

ISIL KONFOR İLE İLGİLİ MEVCUT STANDARTLAR ve KONFOR PARAMETRELERİNİN ÇEŞİTLİ MODELLER İLE İNCELENMESİ

İbrahim ATMAÇA
Abdulvahap YİĞİT

ÖZET

Bu çalışmada öncelikle ASHRAE Standart 55–2004 ve ISO 7730 uluslar arası standartlarında verilen ısı konfor için kabul edilebilir aralıklar incelenecektir. Daha sonra ısı konfor parametrelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan “Sürekli Rejim Enerji Dengesi” ve “Geçici Rejim Enerji Dengesi” modelleri tanıtılacak, çevresel ve kişisel parametrelerin etkileri bahsedilen modellerden elde edilen sonuçlar ile ayrı ayrı incelenecektir. Çalışmada, çevresel parametrelerin konfor algıları üzerine etkisi deneysel olarak elde edilmiş sonuçlar üzerinden de incelenecek, konfor algıları dışında bu parametrelerin insan sağlığı üzerine etkileri de tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Isıl Konfor, parametreler, modeller, standartlar

ABSTRACT

In this study, the acceptable ranges that provide thermal comfort, which are given in ASHRAE Standards 55-2004 and ISO 7730 international standards are investigated. Then, “Steady – State Energy Balance” and “Transient Energy Balance” models, which are widely used to evaluate thermal comfort parameters, are presented and the effects of environmental and personal variables on thermal comfort are examined by using the results obtained from these models. In addition, the effects of environmental parameters on thermal comfort are analyzed from experimental results, and the effects of these parameters on human health as well as comfort sense are discussed.

Key Words: Thermal Comfort, parameters, models, standards

1. GİRİŞ

Çok çeşitli teknolojiler ve sistemler vasıtasıyla günümüzde yaygın olarak kullanılan iklimlendirme sistemlerinin amacı; bu ortamı kullanan insanlara kabul edilebilir kalitede konforlu ve temiz iç ortam havası hazırlamaktır. İklimlendirme işlemi yapılacak bir hacim için uygun sistemin seçimi, sistemin ekonomikliği ve güvenilirliğinin yanında hacimde çalışan veya ikamet edenler için ısı konforun sağlanması da konuyla ilgili mühendislerin ilgi alanına girmektedir. Isıl konfor şüphesiz ki iş verimini ve üretkenliği etkileyen önemli etkenlerden biridir. Isıl konfor insan boyutları, yaşı, cinsiyeti gibi birçok parametreye bağlı olsa bile en genel anlamda ısı konforu etkileyen parametreler kişisel ve çevresel parametreler olarak sınıflandırılabilir. Ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı çevresel parametreler olarak adlandırılırken, kişisel parametreleri ise kişinin metabolik aktivite düzeyi ve giyinme durumu oluşturmaktadır.

İnsan vücudu, kullandığı besin ve teneffüs edilen oksijen ile düşük sıcaklıklı ısı yayan ve mekanik iş üreten termodinamik bir sistem gibi düşünülebilir. Vücutta üretilen metabolik enerji taşınım ve ışınım ile duyulur ısı olarak ve buharlaşma ile gizli ısı olarak deriden ve solunum ile ciğerlerden bulunulan çevreye atılır. Bulunulan ortamın konforlu hissedilmesi için vücutta üretilen enerjinin vücuttan bulunulan çevreye atılan enerjiye eşit olması gerekmektedir. Vücut, yaşamsal organların fonksiyonlarının zarar görmemesi için, çevresel şartlar ne olursa olsun vücut iç bölme sıcaklığını 36.8 °C de tutmak için kompleks fizyolojik denetim mekanizmalarına sahiptir. Vücut bulunduğu çevre ile ne kadar kolay bir şekilde enerji dengesini kurabiliyorsa, yani fizyolojik denetim mekanizmaları ne kadar az devreye giriyorsa, bulunduğu ortamı o denli konforlu hisseder [1,2]. Yine de belirli bir ortam şartında tüm insanların kendilerini tamamen konforlu hissetmedikleri bilinen bir konudur.

Bu çalışmada öncelikle ASHRAE Standart 55–2004 [3] ve ISO 7730 [4] uluslar arası standartlarında verilen ısı konfor için kabul edilebilir aralıklar incelenecektir. Daha sonra ısı konfor parametrelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan “Sürekli Rejim Enerji Dengesi” ve “Geçici Rejim Enerji Dengesi” modelleri tanıtılacak, çevresel ve kişisel parametrelerin etkileri bahsedilen modellerden elde edilen sonuçlar ile ayrı ayrı incelenecektir. Çalışmada, çevresel parametrelerin konfor algıları üzerine etkisi deneysel olarak elde edilmiş sonuçlar üzerinden de incelenecek, konfor algıları dışında bu parametrelerin insan sağlığı üzerine etkileri de tartışılacaktır.

2. MEVCUT STANDARTLAR

Isıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55 – 2004 [3] ve ISO 7730 [4] gibi uluslararası standartlarda verilmektedir.

ASHRAE Standart 55 – 2004 ün başlığı olan “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” dilimize “Yaşam alanları için ısı çevresel şartlar” olarak çevrilebilir. Bu standart, belirli bir ortamda bulunan insanların önemli bir kısmının, bahsedilen çevreyi ısı olarak kabul edilebilir bulunduğu şartları açıkça ortaya koymaktadır. Nem, hava hızı, metabolik oran ve giysi yalıtımı parametrelerinin verilen değerleri için konfor aralığı belirlenebilmektedir. Bu konfor aralığı, kabul edilebilir ısı çevre şartlarını sağlayabilecek operatif sıcaklık cinsinden belirlenebilir. Operatif sıcaklık hem hava sıcaklığını hem de ortalama ışınım sıcaklığını beraber temsil eden bir sıcaklıktır. Bu standartta konfor aralığı için sıcaklık sınırlarını belirlemede kullanılacak 2 adet metot mevcuttur:

- Basitleştirilmiş grafik metot (tipik uygulamalar için)
- Isıl denge metoduna bağlı bilgisayar programı (daha geniş uygulamalar için)

Grafik metodun uygulanabilmesi için geçerli aralıklar, metabolik oran ve giysi yalıtımı için şu şekilde verilmektedir:

- $1.0 \text{ met} < M < 1.3 \text{ met}$
- $0.5 \text{ clo} < I_{cl} < 1.0 \text{ clo}$

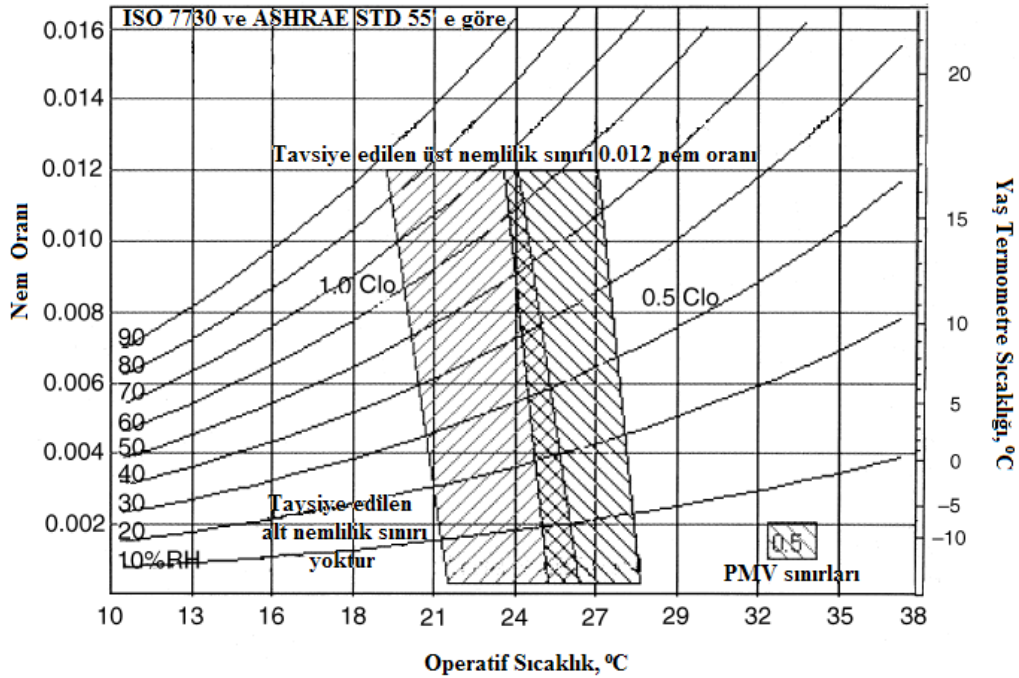
Çoğunlukla ofis kullanıcıları bahsedilen bu aralıklar içerisinde kalmaktadır.

Bu metotta kullanılan grafik Şekil 1. de sunulmuştur ve önerilen operatif sıcaklık aralıkları %80 kişi için kabul edilebilir aralıklardır. Grafikteki konfor aralıkları hava hızının 0.2 m/s yi geçmemesi kaydı ile geçerlidir. Grafikte iki bölge görülmektedir. 0.5 clo klasik yazlık giyim, 1 clo ise klasik kışık giyim için yaklaşık değerlerdir. Bu grafik metot bilgisayar programından elde edilen değerler ile belirli aralıklar için hazırlanmıştır. Daha geniş aralıklarda sonuç almak için direkt olarak 2. metot olan bilgisayar programı kullanılabilir. Standartta tavsiye edilen en üst yaş termometre sıcaklığı 16.8 °C dir. Alt nemlilik sınırı ise belirlenmemiştir. Bununla birlikte alt nemlilik sınırı için deri ve göz kuruluğu, statik elektrik üretimi gibi ısı olmayan konfor şartlarının göz önünde bulundurulabileceğinden bahsedilmektedir.

Konforun iyileştirilmesi ile yüksek hava hızları arasında tam bir ilişki kurulamamıştır. Bununla birlikte, bu standart, eğer kişi hava hızını bireysel olarak kontrol edebiliyor ise, yüksek hava hızlarının, konfor için gerekli maksimum sıcaklıkları yükseltmek için kullanılabilmesine izin vermektedir. Şekil 1. de verilen grafik incelendiğinde bahsedilen şartlar altında önerilen aralığın yaz şartlarında 23.5 °C ile 28 °C, kış şartlarında ise 19 °C ile 26.5 °C arasında olduğu görülebilmektedir.

Bir diğer standart ISO 7730 un başlığı olan "Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PMV indices and specification of the conditions for thermal comfort" ise dilimize "ortalama ısı şartları – PMV ve PPD indislerinin belirlenmesi ve ısı konfor için şartların saptanması" olarak çevrilebilir. ISO 7730 da 2 amaç hedeflenmiştir;

- Ortalama (aşırı uç noktalara kaçmayan) ısı çevrelere maruz insanlar için, ısı his (PMV) ve ısı memnuniyetsizliğinin (PPD) derecesinin tahmini için bir metot sunmak.
- Konfor için kabul edilebilir ısı çevre şartlarını belirlemek.



Şekil 1. Operatif Sıcaklık ve Nem İçin Kabul Edilebilir Aralıklar [3].

ISO 7730 da ısı konfor için gerekli ortam şartları hafif ve çoğunlukla oturularak yapılan aktiviteler ($M=70 \text{ W/m}^2=1.2 \text{ met}$) için ısıtma ve soğutma periyotları durumunda ayrı ayrı önerilmektedir. Bu önerilerde yaz periyodu için giysi yalıtımı 0.5 clo, kış periyodu için giysi yalıtımı 1 clo kabul edilmiştir.

Yaz şartları yani soğutma periyodu için;

- Operatif sıcaklık $24.5 \text{ °C} \pm 1.5 \text{ °C}$,
- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,
- Zeminden 0.1 m ve 1.1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3 °C den az olması

önerilmektedir. Önerilen hava hızları ise, hava sıcaklığı ve türbülans yoğunluğuna bağlı olarak grafik halde sunulmaktadır. Önerilen hava sıcaklığı aralığında ortalama hava hızı, %10 ile %20 türbülans yoğunluğu arasında yaklaşık 0.2 m/s civarında kalmaktadır.

Kış şartları yani ısıtma periyodu için;

- Operatif sıcaklık $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,
- Zeminden 0.1 m ve 1.1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ den az olması,
- Zemindeki yüzey sıcaklığının $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında kalması (fakat yerden ısıtma sistemlerinin $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ için dizayn edilebileceği),
- Pencereler veya diğer soğuk yüzeylerden dolayı ışıınım sıcaklığı asimetrisinin $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ den az olması,
- Tavandan ısıtmadan dolayı ışıınım sıcaklığı asimetrisinin $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ den az olması

önerilmektedir. Önerilen hava hızları ise yine hava sıcaklığı ve türbülans yoğunluğuna bağlı olarak grafik halde sunulmaktadır. Önerilen hava sıcaklığı aralığında ortalama hava hızı yine, %10 ile %20 türbülans yoğunluğu arasında yaklaşık 0.2 m/s civarında kalmaktadır.

Bu standartta, çeşitli metabolik aktivite düzeyleri ve giysi yalıtım değerleri için %50 bağıl nem durumunda, farklı hava hızı değerlerinde PMV indisinin alacağı değerler de tablolar halinde sunulmaktadır. Bahsedilen PMV değeri tabloları standart da şu aralıklar için mevcuttur:

- $0\text{ clo} \leq I_{cl} \leq 2\text{ clo}$
- $58\text{ W/m}^2 = 1\text{ met} \leq M \leq 232\text{ W/m}^2 = 4\text{ met}$
- $0.1\text{ m/s} \leq v \leq 1\text{ m/s}$

3. ISIL KONFOR MODELLERİ

Yaygın olarak kullanılan iki ısıl konfor modeli mevcuttur. Bunlar sürekli rejim enerji dengesi ve iki bölmeli anlık enerji dengesi modelleridir. Her iki modelde de deri sıcaklığının ve deri yüzeyinden ısı geçişinin vücut üzerinde düzgün dağılımlı oldukları varsayılmıştır ve vücut bir bütün olarak tek parça düşünülmüştür.

3.1. İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modeli

Geçici rejim için geliştirilen ve Gagge modeli olarak da bilinen bu model, insan vücudunun tümünü iç içe iki silindir olarak ele alır [1,5,6]. İçteki silindir vücudun içini (iskelet, kaslar, iç organlar), dıştaki silindir ise deri tabakasını temsil eder. Gagge modelinde iki silindir arasında ısı ve kütle transferi olduğu gibi dış silindirden ortama da duyulur ve gizli ısı transferi olmaktadır. Bu model aşağıda belirtilen kabuller üzerine kurulu bir modeldir;

1. Her bölmenin (kor ve deri) sıcaklığı üniformdur.
2. Metabolik ısı üretimi, yapılan iş ve nefes yolu ile olan ısı kaybı iç bölme yani kor tabakası ile ilişkilidir.
3. Deriden iletimle ısı geçişi ihmal edilebilir.
4. İki bölme arasında gerek iletim ve gerekse kan akışı yoluyla enerji alışverişi olur.

Anlık enerji dengesinde, birim zamanda depolanan ısı enerji, net ısı kazancı ile ısı kaybı arasındaki farka eşittir. Her iki silindir için Termodinamiğin I. kanunu yazılırsa;

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - Q_{cr,sk} \quad (1)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (C + R + E_{sk}) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir [1]. Bu denklemlerde,

- S_{cr} = birim zamanda iç bölmede depolanan ısı enerji, W/m^2
- S_{sk} = birim zamanda deride depolanan ısı enerji, W/m^2
- M = metabolik ısı enerji üretimi, W/m^2
- W = yapılan mekanik iş, W/m^2
- C_{res} = solunum ile olan taşınım ısı kaybı, W/m^2
- E_{res} = solunum ile olan buharlaşma ısı kaybı, W/m^2
- $Q_{cr,sk}$ = iç bölmeden deriye vücut dokularından olan iletim ve kan akışı ile olan taşınım ile ısı geçişinin toplamı, W/m^2
- $C+R$ = deriden duyulur ısı kaybı, W/m^2
- E_{sk} = deriden toplam buharlaşma ısı kaybı, W/m^2

olarak tanımlanmaktadır. Vücutta birim zamanda depolanan ısı enerji anlık iç enerji artışına eşittir. Birim zamanda depolanan enerji, kor ve deri tabakası için ayrı ayrı ısı kapasite ile birim zamanda sıcaklık değişiminin çarpımı olarak ifade edilirse,

$$S_{cr} = (1 - \alpha) \cdot m \cdot c_{p,b} \cdot (dT_{cr} / d\theta) / A_D \quad (3)$$

$$S_{sk} = \alpha \cdot m \cdot c_{p,b} \cdot (dT_{sk} / d\theta) / A_D \quad (4)$$

şekillerinde yazılabilir. Bu denklemlerde,

- α = boyutsuz olarak vücut kütlelerinin deri bölgesinde bulunan oranı
- m = vücut kütlesi, kg
- $c_{p,b}$ = vücudun özgül ısı (3490 J/kg.K)
- θ = zaman, s

olarak tanımlanmaktadır [1].

3.2. Sürekli Rejim Enerji Dengesi

İnsan vücudunun ısı denge durumunda olduğu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceği varsayımına dayanan sürekli rejim enerji dengesi modeli Fanger tarafından geliştirilmiştir [1]. Bu modelde, vücut deri ile sınırlandırılmış tek bir sıcaklığa sahip bir kontrol hacmi olarak ele alınır. Vücut tek bölme olarak ele alındığı için, bu modelde titreme ve kan akışı ile denetim göz önünde bulundurulmaz ve sıcaklık zamana göre sabit kabul edilir. Isı depolaması yoksa sürekli rejimde, vücut tarafından üretilen ısı vücuttan olan ısı kayıplarına eşit olmalıdır.

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (5)$$

Bu bağlamda,

- Q_{sk} = deriden olan toplam ısı kaybı, W/m^2
- Q_{res} = solunum ile olan toplam ısı kaybı, W/m^2

anlamlandırılır.

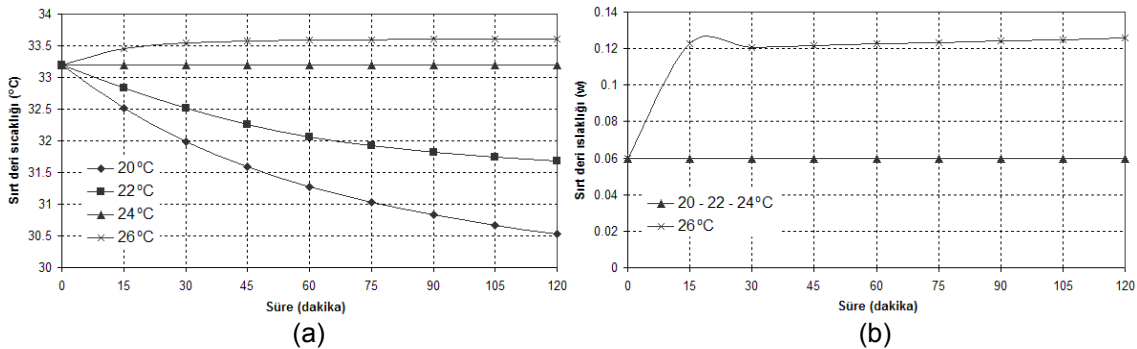
Çok yaygın olan bu iki model dışında sık kullanılan başka bir model ise Stolwijk modelidir. Bu modelde vücut parçaları iç bölge, kas, yağ ve deri bölgeleri olmak üzere dört bölmeye ayrılmıştır. Isı transferi bölmeler arasında iletim ve kan üzerinden taşınım ile olur. Metabolik ısı üretimi çeşitli bölgelere ve tabakalara orantılı olarak bölünür. Çevre ile temasta olan deri bölgesi taşınım, ışınım ve buharlaşma yoluyla çevre ile ısı alışverişinde bulunur. Bu modelde her bir bölme için enerji dengesi uygun şekilde yazılarak çözüme gidilir.

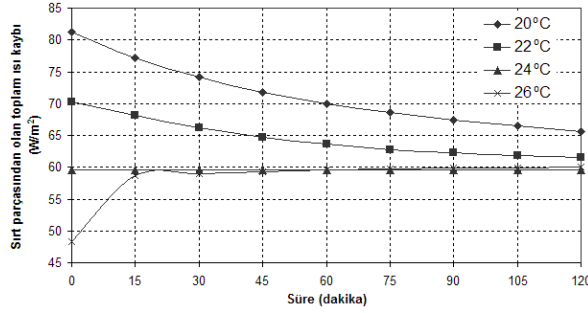
4. ÇEŞİTLİ KONFOR PARAMETRELERİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bahsedilen mevcut standartlardan ve ısı konfor modellerinden görülebileceği gibi, ortam sıcaklığı, hava hızı, nem miktarı, ışınım sıcaklığı ve insanın metabolik aktivite seviyesi konforu etkileyen en temel parametrelerdir. Aşağıda bu parametrelerin etkileri ele alınacaktır. Giysi durumu da bu parametreler arasında sayılabilir, ancak özellikle yaz şartlarında kullanılan giysi takımları için direnç miktarı 0.5 clo, kış şartlarında kullanılanlar için ise 1 clo civarında olduğundan, bu parametrenin etkisi tekrar incelenmemiştir. İnceleme yapılırken, iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli kullanılmış fakat özellikle ışınım sıcaklığının farklı vücut parçalarına olan etkisini görebilmek için vücut 16 ayrı parçaya bölünerek model ele alınmıştır. İki bölmeli anlık enerji dengesi modelinin 16 vücut parçası üzerine uygulanışı literatürde mevcuttur [7,8,9].

4.1. Sıcaklık Etkisi

Sıcaklık etkisi incelenirken vücudun en büyük parçalarından biri olan sırt bölgesi göz önüne alınmış, ortam hava hızı ve bağıl nemi olarak sırasıyla ideal değerler olan 0.2 m/s ve %50 değerleri uygulanmıştır. İncelemede sakin oturma durumu ele alınmış ve bu durum için metabolik aktivite düzeyi 60 W/m^2 olarak alınmıştır. Şekil 2-a' da sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında sırt bölgesi deri sıcaklığı nötr sırt deri sıcaklığı $33.2 \text{ }^\circ\text{C}$ de sabit kalırken, $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında yaklaşık $0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar yükselmektedir. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklıklarında ise sırasıyla yaklaşık $2.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ lik düşüşler meydana gelmektedir. Şekil 2-b.' de sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi sunulmaktadır. $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklıklarında aktif ter salgısı meydana gelmezken, $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında hafif bir terleme ile deri ıslaklığı yaklaşık 0.12 değerine yükselmektedir. $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklıklarında ise deri ıslaklığı difüzyona bağlı olarak meydana gelen 0.06 değerinde sabit kalmaktadır. Şekil 2-c' de sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi sunulmaktadır. Toplam ısı kaybı değerleri deriden olan duyulur ve buharlaşma ısı kayıplarının yanında çok küçük bir değer olan solunum kayıplarını da içermektedir. Şekilden görülebileceği üzere, $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, üretilen metabolik enerji olan 60 W/m^2 değerinin tamamı sürekli olarak vücuttan bulunulan ortama transfer edilebilmektedir ve böylece sırt parçası deri sıcaklığı nötr değer olan $33.2 \text{ }^\circ\text{C}$ de sürekli korunmaktadır. $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, deri ile ortam arasındaki sıcaklık farkının diğer ortam sıcaklıklarına göre kısmen düşük olması nedeni ile başlangıçta vücuttan atılması gereken 60 W/m^2 lik metabolik enerjinin yaklaşık 50 W/m^2 kadar atılabilmekte, zamanla aktif terleme ile gerekli tüm miktar ortama transfer edilebilmektedir. Fakat $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklıklarında atılması gerekli 60 W/m^2 nin çok çok üzerinde ısı vücuttan atılmakta, bu da sırt bölgesi deri sıcaklığının düşmesine sebebiyet vermektedir. Modelden elde edilen sonuçlar yaz şartlarında $24 \text{ }^\circ\text{C}$ nin altındaki ortam sıcaklıklarının konforsuz ortamlara yol açabileceğini açıkça ortaya koymaktadır.



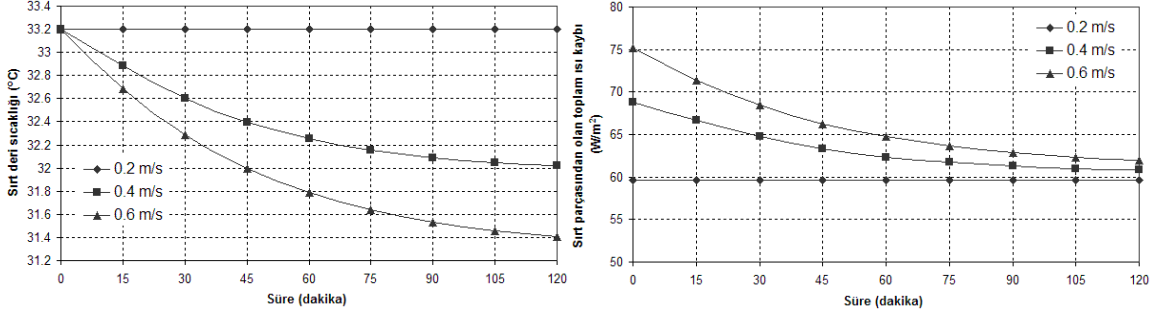


(c)

Şekil 2. Ortam Sıcaklığının Deri Sıcaklığı, Deri Islaklığı ve Isı Kaybı Üzerine Etkisi [7].

4.2. Hava Hızı Etkisi

İnsanın ısı ortamına verdiği tepkiler incelenirken, sabit değerler olarak %50 bağıl nem ve 24 °C ortam sıcaklığı değerleri uygulanmış, metabolik aktivite seviyesi yine 60 W/m² olarak alınmıştır. Ortam hava hızına bağlı olarak sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 3-a' da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, 0.2 m/s hava hızında sırt parçası deri sıcaklığı 33.2 °C nötr deri sıcaklığında sabit kalırken 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızında sırt parçası deri sıcaklığı yaklaşık 1.2 °C ve 1.8 °C azalmaktadır. Sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 3-b' de verilmiştir. 0.2 m/s hava hızında metabolik ısı üretimine bağlı olarak atılması gereken 60 W/m² lik ısı, bulunulan ortama sürekli olarak atılırken, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında atılması gerekenden daha fazla ısı transferi gerçekleşmekte ve normal olarak deri sıcaklığı zamanla düşmektedir. Elde edilen sonuçlar yüksek ortam havası hızlarının konforsuzluğa yol açabileceğini açıkça göstermektedir.

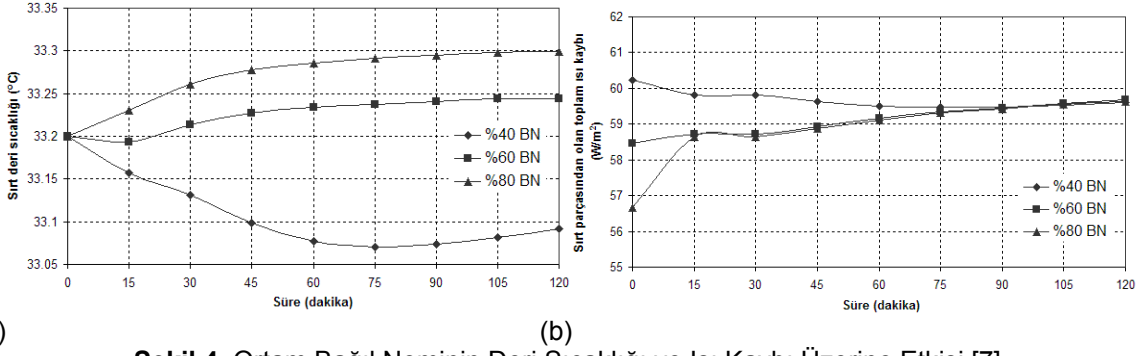


(b)

Şekil 3. Ortam Hızının Deri Sıcaklığı ve Isı Kaybı Üzerine Etkisi [7].

4.3. Nem Etkisi

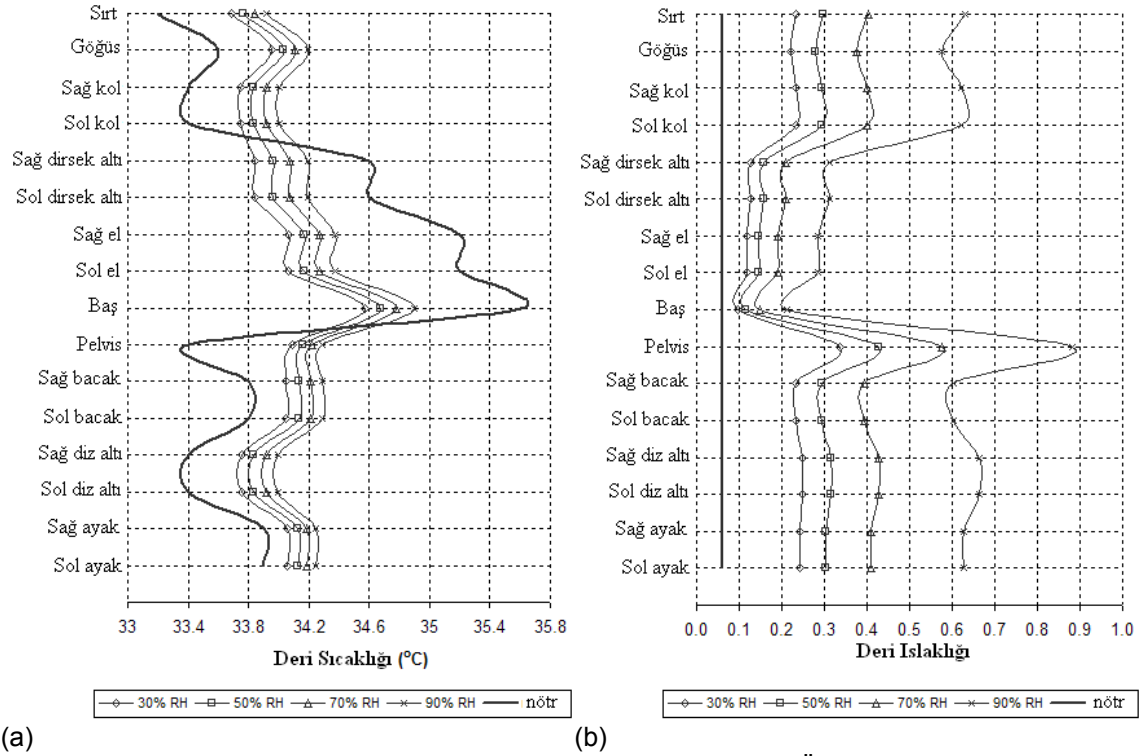
Vücudun ortam bağıl nemine verdiği tepki incelenirken, ortam sıcaklığı 24 °C, hava hızı ise 0.2 m/s' de sabit tutulmuş, metabolik aktivite seviyesi 60 W/m² olarak alınmıştır. Şekil 4-a' da ısı ortam bağıl nemine bağlı olarak sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi verilmiştir. Grafik düşey eksenine bakılırsa, ortam bağıl neminin sırt bölgesi deri sıcaklığı üzerine çok fazla etken olmadığı açıkça görülecektir. Sırt bölgesi deri sıcaklığı, %40 bağıl nemde yaklaşık 0.15 °C düşerken, %60 ve %80 bağıl nem değerlerinde sırasıyla yaklaşık 0.05 °C ve 0.1 °C yükselmektedir. Yani ısı ortam bağıl nemi deri sıcaklığı üzerine ortam hava hızı ve sıcaklığı kadar etken değildir. Ortam bağıl nemine bağlı olarak vücut ıslaklığının zaman ile değişimi grafik halde verilmemiştir. Çünkü %40 bağıl nemde vücut ıslaklığı 0.06 değerinde sabit kalırken, %60 ve %80 bağıl nem seviyelerinde de maksimum 0.067 değerine yükselmektedir.



Şekil 4. Ortam Bağıl Neminin Deri Sıcaklığı ve Isı Kaybı Üzerine Etkisi [7].

Kuru halde sırt bölgesinden atılan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi de Şekil 4-b' de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, ısı ortam bağıl neminin değişimi deriden olan toplam ısı kaybını çok fazla etkilememektedir. Toplam ısı kaybı ısı ortam bağıl nemine bağlı olarak yaklaşık 58 W/m^2 ile 60 W/m^2 arasında değişmektedir. Bu değerde zaten vücuttan atılması gereken metabolik ısı üretimi değeri 60 W/m^2 'ye yakındır ve bu nedenle deri sıcaklığı ısı ortam bağıl neminden çok fazla etkilenmemektedir.

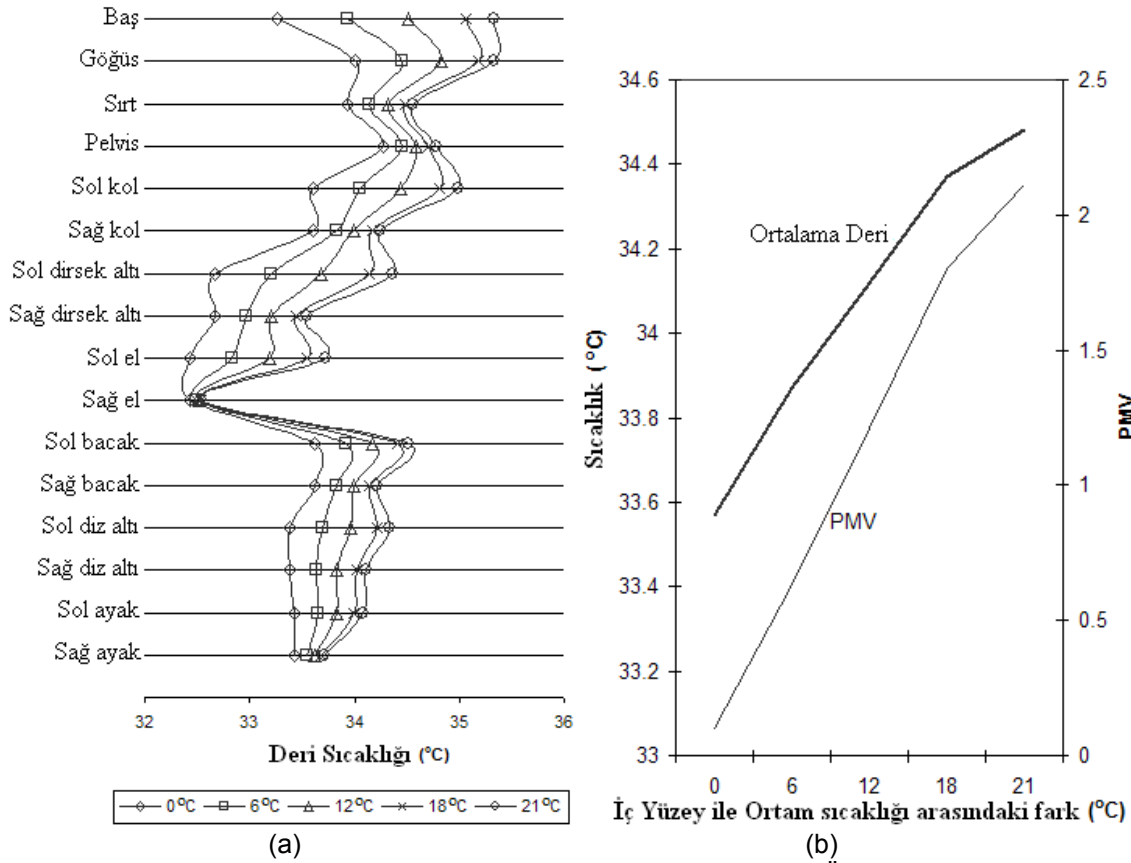
Mevcut analizden, ortam sıcaklığının ısı konfor için kabul edilebilir aralıkta olması şartıyla bağıl nemin deri sıcaklığı ve deriden olan ısı kaybı üzerine etken bir parametre olmadığı sonucu çıkarılabilir. Bağıl nem yüksek ortam sıcaklıklarında önemli bir parametre haline gelmektedir. Şekil 5-a incelenirse 30°C ortam sıcaklığında bağıl nemin vücut parçası deri sıcaklığını etkilediği, bu etkilenmenin giyimli vücut parçalarında daha fazla olduğu görülebilir. Yine Şekil 5-b incelendiğinde, bağıl nemin yüksek ortam sıcaklıklarında vücut parçası deri ıslaklığı üzerinde de etken olduğu açıkça görülebilmektedir. Yüksek ortam nemi, özellikle giyimli vücut parçalarında yüksek vücut ıslaklıklarına dolayısıyla konforsuzluk hissine sebebiyet verebilmektedir.



Şekil 5. Ortam Bağıl Neminin Deri Sıcaklığı ve Islaklığı Üzerine Etkisi [8].

4.4. Işınım Sıcaklığı Etkisi

Işınım sıcaklığı da konfor üzerine etken olan parametrelerden biridir. Ortam sıcaklığı, hava hızı ve nemi istenilen değerlerde tutulsa bile hacimde bulunan sıcak veya soğuk yüzeyler, mekânı kullananlar için konforsuzluğa sebebiyet verebilecektir. Şekil 6' da iç yüzey ile ortam sıcaklığı arasında oluşacak farkın vücut parçaları deri sıcaklığı, ortalama deri sıcaklığı ve konfor algıları üzerine etkisi incelenmektedir. İncelemede ortam hava hızı, bağıl nemi ve insanın metabolik aktivite düzeyi sırasıyla 0.2 m/s, %50 ve 60 W/m² olarak alınmıştır. Bir hacim içerisinde çok fazla ışınım yapan yüzey ve nesne olduğu için bu grafikler oluşturulurken, sadece insanın sol ve ön tarafındaki duvarlar ile tavan sıcaklığının ortam sıcaklığından farklı olduğu, diğer yüzey sıcaklıklarının ortam sıcaklığına eşit olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 6-a' dan da görülebileceği üzere, bahsedilen yüzeyler ile ortam sıcaklığı arasında farkın artması, vücut parçası deri sıcaklıklarını önemli derecede etkilemektedir. Özellikle tavana yakın olan baş vücut parçası ve ön duvara yakın olan göğüs vücut parçası ile vücudun sol bölümünde kalan vücut parçalarında olan sıcaklık artışları, diğer parçalara nazaran daha yüksek olmaktadır. Şekil 6-b' den de artan sıcaklık farkı ile ortalama deri sıcaklığının yükseldiği, başlangıçta sıfır olan PMV değerinin 2 değerlerine kadar yükseldiği ve konfor algılarının önemli miktarlarda etkilendiği açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, ortamda bulunan düşük veya yüksek sıcaklıklardaki yüzey veya nesnelere insanı etkileyen ışınım sıcaklığını ve dolayısıyla konfor algılarını etkin bir şekilde değiştirdiği ve dikkate alınması gerekli olan bir parametre olduğu söylenebilir.

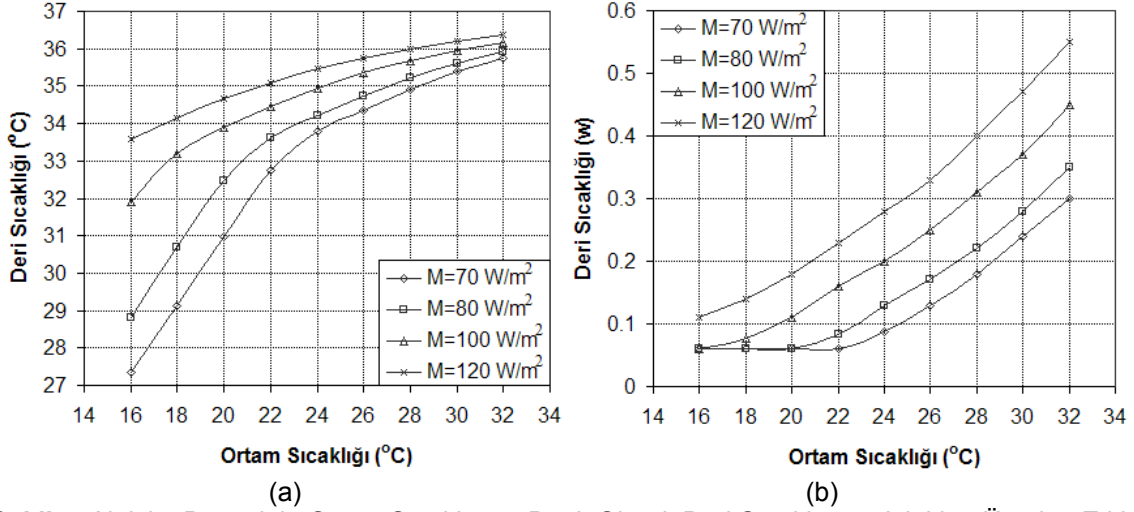


Şekil 6. Işınım Sıcaklığının Deri Sıcaklığı ve Konfor Algıları Üzerine Etkisi [9].

4.5. Metabolik Aktivite Etkisi

Konfor algıları üzerine etken bir diğer parametre de kişinin metabolik aktivite seviyesidir. Şekil 7' de farklı ortam sıcaklıklarında aktivite seviyesinin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisi verilmektedir. Bahsedilen grafiklerde hava hızı 0.2 m/s ve nem oranı %50 olarak alınmış ve vücut bir bütün olarak

düşünülmüştür. Şekil 7-a' dan da görülebileceği üzere, sakin ayakta durma konumunu temsil eden 70 W/m^2 metabolik aktivite düzeyinde $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında yaklaşık $33.7 \text{ }^\circ\text{C}$ olan deri nötr sıcaklığı korunurken, artan aktivite düzeyi ile konforlu sayılan bu ortamda dahi vücut deri sıcaklığı yükselmektedir. Deri ıslaklığı da artan metabolik aktivite düzeyi ile değişmektedir. Bu durum Şekil 7-b' den de görülebilmektedir. Artan aktivite düzeyi ile vücut ıslaklığı, difüzyona bağlı olarak olması gerekli normal deri ıslaklığı değeri 0.06 nın üzerine çıkmaktadır. Bütün bu sonuçlardan görülebileceği üzere, metabolik aktivite düzeyi de insan ısı konforunu etkileyen ve iklimlendirilen hacimlerde mutlaka dikkat edilmesi gerekli parametrelerden birisidir.



Şekil 7. Aktivite Düzeyinin Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Deri Sıcaklığı ve Islaklığı Üzerine Etkisi [10].

5. DENEYSEL VERİLER

Isıl konfor ya da konforsuzluğun yani ısı duyumun tespiti genellikle "Tahmini Ortalama Oy (PMV)" indisi kullanılarak yapılmaktadır. PMV geniş bir insan grubunun ısı ortama verdiği tepkiyi ortalama olarak tahmin edebilen 7 noktalı ölçeğe dayalı bir ısı duyum indisidir. Bu ölçek şu şekildedir: 0 Nötr, ± 1 biraz ılık / biraz serin, ± 2 ılık / serin, ± 3 sıcak / soğuk. Kontrollü bir şartlandırma odasında her bir parametre değişiminde 3 denek kullanılarak yapılan sorgulamalar sonucunda elde edilen PMV değerleri Tablo 1' de verilmiştir. Bu sorgulama sırasında denekler şartlandırma odasında 2 saat süreyle kalmışlar, bu periyot boyunca ilk 10 dakika içinde, ilk 1 saat sonunda ve deneyin son 5 dakikası içerisinde PMV değerleri istenmiş ve ortalamalar alınarak sonuca varılmıştır. İnsanların iklimlendirilmiş mekânlara terli olarak da girebileceği göz önünde bulundurularak hem kuru hem de ıslak halde incelemeler yapılmıştır. Yapılan deneyler ile kullanılan cihaz ve parametrelerle ilgili detaylı bilgiye [7,11] no lu kaynaklardan ulaşılabilmektedir. Deneylerde nem değişimi de incelenmiş ancak her nem kademesinde PMV değeri ± 0.5 aralığında kalmıştır. Tablodan da görülebileceği gibi konfor için kabul edilebilir değerler olan $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 0.2 m/s hava hızı değerlerinde insanlar kendilerini konforlu hissederken, daha yüksek hava hızlarında ve daha düşük sıcaklıklarda konforsuzluk hissi gözlemlenmiştir. Konforsuzluğun ortaya çıktığı bu şartlar konfor aralığında olmasa da konfor bölgelerine oldukça yakın olması ve iklimlendirilen ortamlarda ortaya çıkabilecek şartlar olması bakımından önem arz etmektedir.

Tablo1. Deneylerde Elde Edilen PMV değerleri [7,11].

	20 °C			22 °C			24 °C		
	0.2m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.2m/s	0.4m/s	0.6m/s	0.2m/s	0.4m/s	0.6m/s
Kuru	-1.74	-1.75	-1.58	-1.04	-1.33	-1.46	-0.50	-0.75	-1.25
Islak	-1.84	-2.00	-1.83	-1.34	-1.83	-1.63	-0.50	-1.16	-1.50

İklimlendirilen ortamlarda çalışan veya yaşayan insanların sıklıkla boyun hareket kısıtlılıklarından yakındıkları da bilinen bir konudur. Bu çerçevede söz konusu deneyler sırasında boyun hareketlerinde oluşan kısıtlılıklarda incelenmiştir ve Tablo 2' de sunulmuştur. Bu tabloda çeşitli analizlerde elde edilen boynun sağa ve sola rotasyonlarında oluşan açı kaybı ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. Sıcaklık ve hal (vücudun kuru veya ıslak olması hali) faktörlerinin incelendiği 1. analiz neticesinde tablodan da görülebileceği üzere, artan ortam sıcaklığı ile hem kuru hem de ıslak halde boyun açı kayıplarının azaldığı görülebilmektedir. Değerler incelendiğinde, vücudun ıslak veya kuru olmasının da etkin olmadığı, her iki hal içinde kayıp değerlerinin birbirine yakın olduğu anlaşılabilmektedir. Hız ve hal faktörlerinin ele alındığı 2. analizden elde edilen neticeler tablodan incelendiğinde, vücut kuru halde iken artan hava hızı ile boyun açı kaybı arasında çarpıcı değişimler olmadığı, ıslak halde ise artan hava hızıyla boyun açı kaybı değerlerinin yükseldiği ve kuru hale göre daha büyük değerler aldığı açıkça görülebilmektedir. Nem ve hal faktörlerinin incelendiği 3. analizde, artan nem ile çarpıcı değişimler meydana gelmemiştir.

Tablo 2. Deneysel Olarak Elde Edilen Ortalama Boyun Açı Kaybı ve Standart Sapmaları (derece) [11].

Parametre ve Seviyesi	Servikal Hareket			
	Sağa Rotasyon		Sola Rotasyon	
	Hal		Hal	
	Kuru	Islak	Kuru	Islak
<i>Sıcaklık (1. Analiz)</i>				
20 °C	6.25 ± 4.78	6.25 ± 4.78	10 ± 7.07	5 ± 5.77
22 °C	3.33 ± 2.89	3.33 ± 2.89	3.33 ± 2.89	10 ± 0
24 °C	2.5 ± 2.89	0 ± 0	3.75 ± 4.79	0 ± 0
26 °C	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
<i>Hız (2. Analiz)</i>				
0.2 m/s	1.25 ± 2.5	0 ± 0	2.5 ± 2.89	1.67 ± 2.89
0.4 m/s	1.25 ± 2.5	5 ± 5	3 ± 3.56	8.33 ± 5.77
0.6 m/s	0 ± 0	8.3 ± 5.77	0 ± 0	10 ± 5
<i>Nem (3. Analiz)</i>				
%40 Rh	8.33 ± 2.89	5 ± 5	8.33 ± 2.89	1.67 ± 2.89
%60 Rh	0 ± 0	5 ± 5	0 ± 0	3.33 ± 2.89
%80 Rh	6.25 ± 4.79	3.33 ± 5.77	6.25 ± 4.79	3.33 ± 5.77

Tablo 3. Sağa ve Sola Rotasyonlar İçin ANOVA Analizinden Elde Edilen P Değerleri [11].

Analizler ve Faktörler	Servikal Hareket	
	Sağa Rotasyon	Sola Rotasyon
1. Analiz		
Sıcaklık	0.0158 < 0.05	0.0188 < 0.05
Hal	0.8120	0.7824
Sıcaklık ve hal etkileşimi	0.8174	0.0930
2. Analiz		
Hız	0.2535	0.2820
Hal	0.0220 < 0.05	0.0084 < 0.05
Hız ve hal kesişimi	0.0453 < 0.05	0.0442 < 0.05
3. Analiz		
Bağıl Nem	0.1846	0.1486
Hal	0.9545	0.2981
Bağıl nem ve hal etkileşimi	0.1648	0.0716

Tablo 2.' den gözlemlenen sonuçları geçerli kılmak için, ANOVA analizleri de yapılmış ve bu sonuçlar Tablo 3.' de özetlenmiştir. Bu analizde, P değeri bir faktörün etki olasılığını gösterir ve %95 güven seviyesi için, 0.05 in altında kalan P değerleri istatistiksel olarak önemlidir, yani faktör etkindir. Tablo 2. incelendiğinde, sıcaklığın boyun açığı üzerine etken olduğu görülebilmektedir (P=0.0158 ve P=0.0188). Diğer bir deyişle, hava sıcaklığı sağa rotasyon için %98.42, sola rotasyon için %98.12 olasılıkla boyun açığı üzerine etkindir. Yine mevcut tablodan görüleceği üzere, hal ile hız ve hal kesişiminin boyun açığı üzerine etken olduğu görülebilmektedir. Bunu anlamı, vücut kuru halde iken hız etkin değildir fakat ıslak haldeyken hız etkindir şeklinde yorumlanabilir. Tablo 3.' den görülebileceği üzere, nemin boyun açığı üzerine herhangi bir etkisi görülmemektedir. Faktör seviyeleri arasındaki farkı inceleyebilmek için yapılan istatistiksel SNK testi, sağa rotasyon için 20 °C hava sıcaklığının 24 °C ve 26 °C hava sıcaklıklarından önemli şekilde farklılıklar gösterdiğini, 22 °C hava sıcaklığının ise diğer sıcaklık seviyeleriyle önemli bir fark göstermediğini ortaya koymuştur. Sola rotasyon için ise 20 °C ile 26 °C' nin önemli farklar arz ettiği, 22 °C ve 24 °C' nin ise diğer sıcaklıklar ile fark göstermediği elde edilmiştir. 2. analiz için yapılan SNK testi ise, hız seviyeleri arasında bir fark olmadığı, fakat vücudun kuru ya da ıslak olmasının önemli şekilde farklılıklar arz ettirdiği sonucunu vermektedir. Bütün bu testlerden sonra, yüksek boyun açığı değerlerinden dolayı, 20 °C ve 22 °C hava sıcaklıklarının vücudun kuru veya ıslak olmasından bağımsız olarak riskli olduğu, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarının da yine yüksek açığı nedeni ile vücudun ıslak olması durumunda riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Bahsedilen bu ortam şartlarının konforsuzluk yarattığı da Tablo 1' de gösterilmiştir. Böylece, boyun hareket kısıtlılıkları rastlanan ortam şartlarının sadece ısı olarak konforsuz bir ortam yaratmadığı aynı zamanda insanı fizyolojik olarak da etkilediği görülebilmektedir.

SONUÇ

Çalışmada, ısı konforu ile ilgili mevcut standartlar tanıtılmış, ısı konforunun ve parametrelerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan 2 ayrı model incelenmiştir. Bahsedilen modellerden elde edilen veriler ile sıcaklık, hava hızı, nem, ışınım sıcaklığı ve metabolik aktivite seviyesi gibi ısı konfor parametrelerinin etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir, her birinin önemine dikkat çekilmiştir. Güncel standartlarda verilen konfor sınırlarının dışında kalan fakat konfor bölgelerine yakın 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığı ile 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızları değerlerinin ortamı kullanan insanlar için sadece konforsuzluk yaratmadığı aynı zamanda boyun hareket kısıtlılıklarına sebebiyet verebileceği de gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8., Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. 29p., 1993.
- [2] BUTERA, F.M., “Chapter 3 – Principles of Thermal Comfort”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2: 39 – 66, 1998.
- [3] ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004, “Thermal environmental conditions for human occupancy”, 2004.
- [4] ISO 7730, “Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort” International Organization for Standardization, 1994.
- [5] GAGGE, A.P., STOLWIJK, J.A.J., NISHI, Y., “An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response”, ASHRAE Transactions, 77 (1): 247 – 257, 1971.
- [6] GAGGE, A.P., FOBELETS, A.P., BERGLUND, L.G., “A standard predictive index of human response to the thermal environment”, ASHRAE Transactions, 92 (2B): 709 – 731, 1986.
- [7] ATMACA, İ., “Isıl konfor parametrelerinin insan üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora tezi, Bursa, 2006.
- [8] ATMACA, İ., YİĞİT, A., “Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness”, Journal of Thermal Biology, 31: 442 – 452, 2006.
- [9] ATMACA, İ., KAYNAKLI, Ö., YİĞİT, A., “Effects of radiant temperature on thermal comfort”, Building and Environment, 42: 3210 – 3220, 2007.
- [10] YİĞİT, A., ATMACA, İ., “İklendiren ortamlar için ısı konforu geçici rejim enerji dengesi modeli ile değerlendirilmesi”, İKLİM 2005 Ulusal İklimlendirme Sempozyumu ve Sergisi, Bildiriler Kitabı: 232 – 243, 2005.
- [11] ATMACA, İ., YİĞİT, A., “İklendiren ortamlarda insane ısı tepkileri ve sağlığı üzerine deneysel bir araştırma”, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı: 319 – 337, 2007.

ÖZGEÇMİŞ**İbrahim ATMACA**

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı. Halen Akdeniz Üniversitesinde Öğretim Üyesidir.

Abdulvahap YİĞİT

1961 yılı Pertek doğumludur. 1982 yılında İ.T.Ü. Genel Makine bölümünden lisans, 1984 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans diplomasını aldı. Aynı enstitüde 1990 yılında doktorasını tamamladı. 1993 yılında Doçent, 2000 yılında Profesör oldu. Halen Uludağ Üniversitesinde öğretim üyesidir. Evli ve üç çocuk babasıdır.