



İNSAN VÜCUDUNUN MODELLENMESİNDE KİŞİSEL DEĞİŞİKLİKLERİN TERMO-REGÜLASYON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Nevin ÇELİK* ve Yılmaz BAYAZIT**

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ, Türkiye,
e-posta: nevincelik23@gmail.com

**University of Minnesota, Department of Mechanical Engineering, MN 55455, USA,
e-posta: baya0003@umn.edu

(Geliş Tarihi: 08. 01. 2008, Kabul Tarihi: 08. 03. 2008)

Özet: Son yıllarda biyo-ısı çalışmalarında insan vücudunun termo-regülasyon (sıcaklığı dengeleme) sistemini araştıran birçok model türetilmektedir. Bu modellerde genelde nüfusun çoğunluğunu temsil ettiği inanan tek bir ortalama insan tipi esas alınır. Ancak cinsiyet ve yaş gibi birincil derecede ve vücut yüzey alanı, vücuttaki yağ miktarı, kişinin ağırlığı, boyu, soluduğu maksimum oksijen miktarı, deri rengi, vücudun iklim şartlarına göre değişiklik göstermesi gibi ikincil derecedeki kişisel değişiklik faktörlerinin dikkate alınmaması, modellerin eksik yada hatalı sonuç vermesine neden olmaktadır. İnsan vücudunun sıcaklık dengesinde önem arzeden *bireysel değişiklikler* konusu, konuyla ilgilenen araştırmacıların bu alanda incelemeler yapmasını gerektirmiştir. Bu çalışmanın iki önemli amacı vardır; birincisi teorik ve analitik veriler eşliğinde konuyla ilgili kaynaklarda bulunan sınırlı sayıda çalışmayı tanıtmak, ikincisi yeni yapılacak olan modellerde dikkate alınması gereken hususları vurgulamaktır.

Anahtar Kelimeler: Biyo-ısı, Termo-regülasyon, Fizyolojik veri, Bireysel değişiklikler.

THE EFFECTS OF INDIVIDUAL DIFFERENCES ON THERMO-REGULATION IN HUMAN BODY SIMULATIONS

Abstract: In recent years many models have been performed to investigate the thermo-regulation system of human body. In many of those models, a typical human body which is considered to represent the majority of the population is taken into consideration. However, ignoring some major factors such as the gender and the age, and minor factors, such as the surface of the body, the fat rate, height and weight of the person, the rate of O₂ that the person breaths, the color of the skin and the adaptation of the body to the climate, cause some errors at the result of the modeling. The *individual differences* topic which has impetus on the thermo-regulation system is needed to be held on by the researchers who have been studied on this scientific area. The missions of this paper are first to introduce the pre-done works about the mentioned topic by presenting the theoretical and empirical correlations, and second to emphasize some important factors which should be considered in the future models.

Keywords: Bio-heat, Thermoregulation, Physiological data, Individual differences.

GİRİŞ

İnsan vücudunun dış çevreye karşı verdiği sıcaklık tepkisi başka bir deyişle termo-regülasyon sistemi, geçtiğimiz yıllar içerisinde birçok araştırmacı tarafından modellenerek günümüze kadar geliştirilmiştir. Söz konusu tepkiler; deri sıcaklığı ve vücut iç sıcaklığında (kor sıcaklığı ya da nüve sıcaklığı) terleme, titreme, damar genişlemesi ya da kasılması gibi durumların biri yada birkaçının birlikte veya ayrı ayrı cereyan etmesiyle oluşan değişimlerdir. Ancak geliştirilen modellerin çoğu, kişiler arasındaki fizyolojik farklılıkları dikkate almaksızın genel olarak “*tipik*” bir kişiyi temsil ederler. Zira kişisel bilgiye dayalı fizyolojik değişkenleri ayarlamak son derece karmaşık bir modelleme gerektirir. Çoğu zaman bu modellerde, bazal metabolizmanın ürettiği ısı vücut ağırlığı ile veya vücut tipi ile uyuşmayabilir. Ya da

benzer şekilde yağın ısı direnci yada iletkenliği yağ oranı ile, kan akış oranı vücut tipi ile yada seçilen deri rengi güneş ışığı geçirgenliği ile uyuşmayabilir. Bütün bu nedenlerden dolayı araştırmacılar bireysel farklılıkları insan vücudunu modelleyen programlara taşımak durumunda kalmışlardır.

İnsanların sığa ve soğuğa verdikleri tepkiyi modelleyen çalışmalar; maruz kalınan sıcaklığın riskini tahmin etmek ve akabinde koruyucu tedbirler almak babında, tıp dünyasının olduğu kadar biyo-medikal ve biyo-mühendislik dünyasının da meselesidir. Konuyla ilgili olarak bugüne kadar deneysel sonuçlara dayalı, ısı dengesini hesaplayan, giyim şeklinin etkisini inceleyen, ya da terleme, kan akış dengesi gibi fizyolojik durumları kapsayan çalışmalar sunulmuştur. Bütün bu modellerde nüfusun genelini kapsayan “*tipik*” insan modeli esas alınmıştır

(1.83 m boy, 75 kg ağırlık, %15 yağ oranı). Bu nedenle tahmin edilen değer, nüfusun ortalama tepkisidir. Modeller gerçek hayatta kullanılmaya kalkışıldığında bazı problemler ortaya çıkmıştır; örneğin maden endüstrisinde çalışan işçiler, aynı iklim şartında çalıştığı varsayılan ortalama insan tipine göre ısı değişimine karşı daha fazla dayanıklı oldukları için vücutlarında daha düşük bir sıcaklık tepkimesi vermişlerdir (Jette vd., 1995). İşte bu tür durumlarda kişisel özelliklerin dikkate alındığı modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Çoğu modeller kişisel fizyolojik veri girme seçeneğini içermemektedir (Gagge vd., 1986), içeren çok az sayıda çalışma ise sınırlı şartları dikkate almıştır. Mesela Havenith ve Middendorp (1990) ısıya maruz kalınması durumunda vücuttaki yağ miktarıyla kor sıcaklığı arasında bir ilişki ortaya çıkacağını savunmuşlardır. Tikuisis ve arkadaşları (1988) tüm vücudu soğuk suya daldırma durumunda vücuttaki yağ miktarının termo-regülasyonu nasıl etkilediğini incelemişlerdir.

Havenith (2001), vücudun bir yörenin iklimine uyum göstermesi durumunda termo-regülasyon üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Havenith ısı etkisine maruz kalan vücut için kişiselleştirilmiş bir model hazırlamıştır. Bu modelde iklim etkisi üç türlü ele alınmıştır; soğuk hava (21°C, %50 bağıl nem), sıcak-kuru hava (45°C, %20 bağıl nem) ve ılık-nemli hava (35°C, %80 bağıl nem). Ayrıca vücudun ısı ürettiği bazı çalışma şartları esas alınmıştır.

Wolf ve Garner (1997) soğuğa maruz kalan insan vücudunda metabolik ısı üretimini ve kor sıcaklığını inceleyen bir model geliştirmişlerdir. Model, bir su spreyi tarafından su püskürtülmek suretiyle vücudun üst kısımlarında soğuk suyun ısı etkisini tahmin etmek üzere düzenlenmiştir. Sıcaklıklar vücudun 25 ayrı bölgesinde suya dalma, soğuk havaya maruz kalma ve rüzgara maruz kalma durumları için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Zhang ve ark. (2001) bireysel değişiklikleri genel halde ele alarak bütün bu değişikliklerin kapsandığı yeni bir model üzerinde durmuşlardır. Vücuttaki yağ oranı, vücudun yoğunluğu, bazal metabolizmanın ısı üretimi, kan akış debisi, kadın ve erkek cinslerine göre vücuttaki uzuvların oranları, dokunun ısı direnci, vücut yüzey alanı, derinin güneş ışığını geçirme hassasiyeti gibi birçok kişisel farklılığı hesaba katarak yeni bir model geliştirmişlerdir.

Bu çalışma literatürde bugüne kadar konuyla ilgili olarak hazırlanan birçok araştırmada ele alınan fizyolojik verileri ve bu verilerin nasıl kullanılacağını anlatmaktadır. Özellikle boy, kilo, yağ oranı, cinsiyet, deri rengi ve vücut tipi gibi fizyolojik veriler ve bu verilerle ilgili deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş formüller sunulmuştur.

TERMO-REGÜLATİF SİSTEM

İnsan Vücudundaki Isı Mekanizması

Vücut yüzeyi dış ortama ısıyı iletim, taşınım ve suyun buharlaşmasıyla ısı kaybeder. Bu yöntemleri tanımlamadan önce hemen belirtilmelidir ki ısı kaybının yanı sıra bu yöntemler aynı zamanda vücuda ısı da kazandırır (Widmaier vd., 2006). Vücuttan dış yüzeye oluşan ısı iletimle ısı geçişi vücut sıcaklığına bağlı olarak değişir. Eğer vücut yüzeyi çevredeki çeşitli yüzeylerden daha sıcaksa o zaman vücuttan kaybedilen net ısı yüzeyler arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak değişir (Widmaier vd., 2006). Vücuttan iletimle ısı geçişi, vücutta daha soğuk yada daha sıcak bir cisimle direkt temas etmesi durumunda oluşan ısı kazancı yada kaybıdır, taşınım ise havanın yada suyun vücuda yakın alanda hareket etmesiyle ortaya çıkan ısı geçiş şeklidir (Widmaier vd., 2006).

Vücuttaki diğer bir ısı geçiş mekanizması terlemedir. Isı kaybının yaklaşık olarak %90'ı deri yüzeyinden kaybolur (Tunç vd., 2004). Vücutta ısıya maruz kaldığı anlarda, termoregülatör sistem vücuda ısı geçişini en aza indirecek şekilde cevap verir. Doku sıcaklıkları optimal kimyasal reaksiyonların meydana gelmesi için biyolojik olarak güvenli seviyelerde tutulur. Termoregülatif sistem bu seviyeleri deriye olan taşınım ve iletim oranlarını değiştirerek ayarlar. Dolayısıyla bazal sıcaklık dağılımı dokudan iletilen ısı, kanla yüzeye taşınan ısı ve yüzey ısı geçişi ile şekillendirilir (Tunç vd., 2004).

İnsanlarda vücut sıcaklığının oldukça küçük bir tolerans dahilinde (36.9 ± 0.5 °C) tutulması için sürekli olarak kontrol edilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Sıcaklığın bu sınırlar içerisinde tutulmasındaki esas neden vücut fonksiyonlarının bağımlı olduğu pek çok biyokimyasal ve hücrel işlemlerin verimli ve doğru olarak gerçekleşmesinin ancak bu dar sıcaklık aralığında mümkün olmasıdır (Tunç vd., 2004).

Bireysel Farklılıkların Termo-regülasyona Etkisi Yaş ve Cinsiyet Farklılığı

Yaş ve cinsiyet termo-regülasyonu direkt etkileyen faktörlerden en önemlileridir. Özellikle yağ tabakası kalınlığı, kan akışı, ve bazal metabolizma aşağıda verilen denklemlerde de görüleceği gibi açık şekilde etkilidir (Zhang vd., 2001).

Vücuttaki Yağın Termo-regülasyona Etkisi

Bireyler arasındaki en önemli termofiziksel farklılık vücutlarındaki yağ miktarlarıdır. Vücuttaki yağ miktarı, hem iletimle ısı geçişinde hem de kan akışında son derece etkilidir. Farklı tipteki dokular farklı miktarda kan ve yağ içerirler.

Yağ tabakası kalınlık olarak ele alındığında, dış deri kabuğunun ısı direnci (R) ile deri altı yağ kalınlığı

arasında ilişki olduğu görülmüştür (Havenith, 2001). Biyo-mühendislik ile ilgili kaynaklarda genelde birim *inç* kalınlığındaki yağ tabakasının ısı direnci $hr\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}/\text{Btu}$ birimiyle verilmiştir ($1\text{ hr}\text{-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}/\text{Btu} = 0.17611\text{ m}^2\text{-K}/\text{W}$) (Widmaier vd., 2006). *SI* birim sisteminde yağ tabakasının birim *mm* kalınlığı için hesaplanan ısı direnci $R = 0.0048\text{ m}^2\text{-}^\circ\text{C}/\text{W}$ 'dir. Öte yandan deri tabakasının birim *mm* kalınlığı için ısı direnci $R = 0.0022\text{ m}^2\text{-}^\circ\text{C}/\text{W}$ 'dir (Havenith, 2001).

Vücut yağı ağırlık olarak, normal yapıdaki bir insan için ağırlığından ve boyundan gidilerek hesaplanır. Allen ve ark. (1956) vücuttaki yağ miktarının ağırlık ile boyun fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Erkekler için vücuttaki yağ miktarı (kg) cinsinden (W_Y):

$$W_Y = 0.685 W - 5.86 H^3 + 0.42 \quad (1)$$

denklemi ile bulunabilir. Burada W ağırlık (kg) ve H (m) boyu ifade etmektedir. Kadınlar için benzer ifade şu şekilde verilmiştir:

$$W_Y = 0.737 W - 5.15 H^3 + 0.37 \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'deki en önemli kısıtlama normal ve anormal vücutlar arasında fark gözetmemesidir. Şöyleki; iki insan aynı kiloda ve boyda olabilir ama bu aynı yağ ve kas oranlarına sahip oldukları anlamına gelmez. Vücut tipindeki bu tür değişiklikler vücut yoğunluğunun ölçülmesini gerektirir. Saf yağsız kütle yoğunluğu $1.097\text{ gr}/\text{ml}$ ve tamamen yağlı vücudun yoğunluğu $0.948\text{ gr}/\text{ml}$ 'dir, yani düşük yoğunluklu insanlar genelde yağlı insanlardır (Zhang vd., 2001).

Vücuttaki yağın vücut yoğunluğuna oranını yüzdesel olarak (%YO) hesaplamamızın birçok yolu vardır. Sri (1961) tarafından geliştirilmiş olan ve hem kadınlar hem de erkekler için ortak olarak kullanılabilen formül aşağıda verilmiştir:

$$\%YO = 100 (4.95 \times 10^{-3} / \rho - 4.5) \quad (3.a)$$

burada ρ (kg/m^3) vücut yoğunluğudur (Bölüm 2.2.3 bkz.). Wright ve ark. (1981) tarafından önerilen diğer bir formüde ise vücut yoğunluğunu bulmak için beden ölçüleri esas alınmıştır.

$$\%YO = 0.740 C_u - 1.249 C_n + 0.528 \quad (3.b)$$

burada verilen C_u (cm) göbek esas alınarak alınan çevre, C_n (cm) ise boyun esas alınarak ölçülen çevredir.

Vücut Yoğunluğu

Vücut yoğunluğunu ölçmenin en hassas yolu su altında ölçüm yapmaktır. Bu ölçümde insanlar açık havada ve su altında tartılırlar ve Arşimet kanunlarına göre kişinin yoğunluğu bulunmuş olur. Diğer bir metot ise deri kıvrımını kumpasla ölçmektir. Bu metot hassasiyeti düşük olduğundan çok tercih edilmez. Hodgdon ve Beckett (1984) vücudun dış çevresiyle

vücut yoğunluğu (kg/m^3) arasında bir ilişki olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Denklem (4.a) erkekler için, (4.b) kadınlar için verilen ilişkiyi göstermektedir:

$$\rho = 10^3 \{-[0.19077 \log_{10}(C_u - C_n)] + [0.15456 \log_{10}(100H)] + 1.0324\} \quad (4.a)$$

$$\rho = -[0.35004 \log_{10}(C_m + C_h - C_n)] + [0.22100 \log_{10}(100H)] + 1.29579 \quad (4.b)$$

burada C_m göbekte göğüs arasındaki bölgeden, C_h kalçadan C_n boyundan ölçülen çevredir, birimi cm 'dir.

Bazal Metabolizmanın Isı Üretimi

Bazal metabolik ısı üretimi yada diğer bir deyişle bazal metabolik oran (BMO) genelde boy, kilo, yaş ve cinsiyete bağlı olarak hesaplanır. Harris ve Benedict (1919) bazal metabolik oranı hesaplayan denklemler bulmuşlardır. Denklem (5.a)'da erkekler, (5.b)'de kadınlar için bazal metabolik oranlar verilmektedir:

$$\text{BMO (Watt)} = 0.0484 (66 + 13.7 W + 5 H - 6.8 (\text{yaş}) + 160.9 (\text{koşu mesafesi})) \quad (5.a)$$

$$\text{BMO (Watt)} = 0.0484 (665 + 9.6 W + 1.7 H - 4.7 (\text{yaş}) + 160.9 (\text{koşu mesafesi})) \quad (5.b)$$

burada *koşu mesafesi* olarak ifade edilen değer ortalama olarak günlük koşulan mesafedir (km). Mifflin ve ark. (1990), Harris ve Benedict'in denklemlerinden elde edilen ısı miktarının şişman insanlar için yüksek değerlerde çıktığını aynı şekilde deri ve kor sıcaklığının da yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Cinsiyet farketmeksizin aynı sonucu veren yeni bir denklem türetmişlerdir. Bu denklem daha sonra birçok çalışmada kullanılmıştır (Zhang vd., 2001).

$$\text{BMO (Watt)} = 0.0484 [19.7(\text{yağsız ağırlık}) + 413] \quad (5.c)$$

burada yağsız ağırlık "*vücut ağırlığı-yağ ağırlığı*" şeklinde hesaplanır. Son olarak Cunningham (1980) başka bir metot önererek hem kadın hem de erkekler için ağırlığa bağlı metabolik ısı üretimini tespit etmiştir.

$$\text{BMO (Watt)} = 0.0484 [500 + 22(\text{yağsız ağırlık})] \quad (5.d)$$

Vücut Tipinin (Şeklinin) Kan Akışı ve Yağ Oranı Üzerindeki Etkisi

Termo-regülasyon üzerindeki önemli bir faktör vücut tipidir. Kişilerde vücut tipine göre kan akışının ve yağ oranının değişiklik gösterdiği deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir.

Kan akışının termo-regülasyonla ilgisi şöyle özetlenebilir: "*kan damarlarının genişliğini tanzim eden hareketler aynı zamanda dokulara kan akışını*

kontrol ederken vücudun çevreye ısı geçişini azaltır yada artırır, böylece thermo-regülasyonu sağlamaya çalışır”.

Gregersen ve Nickerson (1950) tarafından geliştirilen normal ve anormal vücutlar için kalp çıkışında kan akışını ölçerek tespit edilmiş değerler, literatürde en çok kullanılan değerlerdir (*anormal vücut ektomorfik, endomorfik, aşırı ektomorfik yada aşırı endomorfik vücutlardır. Ektomorfik; uzun boylu, endomorfik; kısa boylu, aşırı ektomorfik; normalin üstünde uzun ve aşırı endomorfik; normalin altında kısa tipler için tipte kullanılan terimlerdir.*)

Gregersen ve Nickerson tarafından ölçülen bu değerler şüphesiz vücut tipinin kan akış oranı üzerindeki etkisini göstermesi açısından önem arzeder. Tablo 1’de farklı vücut tiplerine göre kişinin kg kütlesi başına ölçülen kan akışı değerleri cc/dak cinsinden verilmiştir. Vücut tipi kan akışını etkilerken, cinsiyete bağlı önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Elde edilen tüm değerler modellemede kadın erkek farketmeksizin kullanılabilir.

Vücut tipi kan akışını etkilediği gibi vücuttaki yağ oranını da etkiler. Uzun boylu bir insandaki yağ oranı ile kısa boylu bir insandaki yağ oranı eşit değildir (Zhang vd., 2001). Yağ oranı vücut tipiyle değiştiği gibi cinsiyete bağlı olarak da değişir.

Tablo 1, vücut tipinin kan akışı üzerindeki etkisini gösterdiği gibi yağ oranı üzerindeki etkisini de kadın ve erkek için ayrı ayrı göstermektedir.

Vücudun ısı kapasitesi belli oranındaki ısıda vücut sıcaklığının değişim miktarı ile alakalıdır. Vücut yağının özgül ısısı 2.51 J/gr°C iken, diğer dokuların (deri, iskelet, kas v.s) ortalama olarak 3.65 J/gr°C’dir (Stolwijk, 1971). Vücuttaki sıcaklık değişiminin belirlenebilmesi için dokunun özgül ısısının hesaplanması gerekir:

$$C_b = \frac{W}{W} 2.51 + \frac{W - W}{W} 3.65$$

(6)

burada W vücut ağırlığı, W_y yağ ağırlığıdır.

Tablo 1. Vücut tipinin kan akışı ve yağ oranı üzerindeki etkisi (T1: aşırı ektomorf, T2: ektomorf, T3: normal, T4: endomorf, T5: aşırı endomorf).

	Cinsiyet	T1	T2	T3	T4	T5
Kalpten çıkan kan cc/dak/kg	Kadın-	90	92	93.9	69.1	68
	Erkek					
Vücuttaki yağ dağılımı (%)	Erkek	9.8	13.3	20.9	29.4	34.4
	Kadın	20.5	25.1	32.1	39.4	43

Vücudun Isıyı Depolama Kapasitesi

Vücut Yüzey Alanı

Vücudun yüzey alanı A (m²), Dubois denklemi kullanılarak ağırlık (kg) ve boya (m) bağlı olarak hesaplanabilir (Zhang vd., 2001).

$$A = 202 W^{0.425} H^{0.725}$$

(7)

Vücudun yüzey alanı için diğer bir hesaplama modeli ise Havenith (2001) tarafından önerilen yöntemdir. Vücut yüzey alanı arttıkça terleme alanı da artacaktır, bu nedenle vücut tarafından üretilen toplam ter miktarı seçilen standart referans vücut alanına (W = 75 kg, H = 1.83 m, A_{standart} = 1.97 m²) lineer olarak bağlıdır. Ter miktarı ölçülürse vücut alanı da hesaplanmış olur:

$$\text{Terleme oranı} = \text{vücuttan atılan ter miktarı (kg)} \times \left(\frac{A}{A_{\text{standart}}}\right)$$

(8.a)

$$\text{Maksimum ter miktarı} = \text{standart kişinin maksimum ter miktarı (kg)} \times \left(\frac{A}{A_{\text{standart}}}\right)$$

(8.b)

Derinin Güneş Işınlarnı Emme Özelliği

Derinin güneş ışınlarını emmesi (absorbe etmesi) doğrudan deri rengiyle alakalıdır. Houdas ve Ring (1982) beyaz ve siyah derilerin güneş ışını emiciliğini test etmişlerdir. Sonuçta siyah derili kişilerde daha yüksek ışın emme özelliği olduğu görülmüştür. Tablo 2’de derinin rengine göre güneş ışını emme özellikleri listelenmiştir.

Tablo 2. Derinin rengine göre güneş ışını emiciliği.

	Beyaz Deri	Siyah Deri
Ultraviyole (0.4µ)	0.9	0.93
Görünür 0.4-0.7µ	0.513	0.737
Kızıl ötesine yakın 0.7-2µ	0.692	0.777
Kızıl ötesine uzak >2µ	0.98	0.98

İklima Uyum Gösterme Özelliği

İklima uyum göstermenin termo-regülasyonu etkilediği birçok araştırmacı tarafından daha önceki çalışmalarda da ispatlanmıştır (Havenith, 2001). İklim uyumu maksimum terleme kapasitesini neredeyse üç kat arttırabilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada insan vücudunun sayısal modellenmesi konusunda son derece önemli olan kişisel değişim konusu ele alınmıştır. Bu çalışmada esasında kaynaklarda bulunan bazı teorik yaklaşımlar ve deneysel sonuçlarla elde edilmiş bağlantılar derlenerek

modelleme yapacak kişilere ön rapor mahiyetinde sunulmuştur.

Özellikle deneysel sonuçlarla elde edilmiş bağıntular modellemede daha büyük önem arzettiğinden bu bağıntuların daha fazla fizyolojik veriyi içerecek şekilde genişletilmesi bilim dünyasına şüphesiz daha büyük katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bize yön gösteren ve rehberlik eden değerli bilim adamı Prof. E.M. Sparrow'a teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

Allen, T.H., Peng M.T., et al, Prediction of Blood Volume and Adiposity in Man From Body Weight and Cube of Height, *Metabolism* 5, 328-345, 1956.

Cunningham, J.J., A Re-Analysis of the Factors Influencing Basal Metabolic Rate in Normal Adults, *American Journal of Clinical Nutrition* 33, 2372-2374, 1980.

Gagge, A.P., Fobolets, A.P. and Berglund, L.G., A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, *ASHRAE Trans.* 92, 709-731, 1986.

Gregersen, M.I. and Nickerson, J.L., Relation of Blood Volume and Cardiac Output to Body Type, *Journal of Applied Physiology* 3, 329-341, 1950.

Harris, J.A. and Benedict, F.G., A Biometric Study of Basal Metabolism in Man, *Report from Carnegie Institute of Washington*, USA, 1919.

Havenith G. and Middendorp, H., The Relative Influence of Physical Fitness, Acclimatization State, Anthropometric Measures and Gender on Individual Reactions to Heat, *European Journal of Applied Physiology* 61, 419-427, 1990.

Havenith, G., Individualized Model of Human Thermoregulation for the Simulation of Heat Stress Response, *J. Applied Physiology* 90, 1943-1954, 2001.

Hodgdon, J.A. and Beckett, M.B., Prediction of Percent Body Fat for US Navy Men from Body Circumferences and Height, *Report of Naval Health Research Center*, San Diego, USA, 1984.

Houdas, Y. and Ring, E.F.J., *Human Body Temperature: Its Measurement and Regulation*, Plenum Press, New York, London, 1982.

Jette, M., Quenneville, J., Thoden, J. and Livingstone, S., Reproducibility of Body Temperature Response to Standardized Test Conditions when Assessing Clothing, *Ergonomics* 38, 1057-1066, 1995.

Mifflin, M.D., Jeor, S.T.S, New Predictive Equation for Resting Energy Expenditure In Healthy Individuals, *American Journal of Clinical Nutrition* 51, 241-271, 1990.

Sri, W.E., Body Composition From Fluid Spaces and Density: Analysis of Methods, *National Academy of Sciences, National Research Council*, Washington 1961.

Stolwijk, J.A.J., A Mathematical Model of Physiological Temperature Regulation in Man, *New Haven CT: J.B. Pierce Laboratory*, 1971.

Tikusis, P., Gonzales, R.R. and Pandolf, K.B., Thermoregulatory Model for Immersion of Humans in Cold Water, *J. Applied Physiology* 64, 2, 719-727, 1988.

Tunç, M., Çamdalı, U. ve Çıkrıkçı S., Tıpta Biyosis Uygulaması, *Mühendis ve Makina*, 534, Temmuz 2004.

Widmaier, E.P., Raff, H. and Strang, K.T., *Vander's Human Physiology*, 10th edition, McGraw-Hill Co. New York, USA, 2006.

Wolf, M.B. and Garner, R.P., Simulation of Human Thermoregulation During Water Immersion: Application to an Aircraft Cabin Water-Spray System, *Annals of Biomedical Engineering* 25, 4, 620-634, 1997.

Wright, H.W., Dotson C.O. et al, A Simple Technique for Measurement of Percent Body Fat in Man, *US Navy Medicine* 72, 5, 23-27, 1981.

Zhang, H., Huizenga, C. Arens, E. and Yu T., Considering Individual Physiological Differences in a Human Thermal Model, *J. Thermal Biology* 26, 401-408, 2001.



Nevin Çelik, Elazığ'da doğdu. Eğitim hayatına Elazığ Vali Tevfik Gür İlkokulunda başladı. Elazığ Anadolu Lisesinde orta ve lise eğitimini tamamladıktan sonra, 1993-1997 yılları arasında Fırat Üniversitesi Makina Müh. Bölümünde üniversite eğitimi aldı. 1997-1999 arasında Elazığ Tunç-Teknik Soğutma firmasında soğuk hava deposu tasarım ve imalatı konusunda proje mühendisi olarak çalıştı. 1998 yılında Fırat Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı, 1999 yılında aynı bölüme Araştırma Görevlisi olarak alındı. 2000-2006 yılları arasında *Çarpan Jetler* konulu doktora tezini yürüttü. 2007 yılında Prof E.M. Sparrow tarafından doktora sonrası eğitim almak üzere *University of Minnesota, Department of Mechanical Engineering*'e davet edildi. *TUBİTAK Bilim Adamı Destekleme Biriminin* desteklenerek Ağustos 2007'de ABD'ye gitti. Halen Amerikada bulunan yazar, Prof. Sparrow danışmanlığında Isı Transferinde ve Akışkanlar Mekaniğinde sayısal analiz (ANSYS) yöntemleri ve Bio-medikal konularında çalışmalarını sürdürmektedir.



Yılmaz Bayazıt İstanbul'da doğdu. İlkokulu İstanbul Kültür Kolejinde, orta ve lise eğitimini Kadıköy Anadolu Lisesinde tamamladı. 1996-2000 yılları arasında ABD Minnesota'da *Moorhead Devlet Üniversitesinde* Fizik eğitimi aldıktan sonra, 2000-2002 yılları arasında *Minnesota Üniversitesinde* Makina Mühendisliği eğitimi aldı. 2001-2004 yılları arasında *Chart Industrial* firmasında tasarım mühendisi olarak çalıştı. 2004-2006 yılları arasında *ADC Telecom* firmasında Sonlu Elemanlar Metodu uzmanı ve tasarım mühendisi olarak çalıştı. Bu firmada geliştirdiği 6 önemli projeye patent başvurusunda bulundu. Yazarın üç çalışması Amerikan Patent Enstitüsü tarafından kabul edilmiş olup diğer üçü halen işlem görmektedir. 2004-2007 yılları arasında *Minnesota Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde* Prof. E.M. Sparrow danışmanlığında master eğitimi aldı. 2006 yılında *Eaton Corporation* firmasında Hidrolik Hibrid Araç Tasarımı konusunda çalışmaya başladı. Halen aynı firmada mühendislik yapan yazar, aynı zamanda *Minnesota Üniversitesi Uçak Mühendisliğinde* Prof. D.D. Joseph danışmanlığında doktora eğitimini sürdürmektedir.