

İKLİMLENDİRİLEN ORTAMLARDA İNSAN ISIL TEPKİLERİ VE SAĞLIĞI ÜZERİNE DENEYSSEL BİR ÇALIŞMA

İbrahim ATMACA
Abdulvahap YİĞİT

ÖZET

İş verimini ve üretkenliği etkileyen en önemli etkenlerden biri de şüphesiz ısı konfordur. İklimlendirme işlemi yapılacak bir hacim için uygun sistemin seçimi, sistemin ekonomikliğı ve güvenilirliğinin yanında hacimde çalışan veya ikamet edenler için ısı konforun sağlanması da konuyla ilgili mühendislerin ilgi alanına girmektedir. Isıl konfor, insanın boyutları, yaşı, cinsiyeti gibi birçok parametreye bağlı olsa bile, yoğunlukla insanların kendini konforlu hissettiğı ortam şartları ISO 7730 ve ASHRAE 55-2004 gibi uluslar arası standartlarda verilmektedir. Günümüzde gelişen kontrol sistemleri ile iç ortam şartları istenilen değerlerde sabitlenebilir olsa da yanlış projelendirme veya seçilen kontrol sisteminin yetersizliğı gibi nedenler ile ortam şartlarından biri veya birçoğı konfor için istenilen aralıkların sınırlarına veya sınırlara yakın değerlere ulaşabilmekte bu da hacmi kullanan insanlar için konforsuzluğun yanı sıra çeşitli sağlık problemlerine de sebebiyet verebilmektedir. Bahsedilen bu sağlık problemlerinden biri de mekanik olarak iklimlendirilmiş ortamları kullanan insanların sıklıkla yakındıkları baş ve boyun hareketliliklerindeki kısıtlılıklardır. Bu çalışmada öncelikle mevcut standartlarda verilen ısı konfor için gerekli iç ortam şartları irdelenecektir. Daha sonra insanın ısıl tepkilerini analiz eden hesaplamalı bir simülasyon programı sonuçları ve deneysel olarak elde edilen ısıl tepkiler karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Son olarak da, deneysel olarak elde edilen, sıcaklık, nem, hava hızı gibi iklimlendirilmiş ortam şartlarının, boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilecektir.

1. GİRİŞ

İnsanların sıklıkla kullandığı hemen hemen tüm hacimler yaz ve kış şartlarına bağlı olarak değişik sistemler ile iklimlendirilmektedir. İklimlendirme sistemlerinin kullanım amacı bina sakinleri için konforlu ve sağlıklı iç ortam havası sağlamaktır. Bu nedenden dolayı, etkin bir sistem seçimi veya dizaynı için insan vücudunun ısıl durumunu ve tepkilerini iyi bir şekilde anlamak ve analiz etmek zorundayız.

Isıl konfor “ısıl çevreden memnun olunan düşünce hali”, ergonomi ise “insanların anatomik özelliklerini, antropometrik karakteristiklerini, fizyolojik kapasite ve toleranslarını göz önünde tutarak, endüstriyel iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisi ile oluşabilecek, organik ve psikososyal stresler karşısında, sistem verimliliğı ve insan – makine – çevre temel yasalarını ortaya koymaya çalışan çok disiplinli bir araştırma ve geliştirme alanı” olarak tanımlanmaktadır [1,2]. Konfor bir düşünce hali olduğu ve çalışılan ortamın ısıl koşulları insan verimliliğini etkilediğı için ısıl konfor ergonominin bir konusu olarak da ele alınabilir ve incelenebilir. Çünkü konforlu olmayan bir ortamda çalışan insan üzerindeki pozitif veya negatif yöndeki ısıl yük, dikkatin dağılmasına ve neticesinde performansın düşmesine sebep olabilir. Kişiyeye göre değişimler, yaş, ortama uyum sağlama, cinsiyet, hava akımı (cereyan) ve asimetrik ısı ışınım gibi detay noktalar dışında konfora etki eden en temel faktörler kişisel ve çevresel parametreler olarak iki grup altında toplanabilir [1]. Kişisel parametreler;

- Kişinin aktivite düzeyi
- Kişinin giyinme durumu

çevresel parametreler ise;

- Ortam sıcaklığı
- Ortam bağıl nemi
- Ortamdaki hava hızı
- Ortamdaki çeşitli yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak ortalama ışıınım sıcaklığı

olarak sıralanabilir.

Fizyolojik ve psikolojik olarak kişiden kişiye farklılıklar olması nedeniyle, bir çevrede bulunan insanların tamamını ısı olarak memnun etmek oldukça güçtür. Yine de ısı konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55 – 2004 [1] ve ISO 7730 [3] gibi uluslararası standartlarda verilmektedir. Bunların yanı sıra, literatürde ısı konfor ve iç hava kalitesi üzerine yapılmış gerek teorik gerekse deneysel birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları insan ısı tepkilerini analiz için model oluşturma amacını taşımaktadır [4–8]. Belirli şartlara haiz ortamlarda insan ısı tepkilerini tayin etme yönünde deneysel çalışmalar da mevcuttur [9–11]. Bütün bunların yanı sıra kişisel ve çevresel parametrelerin her birini ele alan birçok araştırma bulunmaktadır [12–18]. Ayrıca yapılan çalışmalarda, iç ortam hava kalitesi ve havalandırma oranları da incelenmiş ve bunlara bağlı olarak “hasta bina sendromu (SBS)” durumu da ele alınmıştır [19–23].

İklimlendirme sırasında kullanılan sıcaklık, nem, hava hızı gibi ısı konfor parametrelerinin boyun, sırt ağrıları gibi kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açıp açmadığı, bunlara bağlı olarak boyun hareketlerinde kısıtlılıklara neden olup olmadığı tartışmalı ve bilimsel olarak yeterince incelenmemiş bir konudur. Bu çalışmada, iklimlendirilmiş ortamlarda çalışan veya yaşayan insanların sıklıkla boyun hareketlerindeki kısıtlılıklardan yakınması gözlemlerine dayanılarak, boyun hareketleri çevresel şartlardan etkilenebilir şeklinde bir hipotez ortaya atılmış bulunmaktadır.

Çalışmada öncelikle mevcut standartlarda verilen ısı konfor için gerekli iç ortam şartları irdelenecektir. Daha sonra insanın ısı tepkilerini analiz eden hesaplamalı bir simülasyon programı sonuçları ve deneysel olarak elde edilen ısı tepkiler karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Son olarak da, deneysel olarak elde edilen, sıcaklık, nem, hava hızı gibi iklimlendirilmiş ortam şartlarının, boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirilecektir.

2. ISIL KONFOR ile İLGİLİ MEVCUT STANDARTLAR

Isıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55 – 2004 [1] ve ISO 7730 [3] 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 ışıınım sıcaklığını beraber temsil eden bir sıcaklıktır. Bu standartta Konfor aralığı için sıcaklık sınırlarını belirlemede kullanılacak 2 adet metot mevcuttur:

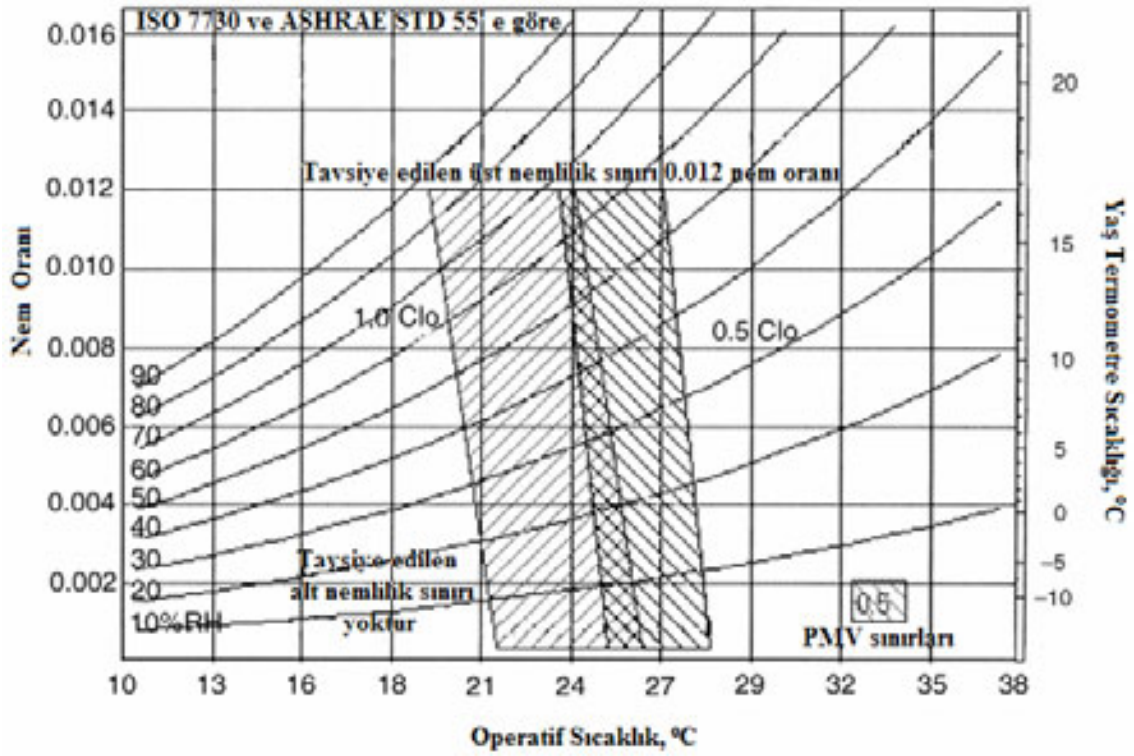
- Basitleştirilmiş grafik metot (tipik uygulamalar için)
- Isıl denge metoduna bağlı bilgisayar programı (daha geniş uygulamalar için)

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

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

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 2 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.



Şekil 1. Operatif sıcaklık ve nem için kabul edilebilir aralıklar [1].

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.

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 $24.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$,
- 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

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 ışınım sıcaklığı asimetrisinin $10 \text{ }^\circ\text{C}$ den az olması,
- Tavandan ısıtmadan dolayı ışınım 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.

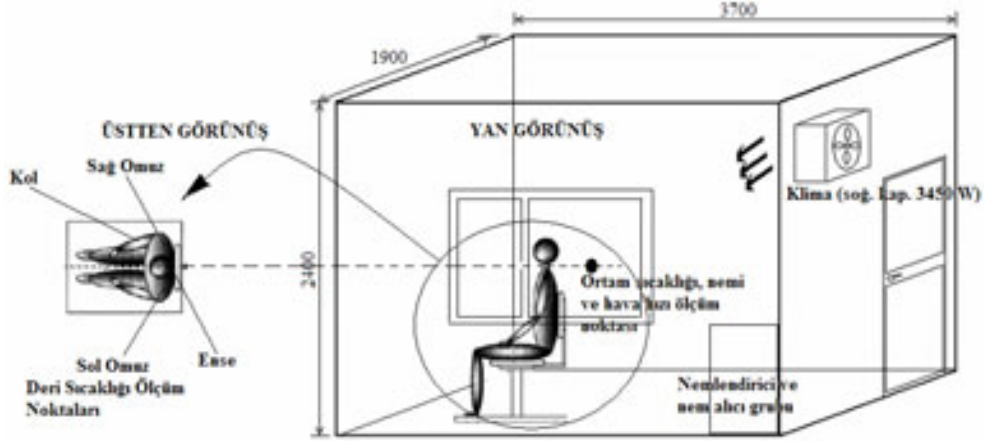
Bu standartta, çeşitli metabolik aktivite düzeyleri ve giysi yalıtım değerleri için %50 bağıl nem durumunda, farklı hava hızı değerlerinde PMV indisinin alacağı değerler de tablolar halinde sunulmaktadır. Bahsedilen PMV değeri tabloları standart da şu aralıklar için mevcuttur:

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

3. DENEYSEL METODOLOJİ

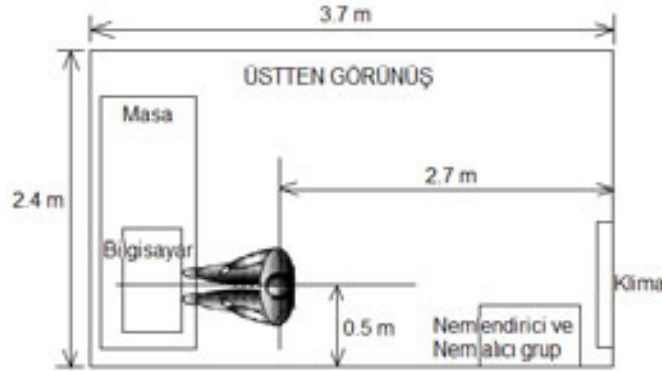
Yapılan deneysel çalışmada, ısı konforu etkileyen çevresel parametrelerden ortam sıcaklığı, nemi ve hava hızının sağlıklı denekler üzerindeki etkileri incelenmiş, servikal hareket açıklıkları olarak da isimlendirilebilen boyun hareket açıklıklarında meydana gelen değişimler ele alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ortam koşullarına bağlı olarak boyun hareket kısıtlılıkları analiz edilirken, elde edilen vücut sıcaklık değerleri de simülasyon sonuçları ile karşılaştırmalarda kullanılmıştır.

Çalışma Şekil 2.' de şematik olarak gösterilen ve Makine Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği laboratuvarında bulunan şartlandırma odasında yapılmıştır. Şartlandırma odasındaki mevcut 3450 W soğutma kapasitesindeki klima, nemlendirici ve nem alıcı vasıtasıyla şartlandırma odasının nemi, sıcaklığı ve ortamdaki hava hızı değerleri sabitlenebilmekte ve mevcut ölçüm cihazları ile ölçülebilmektedir. Yine de ortam şartlarında, deneyler süresince belirli salınımlar gerçekleşmiştir. Deneyler sırasında ölçülen değerler için salınımların, sıcaklık için ± 0.5 °C, nem için ± 5 ve hız için ± 0.05 m/s mertebelerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Şartlandırma odası, insanın konumu ve ölçüm noktalarının şematik görünümü.

Deney kapsamında denekler klimanın bulunduğu yüzeye arkası dönük halde bilgisayar başında oturacak şekilde konumlandırılmışlardır. Şekil 2. de gösterildiği gibi deneğin tam ensesi hizasından ortam sıcaklığı, nemi ve ortamdaki hava hızı ölçülebilmektedir. Deneyler esnasında deneğin 3 noktasından (ense, sol ve sağ omuz altından) deri sıcaklığı ölçümü yapılabilmektedir. Deneklerin konumu ve ölçüm noktaları yine Şekil 2.' den açıkça görülebilmektedir. Deneklerin duvarlardan olan mesafelere göre oturma konumu da Şekil 3. de verilen üstten görünüşten açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3. Şartlandırma odasının üstten görünüşü ve insanın duvarlara göre konumu.

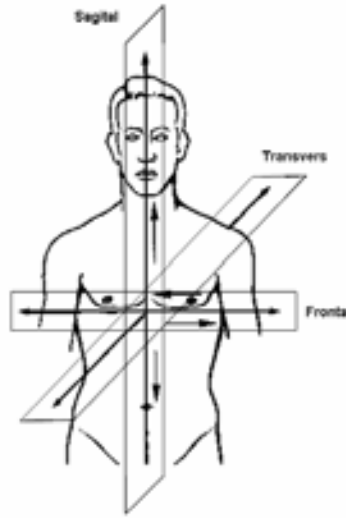
Denekler her deney sırasında sıcaklık, nem ve hava hızı kontrolü sağlanan ısı konfor odasında 2 saat süre ile bulunmuşlardır. Deneyler hem denek vücudunun kuru hali hem de terli hali için yapılmıştır. İlk grup deneysel çalışma 6 hafta sürmüştür. 1. hafta deneklerin vücutları kuru halde iken, oda nemi %50 de tutulmuş, ortam hava hızı 0.2 m/s de sabitlenmiş ve ortam sıcaklığı; 20 °C ile 26 °C arasında 2 °C aralıklar ile değiştirilmiştir.

2. hafta denekler vücutları kuru iken şartlandırma odasına alınmış, ortam sıcaklığı ve nemi 24 °C ve %50 değerlerine sabitli iken hız; 0.2, 0.4 ve 0.6 m/s değerlerine kademelendirilmiştir. 3. hafta da denekler şartlandırma odasına kuru halde girmişler, ortam sıcaklığı ve hava hızı sırasıyla 24 °C ve 0.2 m/s ye sabitlenirken bu defa ortam bağıl nemi; %40, %60 ve %80 değerlerine getirilmiştir. 4., 5. ve 6. hafta ise sırasıyla aynı deneyler denek vücutları ıslak halde iken tekrarlanmıştır. Denekler, ortalama 30 °C sıcaklık ve %70 bağıl nem ortamında, 15 dakika bisiklet egzersizi yaptıktan sonra vücutları tamamen ıslak iken sırasıyla 4. hafta ortam sıcaklığının, 5. hafta ortam hava hızının ve 6. hafta ortam bağıl neminin değiştiği şartlandırma odasına alınmıştır.

İkinci grup deneysel çalışma ise, ilk deneysel çalışmanın sonuçları alındıktan sonra planlanmış ve yapılmıştır. İlk deneysel çalışmalar sonucunda, ortam sıcaklığı, hava hızı ve deneğin ıslak veya kuru olması halinin boyun hareket açıklıkları üzerine etken olduğu tespit edildikten sonra, bu 3 faktörün aynı anda etkisini görmek için ikinci deney setleri ayarlanmıştır. Bu deneyler 4 hafta sürmüş, deney süresince 1. hafta kuru halde 20 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, yine 3 hız kademesi (0.2, 0.4 ve 0.6 m/s) değerlendirilmiştir. 2. hafta aynı koşullarda deneğin ıslak hali göz önünde bulundurulmuştur. 3. ve 4. hafta ise, 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde yine 3 hız kademesi kuru ve ıslak hal için değerlendirilmiştir. Deney setlerinden görüleceği üzere, ikinci grup deneyler sırasında ıslak ortam bağıl nem hep %50 değerinde sabittir. Ortam sıcaklığının 24 °C olması halinde, her 3 hava hızı için de, ilk yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar mevcut olduğu için bu sıcaklık için deneyler tekrar edilmemiştir. Böylece ikinci grup deneysel çalışma ile, deneklerin hem ıslak hem de kuru hali için 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam koşullarında 3 hız kademesi için de sonuç elde edilmiş ve bu 3 faktörün etkisi aynı anda test edilebilir hale gelmiştir.

Deneyler sırasında ortam şartları tayin edilirken, daha önce bahsedilen uluslararası standartlarda verilen konfor aralıklarının yanı sıra konfor bölgesine yakın fakat konforsuzluk hissi veren şartlarda ele alınmıştır. Mesela, sıcaklık için 20 °C ve 22 °C, hız için 0.4 ve 0.6 m/s, ve nem için ise %80 değerleri bahsedilen standartlarda konfor bölgesine girmemekte fakat bu bölgeye yakın değerler olarak dikkat çekmektedir. Bu bölgelerin seçilmesindeki amaç "konfor bölgesinin dışında kalan fakat bu bölgeye oldukça yakın olan bu şartlar konforsuzluk dışında fizyolojik olarak insanı etkilemekte midir" sorusuna cevap aramaktır. Çünkü gerek tasarımda yapılan hatalar gerekse kullanım hatalarından dolayı iklimlendirilmiş ortamlarda konfor bölgeleri dışında şartlarda oluşabilmektedir. Bahsedilen bu şartlar dışında seçilen aralıklarda konfor bölgesi içerisinde kalan şartlarında insan üzerine etkisi ele alınmaktadır. Bu şartlar sıcaklık için 24 °C ve 26 °C, hız için 0.2 m/s ve nem için ise %40 ve %60 bağıl nem seviyeleridir. Böylece hem konfor bölgeleri içerisinde kalan hem de konfor bölgesi dışında fakat konfor bölgesine yakın olan ıslak konfor parametrelerinin insan üzerine etkisi incelenmiş olacaktır.

Denekler belirtilen ortam koşullarında bulunmadan, yani deney başlamadan önce, deneyin bitiminden 2 saat sonra ve 1 gün sonra kas iskelet sistemi yakınmaları açısından değerlendirilmiş, boyun hareket açıklıkları ölçülmüştür. Boyun hareket açıklıkları nötral "0" yöntemine göre goniometre ile tespit edilmiştir. Bunun için deneğin anatomik olarak, Şekil 4.'de gösterildiği gibi nötral pozisyonda durması istenmiş, goniometre ile başın bu duruşta 0° olan açısının şekilde tanımlanan düzlemlerde her hareket sonunda ulaştığı açı ölçülmüştür. Böylece deneyden önce yapılan ölçümler ile deneğin belirlenen ıslak ortamlarda kaldıktan sonra yapılan ölçümler arasında oluşan farklar değerlendirmeye alınmış, ıslak ortamın boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi araştırılmıştır.



Şekil 4. Nötral pozisyonda ana düzlemler [24].

Boynun fleksiyon ve ekstansiyon hareketi sagittal düzlemde oluşmakta, baş, fleksiyonda göğse, ekstansiyonda sırtta doğru götürülmektedir. Boynun sağa ve sola lateral fleksiyon hareketi ise frontal düzlemde oluşmakta, bahsedilen yöndeki kulak omuza doğru götürülmektedir. Sağa ve sola rotasyonda ise boyun hareketi transvers düzlemde oluşmakta, baş, bahsedilen yönler doğru çene omuza paralel olacak şekilde döndürülmektedir. Ana düzlemler olan sagittal, frontal ve transvers düzlemler Şekil 4.' de gösterilmektedir.

Bütün bunların yanı sıra, tüm deneyler sırasında deneklerin buldukları ortamdan hissettikleri ısı duyum da sorgulanmıştır. Isıl konfor yada konforsuzluğun yani ısı duyumun tespiti için "Tahmini Ortalama Oy (PMV)" indisi kullanılmıştır. 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. Deneyler sırasında, deneklerin ortamdaki ısı his 2 saatlik periyot boyunca 3 kez sorgulanmıştır. Sorgulama deneyin başlangıcındaki ilk 10 dakika içinde, ilk 1 saat sonunda ve deneyin son 5 dakikası içerisinde yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak deneyin ısı duyumunu da tayin edilmiştir.

İlk ve ikinci grup deneyler olarak tanıtılan deneylere, yaşları 20 ile 27 arasında değişen Makine Mühendisliği Bölümünde lisans ve lisans üstü seviyede eğitim gören 25 erkek denek, gönüllü olarak katılmıştır. Deneklerden özellikle, deneylerde yer aldıkları süre boyunca boyun ağrısı yada hareket kısıtlılıklarına yol açabilecek aktivitelerden (uzun süreli başın öne eğik biçimde durmasını gerektiren aktiviteler, her zamankinden farklı bir yastık yada yerde uyuma vb.) uzak durmaları istenmiştir. Bunların yanı sıra, ağrı kesici, kaplıca, masaj ve sıcak uygulama gibi çeşitli tedavi yöntemlerinin kullanılmaması ve deneyler boyunca aşırı sıcak ve soğuk ortamlarda bulunulmamasına özen gösterilmesi konusunda denekler bir bilgilendirme formu ile uyarılmıştır. Böylece olabildiğince sadece ısı ortam şartlarının etkisinin incelenebilir hale gelmesi hedeflenmiştir. Denekleri yaş ortalaması 22.9 ± 2.09 , kilo ortalaması 76.99 ± 8.98 kg, boy ortalaması 1.78 ± 0.07 m., DuBois yüzey alanı ortalaması 1.94 ± 0.14 m² şeklindedir. Deneyler sırasında deneklerden yazlık erkek giyimi olarak isimlendirilen giysi takımının giyilmesi istenmiştir. Bu giysi takımı pamuklu iç çamaşırı ve çorap ile polyester ve pamuk karışımı pantolon ve kısa kollu gömlekten oluşmaktadır.

Şartlandırma odası sıcaklığı, bağıl nemi ve deneyin sırt bölgesi hizasındaki hava hızı, 6 kanallı dijital bir veri toplama cihazı ile ölçülerek, kaydedilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi, bazı deneyler sırasında deneyin sırt bölgesinden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçümü yine dijital bir termometre ile yapılmıştır. Bahsedilen termometre 2 kanalıdır ve kullanılan prob ise termometreye uygun, K tipi, yüzey sıcaklık ölçümünde kullanılan bir prob türüdür.

Boyun hareket açıklıklarının ölçümünde, üniversal goniometre olarak isimlendirilen basit bir açı ölçer ile ölçüm tercih edilmiştir. Ölçümler esnasında yapılan toplam hatayı belirlemek için, Moffat' ın [25] önerdiği yöntem kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu yaklaşık hata oranı ortalama %8.2 olarak tespit edilmiştir.

Isıl ortam şartlarına bağlı olarak denek boyun açılarındaki meydana gelen değişimler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizler COSTAT istatistik programı ile yapılmıştır. İlk önce, deneyden önce ve deneyden 2 saat sonra alınan boyun açıları arasındaki fark hesaplanmış ve bu zaman adımı "1. zaman adımı" olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra ise, yine deneyden önce alınan boyun açısı ile deneyden bir gün sonra yapılan ölçüm arasındaki fark alınmış ve bu da "2. zaman adımı" olarak isimlendirilmiştir. İlk grup deney sonuçlarının analizi, iki faktörlü tasarım şeklinde ele alınmıştır. Faktörlerden biri deneğin ıslak veya kuru olmasına bağlı olarak "hal" olarak adlandırılırken, diğeri çevresel konfor parametrelerinden hız, sıcaklık veya nemden sadece birisidir. Böylece 3 farklı analiz sonucu alınmıştır. Her 3 analizde de ölçülen fleksiyon, ekstansiyon, sağa ve sola lateral fleksiyon ile sağa ve sola rotasyon açılarındaki düşüşler ayrı ayrı ele alınmıştır. Hem 1. zaman adımı hem de 2. zaman adımı için analizler yapılmıştır. COSTAT programından elde edilen varyans analizi tablosu (ANOVA) ile, nem, sıcaklık, hız ve deneğin halinden hangilerinin veya hangi ikisinin kesişiminin deneğin boyun açıları üzerinde etken olduğu tayin edilmiştir. Yine aynı program ile yapılan SNK testi ile de, etken olarak tayin edilen faktörün her bir seviyesi incelenmiştir. Yani SNK testi ile etken olan faktör seviyeleri arasındaki fark ele alınmıştır. 2 faktörlü tasarımdan sonra yapılan deneysel çalışmalarda hava hızı ve sıcaklığı üzerine odaklanılmış, ortam nemi sabit alınmıştır. Bu deneyler 3 faktörlü istatistik analize imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Daha önce yapılan deneylerde 26 °C ortam sıcaklığının boyun hareketleri üzerine etkisinin olmadığı görüldüğü için bu ortam sıcaklığı değeri için de deney yapılmamıştır. Böylece 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam sıcaklıkları için 0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında, insanın hem kuru hem de ıslak hali için deneysel ölçümler elde edilmiş ve 3 faktörlü (ortam sıcaklığı, hava hızı ve hal) tasarım gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler ile ilgili daha detaylı bilgiye Atmaca [26] dan ulaşılabilir.

4. TEORİK MODEL ve KARŞILAŞTIRMALAR

İncelemede Gagge ve ark. (1971, 1986) tarafından geliştirilen iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli kullanılmıştır. Fakat model tüm vücut yerine 16 bağımsız vücut parçası üzerine uygulanmıştır. Böylece 16 farklı vücut parçası için zamana bağlı sıcaklık, ıslaklık ve de bunlara bağlı olan duyulur ve gizli ısı kayıpları hesaplanabilmektedir. Bu model, birim zamanda depolanan ısı enerjisinin vücudun ısı kazancı ile ısı kaybı arasındaki farka eşit olduğu esasına dayanır. Modelde vücut, içte iskelet, kas ve iç organları içeren bir silindir ile dışta deri tabakasını simgeleyen ikinci bir silindirden oluşur. Burada içteki silindir kor dıştaki silindir deri tabakası olarak adlandırılacaktır. Bu iki tabaka için enerji dengesi yazılırsa ve birim zamanda depolanan ısı enerji her bir bölme için ısı kapasite ile birim zamanda sıcaklık değişiminin çarpımı olarak alınarak,

$$S_{cr}(i, \theta) = M - W - [C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta)] - Q_{cr,sk}(i, \theta) \\ = [1 - \alpha(\theta)]m(i).c_{p,b} \cdot [dT_{cr}(i, \theta) / d\theta] / A(i) \quad (1)$$

$$S_{sk}(i, \theta) = Q_{cr,sk}(i, \theta) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{sk}(i, \theta)] \\ = \alpha(\theta).m(i).c_{p,b} \cdot [dT_{sk}(i, \theta) / d\theta] / A(i) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir [27]. Belli bir zaman dilimi içinde vücuttan olan ısı kayıpları tespit edilirse bu iki denklem vasıtasıyla bu süre zarfı sonundaki kor ve deri bölgesi sıcaklıkları tespit edilebilir.

Giyimli deriden olan duyulur ısı ilk önce giysilere ve sonra da giysilerden çevre ortama transfer edilir. Deriden taşınım ve ışınım vasıtasıyla olan duyulur ısı kaybı derinin sıcaklığına, çevre ve etraftaki yüzey sıcaklıklarına, hava hareketleri ve giyime bağlı olarak;

$$C(i, \theta) + R(i, \theta) = [T_{sk}(i, \theta) - T_o(i)] / R_t(i) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir.

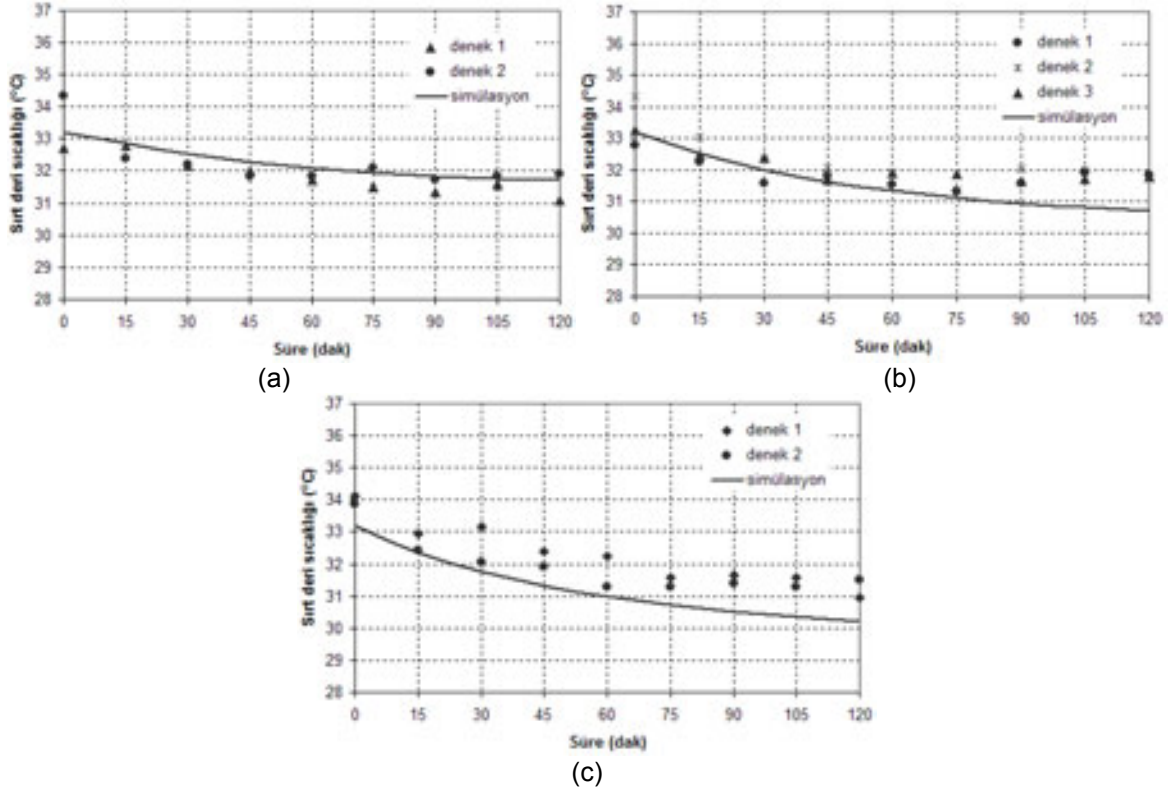
Deriden buharlaşma ile olan ısı kaybı ise şu şekilde hesaplanabilir.

$$E_{sk}(i, \theta) = w(i, \theta) \cdot [p_{sk,s}(i, \theta) - p_a] / R_{e,t}(i) \quad (4)$$

İfadeden de görüldüğü üzere deriden olan gizli ısı kaybının tespiti için deri ve çevre hava su buharı basıncı farkı ile giysilerin buharlaşma direncinin yanında deri ıslaklığına da ihtiyaç duyulmaktadır. Model ile ilgili daha detaylı bilgi Atmaca [26] dan temin edilebilir. Sıcaklık denetim sinyalleri ve bunlara bağlı olan terleme miktarı veya titreme ile üretilen ısı gibi model için gerekli ifadeler bahsedilen kaynaktan mevcuttur. Bunun yanı sıra 16 vücut parçası için giyime bağlı olarak ısı ve buharlaşma direncinin hesap yöntemi de Atmaca [26] da mevcuttur. Bu çalışmada, sadece sırt bölgesinden olan ısı kayıpları inceleneceği için, bahsedilen vücut parçası için detaylı bilgi vermek yeterli olacaktır. Hesaplamalarda sırt bölgesi için yüzey alanı A_D ve vücut kütlesi m için 0.161 m² ve 11.03 kg değerleri alınmıştır [6]. Sadece gömlek giyimli olan sırt bölgesi için ısı R_t ve buharlaşma $R_{e,t}$ dirençleri de sırasıyla 0.193 m²K/W ve 0.0247 m²kPa/W olarak hesaplanmıştır [26]. Nötr halde sırt bölgesinin nötr kor ve deri sıcaklığı da literatürde sırasıyla 36.5 °C ve 33.2 °C olarak verilmektedir [6]. Deneyselde kullanılan erkek yazlık giyimi için dış hava tabakası direncini içermeyen ısı direnç ise 0.5 clo olarak hesaplanmıştır. Aynı giysi takımı için deneysel olarak bulunan ısı direnç ise 0.57 clo dur [18].

Daha önce de bahsedildiği üzere, simülasyondan elde edilen, belirli bir ortamda bulunan insanın ısı ortama verdiği tepkiler; deneylerden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Deneyselde boyun hareket kısıtlılıkları incelenirken, deneğin hem terli hali hem de kuru hali için inceleme yapıldığı için, simülasyon sonuçları her iki durum için de deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sadece 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nem ortamında 0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s olmak üzere 3 farklı hava hızı içinde hem kuru hem de ıslak halde yapılmıştır.

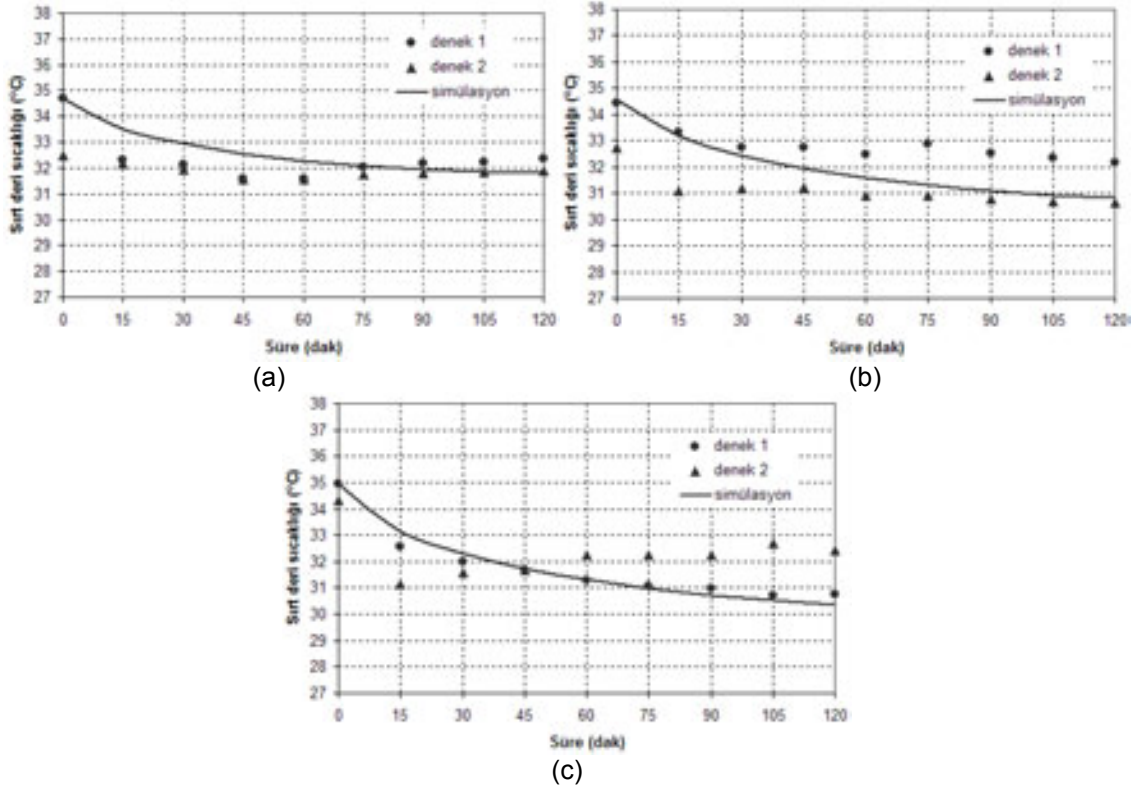
Şekil 5.' de 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde, sırasıyla 0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızları için kuru halde deneğin sırt bölgesindeki sıcaklık değişimi ve simülasyondan aynı şartlarda elde edilen sırt bölgesi sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları alınırken metabolik aktivite düzeyi, sakin oturma konumu için literatürde verilen 60 W/m² değeri olarak alınmıştır. Şekillerden görüleceği üzere aynı şartlarda dahi insanın ısı ortama verdiği tepki kişiden kişiye değişebilmektedir. Yine de simülasyondan elde edilen tahminler deneysel verilere oldukça yakındır. Sadece 0.6 m/s hava hızında denek vücut sıcaklıkları simülasyon tahminlerinin biraz üzerinde çıkmaktadır. Fakat simülasyonda, nötr halde sırt deri sıcaklığı değerinin, yani başlangıç sıcaklığı değerinin 33.2 °C olduğu unutulmamalıdır. Şekil 5-c. incelenirse, deneklerin başlangıç sırt sıcaklığının yaklaşık 34 °C olduğu görülebilir. Bu durumda simülasyon sonuçları ile deneklerin verdiği tepkiler arasındaki fark normaldir.



Şekil 5. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, çeşitli hava hızları için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması, (a) 0.2 m/s, (b) 0.4 m/s, (c) 0.6 m/s.

Şekil 6.' da ise ıslak hal için, 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde, sırasıyla 0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızları için deneğin sırt bölgesindeki sıcaklık değişimi ve simülasyondan aynı şartlarda elde edilen sırt bölgesi sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları alınırken, deneylerde olduğu gibi insanın 15 dakika boyunca 30 °C, %70 bağıl nem ortamında bisiklet egzersizi yaptığı göz önüne alınmış, simülasyonda metabolik aktivite düzeyi, deneylerdeki deneklerden elde edilen en yüksek başlangıç vücut deri sıcaklığı elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Bahsedilen şekillerden de görüleceği üzere yine aynı şartlarda dahi insanın ısı ortama verdiği tepki kişiden kişiye değişebilmektedir. Yine de simülasyondan elde edilen tahminler deneysel verilere oldukça yakındır ve ıslak halde de simülasyon ortalama olarak insanın ısı ortama verdiği tepkileri tahmin etmeye yatkındır.

Gerek mevcut çalışma kapsamında yapılan deneysel sonuçlar ile gerekse literatürde verilen değerler ile yapılan karşılaştırmalar, mevcut simülasyonun insanın ısı ortama verdiği tepkileri tahmin etmede güvenilir olduğunu açıkça göstermektedir. Bu nedenle çalışmanın ilerleyen bölümlerinde insanın ısı ortama verdiği tepkiler simülasyondan elde edilen değerler üzerinden yorumlanacaktır.



Şekil 6. İslak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, çeşitli hava hızları için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması, (a) 0.2 m/s, (b) 0.4 m/s, (c) 0.6 m/s.

5. DENEY BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu kısımda deneylerden elde edilen ve ortam şartlarına bağlı olarak boyun hareket açıklıklarında meydana gelen kısıtlılıklar istatistiksel olarak değerlendirilecek, insanın ısı ortamına verdiği tepki ise, simülasyon sonuçları üzerinden yorumlanacaktır. Boyun açılarındaki oluşan düşüşler istatistiksel metotlar ile incelenecek, boyun kısıtlılıklarına neden olmayan ortam şartları bu doğrultuda elde edilmeye çalışılacaktır. Yapılan analizler, ortam şartlarının, sadece sağa ve sola rotasyon hareketi üzerinde etken olduğu, diğer boyun hareketleri üzerine etken olmadığını göstermiştir. Bu nedenle burada sadece sağa ve sola rotasyon hareketlerinde oluşan kısıtlılık değerleri ve bu değerler üzerine yapılan istatistiksel analizler üzerinde durulacaktır.

5.1. Deneysel Bulgular

5.1.1. Ön Çalışma Sonuçları

İlk grup deneysel çalışma olarak isimlendirilen ön çalışma sonuçlarının özeti Tablo 1.' de sunulmuştur. Bu tabloda çeşitli analizlerde elde edilen boyun sağa ve sola rotasyonlarında oluşan açı kaybı ortalamaları ve standart sapmaları verilmektedir. Sıcaklık ve hal faktörlerinin incelendiği 1. analizde rotasyon kayıplarının çarpıcı olarak 1. zaman adımında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle tabloda verilen kayıplar 1. zaman adımında meydana gelen kayıplardır. Bu 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 incelendiği 2. analizde ise, etkin boyun açığı kayıplarının 2. zaman adımında olduğu gözlemlenmiştir. Bu analizden elde edilen neticeler tablodan incelendiğinde, vücut kuru halde iken artan hava hızı ile boyun açığı kaybı arasında çarpıcı değişimler olmadığı, ıslak halde ise artan hava hızıyla boyun açığı kaybı değerlerinin yükseldiği ve kuru hale göre daha büyük değerler aldığı açıkça görülebilmektedir. Nem ve hal faktörlerinin incelendiği 3. analizde gerek 1. zaman adımında gerekse 2. zaman adımında, artan nem ile çarpıcı değişimler meydana gelmemiştir. Tablo 1.' de örnek olarak 2. zaman adımı için gözlemlenen değerler sunulmuştur.

Tablo 1. Deneysel olarak elde edilen ortalama boyun açığı kaybı ve standart sapmaları (derece).

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 1.' den gözlemlenen sonuçları geçerli kılmak için, ANOVA analizleri de yapılmış ve bu sonuçlar Tablo 2.' 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 kaybı 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 kaybı üzerine etkindir. Yine mevcut tablodan görüleceği üzere, hal ile hız ve hal kesişiminin boyun açığı kaybı üzerine etken olduğu görülebilmektedir. Bunu anlamı, vücut kuru halde iken hız etkin değildir fakat ıslak haldeyken hız etkindir şeklinde yorumlanabilir. Tablo 2.' den görülebileceği üzere, nemin boyun açığı kaybı 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 yada ıslak olmasının önemli şekilde farklılıklar arz ettirdiği sonucunu vermektedir. Bütün bu testlerden sonra, yüksek boyun açığı kaybı 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 kaybı nedeni ile vücudun ıslak olması durumunda riskli olduğu sonucuna varılmıştır.

5.1.2 Detaylı Çalışma Sonuçları

Daha önce ikinci grup çalışma olarak adlandırılan 3 faktörlü analiz sonuçları bu kısımda değerlendirilecektir. Isıl ortam bağıl neminin boyun hareket açıklıklarını ortam sıcaklığı ve ortamdaki hava hızı kadar etkilemediği yukarıda yapılan 2 faktörlü analizler sonucunda elde edilmiştir. Bundan sonra nem etkisi ihmal edilerek ısıl ortam hava sıcaklığı ve hızı ile hal durumu ele alınarak 3 faktörlü analize geçilmiştir.

3 faktörlü analizde de en belirgin sonuçlar sağa ve sola rotasyonda meydana gelen kısıtlılıklarda olduğu için burada sadece bu değişimler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. 3 faktörlü analizde hem sağa hem de sola dış rotasyon için her iki zaman adımında da farklılıklar oluşmuştur.

Tablo 2. Sağa ve sola rotasyonlar için ANOVA analizinden elde edilen P değerleri

Analizler ve Faktörler	Servikal Hareket	
	Sağa Rotasyon	Sola Rotasyon
<i>1. Analiz</i>		
Sıcaklık	0.0158 < 0.05	0.0188 < 0.05
Hal	0.8120	0.7824
Sıcaklık ve hal etkileşimi	0.8174	0.0930
<i>2. Analiz</i>		
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
<i>3. Analiz</i>		
Bağıl Nem	0.1846	0.1486
Hal	0.9545	0.2981
Bağıl nem ve hal etkileşimi	0.1648	0.0716

Tablo 3.' de gerek sağa gerekse sola rotasyon durumlarında, hem 1. zaman adımı hem de 2. zaman adımı neticesinde deneklerin boyun hareket açıklıklarında oluşan kısıtlılıkların ortalaması ve standart sapmaları sunulmuştur. Tablo 4 analiz için de ayrı ayrı incelenirse, bütün sıcaklık kademelerinde çoğunlukla artan hava hızı ile kayıpların arttığı ve genellikle ıslak halde oluşan kayıpların kuru hale göre daha yüksek olduğu gözlemlenebilecektir. Yine tablodan, 20 °C ve 22 °C gibi düşük sıcaklıklarda gerçekleşen kayıpların 24 °C sıcaklıkta meydana gelen kayıplara nazaran daha yüksek olduğu da görülebilmektedir.

Tablo 3. Detaylı Analizde deneysel olarak elde edilen ortalama boyun açığı kaybı ve standart sapmaları (derece).

Analiz	Hal	20 °C			22 °C			24 °C		
		0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s	0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s	0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s
Sağa Rotasyon 1. Zaman Adımı	Kuru	6.67	8.33	10	3.33	6.67	13.33	1.67	5	1.67
		±	±	±	±	±	±	±	±	±
	Islak	2.89	2.89	5	2.89	2.89	2.89	2.89	5	2.89
		±	±	±	±	±	±	±	±	±
Sağa Rotasyon 2. Zaman Adımı	Kuru	8.33	6.67	10	5	6.67	15	1.67	1.67	0
		±	±	±	±	±	±	±	±	±
	Islak	2.89	2.89	5	5	5.77	5	2.89	2.89	0
		±	±	±	±	±	±	±	±	±
Islak	5	8.33	18.33	3.33	10	13.33	0	5	8.33	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
Islak	5	2.89	5.77	2.89	0	2.89	0	5	5.77	
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	

Sola Rotasyon 1. Zaman Adımı	Kuru	6.67 ± 2.89	6.67 ± 2.89	5 ± 5	3.33 ± 2.89	5 ± 5	8.33 ± 7.64	1.67 ± 2.89	3.33 ± 2.89	0 ± 0
	Islak	8.33 ± 2.89	8.33 ± 2.89	10 ± 5	3.33 ± 5.77	10 ± 0	10 ± 5	0 ± 0	6.67 ± 7.64	3.33 ± 5.77
Sola Rotasyon 2. Zaman Adımı	Kuru	6.67 ± 2.89	6.67 ± 2.89	8.33 ± 7.64	5 ± 5	5 ± 0	11.67 ± 2.89	3.33 ± 2.89	1.67 ± 2.89	0 ± 0
	Islak	5 ± 0	8.33 ± 5.77	11.67 ± 7.64	5 ± 5	6.67 ± 5.77	13.33 ± 2.89	1.67 ± 2.89	8.33 ± 5.77	10 ± 5

Tablo 3.' den gözlemlenen sonuçları geçerli kılmak için, ANOVA analizleri de yapılmış ve bu sonuçlar Tablo 4.' de özetlenmiştir. Tablo 4. incelendiğinde, sağa ve sola rotasyon için farklı zaman adımlarında farklı faktörlerin etken çıktığı, yani P değerinin 0.05 in altında kaldığı görülebilmektedir. Bu analizler için yapılan SNK testleri de genellikle 20 °C ve 22 °C sıcaklıkların 24 °C ortam sıcaklığına göre farklılıklar arz ettiğini göstermektedir. Yine SNK testi sonuçları özellikle 0.6 m/s hava hızının diğer hava hızı kademelerine göre farklılıklar gösterdiğini vermektedir. Sola rotasyonda 2. zaman adımı için yapılan ANOVA analizlerden görüleceği gibi SNK testi sonucu da ıslak halin kuru hale göre farklılık gösterdiğini sunmaktadır. Detaylı analiz sonuçları da ön çalışma sonuçlarını doğrular niteliktedir ve 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığı ile 0.6 m/s hava hızı değerleri riskli görülmektedir. Yine vücudun ıslak olması halinin kuru olmasına nazaran daha riskli bir durum oluşturduğu da bu analizler neticesinde söylenebilmektedir.

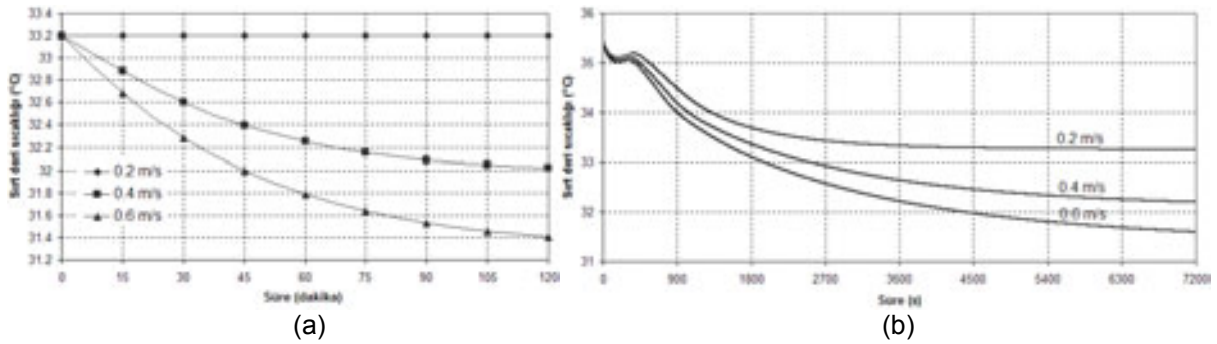
Tablo 4. Detaylı analizde ANOVA analizinden elde edilen P değerleri

Analizler ve Faktörler	Servikal Hareket	
	Sağa Rotasyon	Sola Rotasyon
<i>1. Zaman Adımı</i>		
Hız	0.0006 < 0.05	0.1437
Sıcaklık	0.0000 < 0.05	0.0031 < 0.05
Hal	0.4379	0.0691
Hız ve Sıcaklık etkileşimi	0.0288 < 0.05	0.3400
Hız ve Hal etkileşimi	0.7655	0.4243
Sıcaklık ve Hal etkileşimi	0.9623	0.9296
Hız, Sıcaklık ve Hal etkileşimi	0.6947	0.8808
<i>2. Zaman Adımı</i>		
Hız	0.0000 < 0.05	0.0074 < 0.05
Sıcaklık	0.0000 < 0.05	0.0408 < 0.05
Hal	0.0949	0.0265 < 0.05
Hız ve Sıcaklık etkileşimi	0.2144	0.4203
Hız ve Hal etkileşimi	0.0290 < 0.05	0.0849
Sıcaklık ve Hal etkileşimi	0.4470	0.4044
Hız, Sıcaklık ve Hal etkileşimi	0.3018	0.6851

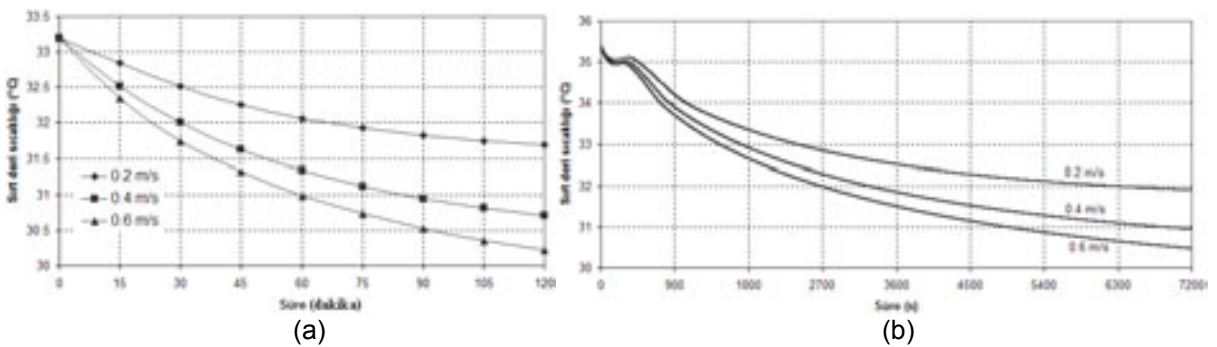
5.2. Tartışma

DeneySEL çalışmalar sonucunda, özellikle klimatize edilmiş ortamlarda yaşayan veya çalışan insanlarda ortam koşuluna bağlı olarak boyun hareket kısıtlılıklarının oluşabileceği görülmüştür. İklimlendirilen ortamlarda 24 °C' nin altındaki sıcaklıkların, boyunda hareket kısıtlılıkları oluşması bakımından tehlikeli olabileceği mevcut bulgular neticesinde açıkça görülmektedir. Ayrıca sırt ve boyun bölgesi civarındaki hava hızının 0.2 m/s değerinin üstüne çıkması boyun hareket açıklıklarını kısıtlamaktadır.

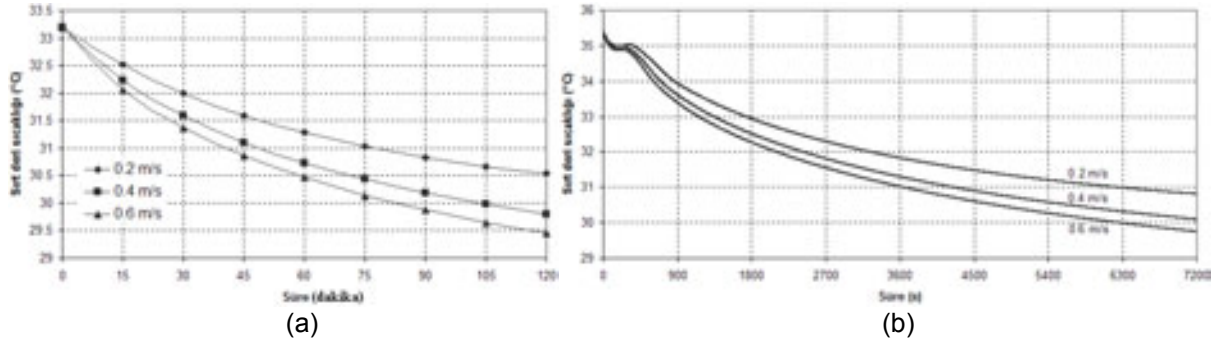
Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon vasıtasıyla elde edilen çeşitli şartlarda vücut sırt bölgesi deri sıcaklığının değişimini veren grafikler Şekil 7,8 ve 9' da sunulmuştur. 24 °C ortam sıcaklığında, hava hızına bağlı olarak kuru halde sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 7-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. Şekil 7-b' de ise ıslak halde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi sunulmaktadır. Islak halde 0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında sırt bölgesi deri sıcaklığında sırasıyla 2.2 °C, 3.2 °C ve 3.8 °C sıcaklık düşüşü yaşanmaktadır. Benzer sonuçlar 22 °C ortam sıcaklığında kuru hal için de simülasyonda elde edilmiş ve Şekil 8-a' da grafik halinde sunulmuştur. Beklendiği gibi 22 °C ortam sıcaklığında 24 °C sıcaklıkta meydana gelenden daha yüksek deri sıcaklığı düşüşü olmaktadır. Sırt bölgesi deri sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında 1.5 °C, 0.4 m/s hava hızında 2 °C, ve 0.6 m/s hava hızında da 3 °C azalmaktadır. 22 °C ortam sıcaklığında ıslak halde vücudun ortam hava hızına verdiği ısı tepkileri de Şekil 8-b' den görülebilmektedir. Bu ortam sıcaklığı değerinde sırt bölgesi deri sıcaklığında, 0.2 m/s hava hızında 3.4 °C, 0.4 m/s hava hızında 4.4 °C ve 0.6 m/s hava hızında ise 4.9 °C azalma meydana gelmektedir. Vücudun kuru hali için 20 °C ortam sıcaklığında, ortam hava hızına bağlı olarak sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 9-a' da verilmiştir. Şekillerden görülebileceği üzere, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında sırt bölgesi deri sıcaklığında sırasıyla 3.4 °C ve 3.8 °C sıcaklık düşüşleri meydana gelirken, 0.2 m/s hava hızında dahi 2.7 °C sıcaklık düşüşü oluşmaktadır. 20 °C ortam sıcaklığı için benzer analizler ıslak hal için yapıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 9-b' de sunulmuştur. Islak halde sırt bölgesi deri sıcaklığında 0.2 m/s hava hızında 4.6 °C, 0.4 m/s hava hızında 5.3 °C ve 0.6 m/s hava hızında ise 5.6 °C sıcaklık düşüşleri meydana gelmektedir.



Şekil 7. 24 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi, (a) Kuru hal, (b) Islak hal.



Şekil 8. 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi, (a) Kuru hal, (b) Islak hal.



Şekil 9. 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi, (a) Kuru hal, (b) Islak hal.

Boyun hareket açıklıklarındaki azalma, bahsedilen şartlarda oluşan yüksek ısı kayıpları neticesinde vücut sırt bölgesi deri sıcaklığının düşmesi ile ilişkili olabilir. Kas içerisinde miyofasiyal tetik noktaların oluşması durumunda kas geriliminin artacağı, ağrı ve hassasiyet oluşacağı, boyun hareket açıklıklarında ağırlı gerilmelerin meydana gelebileceği Simons [28] tarafından belirtilmektedir. Isıl ortam koşuluna bağlı olarak boyun hareket açıklıklarında meydana gelen kısıtlılıklar da, vücuttan olan yüksek ve ani ısı kaybı ile buna bağlı olarak gerçekleşen deri sıcaklığı düşümü neticesinde kas içinde oluşabilecek miyofasiyal tetik noktalara bağlı olabilir.

3 faktörlü analiz için yapılan ikinci grup deneyler sırasında sorgulama sonucu elde edilen ortalama *PMV* değerlerinin ısı ortam sıcaklığı, hava hızı ve kişinin haline bağlı olarak değişimi Tablo 5.' de sunulmuştur. Tablodan görülebileceği üzere, insan boyun hareket açıklıklarına etken olan 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında, insanın hem kuru hem de ıslak hali için bütün hız kademelerinde *PMV* değeri -1 değerinin altındadır. 24 °C ortam sıcaklığında da özellikle ıslak halde 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında *PMV* değerinin -1 değerinin altında kaldığı tekrar bu tablodan da görülebilmektedir. Yani denekler ortamı biraz serin veya serin olarak hissetmektedirler. Ön çalışma deneyleri sırasında elde edilen *PMV* değerlerinde de benzer sonuçlar bulunmakta, boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi bulunamayan bütün nem kademelerinde *PMV* değeri +0.5 ile -0.5 aralığında kalmaktadır. Böylece, boyun hareket kısıtlılıkları rastlanan ortam şartlarının sadece ısı olarak konforsuz bir ortam yaratmadığı aynı zamanda da insanı konforsuzluk hissi dışında da fizyolojik olarak etkilediği görülebilmektedir.

Tablo 5. Deneylerde elde edilen *PMV* değerleri.

	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

SONUÇLAR

Mevcut çalışmada, 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 da sebebiyet verebildiği gösterilmiştir. Bahsedilen şartlarda vücut sırt bölgesi deri sıcaklığında da yüksek düşüşler yaşanabileceği simülasyon sonuçları üzerinden tartışılmıştır.

Yine deneyler neticesinde ıslak vücut halinin kuru vücut haline nazaran daha tehlikeli durumlar oluşturabileceği de görülebilmektedir. Bu bulgular neticesinde, iç ortam şartlarının güncel standartlarda verilen konfor sınırları içinde kalması şartıyla ısı konfor parametrelerinin boyun hareket açıklıkları üzerine etken olmadığı sonucuna varılabilmektedir. Boyun hareket kısıtlılığı açısından riskli olarak belirlenen ortam şartlarında denekler ortamı biraz serin veya serin olarak hissetmişlerdir. Bu riskli şartlar mevcut standartlarda verilen konfor aralıklarının dışında fakat bu sınırlara yakın değerlerdir ve mekanik olarak iklimlendirilen ortamlarda oluşması mümkün olan şartlardır. Bu nedenle, boyun hareket kısıtlılıklarından kaçınmak için, iklimlendirilmiş ortamları kullananların ve bu ortamları klimatize eden mühendislerin bu çalışmada verilen önerilenleri dikkate almaları son derece önemlidir.

SEMBOLLER

A	:Yüzey alanı (m^2)
C	:Taşınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
$C_{p,b}$:Vücudün özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
C_{res}	:Solunum ile olan taşınım ile ısı transferi (W/m^2)
E_{sk}	:Deriden toplam buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
i	:Vücut parçası numarası (boyutsuz)
M	:Toplam metabolik ısı üretimi (W/m^2)
m	:Vücut kütlesi (kg)
P_a	:Ortam havasının su buharı basıncı (kPa)
PMV	: Isıl duyum indisi (boyutsuz)
$P_{sk,s}$:Derideki su buharı basıncı (kPa)
$Q_{cr,sk}$:Kordan deriye olan toplam ısı transferi (W/m^2)
R	:Işınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
$R_{e,t}$:Toplam buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
R_t	:Toplam ısı direnci (m^2C/W)
S_{cr}	:Korda depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
S_{sk}	:Deride depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
T_{cr}	:Kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_o	:Operatif sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_{sk}	:Deri tabakasının sıcaklığı ($^{\circ}C$)
w	:Deri ıslaklığı (boyutsuz)
W	:Yapılan iş (W/m^2)
α	:Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi (boyutsuz)
θ	:Zaman (s)

KAYNAKLAR

- [1] ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004, “Thermal environmental conditions for human occupancy”, 2004.
- [2] ERKAN, N., “Ergonomi” , Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No: 373, 1997.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] TANABE, S., KOBAYASHI, K., NAKANO, J., OZEKI, Y., KONISHI, M., Evaluation of Thermal Comfort Using Combined Multi – node Thermoregulation (65 MN) and Radiation Models and Computational Fluid Dynamics (CFD). *Energy and Buildings*, 34: 637 – 646, 2002.
- [7] HUIZENGA, C., HUI, Z., ARENS, E., A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments. *Building and Environment*, 36: 691 – 699, 2001.
- [8] YI, L., FENGZHI, L., YINGXI, L., ZHONGXUAN, L., An Integrated Model for Simulating Interactive Thermal Processes Human – Clothing System. *Journal of Thermal Biology*, 29: 567 – 575, 2004.
- [9] RAVEN, P.R., HORVATH, S.M., Variability of physiological parameters of unacclimatized males during a two-hour cold stress of 5 °C. *International Journal of Biometeorology*, 14(3): 309-320, 1970.
- [10] HARDY, J.D., STOLWIJK, J.A.J., Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21(6): 1799 – 1806, 1966.
- [11] STOLWIJK J.A.J., HARDY, J.D., Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21 (3): 967 – 977, 1966.
- [12] TOFTUM J., FANGER, P.O., Air humidity requirements for human comfort. *ASHRAE Transactions*, 99: 641-647, 1999.
- [13] HAVENITH, G., HOLMER, I., PARSONS, K., Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production. *Energy and Buildings*, 34: 581 – 594, 2002.
- [14] FOUNTAIN M.C., ARENS, E., XU, T., BAUMAN, F.S., OGURU, M., An Investigation of thermal comfort at high humidities. *ASHRAE Transactions*, 94: 94-103, 1999.
- [15] BERGLUND, L.G., Comfort and humidity. *ASHRAE Journal*, 40 (8): 35-41, 1998.
- [16] TODDE, V., Perception and Sensitivity to Horizontal Turbulent Air Flows at the Head Region. *Indoor Air*, 10: 297 – 3005, 2000.
- [17] OLESEN, B.W., PARSONS, K.C., Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34: 537 – 548, 2002.
- [18] McCULLOUGH, E.A., JONES, B.W., TAMURA, T., A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing. *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316 – 328, 1989.
- [19] HAGHIGHAT, F., DONNINI, G., Impact of Psycho – social Factors on Perception of the Indoor Air Environment Studies in 12 Office Buildings. *Building and Environment*, 34: 479 – 503, 1999.
- [20] SEPPANEN, O., FISK, W.J., Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air*, 12: 98 – 112, 2002.
- [21] WARGOCKI, P., WYON, D.P., SUNDELL, J., CLAUSEN, G., FANGER, P.O., The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air*, 10: 222 – 236, 2000.
- [22] REINIKAINEN, L.M., JAAKKOLA, J.J.K., Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*, 13: 344 – 352, 2003.
- [23] FANGER, P.O., Human requirements in future air – conditioning environments. *International Journal of Refrigeration*, 24: 148 – 153, 2001.
- [24] KAHLE, W., LEONHARDT, H., PLATZER, W., “Color atlas / Text of human anatomy, Vol.1: Locomotor system”, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany, p.1 – 33, 1992.
- [25] MOFFAT, R.J., Describing the uncertainties in experimental results. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1: 3 – 17, 1988.
- [26] ATMACA, İ., “Isıl konfor parametrelerinin insan üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora tezi, Bursa, 2006.
- [27] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8., Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. 29p., 1993.
- [28] SIMONS, D.G., Understanding Effective Treatments of Myofascial Trigger Points. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 6(2), 81 – 88, 2002.



ÖZGEÇMİŞLER

İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans diplomasını aldı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından 2002 yılında yüksek lisans, 2006 yılında 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 Petek 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.