamic analyses were performed by applying the first and second laws of thermodynamics to the work done by respiratory muscles. Thermodynamic analyses of respiratory muscles of COPD patients and healthy individuals were performed by mass, energy, exergy and entropy balances. As a result of the thermodynamic analysis of the work of breathing of COPD patients and healthy subjects, exergy destruction was calculated as  $1.23 \times 10^{-2}$  kJ/min and  $6.01 \times 10^{-3}$  kJ/min respectively. Entropy generation was  $4.12 \times 10^{-5}$  (kJ/K)/min in individuals with COPD while  $2.02 \times 10^{-5}$  (kJ/K)/min in healthy individuals. According to the results of energy balance analysis, the amount of glucose consumed for work of breathing was calculated as 0.32-0.16 mmol/min for COPD and healthy subjects, respectively. With this thermodynamic analysis, it was determined that the exergy destruction and entropy generation increased with the increase of work of breathing in patients with COPD.

**Key words:** Food-respiration energy conversion, respiratory thermodynamics, respiratory exergy destruction, respiratory entropy generation, respiratory work of breathing thermodynamic analysis, Chronic Obstructive Pulmonary Disease thermodynamic analysis, COPD.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-0967>, Tel: 0212 692 8729, [jalecatak@gmail.com](mailto:jalecatak@gmail.com)

## 1. Giriş

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) sigara dumanı ve diğer zararlı partiküller nedeniyle akciğer enflamasyonu ve hava yolu limitasyonu ile karakterize bir hastalıktır (Celli ve ark., 2004; Mirici ve Kocabaş, 2008). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yüksek morbidite ve mortaliteye sahip KOAH nedenli ölümlerin 2030 yılında üçüncü sırada olacağını öngörmektedir (World Health Organization (WHO), 2004; Mathers ve Loncar, 2006; WHO, 2008). ABD’de Üçüncü Ulusal Sağlık ve Beslenme Araştırması’nda (Third National Health and Nutrition Examination Survey -NHANES III), yetişkin nüfusta 23.6 milyon kişiye KOAH tanısı konulmuş ve KOAH prevalans hızı %13.9 olarak belirlenmiştir (Whittemore ve ark., 1995). ABD’de 1996 yılında KOAH hastalarının sayısı, 18 yaş ve üzeri nüfusta 11.9 milyon olarak tahmin edilmiştir (Adams ve ark., 1996). T.C. Sağlık Bakanlığı’na yapılan Küresel Hastalık Yükü çalışmalarına göre Türkiye’de en sık görülen ölüm nedenleri arasında KOAH üçüncü, hastalık yükü nedenleri içinde ise sekizinci sırada yer almaktadır. Yine bu çalışmaya göre KOAH prevalansı %10.2 olarak tespit edilmiştir ve bu oranın erkeklerde %8.4 iken kadınlarda ise %11.9 olduğu bildirilmiştir (Sağlık Bakanlığı Hastalık Yükü Çalışması, 2004).

Akciğerlerde fonksiyonel yapısal etkileri olan KOAH, solunum sistemi dışında, vücuttaki diğer sistemler üzerine de etkilidir. Bu sistemik etkilerden en önemlileri beslenme anomalileri ve kilo kaybı, kondüsyon azlığı, iskelet kası disfonksiyonu, kardiyovasküler hastalıklar, kemik iliği ve iskelet sistemi anormallikleri ile anksiyete/depresyondur (Alvar ve Agusti, 2005). Şiddetli KOAH hastalarının % 50’sinde, orta şiddetli hastaların ise % 10-15’inde kilo kaybı görülmektedir. Bu durum büyük ölçüde kas kütle kaybına bağlıdır (Agusti, 2007). KOAH’lı hastalarda hiperinflasyon nedeniyle diyaframın dezavantajlı bir pozisyonda olması, beslenme bozukluğu, steroid kullanımı ve ileri yaş gibi faktörler solunum kas kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır (Gayan-Ramirez ve ark., 2006; MacIntyre, 2008).

Solunum, gıdalar yoluyla alınan ve insan vücudunda bulunan organik besinlerin çeşitli yollarla parçalanmasıyla vücudun adozin 5’-trifosfat (ATP) enerjisi üretmesidir. Kan yoluyla hücrelerimize besin ve oksijen taşınmaktadır. Hücrelerimize taşınan besinler oksijen tarafından yakılır ve böylece besin-oksijen birleşimiyle oluşan enerji durumu ile solunum meydana gelmektedir (Guyton ve Hall, 2011).

Termodinamiğin birinci kanuna göre; enerji yoktan var edilemez, vardan yok edilemez, ancak bir formdan diğer bir forma dönüştürülebilir ya da kütle, ısı ve iş olarak transfer edilebilir. Termodinamiğin ikinci kanunu ise entropiyi tanımlar ve enerji kayıplarını ölçmemizi sağlar.

Canlı organizmalar, gıdalardaki kimyasal enerjiyi, biyomoleküllerin diğer formlarına dönüştürürler. Termodinamik açıdan, biyolojik sistemler açık sistemler olarak kabul edilir. Bu proses sırasında yan ürün olarak ısı açığa çıkar ve termodinamiğin ikinci kanununa göre entropi üretimiyle etrafa yayılır.

Entropi birikimiyle, düzensizliğin arttığı canlı organizmalar, yüksek organizasyon halini korumak

zorundadır (Schrödinger, 1944; Von Stockar ve Liu, 1999). Metabolik ısı ve serbest radikaller gibi, entropi oluşumu ile sonuçlanan ve yaşlanma sürecinde biyolojik moleküllerin yapısının değişmesine yol açarak ölümlere neden olan faktörler arasındadır. Entropi üretimi, biyomoleküllerin enerji durumlarının değişmesine neden olur ve bu da onları inaktif veya hasarlı hale getirir (Hayflick, 2007).

Termodinamiğin ikinci kanunu, canlı organizmalar da dahil olmak üzere, herhangi bir süreçte entropi üretimi yoluyla enerji dağılımını açıklar (Schrödinger, 1944). Organizmalar, sistemlerinin her bileşeninde kombine bir entropi sürecini yönetirler ve herhangi bir alt sistemdeki bir değişim diğerlerini ve de tüm sistemi etkiler (Schrödinger, 1944; Luo, 2009; Molnar ve ark., 2011; Boregowda ve ark., 2012). Organizmalar içindeki entropi üretimi çok sayıda araştırmaya konu olmuştur (Prigogine ve Wiame, 1946; Zotin ve Zotina, 1967; Balmer, 1982; Aoki, 1994; Rahman, 2007; Silva ve Annamalai, 2008; Silva ve Annamalai, 2009; Neto ve ark., 2010; Henriques ve ark., 2014) ve bu çalışmaların bazıları direk solunum üzerine odaklanmaktadır (Neto ve ark., 2010; Henriques ve ark., 2014).

Son yıllarda yapılmış olan termodinamik çalışmalar, yaşam süresi beklentisinin gıda tüketimi ile ilgili olduğu ve obezite durumunda olduğu gibi, ihtiyaç duyulan temel seviyenin ötesinde gıda tüketiminin yaşam beklentisini azalttığını bildirmektedir (Silva ve Annamalai, 2008; Silva ve Annamalai, 2009; Çatak ve ark., 2015).

Kas, gıdalar yoluyla aldığımız kimyasal enerjiyi işe dönüştüren termodinamik bir motordur. Kaslardaki kimyasal enerji, biyokimyasal reaksiyonlarla işe dönüştürülür. Termodinamik analizler bu sürecin (proses) fizibilitesi için kullanılabilir. Termodinamiğin ikinci kanununun tanımladığı entropi, bir sistemin düzensizliğinin ölçüsüdür. Sistemin düzensizliğini; üretilen entropi miktarı ile sayısal olarak hesaplayarak, enerji kayıplarını ölçebiliriz. İnsan vücudundaki entropi üretiminin belirlenmesinde kas iş verimliliği önemli bir parametredir.

Gıdaların ekserjisinin kas işine dönüşümü; metabolik verimlilik ve mekanik kas verimliliği ile açıklanmaktadır (Çatak ve ark., 2018). Ekserji, maksimum yararlı iş olarak tanımlanır ve her geri dönüşümsüz prosesde, entropi üretimi sonucu ekserji yıkımı gerçekleşir. Ekserji; entropi üretiminin neden olduğu kullanılabilir enerji kaybını belirleyen bir ifadedir. Son yıllarda, metabolizmaya dayalı proseslerde ekserji kullanımının etkinliğinin değerlendirilmesi ile ilgili biyolojik sistemlerde ekserji analizi üzerine çok sayıda çalışma yayınlanmıştır (Dinçer ve Çengel, 2001; Jubrias ve ark., 2008; Özilgen, 2011; Mady ve ark., 2012; Genç ve ark., 2013; Çatak ve ark., 2015; Sorgüven ve Özilgen, 2015; Yalçinkaya ve ark., 2016; Çatak ve ark., 2018; Semerciöz ve ark., 2018; Spanghero ve ark., 2018; Martinez Garcia ve ark., 2018; Özilgen, 2018a; Özilgen, 2018b). Özilgen (2018a), çalışmasında termodinamik analizlerde kullanılmak üzere, gıdaların ekserjileri ile ilgili geniş bir veri kaynağı sunmuştur (Özilgen, 2018a). Ekserji analizleri için canlı organizmaların değerlendirilmesi, umut vadeden bir alandır. Yaşayan organizmaların, yaşam, hastalık ve yaşlanma süreçlerinin ekserji davranışlarını çözerek, çeşitli şartlar altında uzun dönemdeki davranışlarını

tahmin etmek için iyi bir termodinamik yaklaşımla anlaşılması amacıyla kullanılabilir.

Termodinamik açıdan diyafram; bir solunum döngüsü sırasında harcadığı enerjinin bir kısmını işe dönüştüren bir makine (piston) olarak çalışan açık termal bir sistemdir. Periyodik olarak durmaksızın işleyen prosede, entropi birikimine bağlı olarak dokunun düzensizliği artış gösterir ve bu da zamanla diyafram kasında iş veriminin azalmasına yol açabilir.

Termodinamik açıdan solunum kasları ise; bir solunum döngüsü sırasında harcadığı enerjinin bir kısmını işe dönüştüren bir makine olarak çalışan açık termal bir sistemdir. Hiç durmadan işleyen bu sürekli prosede, dokunun düzensizliği entropi birikimine bağlı olarak artar. Süreç boyunca respiratuvar kasların iş veriminin azalması da solunumda hasara yol açabilir. Havayolu limitasyonu ve respiratuvar kasların yapısal ve fonksiyonel olarak değişmesi solunum kas kuvvetinde azalmaya neden olarak solunum iş yükünü arttırmaktadır (Celli, 2004; Crisafulli ve ark., 2007; Mirici ve Kocabaş, 2008; Gea ve ark., 2013). Respiratuvar kasların termodinamik analizi ile, iş veriminin azalmasına yol açan enerji kayıplarının ölçülmesi (entropi) ve maksimum yararlı işin (ekserji) yıkımı hesaplanabilmektedir.

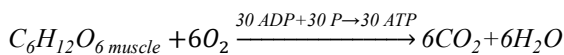
Bu nedenle bu çalışmada, insan vücudunun fonksiyonel kaslarından olan diyafram ve respiratuvar kasları araştırılmaktadır. Literatürde; kas performansının fizyolojik mekanizmasını belirlemede termodinamik analiz çalışması sınırlı sayıda olmasına rağmen (Neto ve ark., 2010; Henriques ve ark., 2014), KOAH'lı hastalarda solunum kas işinin termodinamik olarak değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanılamamıştır.

Bu çalışmanın amacı, diyafram kası tarafından yapılan işin termodinamik analizi ile, ekserji yıkımının ve entropi üretiminin hesaplanması ve KOAH hastaları ile sağlıklı bireylerin solunum kas işlerinin termodinamik analizle karşılaştırılmasıdır.

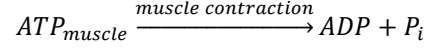
## 2. Materyal ve Metot

Gıdanın tipi ve metabolik yolağın belirleyici parametreler olduğu bu prosede kaslardaki kimyasal enerji, biyokimyasal reaksiyonlarla işe dönüştürülür. Bir kas tarafından üretilen mekanik enerji, ATP' nin hidroliziyle salınan enerjiden türetilir. ATP' den türetilen enerjinin bir kısmı işe dönüştürülmez, ancak ısı olarak bırakılır (Pollack, 1990). Katabolizmanın bir sonucu olarak üretilen ATP' nin mol sayısı, gıdanın ve metabolik yolağın türüne bağlıdır. Örneğin, bir mol glikozun oksidasyonu sırasında 30 ila 38 mol ATP üretilir (Genç ve ark., 2013). Şekil 1, kas kasılma sürecini şematik olarak göstermektedir.

30 mol ATP üretimi aşağıdaki reaksiyon ile ifade edilebilir:



Benzer şekilde, iş üretimi için ATP kullanımı aşağıdaki gibidir:



Gıda maddelerinin ATP' ye dönüşüm oranı metabolik verimlilikle belirlenir. ATP' nin kas çalışmasına dönüşümü ise kas iş verimliliği ile değerlendirilir. İkinci kanun iş verimliliği; metabolik ve mekanik iş verimliliklerinden elde edilir.

### Enerji Dengesi

Kas sistemi etrafındaki enerji dengesi şu şekilde hesaplanır (Şekil 1):

$$Q - W + \sum_i (mh)_{in} - \sum_i (mh)_{out} = \Delta E = 0$$

### a. Ekserji Yıkımı

Ekserji yıkımı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Ex_{destroyed} = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) - W + (mex)_{in} - (mex)_{out}$$

### b. Entropi Dengesi

Entropi üretimi şu şekilde hesaplanır:

$$S_{gen} = \frac{Ex_{destroyed}}{T_0}$$

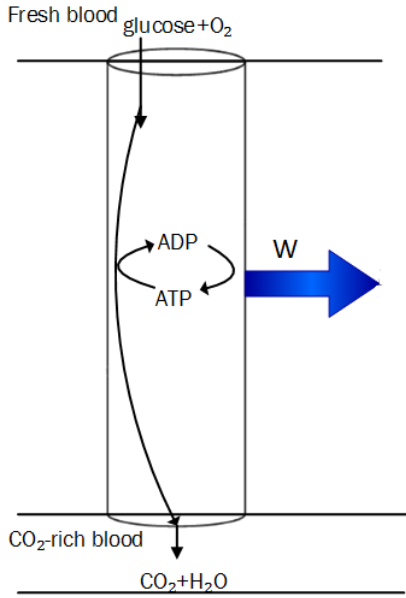
### c. Verimlilik

Kas kasılmasının verimliliği, kimyasal enerji girdisinden ne kadar harici iş yapıldığını ölçer. Birinci kanun verimliliği; aynı zamanda mekanik veya termodinamik verimlilik olarak da bilinmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta_t = \frac{W_{muscle}}{\Delta H_{glycolysis}}$$

İkinci kanun verimliliği ise, üretilen gerçek işin maksimum yararlanılabilir işe oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\eta_u = \frac{W_{muscle}}{W_{max}} = \frac{W_{muscle}}{\Delta G_{glycolysis}}$$



Şekil 1. Kas kasılma sürecinin şematik gösterimi.

## 2.1. İnsan Solunum (Diyafram) İskelet Kaslarının Termodinamik Analizi

İnsan solunum sistemi; diyafram kası üzerinden modellenmiş, termodinamiğin bir ve ikinci kanunları uygulanarak analizler yapılmıştır. Literatürdeki deneysel veriler, sağlık problemlerinin tanımlanmasında, klasik tıbbi çalışmaların ötesinde ek bilgi elde etmek amacıyla, diyafram kası iş performansının termodinamik analizlerini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sağlıklı erişkin bir bireyin dinlenme halindeki solunum (diyafram) için yaptığı minimum iş ve maksimum iş sırasıyla  $3.36 \times 10^{-3}$  kJ ve  $4.8 \times 10^{-3}$  kJ olarak bildirilmiştir (Shelledy ve Peters, 2014). Diyafram kası etrafında termodinamik analizler kütle, enerji, ekserji ve entropi balansları uygulanarak yapılmıştır. Analiz sonucunda diyafram kası tarafından yapılan iş için, kullanılan glikoz tüketimi, ekserji yıkımı ve entropi üretimi hesaplanmıştır.

2.2. Kronik Obstrüktif Akciğer Hastaları ile Sağlıklı Bireylerin Solunum İş Yükünün (Respiratuvar Kaslar) Termodinamik Analiz ile Hesaplanması

Sağlıklı bireylerin ve KOAH hastası bireylerin respiratuvar kaslarının yaptığı işe ait data literatürden alınmıştır (Cabello ve Mancebo, 2012) ve termodinamik

olarak modellenerek, termodinamik hesaplamalarla analiz edilmiştir. Termodinamik analizler, respiratuvar kasların yaptığı işe termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulanarak yapılmıştır. KOAH'lı hastaların ve sağlıklı bireylerin respiratuvar kaslarına kütle, enerji, ekserji ve entropi balansları uygulanmıştır. Solunum sırasında respiratuvar kaslarda gerçekleşen ekserji yıkımı ve entropi üretimi, kasların yaptığı işe bağlı olarak, kan dolaşımıyla birlikte çalışılmıştır. Respiratuvar kaslar tarafından yapılan iş için, ne kadar glikoz tüketildiği, ekserji yıkım miktarı ve üretilen entropi miktarı analizler sonucunda hesaplanmıştır.

### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Tablo 1, ikinci yasa verimliliğine göre; insan respiratuvar kaslarında glikoz tüketim oranının, ekserji yıkım oranının ve entropi oluşum oranının değişimini göstermektedir. Sağlıklı erişkin bir bireyin dinlenme durumundaki solunum (diyafram) için yaptığı minimum ve maksimum işlerin termodinamik analizi sonucunda ekserji yıkımının minimum ve maksimum değerleri sırasıyla  $8.41 \times 10^{-3}$  kJ/min ile  $12 \times 10^{-3}$  kJ/min arasında değiştiği hesaplanmıştır. Entropi üretiminin ise  $2.82 \times 10^{-5}$  ile  $4.03 \times 10^{-5}$  arasında olduğu görülmüştür. Diyafram kasının kullandığı glikoz minimum ve maksimum iş değerleri için hesaplanmıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre enerji dengesi analizi sonuçlarına bakıldığında, bu iş için harcanan glikoz miktarları minimum ve maksimum iş değerleri için sırasıyla 0.22 ve 0.31 mmol/min olarak hesaplanmıştır (Tablo 1).

KOAH'lı hastalar ile sağlıklı bireylerin solunum iş yükünün termodinamik analizi sonucunda ise; hesaplanan ekserji yıkımı, entropi üretimi ve solunum işi için harcanan glikoz miktarları Tablo 2' de verilmiştir. KOAH'lı hastalar ile sağlıklı bireylerin solunum iş yükünün termodinamik analizi sonucunda ekserji yıkımı sırasıyla  $1.23 \times 10^{-2}$  kJ/min ile  $6.01 \times 10^{-3}$  kJ/min olduğu görülmüştür. Entropi üretiminin ise KOAH'lı bireylerde  $4.12 \times 10^{-5}$  iken sağlıklı bireylerde  $2.02 \times 10^{-5}$  olduğu görülmüştür.

Enerji dengesi analizi sonuçlarına göre; solunum işi için harcanan glikoz miktarları KOAH'lı bireylerde 0.32 mmol/min iken, sağlıklı bireylerde 0.16 mmol/min bulunmuştur.

Tablo 1. İkinci yasa verimliliği ile insan respiratuvar kaslarındaki glikoz tüketim oranının, ekserji yıkım oranının ve entropi oluşum oranının değişimi (Sağlıklı erişkin bireyin dinlenme halindeki solunum (diyafram) için yaptığı minimum iş:  $3.36 \times 10^{-3}$  ve maksimum iş:  $4.8 \times 10^{-3}$ ).

$\eta$	$m_{\text{glikoz}}$	$m_{\text{glikoz}}$	Kandaki glikoz	$Ex_{\text{yıkım,kas}}$	Süretimi,kas
	(mol/min)	(mmol/min)	konsantrasyonu (mmol/L)	(kJ/min)	(kJ/K)/min

<b>0.3 (min iş için)</b>	$2.89 \times 10^{-6}$	0.22	$4.34 \times 10^{-2}$	$8.41 \times 10^{-3}$	$2.82 \times 10^{-5}$
<b>0.3 (max iş için)</b>	$4.13 \times 10^{-6}$	0.31	$6.20 \times 10^{-2}$	$1.20 \times 10^{-2}$	$4.03 \times 10^{-5}$

Tablo 2. KOAH'lı hastalar ile sağlıklı bireylerin solunum iş yükünün termodinamik analizi sonucunda ekserji yıkımı, entropi üretimi ve solunum işi için harcanan glikoz miktarları.

$\eta_{II}$	$m_{glikoz}$ (mol/min)	$m_{glikoz}$ (mmol/min)	Kandaki glikoz konsantrasyonu (mmol/L)	$E_{Xyıkımı,kas}$ (kJ/min)	$S_{üretimi,kas}$ (kJ/K)/min
<b>KOAH</b>	$4.22 \times 10^{-6}$	0.32	$6.30 \times 10^{-2}$	$1.23 \times 10^{-2}$	$4.12 \times 10^{-5}$
<b>Sağlıklı</b>	$2.06 \times 10^{-6}$	0.16	$3.10 \times 10^{-2}$	$6.01 \times 10^{-3}$	$2.02 \times 10^{-5}$

Kas iş verimliliği, metabolik veya yapısal bozulma ya da yaşlanmayla birlikte, mitokondrideki metabolik enerji dönüşümünün azalması sonucu düşmektedir. Mitokondriyal enerji üretiminin azalması, kas yapısının daha da bozulmasına neden olur ve bu da kas iş verimliliğinin daha da azalmasına sebep olmaktadır. Kas iş verimliliği, vücuttaki entropi üretiminin belirleyici faktördür.

Çatak ve ark. (2015)' e göre, yaşam süresi boyunca çiğneme kaslarının entropi üretimi miktarı, çiğnemenin gıdanın tipine ve alınan kaloriye bağlı olarak tahmin edilebilir. Bu çalışmada; çiğneme kası yaşlanması ölümün doğrudan bir nedeni olarak düşünülmesi de, bu kaslar tarafından yaşam boyu entropi birikiminin, yaşam süresi beklentisinin bir göstergesi olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir (Çatak ve ark., 2015).

Sosyo-ekonomik düzeyi düşük olan ülkelerde, yetersiz beslenme, sigara kullanımı, hava kirliliği ve sağlık hizmetlerinden yararlanma güçlüğü gibi nedenlerle KOAH görülme sıklığı daha fazladır (Mannino ve Buist, 2007). Antioksidanların yetersiz olması oksidan/antioksidan dengenin bozulmasına neden olur. KOAH gelişiminde beslenmenin rolü konusunda çalışma sonuçları çelişkili olmakla beraber antioksidan vitaminlerin, doymamış yağ asitlerinin ve magnezyumun KOAH gelişimine karşı koruyucu olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (de Marco ve ark., 2011).

Özilgen (2018a), çalışmasında gıdaların termodinamik özelliklerini açıklayarak, gıda ve beslenme ile ilgili termodinamik analizlerde kullanılmak üzere veri kaynağı sunmaktadır. Bu çalışmada sunulan verilerle, gıda alımı ile beslenme durumları ve aynı zamanda gıda üretim sistemleri değerlendirilirken, insanlar ve hayvanlar etrafında enerji ve ekserji dengelerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştıracağı bildirilmiştir (Özilgen, 2018a).

## 4. Sonuç

Sonuç olarak; diyaframın yaptığı kas işi maksimuma çıktığında ekserji yıkımı da artmaktadır. Entropi üretimi substrat kullanımı ile arttığından, sağlıklı bireyin solunumunda diyaframın yaptığı iş maksimum olduğunda buna bağlı olarak entropi üretimi de artmaktadır. Diyafram kasının yaptığı işin termodinamik analiz ile değerlendirilmesiyle, solunum sistemiyle ilgili iş performansının belirlenmesinde ek bilgiler sağlayabilir.

Bu termodinamik analiz ile, KOAH olan bireylerde respiratuvar kasların yaptığı iş yükünün artmasıyla ekserji yıkımı ve entropi üretiminin arttığı belirlenmiştir. Enerji dengesi analizlerinin sonuçlarına bakıldığında, solunum işi için KOAH hastası bir bireyin, sağlıklı bireye göre 2 kat daha fazla glikoz kullandığı görülmüştür. KOAH hastalarında entropi üretimi ve ekserji yıkımı sağlıklı bireylere göre yüksek olduğundan, bu hastalarda entropi artışının dokulardaki hasarla sonuçlanacağı ve sağlıklı yaşlanma üzerinde olumsuz etkileri olacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

Adams PF, Hendershot GE, Marano MA., 1996. Current estimates from the National Health Interview Survey., National Center for Health Statistics. Vital Health Stat 1991; 200: 93.

Alvar, G., Agusti, N. 2005. Systemic Effects of Chronic Obstructive Pulmoner Disease. Proceedings of the American Thoracic Society, 2,367-370.

Agusti, A. 2007. Systemic effects of chronic obstructive pulmonary disease: what we know and what we don't know (but

- should). Proceedings of the American Thoracic Society, 4 (7), 522-525.
- Aoki, I. 1994. Entropy Production in Human Life Span: A Thermodynamical Measure for Aging. *Age*, 17:29-31.
- Balmer, R.T. 1982. Entropy and Aging in Biological Systems. *Chemical Engineering Communications*, 17:171-181.
- Boregowda, S.C., Choate, R.E., Handy, R. 2012. Entropy Generation Analysis of Human Thermal Stress Responses. *ISRN Thermodynamics*.
- Cabello, B., Mancebo, J. 2012. Work of breathing. In *Applied Physiology in Intensive Care Medicine 1* (pp. 11-14). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Celli, B.R., MacNee, W., Force, A.E.T. 2004. Standards for the diagnosis and treatment of patients with COPD: a summary of the ATS/ERS position paper. *European Respiratory Journal*, 23 (6), 932-946.
- Crisafulli, E., Costi, S., Fabbri, L.M., Clini, E.M. 2007. Respiratory muscles training in COPD patients. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 2 (1), 19-25.
- Çatak, J., Develi, A. C., Sorguven, E., Özilgen, M., Inal, H. S. 2015. Lifespan entropy generated by the masseter muscles during chewing: an indicator of the life expectancy?. *International Journal of Exergy*, 18(1), 46-67.
- Çatak, J., Özilgen, M., Olcay, A. B., Yılmaz, B. 2018. Assessment of the work efficiency with exergy method in ageing muscles and healthy and enlarged hearts. *International Journal of Exergy*, 25(1), 1-33.
- de Marco R, Accordini S, Marcon A, et al., 2011. Risk factors for chronic obstructive pulmonary disease in a European cohort of young adults. *European Community Respiratory Health Survey (ECRHS)*. *Am J Respir Crit Care Med* 183:891-7.
- Dincer, I., Cengel, Y. A. 2001. Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 3(3), 116-149.
- Gayan-Ramirez, G., Koulouris, N., Roca, J., Decramer, M. . 2006. Respiratory and skeletal muscles in chronic obstructive pulmonary disease. *European Respiratory Journal*, 38, 201-223.
- Gea, J., Agusti, A., Roca, J. 2013. Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD. *Journal of Applied Physiology*, 114 (9), 1222- 1234.
- Genc, S., Sorguven, E., Kurnaz, I. A., Ozilgen, M. 2013. Exergetic efficiency of ATP production in neuronal glucose metabolism. *International Journal of Exergy*, 13(1), 60-84.
- Guyton, A., Hall, J. 2011. In: *Textbook of Medical Physiology*, 12th edition, Elsevier Saunders, Philadelphia.
- Hayflick, L. 2007. Entropy Explains Aging, Genetic Determinism Explains Longevity, and Undefined Terminology Explains Misunderstanding Both. *PLoS Genetics*, 3:2351-2354.
- Henriques, I. B., Mady, C. E. K., Neto, C. A., Yanagihara, J. I., Junior, S. O. 2014. The effect of altitude and intensity of physical activity on the exergy efficiency of respiratory system. *International Journal of Thermodynamics*, 17(4), 265-273.
- Jubrias, S. A., Vollestad, N. K., Gronka, R. K., Kushmerick, M. J. 2008. Contraction coupling efficiency of human first dorsal interosseous muscle. *The Journal of physiology*, 586(7), 1993-2002.
- Luo, L.F. 2009. Entropy Production in a Cell and Reversal of Entropy Flow as an Anticancer Therapy. *Frontiers of Physics in China*, 4:122-136.
- MacIntyre, N.R. 2008. Mechanisms of functional loss in patients with chronic lung disease. *Respiratory Care*, 53 (9), 1177-1184.
- Mady, C. E. K., Ferreira, M. S., Yanagihara, J. I., Saldiva, P. H. N., de Oliveira Junior, S. 2012. Modeling the exergy behavior of human body. *Energy*, 45(1), 546-553.
- Mannino, D.M., Davis, K.J. 2006. Lung function decline and outcomes in an elderly population. *Thorax*, 61 (6), 472-477.
- Martinez Garcia, M., Une, R. Y., de Oliveira Junior, S., Keutenedjian Mady, C. E. 2018. Exergy Analysis and Human Body Thermal Comfort Conditions: Evaluation of Different Body Compositions. *Entropy*, 20(4), 265.
- Mathers, C. D., Loncar, D. 2006. Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. *PLoS medicine*, 3(11), e442.
- Mirici, A., Kocabaş, A. 2008. Tanımdan tedaviye kronik obstrüktif akciğer hastalığı. İstanbul: Galenos Yayıncılık.
- Molnar, J., Thornton, B.S., Thornton-Benko, E., Varga, Z.G. 2011. The Second Law of Thermodynamics and Host-tumor Relationships: Concepts and Opportunities. *INTECH Open Access Publisher*.
- Neto, C.A., Pellegrini, L.F., Ferreira, M.S., de Oliveira Jr, Yanagihara, J.I. 2010. Exergy Analysis of Human Respiration Under Physical Activity. *International Journal of Thermodynamics*, 13:105-109.
- Özilgen M. 2011. *Handbook of Food Process Modeling and Statistical Quality Control*, CRC Books. 2nd ed. Taylor and Francis.
- Özilgen, M. 2018a. Nutrition and production related energies and exergies of foods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 275-295.
- Özilgen, M. 2018b. Assessment of nutrition with Dincer's 6-step approach of exergization. *International Journal of Energy Research*, 42(12), 3707-3710.
- Pollack, G. H. 1990. *Muscles & molecules: uncovering the principles of biological motion* (pp. 9-38). Seattle, WA: Ebner & Sons Publishers.
- Prigogine, I., Wiame, J.M. 1946. *Biologie et Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles*. *Experientia*, 2:451-453.
- Rahman, M.A. 2007. A Novel Method for Estimating the Entropy Generation Rate in a Human Body. *Thermal Science*, 11:75-92.
- Schrödinger, E. 1944. What is life?: the physical aspect of the living cell; based on lectures delivered under the auspices of the Inst. at Trinity College, Dublin, in Feb. 1943. Cambridge University Press, Cambridge.

Semerciöz, A. S., Yılmaz, B., Özilgen, M. 2018. Entropy generation behaviour of the lean and obese rats shows the effect of the diet on the wasted life span work. *International Journal of Exergy*, 26(3), 359-391.

Shelledy, D. C., Peters, J. I. (Eds.). 2014. *Respiratory Care: Patient Assessment and Care Plan Development*. Jones & Bartlett Publishers.

Silva, C., Annamalai, K. 2008. Entropy Generation and Human Aging: Lifespan Entropy and Effect of Physical Activity Level. *Entropy*, 10:100-123.

Silva, C.A. and Annamalai, K. 2009. Entropy Generation and Human Aging: Lifespan Entropy and Effect of Diet Composition and Caloric Restriction Diets. *Journal of Thermodynamics*.

Sorguven Oner, E., Ozilgen, M. 2015. First and second law work production efficiency of a muscle cell. *International Journal of Exergy*, 18(2), 142-156.

Spanghero, G. M., Albuquerque, C., Lazzaretti Fernandes, T., Hernandez, A. J., Keutenedjian Mady, C. E. 2018. Exergy Analysis of the Musculoskeletal System Efficiency during Aerobic and Anaerobic Activities. *Entropy*, 20(2), 119.

T.C. Sağlık Bakanlığı 2004. RSHMB Hıfzıssıhha Mektebi Müdürlüğü. Türkiye Hastalık Yüğü Çalışması. Ankara: Aydoğdu Ofset; 2006. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 701.

Von Stockar, U., Liu, J.S. 1999. Does Microbial Life Always Feed on Negative Entropy? Thermodynamic Analysis of Microbial Growth. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1412:191-211.

Whittemore AS, Perlin SA, DiCiccio Y., 1995. Chronic obstructive pulmonary disease in lifelong nonsmokers: results from NHANES. *Am. J. Public Health* 85:702-6.

WHO 2004. World Health Organization. *The Global Burden of Disease: 2004, Update*. Geneva (2004).

WHO 2008. World Health Organization. *World Health Statistics*. COPD predicted to be third leading cause of death in 2030. [http://www.who.int/respirotory/copd/World\\_Health\\_Statistics](http://www.who.int/respirotory/copd/World_Health_Statistics) . Erişim tarihi: 28 Eylül, 2018.

Yalçınkaya, B. H., Erikli, Ş., Özilgen, B. A., Olcay, A. B., Sorguven, E., Özilgen, M. 2016. Thermodynamic analysis of the squid mantle muscles and giant axon during slow swimming and jet escape propulsion. *Energy*, 102, 537-549.

Zotin, A.I., Zotina, R.S. 1967. Thermodynamic Aspects of Developmental Biology. *Journal of Theoretical Biology*, 17:57-75.