

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL KONFOR PARAMETRELERİNİN İNSAN ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İbrahim ATMACA

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL KONFOR PARAMETRELERİNİN İNSAN ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İbrahim ATMACA

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 29 / 06 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Abdulvahap YİĞİT Prof.Dr. Muhsin KILIÇ Prof.Dr. Yusuf ULCAY
Danışman

Prof. Dr. Muhiddin CAN

Prof. Dr. Macit TOKSOY

ÖZET

Günümüzde değişik sistem ve teknolojiler vasıtasıyla yaygın olarak kullanılan iklimlendirme sistemlerinin amacı; bu ortamı kullanan insanlara kabul edilebilir kalitede konforlu ve temiz iç ortam havası hazırlamaktır. Mekanik olarak iklimlendirilmiş hacimlerde temel amaç, minimum enerji tüketimi elde etmekle birlikte, bu hacimleri kullanan insanlar için, sağlıklı ve konforlu yaşam alanları sağlamaktır.

Isıl konfor, ısı ve kütle transferinin önemli uygulama alanlarından biridir. Bu çalışmada, insan vücudu ile çevresi arasındaki ısıl etkileşim simülasyon ile incelenmiştir. Böylece deri sıcaklığı, deri ıslaklığı ile deriden olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarları zamana bağlı olarak tespit edilebilmektedir. Simülasyonda 2 bölmeli Gagge modeli kullanılmış, fakat model tüm vücuttan ziyade 16 bağımsız vücut parçası üzerine uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları deneysel veriler ve literatürdeki çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve simülasyon sonuçlarının güvenilir olduğu gösterilmiştir. Geliştirilen simülasyon ile insanın ısıl çevreye verdiği tepki kolaylıkla tayin edilebilmektedir.

Sıcaklık, nem, hava hızı gibi ısıl konfor şartlarının veya bunlara bağlı ortam koşullarının insan sağlığı üzerine etkisi teorik ve deneysel, tam olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada; sıcaklık, nem, hava hızı gibi ısıl konfor parametrelerinin, boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için laboratuvar ortamında hazırlanan kontrollü bir odada, ele alınan ısıl konfor parametrelerinden biri değişken diğer ikisi sabit olarak alınmış ve bu şekilde değişken parametrenin etkisi incelenmiştir. Yaz koşullarında insanların iklimlendirilen ortamlara terli olarak girdikleri de göz önünde bulundurularak bahsedilen her bir parametrenin etkisi deneğin hem terli, hem de kuru hali için ele alınmıştır. Deri sıcaklığı, deri ıslaklığı, deriden olan duyulur ve gizli ısı kaybı gibi kişinin ısıl ortama verdiği tepkiler ise çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon programı ile tespit edilmiştir. Böylece deneysel veriler ile simülasyon sonuçları eş zamanlı olarak yorumlanmış, iklimlendirilmiş ortamlarda yaşayan insanlarda boyun hareket kısıtlılığı oluşturmeyen en uygun şartlar saptanarak, akademik ve endüstriyel kullanıcılara önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme, Isıl konfor parametreleri, Simülasyon, Boyun hareketleri

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THERMAL COMFORT PARAMETERS ON HUMAN BODY

ABSTRACT

The aim of currently used *HVAC* systems is to maintain acceptable thermal comfort and good air quality within indoor environments. The main reason of a mechanically ventilated office building is to supply comfortable and healthy living environments for occupants, while maintaining minimum energy consumption.

Thermal comfort is one of the most important application fields in the heat and mass transfer. In this study, thermal interaction between the human body and its environment is investigated with the simulation. In this way, time dependent skin temperature, skin wettedness, sensible and latent heat losses are calculated respectively. In the simulation, Gagge 2-node model is used but the simulation is to apply the Gagge 2-node model to 16 individual body segments rather than to whole body. The results of the simulation are compared with present measurements, and available experimental data and simulated results in the literature and it is shown that the simulation results are reliable. Human responses to thermal environment are determined easily with the developed simulation.

Thermal comfort parameters such as temperature, humidity, and air velocity effects on human health have not been fully investigated experimental or theoretically. In this study, the effects of thermal comfort parameters such as temperature, humidity and air velocity on cervical range of motion are investigated experimentally. For this reason, each of the three thermal comfort parameters is used as a variable while the others are kept constant in a controlled laboratory room, and the effects of variable parameter are investigated. Based on the observation that individuals often enter the air conditioned room perspiring in summer conditions, both dry and sweaty conditions are examined. Human responses to thermal environment such as skin temperature, skin wettedness, sensible and latent heat losses are determined from the developed simulation program. Finally, experimental data and simulation results are assessed simultaneously, and the most appropriate thermal environmental conditions which did not cause cervical mobility limitations are determined and they are suggested for both academic and industrial users.

Key words: Air – condition, Thermal comfort parameters, simulation, cervical range of motion

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Model ve Simülasyon için Gerekli Kaynaklar	6
2.2. Isıl Konfor Üzerine Yapılan Çeşitli Çalışmalar	12
2.3. İnsan Sağlığı Üzerine Yapılan Çalışmalar	20
2.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yenilikleri	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM	26
3.1. Isıl Konfor Modelleri	26
3.1.1. İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modeli	26
3.1.2. Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli	28
3.2. Simülasyon Modeli	28
3.2.1. Deriden Duyulur Isı Kaybı Hesabı	31
3.2.2. Deriden Buharlaşma ile Isı Kaybı Hesabı	34
3.2.3. Solunum Kaybı Hesabı	37
3.2.4. Sıcaklık Denetim Mekanizmaları	38
3.2.5. Vücut Parçalarına Ait Giysi Isıl Dirençlerinin Hesabı	42
3.2.6. Vücut Parçalarına Ait Giysi Buharlaşma Dirençlerinin Hesabı	43
3.2.7. Tüm Giysi Takımı için Isıl ve Buharlaşma Dirençlerinin Hesabı	44
3.3. Simülasyon	45
3.4. Deneysel Çalışmalar	47
3.4.1. Şartlandırma Odası	48
3.4.2. Deney Setleri ve Ölçümler	50
3.4.3. Denekler	56
3.4.4. Ölçüm Cihazları	56

3.4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	63
4.1. Bulgular ve Tartışma	63
4.1.1. Giysi Isıl ve Buharlaşma Dirençlerinin Tayini	63
4.1.2. Simülasyonun Güvenilirliği	65
4.1.3. Deneysel Sonuçlar	82
4.1.3.1. Sıcaklık için Yapılan Analizler	83
4.1.3.2. Hız için Yapılan Analizler	94
4.1.3.3. Nem için Yapılan Analizler	102
4.1.3.4. Sıcaklık, Hız ve Hal Olmak Üzere Yapılan 3 Faktörlü Tasarım Sonuçları	108
4.1.3.5. PMV indeksinin Değişimi	118
4.2. Sonuç ve Öneriler	120
5. KAYNAKLAR	125
EK – 1 KUMAŞ TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK ISIL ve BUHARLAŞMA DİRENÇLERİ	131
EK – 2 SİMÜLASYON PROGRAMI	133
TEŞEKKÜR	148
ÖZGEÇMİŞ	149

SİMGELER DİZİNİ

a	:Katsayı (m^2kPa/W)
A	:Yüzey alanı (m^2)
A_D	:DuBois yüzey alanı (m^2)
b	:Katsayı (mm)
C	:Taşınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
$c_{p,b}$:Vücudun özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
$c_{p,bl}$:Kanın özgül ısısı ($kJ/kg.K$)
C_{res}	:Solunum ile olan taşınım ile ısı transferi (W/m^2)
$CSIG_{cr}$:Kordan gelen soğuk sinyal (boyutsuz)
$CSIG_{sk}$:Deriden gelen soğuk sinyal (boyutsuz)
df	:Serbestlik derecesi (boyutsuz)
E_{dif}	:Difüzyon ile olan buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
E_{max}	:Maksimum buharlaşma ile ısı transferi (W/m^2)
E_{res}	:Solunumla olan buharlaşma ile ısı geçişi (W/m^2)
E_{rsw}	:Terleme ile olan buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
E_{sk}	:Deriden toplam buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
F	:Fisher katsayısı (boyutsuz)
F	:Görüş faktörü (boyutsuz)
h_c	:Taşınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
h_{fg}	:Suyun buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)
H_o	:Hipotez (boyutsuz)
h_r	:Işınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
i	:Vücut parçası numarası (boyutsuz)
j	:Giysi katmanı numarası (boyutsuz)
k	:Giysi tabakaları arasındaki havanın ısı iletim katsayısı ($mm.W/m^2K$)
K	:İç vücut ile deri arasındaki etkin iletim sayısı (W/m^2K)
l	:Boy (m)
LR	:Lewis oranı ($^{\circ}C/kPa$)
M	:Toplam metabolik ısı üretimi (W/m^2)
m	:Vücut kütlesi (kg)
M_{act}	:Aktiviteye bağlı metabolik ısı üretimi (W/m^2)

m_{bl}	:Kan akışı debisi ($kg/m^2.s$)
m_{rsw}	:Birim zamanda üretilen ter miktarı ($kg/m^2.s$)
MS	:Beklenen varyans (boyutsuz)
M_{shiv}	:Titreme ile oluşan metabolik ısı üretimi (W/m^2)
nl	:Toplam giysi tabakaları sayısı (boyutsuz)
P	:Olasılık (boyutsuz)
P_a	:Ortam havasının su buharı basıncı (kPa)
PMV	: Isıl duyum indisi (boyutsuz)
$P_{sk,m}$:Ortalama deri sıcaklığındaki su buharı basıncı (kPa)
$P_{sk,s}$:Derideki su buharı basıncı (kPa)
$Q_{cr,sk}$:Kordan deriye olan toplam ısı transferi (W/m^2)
Q_{duy}	:Vücuttan olan toplam duyulur ısı transferi (W)
Q_{gizli}	:Vücuttan olan toplam gizli ısı transferi (W)
Q_{res}	:Solunum ile olan toplam ısı kaybı (W/m^2)
Q_{sk}	:Deriden olan toplam ısı kaybı (W/m^2)
R	:Işınım ile olan ısı transferi (W/m^2)
r	:Yarıçap (m)
R_a	:Dış hava tabakası ısı direnci (m^2C/W)
R_{al}	:Giysi tabakalarının arasındaki havanın ısı direnci (m^2C/W)
R_{cl}	:Giysi takımının ısı direnci (m^2C/W)
$R_{e,a}$:Dış hava tabakası buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,al}$:Giysi tabakalarının arasındaki havanın buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,cl}$:Giysi takımının buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,f}$:Kumaşın buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,t}$:Toplam buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
R_f	:Kumaşın ısı direnci (m^2C/W)
Rh_{sk}	:Deri nemliliği (boyutsuz)
R_t	:Toplam ısı direnci (m^2C/W)
S_{cr}	:Korda depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
SS	:Kareler toplamı (boyutsuz)
S_{sk}	:Deride depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
t	:Giysi katmanları arasındaki hava tabakası kalınlığı (mm)
T_a	:Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$T_{b,m}$:Vücut ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$T_{b,n}$:Vücut ortalama nötr sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{cr}	:Kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{cr,m}$:Ortalama kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{cr,n}$:Nötr kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	:Operatif sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_r	:Işınım sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{sk}	:Deri tabakasının sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{sk,m}$:Vücut ortalama deri tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{sk,n}$:Nötr deri tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
V	:Hava hızı (m/s)
w	:Deri ıslaklığı (boyutsuz)
W	:Yapılan iş (W/m^2)
w_{dif}	:Difüzyon kaynaklı deri ıslaklığı (boyutsuz)
w_m	:Vücut ortalama deri ıslaklığı (boyutsuz)
w_{rsw}	:Terin buharlaşması için gerekli olan deri ıslaklığı (boyutsuz)
$WSIG_b$:Vücuttan gelen ılık sinyal (boyutsuz)
$WSIG_{cr}$:Kordan gelen ılık sinyal (boyutsuz)
$WSIG_{sk}$:Deriden gelen ılık sinyal (boyutsuz)
α	:Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi (boyutsuz)
θ	:Zaman (s)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Şartlandırma odası, insanın konumu ve ölçüm noktalarının şematik görünümü	49
Şekil 3.2. Şartlandırma odasının üstten görünüşü ve insanın duvarlara göre konumu	50
Şekil 3.3. Nötral pozisyonda ana düzlemler (Kahle ve ark. 1992)	55
Şekil 3.4. Testo 454 veri toplama cihazı (a) hava hızı ölçüm probu (b) ortam sıcaklığı ve bağıl nem ölçüm probu	58
Şekil 3.5. Sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçümünde kullanılan termometre ve yüzey sıcaklığı ölçüm probu	59
Şekil 3.6. Boyun hareket açıklıklarının ölçümünde kullanılan goniometre	60
Şekil 4.1. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.2 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	66
Şekil 4.2. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.4 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	67
Şekil 4.3. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.6 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	67
Şekil 4.4. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.2 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	68
Şekil 4.5. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.4 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	69
Şekil 4.6. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.6 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	69
Şekil 4.7. Islak halde, 24 °C ortam sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında %40 bağıl nemde bulunan ortam için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	70

Şekil 4.8. Islak halde, 24 °C ortam sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında %80 bağıl nemde bulunan ortam için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	71
Şekil 4.9. Vücut kol parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	73
Şekil 4.10. Vücut bacak parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	73
Şekil 4.11. Vücut el parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	74
Şekil 4.12. Simülasyondan elde edilen vücut ortalama deri sıcaklığının, ortam sıcaklığının ani düşmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	75
Şekil 4.13. Simülasyondan elde edilen vücut ortalama deri sıcaklığının, ortam sıcaklığının ani yükselmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	75
Şekil 4.14. Simülasyondan elde edilen vücuttan olan buharlaşma ısı kayıplarının, ortam sıcaklığının ani yükselmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması	76
Şekil 4.15. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 22 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi	77
Şekil 4.16. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 24 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi	78
Şekil 4.17. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 26 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi	78
Şekil 4.18. Sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi ve sonuçların benzer literatür verileri ile karşılaştırılması	79
Şekil 4.19. Sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi ve sonuçların benzer literatür verileri ile karşılaştırılması	80
Şekil 4.20. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	87
Şekil 4.21. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	87
Şekil 4.22. Kuru hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	88

Şekil 4.23. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	89
Şekil 4.24. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	90
Şekil 4.25. Islak hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	91
Şekil 4.26. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	92
Şekil 4.27. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	92
Şekil 4.28. Islak hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	93
Şekil 4.29. Islak hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi	93
Şekil 4.30. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	97
Şekil 4.31. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	97
Şekil 4.32. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	98
Şekil 4.33. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	99
Şekil 4.34. Islak hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	99
Şekil 4.35. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	100
Şekil 4.36. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	100
Şekil 4.37. Islak hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	101
Şekil 4.38. Islak hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	101

Şekil 4.39. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	103
Şekil 4.40. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	103
Şekil 4.41. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	104
Şekil 4.42. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	105
Şekil 4.43. Islak hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	105
Şekil 4.44. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	106
Şekil 4.45. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	106
Şekil 4.46. Islak hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	107
Şekil 4.47. Islak hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi	107
Şekil 4.48. Kuru hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	114
Şekil 4.49. Kuru hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	114
Şekil 4.50. Islak hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	115
Şekil 4.51. Islak hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	115
Şekil 4.52. Kuru hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi	116

- Şekil 4.53. Kuru hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi 117
- Şekil 4.54. Islak hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi 117
- Şekil 4.55. Islak hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi 118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Simülasyonda kullanılan vücut kısımları ve bu kısımlara ait değerler	30
Çizelge 3.2. Vücut parçalarına ait nötr kor ve deri sıcaklıkları	31
Çizelge 3.3. Simülasyonda kullanılan görüş faktörleri [$F(i,m)$ (%)]. (Vücudun simetrik yapısından dolayı sadece vücudun sol bölümü tabloda gösterilmiştir.)	34
Çizelge 3.4. İlk grup deneysel çalışmalarda, haftalara göre deney ortamı için sabit ve değişkenler ile denek sayısının durumu	51
Çizelge 3.5. İkinci grup deneysel çalışmalarda, haftalara göre deney ortamı için sabit ve değişkenler ile denek sayısının durumu	52
Çizelge 3.6. Servikal (boyun) hareket açıklıkları,oluştukları düzlemler ve tanımları	54
Çizelge 3.7. Deneklere ait antropometrik özellikler	57
Çizelge 3.8. İstatistiksel tasarım parametreleri.	61
Çizelge 4.1. Kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri	63
Çizelge 4.2. Yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler	64
Çizelge 4.3. Vücut parçaları için toplam ısı ve buharlaşma dirençleri	64
Çizelge 4.4. Erkek yazlık giyimi için direnç değerleri ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	65
Çizelge 4.5. Vücut parçalarına ait deri sıcaklığının sürekli rejim halinde benzer literatür verileri ile karşılaştırılması (25 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nem, 0.2 m/s hava hızı)	81
Çizelge 4.6. Sıcaklık analizinde 1. zaman adımı için sağa dış rotasyon açısı farkı	84
Çizelge 4.7. Sıcaklık analizinde 1. zaman adımı için sola dış rotasyon açısı farkı	84
Çizelge 4.8. Sıcaklık analizinde sağa dış rotasyon için ANOVA tablosu	84
Çizelge 4.9. Sıcaklık analizinde sola dış rotasyon için ANOVA tablosu	85

Çizelge 4.10. Sıcaklık analizinde sağa dış rotasyon için SNK testi sonucu	86
Çizelge 4.11. Sıcaklık analizinde sola dış rotasyon için SNK testi sonucu	86
Çizelge 4.12. Hız analizinde 2. zaman adımı için sağa dış rotasyon açığı farkı	94
Çizelge 4.13. Hız analizinde 2. zaman adımı için sola dış rotasyon açığı farkı	94
Çizelge 4.14. Hız analizinde sağa dış rotasyon için ANOVA tablosu	95
Çizelge 4.15. Hız analizinde sola dış rotasyon için ANOVA tablosu	95
Çizelge 4.16. Hız analizinde sağa dış rotasyon için SNK testi sonucu	96
Çizelge 4.17. Hız analizinde sola dış rotasyon için SNK testi sonucu	96
Çizelge 4.18. 3 faktörlü analizde 1. zaman adımı için sağa dış rotasyon açığı farkı	109
Çizelge 4.19. Sağa dış rotasyonda 1. zaman adımı için ANOVA tablosu	109
Çizelge 4.20. Sağa dış rotasyonda 1. zaman adımı için SNK testi	109
Çizelge 4.21. 3 faktörlü analizde 2. zaman adımı için sağa dış rotasyon açığı farkı.	110
Çizelge 4.22. Sağa dış rotasyonda 2. zaman adımı için ANOVA tablosu	110
Çizelge 4.23. Sağa dış rotasyonda 2. zaman adımı için SNK testi	110
Çizelge 4.24. 3 faktörlü analizde 1. zaman adımı için sola dış rotasyon açığı farkı.	111
Çizelge 4.25. Sola dış rotasyonda 1. zaman adımı için ANOVA tablosu	111
Çizelge 4.26. Sola dış rotasyonda 1. zaman adımı için SNK testi	112
Çizelge 4.27. 3 faktörlü analizde 2. zaman adımı için sola dış rotasyon açığı farkı.	112
Çizelge 4.28. Sola dış rotasyonda 2. zaman adımı için ANOVA tablosu	112
Çizelge 4.29. Sola dış rotasyonda 2. zaman adımı için SNK testi	113
Çizelge 4.30. İlk grup deneylerde elde edilen, sıcaklık değişimine bağlı olarak PMV değerleri	119

Çizelge 4.31. İlk grup deneylerde elde edilen, hız değişimine bağlı olarak PMV değerleri	119
Çizelge 4.32. İlk grup deneylerde elde edilen, nem değişimine bağlı olarak PMV değerleri	119
Çizelge 4.33. İkinci grup deneylerde elde edilen PMV değerleri	120

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 verimliliği ve insan – makine – çevre temel yasalarını ortaya koymaya çalışan çok disiplinli bir araştırma ve geliştirme alanı” olarak tanımlanmaktadır (Anonim 1993, Erkan 1997). Konfor bir düşünce hali olduğu ve çalışılan ortamın ısıl koşulları insan verimliliğini etkilediği 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 ısıl ışınlım gibi detay noktalar dışında konfora etki eden en temel faktörler kişisel ve çevresel parametreler olarak iki grup altında toplanabilir (McQuiston ve Parker 1994, Holz ve ark. 1996, Havenith ve ark. 2002). 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 ışınlım sıcaklığı

olarak sıralanabilir.

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 ışınlam 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 (Anonim 1993, Butera 1998).

Yine de belirli bir ortam şartlarında, tüm insanların kendilerini tamamen konforlu hissetmedikleri bilinen bir konudur. Konforu etkileyen çevresel parametrelerden sıcaklık belirli bir ortamda kolaylıkla ölçülebilir. Yine ortam bağıl nemi ölçülerek veya ölçülebilen değişkenler yardımı ile psikometrik diyagramdan tespit edilebilir. Hava hızı ve ortalama ışınlam sıcaklığı da yaygın olarak kullanılan anemometreler ve glob termometreleri vasıtasıyla elde edilebilir. Ortam sıcaklığı hem deriden hem de solunum ile olan duyulur ve gizli ısı transferini etkilemektedir. Giyimli bir insan için dinlenme veya hafif iş durumunda 23 °C ile 27 °C operatif sıcaklık (ışınlam sıcaklığı ile çevre hava sıcaklığının karşılıklı ısı geçiş katsayılarına göre ağırlıklı ortalaması) aralığı konfor şartlarını sağlarken, çıplak insan için bu aralık 29 °C ile 31 °C dir. Bağıl nem de havanın nemi absorblayabilmesinin bir ölçüsü olduğu ve böylece vücuttan buharlaşma ile atılan ısı miktarını etkilediği için ısı konfor üzerinde önemli derecede etkilidir. Arzu edilen bağıl nem aralığı %30 ile %70 aralığındadır ve %50 en çok kabul edilen değerdir. Isıl konforu etkileyen diğer bir temel faktör de hava hareketleridir ki ortamdaki yüksek hava hızları istenmeyen yerel soğumalara ve dolayısıyla yerel konforsuzluklara sebebiyet verebilir. Arzu edilen hava hızı genellikle yaz ve kış şartlarına bağıl olarak 0.15 m/s ile 0.25 m/s arasında değişmektedir (Anonim 1993). Bu ısı konfor aralıklarının en güncel ve detaylı hali ise ASHRAE Standart 55 – 2004 (Anonim 2004)' de grafik halde verilmektedir. Operatif sıcaklığı ve dolayısıyla vücuttan olan duyulur ısı kaybını etkileyen bir diğer parametre de ortalama ışınlam sıcaklığıdır. Özellikle dış duvarları yüksek güneş ışınlamına maruz kalan, yeterli yalıtıma sahip olmayan binalarda, duvar iç

yüze sıcaklıklarının yüksek sıcaklıklara ulaşmasından dolayı, iç ortamın sıcaklığının, neminin ve ortamdaki hava hızının kontrol edilmesi ve arzu edilen değerlerde tutulması, yüksek ortalama ışıınım sıcaklığından dolayı, ortamda ikamet edenler için ısı konforu sağlamada yeterli olmayabilecektir. Ortamda bulunan sıcak veya soğuk duvarlar ve yüzeyler, iç ortam sıcaklığı konfor sınırları içinde olsa bile, ortamda ikamet eden insanlar için soğukluk veya sıcaklık hissi verebilecektir. Bu nedenle, ortamda sıcak veya soğuk yüzeyler mevcut ise konfor hesaplamalarında ışıınım sıcaklığı da mutlaka dikkate alınmalıdır.

Isıl konforu etkileyen çevresel parametreler ölçülerek veya ölçülebilen parametreler ile hesaplanarak yada psikometrik diyagramdan tespit edilebilir. Fakat kişisel parametrelerin tespiti kısmen daha zordur. Kişisel parametrelerden giysi yalıtım değerleri ısıtılmış mankenler veya insanlar üzerinde yapılan deneysel sonuçlardan elde edilebilmektedir. İnsan üzerinde bulunan giysi tabakaları ve özellikleri hem duyulur ısı kaybı hesabında kullanılan ısı direnci hem de gizli ısı kaybı hesabında kullanılan buharlaşma direncini ve dolayısıyla insan vücudu üzerindeki ısı yükü önemli derecede etkilemektedir. Çeşitli giysilerin ve giysi gruplarının ısı ve buharlaşma dirençleri ile çeşitli durumlarda bunların değişimi birçok kaynakta verilmektedir (Anonim 1993, McCullough ve ark. 1995). Genellikle yazlık hafif giyimde ısı direnç yaklaşık 0.5 – 0.6 clo (1 clo=0.155 m²-K/W), kışlık giyimde ise 1 – 1.3 clo arasında değişmektedir (Anonim 1993, Havenith ve ark. 2002).

Kişinin aktivitesine göre, ikinci bir kişisel parametre olan, metabolizmanın ürettiği enerji de değişmektedir. Metabolik enerji üretimini ifade eden birim “met” olup, dinlenme halindeki bir insanın metabolik hızı olarak tanımlanmıştır (1 met=58.2 W/m²). Çeşitli aktiviteler için metabolik enerji üretimi değerleri çeşitli kaynaklarda mevcuttur (Anonim, 1993, Butera 1998). Ortalama yetişkin bir insanın ısı transfer yüzey alanı (Dubois yüzey alanı) yaklaşık 1.8 m² dir ve yaklaşık 106 W enerji üretir. Ortamın konforlu hissedilmesi için bu 106 W çevreye ısı kaybı olarak atılmalıdır. Kişisel parametrelerden metabolik enerji üretiminin tespitinde kullanılan 3 temel metot ISO 8996 standardında belirtilmiştir. Bunlardan ilki aktivitenin veya işin şekline göre metabolik enerji üretimini veren tabloların kullanımınıdır. İkinci metotta kalbin atış sayısı ile üretilen metabolik ısı enerjisi arasındaki lineer ilişkiden yararlanılır. Üçüncü yöntem direkt ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt yöntemde üretilen ısı enerjisi

kalorimetre ile ölçülürken, dolaylı yöntemde kişinin oksijen tüketimi oranından yararlanılır ki bu dolaylı kalorimetre olarak isimlendirilir (Olesen ve Parsons 2002, Havenith ve ark. 2002, Anonim 1993).

Tez çalışmasının 2. bölümünde Kaynak Araştırması kısmından görülebileceği üzere, ısı konfor hesaplamalarında birçok model için veri tabanı oluşturulmuş, ısı ve buharlaşma direnç hesapları yapılmış ve hareketli halde dirençlerin değişimi incelenmiş, metabolik enerji üretimi ölçümleri ve iş verimliliği üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Isıl konforun belirlenmesi ve ısıl duyum için gerçek ortamlardan alınan ölçümler ile çeşitli ısı duyum indisleri hesaplanmış ve deneklere yapılan anketler ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalarda, iç ortam hava kalitesi ve havalandırma oranları da incelenmiş ve bunlara bağlı olarak “hasta bina sendromu (SBS)” durumu da ele alınmıştır.

Literatürde ısı konfor üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. İklimlendirilen ortamların insan üzerine etkisi incelenirken, sadece iç hava kalitesine ve havalandırma oranına bağlı olan SBS semptomları ele alınmıştır. Fakat iklimlendirilen ortamda oluşan ısı konfor parametrelerinin insan üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir çalışma literatürde mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında tamamen SBS’ den farklı olarak ısı konfor parametrelerinin insan üzerine etkisi incelenecektir.

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.

Kas içinde lokal iskemi sonucu geliştiği düşünülen tetik noktalar ve gergin bantlar ile karakterize “Miyofasiyal ağrı sendromu”nda ağrı ve boyun hareketlerinde buna bağlı olarak oluşabilecek kısıtlılıkların sıcaklık, hız ve nem gibi hava koşullarından etkilendiği ileri sürülse de, yapılan literatür taramasında bu konuda yapılmış bilimsel bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada sıcaklık, nem, hava hızı gibi iklimlendirilmiş ortam şartlarının sağlıklı denekler üzerinde boyun hareket açıklıkları üzerine etkileri incelenecektir. Bunun için, kişinin vücudunun kuru ve terli hali için, kontrollü bir çevrede sağlanacak farklı ortam sıcaklığı, nemi, hava hızı parametrelerinde, ortam koşullarının, boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi araştırılacaktır. Böylece iklimlendirilmiş ortamlarda

yaşayan insanlar için, üretkenlik ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek miyofasiyal sorunlara ve boyun hareket kısıtlılıklarına yol açmayacak en uygun şartlar saptanabilecek ve önerilebilecektir.

İnsanların ısı ortamlara verdikleri cevap kişiden kişiye önemli değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada insanın çevresi ile olan ısı etkileşimi, oluşturulan bir model vasıtasıyla elde edilen bir simülasyon programı ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan simülasyonda iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli veya diğer bir deyişle 2 bölmeli Gagge modeli kullanmakta fakat model üzerinde çeşitli ve önemli değişiklikler yapılmaktadır. Bilindiği üzere 2 bölmeli Gagge modeli tüm vücut için uygulanmaktadır. Oluşturulan simülasyonda 2 bölmeli Gagge modeli tüm vücuttan ziyade bağımsız 16 vücut parçasına uygulanmaktadır. Böylece belirli ortam koşullarında bulunan insanın çeşitli vücut parçalarına ait deri sıcaklığının ve buna bağlı duyulan ısı kaybının, vücut ıslaklığının ve buna bağlı olarak buharlaşma ısı kaybının ve bunların yanı sıra solunumla olan ısı kaybının zamanla değişimi simülasyon çıktısı olarak elde edilebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan simülasyon sonuçları ve deneysel veriler eş zamanlı olarak değerlendirilecektir. Belirli ortam koşullarında vücudun ısı tepkileri simülasyondan alınacak, o ortam koşullarında boyun hareket açıklıklarındaki değişimler ise deneysel olarak elde edilecek ve beraber yorumlanacaktır.

Çalışma kapsamında 2. bölümde literatürde ısı konfor ile ilgili yapılan çeşitli araştırmalar sunulacak ve bu kaynaklardan tez çalışmasında hangi yönlerden yararlanıldığından bahsedilecektir. 3. bölüm olan materyal ve yöntem kısmında oluşturulan simülasyonda kullanılan model tanıtılacak, modelin 16 vücut parçasına uygulanışından bahsedilecek, yapılan deneyler ve bu deneylerde kullanılan aparatlar üzerinde durulacaktır. 4. bölüm olan araştırma sonuçları ve tartışma kısmında ise, ilk önce oluşturulan model vasıtasıyla elde edilen sonuçların güvenilirliği tartışılacak, elde edilen teorik sonuçlar yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve literatürde bulunan benzer veriler ile karşılaştırılacaktır. Teorik sonuçların güvenilirliği gösterildikten sonra, çeşitli ortam koşullarının boyun hareket açıklıklarına etkisi yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile tartışılacak, yorumlar yapılırken o ortam koşullarında insanın ısı tepkileri simülasyondan elde edilen sonuçlar ile değerlendirilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen literatür özetlenecektir. Bu çalışmalar 3 başlık altında ele alınacaktır. “Giriş” bölümünde de bahsedildiği üzere, çalışma kapsamında insan ile çevresi arasındaki ısı etkileşim için bir model ve simülasyon oluşturulmuştur. Bu model ve simülasyonda kullanılan çalışmalar “Model ve Simülasyon için Gerekli Kaynaklar” başlığı altında incelenecektir. Bunun yanı sıra ısı konfor ile ilgili olarak çok çeşitli yönde birçok çalışma yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar da “Isıl Konfor Üzerine Yapılan Çalışmalar” başlığı altında özetlenecektir. Yine “Giriş” kısmında belirtildiği üzere, mevcut çalışma kapsamında ısı konfor parametrelerinin insan boyun hareket açıklıklarına etkisi deneysel olarak incelenmektedir. Literatürde mevcut, ısı konfor ve insan sağlığı ilişkisi ile ilgili çalışmalar ile boyun hareket kısıtlılıklarına sebep olan miyofasial tetik noktalar ve ağrılar ile boyun hareket açıklığı ölçüm yöntemleri ile ilgili çalışmalar da “İnsan Sağlığı Üzerine Yapılan Çalışmalar” başlığı altında açıklanacaktır. Bu incelemenin ardından “Tezin Katkısı ve Yenilikleri” başlığı altında mevcut çalışmanın şimdiye kadar yapılan çalışmalardan farklılığı, hedeflediği ve gerçekleştirdiği bilimsel iyileştirme ve gelişme özetle sunulacaktır.

2.1. Model ve Simülasyon için Gerekli Kaynaklar

Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan simülasyonda iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli veya diğer bir deyişle Gagge modeli kullanılmıştır. Bu nedenle Gagge tarafından yapılan çalışmalar önem arz etmektedir. Gagge ve ark. (1941) tarafından, insan vücudu ile çevresi arasındaki ısı etkileşiminin, ısı mühendisleri, tıp doktorları ve fizyolojistler olmak üzere 3 meslek grubunun ilgi alanına girdiği vurgulamaktadır. Bu nedenle çalışmalarında, insan ile çevresi arasındaki ısı etkileşim için bu 3 meslek grubunun da kullanabileceği ortak bir birim sistemi tanımlamayı amaçlamışlardır. Gagge tarafından oluşturulan iki bölmeli anlık enerji dengesi modelinin detayları da Gagge ve ark. (1971) ve Gagge ve ark.’ da (1986) verilmektedir. Bu model detaylı olarak ASHRAE tarafından sunulan el kitabında da mevcuttur (Anonim 1993).

Olesen ve ark. (1988) yaptıkları deneylerde 16 erkek denek kullanmıştır. Deneylerde toplam ısı direnci 1.3 clo olmak üzere aynı olan 5 farklı elbise takımını ısı konfor açısından değerlendirmişlerdir. Elbiselerin toplam direnci aynı olmasına rağmen vücut üzerinde dağılımları asimetrik yani farklıdır. Yapılan deneylerde ortam sıcaklığı, denek ortalama deri sıcaklığı 33.3 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, denekler tarafından tercih edilen ortam sıcaklığının giysi yalıtım asimetrisinden çok fazla etkilenmediği belirtilmektedir. Bahsedilen çalışmada da insan vücudu 16 ayrı parçaya ayrılarak inceleme yapılmıştır. Mevcut çalışmada ele alınan 16 bağımsız vücut parçası Olesen ve ark. (1988) tarafından verilenler ile aynıdır.

Tanabe ve ark. (2002), Stolwijk (Stolwijk 1970,1971) ısı konfor modeline dayanan 65 noktalı ısı model geliştirmiştir. Bu model her biri kor, kas, yağ ve deriden oluşan, ısı manken yaklaşımına benzer 16 vücut parçasını ele almaktadır. Modeldeki 65. nokta merkezi kan bölmesini temsil etmektedir ve bu merkez ile diğer bütün noktalar arasında kan dolaşımı yoluyla taşınım ile ısı değişimi meydana gelmektedir. Modelde taşınım ve ışınım ısı transfer katsayıları ile giysi yalıtımı değerleri ısı manken deneylerinden elde edilen değerler olarak alınmıştır. Modelde kullanılan sabitler ve katsayılar çalışmada detaylı olarak sunulmuştur. Tanabe ve ark. (2002) çalışmalarında, ayrıntılı simülasyon metodunu tanıtmışlar ve bir uygulama örneği sunmuşlardır. Bahsedilen çalışmada, 16 vücut parçası için nötr kor ve deri sıcaklıkları ile yine 16 vücut parçasına ait DuBois yüzey alanları ve vücut parçası ağırlıkları verilmiştir. Mevcut tez çalışması kapsamında oluşturulan modelde bu verilerden yararlanılmıştır.

Sorensen (2002), bir ısı manken için detaylı ışınım özelliklerini nümerik olarak bir CFD program ile tespit etmeye çalışmıştır. Bu nümerik çalışmanın amacı, vücut parçalarının birbirleri arasındaki ve her bir vücut parçası ile ortamdaki yüzeyler arasındaki görüş faktörlerini tespit edebilmektir. CFD programda hazırlanan modelde, ısı manken 16 parçaya ayrılmış ve eni, boyu ve yüksekliği sırası ile 2.95 m, 2.95 m ve 2.4 m olan odanın tam ortasında merkezlenmiştir. Yapılan nümerik çözümleme neticesinde her bir vücut parçasının çevre yüzeyler ile ayrı ayrı görüş faktörleri ve vücut parçalarının birbirleri ile olan görüş faktörleri tablolar halinde sunulmuş, ayrıca vücut parçalarının birbirlerine olan ışınım ile ısı transferinin küçümsenmeyecek ölçüde olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen değerler literatürdeki benzer veriler ile karşılaştırılmış ve uygun olduğu gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında sunulan simülasyon, her bir

vücut parçasının çevre yüzeyler ile yaptığı ışınlı da kapsamaktadır. Simülasyonda, ışınlı hesapları yapılırken Sorensen (2002)' de verilen görüş faktörlerinden yararlanılmıştır.

Huizenga ve ark. (2001), Stolwijk ısı denge modeline dayalı Berkeley konfor modelini oluşturmuştur. Oluşturulan model Stolwijk modeline dayanmakta fakat model üzerine çeşitli ve önemli gelişmeler eklemektedir. Kurulan yeni model Stolwijk modelinde 6 olan vücut parçası sayısını daha yukarıya çekebilmektedir. Modeldeki her bir vücut parçası yine kor, kas, yağ ve deri olmak üzere 4 tabaka ve bir giysi tabakası olarak ele alınmıştır. Vazodilasyon, vazokonstriksiyon, terleme ve metabolik ısı üretimi gibi fizyolojik mekanizmalar modelde net bir şekilde göz önünde bulundurulmuştur. Yine oluşturulan modelde vücudun herhangi bir parçasının araba koltuğu veya herhangi bir başka yüzeyle temasından dolayı olan iletimle ısı geçişi ile vücut ile çevresi arasında taşınım ve ışınlı ile olan ısı transferleri de ayrı ayrı ele alınmıştır. Işınlı hesapları yapılırken ortamda bulunan yüzeyler ile her bir vücut parçası arasındaki görüş faktörü de hesaplanmıştır. Sunulan model üniform olmayan, geçici rejim durumları için insanın ısı çevreye vereceği cevapları tahmin etmeye yatkındır. Huizenga ve ark.'nın (2001) çalışmaları fizyolojik algoritmayı ve modelin uygulanışını sunmaktadır. Çalışmada, modelden elde edilen deri sıcaklıkları, literatürde mevcut deneysel fizyolojik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve modellerinin uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelden elde edilen çeşitli vücut parçalarına ait deri sıcaklıkları, ortalama deri sıcaklığı ve vücuttan olan buharlaşma ısı kaybı değerleri, Huizenga ve ark.'da (2001) verilen değerler ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu için bahsedilen çalışma tez çalışması kapsamında önem arz etmektedir.

Yi ve ark. (2004), deri üzerinde biriken ter miktarını da göz önünde bulunduracak şekilde Stolwijk çok noktalı modeli geliştirmiş ve modeli simüle ederek insan fizyolojik tepkilerini tahmin etmeye çalışmıştır. Modelde baş, gövde, kollar, eller, bacaklar ve ayaklar olmak üzere 6 vücut parçası kullanılmış ve yine her bir vücut parçasında, diğer Stolwijk modellerinde olduğu gibi, 4 ayrı tabaka kullanılmıştır. İnsan tepkilerini tahmin eden bu model giysi liflerinde su buharının adsorpsiyonunu da ele alan giysi malzemesinin nem ve ısı modeli ile birleştirilmiştir. Yani çok tabakalı giysi sistemi geliştirilmiş ve insan tepkilerini tahmin eden model ile birleştirilmiştir. Çalışmada, derideki ter birikimini de göz önüne alan bu yeni model için kullanılan matematiksel

eşitlikler detaylı olarak sunulmuştur. Yi ve ark. (2004), elde ettikleri sonuçları literatürde mevcut deneysel veriler ile karşılaştırmış ve uygun olduğunu göstermiştir. Yi ve ark. (2004), modelden elde ettiği, çeşitli ortam koşulları için, deri sıcaklığının ve deriden olan buharlaşma ısı kaybının zaman ile değişimini, inceledikleri 6 vücut parçası için sunmuştur. Bahsedilen çalışmada sunulan değerler tez kapsamında oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu için oldukça önemlidir. Tez kapsamında özellikle sırt bölgesindeki değişimler incelenmektedir. Yi ve ark. (2004) de gövde için zamana bağlı değişimler net bir şekilde ortaya koyulmaktadır.

Raven ve Horvath (1970), yaptıkları çalışmada, insanların soğuk etkiye verdikleri cevabı deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada 11 gönüllü erkek denek kullanılmıştır. Denekler 28 ± 1 °C sıcaklık, $\%45 \pm \%2$ nem seviyesindeki odadan 5 ± 1 °C sıcaklıktaki, $\%70 \pm \%2$ nem durumunda bulunan odaya geçirilmiş, çeşitli vücut parçalarının deri ve kor sıcaklıkları ölçülmüştür. Denekler deneyler esnasında sadece şort giymiş ve naylon bir yatak üzerinde sırt üstü yatmış pozisyonda bulunmuşlardır. Yatak, vücut üzerinde maksimum hava sirkülasyonunu sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Böylece çeşitli vücut parçalarının kor ve deri sıcaklığı zamana bağlı olarak ölçülmüş, vücudun soğuk etkiye verdiği tepki tayin edilmeye çalışılmıştır. Bahsedilen çalışmada verilen sonuçlar mevcut çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu için oldukça önemlidir.

Hardy ve Stolwijk' de (1966) ani sıcaklık değişimlerine vücudun verdiği tepkiyi deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında, 3 denek kullanmışlar ve deneklerin 43 °C sıcaklık $\%30$ bağıl nem durumunda bulunan bir ortamdan, 17 °C sıcaklık $\%40$ bağıl nemde bulunan başka bir ortama geçişi durumunda vücudun verdiği tepkileri tayin etmeye çalışmışlardır. Denekler bir odadan diğer odaya çok hızlı bir şekilde, 1 dakikanın altında bir sürede geçmiştir. Denekler yine sadece şort giymiş durumdadır. Bahsedilen çalışmada, belirtilen ortamlarda bulunan deneklerin 10 ayrı vücut parçasının ortalaması olarak, ortalama deri sıcaklığı ile kor sıcaklığı ve buharlaşma ısı kayıpları sunulmaktadır. Özetlenen çalışmada verilen sonuçlar da mevcut çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir niteliktedir.

Benzer deneyler Solwijk ve Hardy (1966) tarafından bu sefer ortam sıcaklık artışı için yapılmıştır. Bu çalışmada da 3 denek kullanılmış ve deneklerin 20 °C sıcaklık $\%40$ bağıl nem durumunda bir ortamdan, 48 °C sıcaklık $\%30$ bağıl nemde bulunan başka bir

ortama geçişi durumunda vücudun vermiş olduğu tepkiler tayin edilmiştir. Denekler deney esnasında sadece şort giymişlerdir. Sıcaklık artışı durumu için de 10 ayrı vücut parçasının ortalaması olarak, ortalama deri sıcaklığı ile kor sıcaklığının ve vücudun toplam buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi bahsedilen çalışmada sunulmaktadır ve bu değerlerde mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar ile yine karşılaştırılabilir niteliktedir.

McCullough ve ark. (1989), 22 tipik giysi takımı için, dış ortam taşınım direnci dahil ve hariç olarak ayrı ayrı ısı ve buharlaşma dirençleri ile buhar geçirgenlik verimlerini ısı manken deneyleri ile tayin etmiştir. Bu parametreler, 39 ayrı kumaş türü için de ıslak sıcak plaka aparatı (sweating hot plate apparatus) ile ölçülmüştür. Çalışmada, herhangi bir giysi sistemi için ısı ve buharlaşma direnci ile buhar geçirgenlik verimini tahmin edebilen 2 boyutlu bir hesaplama modeli de geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde deneysel olarak elde edilen kumaş dirençlerinden, kumaş kalınlık verilerinden, farklı kumaş tabakalarının vücut yüzey alanını kaplama oranından ve kumaş tabakaları arasında kalan havanın kalınlığından yararlanılmıştır. Modelden elde edilen tahminler, ısı manken deneylerinden elde edilen ölçümler ile karşılaştırılmış ve hatanın düşük olduğu görülmüştür. Mevcut tez çalışması kapsamında oluşturulan modelde, 16 ayrı vücut parçasının ısı ve buharlaşma dirençlerinin tayininde McCullough ve ark. (1989) tarafından sunulan 2 boyutlu hesaplama modelinden faydalanılmıştır. Yine gerekli kumaş dirençleri verileri bahsedilen çalışmadan elde edilmiş, kullanılan giysi takımı için hesaplanan toplam ısı ve buharlaşma dirençleri ile dış ortam taşınım direncinin çıkarılmasıyla elde edilen giysi takımı ısı ve buharlaşma dirençleri de McCullough ve ark. (1989) tarafından verilen deneysel veriler ile tez çalışması kapsamında karşılaştırılmıştır.

Toftum ve ark. (1998a), deri nemliliğinin konforsuzluğa neden olabileceği hipotezini 5 ayrı deri nemliliği seviyesi için 40 insan üzerinde test etmiştir. Buna ek olarak, çalışma kapsamında, tek bir yüksek deri nemliliği seviyesinde kumaş malzemesinin, ortam sıcaklığının ve giysi yalıtımının konforsuzluk algısı üzerine etkisi de ele alınmıştır. Bütün deneysel şartlarda deri nemliliği, ortamın ısı şartları ve giysi takımının deneysel buhar geçirgenliğinin kombinasyonu ile kontrol edilmiştir. Isıl nötr durumda, denekler artan deri nemliliği ile kendi deri şartlarını daha az kabul edilebilir olarak algılamışlardır. Toftum ve ark. (1998a), derideki bağlı nemliliğın fonksiyonu

olarak derideki ıslaklık sebebiyle oluşan memnuniyetsizliğin oranını tahmin edebilen bir model geliştirmiştir. Bu model, deri nemliliğinin sebep olduğu konforsuzluktan kaçınmak için gerekli iç ortam hava nemini belirlemede kullanılmıştır. Sonuç olarak ısı olarak nötr, sakin oturma konumunda insan için yüksek ortam bağıl neminin çok büyük konforsuzluklara yol açmadığı Toftum ve ark. (1998a) tarafından vurgulanmaktadır. Toftum ve ark. (1998b), insanın soluduğu havanın sıcaklığı ve neminin kabul edilebilirliğini incelemiştir. Çalışmada, solunum ile olan ısı transferinin yetersizliği sebebiyle meydana gelen memnuniyetsizliğin yüzdesini tahmin eden bir model geliştirilmiştir.

Toftum ve Fanger (1999), konfor bölgesi için üst nemlilik sınırlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda daha önce geliştirilen modeller kullanılmıştır. Bu modellerden biri Toftum ve ark. (1998a) tarafından geliştirilen, deri nemliliği sebebiyle meydana gelen konforsuzluğun tahminini yapan model, diğeri ise Toftum ve ark. (1998b) tarafından geliştirilen, solunum ile olan soğumanın yetersizliği sebebiyle meydana gelen konforsuzluğun tahminini yapan modeldir. Önerilen sınırlar ısı ortam şartları için varolan standartlarda tanımlanan maksimum izin verilen nemlilik sınırları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, %100 bağıl nem değerine yakın değerlerde bağıl deri nemliliği 0.54 civarında tespit edilmiş ve bu da yaklaşık %20 lik bir memnuniyetsizliği göstermiştir. Ortam bağıl nemi tespit edilirken solunum dolayısıyla oluşan konforsuzluğa daha fazla dikkat edilmesi gerektiği bahsedilen çalışmada belirtilmektedir. ASHRAE 55a gibi standartlarda verilen değerler ile yapılan karşılaştırmalarda, standartlarda verilen maksimum nemliliklerin deri nemliliği bakımından çok bağlayıcı olmadığı, fakat solunum yoluyla olan konforsuzluğa sebep olmamak için bu üst sınırın bağlayıcı olduğu vurgulanmaktadır. Toftum ve Fanger (1999) çalışmalarında, 22 °C, 24 °C ve 26 °C ortam sıcaklıklarında ısı ortam bağıl neminin izafi deri nemliliği üzerine etkisini de grafik olarak sunmuşlardır. Bu veriler mevcut tez kapsamında oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir nitelikte olduğu için oldukça önemlidir.

2.2. Isıl Konfor Üzerine Yapılan Çeşitli Çalışmalar

Havenith ve ark. (2002), giysi özellikleri ve metabolik ısı üretimi gibi ısı konforu etkileyen kişisel faktörler üzerinde durmuştur. Çalışmada, ısı konforunun değerlendirilmesinde “Ortalama Tahmini Oy (PMV)” indisinin kullanımının çok yaygın olduğunu ve PMV indisinin en uygun tahmini için ise metabolik ısı üretimi ve giysi parametrelerinin en doğru şekilde bilinmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışma temelde üç soruya cevap arama şeklinde yapılmıştır. Bunlardan birincisi vücudun hareketli olmasının veya hava hızının giysi ısı direnci üzerine etkisi olup olmadığı ve eğer var ise bu parametrelerin standartlar ile verilen konfor tahminlerini nasıl etkilediği üzerinedir. Diğerleri ise giysi buharlaşma direncinin konfor tahminleri üzerine etkisinin olup olmadığı ve eğer var ise buharlaşma direnci üzerine vücut hareketleri ve hava hızının etken olup olmadığı şeklindedir. Çalışmayı teşkil eden son soru, metabolik ısı üretimini tahmin metodlarının neler olduğu ve bunların doğruluk payı ile konfor değerlendirmelerinde ne kadar faydalı oldukları yönündedir. Havenith ve ark. (2002), çalışmanın sonucunda bu soruları cevaplayıcı yönde sonuçlara varmıştır. Sonuçlar şu şekilde sıralanabilir: Vücut hareketleri ve hava hızının giysi yalıtımı üzerine etkisi oldukça büyüktür ve tam doğru konfor tahminleri için bu parametreler mutlaka dikkate alınmalıdır. Yüksek buharlaşma direncine sahip giysiler yüksek deri ıslaklığına sebep olabilir ve bu da konforu sınırlar, bu nedenle konfor hesaplarında giysi buharlaşma direnci ihmal edilmemelidir. Yine vücut hareketleri ve hava hızı, giysi buharlaşma direnci ve dolayısıyla deri ıslaklığı üzerine önemli derecede etkindir ve ihmal edilmemesi gerekli parametrelerdir. Tam doğru konfor değerlendirmeleri için tam doğru metabolik ısı üretimi değerleri gereklidir. ISO 8996 da verilen metabolik ısı üretimi değerlerini geliştirmek için 2 met değerinin altındaki metabolik oranlara sahip aktiviteler için daha fazla ve detaylı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Havenith ve ark.’nın (2002) elde ettiği sonuçlar kişisel parametrelerin ısı konforu nasıl etkilediğini sunması açısından oldukça önemlidir.

Isıl ortam bağlı neminin konfor üzerine etkisi Fountain ve ark. (1999) tarafından incelenmiştir. Fountain ve ark. (1999) daha çok yüksek nemin etkisini ele almış, çalışmada kontrollü odada yapılan deneyler sunulmuştur. Bahsedilen çalışmada, 3 saatlik deneyler sırasında toplam 411 deneğin cevapları toplanmış ve seçilmiş 65

denekten de deri sıcaklığı ve ıslaklığı ölçümleri alınmıştır. İç ortam sıcaklığı 20 °C ile 26 °C, ortam bağıl nemi %60 ile %90 arasında değiştirilmiştir. 0.5 clo ve 0.9 clo olmak üzere iki farklı giyim durumu ele alınmış, 1.2 met, 1.6 met ve 4 met olmak üzere 3 farklı metabolik aktivite düzeyi göz önünde bulundurulmuştur. Yaklaşık 1.2 met metabolik aktivite seviyesine sahip sakin oturma esnasında nemin açık bir etkisi bulunamamış, 1.6 met ve 4 met metabolik aktivite seviyelerinde deneklerin cevaplarında farklılıklar oluşmaya başlamıştır. Fakat bu farklılıkların sebebinin direkt olarak nemle alakalı olup olmadığı ayırt edilememiş, bu farklılıklara ısıl dengenin ve sıcaklık denetim mekanizmalarının da sebep olabileceğinden bahsedilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan diğer bir sonuç ise 1.6 met ve üzerindeki metabolik aktivite düzeyleri için, memnuniyetsizliği %25 değerinin altına çekebilecek hiçbir nemlilik sınırının olmadığıdır.

Nemin konfor üzerine etkisi Berglund (1998) tarafından da araştırılmıştır. Berglund (1998) çalışmasında düşük ve yüksek nemin insan ısıl dengesi üzerine etkisini ele almış, düşük ve yüksek nem seviyelerinin ısıl denge dışında insana etkilerine de değinmiştir. Çalışmada, buharlaşma ile su kaybı ve dolayısıyla ısı kaybının, vücut ile çevre havası arasındaki su buharı basıncı farkına bağlı olduğu belirtilerek, nemin insan ile çevresi arasındaki ısıl dengeyi nasıl etkilediği sayısal olarak şu şekilde izah edilmiştir: 0.6 clo dirence sahip elbiseler ile 24 °C ve %50 bağıl nemde dinlenme durumundaki insan, difüzyona bağlı olarak, 21 mL/s su kaybeder. Bu enerji cinsinden de yorumlanabilir. Dinlenme durumunda insan 1 met (105 W) ısı üretir ve ısıl denge için bunu atmak zorundadır. 21 mL/s su kaybı ile bu enerjinin %20' si yani 21 W' lık kısmı buharlaşma kaybı şeklinde atılabilmektedir. Kalan ısı da diğer mekanizmalar ile atılmaktadır. Ortam sıcaklığı aynı kalmak üzere nem %50' den %20' ye düşürülürse atılması gereken 105 W' lık ısının %25' i yani 26 W buharlaşma ile atılmaktadır. Bu durumda atılması gereken duyulur ısı 84 W' lık ilk değerinden 79 W' a düşmekte ve deri sıcaklığı 0.3 °C azalmaktadır. Bu durumda kuru havada insan bir miktar soğuk hissine kapılabilir. %20 ile %50 bağıl nemde aynı konforun hissedilmesi için %20 nemde ortam sıcaklığı 1 °C arttırılmalıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda veya aktivite düzeyinin artmasında ısıl dengeyi sağlamak için aktif terleme gereklidir. Bu durumda nemin etkisi daha büyüktür. Yürüyen bir insan için metabolik aktivite 3 met (315 W)' dir ve ısıl denge için bu enerjinin atılması gereklidir. Ortam sıcaklığına bağlı olan

duyulur ısı kaybı çok az değişirken dinlenme durumunda ortaya çıkmayan fakat 3 met metabolik aktivite düzeyinde oluşan aktif terleme ile bu durumda atılan su 252 mL/s' ye çıkacak ve 161 W buharlaşma ile ısı kaybı olacaktır. Metabolik aktivitenin artmasında olduğu gibi yüksek sıcaklıktaki ortamda da yeterli duyulur ısı kaybı olmamasından dolayı buharlaşma kaybı önem kazanacaktır. Berglund (1998) tarafından verilen bu sayısal örnek, bu gibi durumlarda, ortam bağıl neminin yüksek olmasının yeterli buharlaşma kaybının sağlanamamasına sebep olacağını göstermektedir. Çalışmada ayrıca, düşük nemli ortamlarda insanlarda burun, boğaz, göz ve deri şikayetleri ortaya çıkabileceği, yüksek nemli ortamlarda ise bu havanın teneffüsünün konforsuzluk yaratabileceği belirtilmektedir.

Todde (2000), hafif aktivite düzeyinde, global ısıl konfor içindeki insanların yerel hava hareketlerine olan tepkisini deneysel olarak incelemiştir. Bahsedilen çalışmada cereyanın (draught) etkisi ele alınmış ve daha önceki çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Todde (2000)' de amaç global ısıl konfor şartlarında insanın, arkasından boynuna doğru olan yatay türbülanslı hava hareketlerine algısını ve hissini incelemektir. Çalışmada, 6 bayan 6 erkek olmak üzere 12 denek üzerinde incelemeler standart test odasında yapılmış, denekler hafif aktivite düzeyinde bulunurken, 80 cm arkasındaki jet üfleyiciden tam boyun bölgesine doğru yatay olarak hava gönderilmiş ve çeşitli sorgulamalar ile boyun sıcaklığını tespit işlemine tabi tutulmuşlardır. Üflenen hava sıcaklığı 22.2 °C ile 22.7 °C arasında değişmektedir. 3 tip sorgulama yapılmıştır. Birincisi hava hızı yoğunluğu olup, hava hareketi yok ile çok yüksek hava hareketi tercihleri 0 ile 4 arasında 5 ölçekten oluşmaktadır. İkinci soru boyuna gelen havanın sıcaklığı ile ilgilidir ve bu da nötrden çok soğuk şıkkına kadar 0 ile -4 arasında yine 5 ölçekten ibarettir. Üçüncü soru hava hareketi hissi ile ilgili olup, nötrden çok kötüye kadar 0 ile -3 arasında 4 ölçekten oluşmaktadır. Bu sorgulamanın yanı sıra başlangıçta deneklerin boyun sıcaklıkları tespit edilmiş ve bu sıcaklığa göre 2, 10 ve 20 dakika içerisinde farklı hava sıcaklıklarında boyun sıcaklıklarındaki düşüş tespit edilerek grafikler ile bahsedilen çalışmada sunulmuştur. Sonuç olarak, cereyanın özellikle yüksek hava hızlarında süreyle ilişkili olduğu, bayan ve erkek deneklerin cereyana olan tepkisinde farklılıklar olduğu ve bayanların erkeklere oranla daha çok etkilendiği, başlangıçta bayan ve erkek deneklerin deri sıcaklığındaki düşüş aynı iken zamanla bayanların deri sıcaklığındaki düşüşün daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Todde

(2000)' de, yaptığımız doktora tez çalışmasında olduğu gibi nem ve ortam sıcaklığı değil sadece hava hızı incelenmiş olup, boyun hareketleri üzerine herhangi bir inceleme mevcut değildir.

Olesen ve Parsons (2002), çoğunlukla yerel konforsuzluğa yol açan cereyan (draught), dikey hava sıcaklığı farkı, zemin sıcaklığı ve ışınım asimetrisi gibi konuları da içerecek şekilde ısı konforu ile ilgili varolan ISO standartlarını ve devam eden çalışmaları açıklamıştır. Çalışmada şu anda mevcut ısı konfor standardı olan EN ISO 7730' da yapılması gereken revizyonlar detaylı olarak sunulmuştur. Olesen ve Parsons (2002), varolan standartlarda ısı konforu veya konforsuzluğun tüm vücut için değerlendirildiğini belirtmekte, standartlarda yerel konforsuzluğa yol açan sebeplerin tartışılması gerektiğini vurgulamaktadır. Diğer yandan standartlarda ortam nemi ve hava hızı etkisinin güncellenmesi gerektiği de çalışmada belirtilmektedir.

Srinavin ve Mohamed (2003), PMV indisi vasıtasıyla ısı konforu ile üretkenlik arasındaki etkileşimi incelemiş, daha önce bu yönde yapılmış çalışmaların sonuçlarını istatistiki olarak inceleyerek denklemler elde etmiş ve yaptıkları deneyler ile elde ettikleri istatistiki sonuçları karşılaştırmışlardır. ısı konforu parametreleri ile üretkenlik arasındaki ilişki sadece imalat işleri için araştırılmıştır. Bu işlerde ağır, orta ve hafif iş olmak üzere 3 ayrı aktivite düzeyi göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneyler sırasında ağır iş olarak 350 W/m^2 aktivite düzeyine haiz elle kazı çalışması, orta düzeyli iş olarak 190 W/m^2 aktivite düzeyinde tuğla dizimi ve hafif iş düzeyi için 120 W/m^2 metabolik seviyedeki boyama işi değerlendirilmiştir. Srinavin ve Mohamed (2003), deneyler neticesinde, oluşturdukları modelin hafif ve orta düzey işler için yeterli doğrulukta sonuçlar verdiğini, fakat ağır iş için model sonuçlarının deneyler ile iyi bir uyum sağlamadığını vurgulamıştır. Ayrıca model sadece sıcak ortamlarda yapılan incelemelerden oluşmakta ve soğuk bölgeler için kullanılmaması gerektiği çalışma sonucunda belirtilmektedir.

Holz ve ark. (1997) çalışmalarında, bina enerji performans simülasyon programlarının ısı konforu ihmal ettiğinden bahsetmiş, bu programların temel anlamda ortam sıcaklığını kontrol etmenin ısı konforu sağlama anlamına geleceğini varsaydığını vurgulamışlardır. Bu nedenle Holz ve ark. (1997), hava hızı, ortalama ışınım sıcaklığı gibi ısı konforuna etki eden diğer parametreleri de çalışmalarında dikkate almıştır. Çalışmada, iki farklı bölgedeki 31 katlı bir ofis binası incelemeye alınmıştır. Binanın

enerji performansı DOE-2 isimli bir bina enerji performans simülasyon programı ile incelenmiştir. Daha sonra, DOE – 2 adlı programdan alınan ortam ile ilgili saatlik çıktı değerlerinin ısı konfor üzerine etkileri araştırılmıştır. Konfor araştırması, Fanger tarafından verilen tahmini ortalama oy (PMV) indisi ve buna bağlı olan ortamdaki memnun olmayanların yüzdesi (PPD) üzerinden ele alınmıştır. Sonuçta, ortam nemi ve hava hızının diğerleri ile karşılaştırıldığında konfor üzerine daha az etken olduğu gösterilmektedir. Fakat, nem ve hava hızının kalan 4 parametrenin etkisi incelenirken etken olduğu da çalışmada belirtilmektedir.

Binalarda enerji korunumu ve ısı konforu ile ilgili bir başka yaklaşımda Yang ve Su (1997) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, özellikle sıcak ve nemli bölgelerde, ışıma sıcaklığının önemli bir faktör olduğundan bahsedilmiş, yüksek ışıma sıcaklığı mevcut olan hallerde iç ortam sıcaklığı ve nemini kontrol etmenin ısı konforu sağlayamayabileceği üzerinde durulmuştur. Böyle durumlarda ortamdaki hava hızının soğutma yükünü azaltma ve böylece enerji korunumu sağlama yönünde önemli bir faktör olduğu söylenmektedir. Çalışmadaki amaç, yüksek ışıma sıcaklığı olan yerlerde ortam sıcaklığını düşürmek yerine ortamdaki hava hızını arttırarak aynı konforu sağlamak ve böylece soğutma yükünü düşürerek enerji ekonomisi sağlamaktır. Yang ve Su (1997) çalışmalarında, bu stratejiyi geçerli kılmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bahsedilen çalışmada ısı konforu incelemesi yine tahmini ortalama oy (PMV) indisi ile yapılmıştır. Çalışmada sonuç olarak, PMV indisinin, iç ortam hava hızını arttırmak ile enerji ekonomisi sağlamada ve daha iyi ısı konforu elde etmede yeni bir yol açtığı vurgulanmıştır. Yapılan deneyler, yüksek hava hızları ile aynı konfor seviyesinde yaklaşık %30 seviyesinde enerji ekonomisi sağlandığını göstermiştir. Bunun yanı sıra minimum ekstra fan gücü ile daha yüksek iç ortam havası sağlamak koşuluyla daha iyi konfor şartlarının sağlandığı vurgulanmıştır. Özetle çalışmada, PMV değerini nötr tutmak ve enerji ekonomisi sağlamak için iç ortam hava hızını otomatik olarak ayarlayacak bir akıllı kontrol ünitesinin geliştirildiğinden bahsedilmektedir.

Butera (1998), vücut ile çevre arasındaki ısı transferi mekanizmalarını açıklamış ve hesaplamalar için gerekli denklemleri sunmuştur. Bahsedilen çalışmada, çeşitli aktivite düzeyleri için metabolik ısı üretimi değerleri, PMV ve PPD gibi önemli konfor indislerinin hesabı, insan vücudu ile çevre ortamdaki yüzeyler arasındaki görüş faktörünün hesap yöntemi detaylı olarak verilmektedir. Sonuç olarak ise, 58 W/m^2 , 81

W/m^2 , $116 W/m^2$ ve $174 W/m^2$ metabolik aktivite düzeyleri için 0 clo, 0.25 clo, 0.50 clo, 0.75 clo, 1 clo ve 1.5 clo giysi yalıtım durumlarında ve muhtelif hava hızlarında operatif sıcaklığa bağlı olarak PMV indisinin değişimi grafikler ile verilmektedir.

Fanger (2001) çalışmasında, mevcut standart ve yönetmeliklere uyulmasına rağmen SBS semptomlarından rahatsız olanların mevcut olduğunu ve pek çok binada da iklimlendirmeden memnun olmayan insan sayısının oldukça fazla olduğunu belirtmektedir. Fanger (2001) çalışmada, mükemmel seviyede iç ortam koşullarının oluşması için beş adet ilke ileri sürmektedir. Bunlar; daha iyi iç hava kalitesi verimliliği artırır ve SBS semptomlarına rastlama sıklığını azaltır; gereksiz iç hava kirlilik kaynaklarından kaçınılmalıdır; havanın ortamdakilere serin ve kuru olarak verilmesi gerekir; düşük miktarlarda serin hava nazik şekilde bir bireyin soluma bölgesine yakın olarak verilmelidir; ısı ortamının bireysel bazda kontrolü sağlanmalıdır, şeklinde sıralanmaktadır.

Huizenga ve ark. (2004), binalarda ve otomobillerde sıkça karşılaşılan, üniform olmayan geçici rejim ısı şartlarında insanların fizyolojik ve sübjektif cevaplarını tayin edebilmek için, kontrollü bir çevrede insanları parçalı ve tüm vücut olarak ısıtma ve soğutma işlemine maruz bırakmışlardır. Çalışmada 109 denek kullanılmış, 19 yerel vücut parçası ve tüm vücut için deri sıcaklıkları, kor sıcaklıkları, ısıl duyum ve konfor cevapları toplanmıştır. Kor sıcaklığının derinin soğumasına karşılık yükseldiği ve derinin ısınması ile ise düştüğü görülmüştür. Vücut nötr ısıl şartlara yakın olduğunda, el ve parmak sıcaklıklarında önemli dalgalanmalar tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, soğuk çevrede bilgisayar kullanımı durumunda, bilgisayarda kullanılan elin deri sıcaklığının boş elin deri sıcaklığına göre $2 - 3 ^\circ C$ daha düşük olduğu, sıcak veya nötr şartlarda ise önemli değişikliklerin olmadığı çalışmada elde edilen bir başka sonuçtur.

Arens ve ark. (2006a), üniform ısıl şartlara maruz bıraktığı deneklerin, tüm vücut ve yerel vücut parçaları bazında ısıl duyumlarını ve konfor algılarını sorgulamıştır. Çalışmada, yerel vücut parçaları için ısıl duyum ve konforun büyük değişiklikler gösterdiği belirtilmektedir. Soğuk şartlarda, ellerin ve ayakların diğer vücut parçalarına göre daha soğuk hissedildiği, baş vücut parçasının ise soğuğa duyarsız fakat ılığa duyarlı olduğu ve ılık şartlarda vücudun geri kalan kısmına göre baş vücut parçasının daha ılık hissedildiği de ifade edilmektedir. Kişilerin tüm vücut için ısıl duyum ve konfor algılarının ise, ılık şartlarda en ılık hissedilen baş vücut parçası algısı ve soğuk

şartlarda ise en soğuk hissedilen el ve ayakların algısı ile paralellik gösterdiği bahsedilen çalışmada belirtilmektedir. Bunların yanı sıra, deneklerin nötr şartları çok konforlu değil konforlu olarak değerlendirdikleri de elde edilen sonuçlardan biridir.

Arens ve ark. (2006b) ise 3 saatlik bir periyotta, vücut parçası bazında ısıtma ve soğutmaya maruz bıraktıkları denekleri incelemişlerdir. Böylece çalışmada, tüm vücut ve 19 yerel vücut parçası için, deri sıcaklıkları, kor sıcaklıkları, ısıl duyum ve konfor cevapları toplanmıştır. Çalışmada, yerel ısıl duyum ve konfor ile deri ve kor sıcaklıkları arasında ilişki kurulmaya çalışılmış, yerel vücut parçalarının ısıl duyum ve konfor algılarının, tüm vücut için ısıl duyum ve konfor algılarını nasıl etkilediği incelenmiştir. Isıl duyum ve konfordaki değişimin, vücut parçalarının ısıtılması yada soğutulmasında, tüm vücuda göre olandan daha güçlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynakli ve ark. (2005) çalışmalarında, otomobil içerisinde, insan ile çevresi arasındaki ısıl etkileşimi inceleyen bir model sunmuşlardır. Model vasıtasıyla, ısıtma ve soğutma sürecinde zamana bağlı olarak ısıl konfor durumunu ele almışlar, elde ettikleri teorik sonuçları yaptıkları deneyler ve literatür verileri ile karşılaştırmışlardır.

Yiğit (1999), Olesen ve ark. (1988) tarafından sunulan 16 bağımsız vücut parçası yaklaşımı çerçevesinde Fanger ve Gagge modellerini birleştirmiş ve yeni bir model oluşturmuştur. Bu model vasıtasıyla 16 ayrı vücut parçası için ısıl ve buharlaşma dirençlerini hesaplamış, 5 ayrı giysi takımı için toplam ısıl ve buharlaşma dirençlerini tayin etmiş ve bu değerleri literatürdeki deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Yiğit (1998) ise bir önceki çalışmasında belirtilen model vasıtasıyla, belirli ortam şartlarında, 16 ayrı vücut parçasından olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarlarını hesaplamış ve sonuçları literatürde mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Mevcut tez çalışması aşamasında, oluşturulan modelin gelişimi sırasında da ısıl konfor üzerine çeşitli yayınlar yapılmıştır. Yayınların yapılması sırasında, model gelişim aşamasında olduğu için, tez ile yayınlarda sunulan model arasında küçük farklılıklar da mevcuttur. Bu kısımda bu yayınlar özetlenecek, tez çalışması ile yayınlarda oluşan farklılıklar da tartışılacaktır.

Atmaca ve Yiğit (2006), tez çalışması kapsamında oluşturulan 2 bölmeli 16 parçalı Gagge modeli vasıtasıyla hazırlanan simülasyon ile ısıl ortam bağıl neminin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine etkisini teorik olarak incelemiştir. Bahsedilen çalışmada oluşturulan model, tez çalışmasında oluşturulan modele benzerdir. Tez çalışmasında

oluşturulan modelden farklı olarak, sıcaklık denetim sinyalleri tüm vücut yerine her bir vücut parçası için ayrı ayrı alınmıştır. Bu modelden elde edilen teorik sonuçlar, yapılan deneyler ve literatürde mevcut benzer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda en büyük sıkıntı belli bir aktivite seviyesinde bisiklet egzersizi yapan kişinin metabolik enerji üretiminin tahmini kısmında olmuştur. Bahsedilen yayında, bisiklet egzersizi için metabolik aktivite seviyesi, 1.2 m/s hızla düz yüzeyde yürüme durumu için 150 W/m^2 (2.6 met) olarak alınmıştır. Bu tamamen bir kabul değeridir. Mevcut tez çalışmasında ise, daha doğru karşılaştırmalar için, bisiklet egzersizinde metabolik aktivite seviyesi, simülasyonda en yüksek denek deri sıcaklığı elde edilecek şekilde tayin edilmiş, karşılaştırmalar dışındaki simülasyon sonuçları için ise 1.8 m/s hızla düz yüzeyde yürüme durumu için literatürde verilen değer olan 220 W/m^2 değeri kabul edilmiştir. Yine yayın çalışmasında sıcaklık denetim sinyalleri her bir vücut parçası için ayrı ayrı alındığı için, giysilerin toplam ısı ve buharlaşma direnç sonuçları tez çalışmasında ve yayın çalışmasında bir miktar farklılık arz etmektedir. Bahsedilen çalışmada, 26 °C, 30 °C ve 34 °C operatif sıcaklıklarda %30, %50, %70 ve %90 nem seviyelerinde vücut parçalarının sıcaklığı ve ıslaklığının değişimi incelenmiştir.

Atmaca ve ark. (2005), tez çalışması kapsamında oluşturulan modelden farklı olarak, sürekli rejim enerji dengesi modeli ile çeşitli metabolik aktivite düzeyinde çalışan insanlar için ısı konfor durumunu ve üretkenliğin değişimini ele almışlardır.

Yiğit ve Atmaca (2005) ise, ısı ortam bağıl neminin ısı konfora etkisini 26 °C den 36 °C' ye kadar 4 °C aralıkla her bir operatif sıcaklık için, yine 16 ayrı vücut parçası üzerinden incelemişler, ısı konfor yada konforsuzluğu deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerinden yorumlamışlardır. Bu yayında da tez çalışması kapsamında oluşturulan modelden faydalanılmıştır. Fakat yine model gelişme aşamasında olduğu için bir takım farklılıklar mevcuttur. Bahsedilen çalışmada ele alınan modelde, yine sıcaklık denetim sinyalleri her bir vücut parçası için ayrı ayrı alınmıştır. Bunun yanı sıra vücut parçalarına ait olan nötr kor ve deri sıcaklıkları da yine tez çalışması kapsamında verilen modelden farklı olarak deri için 33.7 °C, kor için 36.8 °C de sabit alınmıştır.

Atmaca ve Yiğit (2005), geçici rejim enerji dengesi modeli ile aktivite düzeyi, ortalama ışınım sıcaklığı ve bağıl nemin vücuttan olan ısı kayıpları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile konfor algıları üzerine etkisini incelemiştir. Bahsedilen çalışmada kullanılan

model tez çalışmasında oluşturulan modelden farklıdır. Bahsedilen yayın çalışmasında oluşturulan model, vücudu parçalara ayırmadan bir bütün halinde incelemektedir.

2.3. İnsan Sağlığı Üzerine Yapılan Çalışmalar

Haghighat ve Donnini (1999), mekanik olarak iklimlendirilen ofis binalarında temel amacın minimum enerji tüketimi sağlamak ile birlikte, burayı kullanan insanlara sağlıklı ve konforlu çalışma alanları oluşturmak olduğundan söz etmiş, inceleme için 12 mekanik havalandırma bina seçmiş, bu binalarda iç hava kalitesi, ısıl konfor ve enerji tüketimi incelenmiştir. Yaz ve kış mevsimi için toplam 877 denek yapılan anketi cevaplandırmıştır. Ankette sorulan sorular sağlık, ısıl çevreye duyulan his, çalışma alanından memnuniyet, çalışma alanını kişisel olarak kontrol etme ve yapılan işten duyulan memnuniyet konularını içermektedir. İç hava kalitesi ile ilgili olarak havalandırma oranı, TVOC, CO₂, CO ve formaldehit, ısıl konfor ile ilgili olarak da ışıyım sıcaklığı, ışıyım asimetrisi, çığ noktası sıcaklığı, hava hızı ve türbülans yoğunluğu değerleri çalışma sırasında ölçülen değerlerdir. Bunların yanı sıra enerji tüketim değerleri de her bina için tespit edilmiştir. Hava debisi ve iç hava kalitesi olarak havalandırma performansı, ASHRAE standart 62-89R ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan ısıl çevre şartları da ASHRAE standart 55-92 ile karşılaştırılmıştır. CO₂ ve CO seviyelerinin standartlara tavsiye edilen değerlere uygun olduğu tespit edilmiştir. Sadece bir binada, dışarıdan alınması gereken hava debisinin yarısının alındığı görülmüştür. Formaldehit ve TVOC seviyeleri, konfor için önerilen değerlerin biraz üzerinde çıkmıştır. %56 oranının biraz üzerinde kişinin, iç hava kalitesinden memnuniyetsiz olduğu tespit edilmiştir. Sadece %63 oranında kişi iç hava şartlarını ASHRAE standart 55-92 de verilen yaz için konfor bölgesi içinde olduğunu belirtmiş, bu oran kış şartları için %27' de kalmıştır. Araştırmaya katılanların sadece %69' u konfor bölgelerini uygun bulmuştur. İç hava kalitesini zayıf bulan çalışanlarda bir çok semptomun oluştuğu gözlenmiştir. İş memnuniyeti ile iç hava kalitesi, havalandırma, çalışma alanı sıcaklığı ile memnuniyet arasında pozitif bir ilişki olduğu üzerinde durulmuştur. Fakat iş memnuniyetsizliği ile denekler tarafından belirtilen semptomlar arasında bir ilişki kurulamamıştır. İç ortamda algılanan hava hareketi ne kadar yüksek olursa, deneklerin o ortamda iç hava kalitesinden o denli memnun olduğu sonucuna

varılmıştır. Çalışmada, insanlarda gözlenen semptomların ısı parametrelerine, kirletici tipi ve konsantrasyonuna, ışıklandırmaya, ofis alanı, kişisel kontrol, iş tatmini gibi psikolojik faktörlere sıkı sıkıya bağlı olduğu da belirtilmekte, bu semptomlar “hasta bina sendromu (SBS)” olarak isimlendirilmektedir. Bahsedilen semptomlar, baş ağrısı, baş dönmesi, öksürük, göz rahatsızlığı ve tahrişi, hoş olmayan koku, aşırı yorgunluk ve bitkinlik, solunum problemleri, koku alma ve boğaz rahatsızlığı ile tahrişi olarak özetlenen çalışmada sıralanmaktadır.

“Hasta Bina Sendromu (SBS)” ile ilgili olarak daha bir çok çalışma literatürde mevcuttur. Seppanen ve Fisk (2002), havalandırma sistem tipi ile ofis çalışanlarında gözlenen SBS semptomları arasında bir bağlantı kurmaya çalışmıştır. Wargocki ve ark. (2002) ise, ofislerde bulunan kirlilik kaynaklarını azaltmanın, iç hava kalitesi algısı, SBS semptomlarındaki yoğunluk ve çalışma performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Bahsedilen çalışmada, kirlilik kaynaklarını azaltmanın iç hava kalitesi algısını iyileştirdiği, havadaki kuruluk hissini ve baş ağrısını azalttığı, çalışma performansını ise arttırdığı sonucuna varılmıştır. Çalışma ayrıca iç hava kalitesini iyileştirmenin sağlık, konfor ve verimlilik açısından da gerekli olduğunu göstermektedir. İç hava kalitesi, SBS semptomları ve verimlilik üzerine bir çalışmada Wargocki ve ark. (2000) tarafından yapılmıştır. Wargocki ve ark.’nın (2000) yaptığı çalışmada, kişi başına 3, 10 ve 20 L/s dış hava debisi ile havalandırılan 108 m³ lük bir ofis alanı ele alınmıştır. İç sıcaklık 22 °C’ de, bağıl nem ise %40 değerinde tutulmuş, diğer çevresel parametreler de sabit olarak ele alınmıştır. 6 bayan denekten oluşan 5 grubun her biri bahsedilen 3 ayrı havalandırma oranına maruz bırakılmış ve çeşitli aralıklar ile iç hava kalitesini ve SBS semptomlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, artan havalandırma oranının deneklerin iç hava kalitesi ile ilgili memnuniyetsizlik yüzdesini ve koku yoğunluğunu azalttığını vurgulamışlardır. Ayrıca artan havalandırma oranı ile ağız ve boğazda oluşan kuruluğun azaldığı ve deneklerin kendilerini daha iyi hissettiği sonucuna varılmıştır. Bunların yanı sıra, seçilen 4 ayrı ofis işi için, artan havalandırma oranı ile performansın da arttığı gözlenmiştir. Wargocki ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada, genel anlamda mevcut standartlarda verilen minimum havalandırma oranlarının sağlık, konfor ve üretkenlik için gerekli olduğunu göstermektedir. Özetlenen çalışmalardan görülebileceği üzere, SBS semptomları genellikle iç hava kalitesine ve havalandırma oranına bağlı olarak incelenmiştir.

Özgül ve izafi nem ile sıcaklık ve nemlendirmenin ofis ortamında çalışanların algısı, deri yüzeyi ve üst solunum yolları üzerine etkisi Reinikainen ve Jaakkola (2003) tarafından incelenmiştir. 18 ile 26 °C arasında sıcaklıkta, %17 ile %40 arasında izafi nemde ve 3.3 ile 5.6 g H₂O/kg hava arasında özgül nemde, deri semptomları ile burun kuruluğu ve tıkanıklığının bütün nem oranlarında azaldığı görülmüştür. Boğaz kuruluğunun, sıcaklığın artması ile arttığı ve bağıl nemin artması ile azaldığı belirtilmiştir. Göz semptomları ise neme herhangi bir bağımlılık göstermemiştir. Soğuk iklimlerde, kuru havanın deri semptomları ve burun kuruluğu ile ilişkili olduğu belirtilmiş, oda sıcaklığındaki azalmanın deri semptomlarını azalttığı vurgulanmıştır. Burun kuruluğunun ise özgül neme sıkı sıkıya bağlı olduğundan bahsedilmiş, buharlı nemlendirmenin havayı daha sıkıcı hissetme riski taşıdığı vurgulanmıştır. Çalışmanın özetinden görüleceği üzere, bu çalışmada da sıcaklık ve nem gibi ısı konforu etkileyen parametrelerin deri ve üst solunum rahatsızlıkları gibi SBS semptomları üzerine etkisi incelenmiştir.

Literatürde boyun hareket açıklıkları üzerine etken olan miyofasial ağrılar üzerine de çok çeşitli tıbbi çalışmalar mevcuttur. Simons (2002) çalışmasında, miyofasial tetik noktaların ve ağrılarının tedavisi ile ilgilenmiş, bunun yanı sıra miyofasial ağrılarının dikkate değer bir biçimde ne kadar yaygın olduğunu vurgulamış ve hastaların kas iskelet sistemi ağrı şikayetlerinin temel sebebinin ne kadar sıklıkla miyofasial noktalara bağlı olduğunun bilinmesinin de önemli olduğunu belirtmiştir. Davidoff (1998) miyofasial tetik noktalar ve ağrılarının baş ağrısı üzerine etkisini incelemiştir. Lewis ve Tehan (1999) ise aktif miyofasial tetik noktaları ortaya çıkarmak için kullanılan tekniklerden bahsetmektedir. Boyun hareket kısıtlılıklarına sebep olan miyofasial noktalar ve ağrılar ile ilgili literatürde daha bir çok çalışma mevcuttur, fakat bu çalışmaların hiçbirinde ısı konfor parametrelerinin veya iç ortam havası koşullarının miyofasial noktalar ve ağrılar ile buna bağlı olan boyun hareket kısıtlılıkları üzerine etkisini inceleyen bir çalışma mevcut değildir.

Boyun hareket açıklıklarının ölçüm yöntemleri, bu ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bu cihazların geçerliliği ve güvenilirliği üzerine de literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Wolfenberger ve ark. (2002), boyun hareket açıklıklarının değerlendirilmesinde kullanılan 3 değişik metot arasındaki farklılıkları tespit etmek ve boyun hareket açıklıklarına etki eden çeşitli fiziksel parametreleri belirlemek amacıyla

bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 115 gönüllünün radyografik analiz, çiftli inklinometre (eğim ölçer) ve özel bir açıölçer (bubble goniometre) ile elde edilen boyun hareket açıklıkları ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra boyun uzunluğu, boyun çevresi gibi belirli fiziksel parametreler ile yaş ve cinsiyetin boyun hareket açıklığı üzerine etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak, radyografik analizin çiftli inklinometre ve bubble goniometre ölçümleri ile karşılaştırıldığında boyun hareket açıklıklarını değerlendirmede daha güvenilir olduğu ve boyun hareket açıklığı değerlendirmeleri için duyarlılığı yüksek olan radyografik analizin tercih edilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak, boyun hareket açıklığının bayanlarda erkeklerden daha fazla, genç insanlarda da yaşlılardan daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Tousignant ve ark. (2000), 18 – 45 yaşları arasında, boyun sorunu olmayan 31 sağlıklı insandan oluşan bir denek grubunda CROM (Cervical Range Of Motion: Boyun Hareket Açıklığı) goniometresinin ölçüm geçerliliği üzerine çalışmışlardır. Deneklerin boyun hareket açıklıkları hem fizyoterapistler tarafından CROM goniometresi ile, hem de radyografik analiz ile değerlendirilmiş, radyografik yöntem ile goniometre ölçüm sonuçları arasında yüksek korelasyon olduğu bulunmuştur. Ancak çalışmada boynun sadece fleksiyon ve ekstansiyon ölçümleri yapılmış ve bu değerlendirmeler için geçerlilik gösterilmiş olup, diğer boyun hareketleri için de geçerlilik araştırmalarının yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Literatürde boyun hareket açıklıklarının ölçümünde değişik inklinometre (eğim ölçer) ve goniometre tipi kullanıldığı görülmektedir. Ancak bunların çoğu sadece tek düzlemde maksimum hareket açıklığının ölçümünde kullanılabilir. Tek düzlemde ölçüm yapabilen bu cihazların güvenilirliğinin tartışmalı olduğunu ileri süren Jordan ve ark. (2000), boyun hareket açıklıklarının ölçümü için kullanılan, elektromanyetik 3 boyutlu izleme sistemine sahip bir ölçüm sistemi olan FASTRAK cihazı ile yapılan ölçüm sonuçlarının güvenilir olduğunu bulmuşlardır. Çalışma sonucunda, bir düzlem üzerinde yapılan açı ölçümleri toplamı için güvenilirliğin ayrı ayrı ölçüm sonuçlarına göre daha iyi olduğu da belirtilmektedir.

Haynes ve Edmondston (2002) çalışmalarında, Haynes tarafından tasarlanan yeni ve ucuz bir goniometre olan iletken temelli SpinT ile yaptıkları boyun hareket açıklığı ölçümlerinin güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır. SpinT, ölçüm yapılacak kişinin

başına giydirilen, 1° lik aralıklara sahip bir kadran ve bu kadranın merkezi boyunca dönen bir milden oluşan bir tip goniometredir. Çalışmada, SpinT ve servikal hareket açıklığı (CROM) cihazları ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış ve CROM cihazının 5° yi aşan eğimlerde zayıf bir uyum gösterdiği, SpinT cihazı ile alınan ölçümlerin ise eğim açısına sahip test platformu ile mükemmel bir uyum içerisinde olduğu sunulmuştur.

Agarwal ve ark. (2005a), boyun hareket açıklıklarının tespitinde kullanılan Spin-T goniometresinin geçerliliği üzerine çalışmış, bu goniometre ile alınan ölçüm sonuçlarını 3 boyutlu elektromanyetik hareket izleme sistemi ölçüm sonuçları ile karşılaştırmış ve boyun hareket açıklığı ölçümleri için Spin-T goniometresinin doğru değerlendirmeler sağlayabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca Agarwal ve ark. (2005b), Spin-T tipi goniometre ile alınan ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini ortalama yaşları 34 olan 30 sağlıklı insan üzerinde incelemiştir. Çalışmada, 6 temel boyun hareket açıklığının her biri 3'er kez ölçülmüştür ve istatistiksel olarak güvenilirlik tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, Spin-T tipi goniometrenin boyun hareket açıklıkları ölçümleri için güvenilir olduğu ve bu cihaza eklenen lazer işaretleyicinin başın nötr başlangıç pozisyonunu belirlemede kolaylık sağladığı sonucuna varılmıştır.

2.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yenilikleri

Literatür taramasından görüleceği üzere, ısı konfor ve ısı konfor parametreleri üzerine birçok çalışma mevcuttur. Fakat bu çalışmalarda, ısı konfor parametrelerinin insanın boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu amaçla, insanın ısı ortama verdiği tepkiyi tayin edebilmek için, insan ile çevresi arasında olan ısı ve kütle transferini hesaplayabilen ve böylece zamana bağlı olarak vücut deri sıcaklığını ve ıslaklığını tayin edebilen bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelde 2 bölmeli Gagge modeli, tüm vücuttan ziyade 16 bağımsız vücut parçasına uygulanarak kullanılmıştır. Oluşturulan model zamana bağlı olarak anlık değerleri tayin edebilmesi açısından Yiğit (1998,1999) tarafından oluşturulan modelden ayrılmaktadır. Yiğit (1998,1999) tarafından geliştirilen model sürekli rejim halinde belli bir süre sonundaki değerleri tayin edebilir niteliktedir.

Isıl konfor parametrelerinin insan sağlığı üzerine etkisi de SBS semptomları bazında birçok çalışmada ele alınmıştır. Çalışmalarda SBS semptomları belli bir hacmin havalandırma oranına ve iç hava kalitesine bağlı olarak incelenmiştir. Bu alışmalar dışında iç ortam koşullarının insan üzerine etkisini ele alan çalışma literatürde mevcut değildir. Fakat iklimlendirilen ortamda oluşan ısıl konfor parametrelerinin ve bu parametreler dolayısıyla vücuttan olan ısı kayıplarının ve sıcaklık dışumlarının boyun hareket açıklıklarına etkisine, gerek ısıl konfor çalışmalarında gerekse de tıbbi çalışmalar içinde rastlanmamıştır. Bu alışma kapsamında tamamen SBS' den farklı olarak ısıl konfor parametrelerinin insan üzerine etkisi incelenecektir.

Bu bağlamda, ortam sıcaklığı, nemi ve ortamdaki hava hızı gibi iklimlendirilmiş ortam şartlarının boyun hareket açıklıkları üzerine etkisinin olup olmadığı deneysel olarak incelenecektir. Deneyler laboratuvar ortamında hazırlanmış bir şartlandırma odasında yapılacaktır. İncelenecek ortam şartları, sıcaklık için 20 ile 26 °C, nem için %40 ile %80, hava hızı içinse 0.2 m/s ile 0.6 m/s aralığında seçilmiştir. Seçilen aralıklardan görülebileceği üzere, bazı parametreler mevcut standartlarda verilen ısıl konfor sınırlarının dışına çıkmaktadır. Burada amaç, iklimlendirilmiş ortam şartlarının boyun hareket açıklıkları üzerine etkisinin olup olmadığını araştırırken, aynı zamanda konforsuzluk oluşturan parametrelerin, konforsuzluk dışında insana fizyolojik olarak etkide bulunup bulunmadığı konusunda da fikir edinebilmektir.

Çalışma sonucunda belli bir ortam koşulunun boyun hareket açıklığı üzerine etkisi deneysel olarak elde edilirken, vücutun ısıl ortama verdiği tepki de oluşturulan model vasıtasıyla elde edilen simülasyon programı ile incelenmiştir. Tez alışması kapsamında oluşturulan simülasyon sonuçları ve deneysel veriler eş zamanlı olarak değerlendirilmiş, belirli ortam koşullarında vücutun ısıl tepkileri simülasyondan alınmış, o ortam koşullarında boyun hareket açıklıklarındaki değişimler ise deneysel olarak elde edilmiş ve beraber yorumlanmıştır.

Böylece, iklimlendirilmiş ortamlarda yaşayan insanlarda boyun hareket kısıtlılığı oluşturmayan en uygun şartlar saptanarak, akademik ve endüstriyel kullanıcılara önerilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, yaygın olarak kullanılan ısı konfor modelleri tanıtılacak, daha sonra tez kapsamında oluşturulan simülasyonda kullanılan 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modelinde çözüm için gerekli eşitlikler sunulacak, yapılan deneylerin içeriklerinden ve bu deneylerde kullanılan aparatlardan bahsedilecektir.

3.1. Isıl Konfor Modelleri

Yaygın olarak kullanılan iki ısı 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.

3.1.1. 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 (Gagge ve ark. 1971, Gagge ve ark. 1986, Anonim 1993). 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;

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - Q_{cr,sk} \quad (3.1)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (C + R + E_{sk}) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilir (Anonim 1993). Bu denklemlerde,

S_{cr} = birim zamanda iç bölmede depolanan ısı enerjisi, W/m^2

S_{sk} = birim zamanda deride depolanan ısı enerjisi, W/m^2

M = metabolik ısı enerjisi 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 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 enerjisi 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,

$$S_{cr} = (1 - \alpha).m.c_{p,b} \cdot (dT_{cr} / d\theta) / A_D \quad (3.3)$$

$$S_{sk} = \alpha.m.c_{p,b} \cdot (dT_{sk} / d\theta) / A_D \quad (3.4)$$

şekillerinde yazılabilir. Bu denklemlerde,

α = boyutsuz olarak vücut kütle oranı, deri bölgesinde bulunan oranı

m = vücut kütlesi, kg

$c_{p,b}$ = vücudun özgül ısısı (3490 J/kg.K)

θ = zaman, s

olarak tanımlanmaktadır (Anonim 1993).

Anonim'e (1993) göre çıplak vücut alanı için en kullanışlı ifade, DuBois tarafından verilen

$$A_D = 0.202.m^{0.425}.J^{0.725} \quad (3.5)$$

denklemdir. Bu denklemde A_D , DuBois yüzey alanı (m^2), m kütle (kg), l boy (m) olarak tanımlanmaktadır.

3.1.2. Sürekli Rejim Enerji Dengesi

İnsan vücudunun ısıl denge durumunda olduğu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceği varsayımına dayanan sürekli rejim enerji dengesi modeli Fanger tarafından geliştirilmiştir (Anonim 1993, Fanger 1971, 1986). 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.

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (3.6)$$

Bu bağıntıda,

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 bölgeler 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, ışıınım ve buharlaşma yoluyla çevre ile ısı alışverişinde bulunur. Bu modelde her bir bölme için enerji dengesi uygun şekilde yazılarak çözüme gidilir.

3.2. Simülasyon Modeli

Son yıllarda insanın ısıl ortama verdiği tepkilerin tayini üzerine birçok modelleme çalışması yapılmaktadır. Bunların birçoğu Stolwijk modeline (Stolwijk 1970,1971) dayalı olarak yapılan gelişmelerdir. Bunlara örnek olarak Huizenga ve ark. (2001), Yi

ve ark. (2004) ve Tanabe ve ark. (2002) verilebilir. Bu çalışmalarda Stolwijk modeli, daha çok modelin uygulandığı vücut parçası sayısının arttırılması veya deri üzerinde biriken ter miktarının da göz önünde bulundurulması şeklinde geliştirilmektedir. Stolwijk modeline dayalı olan bahsedilen bu çalışmalarda vücut deri, yağ, kas ve kor olmak üzere 4 bölmeye ayrılmaktadır ve oldukça detaylı modellerdir. Bu çalışmalara göre kısmen daha basit ve daha hızlı cevap alınabilen 2 bölmeli anlık enerji dengesi modeli üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunlara da örnek olarak Yiğit (1998,1999) verilebilmektedir. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelde 2 bölmeli Gagge modeli, tüm vücuttan ziyade 16 bağımsız vücut parçasına uygulanarak kullanılmıştır. Oluşturulan model zamana bağlı olarak anlık değerleri tayin edebilmesi açısından Yiğit (1998,1999) tarafından oluşturulan modelden ayrılmaktadır. Yiğit (1998,1999) tarafından geliştirilen model sürekli rejim halinde belli bir süre sonundaki değerleri tayin edebilir niteliktedir. Oluşturulan modelde ise vücudun ısı ortama verdiği tepkiler anlık olarak takip edilebilmektedir.

Her bir vücut parçası için ayrı ayrı deri sıcaklığının, deri ıslaklığının ve bunlara bağlı olarak deriden olan duyulur ve buharlaşma ısı kayıplarının zamana bağlı değişimini incelemek için 2 bölmeli Gagge modeli 16 vücut parçasına uygulanmıştır. 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modeli olarak isimlendirilen bu model, eşitlik (3.1) ve (3.2)'nin 16 ayrı vücut parçasına uygulanması ile zamana bağlı olarak şu şekilde yazılabilir:

$$S_{cr}(i, \theta) = M - W - [C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta)] - Q_{cr,sk}(i, \theta) \quad (3.7)$$

$$S_{sk}(i, \theta) = Q_{cr,sk}(i, \theta) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{sk}(i, \theta)] \quad (3.8)$$

Bu denklemlerde i vücut parçasını, θ ise zaman adını temsil etmektedir. Modelde, vücut parçaları arasında iletimle ve kan akışı ile parçalar arasında olan taşınım ile ısı transferi vücut parçalarının sıcaklıkları arasındaki fark çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Bu durumda 16 parçalı modelde, eşitlik (3.3) ve (3.4) şu şekilde ifade edilebilir:

$$S_{cr}(i, \theta) = [1 - \alpha(\theta)].m(i).c_{p,b}.[dT_{cr}(i, \theta)/d\theta]/A(i) \quad (3.9)$$

$$S_{sk}(i, \theta) = \alpha(\theta).m(i).c_{p,b}.[dT_{sk}(i, \theta)/d\theta]/A(i) \quad (3.10)$$

Çizelge 3.1. Simülasyonda kullanılan vücut kısımları ve bu kısımlara ait değerler

i	Vücut Kısmı	Yüzey Alanı $A(i)(m^2)$	Ağırlığı $m(i)(kg)$
1	Sol ayak	0.056	0.480
2	Sağ ayak	0.056	0.480
3	Sol diz altı	0.112	3.343
4	Sağ diz altı	0.112	3.343
5	Sol bacak	0.209	7.013
6	Sağ bacak	0.209	7.013
7	Pelvis	0.221	17.57
8	Baş	0.140	4.020
9	Sol el	0.050	0.335
10	Sağ el	0.050	0.335
11	Sol dirsek altı	0.063	1.373
12	Sağ dirsek altı	0.063	1.373
13	Sol kol	0.096	2.163
14	Sağ kol	0.096	2.163
15	Göğüs	0.175	12.40
16	Sırt	0.161	11.03
Tüm vücut		1.87	74

Kaynak: Tanabe ve ark. 2002

Modelde “ i ” vücut parçası numarasını temsil etmektedir ve temsil ettiği vücut parçası ve bu parçalara ait yüzey alanı ve ağırlık değerleri Çizelge 3.1.’ de sunulmaktadır. Her bir vücut parçası için başlangıç deri $T_{sk}(i,0)$ ve kor $T_{cr}(i,0)$ sıcaklıkları bu parçaların nötr değerleri olarak alınmıştır. Vücut parçalarının nötr kor ve deri sıcaklıkları ile ortalama nötr kor ve deri sıcaklığı değerleri Çizelge 3.2.’ de verilmektedir. Çizelge 3.2.’ de verilen ortalama değerler, vücut parçaları sıcaklığının yüzey alanlarına bağlı ağırlıklı ortalaması olarak tespit edilmiş değerlerdir. Belli bir zaman adımı için kor ve deride depolanan enerjinin tespitinden sonra, o zaman adımının sonunda oluşan yeni sıcaklıklar $dT_{cr}/d\theta$ ve $dT_{sk}/d\theta$ türevlerinin ileri sonlu farklara açılımı ile bulunabilir. Başlangıç değerler bilindiğine göre belli bir θ zaman adımı sonra vücut parçası deri ve kor sıcaklığı şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$T_{cr}(i, \theta + 1) = T_{cr}(i, \theta) + \frac{S_{cr}(i, \theta).A(i).\Delta\theta}{[1 - \alpha(\theta)].m(i).c_{p,b}} \quad (3.11)$$

$$T_{sk}(i, \theta + 1) = T_{sk}(i, \theta) + \frac{S_{sk}(i, \theta).A(i).\Delta\theta}{\alpha(\theta).m(i).c_{p,b}} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.2. Vücut parçalarına ait nötr kor ve deri sıcaklıkları

<i>i</i>	<i>Vücut Kısmı</i>	<i>Nötr deri sıcaklığı</i> (°C)	<i>Nötr kor sıcaklığı</i> (°C)
1	Sol ayak	33.9	35.1
2	Sağ ayak	33.9	35.1
3	Sol diz altı	33.4	35.6
4	Sağ diz altı	33.4	35.6
5	Sol bacak	33.8	35.8
6	Sağ bacak	33.8	35.8
7	Pelvis	33.4	36.3
8	Baş	35.6	36.9
9	Sol el	35.2	35.4
10	Sağ el	35.2	35.4
11	Sol dirsek altı	34.6	35.5
12	Sağ dirsek altı	34.6	35.5
13	Sol kol	33.4	35.8
14	Sağ kol	33.4	35.8
15	Göğüs	33.6	36.5
16	Sırt	33.2	36.5
	Ortalama*	33.84	35.94

Kaynak: Tanabe ve ark. 2002

*Ortalama değerler hesaplanarak tespit edilmiştir.

Bu aşamadan sonra, birim zamanda kor ve deri bölgesinde depolanan ısı enerjisinin tayini için gerekli ısı kayıplarının ve bölmeler arasında gerçekleşen ısı transferi miktarlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler sunulacaktır. Yine bu hesaplamaların yapılmasında kullanılan denetim sinyalleri ve buna bağlı olarak terleme miktarı, vücut kütlelerinin deride bulunan oranı, titreme ile enerji üretimi ve kan debisi gibi gerekli değerlerin tayini için gerekli ampirik ifadeler de ileriki kısımlarda verilecektir.

3.2.1. Deriden Duyulur Isı Kaybı Hesabı

Deri yüzeyinden duyulur ısı kaybı giysilerden geçerek, insanın bulunduğu ısı ortama olur. Bu yol seri bir devre olarak düşünülebilir ve deri yüzeyi ile giysi dış yüzeyi arasındaki giysi yalıtımı, giysi dış yüzeyi ile ortam arasındaki dirençten oluşur. Deriden ışıınım ve taşınım ile olan duyulur ısı kaybı her bir vücut parçası için zamana bağlı olarak şu şekilde ;

$$C(i, \theta) + R(i, \theta) = [T_{sk}(i, \theta) - T_o(i)] / R_t(i) \quad (3.13)$$

yazılabilir (Anonim 1993). Bu denklemde,

T_{sk} = deri sıcaklığı

T_o = eşdeğer (operatif) sıcaklık

R_t = hava film tabakasını da içeren toplam direnç, $m^2 \cdot K/W$

şeklinde tanımlanabilir.

T_a çevre sıcaklığı ve T_r ışıınım sıcaklığı olmak üzere eşdeğer sıcaklık,

$$T_o(i) = (h_r \cdot T_r(i) + h_c \cdot T_a) / (h_r + h_c) \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Gerekli direnç ve ısı geçiş katsayıları hesapları ilerleyen bölümlerde sunulacaktır. Eşitlik (3.14)' den görüleceği üzere eşdeğer sıcaklık T_o vücut parçasına göre değişebilmektedir. Çünkü her bir vücut parçasını etkileyen ışıınım sıcaklığı farklıdır ve kişiyi çevreleyen yüzeyler ile vücut parçası arasındaki görüş faktörüne bağlı olarak değişmektedir. Zaten eşitlikten görüleceği üzere ışıınım sıcaklığı T_r vücut parçasına bağlı olarak verilmiştir. ışıınım sıcaklığı, kişiyi çevreleyen yüzeylerin sıcaklıklarına ve bu yüzeylerin kişiye göre konumlarına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Yapı malzemelerinin birçoğu yüksek yayma katsayısı değerlerine sahip olduğu için, yüzeylerin tümü siyah cisim gibi düşünülebilmektedir. Kişiyi çevreleyen yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı düşük ise ışıınım sıcaklığı şu şekilde tespit edilebilmektedir (Anonim 1993):

$$T_r = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N \cdot F_{p-N} \quad (3.15)$$

Bu denklemde;

T_N = N. yüzeyin sıcaklığı, °C

F_{p-N} = N. yüzey ile kişi arasındaki görüş faktörü

olarak tanımlanmaktadır.

16 parçalı model için her bir vücut parçasını etkileyen ışıınım sıcaklığı ise şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$T_r(i) = \sum_{m=1}^N T(m).F(i,m) \quad (3.16)$$

Bu denklemdede m yüzey numarasını temsil etmektedir. i . vücut parçası ile m . yüzey arasındaki görüş faktörü ise $F(i,m)$ olarak gösterilmektedir. Modelde her bir vücut parçasının ortamda bulunan duvar yüzeyleri ile arasındaki görüş faktörü [16,7] boyutunda 2 boyutlu bir matris ile verilmiştir. Bu matriste kullanılan değerler, yani kişi ile kişiyi çevreleyen yüzeyler arasındaki görüş faktörü $F(i,m)$, Çizelge 3.3.' de verilmektedir. Bahsedilen çizelgeden görülebileceği üzere, her bir vücut parçasının, vücudun geriye kalan tüm kısmıyla olan görüş faktörü de mevcuttur. Bu durumda Eşitlik (3.16) ile yapılan hesaplamalarda gerekli olan yüzey sıcaklıklarının bir tanesi de vücut deri ortalama sıcaklığıdır. Vücut deri sıcaklığı çok geniş bir aralıkta değişim göstermediği için, hesaplamalarda nötr ortalama deri sıcaklığı değeri olan 33.84 °C değeri kullanılmış, zamana bağlı bir iterasyona gidilmemiştir.

Çizelge 3.3.' de sunulan görüş faktörleri değeri Sorensen (2002)' den alınmıştır. Bahsedilen çalışmada verilen bu görüş faktörleri nümerik bir metot ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda ihtiyaç duyulan ısıl mankenle ilgili detaylı yüzey alanı bilgisi doğruluğu 0.5 mm civarında olan lazer tarama metodu ile yapılmıştır. Modelde kullanılan ısıl manken giyimlidir ve oturma pozisyonundadır. Çalışmada ısıl mankenin, uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 2.95 m, 2.95 m ve 2.4 m olan bir odada olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Isıl mankenin burnunun ucu duvarlar arasına 1.25 m yükseklikte merkezlidir. Diğer taraftan ısıl mankenin ayakları yerden 20 mm yüksekte kabul edilmiştir. Sorensen (2002) tarafından hesaplanan ve Çizelge 3.3.' de sunulan görüş faktörlerinin nümerik hesabında kullanılan kabuller bu şekildedir.

Çizelge 3.3. Simülasyonda kullanılan görüş faktörleri [$F(i,m)$ (%)].(Vücudun simetrik yapısından dolayı sadece vücudun sol bölümü tabloda gösterilmiştir.)

	Pelvis	Göğüs	Sırt	Baş	Sol Ayak	Sol diz altı	Sol bacak	Sol el	Sol dirsek altı	Sol kol
Zemin	23.7	11.6	14.2	9.58	51.5	36.9	34.7	31.3	17.6	12.3
Tavan	8.20	14.3	12.9	20.5	6.01	4.42	10.3	3.54	6.79	11.9
Ö.D.	11.0	30.9	0.93	12.9	11.2	18.0	10.8	8.78	13.8	14.1
A.D.	24.5	0.87	41.2	15.4	4.65	6.75	4.19	9.81	13.0	17.4
So.D.	10.1	11.9	9.95	16.3	13.3	15.2	15.4	16.4	19.8	23.2
S.D.	9.95	12.6	9.37	16.2	6.89	8.04	5.10	2.34	3.08	1.82
Vücut	12.6	17.9	11.5	9.16	6.45	10.7	19.6	27.8	25.8	19.4

Ö.D.: Ön Duvar, A.D.:Arka Duvar, So.D.: Sol Duvar, S.D.: Sağ Duvar

Kaynak: Sorensen 2002

3.2.2. Deriden Buharlaşma ile Isı Kaybı Hesabı

Deriden buharlaşma ile olan ısı kaybı E_{sk} , deri yüzeyi ile ısı ortam arasındaki su buharı basıncı farkına ve deri ıslaklığına bağlıdır. İfade her bir bağımsız vücut parçası için, zamana bağlı olarak (Anonim 1993);

$$E_{sk}(i, \theta) = w(i, \theta) \cdot [p_{sk,s}(i, \theta) - p_a] / R_{e,t}(i) \quad (3.17)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadede;

w = deri ıslaklığı, boyutsuz

p_a = çevre havanın su buharı basıncı, kPa

$p_{sk,s}$ = deri üzerindeki su buharı doyma basıncı (genellikle T_{sk} sıcaklığındaki doyma basıncı olarak alınır), kPa

$R_{e,t}$ = hava filmi ve giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçişine direnci, $m^2 \cdot kPa/W$

olarak tanımlanmaktadır.

Eşitlik (3.17)' den görüleceği üzere, buharlaşma ile olan ısı transferinin tespiti için ilk önce deri ıslaklığı w bulunmalıdır. Deri ıslaklığı, aynı bir verim ifadesi gibi, gerçek buharlaşma ile ısı transferinin (E_{sk}), aynı koşullar altında tamamen ıslak ($w=1$) deriden

gerçekleşebilecek maksimum buharlaşma ile ısı transferine (E_{max}) oranı olarak tanımlanmaktadır ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$w = \frac{E_{sk}}{E_{max}} \quad (3.18)$$

Buharlaşma ile olan ısı kaybı (E_{sk}) iki şekilde gerçekleşir. Bunlar, vücuttan salgılanan terin buharlaşması (E_{rsw}) ve suyun deriden doğal difüzyonu (E_{dif}) olarak isimlendirilmektedir ve buharlaşma ile olan ısı transferi (E_{sk}) bu iki mekanizmanın toplamı ile;

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (3.19)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Salgılanan terin buharlaşması ile meydana gelen ısı transferi (E_{rsw}):

$$E_{rsw} = m_{rsw} \cdot h_{fg} \quad (3.20)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada h_{fg} suyun buharlaşma gizli ısısı (30 °C sıcaklıkta 2430 kJ/kg dır), m_{rsw} ise birim zamanda üretilen ter olarak tanımlanmaktadır. İfadeden görüleceği üzere, bu ısı transferi miktarı salgılanan ter miktarına bağlıdır. Birim zamanda salgılanan ter ile ilgili ifade ileriki bölümlerde sunulacaktır. Vücuttaki terin buharlaşması ile olan buharlaşma ısı kaybının vücuttan olan maksimum buharlaşma ile ısı kaybına ($w=1$ için olan buharlaşma ısı kaybı) oranı (w_{rsw}) ise;

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (3.21)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Eğer vücutta terleme yok ise deri ıslaklığı difüzyona bağlı olarak 0.06 kadardır. Aktif ter salgısı mevcut ise difüzyona bağlı ıslaklık değeri olan

0.06, sadece vücudun terli olmayan bölümüne uygulanır. Bu durumda difüzyon bağı olarak gerçekleşen buharlaşma ısı kaybı;

$$E_{dif} = [1 - w_{rsw}]0.06.E_{max} \quad (3.22)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Bu denklemler vasıtasıyla deri ıslaklığı (w) şu şekilde ifade edilebilir:

$$w = w_{rsw} + w_{dif} = w_{rsw} + 0.06(1 - w_{rsw}) = 0.06 + 0.94 \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (3.23)$$

Bu eşitlik 16 parçalı model için zamana bağı olarak simülasyonda şu şekilde ifade edilmiştir:

$$w(i, \theta) = 0.06 + 0.94 \frac{E_{rsw}(\theta)}{E_{max}(i, \theta)} \quad (3.24)$$

Eşitlik (3.24)' e dikkat edilirse, terin buharlaşması ile gerçekleşen ısı kaybı (E_{rsw}), vücut parçasından bağımsız, sadece zamana bağı olarak ifade edilmiştir. Çünkü bu kayıp birim zamanda salgılanan ter miktarına bağıdır ve nasıl hesaplanacağı ileride sunulacaktır. Birim zamanda üretilen ter miktarının birimi [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]’ dir. Yani üretilen ter bütün vücuda üniform dağılımlıdır. Bu miktara bağı olan E_{rsw} değerinin birimi de [W/m^2]’ dir. Yani, terin buharlaşması ile gerçekleşen ısı kaybı da vücut üzerinde üniform dağılımlıdır. Birim zamanda üretilen ter miktarı sıcaklık denetim sinyallerine bağıdır ve bu sinyallerde tüm vücut için tanımlanmıştır. Bu nedenle salgılanan ter miktarı ve buna bağı terleme ile olan buharlaşma kaybı vücut parçasından bağımsız olarak belirli bir zaman adımı için vücut ortalama kor ve deri sıcaklığı için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar “Sıcaklık Denetim Mekanizmaları” bölümünde detaylı olarak açıklanacaktır.

Deri ıslaklığı tespit edildikten sonra, deriden olan buharlaşma ile ısı transferi,

$$E_{sk}(i, \theta) = w(i, \theta).E_{max}(i, \theta) \quad (3.25)$$

bağıntısından hesaplanabilmektedir. Geliştirilen model ile oluşturulan simülasyonda benzer literatür sonuçları ile rahat karşılaştırmalar yapılabilmesi için deri nemliliği hesaplamaları da yapılmıştır. Deri nemliliği (Rh_{sk}), deri üzerindeki su buharı basıncının (P_{sk}), deri sıcaklığındaki su buharı doyma basıncına ($P_{sk,s}$) oranı olarak tanımlanmaktadır (Toftum ve ark. 1998):

$$Rh_{sk} = \frac{P_{sk}}{P_{sk,s}} \quad (3.26)$$

Deri nemliliği ile deri ıslaklığı arasındaki ilişki ise şu şekilde verilmektedir (Toftum ve ark. 1998):

$$w = \frac{[Rh_{sk} - (P_a / P_{sk,s})]}{[1 - (P_a / P_{sk,s})]} \quad (3.27)$$

3.2.3. Solunum Kaybı Hesabı

Solunum ile vücuttan bulunduğu çevreye duyulur ve gizli olarak ısı transferi meydana gelir. Çünkü hava bulunulan ortam sıcaklığı ve neminde teneffüs edilir ve tekrar bulunulan ortama, hemen hemen vücut kor sıcaklığına çok yakın bir sıcaklıkta ve doymuş olarak geri verilir. Hem sıcaklık farkından dolayı duyulur, hem de buharlaşma ile gizli olarak meydana gelen toplam solunum ile gerçekleşen ısı transferi;

$$C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta) = [0.0014.M.(34 - T_a) + 0.0173.M.(5.87 - p_a)] / A_D \quad (3.28)$$

şeklinde hesaplanabilir (Anonim 1993). Eşitlik (3.28)' den görülebileceği üzere, solunum ile olan ısı kaybı metabolik aktivite düzeyine, ortam sıcaklığına ve ortamdaki su buharı basıncına bağlıdır. Metabolik ısı üretiminin vücut üzerinde üniform olarak dağıldığı varsayıldığı için ve ortam sıcaklığı ile ortam su buharı basıncı incelenen ortamlarda sabit olduğundan solunum ile olan ısı kaybı tüm vücuda üniform olarak dağılmış varsayılmıştır. Bu nedenle toplam solunum ile olan ısı transferi DuBois yüzey

alanına (A_D) bölünmüş yani tüm vücut üzerinde üniform dağılımlı olarak kabul edilmiştir.

3.2.4. Sıcaklık Denetim Mekanizmaları

İnsan vücudu, bulunduğu ortam ile ısı dengeyi fizyolojik denetim mekanizmalarının minimum seviyede devreye girmesi ile sağlıyorsa vücut fizyolojik ısı nötr halindedir. Fizyolojik ısı eylemsizlik halinde insan vücudu bulunduğu ortamı sıcak veya soğuk hissetmediği bir denge sıcaklığındadır ve bu durumda fizyolojik denetim mekanizmaları devreye girmez.

İnsan soğuk bir ortamda bulunursa deriden ortama olan ısı kaybı artar ve ısı eylemsizlik hali kaybolur. Bu durumda vücut, damarların kısılması (vazokonstriksiyon) ile deriye olan kan akışını azaltarak, deriyi ve deriye yakın dokuları soğuturken iç dokuların sıcaklığını korumuş olur. Bu durumun olduğu dış ortam şartlarına soğuğa karşı vazomotor denetim bölgesi adı verilir. Bu bölgenin de altına düşüldüğünde, kor tabakası sıcaklığını koruyabilmek için vücut bir başka denetim mekanizmasını devreye sokar. Vücut kas gerilmesi, titreme ve kendiliğinden hareket etme gibi işlemler ile ısı üretir. Bir başka denetim mekanizması da insanın bilinçli olarak yaptığı daha fazla giyinmek ve daha hızlı yürüyerek hareket düzeyini ve metabolik hızı arttırmaktır.

İnsan sıcak bir ortamda bulunursa ortama istenildiği düzeyde ısı transferi olmaz ve ısı eylemsizlik hali kaybolur. Bu durumda vücut, damarların genişlemesi (vazodilasyon) ile deriye olan kan akışını arttırarak, deri sıcaklığını kor sıcaklığına yaklaştırmış olur. Bu durumun olduğu dış ortam koşullarına sıcağa karşı vazomotor denetim bölgesi adı verilir. Bu denetim mekanizmasına rağmen vücut kor sıcaklığı 37 °C değerinin üzerine çıkarsa bir başka denetim mekanizması devreye girer, vücut ter salgılayarak buharlaşma ile ısı geçişini arttırır.

Isı eylemsizlik halinin olduğu nötr vücut sıcaklıkları daha önce her bir vücut parçası için ve alan ağırlıklı ortalama olarak tüm vücut için Çizelge 3.2.' de sunulmuştu. Vücut sıcaklığının nötr değerden sapması ile deriden ve kor tabakasından gelen sıcaklık denetim sinyalleri ile vazomotor, terleme, titreme gibi sıcaklık denetim mekanizmalarının harekete geçme ve yönetilme şekillerini açıklayan bağıntılar

laboratuvarlarda yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir. Sıcaklık denetim mekanizmalarını beş sinyal başlatmaktadır. Bu sinyaller,

$$WSIG_{cr}(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{cr,m}(\theta) \leq T_{cr,n} \\ T_{cr,m}(\theta) - T_{cr,n} & T_{cr,m}(\theta) > T_{cr,n} \end{cases} \quad (3.29)$$

$$CSIG_{cr}(\theta) = \begin{cases} T_{cr,n} - T_{cr,m}(\theta) & T_{cr,m}(\theta) < T_{cr,n} \\ 0 & T_{cr,m}(\theta) \geq T_{cr,n} \end{cases} \quad (3.30)$$

$$WSIG_{sk}(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{sk,m}(\theta) \leq T_{sk,n} \\ T_{sk,m}(\theta) - T_{sk,n} & T_{sk,m}(\theta) > T_{sk,n} \end{cases} \quad (3.31)$$

$$CSIG_{sk}(\theta) = \begin{cases} T_{sk,n} - T_{sk,m}(\theta) & T_{sk,m}(\theta) < T_{sk,n} \\ 0 & T_{sk,m}(\theta) \geq T_{sk,n} \end{cases} \quad (3.32)$$

$$WSIG_b(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{b,m}(\theta) \leq T_{b,n} \\ T_{b,m}(\theta) - T_{b,n} & T_{b,m}(\theta) > T_{b,n} \end{cases} \quad (3.33)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Anonim 1993). Burada $WSIG_{cr}$ kordan gelen ılık sinyal, $CSIG_{cr}$ kordan gelen soğuk sinyal, $WSIG_{sk}$ deriden gelen ılık sinyal, $CSIG_{sk}$ deriden gelen soğuk sinyal ve $WSIG_b$ vücuttan gelen ılık sinyal şeklindedir ve bu sinyaller sadece pozitif değerler alırlar.

Sıcaklık denetim sinyalleri için verilen 5 adet eşitlikten de görülebileceği üzere, 16 parçalı modelde bu sinyaller her bir vücut parçası için değil tüm vücut için belirli bir θ zaman adımı için hesaplanmıştır. Çünkü bu sinyaller laboratuvar şartlarında vücut parçaları için değil tüm vücut için elde edilmiş eşitliklerdir. Simülasyonda her bir zaman adımı sonunda alan ağırlıklı kor ve deri ortalama sıcaklığı ($T_{cr,m}$ ve $T_{sk,m}$) hesaplanmış ve sıcaklık denetim sinyalleri bu ortalama sıcaklıklara göre tespit edilmiştir. Her bir zaman adımı için ortalama kor ve deri sıcaklığı alan ağırlıklı ortalama olarak;

$$T_{cr,m}(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^{16} T_{cr}(i, \theta) \cdot A(i)}{A_D} \quad (3.34)$$

$$T_{sk,m}(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^{16} T_{sk}(i, \theta) \cdot A(i)}{A_D} \quad (3.35)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Deri ve kor sıcaklığının ağırlıklı ortalaması olarak vücut ortalama sıcaklığı zamana bağlı olarak,

$$T_{b,m}(\theta) = \alpha(\theta).T_{sk,m}(\theta) + [1 - \alpha(\theta)]T_{cr,m}(\theta) \quad (3.36)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Vazomotor denetim mekanizması kor ve deri bölgesinden gelen sıcaklık sinyalleri ile meydana gelir. Kan akışı, kor ve deri bölgesi sıcaklıklarının nötr değerlerinden sapmalarından etkilenir ve kor ile deri tabakası arasındaki kan akış debisi şu şekilde ifade edilebilir.

$$\dot{m}_{bl}(\theta) = [(6.3 + 200.WSIG_{cr}(\theta))/(1 + 0.5.CSIG_{sk}(\theta))]/3600 \quad (3.37)$$

Gagge modelinde, kor bölgesinden deri bölgesine vücut dokularından olan iletim ve kan akışı ile olan taşınım ile ısı geçişi, her bir vücut parçası için zamana bağlı olarak;

$$Q_{cr,sk}(i, \theta) = \left[K + c_{p,bl} \cdot \dot{m}_{bl}(\theta) \right] \cdot [T_{cr}(i, \theta) - T_{sk}(i, \theta)] \quad (3.38)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu bağıntıda,

K = kor ile deri arasındaki etkin iletim katsayısı (5.28 W/m²K)

$c_{p,bl}$ = kanın özgül ısısı (4187 J/kg.K)

olarak ifade edilmektedir (Anonim 1993). Vücut kütle sinin deri bölgesinde bulunan oranı α , kan akış debisi \dot{m}_{bl} ' den etkilenir ve zamana bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\alpha(\theta) = 0.0418 + 0.475 / \left[3600 \dot{m}_{bl}(\theta) + 0.585 \right] \quad (3.39)$$

Terleme ile oluşan buharlaşma ısı kaybının hesaplanmasında birim zamanda üretilen ter miktarı önemlidir ve zamana bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{m}_{rsw}(\theta) = 4.7 \times 10^{-5} \cdot WSIG_b(\theta) \cdot \exp[WSIG_{sk}(\theta)/10.7] \quad (3.40)$$

Üretilen ter miktarının hesaplanmasından sonra deri ıslaklığının tespitinde önemli olan terin buharlaşması ile meydana gelen ısı kaybı 16 parçalı modelde zamana bağlı olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{rsw}(\theta) = \dot{m}_{rsw}(\theta) \cdot h_{fg} \quad (3.41)$$

Çok soğuk ortamlarda vücudun ısıl dengesini korumak için vazokonstriksiyona göre daha etkili olan titreme yolu ile metabolik enerji, dinlenme durumuna göre üç kat kadar yükselebilir. Titreme ile metabolik enerji üretimi,

$$M_{shiv}(\theta) = 19.4 [CSIG_{sk}(\theta) \cdot CSIG_{cr}(\theta)] \quad (3.42)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Toplam metabolik enerji M , vücudun olağan hareketi ile üretilen M_{act} ile titreme enerjisi M_{shiv} ' in toplamına eşittir.

$$M(\theta) = M_{act} + M_{shiv}(\theta) \quad (3.43)$$

Vücudun olağan hareketi ile üretilen ısı miktarları çok çeşitli aktiviteler için kaynaklarda mevcuttur (Anonim 1993,1994, 2004)

Eşitliklerden görülebileceği üzere, sıcaklık denetim sinyallerine bağlı olan değerler vücut parçalarından ziyade sadece zaman adımına bağlı olarak ifade edilmiştir. Sadece kor bölgesinden deri bölgesine olan ısı transferi ($Q_{cr,sk}$), eşitlik (3.38)' den görülebileceği üzere, her bir bağımsız vücut parçası için hesaplanmıştır. Çünkü kordan deriye olan ısı transferi kor ve deri bölgesi arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır ve bu fark da her bir vücut parçası için farklıdır.

3.2.5. Vücut Parçalarına Ait Giysi Isıl Dirençlerinin Hesabı

16 parçalı modelde her bir vücut parçası bağımsız olarak ele alındığı için, duyulur ısı kaybının tespitinde, bu parçaların her birini etkileyen toplam ısı direncin hesaplanması gereklidir. Her bir vücut parçasını etkileyen toplam ısı direnç, giysi tabakasını oluşturan kumaşların iletim dirençleri (R_f), giysi tabakaları arasında kalan durgun havanın iletim ve ışıınım direnci (R_{al}) ve dış ortam hava tabakası taşınım ve ışıınım direncinden (R_a) oluşur. Toplam ısı direnç;

$$R_t(i) = R_a(i) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{al}(i,j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,j-1)} + R_f(i,j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,j)} \right] \quad (3.44)$$

şeklinde her bir vücut parçası için zamandan bağımsız olarak hesaplanabilmektedir (McCullough ve ark. 1989). Bu ifadeye,

- i = direnç hesabı yapılacak olan vücut parçası
- j = giysi tabakası
- nl = vücut parçasını kaplayan giysi tabakası sayısı
- r = yarıçap

olarak verilmiştir. Giysi takımlarını oluşturan kumaşların ısı ve buharlaşma dirençleri McCullough ve ark. (1989) tarafından tablo halinde verilmiştir. Geliştirilen model ile oluşturulan simülasyonda kumaşların ısı ve buharlaşma dirençleri [44,2] boyutunda bir matris olarak mevcuttur. Kumaş türleri ile bunlara ait direnç değerleri, EK – 1’ de tablolar halinde sunulmuştur.

Giysi dış yüzeyinden bulunulan ortama taşınım ve ışıınım ile ısı transferi olmaktadır. Dış hava tabakası ısı direnci;

$$R_a = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (3.45)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Burada h_r değeri $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmaktadır (McCullough ve ark. 1989). Giysi tabakaları arasında da durgun hava mevcuttur. Bu

durgun havada iletim ve ışınlım olmak üzere iki mekanizma ile ısı geçişi olduğu varsayılmaktadır. Giysi tabakaları arasındaki havanın ısıl direnci;

$$R_{al} = \frac{1}{h_r + k/t} \quad (3.46)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Bu ifadelerde, $h_r=4.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=24 \text{ mm.W/m}^2\text{C}$, $t=1.3 \text{ mm}$ olarak alınabilmektedir (McCullough ve ark. 1989). İfadelerde bulunan ısı taşınım katsayısı ise hareketli havada oturma hali için şu şekilde hesaplanabilmektedir (Anonim 1993):

$$h_c = \begin{cases} 8.3V^{0.6} & 0.2 \leq V < 4 \\ 3.1 & 0 \leq V < 0.2 \end{cases} \quad (3.47)$$

Bu ifadede ısı taşınım katsayısının (h_c) birimi $\text{W/m}^2\text{K}$ iken ortam hava hızının (V) birimi m/s dir.

3.2.6 Vücut Parçalarına Ait Giysi Buharlaşma Dirençlerinin Hesabı

Vücut parçalarından olan buharlaşma ile ısı kaybının bulunması için ise giysi toplam buharlaşma direncinin hesaplanması gereklidir. Aynı ısıl dirençte olduğu gibi toplam buharlaşma direnci de 3 farklı direnci içermektedir. Bunlar giysi takımını oluşturan kumaşların buharlaşma direnci ($R_{e,f}$), giysi katmanları arasında kalan durgun havanın buharlaşma direnci ($R_{e,al}$) ve dış ortam hava tabakası buharlaşma direnci ($R_{e,a}$) olarak sıralanabilir. Her bir vücut parçası için toplam buharlaşma direnci;

$$R_{e,t}(i) = R_{e,a}(i) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{e,al}(i,j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,j-1)} + R_{e,f}(i,j) \cdot \frac{r(i,0)}{r(i,j)} \right] \quad (3.48)$$

şeklinde ısıl dirence benzer olarak zamandan bağımsız hesaplanabilmektedir (McCullough ve ark. 1989). Bu ifadede dış hava tabakası buharlaşma direnci;

$$R_{e,a} = \frac{1}{h_c \cdot LR} \quad (3.49)$$

şeklinde hesaplanır. Bu ifadede Lewis oranı (LR) olağan iç ortam koşullarında 16.5 °C/kPa olarak alınabilmektedir (Anonim 1993). Giysi tabakaları arasındaki havanın buharlaşma direnci de;

$$R_{e,al} = a[1 - \exp(-t/b)] \quad (3.50)$$

şeklinde bulunabilir. Bu ifadede $a=0.0334 \text{ m}^2\text{kPa/W}$, $b=15 \text{ mm}$ olarak sabit değerlerdir (McCullough ve ark. 1989).

Kumaş türleri ile bunlara ait buharlaşma direnç değerleri de, EK – 1’ de tablolar halinde sunulmuştur.

3.2.7. Tüm Giysi Takımı için Isıl ve Buharlaşma Dirençlerinin Hesabı

Yukarıda her bir vücut parçası için ısıl ve buharlaşma dirençlerinin tespit metodu sunulmuştur. Tüm giysi takımı için ısıl ve buharlaşma direncinin tayini sürekli rejim şartlarında yapılmıştır. Giysi takımı dirençleri tayin edilirken, ortam sıcaklığı 25 °C, bağıl nem %50 ve ortamdaki hava hızı 0.2 m/s olarak alınmış, sürekli rejim şartının oluşması için 2 saat (7200 s.) sonunda işlemler yapılmıştır. Verilen şartlarda, vücudun rejime girdiği son zaman adımı aşağıdaki işlem sırası uygulanmıştır:

İlk önce bu son zaman adımı (7200. saniyede) için vücuttan atılan toplam duyulur ve gizli ısı tespit edilmiştir:

$$Q_{duy} (7200) = \sum_{i=1}^{16} [C(i,7200) + R(i,7200)].A(i) \quad (3.51)$$

$$Q_{gizli} (7200) = \sum_{i=1}^{16} E_{sk} (i,7200).A(i) \quad (3.52)$$

Daha sonra bu son zaman adımı alan ağırlıklı ortalama olarak, ortalama deri sıcaklığı ($T_{sk,m}$) ve ortalama deri ıslaklığı (w_m) ile ortalama deri sıcaklığına bağlı olarak

deri üzerindeki ortalama su buharı doyma basıncı ($P_{sk,m}$) tespit edilmiş ve şu şekilde giysi takımı ısı ve buharlaşma direnci hesaplanmıştır:

$$R_t = \frac{[T_{sk,m}(7200) - T_a]}{Q_{duy}(7200)} \cdot A_D \quad (3.53)$$

$$R_{e,t} = \frac{w_m [P_{sk,m}(7200) - P_a]}{Q_{gizli}(7200)} \cdot A_D \quad (3.54)$$

3.3. Simülasyon

Detaylı olarak açıklanan 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modeli vasıtasıyla geliştirilen simülasyon ile insanın bulunduğu ısı ortamına verdiği tepkiler tayin edilmeye çalışılacaktır. Yazılım COMPAQ VISUAL FORTRAN 6 programı kullanılarak yapılmıştır ve yazılımın tamamı EK – 2’ de sunulmaktadır. EK – 2’ de verilen yazılımda işlem basamakları şu şekildedir:

1. Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.’ de sunulan vücut parçalarına ait yüzey alanları, ağırlıklar, nötr kor ve deri sıcaklığı değerleri tek boyutlu dizi halinde programda tanıtılmıştır.
2. McCullough ve ark. (1989)’ dan alınan kumaş türlerine ait ısı ve buharlaşma dirençleri, [44,2] boyutunda bir dizi ile programda tanıtılmıştır.
3. Eşitlik (3.44) ile eşitlik (3.50) arasında verilen denklemler ile her bir vücut parçası için ısı ve buharlaşma dirençleri tespit edilmiş ve yazdırılmıştır.
4. Çizelge 3.3’ de verilen görüş faktörleri [16,7] boyutunda bir dizi olarak tanıtılmış ve eşitlik (3.14) ve eşitlik (3.16) ile her bir vücut parçasını etkileyen ışıma ve operatif sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.
5. Zaman döngüsü başlatılmış ve her bir zaman adımı için şu işlemler yapılmıştır:
 - Eşitlik (3.13) ile her bir vücut parçasından olan duyulur ısı kaybı hesaplanmıştır.
 - Eşitlik (3.17) ile her bir vücut parçasından olan buharlaşma ısı kaybı hesaplanmıştır.

- Eşitlik (3.28) ile her bir vücut parçasından olan solunum ısı kaybı hesaplanmıştır.
 - Eşitlik (3.38) ile her bir vücut parçasında kordan deriye olan ısı transferi miktarı hesaplanmıştır.
 - Eşitlik (3.9) ile her bir vücut parçasında korda depolanan enerji miktarı tayin edilmiştir.
 - Eşitlik (3.10) ile her bir vücut parçasında deride depolanan enerji miktarı tayin edilmiştir.
 - Eşitlik (3.11) ile her bir vücut parçasının yeni kor sıcaklığı bulunmuştur.
 - Eşitlik (3.12) ile her bir vücut parçasının yeni deri sıcaklığı bulunmuştur.
6. Mevcut zaman adımı için eşitlik (3.34) ve eşitlik (3.35) ile ortalama kor ve deri sıcaklıkları tespit edilmiştir.
 7. Bir sonraki zaman adımına geçilmeden önce, elde edilen ortalama kor ve deri sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık denetim sinyalleri eşitlik (3.29) ile eşitlik (3.33) arasında verilen denklemler ile tespit edilmiştir.
 8. Sıcaklık denetim sinyallerine bağlı olan ortalama vücut sıcaklığı (T_{bm}) eşitlik (3.36) ile, kan akış debisi (m_{bl}) eşitlik (3.37) ile, vücut kütlelerinin deride bulunan oranı (α) eşitlik (3.39) ile, üretilen ter miktarı (m_{rsw}) eşitlik (3.40) ile, aktif terleme ile olan buharlaşma kaybı (E_{rsw}) eşitlik (3.41) ile, titreme ile üretilen enerji miktarı (M_{shiv}) eşitlik (3.42) ile ve toplam metabolik enerji eşitlik (3.43) ile hesaplanmıştır.
 9. Bir sonraki zaman adımına geçilerek, aynı işlemler tekrarlanmıştır.
 10. Vücudun rejime girdiği son zaman adımı için vücuttan olan toplam duyulur ve gizli ısı kayıpları eşitlik (3.51) ve eşitlik (3.52) ile tespit edilmiş ve giysi takımı toplam ısıl ve buharlaşma dirençleri eşitlik (3.53) ve eşitlik (3.54) ile hesaplanmıştır.
 11. Sonuç çıktısı olarak, giysi takımına ait ısıl ve buharlaşma dirençleri yazdırılmıştır. Kor ve deri sıcaklığının, duyulur ve buharlaşma ısı kaybının, solunum ile olan ısı kaybının ve toplam ısı kaybının zamanla değişimi ise ek bir dosyaya her bir zaman adımı için yazdırılmıştır.

Bunun yanı sıra, peşi sıra takip eden farklı ortamların analizi için aynı işlem adımları bir öncekinin hemen arkasına yerleştirilmiş, böylece ani ortam değişimlerinin etkisi de simülasyon ile incelenebilir hale getirilmiştir. Simülasyonda sıcaklık denetim sinyalleri ve buna bağlı parametrelerin hesabı, her bir vücut parçasına ait ısı ve buharlaşma dirençlerinin hesabı bir alt program olarak hazırlanmıştır. Yine gizli ısı kaybının hesaplanmasında önemli bir parametre olan havanın doyma basıncı da bir alt program ile tespit edilmiştir.

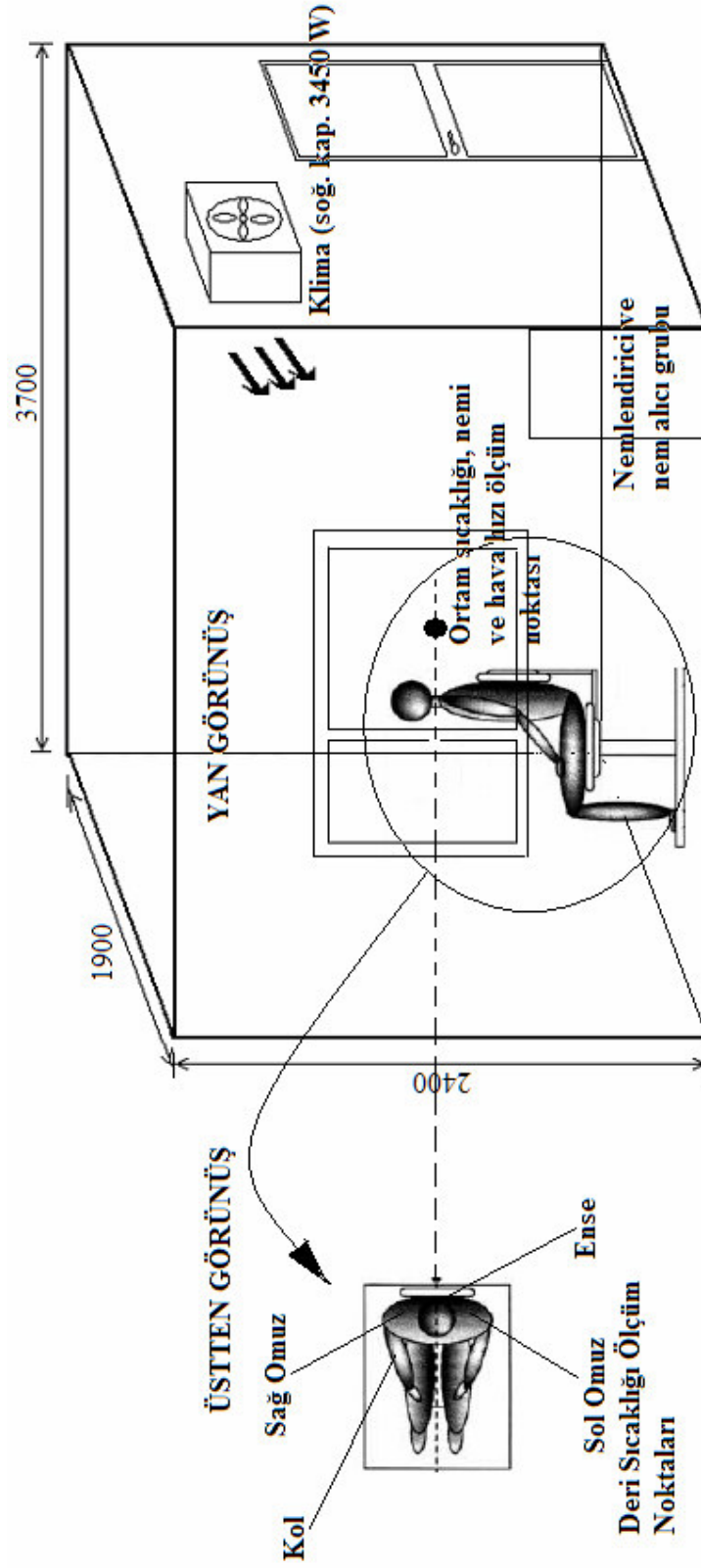
3.4. Deneysel Çalışmalar

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. Daha öncede bahsedildiği üzere, insanın ısı ortama verdiği tepkiler ise simülasyon vasıtasıyla analiz edilmiştir. Fakat yine de simülasyonun güvenilirliğini göstermek için bazı deneyler sırasında deneklerden sıcaklık ölçümleri alınmış ve aynı koşullar altında simülasyondan alınan çıktılar ile “Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde karşılaştırılmıştır. Yani yapılan deneysel çalışmalarda ortam koşullarına bağlı olarak boyun hareket kısıtlılıkları analiz edilirken, elde edilen vücut sıcaklık değerleri de simülasyon sonuçları ile karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Bu bölümde, deneylerin yapıldığı şartlandırma odası tanıtılacak, deney setleri ve yapılan ölçümler sunulacak, deneklerin antropometrik özellikleri ve giyim durumları verilecek, ölçümde kullanılacak cihazlar tanıtılacak ve en son olarak da deneysel sonuçların nasıl değerlendirildiği üzerinde durulacaktır.

3.4.1. Şartlandırma Odası

Çalışma Şekil 3.1.' de şematik olarak gösterilen ve Makine Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği laboratuvarında bulunan eni, boyu ve yüksekliği sırasıyla 1.9 m, 3.7 m ve 2.4 m olan 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.

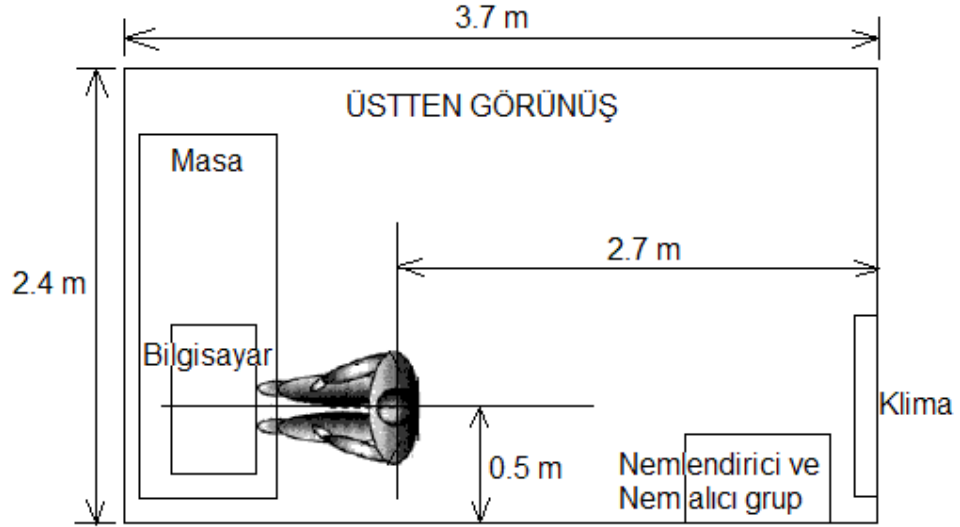
Şartlandırma odasının sıcaklık ayarı bahsedilen klima ile sağlanmıştır. Bu klimanın 3 kademeli fanı ile deney ortamında 3 farklı hava hızı da sağlanabilmektedir. Ortamın nemi ise, nemlendirici ve nem alıcı grup ile ayarlanmaktadır. Nemlendirme işlemi, su havuzu ile temasta olan gözenekli bir sünger içerisinden sürekli olarak ortam havasının sirkülasyonunu sağlayan bir nemlendirici cihaz ile yapılmaktadır. Gerektiğinde nem alma işlemi ise basit bir ısı pompası vazifesi gören cihaz ile sağlanmaktadır. Yine nem alıcı cihaz fanı ile ortam havasının sürekli olarak ısı pompası üzerinden sirkülasyonu sağlanmakta, böylece evaporatör üzerinden geçen havanın nemi alınırken bir miktar ısı da çekilmekte, kondenserde ise evaporatörde çekilen ısı tekrar havaya transfer edilerek, aynı sıcaklıktaki hava kurutulmuş olarak ortama geri verilmektedir. Nemlendirme işlemi buharla yapılmadığı için ortam sıcaklığını korumakta kolaylaşmaktadır. Fakat mevcut cihazla yapılan nemlendirme işlemi de zaman almaktadır. Bu nedenle ortam nemini ayarlamak için nemlendirici veya duruma göre nem alıcı ünite, deney başlamadan birkaç saat önce çalıştırılmaktadır. Deneyler sırasında ortam sıcaklığı, nemi ve hava hızının ölçümünde kullanılan cihazlar ileride tanıtılacaktır. Deney başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak bahsedilen bu cihazlar ile ortam sıcaklığı, nemi ve ortamdaki hava hızı takip edilmiş ve 15 dakika aralıklar ile kaydedilmiştir. Yine ortam şartlarında, deneyler süresince belirli salınımlar gerçekleşmiştir. Deneyler sırasında ölçülen değerler için salınımların, sıcaklık için ± 0.5 °C, nem için $\pm \%5$ ve hız için ± 0.05 m/s mertebelerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1. Şartlandırma odası, insanın konumu ve ölçüm noktalarının şematik görünümü

3.4.2. Deney Setleri ve Ölçümler

Deney kapsamında denekler klimanın bulunduğu yüzeye arkası dönük halde bilgisayar başında oturacak şekilde konumlandırılmışlardır. Şekil 3.1. 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 3.1.' den açıkça görülebilmektedir. Deneklerin duvarlardan olan mesafelere göre oturma konumu da Şekil 3.2. de verilen üstten görünüşten açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3.2. 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 alınmışlardır.

Deneylerin haftalara göre hangi hal durumunda (kuru yada ıslak), hangi sabit ve değişkende yapıldığı ve her kademede kaç denegin kullanıldığı Çizelge 3.4.' de özetlenmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi her bir deney kademesi için en az 3 denek kullanılmaya çalışılmış, daha fazla denek kullanımı ise kritik değerler için uygulanmıştır.

Çizelge 3.4. İlk grup deneysel çalışmalarda, haftalara göre deney ortamı için sabit ve değişkenler ile denek sayısının durumu

<i>Hafta</i>	<i>Hal</i>	<i>Sabitler</i>	<i>Değişken</i>	<i>Denek Sayısı</i>
1. Hafta	Kuru	0.2 m/s, %50BN	20 °C	4
			22 °C	3
			24 °C	4
			26 °C	3
2. Hafta	Kuru	24 °C, %50 BN	0.2 m/s	4
			0.4 m/s	4
			0.6 m/s	4
3. Hafta	Kuru	24 °C, 0.2 m/s	%40 BN	3
			%60 BN	4
			%80 BN	4
4. Hafta	Islak	0.2 m/s, %50BN	20 °C	4
			22 °C	3
			24 °C	3
			26 °C	2
5. Hafta	Islak	24 °C, %50 BN	0.2 m/s	3
			0.4 m/s	3
			0.6 m/s	3
6. Hafta	Islak	24 °C, 0.2 m/s	%40 BN	3
			%60 BN	3
			%80 BN	3

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 sürmüştür, 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 ısı ortam bağıl nemi 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. Bu ikinci grup deneyler için, deneylerin haftalara göre hangi hal durumunda (kuru yada ıslak), hangi sabit ve değişkenle yapıldığı ve her kademedeki kaç deneğin kullanıldığı Çizelge 3.5.' de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5. İkinci grup deneysel çalışmalarda, haftalara göre deney ortamı için sabit ve değişkenler ile denek sayısının durumu

<i>Hafta</i>	<i>Hal</i>	<i>Sabitler</i>	<i>Değişken</i>	<i>Denek Sayısı</i>
1. Hafta	Kuru	20 °C , %50BN	0.2 m/s	3
			0.4 m/s	3
			0.6 m/s	3
2. Hafta	Islak	20 °C, %50 BN	0.2 m/s	3
			0.4 m/s	3
			0.6 m/s	3
3. Hafta	Kuru	22 °C, %50 BN	0.2 m/s	3
			0.4 m/s	3
			0.6 m/s	3
4. Hafta	Islak	22 °C, %50 BN	0.2 m/s	3
			0.4 m/s	3
			0.6 m/s	3

ASHRAE Standart 55 – 2004 (Anonim 2004)' de verilen grafiksel metoda göre, ortamdaki hava hızının 0.2 m/s değerini aşmaması durumunda, tipik yazlık giysiler için (0.5 clo), 1.0 met ile 1.3 met aralığındaki aktivite düzeylerinde, konfor bölgesi için verilen operatif sıcaklık aralığı, ortam bağıl nemine bağlı olarak, yaklaşık 24 °C ile 28 °C aralığında değişmektedir. Bağıl nem seviyesi için bu standartta üst sınır için 16.8 °C çığ noktası sıcaklığı önerilmektedir ki bu verilen grafik metotta %70 bağıl nem seviyesinin altına tekabül etmektedir. Bahsedilen standartta ısı konfor için minimum nem seviyesi tanımlanmamaktadır fakat deri kuruluğu, gözlerde kuruluk, statik elektrik üretimi gibi ısı konfora bağlı olmayan faktörlerin nem alt sınırını belirlemede rol oynayacağı belirtilmektedir. ISO 7730 (Anonim 1994)' da da ısı konfor bölgeleri tanımlanmaktadır. Bu standarda göre, yaz koşullarında, hafif aktivite düzeyinde operatif sıcaklığın 24.5 °C ± 1.5 °C arasında olması önerilmektedir. ISO 7730' da ısı konfor için önerilen hız aralığı türbülans yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Fakat bahsedilen operatif sıcaklık değerlerinde %10 ile %60 türbülans yoğunluğu aralığında önerilen hız değeri yaklaşık olarak 0.25 m/s değerinin altında kalmaktadır. Önerilen bağıl nem aralığı ise %30 ile %70 dir. Her 2 standartta da verilen aralıklar operatif sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı için birbirine yakındır. Deneyle sırasında ortam şartları tayin edilirken, 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 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 ısı 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. Deneklerin Çizelge 3.6.' da tanımları açıklanan boyun hareket açıklıkları nötral "0" yöntemine göre goniometre ile tespit edilmiştir. Bunun için deneğin anatomik olarak, Şekil 3.3.' de gösterildiği gibi nötral pozisyonda durması istenmiş, goniometre ile başın bu duruşta 0° olan açısının Çizelge 3.6.' da tanımlanan düzlemlerde her hareket sonunda ulaştığı açı ölçülmüştür. Böylece deneyden önce yapılan ölçümler ile deneğin belirlenen ısıl ortamlarda kaldıktan sonra yapılan ölçümler arasında oluşan farklar değerlendirmeye alınmış, ısıl ortamın boyun hareket açıklıkları üzerine etkisi araştırılmıştır.

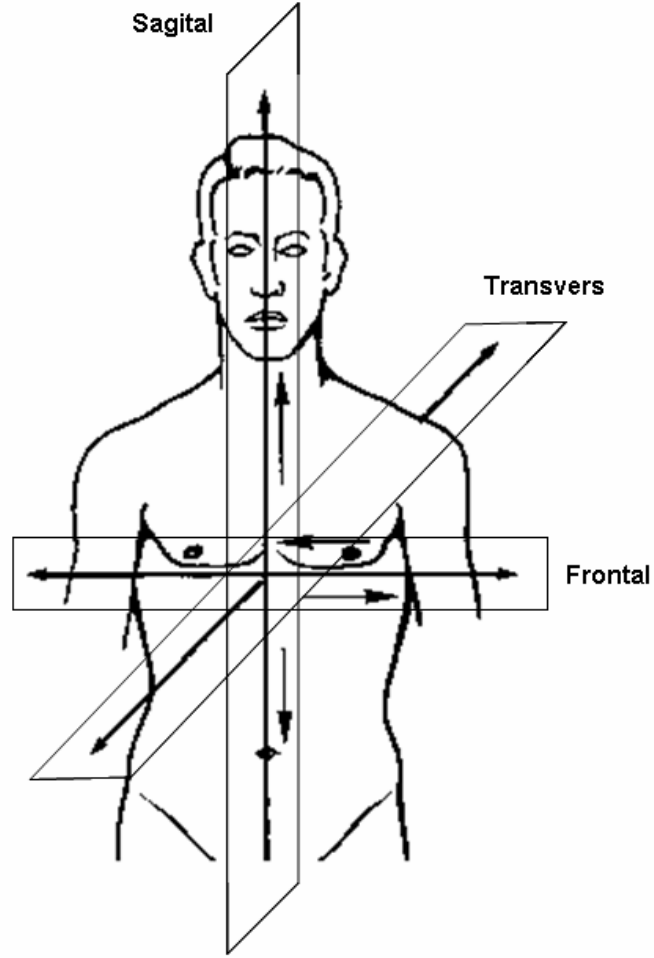
Çizelge 3.6.' dan görüleceği üzere, boynun fleksiyon ve ekstansiyon hareketi sagittal düzlemde oluşmakta, baş, fleksiyonda göğse, ekstansiyonda sırta doğru götürülmektedir. Boynun sağa ve sola lateral fleksiyon hareketi ise frontal düzlemde oluşmakta, bahsedilen yöndeki kulak omuza doğru götürülmektedir. Sağa ve sola rotasyonda ise boyun hareketi transvers düzlemde oluşmakta, baş, bahsedilen yönlere doğru çene omuza paralel olacak şekilde döndürülmektedir. Ana düzlemler olan sagittal, frontal ve transvers düzlemler Şekil 3.3.' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Servikal (boyun) hareket açıklıkları, oluştukları düzlemler ve tanımları

<i>Servikal Hareket Açıklıkları</i>	<i>Oluştugu düzlem</i>	<i>Tanımı</i>
Fleksiyon	Sagittal	Başın göğse öne doğru götürülmesi
Ekstansiyon	Sagittal	Başın sırta arkaya doğru götürülmesi
Sağa lateral fleksiyon	Frontal	Sağ kulağın sağ omuza doğru götürülmesi
Sola lateral fleksiyon	Frontal	Sol kulağın sol omuza doğru götürülmesi
Sağa rotasyon	Transvers	Başın sağa doğru çene omuza paralel olacak şekilde döndürülmesi
Sola rotasyon	Transvers	Başın sola doğru çene omuza paralel olacak şekilde döndürülmesi

Bütün bunların yanı sıra, tüm deneyler sırasında deneklerin buldukları ortamdan hissettikleri ısıl duyum da sorgulanmıştır. Isıl konfor yada konforsuzluğun yani ısıl duyumun tespiti için "Tahmini Ortalama Oy (PMV)" indisi kullanılmıştır. PMV geniş bir insan grubunun ısıl ortama verdiği tepkiyi ortalama olarak tahmin edebilen 7 noktalı ölçeğe dayalı bir ısıl duyum indisidir. Bu ölçek şu şekildedir:

+3	Sıcak
+2	Ilık
+1	Biraz ılık
0	Nötr
-1	Biraz serin
-2	Serin
-3	Soğuk



Şekil 3.3. Nötral pozisyonda ana düzlemler (Kahle ve ark. 1992)

Deneyle sırasında, deneklerin ortamdaki ısıyı hissettikleri 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 hissi tayin edilmiştir.

3.4.3. Denekler

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. Deneye katılmadan önce deneklere yapılacak deneyler ile ilgili bir bilgilendirme formu verilmiş ve şartları kabul etmeleri halinde formun imzalanması istenmiştir. 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. Şartları kabul eden gönüllü 25 adet erkek deneye ait antropometrik özellikler ve bunların ortalamaları ile standart sapmaları Çizelge 3.7.' de sunulmaktadır.

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. Giysi takımının özellikleri “Araştırma Sonuçları ve Tartışma” bölümünde sunulmuş, bu giysi takımının ısı ve buharlaşma direnci de bahsedilen bölümde hesaplanarak verilmiştir.

3.4.4. Ölçüm Cihazları

Deneyler sırasında ortam sıcaklığı, bağıl nemi, denegin tam sırt bölgesi hizasındaki hava hızı sürekli olarak takip edilmiştir. Bunun yanı sıra bazı deneyler sırasında simülasyon sonuçları ile karşılaştırma yapılabilmesi için denek sırt bölgesi deri sıcaklığı da ölçülmüştür. Daha öncede bahsedildiği üzere, denegin çeşitli boyun açıları deneyden önce deneyden 2 saat sonra ve deneyden bir gün sonra goniometre ile ölçülmüştür. Bu kısımda ölçümlerde kullanılan bu cihazlar anlatılacaktır.

Çizelge 3.7. Deneklere ait antropometrik özellikler

<i>Denek no</i>	<i>Yaş</i>	<i>Kilo (kg)</i>	<i>Boy (m)</i>	<i>DuBois yüzey alanı (m²)</i>
<i>1</i>	27	78	1.70	1.89
<i>2</i>	27	69	1.74	1.82
<i>3</i>	24	75	1.70	1.86
<i>4</i>	25	75	1.75	1.90
<i>5</i>	25	88	1.83	2.10
<i>6</i>	22	83	1.80	2.02
<i>7</i>	25	77	1.77	1.94
<i>8</i>	21	83	1.76	1.99
<i>9</i>	23	67	1.73	1.79
<i>10</i>	25	87	1.87	2.12
<i>11</i>	21	72	1.80	1.90
<i>12</i>	23	69	1.72	1.81
<i>13</i>	25	76	1.82	1.96
<i>14</i>	20	62	1.65	1.68
<i>15</i>	21	64	1.70	1.74
<i>16</i>	22	76	1.77	1.93
<i>17</i>	23	80	1.74	1.94
<i>18</i>	23	82	1.82	2.03
<i>19</i>	24	90	1.93	2.20
<i>20</i>	20	68	1.75	1.82
<i>21</i>	21	59	1.75	1.71
<i>22</i>	22	91	1.73	2.04
<i>23</i>	20	88	1.84	2.11
<i>24</i>	21	83	1.82	2.04
<i>25</i>	22	82	1.90	2.09
<i>Ortalama/Standart sapma</i>	22.9 ± 2.09	76.99 ± 8.98	1.78 ± 0.07	1.94 ± 0.14

Şartlandırma odası sıcaklığı, bağıl nemi ve deneğin sırt bölgesi hizasındaki hava hızı, Şekil 3.4.' de verilen 6 kanallı Testo 454 veri toplama cihazı ile ölçülerek, 15 dakikalık aralıklar ile kaydedilmiştir.

Hız ölçüm probu Şekil 3.4.-(a) dan görülmektedir. Bu hız probu ile deneğin tam sırt hizasındaki hız değeri sürekli olarak ölçülmüş ve 15 dakika aralıklar ile kaydedilmiştir. Hız probu 0 m/s ile 20 m/s arasında ölçüm yapabilmektedir. Bu probun, 0 m/s ile 2 m/s ölçüm aralığında hassasiyeti ± 0.03 m/s iken 2 m/s ile 20 m/s aralığında hassasiyeti ± 0.2 m/s' dir.



Şekil 3.4. Testo 454 veri toplama cihazı (a) hava hızı ölçüm probu (b) ortam sıcaklığı ve bağıl nem ölçüm probu

Yine her 15 dakikada bir kaydedilen sıcaklık ve nem ölçümlerinde kullanılan probda Şekil 3.4.-(b)' de gösterilmektedir. Bu prob, %0 ile %100 bağıl nem aralığında ölçüm yapabilmektedir. %0 ile %9.9 bağıl nem aralığında hassasiyet $\pm\%2$, %10 ile %90 bağıl nem aralığında hassasiyet $\pm\%1$ iken %90.1 ile %100 bağıl nem aralığında hassasiyet $\pm\%2$ kadardır. Bu prob ile $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklık ölçümü de yapılabilmektedir. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında hassasiyet $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında hassasiyet $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken $+50.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında hassasiyet $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' dir.

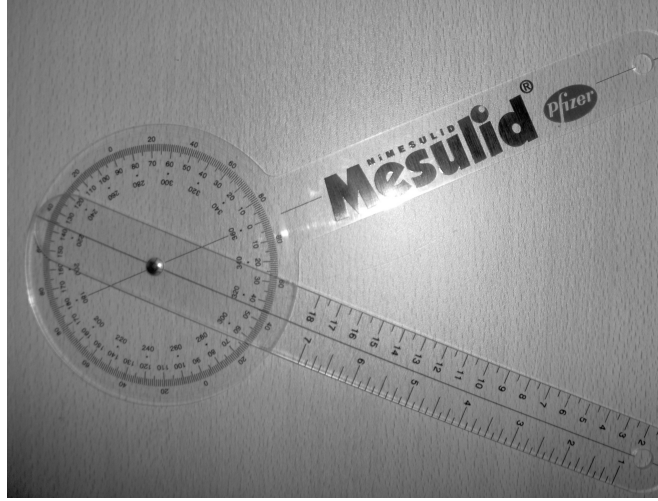
Deneyler esnasında oda içerisindeki lokal sıcaklık ve bağıl nem değerlerindeki değişimin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şartlandırma odası laboratuvar ortamında olduğu için direkt güneş ışınımı da almamaktadır. Bu nedenle duvar sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark ihmal edilebilir düzeydedir. Yani ortam sıcaklığı ile ortalama ışınım sıcaklığı hemen hemen eşittir.

Daha öncede belirtildiği gibi, bazı deneyler sırasında deneğin sırt bölgesinden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Sırt bölgesi deri sıcaklığı Şekil 3.5.' de gösterilen Comark C9008 termometre ile yapılmıştır. Bu termometrede kullanılan prob da yine Şekil 3.5.' de gösterilmiştir. Bahsedilen termometre 2 kanallıdır ve hassasiyeti $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kadardır. Şekilde görülen prob, termometreye uygun, K tipi, yüzey sıcaklık ölçümünde kullanılan bir prob türüdür. Bu prob için ölçüm aralığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Probonun sıcaklığı algılama süresi 0.2 saniyedir. Prob uzunluğu 100 mm, uç çapı ise 7.5 mm dir.



Şekil 3.5. Sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçümünde kullanılan termometre ve yüzey sıcaklığı ölçüm probu

“Kaynak Araştırması” bölümünde boyun hareket açıklıklarının ölçümünde kullanılabilecek metotlar ve bu metotların güvenilirliği ve geçerliliği üzerine yapılan çalışmalar özetlenmişti. Boyun hareket açıklıklarının ölçümünde kullanılabilecek bir çok metodun mevcut olduğu bu çalışmalardan görülebilmektedir. Bunlardan en gelişmiş olanının elektromanyetik 3 boyutlu hareket izleme sistemleri ile alınan ölçümler olduğu söylenebilir. Yine radyografik analiz ile alınan ölçümlerin de güvenilir olduğu çeşitli çalışmalardan görülebilmektedir. Literatürde hareket açıklıklarının ölçümünde kullanılabileceği gösterilen çeşitli tiplerde farklı goniometrelerden de bahsedilmektedir. Mevcut çalışma kapsamında iklimlendirilen ortamdaki kişinin kısa zamanda, en doğru bir biçimde değerlendirilebilmesi gerekliliği gibi sebeplerden yola çıkılarak, diğer sistemlere göre daha az duyarlı olmasına rağmen, kullanımı kolay, basit, tekrarlanabilir, ucuz, radyografik analizde olduğu gibi herhangi bir olumsuz etki içermeyen universal goniometre olarak isimlendirilen basit bir açı ölçer ile ölçüm tercih edilmiştir. Ölçümü daha duyarlı kılabilmek amacıyla, deneğin pozisyonunun sabitlenmesine özen gösterilmiş, her ölçüm ardı sıra 3 kere tekrarlanarak, en doğru değerler tespit edilmeye çalışılmıştır. Goniometre basit bir açı ölçer gibidir ve Şekil 3.6.’de gösterilmektedir. Bu universal goniometre ile ölçülebilecek en küçük değer ise 1° dir.



Şekil 3.6. Boyun hareket açıklıklarının ölçümünde kullanılan goniometre

Deneylerde kullanılan bu cihazlar belirli bir ölçüm hassasiyetine sahip olduğundan, ölçülen her bir değer bir miktar hata içermektedir. Ölçümler esnasında yapılan toplam hatayı belirlemek için, Moffat' ın (1988) önerdiği eşitlik kullanılmıştır. Deneyler sırasında ortam sıcaklığı, ortamdaki hava hızı, ortam bağıl nemi, vücut deri sıcaklığı ve boyun hareket açıları ölçüldüğü için hata kaynakları fonksiyonu (HFK);

$$HFK = f[T_a, V, \phi, T_{sk}, a\phi t] \quad (3.55)$$

şeklinde oluşmaktadır. Bu durumda bağıl hata, Moffat' ın (1988) düşüncesine göre;

$$Hata = \left\{ \left(\frac{\Delta T_a}{T_a} \right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \phi}{\phi} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{sk}}{T_{sk}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta a\phi t}{a\phi t} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.56)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Deneylerde kullanılan ölçüm aralıkları ve cihaz hassasiyetlerinden bahsedilmiştir. Bu değerlere göre yapılan hesaplamalar sonucu yaklaşık hata oranı ortalama %8.2 olarak tespit edilmiştir.

3.4.5. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Isıl ortam şartlarına bağlı olarak denek boyun açılarında 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. Yapılan 3 ayrı analizde sabitler ve faktörler Çizelge 3.8.’de verilmiştir. 1. analizde hız 0.2 m/s’de, bağıl nem %50’de sabit iken sıcaklık değişiminin ve halin etkisi incelenmiştir. 2. analizde bu defa sıcaklık 24 °C’de, bağıl nem %50’de sabit iken, hız ve halin etkisi ele alınmıştır. Yapılan son analizde ise sıcaklık 24 °C’de, hız 0.2 m/s’de sabit iken nem ve halin etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.8. İstatistiksel tasarım parametreleri

<i>Analiz</i>	<i>Sabit 1</i>	<i>Sabit 2</i>	<i>Faktör 1</i>	<i>Faktör 2</i>
1	Hız (0.2m/s)	Nem (%50)	Sıcaklık	Hal
2	Sıcaklık (24°C)	Nem (%50)	Hız	Hal
3	Sıcaklık (24°C)	Hız (0.2 m/s)	Nem	Hal

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. Ölçülen değerler açısı olarak Y , ölçülen değerlerin ortalaması μ , faktörler A ve B , her iki faktörün kesişimi AB ve hata ε ile gösterilerek tasarım şu şekilde oluşturulmuştur.

$$Y = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3.57)$$

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.

24 °C ortam sıcaklığı için hız ve hal değişiminde daha önce deney yapıldığı için bu son deneylerde bu veriler için sonuç alınmamıştır. 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. Ölçülen boyun açısındaki değişim Y , ölçülen değerlerin ortalaması μ , sıcaklık faktörü S , ortam hava hızı faktörü Z , hal faktörü H , hata ε ve bunların kesişimini de içerecek şekilde 3 faktörlü tasarım şu şekildedir:

$$Y = \mu + S_i + Z_j + SZ_{ij} + H_k + SH_{ik} + ZH_{jk} + SZH_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.58)$$

2 faktörlü tasarımda olduğu gibi 3 faktörlü tasarımda da COSTAT programından elde edilen ANOVA tabloları ile varyans analizi yapılmış ve hangi faktörlerin veya kesişimlerinin deneğin boyun açısı üzerinde etken olduğu tespit edilmiş, yapılan SNK testi ile de incelenen faktörlerin her bir seviyesi ve bu seviyeler arasındaki fark tespit edilmeye çalışılmıştır. 3 faktörlü analizde de hem 1. zaman adımı hem de 2. zaman adımında bütün servikal hareket açıklıkları için analizler ayrı ayrı yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde ilk önce, hem deneylerde hem de simülasyon sonuçları alınırken kullanılan giysi takımı için, mevcut simülasyon ile hesaplanan ısı ve buharlaşma dirençleri verilecek, elde edilen direnç değerlerinin geçerliliği literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak gösterilecektir. Daha sonra, oluşturulan 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modeli ile geliştirilen simülasyondan elde edilen sonuçlar, yapılan deneylerden ve literatürden elde edilen benzer sonuçlar ile karşılaştırılarak, simülasyon sonuçlarının güvenilirliği sunulacaktır. Son olarak da çalışmanın amacını teşkil eden, deneylerden elde edilen boyun hareket açıklılıklarındaki kısıtlılıkların ortam şartlarına bağlı olarak değişimi incelenecek, bu kısıtlılıklar tartışılırken insanın bulunduğu çevreyle olan ısı etkileşimi simülasyondan elde edilen sonuçlar üzerinden değerlendirilecektir.

4.1. Bulgular ve Tartışma

4.1.1. Giysi Isıl ve Buharlaşma Dirençlerinin Tayini

Çalışmada elde edilen bulgulara geçmeden önce, hem deneylerde ve hem de simülasyon sonuçları alınırken kullanılan giysi takımı için ısı ve buharlaşma dirençleri sunulacaktır. Belirlenen giysi takımında kullanılan kumaşların karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma direnç değerleri Çizelge 4.1.' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri

<i>Kumaş kodu</i>	<i>Kumaşın tanımı</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Isıl direnç R_f (m^2C/W)</i>	<i>Buharlaşma direnci $R_{e,f}$ (m^2kPa/W)</i>
1	Jersey RL örme kumaş, %100 pamuk	1.270	0.036	0.0040
2	İnce bezayağı dokuma, % 65polyester, %35 pamuk	0.533	0.025	0.0024
3	Poplin kumaş, %60 pamuklu, %40 polyester	0.787	0.026	0.0041

Kaynak: McCullough ve ark. (1989)

Deneklerin giymiş olduğu ve erkek yazlık giyim olarak tanımlanan giysi takımının her bir parçası ve bu parçaların kumaş türleri ve hangi vücut parçasını kapladığı Çizelge 4.2.' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler

<i>Elbise</i>	<i>Kumaş kodu*</i>	<i>Giyimli vücut parçaları</i>
Kilot	1	Pelvis
Yarım kollu gömlek	2	Sağ ve sol kol, göğüs, sırt
Uzun pantolon	3	Sağ ve sol diz altı, sağ ve sol bacak, pelvis
Çorap	1	Sağ ve sol ayak

**kumaş koduna bağlı olarak kumaş tanımları Çizelge 4.1.' den bulunabilir.*

Bahsedilen erkek yazlık giyimi için, her bir vücut parçasına ait ısı ve buharlaşma dirençleri oluşturulan simülasyon ile hesaplanmıştır. Dirençler hesaplanırken ortam sıcaklığı 25 °C, bağıl nemi %50, ortamdaki hava hızı 0.2 m/s ve sakin oturma durumu için metabolik aktivite düzeyi de 60 W/m² olarak alınmıştır. Çizelge 4.3.' de her bir vücut parçası için dış hava tabakası dirençleri de dahil olmak üzere toplam ısı ve buharlaşma dirençleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, çıplak olan baş, eller ve ön kol gibi vücut parçalarında hem ıslak hem de kuru dirençler oldukça düşük iken ayaklar ve pelvisde direnç bu parçalardaki giyime bağlı olarak oldukça yüksektir.

Çizelge 4.3. Vücut parçaları için toplam ısı ve buharlaşma dirençleri

<i>Vücut parçası numarası</i>	<i>R_t(i) (m²°C/W)</i>	<i>R_{e,t}(i) (m²kPa/W)</i>
1-2	0.204	0.0263
3-4-5-6	0.194	0.0264
7	0.272	0.0332
8-9-10-11-12	0.125	0.0196
13-14-15-16	0.193	0.0247

Tüm vücut için toplam ısı ve buharlaşma dirençleri ($R_{e,t}$ ve R_t) ile dış hava tabakası dirençlerinin çıkarılması ile elde edilen giysilerin ısı ve buharlaşma dirençleri ($R_{e,cl}$ ve R_{cl}) Çizelge 4.4.' de verilmiştir. Modelden elde edilen teorik sonuçlar McCullough ve ark. (1989) tarafından yapılan deneysel sonuçlar ile Çizelge 4.4.' de karşılaştırılmış ve uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.4. Erkek yazlık giyimi için direnç değerleri ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

	R_t $m^{2o}C/W$ <i>clo</i>	$R_{e,t}$ m^2kPa/W	R_{cl} $m^{2o}C/W$ <i>clo</i>	$R_{e,cl}$ m^2kPa/W
Teorik	0.185 1.19	0.0251	0.077 0.50	0.0081
Deneysel*	0.186 1.20	0.0270	0.089 0.57	0.015

*Deneysel sonuçlar McCullough ve ark. (1989)' dan alınmıştır.

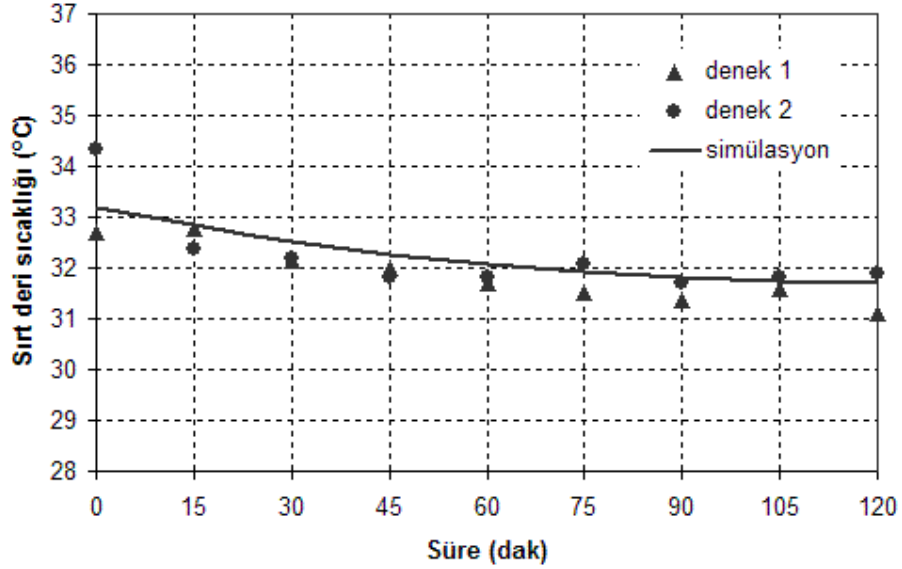
4.1.2. Simülasyonun Güvenilirliği

Daha önce de bahsedildiği üzere, simülasyondan elde edilen, belirli bir ortamda bulunan insanın ısı ortama verdiği tepkiler; deneylerden elde edilen veriler ve literatürde mevcut benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel boy 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 ve 24 °C ortam sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında %40 ve %80 bağıl nem ortamı için yapılmıştır. Daha öncede belirtildiği üzere, boyun hareket kısıtlılıklarının incelendiği tüm deneylerde vücut sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçülmeye çalışılmıştır. Ölçümlerde ilk önce termocupl kullanılmış, fakat bu ölçümlerin sağlıklı sonuçlar vermediği gözlenmiştir. Özellikle termocupl' ın vücuda tam temasının sağlanması ve bu elemanların vücuda yapıştırılması, özelliklede vücut ıslak haldeyken, güçlükler teşkil etmiştir. Ayrıca termocupl vücuda bant ile yapıştırıldığı için, bu bant tabakası da yüzeyde bir ısı direnç oluşturmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı termocupl ile yapılan vücut sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçüm sonuçları beklenenden birkaç derece daha düşük çıkmıştır. Karşılaştırmalarda bu sağlıklı ölçüm sonuçları kullanılmamış, sadece temas ile ölçüm yapan ve daha önce tanıtılan C9008 termometre ile yapılan ölçüm sonuçları burada sunulmuştur. Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5. tekrar incelenirse, 22 °C ortam sıcaklığı şartında her 3 hız kademesi için de 3 denekten ölçüm alındığı görülmektedir. Ayrıca 24 °C ortam sıcaklığı ve 0.2

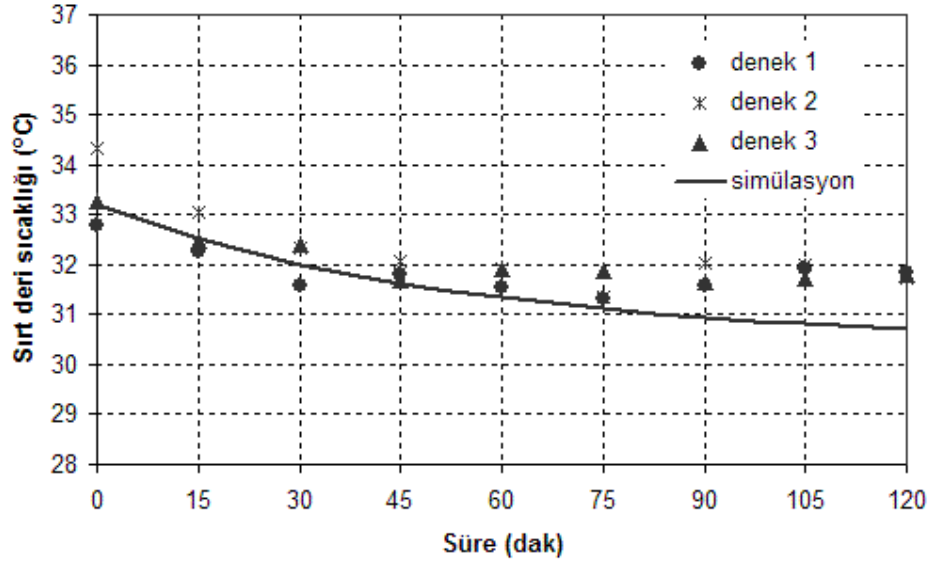
m/s hava hızında da %40 ve %80 bağıl nem seviyelerinde 3 deneğin kullanıldığı bahsedilen çizelgelerden görülebilmektedir. Sunulacak karşılaştırma grafiklerinde sadece C9008 termometre ile alınan sağlıklı ölçümler kullanılmış, termocupl ile yapılan ölçümlere ise bu karşılaştırma grafiklerinde yer verilmemiştir.



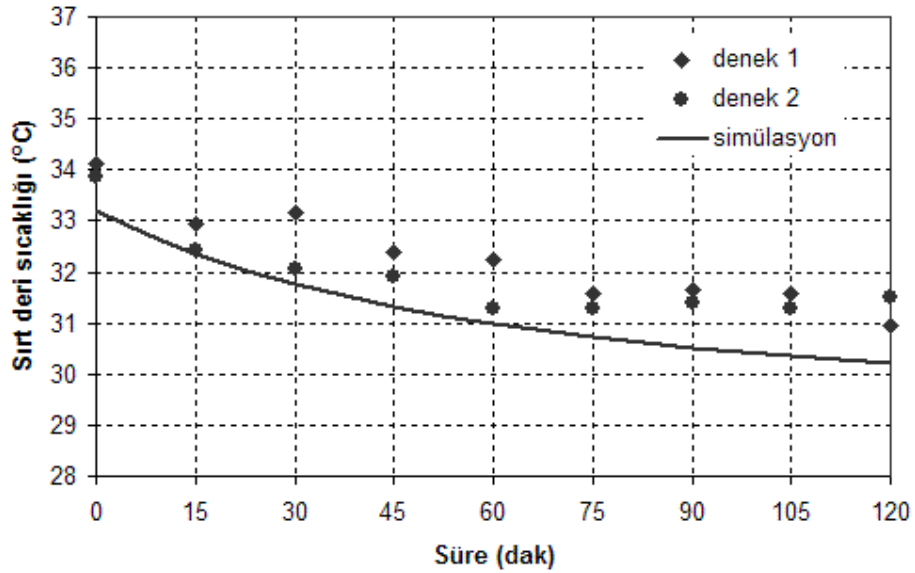
Şekil 4.1. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.2 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Şekil 4.1., Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.' 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 ısıl 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 4.3. incelenirse, deneklerin başlangıç sırt sıcaklığının yaklaşık 34 °C olduğu görülebilir. Bu durumda simülasyon sonuçları ile deneklerin verdiği tepkiler arasındaki fark normaldir. Simülasyonda başlangıç şartı olarak deneylerde yapılan ölçümlerden elde edilen başlangıç deri sıcaklığı değerleri kullanılmamıştır. Çünkü ölçümde

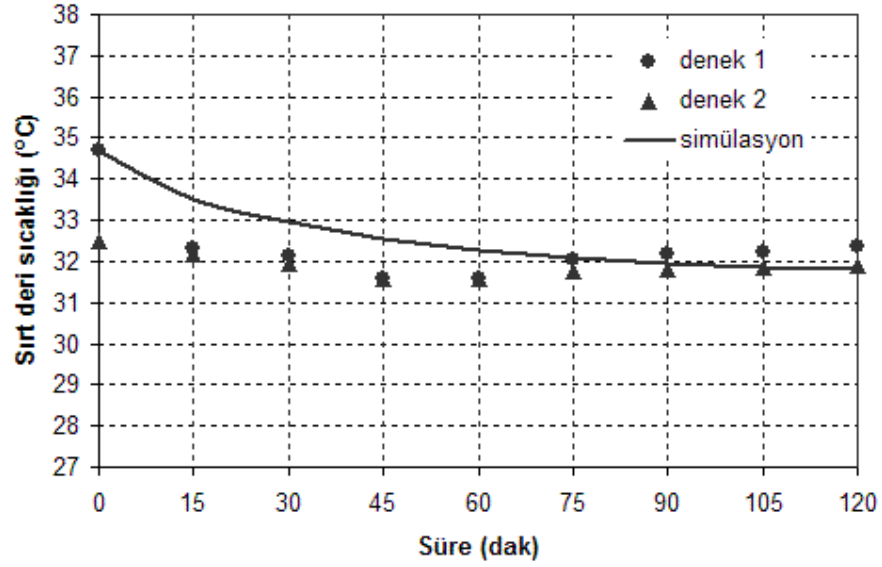
kullanılan tek bir prob vardır ve birim zaman adımımda sadece sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçülebilmektedir. Diğer 15 vücut parçasının sıcaklığını aynı zaman adımımda ölçmek mümkün olmadığı için, başlangıç vücut deri sıcaklığı değerleri için simülasyonda, Tanabe ve ark. (2002) de verilen ve Çizelge 3.2.' de sunulan nötr başlangıç değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.4 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması



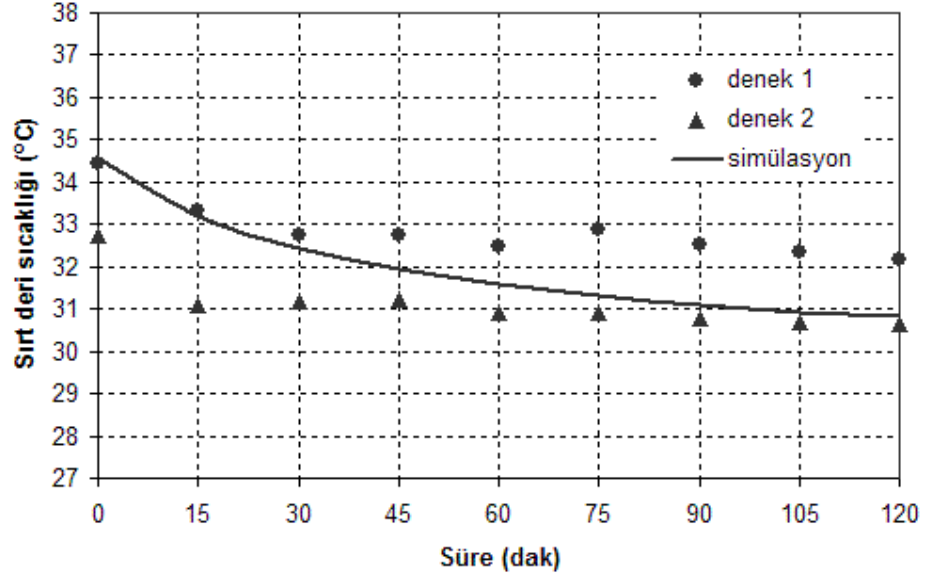
Şekil 4.3. Kuru halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.6 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması



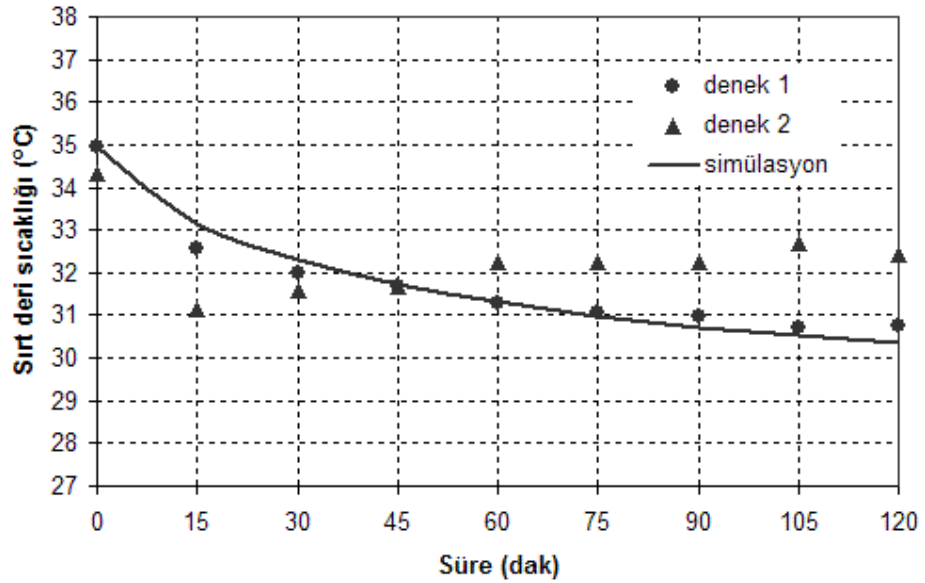
Şekil 4.4. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.2 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.' 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. Normalde başlangıç vücut deri sıcaklığı ve metabolik aktivite düzeyi simülasyon giriş verisidir. Fakat bisiklet egzersizi sırasında oluşan metabolik aktivite düzeyi tam olarak elde edilemediği için, simülasyon çift kademeli olarak çalıştırılmış, birinci kademede metabolik aktivite seviyesi, bisiklet egzersizi sonunda ve araştırılan ortam şartı başlangıcında deneyler sırasında ölçülen en yüksek denek deri sıcaklığı elde edilebilecek şekilde deneme yanılma yoluyla ayarlanmış, araştırılan ortam şartlarının incelendiği ikinci simülasyon kademesinde ise denek sakin oturma konumunda olduğu için, simülasyonda metabolik aktivite seviyesi normal olarak 60 W/m² olarak girilmiştir. 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.

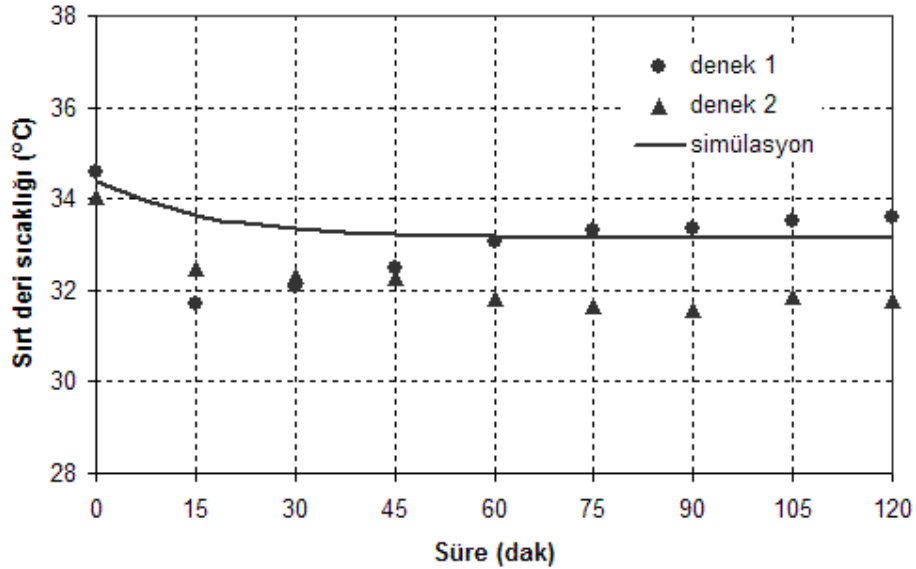


Şekil 4.5. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.4 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

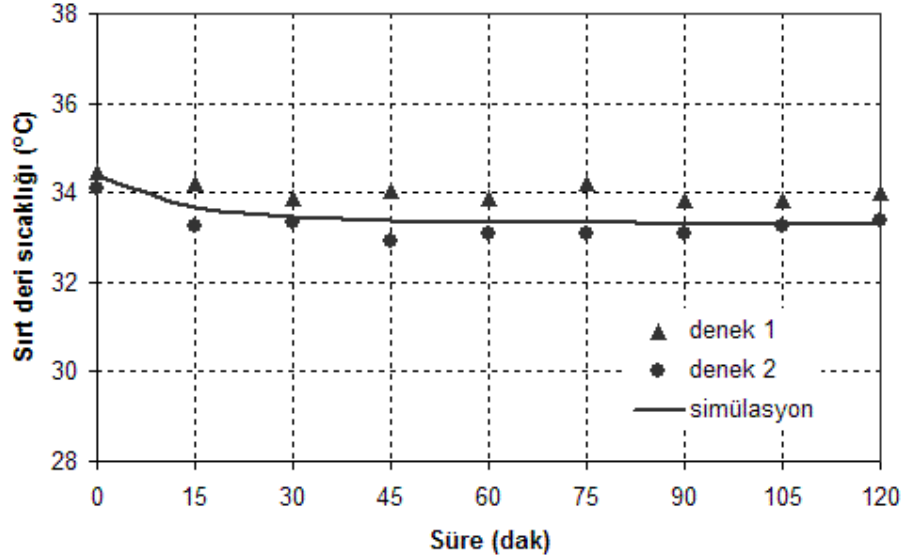


Şekil 4.6. Islak halde, 22 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nemde, 0.6 m/s hava hızı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Şekil 4.1. ile Şekil 4.6. arasında verilen grafiklerde deneyler ve simülasyon sonuçları %50 bağıl nem ortamında sunulmuştur. Yüksek ve düşük nemin etkisini görebilmek için sırasıyla %40 ve %80 bağıl nemde bulunan ortamlar için deneysel sonuçlar alınmış ve %40 bağıl nem ortamı için Şekil 4.7.' de, %80 bağıl nem ortamı için Şekil 4.8.' de simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bağıl nemin etkisi incelenirken ortam sıcaklığı 24 °C olarak alınmış, hava hızı 0.2 m/s değerine ayarlanmıştır. Nemin etkisini daha net görebilmek için bu deneyler vücudun ıslak hali için de yapılmıştır. Simülasyonda yine deneylerde olduğu gibi 15 dakika 30 °C ortam sıcaklığı, %70 bağıl nemdeki bisiklet egzersizi göz önünde bulundurulmuş, metabolik aktivite seviyesi yine deneyler ile uyumlu olması için en yüksek denek deri başlangıç sıcaklığı elde edilebilecek şekilde simülasyonda ayarlanmıştır. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8. den de görülebileceği üzere, deneklerden elde edilen sırt parçası yüzey sıcaklığı ile aynı şartlar altında simülasyondan alınan sonuçlar uyum içerisindedir. Yine şekillerden görülebileceği üzere ıslak ortam bağıl neminin sırt parçası yüzey sıcaklığı üzerine çok büyük bir etkisinin bulunmadığı gerek simülasyon gerekse deney sonuçlarından açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4.7. Islak halde, 24 °C ortam sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında %40 bağıl nemde bulunan ortam için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması



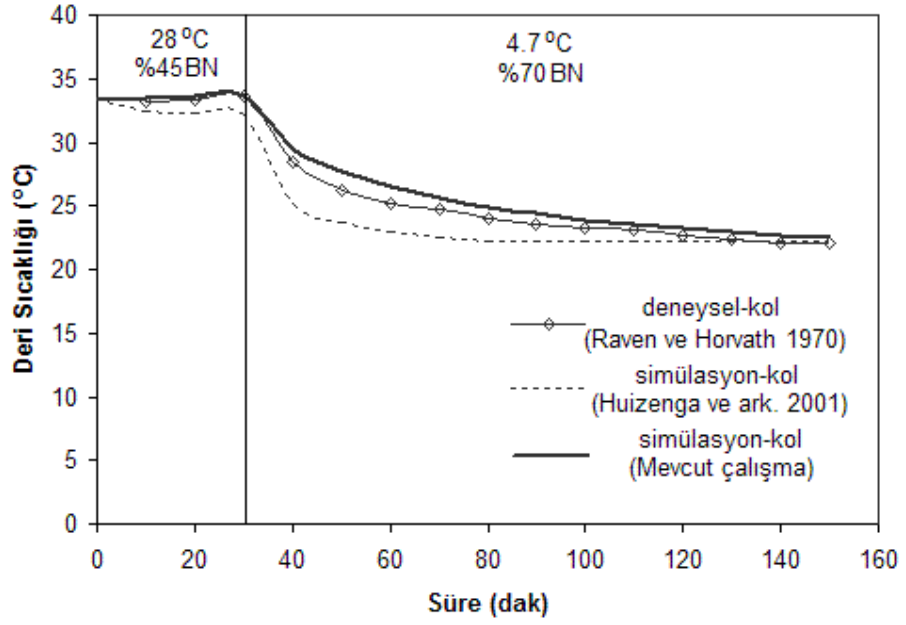
Şekil 4.8. Islak halde, 24 °C ortam sıcaklığı, 0.2 m/s hava hızında %80 bağıl nemde bulunan ortam için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Şekil 4.1. ile Şekil 4.8. arasında yapılan karşılaştırmalarda 2 önemli nokta göze çarpmaktadır. Kişisel farklılıkların, insanın ısı ortama verdiği tepkiyi etkilediği bahsedilen grafiklerden açıkça görülebilmektedir. Daha önce Çizelge 3.1.' de verilen simülasyonda kullanılan antropometrik özellikler ile Çizelge 3.7.' de verilen deneklere ait antropometrik özellikler kıyaslandığında da çeşitli farklılıkların olduğu açıktır. Simülasyonda 1.87 m² yüzey alanına sahip, 74 kg ağırlığında model kişi için hesaplamalar yapılırken, deneklerin ortalama ağırlığının 76.99 ± 8.98 kg ve yüzey alanının 1.94 ± 0.14 m² olduğu bahsedilen çizelgelerden görülebilmektedir. Her denegin 16 ayrı vücut parçasının ağırlığı ve yüzey alanı bilinmediği için simülasyon hesaplamaları Tanabe ve ark. (2002)' de verilen ve Çizelge 3.1.' de sunulan model kişi için yapılmıştır. Deneklerden elde edilen sıcaklıklar ile simülasyondan alınan sonuçlar arasındaki farklar simülasyonda kullanılan antropometrik özellikler ile deneklerin antropometrik özellikleri arasındaki farklılıklardan da kaynaklanabilmektedir.

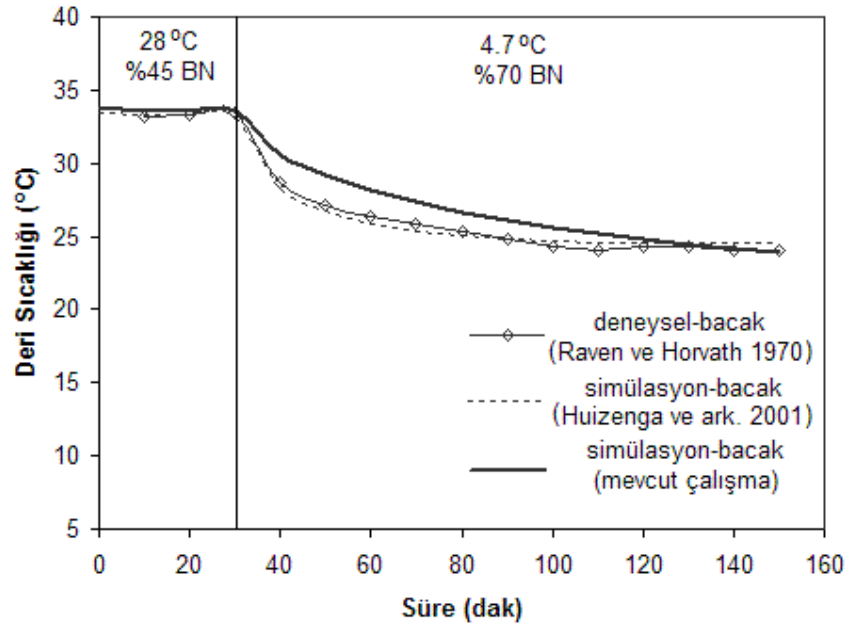
Diğer bir önemli nokta ise vücut sıcaklığının rejime girme süreleri ile ilişkilidir. ASHRAE Standart 55 – 2004 (Anonim 2004)' e göre, ortam değişikliklerinin konfor algısını yaklaşık 1 saatlik bir periyotta etkileyebileceği, yani ortam değişikliklerinde insan vücudunun yeni ısı şartlarında dengeye ulaşabilmesi için 1 saatlik bir periyoda ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Şekil 4.1. ve Şekil 4.8. arasında sunulan deneysel verilerde bu

doğrultudadır. Fakat simülasyon sonuçlarında, ikinci 60 dakikalık periyotta, ilk 60 dakikalık periyoda göre azda olsa vücut sıcaklığında düşüşler meydana gelmektedir. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.' den görülebileceği üzere, 24 °C gibi ısı konfor bölgesi içinde kalan sıcaklıklarda simülasyon sonuçları da yaklaşık 1 saatlik periyotta rejime girmektedir. Şekil 4.1. ile Şekil 4.6. arasında verilen inceleme ise 22 °C içindir ve bu sıcaklık ısı konfor aralığının dışındadır. Buradan simülasyonun, ısı konfor aralığının dışında kalan sıcaklıklar için rejime girmede geciktiğini de görebilmekteyiz.

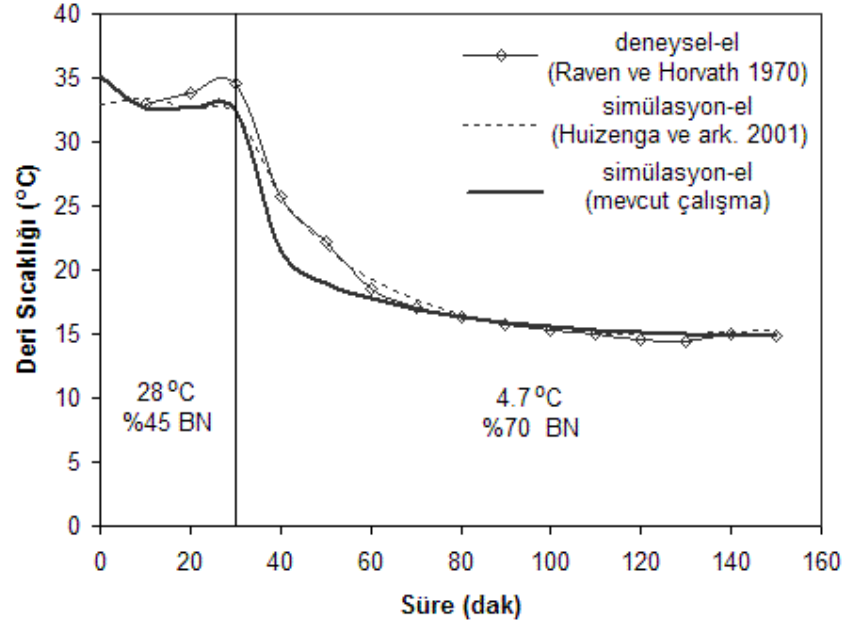
Deneylerdeki denek sayısının azlığı ve ölçüm aletlerimizin hassasiyetinin zayıflığı nedeniyle, simülasyondan alınan sonuçlar, literatürde mevcut benzer çalışmalarda verilen deneysel ve teorik çalışma sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar gerek vücut parçası bazında gerekse tüm vücut için ortalamalar olarak ele alınmıştır. Şekil 4.9., Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.' de simülasyondan elde edilen sonuçlar Huizenga ve ark. (2001)' de verilen teorik sonuçlar ve Raven ve Horvath (1970) tarafından verilen deneysel çalışma sonuçları ile sırasıyla kol, bacak ve el vücut parçaları için karşılaştırılmıştır. Huizenga ve ark. (2001) ve Raven ve Horvath (1970) tarafından yapılan çalışmalar 2. bölümde "Kaynak Araştırması" kısmında anlatıldığı için burada tekrarlanmamıştır. Her üç şekilden de görülebileceği üzere mevcut çalışma kapsamında oluşturulan simülasyondan elde edilen sonuçlar ile diğer çalışma sonuçları arasında bazı zaman adımlarında farklılıklar mevcuttur. Karşılaştırma yapılan çalışmalarda, incelenen durum için, metabolik aktivite düzeyi ve giysi yalıtım değerleri tam olarak ifade edilmemiştir. Yine de çalışmalarda kullanılan insan giysi takımının farklı olduğunu burada vurgulamak gerekmektedir. Raven ve Horvath (1970) tarafından yapılan deneylerde insan sadece şort giymiş halde hamak üzerinde dinlenirken sonuçlar alınmıştır. Fakat bu giysi takımının özellikleri verilmemiş ve ayrıca aktivite düzeyi için de sayısal değerler çalışmada sunulmamıştır. Huizenga ve ark.' da (2001), Raven ve Horvath (1970) tarafından deneysel olarak incelenen aynı durumu simülasyon ile ele almışlardır. Halbuki bizim simülasyonumuzda insan yazlık erkek giyim olarak tanımlanan hafif pantolon, gömlek ve iç çamaşırı giymiş varsayılmaktadır. Özellikle Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.' da bulunan farklılıklar farklı giyim sebebi ile olabilir. Çıplak olan el parçası için sonuçlar daha uyumlu çıkmaktadır. Her üç grafikten de görülebileceği üzere özellikle rejim halinde sonuçlar oldukça uyumludur.



Şekil 4.9. Vücut kol parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması



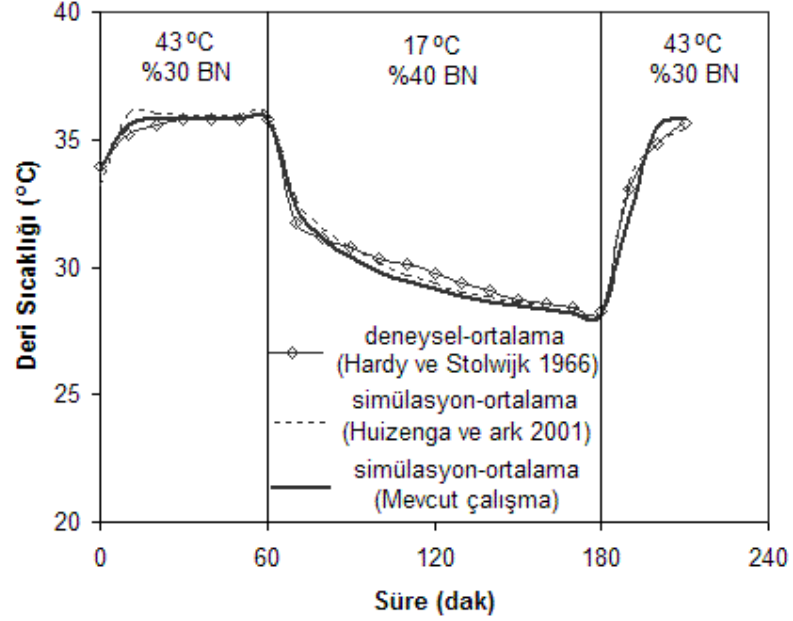
Şekil 4.10. Vücut bacak parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması



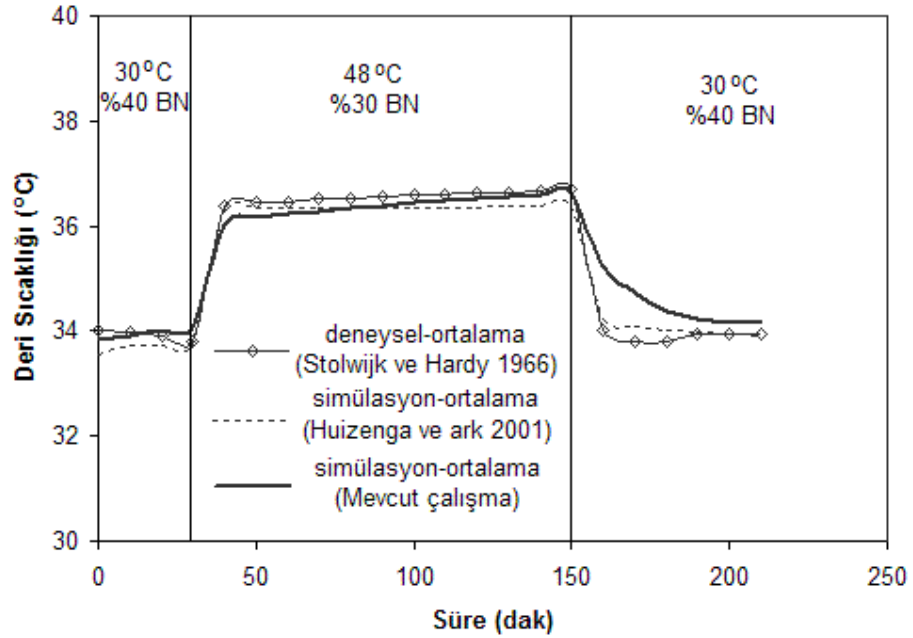
Şekil 4.11. Vücut el parçası için simülasyon sonuçlarının literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması

Mevcut tez çalışması kapsamında oluşturulan simülasyondan elde edilen, tüm vücut için ortalama deri sıcaklığı değerleri de literatürde mevcut benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Huizenga ve ark. (2001)' de teorik olarak ve Hardy ve Stolwijk (1966)' da deneysel olarak bir süreç boyunca ortam sıcaklığının ani olarak düşüşünün vücut ortalama deri sıcaklığına etkisi ele alınmıştır. Bahsedilen çalışmalarda, ortam şartlarının 43 °C sıcaklık, %30 bağıl nem ile 17 °C sıcaklık, %40 bağıl nem arasında ani olarak değişimi durumunda vücut ortalama sıcaklığının tepkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları mevcut simülasyon sonuçları ile Şekil 4.12.' de karşılaştırılmış, ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Huizenga ve ark. (2001)' de teorik olarak ve Stolwijk ve Hardy (1966)' da deneysel olarak, bir süreç boyunca ortam sıcaklığının ani olarak yükselmesinin vücut ortalama deri sıcaklığına etkisi ele alınmıştır. Bahsedilen çalışmalarda, ortam şartlarının 30 °C sıcaklık, %40 bağıl nem ile 48 °C sıcaklık, %30 bağıl nem arasında ani olarak değişimi durumunda vücut ortalama sıcaklığının tepkisi incelenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları mevcut simülasyon sonuçları ile Şekil 4.13.' de karşılaştırılmış, ve sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

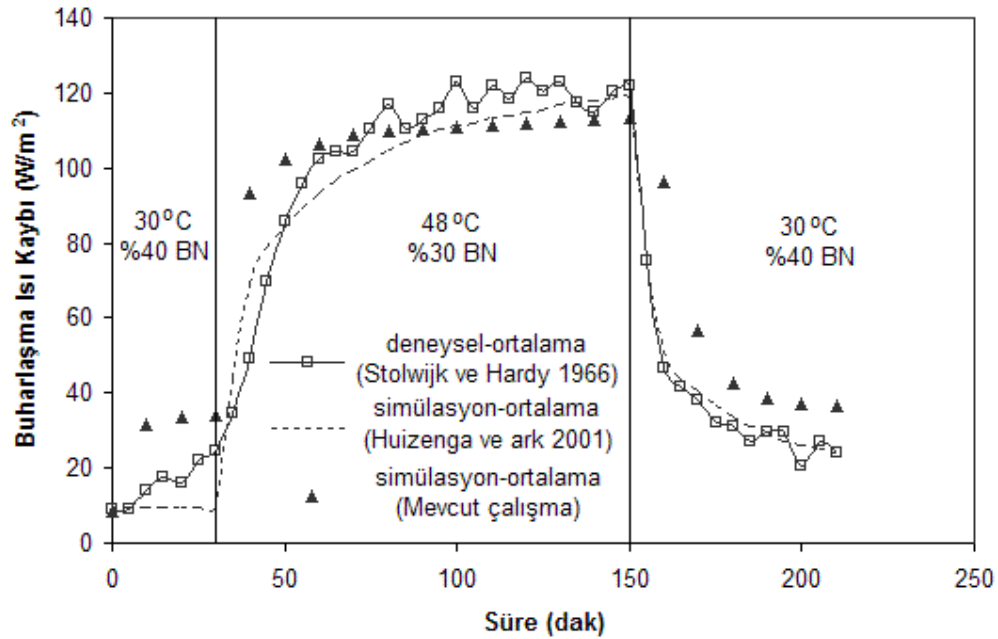


Şekil 4.12. Simülasyondan elde edilen vücut ortalama deri sıcaklığının, ortam sıcaklığının ani düşmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması

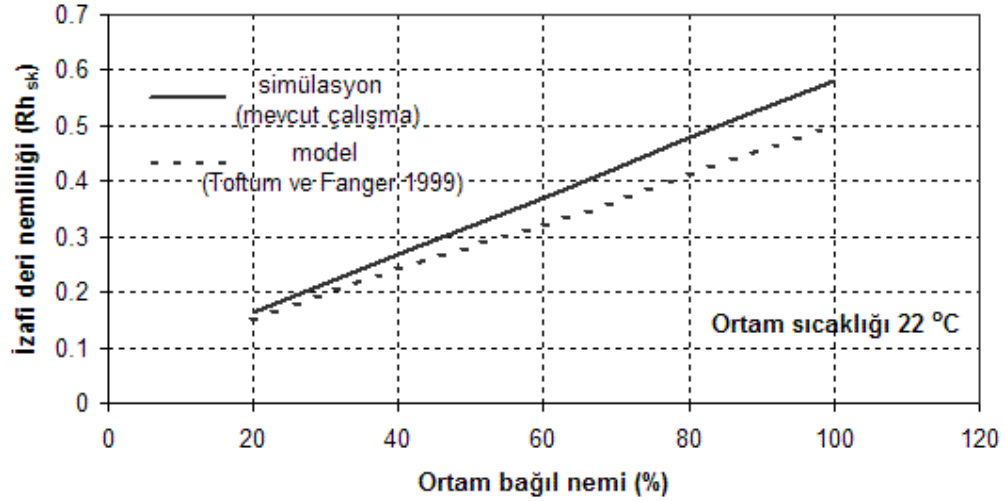


Şekil 4.13. Simülasyondan elde edilen vücut ortalama deri sıcaklığının, ortam sıcaklığının ani yükselmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması

Buraya kadar vücut parçalarının veya vücut ortalama sıcaklığının zamanla değişimi için karşılaştırmalar yapılmıştır. Gerek literatür gerekse mevcut çalışma kapsamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ile simülasyondan elde edilen sonuçların uyumlu olduğu açıktır. Bu durumda vücut deri sıcaklığı ile ortam sıcaklık farkına bağlı olan duyulur ısı kaybı hesaplarının da güvenilir olduğu söylenebilir. Vücuttan olan buharlaşma ısı kayıpları ise vücut deri ve ortam sıcaklığına bağlı olan su buharı basınç farkının yanı sıra vücut ıslaklığına da bağlıdır. Stolwijk ve Hardy (1966)' da deneysel olarak ve Huizenga ve ark. (2001)' de teorik olarak, ani sıcaklık yükselmesi durumunda belirli bir süreçte vücuttan olan buharlaşma ısı kayıplarının değişimi de incelenmiştir. Bahsedilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar, mevcut çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon sonuçları ile Şekil 4.14.' de karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan giysi takımına bağlı olarak buharlaşma ısıl dirençlerinin de farklı olduğu göz önüne alındığında, simülasyon sonuçlarının, literatürde mevcut çalışma sonuçları ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Karşılaştırma yapılan çalışmalarda yine kullanılan giysi takımı için tam bir giysi yalıtım değeri verilmemiş, deneklerin sadece şort giydiği ve oturma pozisyonunda olduğu ifade edilmiştir.



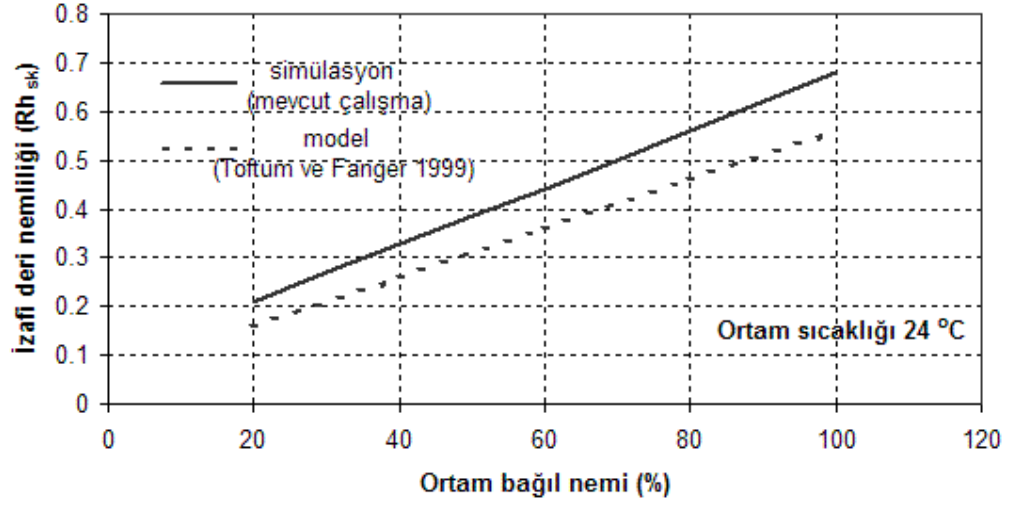
Şekil 4.14. Simülasyondan elde edilen vücuttan olan buharlaşma ısı kayıplarının, ortam sıcaklığının ani yükselmesine verdiği tepkinin literatürde mevcut benzer deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması



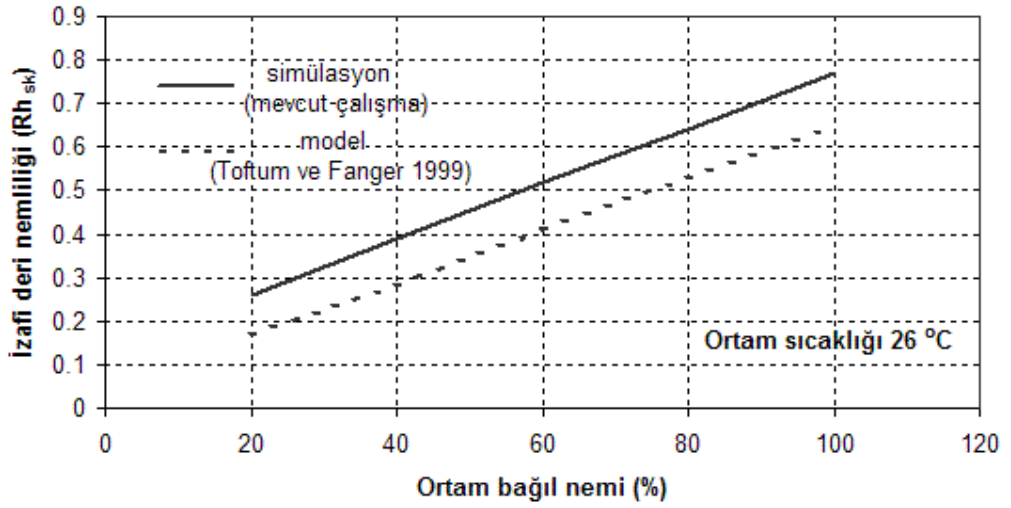
Şekil 4.15. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 22 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi

Buharlaştırma ile olan ısı kayıplarının hesabında vücut ıslaklığı oldukça önemlidir. Literatürde belirli bir ısı ortam koşulunda vücut ıslaklığının değişimine rastlanmamıştır. Fakat belirli ortam sıcaklığı ve neminde deri ıslaklığına bağlı olarak hesaplanabilen izafi deri neminin değişimi mevcuttur. Şekil 4.15., Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.' de sırasıyla 22 °C, 24 °C ve 26 °C ortam sıcaklıkları için, ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin değişimi incelenmektedir. Grafiklerde Toftum ve Fanger (1999) tarafından benzer koşullarda elde edilen izafi deri ıslaklığı değerleri de mevcuttur. Şekillerden görüleceği üzere, 2 çalışma arasında çeşitli farklılıklar mevcuttur. Fakat çalışmalarda kullanılan giysi buharlaştırma direnci ve metabolik aktivite seviyesi, vücut ıslaklığı ve dolayısıyla izafi deri ıslaklığı üzerine oldukça etkindir. Toftum ve Fanger (1999)' in çalışmasında verilen deri ıslaklıkları, 1.2 met (70W/m^2) metabolik aktivite düzeyi, 0.5 clo giysi ısı yalıtımı ve 0.45 giysi buhar geçirgenlik verimi (clothing vapor permeability) içindir. Halbuki mevcut çalışma sonuçları, 1 met (60W/m^2) metabolik aktivite seviyesi, 0.5 clo giysi ısı yalıtımı için verilmiştir. Mevcut çalışmada kullanılan erkek yazlık giyimi için buhar geçirgenlik verimi değeri de McCullough ve ark. (1989)' da 0.36 olarak verilmektedir. Her iki çalışma arasında metabolik aktivite seviyeleri ve kullanılan giysi takımının özellikleri açısından farklılıklar olsa da her üç sıcaklıkta da ortam şartlarına verilen tepkiler ve oluşan eğilimler benzerdir. Bu durumda mevcut simülasyonun vücut ıslaklığını ve dolayısıyla

vücuttan olan buharlaşma ısı kayıplarını da güvenilir şekilde tayin edebildiği kolaylıkla söylenebilir.

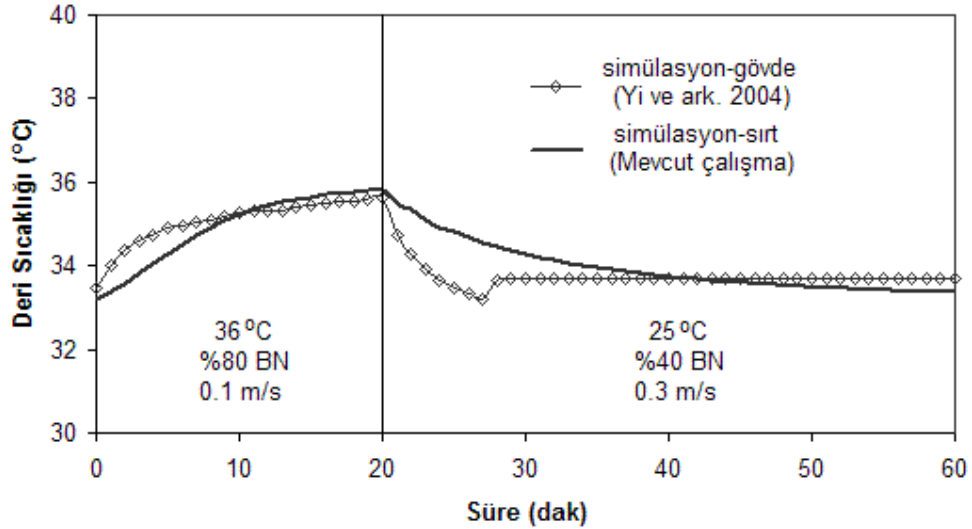


Şekil 4.16. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 24 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi



Şekil 4.17. Ortam bağıl nemine bağlı olarak izafi deri nemliliğinin 26 °C ortam koşulunda değişiminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi

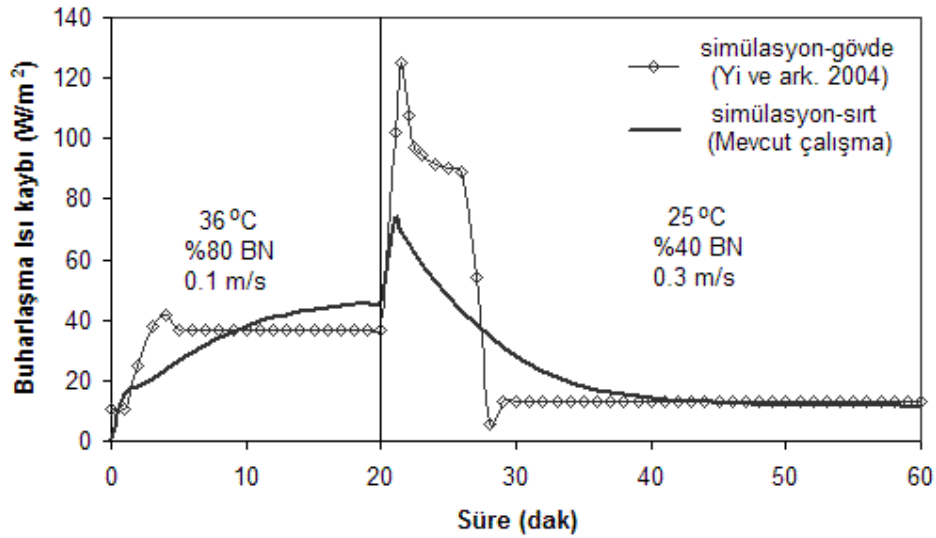
Bu noktaya kadar yaptığımız karşılaştırmalar, mevcut simülasyonun hem duyulur ısı kaybı hesaplarını hem de buharlaşma ile olan ısı kaybı hesaplarını oldukça güvenilir bir şekilde yaptığını göstermektedir. Fakat çalışmamız için en önemli bölge vücut sırt parçasıdır. Vücut sırt parçası için, mevcut simülasyon sonuçları Yi ve ark. (2004) tarafından verilen simülasyon sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. Sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi ve sonuçların benzer literatür verileri ile karşılaştırılması

Yi ve ark. (2004) ısı ortamının 36 °C sıcaklık %80 bağıl nem, 0.1 m/s hava hızı ile 25 °C sıcaklık, %40 bağıl nem, 0.3 m/s hava hızı arasında değişimi sürecinde vücut gövde bölgesi deri sıcaklığı ve vücut gövde bölgesinden olan buharlaşma ısı kayıplarının değişimini ele almıştır. Yi ve ark. (2004), çalışmada vücudu 6 parça üzerinden incelemiş ve sırt ile göğüs bölümünü gövde olarak isimlendirmiştir. Bahsedilen çalışmada verilen sonuçlar mevcut çalışmada elde edilen sırt deri sıcaklığı ile Şekil 4.18.' de ve sırt bölgesinden olan buharlaşma kayıpları ile Şekil 4.19.' da karşılaştırılmış, her iki çalışma sonucunun birbirine oldukça yakın olduğu gösterilmiştir. Bu karşılaştırmalarda uyum görülmeyen kısım, hem sırt deri sıcaklığı hem de sırttan olan buharlaşma ısı kaybı için 20 ile 30 dakika aralığıdır. Karşılaştırma yapılan Yi ve ark. (2004)' de giysi takımının ısı ve buharlaşma dirençleri verilmemektedir. Bahsedilen aralıktaki uyumsuzluğun muhtemel nedeni kullanılan giysi takımı ısı ve buharlaşma dirençleri arasındaki farklılıklardır. Mevcut grafiklerden görülebileceği

üzere, 20 ile 30 dakika arlığında, Yi ve ark. (2004) tarafından oluşturulan simülasyon sonuçları, sırt deri sıcaklığı için daha hızlı bir düşüş, sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybı için ise daha hızlı bir yükseliş göstermektedir. Bu durum, Yi ve ark. (2004) tarafından kullanılan giysi takımı buharlaşma direncinin daha düşük olduğu sonucunu doğurmaktadır. Çünkü 36 °C ortam sıcaklığı %80 bağıl nem seviyesinde bulunan 20 dakikalık bir periyot sonrasında vücut ıslaklığı oldukça yükselmekte, aniden 25 °C ortam sıcaklığı, %40 bağıl nem ortamına girilince de bu terin buharlaşması ile sırt bölgesi deri sıcaklığı, artan buharlaşma kaybı ile aniden düşmektedir. Grafiklerden görüleceği gibi, Yi ve ark. (2004) tarafından elde edilen sonuçlarda 20 ile 30 dakika arlığında sırt bölgesinden olan buharlaşma kaybındaki artış ve dolayısıyla deri sıcaklığındaki düşüş daha yüksek olmaktadır ki bununla muhtemel sebebi giysi buharlaşma direncinin mevcut çalışmada kullanılan giysi buharlaşma direncine göre düşük olmasıdır.



Şekil 4.19. Sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi ve sonuçların benzer literatür verileri ile karşılaştırılması

Daha öncede bahsedildiği üzere, mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modele en yakın model Yiğit (1999) tarafından geliştirilen modeldir. Fakat bu modelde sürekli rejim halinde sonuç vermekte, zamana bağlı değişimleri incelememektedir. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan model ise zamana bağlı değişimleri de ele alabilmektedir. 25 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nem ve 0.2 m/s hava hızı için sürekli rejim şartlarında simülasyondan alınan sonuçlar, Yiğit (1999) tarafından verilen

simülasyon sonuçları ile Çizelge 4.5.' de karşılaştırılmıştır. Çizelgeden görülebileceği gibi, elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Sadece ayak ve baş vücut parçaları için sonuçlar farklılıklar arz etmektedir. Fakat Yiğit (1999) tarafından oluşturulan modelde tüm vücut deri nötr sıcaklığı başlangıçta 33.7 °C' de sabit alınmaktadır. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelde ise vücut parçalarının nötr deri ve kor başlangıç sıcaklıkları parçalara bağlı olarak ayrı ayrı verilmektedir. Bu değerler Tanabe ve ark. (2002)' den alınmış ve daha önce Çizelge 3.2.' de sunulmuştu. Bahsedilen çizelgeden görülebileceği gibi baş vücut parçası için nötr başlangıç deri sıcaklığı 35.6 °C' dir ve diğer çalışmadan oldukça farklıdır. Ayak vücut parçasında oluşan farklılıklar ise kullanılan ayakkabı cinsinden kaynaklanmakta, ayakkabı için tam direnç tahminleri diğer tekstil malzemelerine göre oldukça zor olmaktadır. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelde ayak vücut parçası sadece pamuklu çorap giyimli olarak ele alınmıştır. Mevcut tüm karşılaştırmalardan görülebileceği gibi 16 parçalı modelde her bir vücut parçasının nötr başlangıç kor ve deri sıcaklığının ayrı ayrı ele alınması oldukça önemlidir. Hem bu açıdan hem de zamana bağlı incelemeye olanak tanınması açısından mevcut çalışma kapsamında oluşturulan model Yiğit (1999) tarafından oluşturulan modelden ayrılmaktadır.

Çizelge 4.5. Vücut parçalarına ait deri sıcaklığının sürekli rejim halinde benzer literatür verileri ile karşılaştırılması (25 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nem, 0.2 m/s hava hızı)

<i>i</i>	<i>Vücut Kısmı</i>	<i>Simülasyon (mevcut çalışma)</i>	<i>Simülasyon (Yiğit 1999)</i>
1	Sol ayak	33.47	31.30
2	Sağ ayak	33.47	31.30
3	Sol diz altı	33.00	33.08
4	Sağ diz altı	33.00	33.08
5	Sol bacak	33.11	33.07
6	Sağ bacak	33.11	33.07
7	Pelvis	34.10	34.20
8	Baş	32.05	30.65
9	Sol el	30.70	30.67
10	Sağ el	30.70	30.67
11	Sol dirsek altı	31.30	31.63
12	Sağ dirsek altı	31.30	31.63
13	Sol kol	33.09	32.96
14	Sağ kol	33.09	32.96
15	Göğüs	33.43	32.96
16	Sırt	33.40	32.80

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.

4.1.3. Deneysel Sonuçlar

Bu kısımda deneylerden elde edilen ve ortam şartlarına bağlı olarak boyun hareket açıklıklarında meydana gelen kısıtlılıklar istatistiksel olarak değerlendirilecek, insanın ısı ortama 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.

İncelemelerde vücut sırt bölgesi deri sıcaklığı da simülasyon sonuçları üzerinden tartışılacaktır. Daha öncede belirtildiği gibi, deneyler sırasında alınan sırt bölgesi deri sıcaklığı ölçümlerinin bir çoğu termocupl ile yapıldığı için sonuçlar beklenen düzeyde sağlıklı olmamıştır. Sadece 22 °C sıcaklık için, temas ile ölçüm yapan termometre kullanılmış, bu deneylerden elde edilen sonuçlarda simülasyonun güvenilirliği konusunda yapılan karşılaştırmalarda kullanılmıştır.

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.

İstatistiksel sonuçlar COSTAT programından elde edilmiştir. ANOVA tablosu ile herhangi bir faktörün veya faktör kesişimlerinin etkilerinin olup olmadığı incelenmiştir. SNK testi ile ise etken olan faktörün her bir seviyesinin etkisi ele alınmış, faktör seviyeleri arasındaki fark değerlendirilmiştir. Ölçümler deneyden önce, deneyden 2 saat sonra ve deneyden 1 gün sonra yapıldığı için, deneyden önce yapılan ölçüm sonucu alınan açı ile deneyden 2 saat sonra alınan açı ölçümü arasındaki fark 1. zaman adımı, deneyden önce yapılan ölçüm sonucu alınan açı ile 1 gün sonra yapılan ölçüm sonucu elde edilen fark 2. zaman adımı olarak adlandırılacaktır.

Simülasyon sonuçları alınırken kuru halde metabolik aktivite düzeyi 60 W/m^2 olarak alınmıştır. Islak halde analiz yapılırken ise, ilk aşamada deneylerde yapılan egzersiz göz önünde bulundurulmuş, 900 saniye için işlemler $30 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık, %70 bağıl nem ortamı için yapılmıştır. Egzersiz sırasındaki metabolik aktivite seviyesi için ise, Anonim (1993) ve (2004) tarafından düz yüzeyde 1.8 m/s hızla yürüme hali için verilen 220 W/m^2 değeri alınmıştır. Böylece ıslak halde başlangıç şartları oluşturulmuş, daha sonra incelenen ortam şartları için işlem adımları simülasyonda başlatılmıştır. Deneyler sırasında denekler sürekli olarak oturma konumundadır. Simülasyonda, kişiden sandalyeye olan ısı transferi göz önünde bulundurulmamıştır. Ayrıca daha önce de belirtildiği üzere, deneyler sırasında sadece denek ense hizasından ortam hava hızı ölçümü alınmıştır. Simülasyon sonuçları alınırken bütün vücut parçaları üzerindeki hava hızı, tam ense hizasından alınan hız ile eşit olarak alınmıştır. Ölçümlerde eş zamanlı olarak tek bir prob ile tek bir ölçüm alınabildiği için bu kabul yapılmaktadır. Bunların yanı sıra, şartlandırma odası laboratuvar ortamında bulunduğu ve dış ortam iklim şartlarından çok fazla etkilenmediği için şartlandırma odası iç yüzey sıcaklıklarının hemen hemen şartlandırma odası iç ortam sıcaklığına eşit olduğu daha önce de belirtilmişti. Bu doğrultuda simülasyon sonuçları alınırken de iç ortam yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığına eşit olarak alınmıştır.

4.1.3.1. Sıcaklık için Yapılan Analizler

Sıcaklık ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarımda etkinin 1. zaman adımı için olduğu görülmüştür. Deneyden önce ve deneyden 1 gün sonra yapılan ve 2. zaman adımı olarak adlandırılan ölçümler sonucu boyun açısında meydana gelen kayıplar istatistiksel olarak incelendiğinde herhangi bir etki bulunamamıştır. Yani sıcaklığın boyun hareket açısı üzerine etkisi kalıcı olmamıştır. Bu nedenle 2. zaman adımı için yapılan analizlere yer verilmemiştir. Sıcaklık ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarımda 3 adet hipotez mevcuttur. Bu hipotezler, “Sıcaklığın boyun açısı üzerine etkisi yoktur”, “Halin boyun açısı üzerine etkisi yoktur” ve “Sıcaklık, hal kesişiminin boyun açısı üzerine etkisi yoktur” şeklinde sıralanabilir. Sağa dış rotasyon ve sola dış rotasyon için deneyden önce ve deneyden 2 saat sonra yapılan ve 1. zaman adımı olarak

isimlendirilen ölçümler sonucu boyun açısında meydana gelen kayıplar sırasıyla Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.' da sunulmuştur.

Hem sağa hem de sola dış rotasyonda, sadece sıcaklığın etkili olduğu, COSTAT ile yapılan analiz sonucu elde edilen ve Çizelge 4.8. ile Çizelge 4.9.' de verilen ANOVA tablolarından görülmektedir. 2. ve 3. hipotez kabul edilirken, 1. hipotez ret edilmektedir, yani her iki rotasyon için de sıcaklık boyun açıları üzerine etkindir.

Çizelge 4.6. Sıcaklık analizinde 1. zaman adımı için sağa dış rotasyon açısı farkı

	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C
Kuru	10	0	5	0
	10	5	0	0
	5	5	5	0
	0		0	
Islak	10	0	0	0
	5	5	0	0
	10	5	0	
	0			

Çizelge 4.7. Sıcaklık analizinde 1. zaman adımı için sola dış rotasyon açısı farkı

	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C
Kuru	10	0	5	0
	5	5	0	0
	20	5	0	0
	5		10	
Islak	10	10	0	0
	0	10	0	0
	10	10	0	
	0			

Çizelge 4.8. Sıcaklık analizinde sağa dış rotasyon için ANOVA tablosu

Kaynak	SS	df	MS	F	P	H₀:
Etki						
<i>Sıcaklık</i>	147.298	3	49.099	4.51	.0158	RET
<i>Hal</i>	0.572	1	0.572	0.053	.8212	KABUL
Etkileşim						
<i>Sıc. X Hal</i>	10.142	3	3.381	0.311	.8174	KABUL
Hata	195.833	18	10.879			
Toplam	353.846	25				

Çizelge 4.9. Sıcaklık analizinde sola dış rotasyon için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Sıcaklık</i>	240.156	3	80.051	4.296	.0188	RET
<i>Hal</i>	1.465	1	1.465	0.078	.7824	KABUL
<i>Etkileşim</i>						
<i>Sıc. X Hal</i>	139.309	3	46.436	2.492	.0930	KABUL
<i>Hata</i>	335.417	18	18.634			
<i>Toplam</i>	716.346	25				

COSTAT ile %5 anlamlılık seviyesinde yapılan SNK testi sonuçları sağa dış rotasyon için Çizelge 4.10.' da, sola dış rotasyon için Çizelge 4.11.' da verilmektedir. ANOVA tablosundan sadece hangi faktörün etken olduğu görülmektedir. SNK testi ile ise etken faktörün her bir seviyesi değerlendirilebilmektedir. Çizelgelerden görülebileceği üzere, SNK test sonuçları "a ve b" gibi harfler ile verilmektedir. Aynı harfle sonuçlanan faktör seviyelerinin etkisi aynıdır. Yani SNK testi bize faktör seviyeleri arasındaki farkı sunmaktadır. Çizelge 4.10.' dan görülebileceği üzere, sağa dış rotasyon için 24 °C ve 26 °C için güven aralıklarının aynı olduğu, 22 °C' nin güven aralığının hem 24 °C ile hem de 20 °C ile çakıştığı tespit edilmiştir. Zaten her bir faktör seviyesi (20 °C, 22 °C, 24 °C ve 26 °C) için ortalama boyun açısı düşüşüne bakılırsa, 22 °C ve 20 °C seviyelerinde diğer sıcaklık seviyelerine göre daha büyük açı düşüşü yaşandığı görülmektedir. Çizelge 4.11.' dan görülebileceği üzere, sola dış rotasyon için ise, 20 °C ile 26 °C birbirinden farklı bulunmuş, 22 °C ve 24 °C sıcaklıkların güven aralıklarının ise diğer iki sıcaklığın güven aralığı ile çakıştıkları tespit edilmiştir. Yine sola dış rotasyonda da 20 °C ve 22 °C faktör seviyelerinde boyun açısındaki ortalama düşüş diğer faktör seviyelerinde olan düşüşlere göre oldukça yüksektir. Vücudun ıslak veya kuru olmasının yani halin ise herhangi bir ayırt edici etkisi ortaya çıkmamıştır. Bu durumda özellikle 20 °C ortam sıcaklığı, hem kuru hem de ıslak hal için riskli olarak görülmektedir. 22 °C ortam sıcaklığında da boyun açısındaki kısıtlılıklar küçümsenemeyecek değerlerdedir.

Çizelge 4.10. Sıcaklık analizinde sağa dış rotasyon için SNK testi sonucu

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Sıcaklık</i>			
<i>20 °C</i>	6.25	8	a
<i>22 °C</i>	3.33	6	ab
<i>24 °C</i>	1.43	7	b
<i>26 °C</i>	0.00	5	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	3.21	14	a
<i>Islak</i>	2.92	12	a

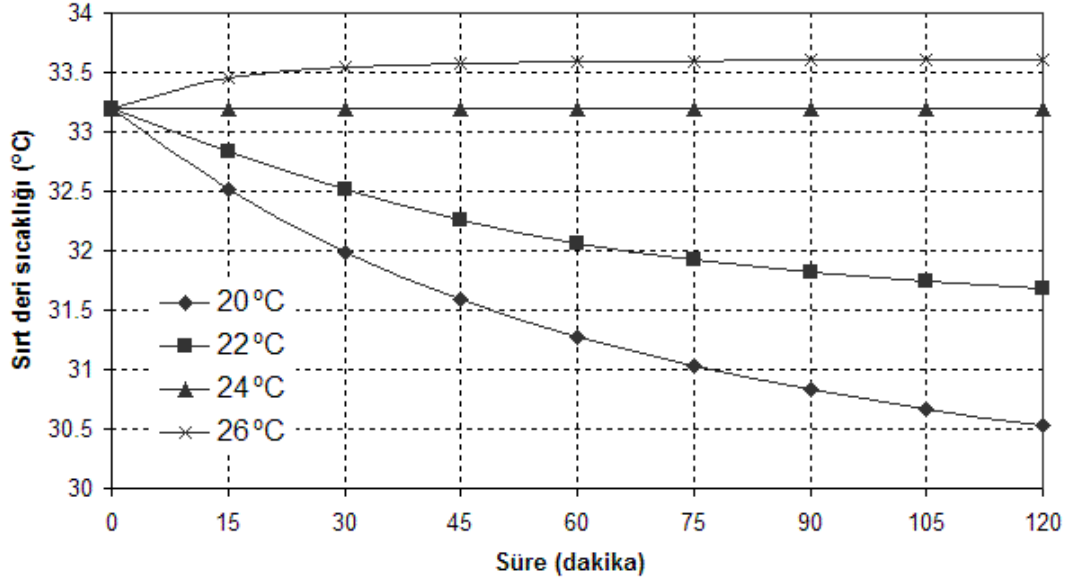
Çizelge 4.11. Sıcaklık analizinde sola dış rotasyon için SNK testi sonucu

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Sıcaklık</i>			
<i>20 °C</i>	7.50	8	a
<i>22 °C</i>	6.67	6	ab
<i>24 °C</i>	2.14	7	ab
<i>26 °C</i>	0.00	5	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	4.64	14	a
<i>Islak</i>	4.16	12	a

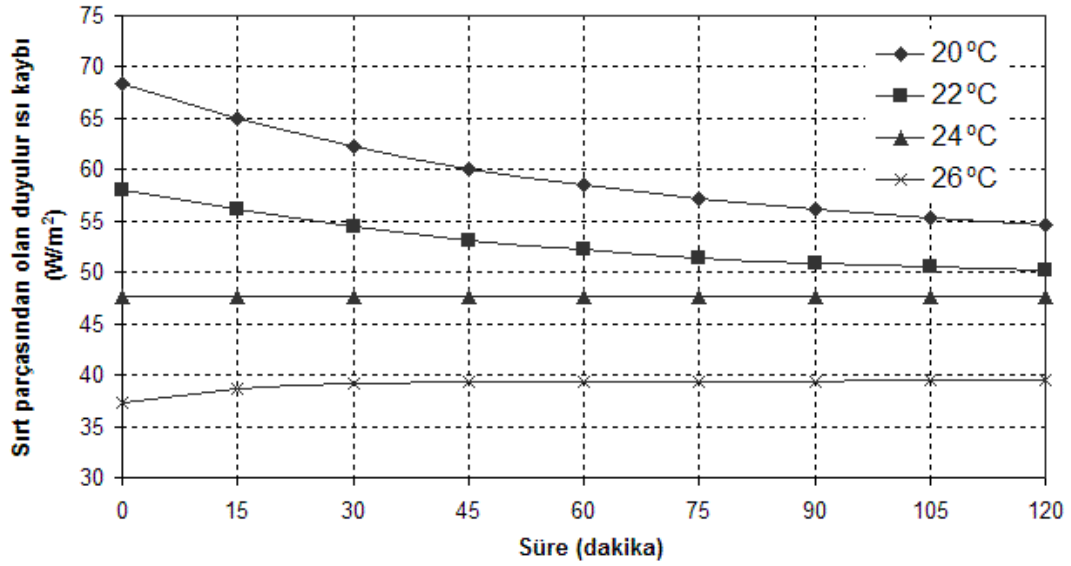
Boyun açıklarına olan bu düşüşleri vücudun ısıl ortama verdiği tepkileri inceleyerek analiz edebiliriz. İnsanın ısıl ortama verdiği tepkiler simülasyonda incelenirken, deney ortamı için alınan sabit değerler olan %50 bağıl nem ve 0.2 m/s hava hızı aynen uygulanmıştır. Şekil 4.20.' de kuru halde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, boyun açıkları üzerinde çok etkin olmayan 24 °C ortam sıcaklığında sırt bölgesi deri sıcaklığı nötr sırt deri sıcaklığı 33.2 °C de sabit kalırken, 26 °C ortam sıcaklığında yaklaşık 0.3 °C kadar yükselmektedir. Boyun hareket açıklıklarına etken olan 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında ise sırasıyla yaklaşık 2.7 °C ve 1.5 °C' lik düşüşler meydana gelmektedir.

Şekil 4.21.' de kuru halde sırt bölgesinden olan duyulur ısı kayıplarının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, özellikle boyun hareket açıklıklarına etken olan 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında,

özellikle başlangıç anında sırt bölgesi deri sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak, duyulur ısı kayıpları oldukça yüksektir. Bu ortam sıcaklıklarında da zamanla sırt bölgesi deri sıcaklığındaki düşüğe bağlı olarak duyulur ısı kayıpları normal olarak azalmaktadır.

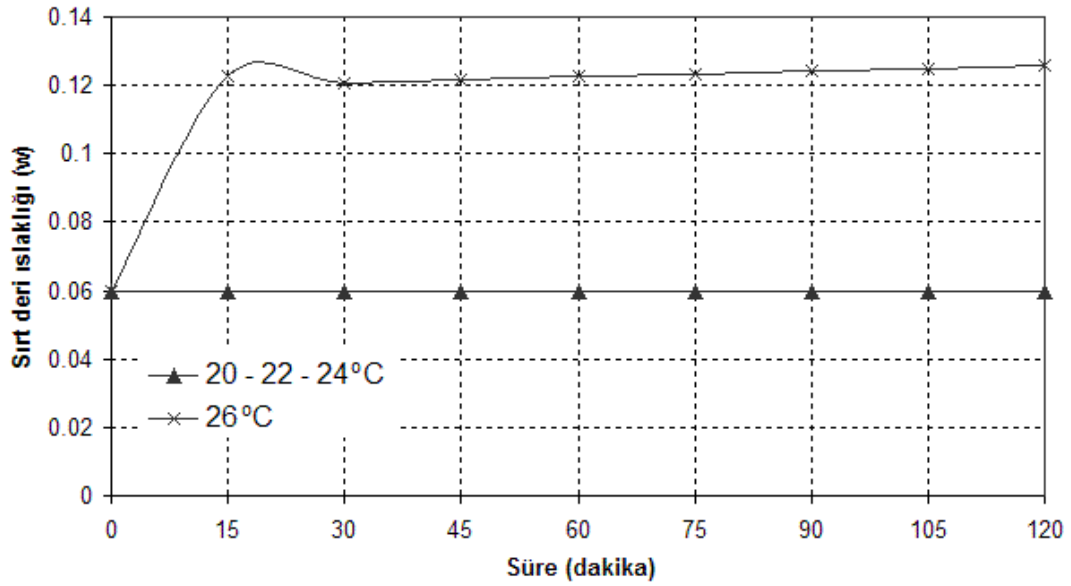


Şekil 4.20. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi



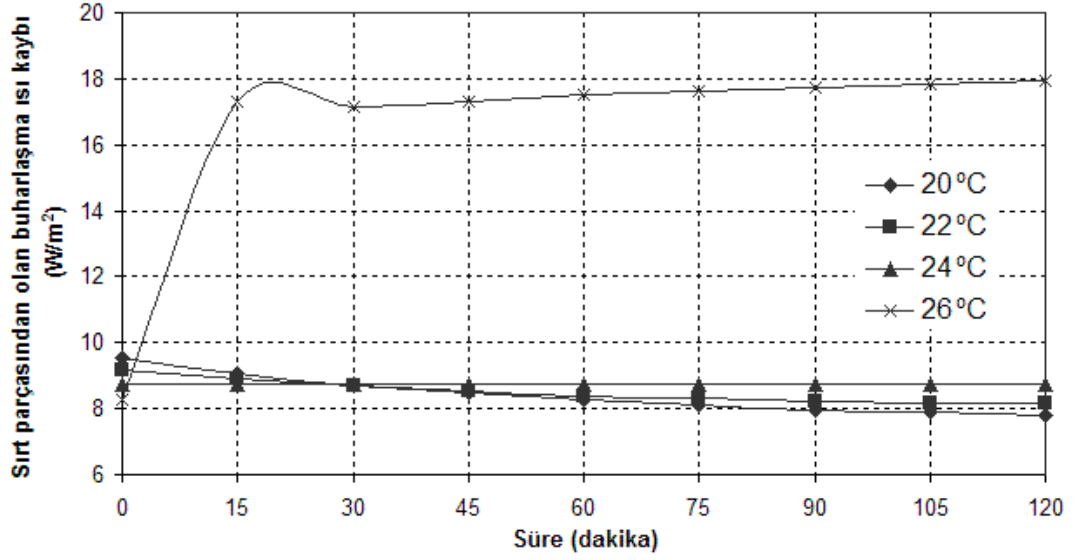
Şekil 4.21. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

Şekil 4.22.' de kuru hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi sunulmaktadır. 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam sıcaklıklarında aktif ter salgısı meydana gelmezken, 26 °C ortam sıcaklığında hafif bir terleme ile deri ıslaklığı yaklaşık 0.12 değerine yükselmektedir. 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam sıcaklıklarında ise deri ıslaklığı difüzyona bağlı olarak meydana gelen 0.06 değerinde sabit kalmaktadır.



Şekil 4.22. Kuru hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

Deri ve ortam sıcaklığına bağlı olarak deri üzerindeki su buharı ve ortam havası su buharı basınç farkı ile deri ıslaklığına bağlı olan sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının kuru hal için ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.23.' de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam sıcaklığında aktif terleme meydana gelmediği için buharlaşma kaybı zamana bağlı olarak 8 W/m² ile 10 W/m² arasında değişmektedir. 26 °C ortam sıcaklığında aktif terleme meydana geldiği için, bu sıcaklıkta buharlaşma kaybı kısmen daha yüksektir ve zamanla yaklaşık 18 W/m² değerine kadar yükselmektedir.

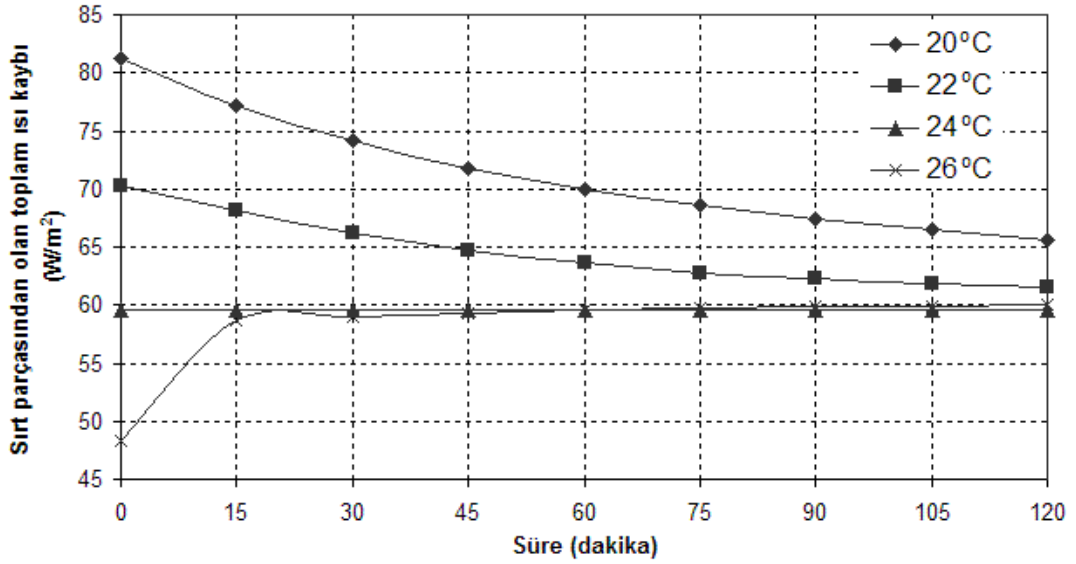


Şekil 4.23. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

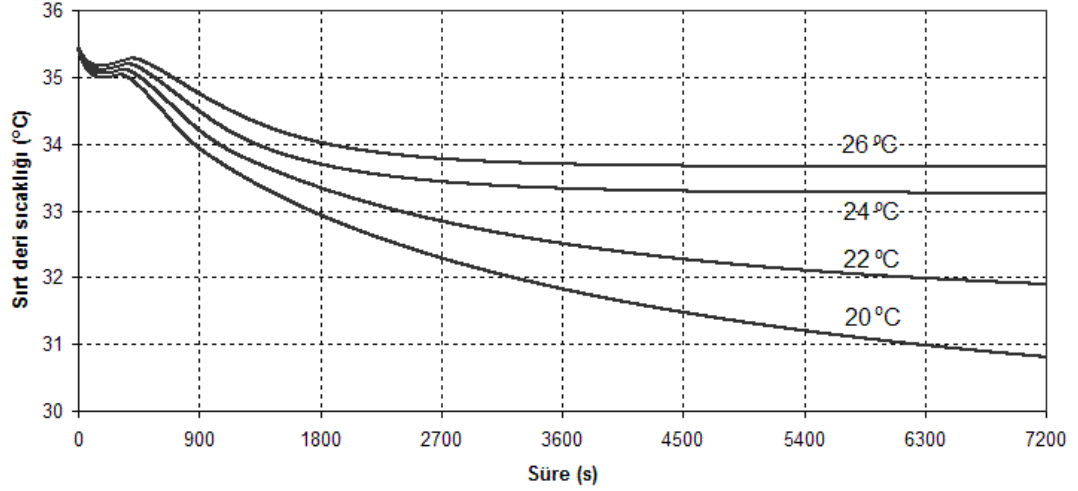
Şekil 4.24.' de kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi sunulmaktadır. Toplam ısı kaybı değerleri deriden olan duyulur ve buharlaşma ısı kayıplarının yanında çok küçük bir değer olan solunum kayıplarını da içermektedir. Şekilden görülebileceği üzere, 24 °C ortam sıcaklığında, üretilen metabolik enerji olan 60 W/m² değerinin tamamı sürekli olarak vücuttan bulunulan ortama transfer edilebilmektedir ve böylece sırt parçası deri sıcaklığı nötr değer olan 33.2 °C de sürekli korunmaktadır. 26 °C ortam sıcaklığında, deri ile ortam arasındaki sıcaklık farkının diğer ortam sıcaklıklarına göre kısmen düşük olması nedeni ile başlangıçta vücuttan atılması gereken 60 W/m² lik metabolik enerjinin yaklaşık 50 W/m² kadarı atılabilmekte, zamanla aktif terleme ile gerekli tüm miktar ortama transfer edilebilmektedir. Fakat boyun hareket açıklıklarına tesir eden 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında atılması gerekli 60 W/m², nin çok çok üzerinde ısı vücuttan atılmakta, bu da sırt bölgesi deri sıcaklığının düşmesine sebebiyet vermektedir.

İnsanın ortama verdiği ısıl tepkiler ıslak hal için de simülasyon sonuçları ile incelenmiştir. Şekil 4.25.' de ıslak halde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, boyun hareket açıklıklarında kısıtlılıklara sebep olan 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında sırt parçası deri sıcaklığında sırasıyla yaklaşık 4.4 °C ve 3.4 °C' lik yüksek düşüşler meydana

gelmektedir. Bütün ortam sıcaklığı değerlerinde, başlangıçta deri sıcaklığının sabit olduğu, birkaç dakika sonra düşüşe geçtiği grafikten görülebilmektedir. Bisiklet egzersizi sırasında insan sıcak bir ortamda (30 °C, %70) bulunduğu için, kor tabakasından deriye olan kan akış debisi oldukça yüksektir. Bu kan akış debisinin yüksek olması, kor bölgesinden deri bölgesine olan ısı transferi miktarının da yüksek olması anlamına gelmektedir. Kordan deriye olan bu yüksek ısı transferi başlangıçta deri sıcaklığını sabit tutmaktadır. Aniden kısmen daha soğuk ortama girilince vazokonstriksiyon ile damarlar kısılmakta ve vücut kor sıcaklığını korumak adına kan akış debisini ve dolayısıyla kor tabakasından deri tabakasına olan ısı transferi azaltmaktadır. Bu şekilde, belli bir zaman sonra, fizyolojik denetim mekanizması ile kor sıcaklığı korunmakta, deri sıcaklığı ise düşmeye başlamaktadır.



Şekil 4.24. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

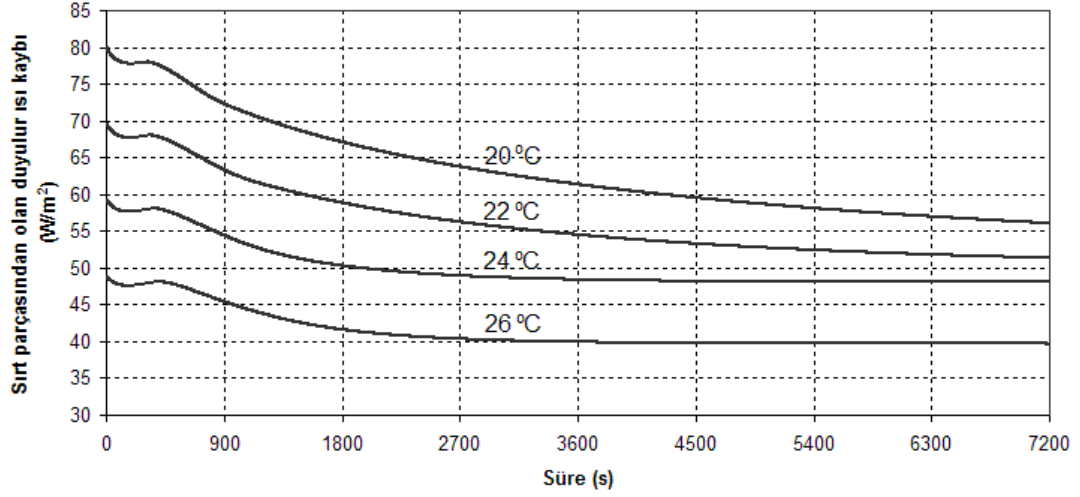


Şekil 4.25. Islak hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

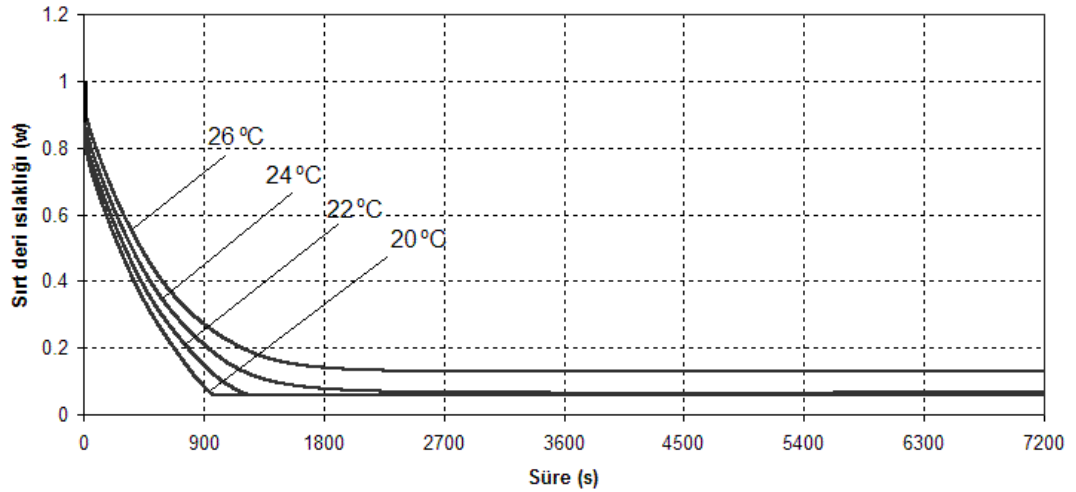
Islak halde sırt bölgesinden olan duyulur ısı kayıplarının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.26.' da verilmektedir. Özellikle 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında diğer ortam sıcaklıklarına göre kısmen daha yüksek duyulur ısı kayıplarının olduğu şekilden açıkça görülmektedir.

Islak halde, bisiklet egzersizinden sonra deneye başlandığı için vücut tamamen ıslaktır. Şekil 4.27.' den görülebileceği üzere, ıslaklık için maksimum değer olan 1 değeri tüm ortam koşulları için başlangıç değeridir. 20 °C, 22 °C ve 24 °C ortam koşullarında zamanla sırt parçası deri ıslaklığı minimum deri ıslaklığı olan 0.06 değerine yaklaşırken, 26 °C ortam şartlarında yaklaşık 0.12 değerine kadar düşebilmektedir.

Deri ıslaklığına sıkı sıkıya bağlı olan deriden buharlaşma ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi de Şekil 4.28.' den görülebilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere, vücudun ıslak olduğu yaklaşık ilk 20 dakikalık zaman içerisinde vücuttan olan buharlaşma ısı kaybı bütün ortam sıcaklıklarında oldukça yüksektir.



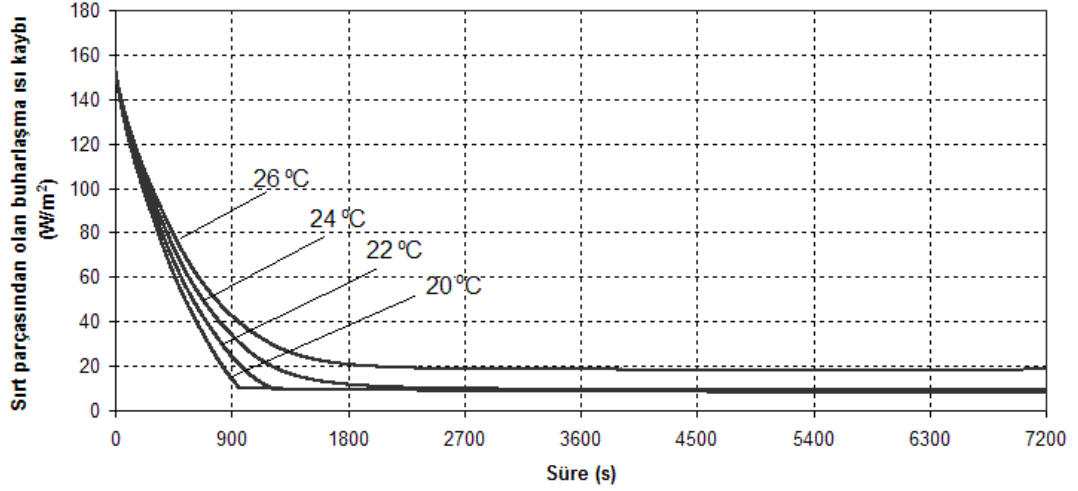
Şekil 4.26. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi



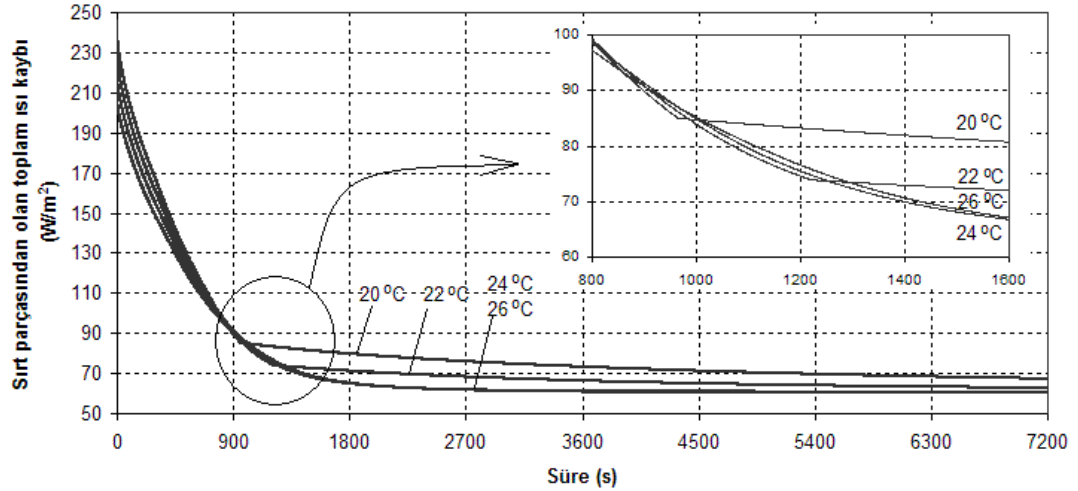
Şekil 4.27. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

Islak halde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.29.' da verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, özellikle vücudun ıslak olduğu süreçte vücuttan oldukça yüksek oranda ısı çekilmektedir. Özellikle boyun hareket kısıtlılıklarına sebebiyet veren 20 °C ve 22 °C' de sırasıyla ilk 15 dakika ve ilk 20 dakika içerisinde yüksek ve ani ısı kayıpları mevcuttur. Bu sıcaklıklarda 24 °C ve 26 °C ortam sıcaklıklarına göre ilerleyen zaman adımlarında da daha fazla ısı kaybı söz konusu olmaktadır. 24 °C ve 26 °C ortam sıcaklıklarında ise

vücuttan olan ısı kayıpları zamanla daha düzgün dağılımlı olarak seyretmektedir. Bütün bunların yanı sıra 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıklarında bütün zaman adımlarında atılması gerekli olan 60 W/m² lik ısınmın üstünde bir ısı transferi söz konusudur. Bu da doğal olarak vücut deri sıcaklığının oldukça düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.28. Islak hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.29. Islak hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla değişimi

4.1.3.2. Hız için Yapılan Analizler

Hız ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarımda etkinin 2. zaman adımı için olduğu görülmüştür. Bir önceki kısımda sıcaklık için yapılan analizde bahsedilen hipotezlerde sıcaklığın yerini hız almaktadır. Hız ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarımda da 3 adet hipotez mevcuttur. Bu hipotezlerden birincisi “Hızın boyun açısı üzerine etkisi yoktur”, ikincisi “Halin boyun açısı üzerine etkisi yoktur” ve üçüncüsü ise “Hız, hal kesişiminin boyun açısı üzerine etkisi yoktur” şeklindedir. Sağa dış rotasyon ve sola dış rotasyon için deneyden önce ve deneyden 1 gün sonra yapılan ve 2. zaman adımı olarak isimlendirilen ölçümler sonucu boyun açısında meydana gelen kayıplar sırasıyla Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13.’ de sunulmuştur. Deneyden önce ve deneyden 2 saat sonra yapılan ve 1. zaman adımı olarak adlandırılan ölçümler neticesinde boyun açısında meydana gelen kayıplar istatistiksel olarak incelendiğinde herhangi bir etkinin oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle 1. zaman adımı için yapılan analizlere burada yer verilmemiştir. Buradan hızın boyun hareket açısı üzerine, iklimlendirilen ortamdan çıktıktan hemen sonra değil, 1 gün sonra etken olduğu sonucuna da varılabilmektedir.

Çizelge 4.12. Hız analizinde 2. zaman adımı için sağa dış rotasyon açısı farkı

	0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s
Kuru	5	0	0
	0	0	0
	0	0	0
	0	5	0
Islak	0	10	15
	0	5	5
	0	0	5

Çizelge 4.13. Hız analizinde 2. zaman adımı için sola dış rotasyon açısı farkı

	0.2 m/s	0.4 m/s	0.6 m/s
Kuru	5	0	0
	0	7	0
	5	0	0
	0	5	0
Islak	5	15	15
	0	5	5
	0	5	10

Bu tasarımda ANOVA tablosundan elde edilen değerler sağa ve sola dış rotasyon için sırasıyla Çizelge 4.14. ve Çizelge 4.15.' de verilmiştir. ANOVA tablolarından görüleceği üzere, 1. hipotez kabul, diğer iki hipotez ret olmuştur. Deneğin hali, yani kuru veya ıslak olması ile hız ve halin etkileşiminin sağa ve sola dış rotasyon üzerine etken olduğu ANOVA tablolarından görülmektedir. Yani hem sağa hem de sola dış rotasyonda hız direkt etken değil, eğer vücut ıslak durumda ise hız etken olmakta ve artan hava hızıyla boyun açısındaki düşüş artmaktadır.

Çizelge 4.14. Hız analizinde sağa dış rotasyon için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	30.95	2	15.48	1.51	.2535	KABUL
<i>Hal</i>	67.06	1	67.06	6.53	.0220	RET
<i>Etkileşim</i>						
<i>Hız x Hal</i>	78.77	2	39.38	3.83	.0453	RET
<i>Hata</i>	154.17	15	10.28			
<i>Toplam</i>	330.95	20				

Çizelge 4.15. Hız analizinde sola dış rotasyon için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	36.095	2	18.048	1.38	.2820	KABUL
<i>Hal</i>	120.14	1	120.14	9.18	.0048	RET
<i>Etkileşim</i>						
<i>Hız x Hal</i>	101.23	2	50.62	3.87	.0442	RET
<i>Hata</i>	196.33	15	13.09			
<i>Toplam</i>	453.81	20				

Sağa dış rotasyon için Çizelge 4.16.' da, sola dış rotasyon için Çizelge 4.17.' da COSTAT ile %5 anlamlılık seviyesinde yapılan SNK testi sonuçları verilmektedir. Daha önce de bahsedildiği üzere, aynı harfle açıklanan faktör seviyelerinin etkisi aynıdır. Her iki tablodan da görüleceği gibi, vücut ıslak iken boyun açısındaki ortalama kayıp daha yüksektir. SNK testi sonuçları, ortam hava hızının boyun açığı üzerine etkin olmadığını da göstermektedir. Fakat ANOVA tabloları, hız ve hal kesişiminin etkisinin olduğunu göstermektedir. Zaten açığı veren Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13. incelendiğinde, ıslak halde, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında 0.2 m/s hava hızına

göre boyun açısındaki düşüşlerin daha yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu durumda sonuç olarak, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarının vücut ıslak haldeyken risk ortaya çıkardığı net bir şekilde söylenebilir.

Çizelge 4.16. Hız analizinde sağa dış rotasyon için SNK testi sonucu

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Sıcaklık</i>			
<i>0.2 m/s</i>	0.71	7	a
<i>0.4 m/s</i>	2.86	7	a
<i>0.6 m/s</i>	3.57	7	a
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	0.83	12	a
<i>Islak</i>	4.44	9	b

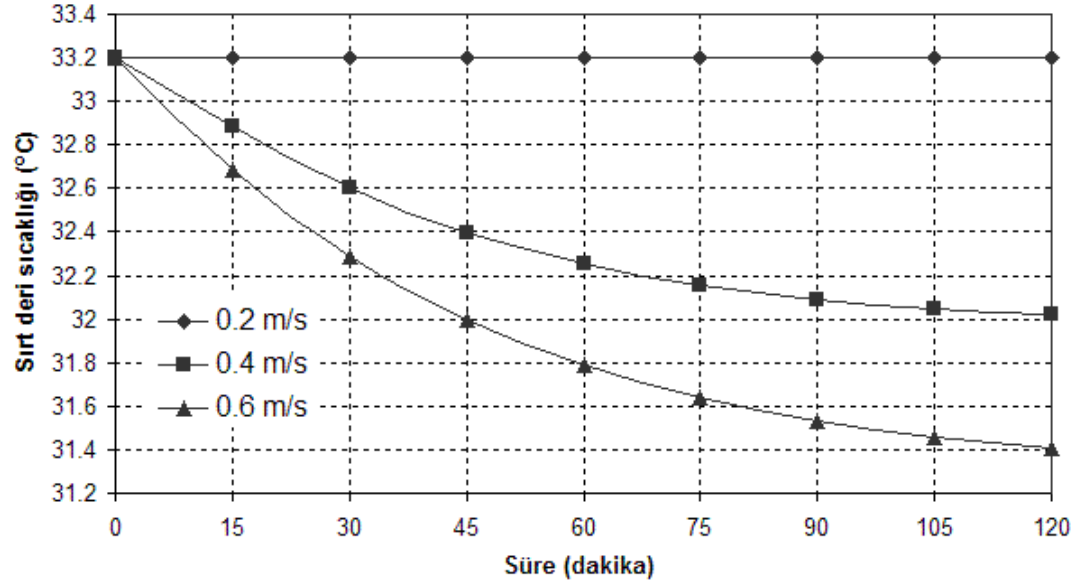
Çizelge 4.17. Hız analizinde sola dış rotasyon için SNK testi sonucu

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Sıcaklık</i>			
<i>0.2 m/s</i>	2.14	7	a
<i>0.4 m/s</i>	5.29	7	a
<i>0.6 m/s</i>	4.29	7	a
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	1.83	12	a
<i>Islak</i>	6.67	9	b

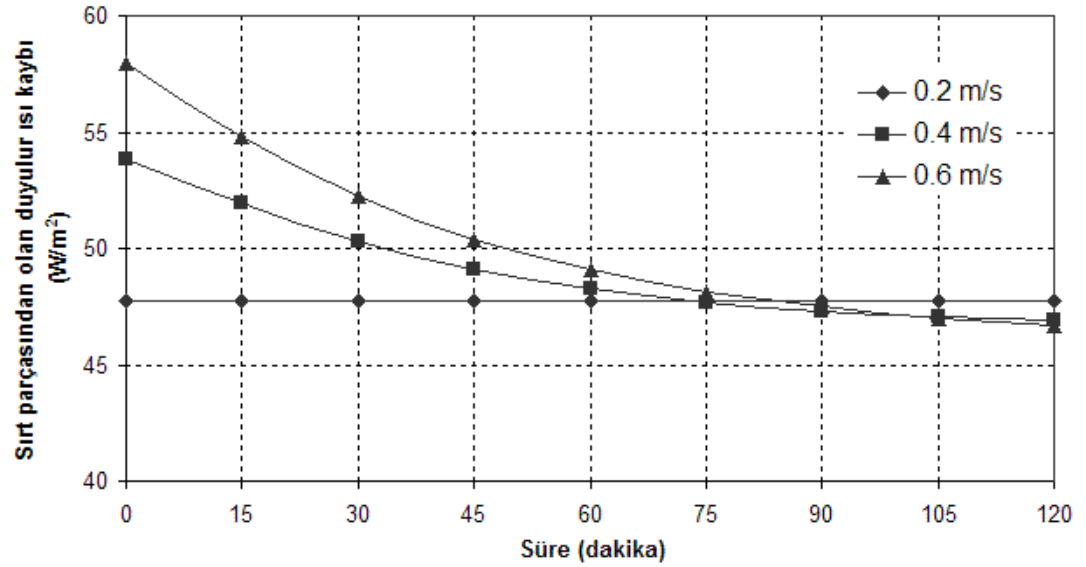
Boyun açılarına olan bu düşüşleri vücudun ısı ortama verdiği tepkileri inceleyerek analiz edebiliriz. İnsanın ısı ortama verdiği tepkiler simülasyonda incelenirken, deney ortamı için alınan sabit değerler olan %50 bağıl nem ve 24 °C ortam sıcaklığı aynen uygulanmıştır. Ortam hava hızına bağlı olarak kuru halde sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 4.30.' 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.

Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.31.' de sunulmaktadır. Şekilden görüleceği üzere, özellikle başlangıçta, yüksek hava hızlarında deriden olan duyulur ısı kaybı oldukça yüksektir. Yüksek hava hızlarında dış ortam taşınım direnci düşmekte ve doğal olarak deriden olan duyulur kayıplar artmaktadır. 0.2 m/s hava hızında sırt bölgesi deri

sıcaklığı değişmediği için duyulur ısı kaybı yaklaşık 48 W/m^2 değerinde sabit kalmaktadır. Yüksek hava hızlarında da sırt bölgesi deri sıcaklığı zamanla azaldığı için duyulur ısı kayıpları doğal olarak azalmaktadır.

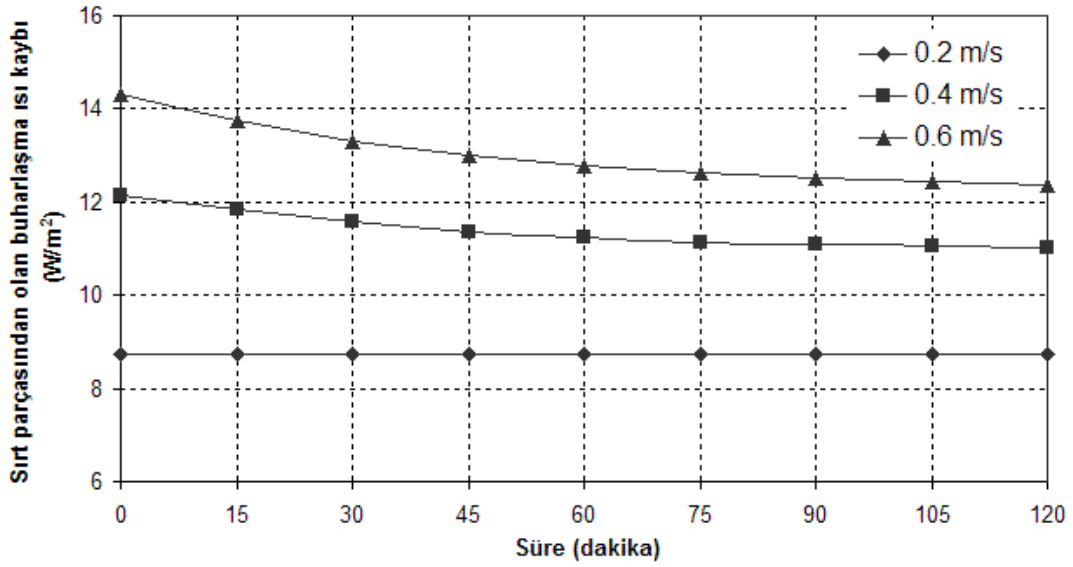


Şekil 4.30. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.31. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

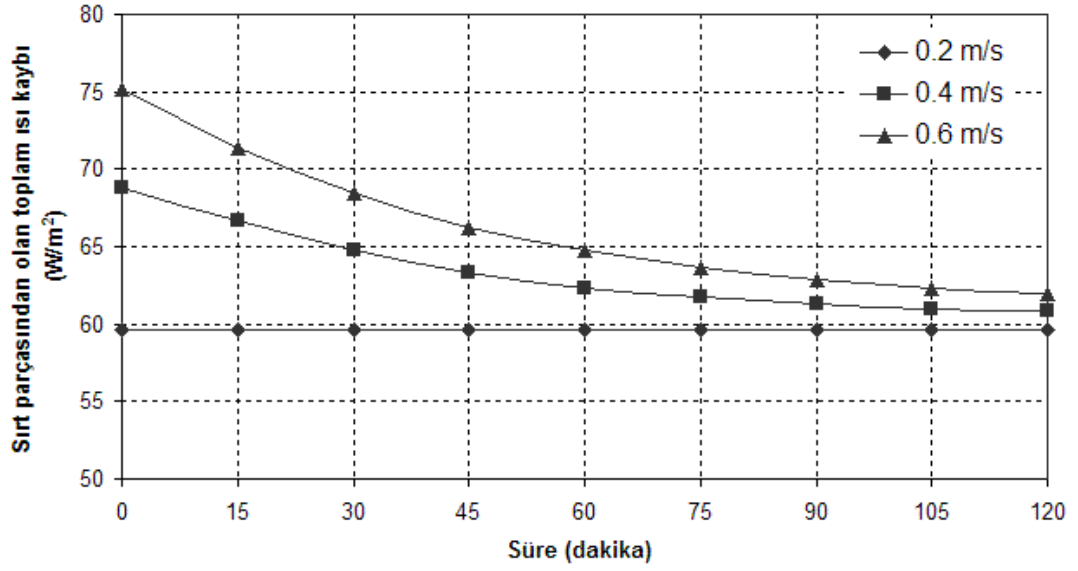
Benzer sonuçlar buharlaşma ısı kaybı için de Şekil 4.32.' den görülebilmektedir. Artan hava hızı ile buharlaşma direnci düştüğü için, yüksek hava hızı değerlerinde buharlaşma ısı kaybı kısmen daha yüksektir. Hız değişimi için kuru halde vücut ıslaklığının değişimi grafik halde sunulmamıştır. Aktif terleme ortam hava hızından etkilenmediği için incelenen 3 hava hızı değeri için de vücut ıslaklığı difüzyona bağlı deri ıslaklığı değeri olan 0.06' da sabit kalmaktadır.



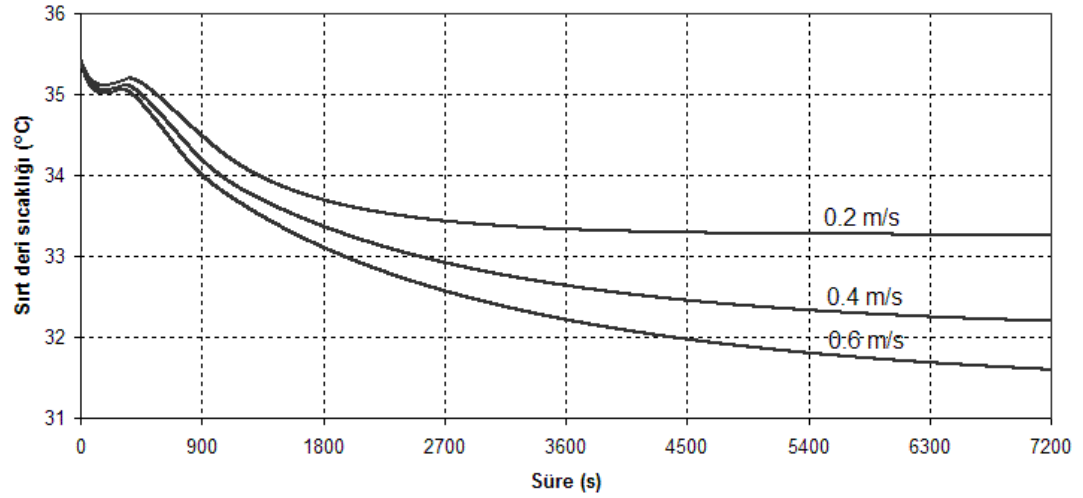
Şekil 4.32. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.33.' de verilmiştir. 0.2 m/s hava hızında metabolik ısı üretimine bağlı olarak atılması gereken 60 W/m^2 lik ısı, bulunan 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.

Vücudun ısı ortama verdiği tepkiler benzer şekilde ıslak hal için de incelenebilmektedir. Şekil 4.34.' de 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 $2.2 \text{ }^\circ\text{C}$, $3.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $3.8 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık düşüşü yaşanmaktadır.



Şekil 4.33. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

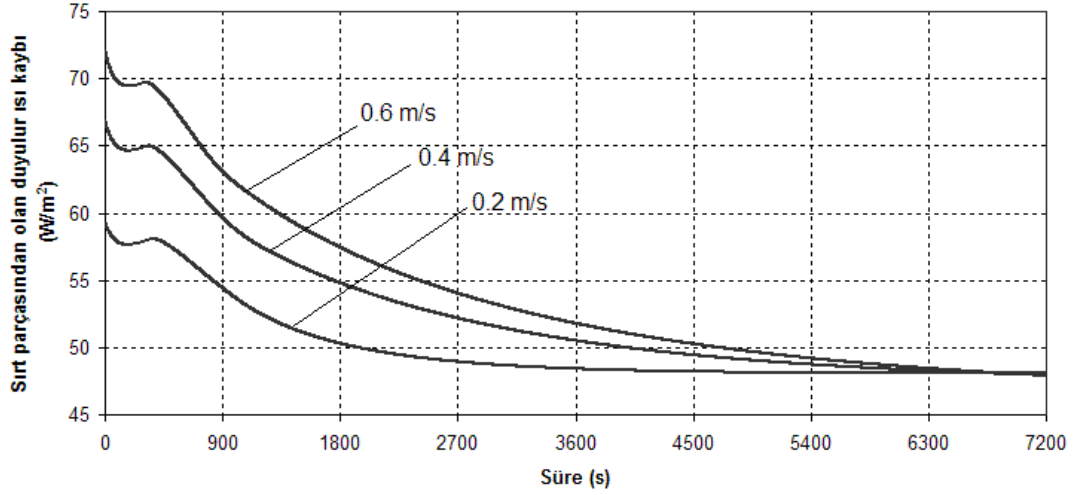


Şekil 4.34. Islak hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

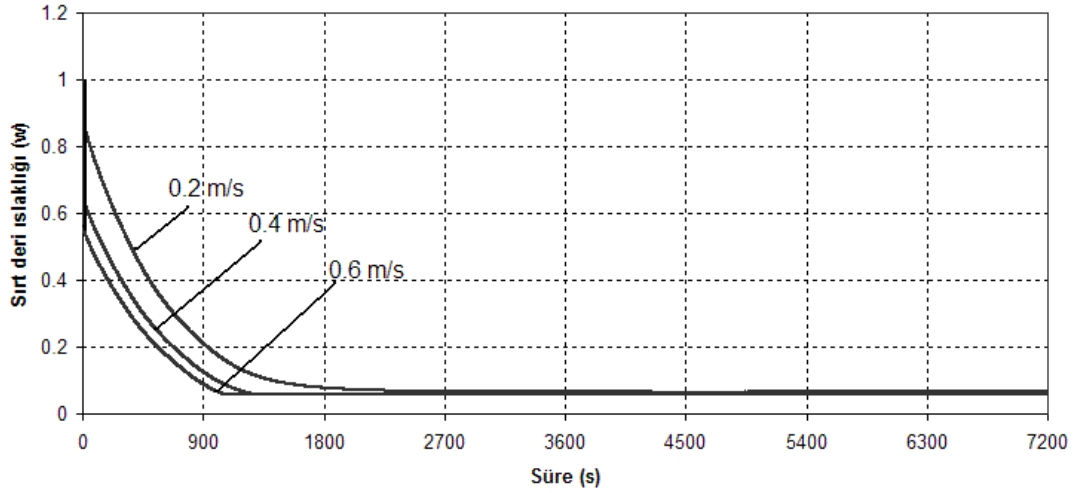
Yüksek hava hızlarında, dış ortam taşınım direncinin düşmesine bağlı olarak yüksek duyulur ısı kayıplarının meydana geldiği Şekil 4.35.' den görülebilmektedir. Zamanla deri sıcaklığının düşmesine bağlı olarak duyulur ısı kaybı da azalmaktadır.

Şekil 4.36.' da ise ıslak halde deri ıslaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere egzersiz sonunda tamamen

ıslak olan vücut, zamanla kurumaktadır. Deri tamamen ıslakken deri ıslaklığı değeri 1 iken zamanla ortam hava hızına bağlı olarak deri ıslaklığı minimum değer olan 0.06 değerine kadar düşmektedir. Fakat 0.4 m/s ve 0.6 m/s gibi yüksek hava hızlarında buharlaşma direnci kısmen daha düşük olduğu için, 0.2 m/s hava hızına göre vücudun çok daha çabuk kurduğu Şekil 4.36.' dan açıkça görülebilmektedir.

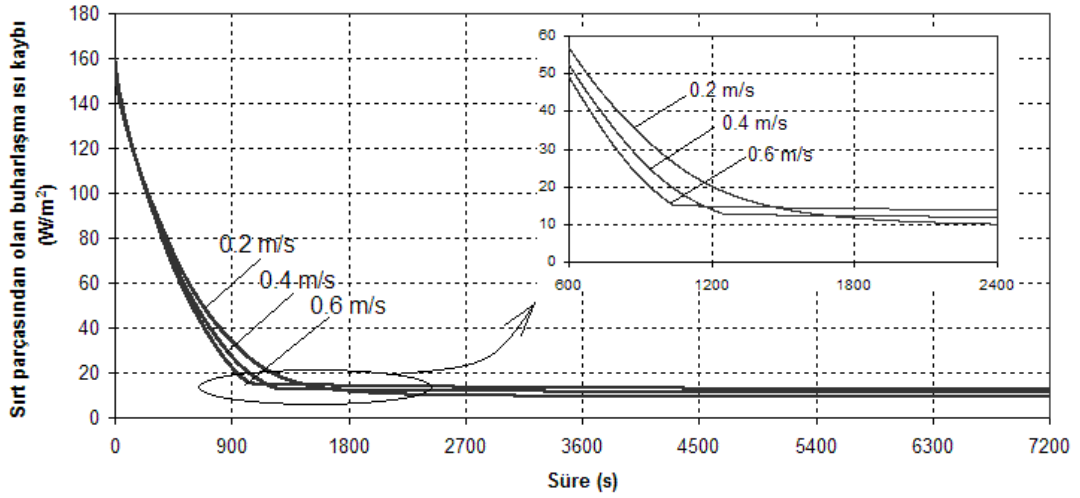


Şekil 4.35. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

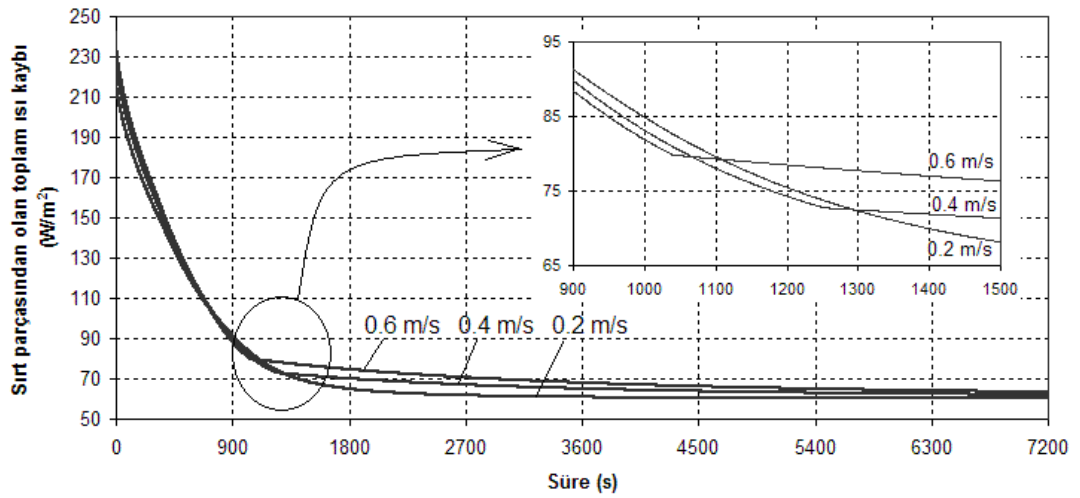


Şekil 4.36. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

Islak halde ortam hava hızına bağlı olarak buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi de Şekil 4.37.' de verilmektedir. Şekil incelendiğinde, vücuttan olan buharlaşma ısı kaybının deri ıslaklığının değişimine paralel olduğu açıkça görülebilmektedir. Vücudun kuruma sürecindeki yaklaşık ilk 20 dakikada sırt bölgesinden olan buharlaşma kaybının oldukça yüksek olduğu grafikten görülebilmektedir.



Şekil 4.37. Islak hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.38. Islak hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

Islak halde toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi de Şekil 4.38.' de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, özellikle vücudun ıslak olduğu ilk anlarda vücuttan olan ısı kaybı buharlaşma ısı kayıplarına bağlı olarak oldukça yüksektir. Bunun yanı sıra boyun hareket açıklıklarında kısıtlılıklara sebebiyet veren 0.6 m/s hava hızında ilk 1050 saniyede, 0.4 m/s hava hızında ilk 1250 saniyede vücuttan bulunulan ortama yüksek ve ani ısı kayıpları meydana gelirken, 0.2 m/s hava hızında diğer hava hızlarına göre daha düşük ve zamana yayılı olarak bulunulan ortama ısı atılmaktadır.

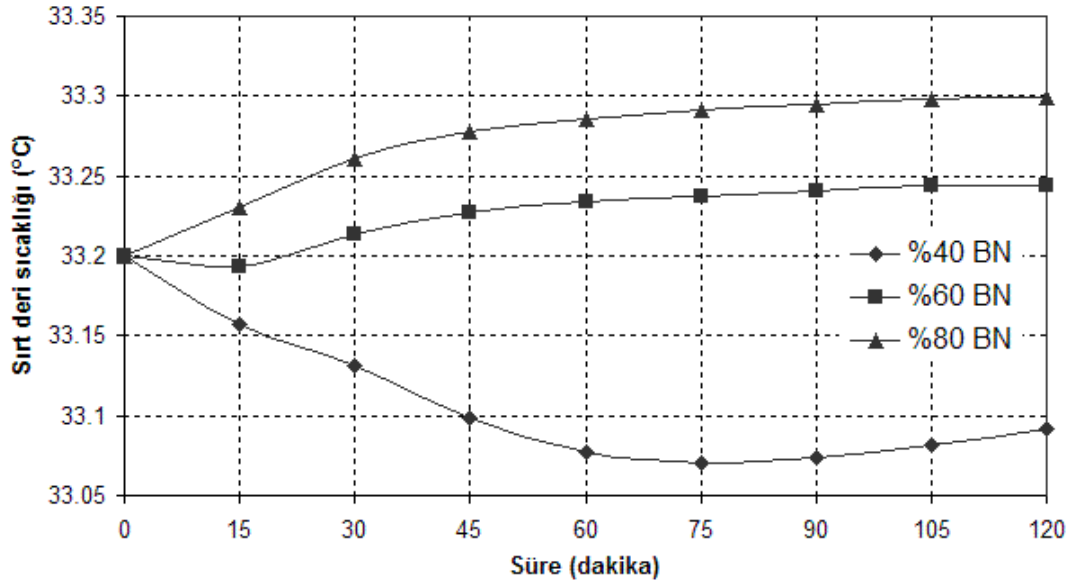
4.1.3.3. Nem için Yapılan Analizler

Sıcaklık ve hız için yapılan analizlerin benzeri nem değişimi içinde yapılmıştır. %40, %60 ve %80 bağıl nem ortamlarında yapılan deneylerden elde edilen gerek 1. zaman aralığında gerekse 2. zaman aralığında boyun hareketlerinde meydana gelen düşüşler COSTAT ile analiz edildiğinde, ANOVA tablolarından ortam bağıl neminin, vücudun kuru veya ıslak olmasının ve bu iki parametrenin kesişiminin boyun hareket kısıtlılığı üzerine etkin olmadığı saptanmıştır. Gerek %40 ve %60 bağıl nemde gerekse %80 bağıl nemde maksimum boyun açısı kaybı 10° olarak gözlenmiştir. Fakat yapılan analizler nemin ayırt edici etkisini göstermemiştir.

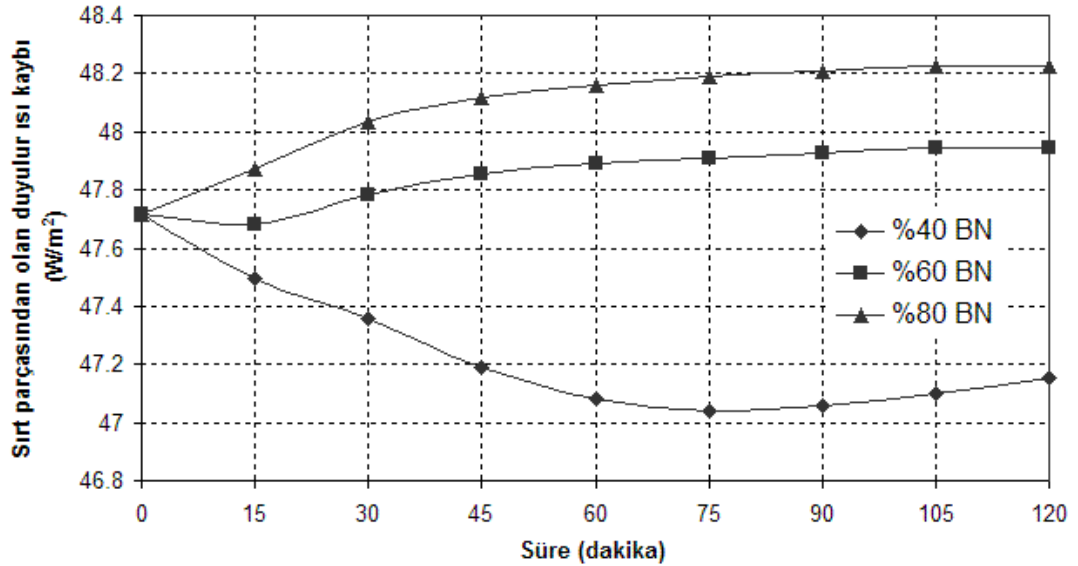
Vücudun ortam bağıl nemine verdiği tepkiyi de simülasyon sonuçları ile irdeleyebiliriz. Bağıl neme bağlı olarak insanın ısı ortama verdiği tepkiyi inceleyince, bağıl nemin boyun hareket açıklıklarının etkilememesinin sürpriz olmadığı görülecektir. Simülasyon ile ısı ortama bağıl neminin etkisi incelenirken ortam sıcaklığı 24 °C, hava hızı ise 0.2 m/s' de sabit tutulmuştur. Şekil 4.39.' da ısı ortama bağıl nemine bağlı olarak sırt bölgesi deri sıcaklığının zamanla değişimi verilmiştir. Grafik y-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 ortama bağıl nemi deri sıcaklığı üzerine ortam hava hızı ve sıcaklığı kadar etken değildir.

Kuru halde sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.40.' da verilmiştir. Ortam bağıl neminin değişmesi ile

sırt parçası deri sıcaklığı çok fazla değişmediği için deriden olan duyulur ısı kaybı da çok fazla değişmemektedir. Deriden olan duyulur ısı kaybı neme bağlı olarak 47 W/m^2 ile 48.5 W/m^2 arasında değişmektedir.

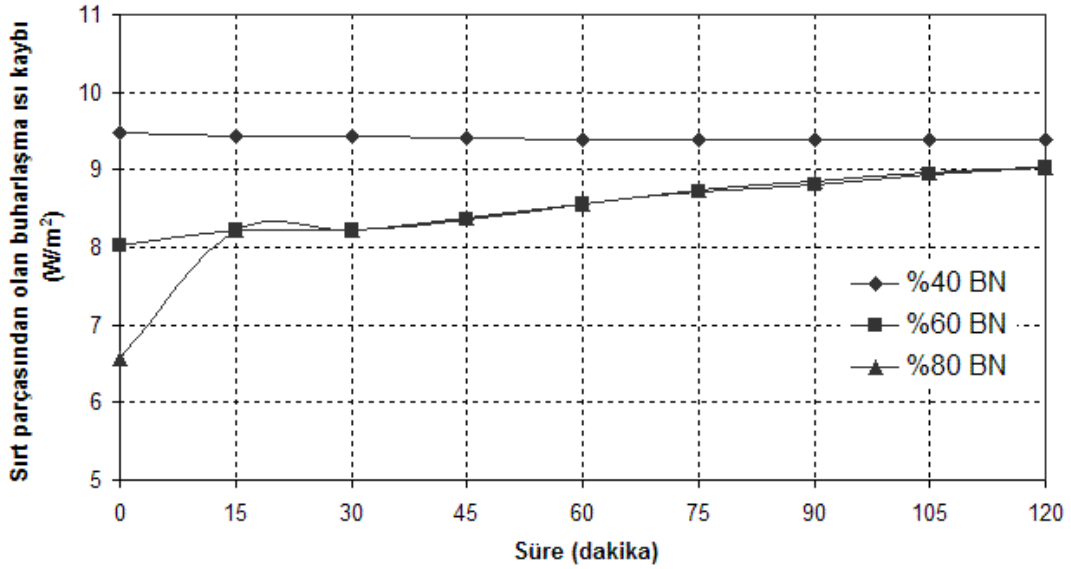


Şekil 4.39. Kuru hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi



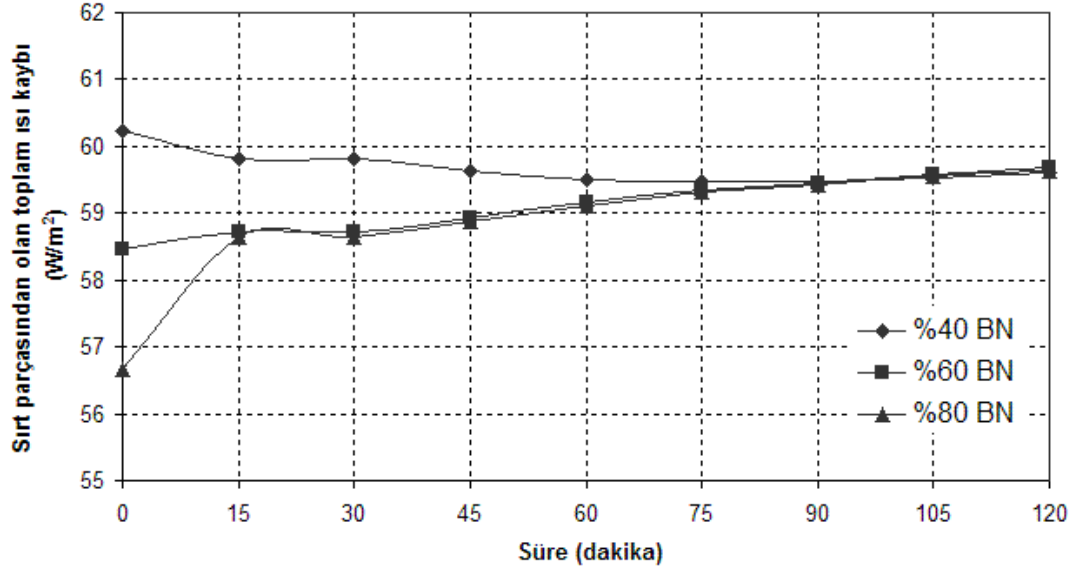
Şekil 4.40. Kuru hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Buharlaşma ısı kayıpları da Şekil 4.41.' de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, %40 bağıl nemde, deri üzerindeki su buharı basıncı ile ortam su buharı basıncı arasındaki farkın artışına bağlı olarak buharlaşma kaybı kısmen daha yüksektir. %60 ile %80 bağıl nem değerlerinde de zamanla, kısmen deri üzerinde hafif bir ıslaklık oluşmasından dolayı buharlaşma kaybı yükselmekte ve ortalama 8.5 W/m^2 lik buharlaşma ısı kaybı olmaktadır. %40 bağıl nemde buharlaşma kaybı ortalama 9.5 W/m^2 civarındadır. Ortam bağıl nemine bağlı olarak kuru halde 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.



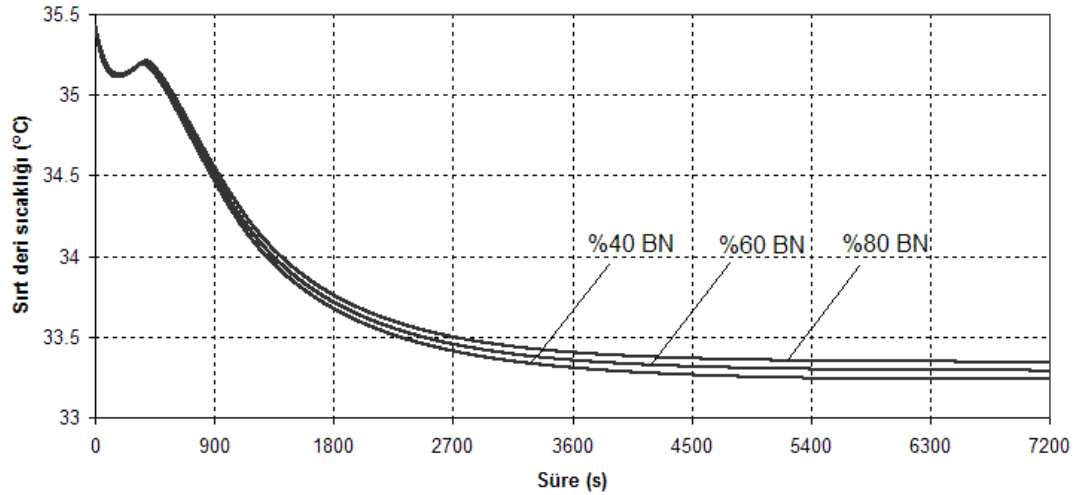
Şekil 4.41. Kuru hal için sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Kuru halde sırt bölgesinden atılan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi de Şekil 4.42.' de verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, ısıl ortam bağıl neminin değişimi deriden olan toplam ısı kaybını çok fazla etkilememektedir. Toplam ısı kaybı ısıl 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 ısıl ortam bağıl neminden çok fazla etkilenmemektedir.



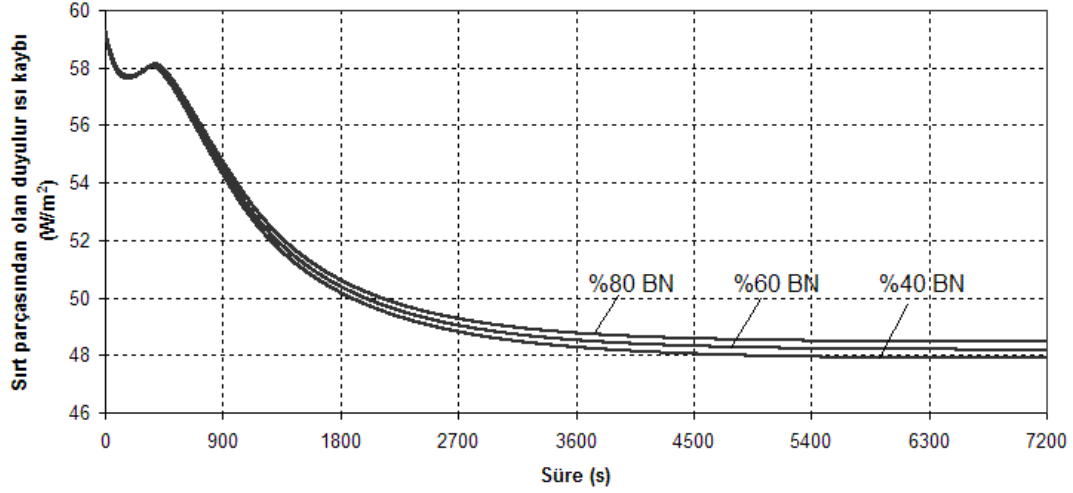
Şekil 4.42. Kuru hal için sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Islak halde sırt parçası deri sıcaklığının ıslık ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi Şekil 4.43.' de verilmiştir. Şekilden açıkça görüleceği üzere, sırt parçası deri sıcaklığının değişimi ıslık ortam bağıl neminin değişiminden çok fazla etkilenmemektedir ve ortalama yaklaşık 2 °C' lik bir düşüş yaşanmaktadır.

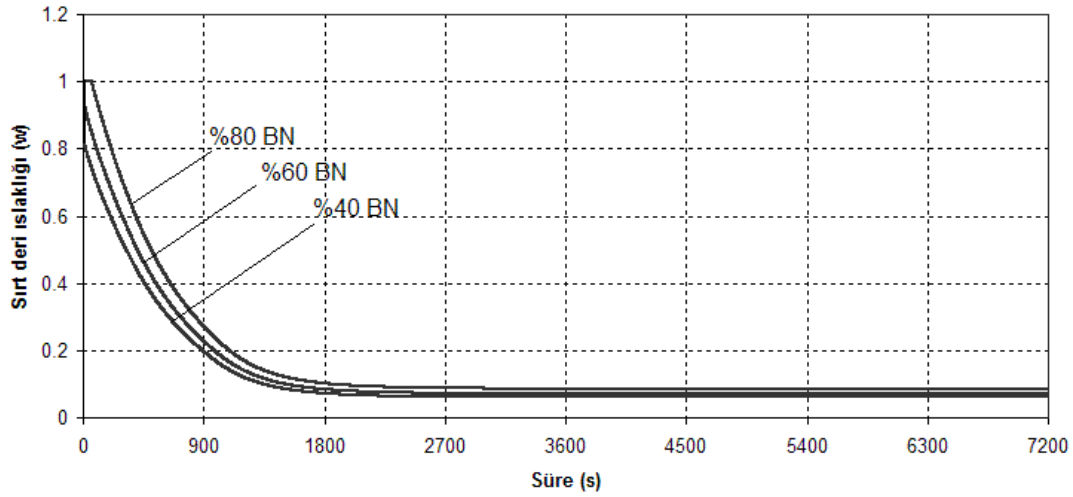


Şekil 4.43. Islık hal için sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Deri sıcaklığına sıkı sıkıya bağlı olan deriden duyulur ısı kaybının zamanla değişimi de Şekil 4.44.' den incelenebilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere, duyulur ısı kaybı da ısı ortam bağıl neminden çok fazla etkilenmemektedir.



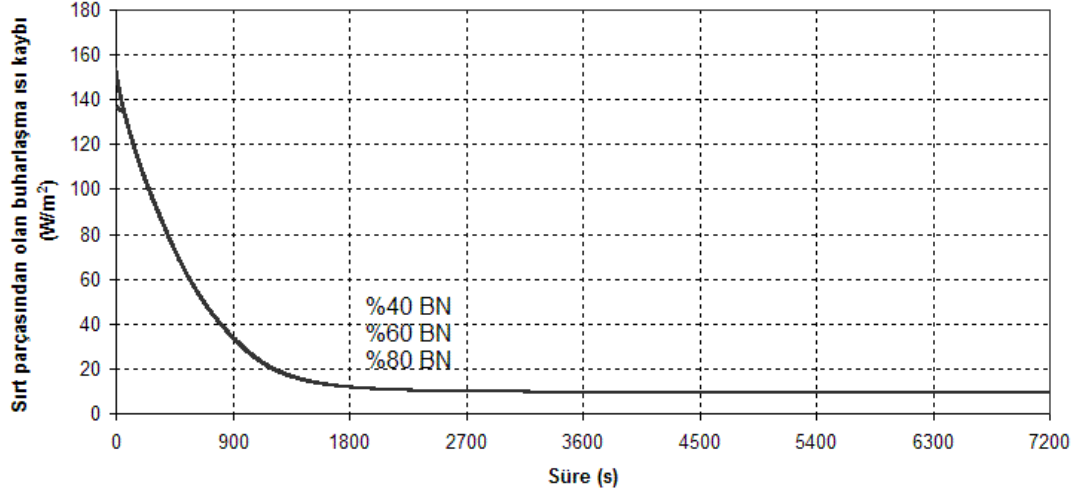
Şekil 4.44. Islak hal için sırt bölgesinden olan duyulur ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi



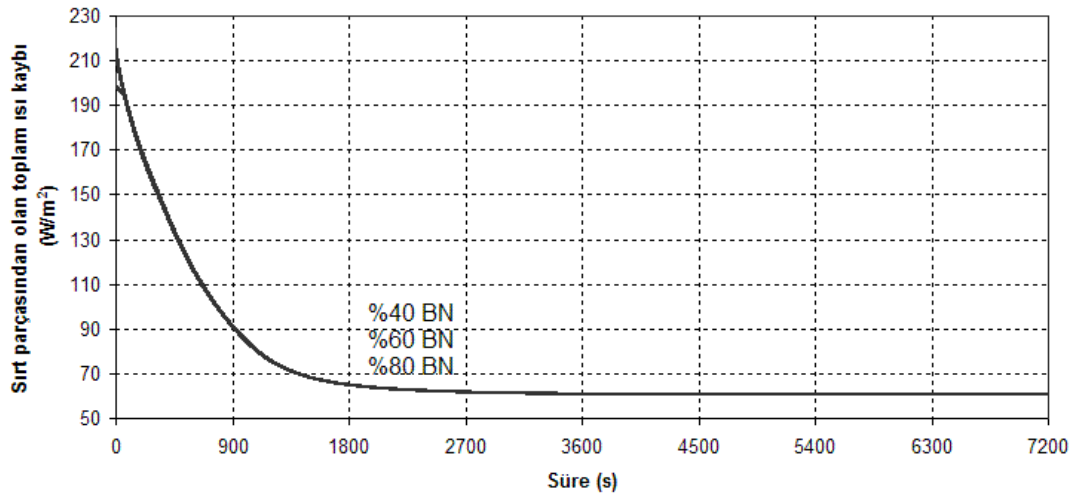
Şekil 4.45. Islak hal için sırt bölgesi deri ıslaklığının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Şekil 4.45. ve Şekil 4.46.' da ise sırasıyla ıslak halde sırt bölgesi deri ıslaklığının ve sırt bölgesinden olan buharlaşma ısı kaybının zamanla değişimi sunulmaktadır. Şekillerden görülebileceği üzere, artan ısı ortam bağıl nemi ile sırt parçasının kuruma

süresi uzamaktadır. Yine de vücuttan olan buharlaşma ısı kaybı ıslaklığın yanında deri üzerindeki su buharı ile ortam havası su buharı basıncı farkına bağlı olduğundan, nem inceleme yapılan 24 °C ortam sıcaklığında buharlaşma ısı kaybı üzerinde etken olmamaktadır. Bu durum Şekil 4.46.' dan açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4.46. Islak hal için dış bölgeden olan buharlaşma ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.47. Islak hal için dış bölgeden olan toplam ısı kaybının ortam bağıl nemine bağlı olarak zamanla değişimi

Islak halde sırt parçasından olan toplam ısı kaybının ısı ortam bağımlı nemine bağımlı olarak zaman ile değişimi Şekil 4.47.' den incelendiğinde, ısı ortam bağımlı neminin vücuttan olan toplam ısı kaybı üzerinde etken olmadığı açıkça görülebilmektedir. Ayrıca hiçbir nem seviyesinde vücuttan ani bir ısı kaybı da mevcut değildir. Özellikle her 3 nem seviyesinde de ilk 30 dakika içerisinde yüksek bir ısı kaybı mevcuttur. Bunun sebebi derideki suyun kurummasına bağımlı olarak gerçekleşen yüksek buharlaşma ısı kaybıdır.

4.1.3.4. Sıcaklık, Hız ve Hal Olmak üzere Yapılan 3 Faktörlü Tasarım Sonuçları

Isıl ortam bağımlı neminin boyun hareket açıklıklarını ve insanın ısı ortama verdiği tepkileri ortam sıcaklığı ve ortamdaki hava hızı kadar etkilemediği yukarıda yapılan 2 faktörlü analizler sonucunda elde edilmiştir. Bundan sonra nem etkisi ihmal edilerek ısı 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.

Sağa dış rotasyonda boyun açısında meydana gelen değişimler 1. zaman adımı için Çizelge 4.18.' de verilmiştir. 1. zaman adımında sağa dış rotasyon için COSTAT ile yapılan analizler sonucu elde edilen ANOVA tablosu ve SNK test sonucu sırasıyla Çizelge 4.19. ve Çizelge 4.20.' da sunulmuştur. Çizelgelerden görülebileceği üzere, hız, sıcaklık ve hız sıcaklık kesişiminin boyun hareketlerinde oluşan kısıtlılıklar üzerinde etken olduğu tespit edilmiştir. SNK test sonucu 20 °C ve 22 °C' de 24 °C ortam sıcaklığına göre daha fazla açı kaybının ortaya çıktığını göstermektedir. Yine SNK testi, 0.6 m/s hava hızında, 0.2 m/s ve 0.4 m/s hava hızlarına göre daha fazla açı kaybının meydana geldiğini göstermekte, vücudun kuru veya ıslak olmasının ise açı kaybını etkilemediğini sunmaktadır.

Çizelge 4.18. 3 faktörlü analizde 1. zaman adımı için sağa dış rotasyon aç farkı

	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
<i>Kuru</i>	10	5	5	5	10	15	5	10	5
	5	10	10	5	5	15	0	0	0
	5	10	15	0	5	10	0	5	0
<i>Islak</i>	5	10	10	5	10	15	0	10	0
	10	10	10	5	10	5	0	0	5
	10	5	15	0	10	15	0	10	5

Çizelge 4.19. Sağa dış rotasyonda 1. zaman adımı için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	219.44	2	109.72	9.12	.0006	RET
<i>Sıcaklık</i>	358.33	2	179.17	14.88	.0000	RET
<i>Hal</i>	7.41	1	7.41	0.62	.4379	KABUL
<i>Etkileşim</i>						
<i>HızXSıc</i>	147.22	4	36.81	3.06	.0288	RET
<i>HızXHal.</i>	6.48	2	3.24	0.27	.7655	KABUL
<i>Sıc.XHal</i>	0.93	2	0.46	0.038	.9623	KABUL
<i>HızXSıc.XHal</i>	26.85	4	6.71	0.56	.6947	KABUL
<i>Hata</i>	433.33	36	12.04			
<i>Toplam</i>	1200	53				

Çizelge 4.20. Sağa dış rotasyonda 1. zaman adımı için SNK testi

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Hız</i>			
<i>0.2 m/s</i>	3.89	18	a
<i>0.4 m/s</i>	7.50	18	a
<i>0.6 m/s</i>	8.61	18	b
<i>Sıcaklık</i>			
<i>20 °C</i>	8.89	18	a
<i>22 °C</i>	8.06	18	a
<i>24 °C</i>	3.06	18	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	6.30	27	a
<i>Islak</i>	7.04	27	a

Sağa dış rotasyon 1. zaman adımında elde edilen sonuçlara benzer olarak elde edilen sonuçlar sağa dış rotasyon 2. zaman adımı için Çizelge 4.21, Çizelge 4.22. ve Çizelge 4.23.' de mevcuttur. Çizelge 4.22.' de verilen ANOVA tablosuna göre hız,

sıcaklık ve hız ile hal kesişimi etken olarak görünürken, Çizelge 4.23.' de verilen SNK test sonucu da yine 20 °C, ile 22 °C ortam sıcaklıklarının ve 0.6 m/s ortam hava hızının riskli olduğunu açıkça göstermektedir.

Çizelge 4.21. 3 faktörlü analizde 2. zaman adımı için sağa dış rotasyon açısı farkı

	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
<i>Kuru</i>	10	10	5	5	10	20	5	0	0
	5	5	10	10	0	15	0	0	0
	10	5	15	0	10	10	0	5	0
<i>Islak</i>	5	10	15	5	10	15	0	10	15
	10	10	15	5	10	10	0	5	5
	0	5	25	0	10	15	0	0	5

Çizelge 4.22. Sağa dış rotasyonda 2. zaman adımı için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	445.37	2	222.69	14.15	.0000	RET
<i>Sıcaklık</i>	492.59	2	246.30	15.65	.0000	RET
<i>Hal</i>	46.30	1	46.30	2.94	.0949	KABUL
<i>Etkileşim</i>						
<i>HızXSıc</i>	96.30	4	24.07	1.53	.2144	KABUL
<i>HızXHal.</i>	123.15	2	61.57	3.91	.0290	RET
<i>Sıc.XHal</i>	25.93	2	12.96	0.82	.4470	KABUL
<i>HızXSıc.XHal</i>	79.63	4	19.91	1.26	.3018	KABUL
<i>Hata</i>	566.67	36	15.74			
<i>Toplam</i>	1875.93	53				

Çizelge 4.23. Sağa dış rotasyonda 2. zaman adımı için SNK testi

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Hız</i>			
<i>0.2 m/s</i>	3.89	18	b
<i>0.4 m/s</i>	6.39	18	b
<i>0.6 m/s</i>	10.83	18	a
<i>Sıcaklık</i>			
<i>20 °C</i>	9.44	18	a
<i>22 °C</i>	8.89	18	a
<i>24 °C</i>	2.78	18	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	6.11	27	a
<i>Islak</i>	7.96	27	a

Sola dış rotasyon için 1. zaman adımında oluşan boyun açısındaki kısıtlılık değerleri Çizelge 4.24.' de ve buna bağlı olarak istatistiksel olarak elde edilen ANOVA tablosu ve SNK test sonucu da sırasıyla Çizelge 4.25. ve Çizelge 4.26.' de verilmiştir. Gerek ANOVA tablosundan gerekse SNK test sonucundan görüleceği üzere, bu analizde sadece sıcaklık etken faktör olarak tespit edilmiş, ve yine 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıkları riskli sıcaklıklar olarak tespit edilmiştir.

2. zaman adımında sola dış rotasyonda oluşan boyun açısındaki kısıtlılıklar ise Çizelge 4.27.' da verilmiştir. Bu kısıtlılıklara bağlı olarak yapılan istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.28. ve Çizelge 4.29.' de mevcuttur. Bu analizde hem sıcaklık, hem hız hem de hal durumu etken faktör olarak tayin edilmiştir. Yine bu analizde de 0.6 m/s hava hızı ile 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığı riskli sıcaklıklar olarak görülmektedir. Bu analiz vücudun ıslak olması halinin de riskli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.24. 3 faktörlü analizde 1. zaman adımı için sola dış rotasyon aç farkı

	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	5	10	10	5	10	0	5	5	0
	5	5	5	5	5	10	0	0	0
	10	5	0	0	0	15	0	5	0
Islak	5	10	10	0	10	10	0	15	10
	10	5	5	0	10	5	0	5	0
	10	10	15	10	10	15	0	0	0

Çizelge 4.25. Sola dış rotasyonda 1. zaman adımı için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	77.78	2	38.39	2.049	.1437	KABUL
<i>Sıcaklık</i>	258.33	2	129.17	6.80	.0031	RET
<i>Hal</i>	66.67	1	66.67	3.51	.0691	KABUL
<i>Etkileşim</i>						
<i>HızXSıc</i>	88.89	4	22.22	1.17	.3400	KABUL
<i>HızXHal.</i>	33.33	2	16.67	0.88	.4243	KABUL
<i>Sıc.XHal</i>	2.78	2	1.39	0.073	.9296	KABUL
<i>HızXSıc.XHal</i>	22.22	4	5.56	0.29	.8808	KABUL
<i>Hata</i>	683.33	36	18.98			
<i>Toplam</i>	1233.33	53				

Çizelge 4.26. Sola dış rotasyonda 1. zaman adımı için SNK testi

<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Hız</i>			
0.2 m/s	3.89	18	a
0.4 m/s	6.67	18	a
0.6 m/s	6.11	18	a
<i>Sıcaklık</i>			
20 °C	7.5	18	a
22 °C	6.67	18	a
24 °C	2.5	18	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	4.44	27	a
<i>Islak</i>	6.67	27	a

Çizelge 4.27. 3 faktörlü analizde 2. zaman adımı için sola dış rotasyon aç farkı

	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
<i>Kuru</i>	5	10	15	10	5	10	5	0	0
	10	5	0	5	5	15	0	0	0
	5	5	10	0	5	10	5	5	0
<i>Islak</i>	5	5	20	0	0	10	5	15	15
	5	5	5	5	10	15	0	5	5
	5	15	10	10	10	15	0	5	10

Çizelge 4.28. Sola dış rotasyonda 2. zaman adımı için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>H₀:</i>
<i>Etki</i>						
<i>Hız</i>	219.44	2	109.72	5.64	.0074	RET
<i>Sıcaklık</i>	136.11	2	68.06	3.50	.0408	RET
<i>Hal</i>	104.17	1	104.17	5.36	.0265	RET
<i>Etkileşim</i>						
<i>HızXSıc</i>	77.78	4	19.44	1.00	.4203	KABUL
<i>HızXHal.</i>	102.78	2	51.39	2.64	.0849	KABUL
<i>Sıc.XHal</i>	36.11	2	18.06	0.93	.4044	KABUL
<i>HızXSıc.XHal</i>	44.44	4	11.11	0.57	.6851	KABUL
<i>Hata</i>	700	36	19.44			
<i>Toplam</i>	1420.83	53				

Çizelge 4.29. Sola dış rotasyonda 2. zaman adımı için SNK testi

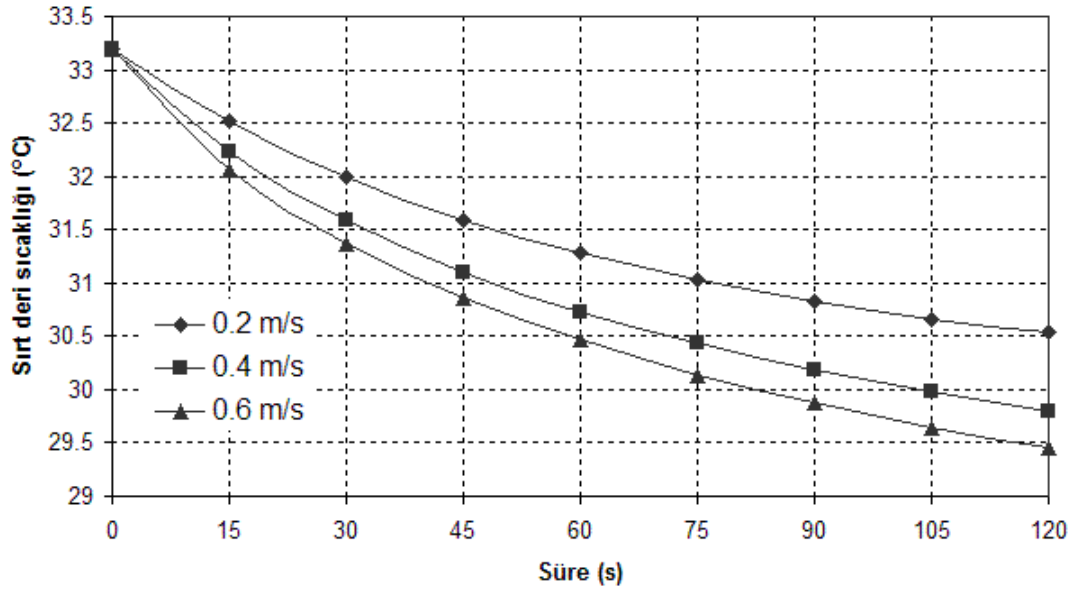
<i>Etki</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Denek Sayısı</i>	<i>Sonuç</i>
<i>Hız</i>			
<i>0.2 m/s</i>	4.44	18	b
<i>0.4 m/s</i>	5.56	18	b
<i>0.6 m/s</i>	9.17	18	a
<i>Sıcaklık</i>			
<i>20 °C</i>	7.22	18	a
<i>22 °C</i>	7.78	18	a
<i>24 °C</i>	4.17	18	b
<i>Hal</i>			
<i>Kuru</i>	5.00	27	a
<i>Islak</i>	7.78	27	b

Yapılan 3 faktörlü analizde 2 faktörlü analize benzer sonuçları vermektedir. Yine 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıkları riskli olmakta, özellikle insanın sırt ve boyun hizasındaki hızların 0.6 m/s değerlerine çıkması boyun hareket açıklıkları üzerine tehlike arz etmektedir. 2 faktörlü analizde de 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıkları vücudun kuru veya ıslak olmasından bağımsız olarak riskli değerler olarak önümüze çıkmaktaydı. 2 faktörlü analizde hız vücut ıslak haldeyken etken olmaktadır. 3 faktörlü analizde sola dış rotasyonda 2. zaman adımı için yapılan analiz dışında tüm analizlerde hal durumu etken çıkmamış, en riskli hava hızı değeri ise 0.6 m/s olarak tespit edilmiştir. Fakat 0.4 m/s hava hızında da boyun açısındaki ortalama kayıplar küçümsenemeyecek seviyelerdedir.

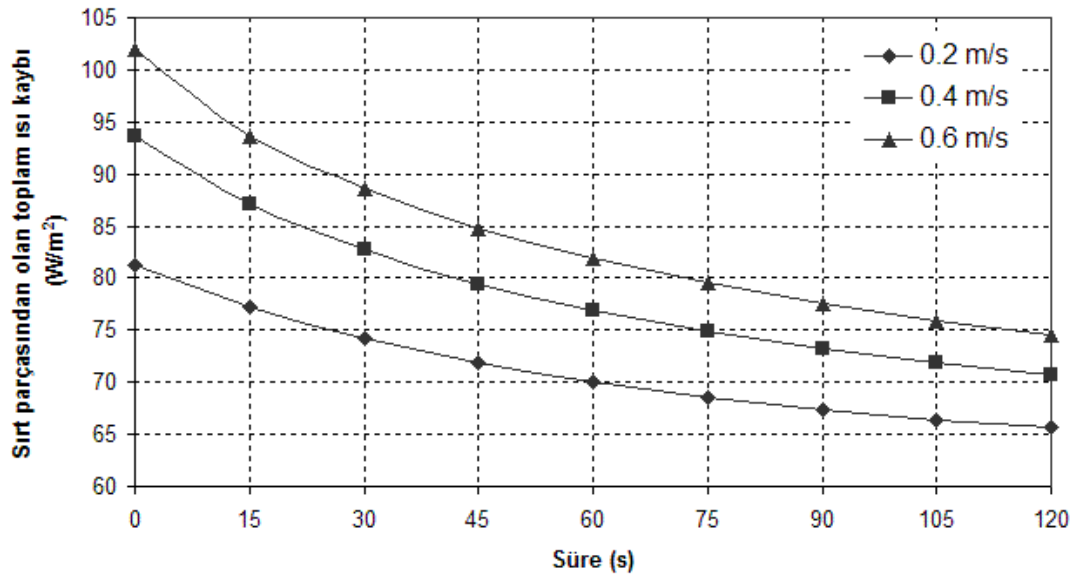
0.2 m/s, 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızı değerleri için 24 °C ortam sıcaklığında vücudun ısı ortama verdiği tepkiler hem kuru hem de ıslak hal için daha önce incelenmişti. Burada sadece yine vücudun kuru ve ıslak hali için her 3 hız kademesinde 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığında vücudun ısı ortama verdiği tepkiler simülasyon sonuçları ile grafikler halinde irdelenecektir.

Vücudun kuru hali için 20 °C ortam sıcaklığında, ortam hava hızına bağlı olarak sırt bölgesi deri sıcaklığının ve sırt bölgesinden olan ısı kaybının zamanla değişimi sırasıyla Şekil 4.48. ve Şekil 4.49.' 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 sıcaklığında artan ortam hava hızı ile sırt bölgesinden olan

toplam ısı kaybı yükselirken, bütün hız değerlerinde, vücutta üretilen ve bulunan ortama atılması gereken 60 W/m^2 lik ısı değerinin üzerinde ısı transferi gerçekleşmektedir.

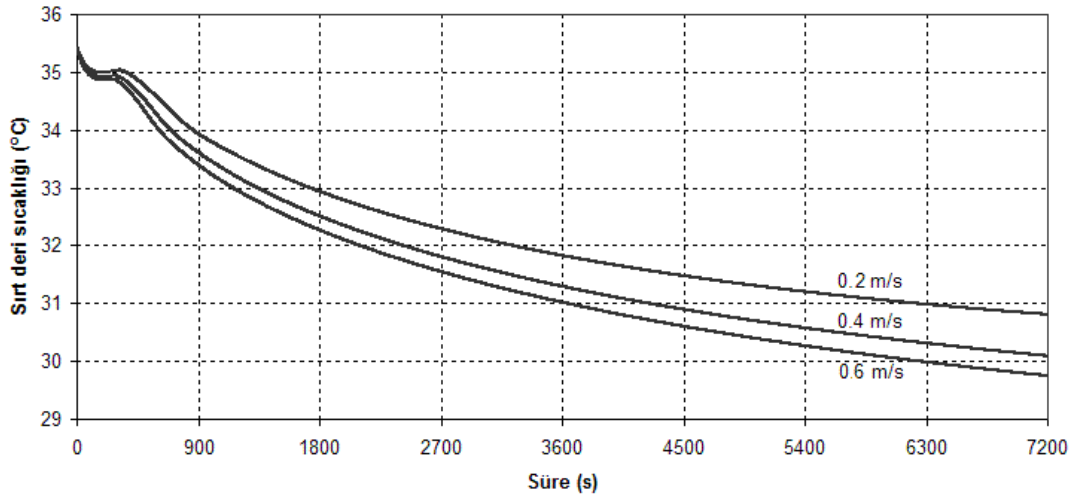


Şekil 4.48. Kuru hal için $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

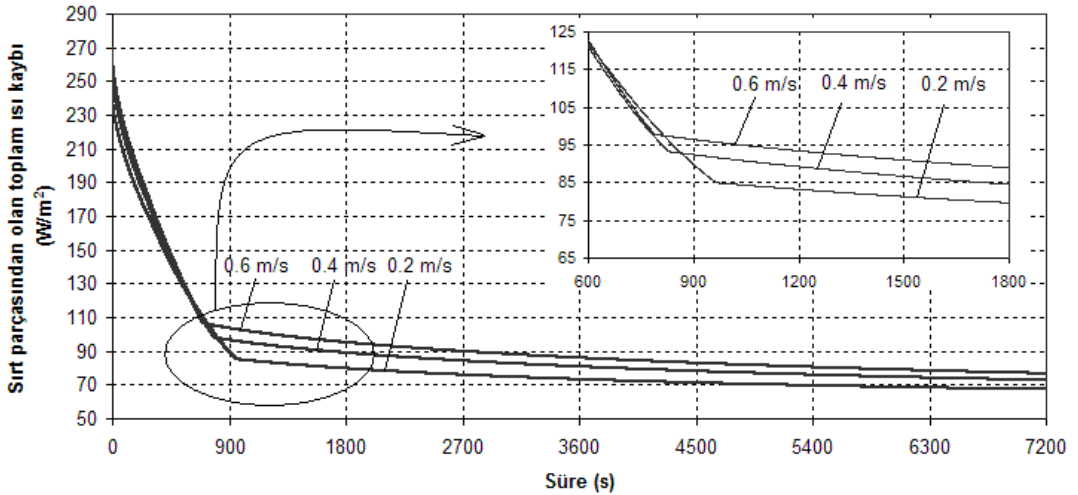


Şekil 4.49. Kuru hal için $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

20 °C ortam sıcaklığı için benzer analizler ıslak hal için yapıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 4.50 ve Şekil 4.51.' 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. Yine her 3 hız kademesinde de ortam hava hızına bağlı olarak ilk 750 – 1000 saniye aralığında vücuttaki terin kuruması dolayısıyla yüksek ve ani ısı kayıplarının meydana geldiği de Şekil 4.51.' den görülebilmektedir.

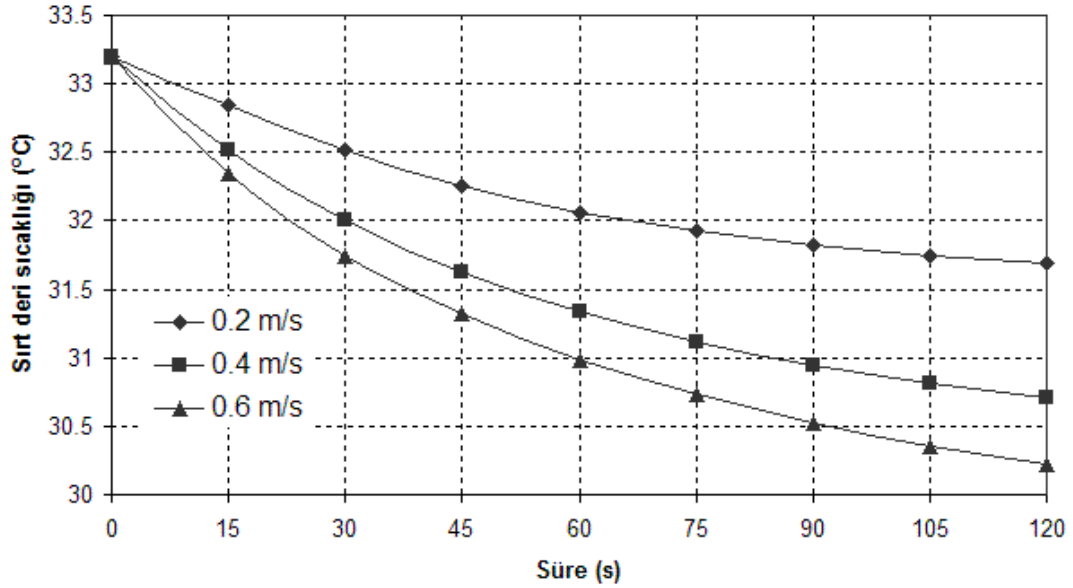


Şekil 4.50. Islak hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi



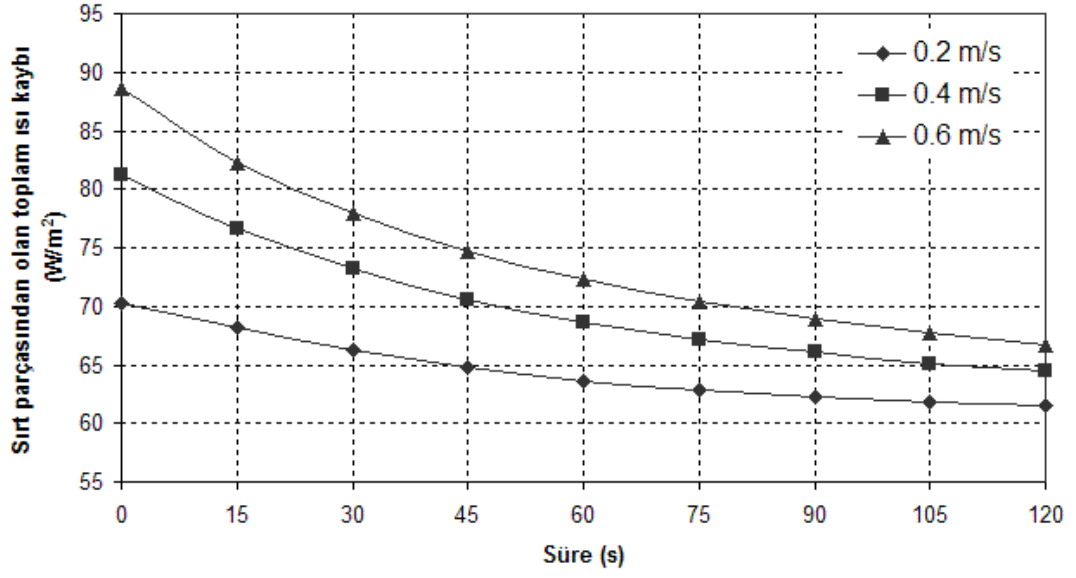
Şekil 4.51. Islak hal için 20 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

Benzer sonuçlar 22 °C ortam sıcaklığında kuru hal için de simülasyonda elde edilmiş ve Şekil 4.52. ve Şekil 4.53.' de grafikler halinde sunulmuştur. Beklendiği gibi 22 °C ortam sıcaklığında 20 °C sıcaklıkta meydana gelenden daha az 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. Yine artan hava hızı ile daha yüksek ısı kaybı meydana gelmektedir.

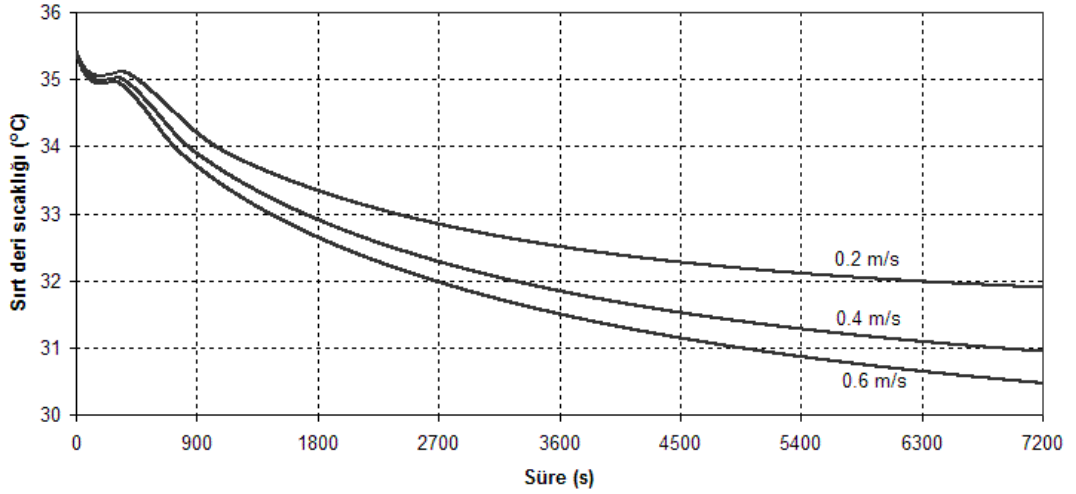


Şekil 4.52. Kuru hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

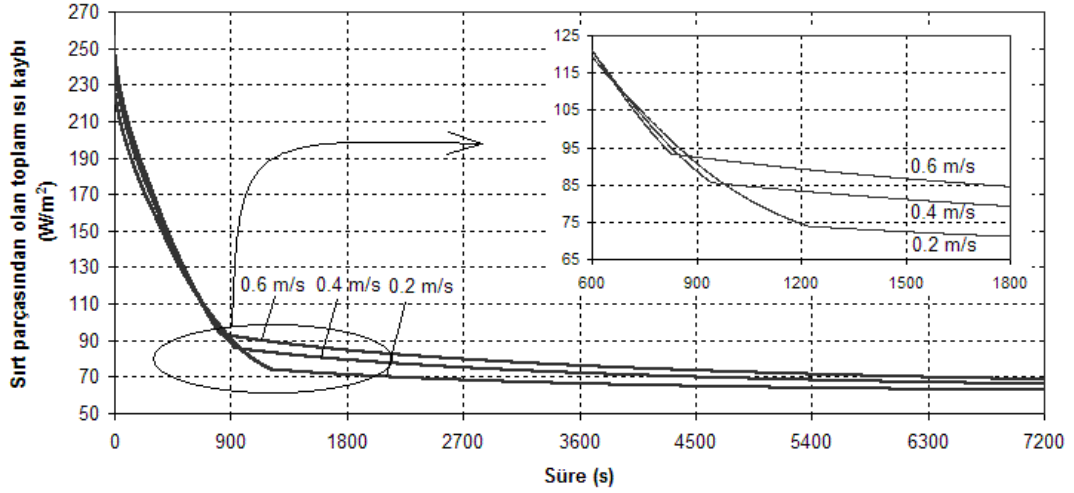
22 °C ortam sıcaklığında ıslak halde vücudun ortam hava hızına verdiği ısı tepkileri de Şekil 4.54. ve Şekil 4.55.' den görülebilmektedir. Bu ortam sıcaklığı değerinde sırt bölgesi deri sıcaklığında, 0.2 m/s hava hızında 3.4 °C, 0.4 m/s hava hızında 4.4 °C ve 0.6 m/s hava hızında ise 4.9 °C azalma meydana gelmektedir. Şekil 4.55.' den görülebileceği üzere vücudun kuruma sürecinde her 3 ortam hava hızı değerinde de vücut sırt bölgesinden yüksek oranda ısı kaybının meydana geldiği açıkça görülebilmektedir. 0.6 m/s hava hızında ilk 800 saniyede, 0.4 m/s hava hızında ilk 950 saniyede ve 0.2 m/s hava hızında ise ilk 1200 saniyelik periyotta vücuttan ani ve yüksek ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu zaman adımları aynı zamanda vücuttaki terin kuruma sürecini de göstermektedir.



Şekil 4.53. Kuru hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.54. Islak hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesi deri sıcaklığının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi



Şekil 4.55. Islak hal için 22 °C ortam sıcaklığında, %50 bağıl nemde sırt bölgesinden olan toplam ısı kaybının ortam hava hızına bağlı olarak zamanla değişimi

4.1.3.5. PMV indeksinin değişimi

Deneyler sırasında deneklere, deneğin ısıl duyumunu tespit için *PMV* sorgulaması da yapılmıştır. Bilindiği üzere, *PMV*, 7 ölçeğe bağlı ve geniş bir insan kümesiyle yapılan deneyler ile elde edilmiş bir ısıl duyum ölçeğidir. Çizelge 4.30., Çizelge 4.31. ve Çizelge 4.32.' de ilk grup deneyler esnasında sorgulanan, sıcaklık, hız ve neme bağlı olarak kuru ve ıslak haller için deneklerden alınan *PMV* değerlerinin ortalamaları sunulmuştur. *PMV* ölçeğine göre, +1 ve -1 sırasıyla ılıkça ve serince durumunu göstermektedir. Çizelgelerden görüleceği üzere, nemin *PMV* üzerine bir etkisi görülmemiştir, fakat hız ve sıcaklık *PMV* üzerine önemli derecede etkendir. Boyun hareket açıları üzerine etken olan hız ve sıcaklık değerlerinde *PMV* değeri -1 in altındadır. Yani deneklerin serin hissine kapıldıkları koşullar boyun hareket açıklıklarını kısıtlamaktadır.

2 faktörlü analiz sonucunda 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıkları deneğin kuru veya ıslak olmasından bağımsız olarak riskli sıcaklıklar olarak tayin edilmişti. Çizelge 4.30.' dan görüleceği üzere, bahsedilen bu sıcaklıklarda hem ıslak hem de kuru hal için deneklerden alınan *PMV* değeri ortalaması -1 değerinin altında kalmaktadır.

Çizelge 4.30. İlk grup deneylerde elde edilen, sıcaklık değişimine bağlı olarak PMV değerleri

<i>Sıcaklık</i>	<i>Kuru</i>	<i>Islak</i>
20 °C	-1.75	-1.75
22 °C	-1.33	-1
24 °C	-0.5	-0.5
26 °C	+0.75	-0.25

Yine 2 faktörlü analiz neticesinde ısı ortam hava hızının vücut ıslak haldeyken etken olacağı tayin edilmişti. 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında ıslak halde deneklerin boyun açılarındaki yüksek düşüşler olduğu bahsedilmişti. Çizelge 4.31.' dan görüleceği üzere, bahsedilen bu 2 hava hızı değerinde, deneklerin ıslak olmaları durumunda, deneklerden alınan *PMV* değerleri ortalaması yine -1 değerinin altındadır.

Çizelge 4.31. İlk grup deneylerde elde edilen, hız değişimine bağlı olarak PMV değerleri

<i>Hız</i>	<i>Kuru</i>	<i>Islak</i>
0.2 m/s	-0.5	-0.5
0.4 m/s	-0.75	-1.16
0.6 m/s	-1.25	-1.5

Çizelge 4.32. incelenirse, ısı ortam bağımlı neminin deneklerin ısı hissini, inceleme yapılan 24 °C ve 0.2 m/s hava hızı koşullarında çok fazla etkilemediği açıkça görülmektedir. *PMV* değeri bütün nem kademelerinde nötr sayılabilen yaklaşık ± 0.5 aralığında değişmektedir.

Çizelge 4.32. İlk grup deneylerde elde edilen, nem değişimine bağlı olarak PMV değerleri

<i>Nem</i>	<i>Kuru</i>	<i>Islak</i>
%40 BN	-0.33	-0.17
%60 BN	+0.25	-0.67
%80 BN	+0.33	-0.33

3 faktörlü analiz için yapılan ikinci grup deneyler sırasında yapılan sorgulama sonucu elde edilen ortalama *PMV* değerlerinin ısı ortam sıcaklığı, hava hızı ve kişinin haline bağlı olarak değişimi Çizelge 4.33.' de sunulmuştur. Çizelgeden 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.

Çizelge 4.33. İkinci grup 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
<i>Kuru</i>	-1.74	-1.75	-1.58	-1.04	-1.33	-1.46	-0.50	-0.75	-1.25
<i>Islak</i>	-1.84	-2.00	-1.83	-1.34	-1.83	-1.63	-0.50	-1.16	-1.50

4.2. Sonuç ve Öneriler

Mevcut çalışma kapsamında ilk önce insanın bulunduğu ısı ortama verdiği tepkilerin tayinini esas alan bir simülasyon programı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu simülasyonda, ısı ve kütle transferi denklemleri ile deneysel olarak elde edilmiş çeşitli ampirik ifadelerden yararlanılmıştır. Simülasyon çalışmasında 2 parçalı Gagge modeli, tüm vücut yerine, insan vücudu 16 parçaya ayrılarak uygulanmıştır. Bu model 16 parçalı 2 bölmeli Gagge modeli olarak isimlendirilmiştir. Böylece her bir vücut parçasının zamana bağlı olarak kor ve deri sıcaklığı değişimi ile vücut parçası ıslaklığının değişimi kolaylıkla incelenebilmektedir. Bunun yanı sıra vücut parçalarından olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarları da hesaplanabilmektedir. Geliştirilen bu model vasıtasıyla oluşturulan simülasyon sonuçları, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve çeşitli literatür verileri ile karşılaştırılmış, sonuç olarak modelin güvenilirliği gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda ise ortam sıcaklığına, ortamdaki hava hızına, ortam bağıl nemine ve deneğin ıslak veya kuru olması haline bağlı olarak denek boyun açısındaki azalmalar tayin edilmiş, ölçülen bu değerler istatistiksel olarak analiz edilerek, bahsedilen bu parametrelerden hangilerinin etken olduğu ve etkinin düzeyi tayin edilmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları tartışılırken, insanın ısı ortama verdiği tepkiler ise, teorik model ile oluşturulan simülasyon sonuçları üzerinden

yorumlanmıştır. Kısaca bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir:

1. Geliştirilen model vasıtasıyla oluşturulan simülasyon ile, deneylerde ve simülasyon sonuçları alınırken kullanılan giysi takımının ısı ve buharlaşma dirençleri hesaplanmış, her bir vücut parçası ve tüm vücut için ısı ve buharlaşma dirençleri elde edilerek, bu tahmin değerleri McCullough ve ark. (1989) tarafından verilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak uygunluğu gösterilmiştir.
2. Simülasyondan elde edilen sonuçlar, çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçların güvenilirliği gösterilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar aynı zamanda, aynı ısı ortama verilen tepkilerin kişiden kişiye değiştiğini göstermesi bakımından da oldukça önemlidir.
3. Deneysel çalışmalarda kullanılan denek sayısının kısıtlı olmasından dolayı simülasyon sonuçları literatürden elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar ile de karşılaştırılmış ve simülasyon sonuçlarının güvenilirliği kanıtlanmıştır. Karşılaştırmalarda, Raven ve Horvath (1970), Hardy ve Stolwijk (1966), Stolwijk ve Hardy (1966) tarafından sunulan deneysel sonuçlar ile Huizenga ve ark. (2001), Toftum ve Fanger (1999), Yi ve ark. (2004) tarafından verilen teorik sonuçlar kullanılmıştır.
4. Sıcaklık ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarım neticesinde sıcaklığın, deneğin kuru veya ıslak olması halinden bağımsız olarak boyun hareket açıklıkları üzerine etken olduğu sonucuna varılmıştır. Yine yapılan analizler 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığının boyun hareketlerini kısıtlayıcı yönde oldukça riskli sıcaklıklar olduklarını göstermektedir. Hava hızı 0.2 m/s değerinde bağıl nem ise %50' de sabit tutulurken kuru halde 20 °C ortam koşulunda 2.7 °C, 22 °C ortam sıcaklığında 1.5 °C, ıslak halde 20 °C' de 4.4 °C, 22 °C 3.4 °C sırt bölgesi deri sıcaklığında düşüşler yaşanabileceği oluşturulan simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir. Bunun yanı sıra bahsedilen bu riskli ortam sıcaklığı değerlerinde, diğer ortam sıcaklıklarına göre sırt parçasından olan ısı transferi miktarının daha yüksek olduğu da elde edilen bulgularda gösterilmektedir.
5. Hız ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü tasarım neticesinde, vücudun ıslak olması halinde hava hızının daha etkili bir faktör olduğu sonucuna varılmış, 0.4 m/s ve 0.6

m/s hava hızlarında, özellikle vücut ıslak halde iken boyun açısında oluşan kayıpların yükseldiği görülmüştür. Yine simülasyon sonuçları neticesinde, 24 °C ortam sıcaklığı, %50 bağıl nem ortamında vücut ıslak halde iken 0.4 m/s hava hızında 3.2 °C, 0.6 m/s hava hızında 3.8 °C sırt parçası deri sıcaklığında düşüşler yaşanacağı bulunmuştur. Yine vücut ıslak halde iken bahsedilen bu 2 hız değerinde vücut sırt parçasından ani ve yüksek ısı kayıplarının meydana geldiği simülasyon bulgularından açıkça görülebilmektedir.

6. Nem ve hal olmak üzere yapılan 2 faktörlü analiz neticesinde herhangi bir etki saptanmamıştır. Simülasyon sonuçları da kişinin ısı ortama verdiği tepkilerin ısı ortam bağıl neminden çok da fazla etkilenmediğini göstermektedir. 24 °C ortam sıcaklığında, 0.2 m/s hız değerinde, %40, %60 ve %80 bağıl nem değerlerinde kuru halde sırt bölgesi deri sıcaklığı nötr değerden ± 0.15 °C sapmaktadır. Islak halde ise her 3 nem seviyesinde de yaklaşık 2 °C' lik bir düşüş meydana gelmektedir. Yine simülasyon çıktıları ısı ortam bağıl nemine bağlı olarak hem kuru hem de ıslak halde vücut sırt parçasından olan toplam ısı kaybının çok fazla değişmediğini, hiçbir nem seviyesinde ani ısı kaybının meydana gelmediğini göstermektedir.
7. Yapılan 3 faktörlü tasarım sonuçları da 2 faktörlü tasarım sonuçlarını tasdik etmektedir. Yine 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığı vücudun ıslak ve kuru olmasından bağımsız olarak bütün hız kademelerinde riskli sıcaklıklar olarak tespit edilmiştir. Özellikle 0.6 m/s hava hızında meydana gelen boyun kısıtlılıklarının diğer hız değerlerinde oluşan kısıtlılıklara göre farklılıklar arz ettiği açıktır. 0.4 m/s hava hızında da oluşan boyun hareket kısıtlılıkları küçümsenmeyecek düzeydedir. Yine 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklığı değerlerinde bütün hız kademelerinde hem kuru hem de ıslak halde sırt parçasından yüksek ısı kayıplarının olduğu ve sırt parçası deri sıcaklığının yüksek seviyelerde düştüğü simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir.
8. Deneklere yapılan sorgulamalar neticesinde, riskli olarak tayin edilen 20 °C ve 22 °C ortam sıcaklıkları ile 0.4 m/s ve 0.6 m/s hava hızlarında bulunan deneklerin PMV cevapları ortalamaları -1 değerinin altında çıkmıştır. Yani bu şartlarda bulunan insanlar buldukları ortamı serin olarak hissetmeye başlamışlardır.

Bu çalışma 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. Bahsedilen bu şartlarda vücuttan yüksek ısı kayıpları olmakta ve vücut sırt bölgesi deri sıcaklığı düşmektedir. Boyun hareket açıklıklarındaki azalma bununla ilişkili olabilir. Kas içerisinde miyofasiyal tetik noktaların oluşması durumunda kas geriliminin artacağı, ağrı ve hassasiyet oluşacağı, boyun hareket açıklıklarında ağırlı gerilmelerin meydana gelebileceği Simons (2002) 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. İnsanlar genellikle iklimlendirilen ortamlara sıcak ve nemli dış ortam şartlarından terli olarak, yani vücutları ıslak halde iken girebilmektedir. Çalışma bulgularından görülebileceği üzere, vücut ıslak haldeyken ısı kayıpları kuru vücut haline göre oldukça yüksek olmakta, yine sırt bölgesi deri sıcaklığı düşümü de kuru hale göre daha fazla olmaktadır. Çalışmada bazı istatistik analizlerde ıslak halde meydana gelen boyun hareket açıklıklarındaki azalmanın kuru hale göre daha fazla olduğu da görülebilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, iklimlendirilen ortamlar için 24 °C' nin altında iç ortam sıcaklığı olması durumunda veya ortamı kullanan insanların boyun ve sırt çevresindeki hava hızlarının 0.2 m/s değerinin üzerine çıkması halinde boyun hareketlerinde kısıtlılıklar oluşabileceğini göstermektedir. Çok net olmasa da terli halde riskin biraz daha fazla olduğu da söylenebilir. Boyun hareket kısıtlılıklarına sebep olan bahsedilen bu şartlar, mevcut standartlarda verilen konfor aralıklarının dışında fakat konfor bölgesine yakın şartlardır. Bu durumda elde edilen sonuçlar şunu da göstermektedir ki, konfor bölgesine yakın olan bu konforsuz şartlarda yaşayan ve çalışan insanlar, kendilerini yalnızca konforsuz hissetmeyecek, boyun hareket açıklıklarında da kısıtlılıklar oluşabilecektir.

Günümüzde klimatize edilen ortamlar, bu hacimleri kullanan insanlara, iç ortam şartlarını kontrol etme imkanı tanımamaktadır. Bu nedenle iklimlendirilen ortamın projelendirilmesinde ve daha sonra işletilmesinde bazı noktalara özen gösterilmesi önemlidir. Benzer şekilde otomobillerde de, ortam sıcaklığı çok düşük değerlere ayarlanabilmekte, küçük kabin içerisinde insan çevresindeki hava hızları yüksek

değerler alabilmektedir. Özellikle günümüzde yaygın olarak kullanılabilen çok çeşitli kontrol üniteleri ile iç ortam sıcaklığının 24 °C altına düşürülmemesi projelendirme sırasında düşünülmelidir. Bunun yanı sıra, bireysel kullanımda iklimlendirme cihazının, toplu hacimlerde ve taşıtlarda ise hava dağıtım menfezlerinin konumu, insan boyun ve sırt bölgesindeki hava hızını 0.2 m/s' nin üzerine çıkarmayacak şekilde ayarlanması gereklidir. Zira bu şartların sağlanamaması durumunda boyun hareket kısıtlılıklarının oluşabileceği çalışma bulguları ile sabittir.

Mevcut çalışma sınırlı sayıda denek ile yapılmış olsa da, konu üzerine daha başka ayrıntılı bir çalışma olmaması nedeniyle, konu hakkında ön fikir vermesi bakımından oldukça önemlidir. Denek sayısının artırılması ile daha net sonuçların alınabileceği de aşikardır. Bunun yanı sıra, deneyler sırasında, ilk ölçüm deneyden hemen önce yapılmış ve boyun hareket açıklıklarındaki açı kaybı deneyden 2 saat sonra ve bir gün sonra yapılan ölçümler ile tayin edilmiştir. Deneyden 2 saat sonra yapılan ölçüm, denek bahsedilen 2 saat boyunca laboratuvar şartlarında kontrollü olarak bekletildiği için daha güvenlidir. Fakat bir gün sonra yapılacak ölçüm için, bahsedilen bir gün içinde deneğin yaşantısını tam olarak kontrol etmek mümkün değildir. Yine de denekler deneyler hakkında bilgilendirilmiş, deneklerden deneyler esnasında iklimlendirme şartları dışında miyofasiyal tetik nokta oluşumuna bağlı olabilecek boyun hareket kısıtlılıklarına yol açabilecek etkinlikler veya boyun ve sırt bölgesinde aşırı yüklenme durumu oluşturabilecek hallerden kaçınması istenmiştir. Ağrı kesici, kaplıca, masaj ve sıcak uygulama gibi çeşitli tedavi yöntemlerinin kullanılmaması ve bunun yanı sıra deneyler boyunca aşırı sıcak ve soğuk ortamlarda bulunulmamasına özen gösterilmesi konusunda denekler bir bilgilendirme formu ile uyarılmıştır. Tüm bunlara rağmen, deneğin yaşamını tamamen kontrol almak ve iklimlendirme dışında boyun hareket kısıtlılıklarına yol açabilecek veya bunları engelleyecek diğer şartlardan deneği tamamen soyutlamak oldukça güçtür. Bu nedenle de daha fazla denek kullanımı, istatistiksel hata payını azaltmak ve daha hassas sonuçlar elde etmek yolunda önemli bir adım olacaktır. Bunun yanı sıra, deneyler esnasında tek tip elbise kullanılmıştır. Deneklerin kullandığı giysi tipinin de mevcut sonuçları etkileyebilecek nitelikte olduğu unutulmamalıdır. Gerek deneysel metodoloji, gerekse bahsedilen kısıtlılıklar ile ilgili bu tavsiyeler bundan sonra yapılabilecek çalışmalara ışık tutacak ve daha hassas sonuçlara ulaşılmasına katkıda bulunacaktır.

5. KAYNAKLAR

AGARWAL, S., G.T. ALLISON, K.P. SINGER. 2005(a). Validation of the spin – T goniometer, a cervical range of motion device. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(8): 604 – 609.

AGARWAL, S., G.T. ALLISON, K.P. SINGER. 2005(b). Reliability of the spin – T cervical goniometer in measuring cervical range of motion in an asymptomatic Indian population. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(7): 487 – 492.

ANONİM. 1993. ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers. 29p.

ANONİM. 1994. ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, Switzerland.

ANONİM. 2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004.

ARENS, E., H. ZHANG, C. HUIZENGA. 2006(a). Partial and whole – body thermal sensation and comfort – part I: uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31: 53 – 59.

ARENS, E., H. ZHANG, C. HUIZENGA. 2006(b). Partial and whole – body thermal sensation and comfort – part II: non – uniform environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, 31: 60 – 66.

ATMACA, İ., A. YİĞİT, K. SİVRİOĞLU. 2006. İklimlendirme Parametrelerinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. TTMD VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 8 – 10 Mayıs 2006, İstanbul.

ATMACA, İ., A. YİĞİT. 2005. İklimlendirilen Ortamlar için Isıl Konforun Geçici Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi. *Makine Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 88: 61 – 71.

ATMACA, İ., A. YİĞİT. 2006. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*, 31: 442 – 452.

ATMACA, İ., Ö. KAYNAKLI, A. YİĞİT. 2005. Çeşitli Metabolik Aktivite Düzeyleri için Isıl Konfor ve Üretkenliğin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25 (1): 9 – 16.

BERGLUND, L.G. 1998. Comfort and humidity. *ASHRAE Journal*, 40 (8): 35-41.

BUTERA, F.M. 1998. Chapter 3 – Principles of Thermal Comfort. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2:39 – 66.

- CENA, K., R. DEAR. 2001. Thermal Comfort and Behavioural Strategies in Office Buildings Located in a Hot – Arid Climate. *Journal of Thermal Biology*, 26: 409 – 414.
- CENGEL, Y.A. 1998. *Heat Transfer a Practical Approach*. McGraw-Hill, p.699 – 794.
- DAVIDOFF, R.A. 1998. Trigger points and myofascial pain: toward understanding how they affect headaches. *Cephalalgia*, 18: 436 – 448.
- ERKAN, N. 1997. *Ergonomi. Milli Produktivite Merkezi Yayınları No: 373*, Ankara, 295s.
- FANGER, P.O. 2001. Human requirements in future air – conditioning environments. *International Journal of Refrigeration*, 24: 148 – 153.
- FOUNTAIN M.C., E. ARENS, T. XU, F.S. BAUMAN, M. OGURU. 1999. An Investigation of thermal comfort at high humidities. *ASHRAE Transactions*, 94: 94-103.
- GAGGE, A.P., A.C. BURTON, H.C. BAZETT. 1941. A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment. *Science, New series*, 94 (2445): 428 – 430.
- GAGGE, A.P., A.P. FOBELETS, L.G. BERGLUND. 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, 92 (2B): 709 – 731.
- GAGGE, A.P., J.A.J. STOLWIJK, Y. NISHI. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, 77 (1): 247 – 257.
- HAGHGHAT, F., G. DONNINI. 1999. Impact of Psycho – social Factors on Perception of the Indoor Air Environment Studies in 12 Office Buildings. *Building and Environment*, 34: 479 – 503.
- HARDY, J.D., J.A.J. STOLWIJK. 1966. Partitional calorimetric studies of man during exposures to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21(6): 1799 – 1806.
- HAVENITH, G., I. HOLMER, K. PARSONS. 2002. Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production. *Energy and Buildings*, 34: 581 – 594.
- HAYNES, M.J., S. EDMONDSTON. 2002. Accuracy and reliability of a new, protractor – based neck goniometer. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 25(9): 579 – 586.
- HICKS, C.R. 1982. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. Saun College Publishing, 425 p.

- HOLZ, R., A. HOURIGAN, R. SLOOP, P. MONKMAN, M. KRARTI. 1997. Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort. *Building and Environment*, 32(1): 31 –43.
- HUIZENGA, C., Z. HUI, E. ARENS. 2001. A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments. *Building and Environment*, 36: 691 – 699.
- HUIZENHA, C., H. ZHANG, E. ARENS, D. WANG. 2004. Skin and core temperature response to partial and whole – body heating and cooling. *Journal of Thermal Biology*, 29: 549 – 558.
- JORDAN, K., K. DZIEDZIC, P.W. JONES, B.N. ONG, P.T. DAWES. 2000. The reliability of the three – dimensional FASTRAK measurement system in measuring cervical spine and shoulder range of motion in healthy subjects. *Rheumatology*, 39: 382 – 388.
- KAHLE, W., H. LEONHARDT, W. PLATZER. 1992. Color atlas / Text of human anatomy, Vol.1: Locomotor system. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany, p.1 – 33.
- KAYNAKLI, Ö., E. PULAT, M. KILIÇ. 2005. Thermal comfort during heating and cooling periods in an automobile. *Heat and Mass Transfer*, 41: 449 – 458.
- KAYNAKLI, O., M. KILIÇ. 2005. Investigation of indoor thermal comfort under transient conditions. *Building and Environment*, 40: 165 – 174.
- KAYNAKLI, O., Ü. UNVER , M. KILIÇ. 2003. Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 30 (8): 1179 – 1188.
- LEWIS, J., P. TEHAN. 1999. A blinded pilot study investigating the use of diagnostic ultrasound for detecting active myofascial trigger points. *Pain*, 79: 39 – 44.
- McCULLOUGH, E.A., B.W. JONES, T. TAMURA. 1989. A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing. *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316 – 328.
- McQUISTON, F.C. and J.D. PARKER. 1994. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design. Fourth ed., John Wiley & Sons, New York, p.100 – 136.
- MOFFAT, R.J. 1988. Describing the uncertainties in experimental results. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1: 3 – 17.
- MOHAMED, S., K. SRINAVIN. 2002. Thermal Environment effects on Construction Workers' productivity, *Work Study*, 51(6): 297 – 302.

OLESEN, B.W., K.C. PARSONS. 2002. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*, 34: 537 – 548.

OLESEN, B.W., Y. HASEBE, R.J. de DEAR. 1988. Clothing insulation asymmetry and thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 94(1): 32 – 51.

RAVEN, P.R., S.M. HORVATH. 1970. Variability of physiological parameters of unacclimatized males during a two-hour cold stress of 5 °C. *International Journal of Biometeorology*, 14(3): 309-320.

REINIKAINEN, L.M., J.J.K. JAAKKOLA. 2003. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*, 13: 344 – 352.

ROWE, D.M. 2001. Activity Rates and Thermal Comfort of Office Occupants in Sydney. *Journal of Thermal Biology*, 26: 415 – 418.

SAKOI, T., T. MOCHIDA, T. HORIKOSHI, J. ISHII. 2002. A proposal of evaluation method for configuration factor on human body. 8th International Conference on Air Distribution in Rooms 2002, Copenhagen, Denmark.

SEPPANEN, O., W.J. FISK. 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air*, 12: 98 – 112.

SIMONS, D.G. 2002. Understanding Effective Treatments of Myofascial Trigger Points. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 6(2), 81 – 88.

SORENSEN, D.N. 2002. Radiation between segments of the seated human body. 8th International Conference on Air Distribution in Rooms 2002, Copenhagen, Denmark.

SRINAVIN, K., S. MOHAMED. 2003. Thermal Environment and Construction Workers' Productivity: Some Evidence from Thailand. *Building and Environment*, 38: 339 – 345.

STOLWIJK J.A.J., J.D. HARDY. 1966. Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *Journal of Applied Physiology*, 21 (3): 967 – 977.

STOLWIJK J.A.J. 1970. Mathematical model of thermoregulation, physiological and behavioural regulation. Charles C. Thomas Publication, p. 703 – 721.

STOLWIJK J.A.J. 1971. A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA, CR – 1855.

TANABE, S., E.A. ARENS, F.S. BAUMAN, H. ZHANG, T.L. MADSEN. 1994. Evaluating Thermal Environments by Using a Thermal Manikin with Controlled Skin Surface Temperature. *ASHRAE Transactions*, 100(1): 39 – 48.

TANABE, S., K. KOBAYASHI, J. NAKANO, Y. OZEKI, M. KONISHI. 2002. 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.

TODDE, V. 2000. Perception and Sensitivity to Horizontal Turbulent Air Flows at the Head Region. *Indoor Air*, 10: 297 – 3005.

TOFTUM J., A.S. JORGENSEN, P.O. FANGER. 1998 (a). Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin, *Energy and Buildings*, 28: 1 – 13.

TOFTUM J., A.S. JORGENSEN, P.O. FANGER. 1998 (b). Upper limits for air humidity to preventing warm respiratory discomfort, *Energy and Buildings*, 28: 15 – 23.

TOFTUM J., P.O. FANGER. 1999. Air humidity requirements for human comfort. *ASHRAE Transactions*, 99: 641-647.

TOFTUM, J. 2002. Human Response to Combined Indoor Environment Exposures. *Energy and Buildings*, 34: 601 – 606.

TOUSIGNANT, M., L. BELLEFEUILLE, S. O'DONOUGHUE, S. GRAHOVAC. 2000. Criterion validity of the cervical range of motion (CROM) goniometer for cervical flexion and extension. *Spine*, 25(3): 324 – 330.

UYAR, M. 2000. Miyofasiyal ağrı sendromu ve diğer muküloskeletal kökenli ağrılar. In: Erdine S (Ed). *Ağrı*. Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, s.387 – 396.

WARGOCKI, P., D.P. WYON, J. SUNDELL, G. CLAUSEN, P.O. FANGER. 2000. 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.

WARGOCKI, P., L. LAGERCRANTZ, T. WITTERSEH, J. SUNDELL, D.P. WYON, P.O. FANGER. 2002. Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. *Indoor Air*, 12: 74 – 80.

WOLFENBERGER, V.A., Q. BUI, G.B. BATENCHUK. 2002. A comparison of methods of evaluating cervical range of motion. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 25(3): 154 – 160.

YANG, K.H., C.H. SU. 1997. An approach to building energy savings using the PMV index. *Building and Environment*, 32(1): 25 – 30.

YI, L., L. FENGZHI, L. YINGXI, L. ZHONGXUAN. 2004. An Integrated Model for Simulating Interactive Thermal Processes Human – Clothing System. *Journal of Thermal Biology*, 29: 567 – 575.

YİĞİT, A. 1998. The Computer – Based Human Thermal Model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 25(7): 969 – 977.

YİĞİT, A. 1999. Combining Thermal Comfort Models. ASHRAE Transactions, 105(1): 149 - 156.

YİĞİT, A., İ. ATMACA. 2005. The Investigation of Relative Humidity Effect on Thermal Comfort. Turkish Society of HVAC – Sanitary Engineers Journal, 2: 37 – 41.

YİĞİT, A., İ. HORUZ. 1996. Isıl Konfor Modellerinin Birleştirilmesi. 4. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi: s.210 – 218.

EK – 1 KUMAŞ TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK ISIL ve BUHARLAŞMA DİRENÇLERİ

Kumaş Tanımı	Kalınlık (mm)	Isıl Direnci (m²°C/W)	Buharlaşma Direnci (m²kPa/W)
RL örme kumaş, %100 pamuk	1.270	0.036	0.0040
Çözümlü örme kumaş, %100 naylon	0.356	0.011	0.0014
Rib örme kumaş, %50 pamuk %50 polyester	2.184	0.055	0.0060
Astar örgülü örme kumaş, %50 pamuk %50 polyester	3.658	0.103	0.0106
İnce pamuklu bezayağı dokuma kumaş, %60 pamuk %40 polyester	0.584	0.024	0.0024
Çözümlü örme kumaş, %80 triasetat %20 naylon	1.727	0.049	0.0046
Bezayağı dokuma kumaş, %100 polyester	0.152	0.011	0.0009
İnce bezayağı dokuma kumaş, %65 polyester, %35 pamuk	0.533	0.025	0.0024
Sepet örgülü dokuma kumaş, %60 pamuk %40 polyester	0.660	0.024	0.0027
Şardonlu bezayağı dokuma kumaş, %80 pamuk %20 polyester	1.422	0.047	0.0052
RL örme kumaş, %100 pamuk	1.575	0.036	0.0052
RR örme kumaş, %65 polyester %35 pamuk	1.118	0.039	0.0039
RL örme kumaş, %50 pamuk %50 polyester	1.194	0.043	0.0042
Fitilli kadife kumaş, %75 pamuk %25 polyester	1.880	0.041	0.0065
Poplin kumaş, %60 pamuk %40 polyester	0.787	0.026	0.0041
Denim kumaş, %100 pamuk	1.778	0.037	0.0066
Denim kumaş, %64 pamuk %36 polyester	1.422	0.034	0.0055
Bezayağı dokuma kumaş, %100 pamuk	0.965	0.025	0.0044
Dimi dokuma kumaş, %100 polyester	0.889	0.020	0.0030
RL örme kumaş, %65 polyester %35 pamuk	1.727	0.046	0.0059
Bezayağı dokuma kumaş, %50 yün %50 polyester	1.727	0.049	0.0055
Astarlık bezayağı kumaş, %100 polyester	0.102	0.008	0.0018
Gabardin dimi dokuma kumaş, %65 polyester %35 pamuk	0.702	0.024	0.0044
Gabardin dimi dokuma kumaş, %65 polyester %35 pamuk	0.864	0.033	0.0040
Battaniye, %100 naylon kumaş, %100 polyester lifle içi doldurulmuş	6.706	0.158	0.0152
Balıksırtı dokuma kumaş, %100 polyester	0.229	0.012	0.0055
Şardonlanmış bezayağı dokuma kumaş, %100 yün	2.464	0.061	0.0079
Saten kumaş %100 güç tutuşur pamuk,	1.372	0.034	0.0053
Saten kumaş, %100 modakrilik	0.838	0.034	0.0038

Kumaş tanımı	Kalınlık (mm)	Isıl direnci (m²C/W)	Buharlaştırma Direnci (m²kPa/W)
Dokusuz yüzey kumaş, spunbonded, %100 olefin	0.330	0.027	0.0163
Bezayağı dokuma kumaş, %100 nomex aramid	0.787	0.030	0.0035
Neoprin kaplama naylon bezayağı dokuma kumaş	0.559	0.052	0.3542
Her iki tarafı %100 PVC vinil kaplamalı bezayağı naylon dokuma kumaş,	0.457	0.016	0.3489
PVC kaplamalı polyester örme kumaş,	0.559	0.024	0.3575
Bezayağı dokuma kumaş, Gore-tex ile lamine edilmiş %100 polyester	0.229	0.011	0.0052
Tafta dokuma kumaş, %100 naylon	0.152	0.017	0.0047
Triko kumaş, %100 naylon	0.305	0.013	0.0007
Çorap, rib örme, %75 hacimli orlon akrilik, %25 esnek naylon	3.353	0.086	0.0083
Spor çorabı, rib örme, %80 pamuk %8 akrilik, %7 naylon %5 elestan	3.480	0.070	0.0076
Ayakkabı, vinil	2.700		0.0790
Spor ayakkabı, dokuma kumaş, vinil, örme	3.500		0.0520
İş ayakkabısı, deri	3.200		0.0470
Terlik, vinil, köpük, örme	3.500		0.1030
Sandalet, vinil	4.300		0.126

Kaynak: McCullough ve ark. (1989)

EK – 2 SİMÜLASYON PROGRAMI

```

C-----ISIL KONFOR CALISMASI--VUCUT 16 PARCAYA AYRILARAK INCELENMISTIR---
  DIMENSION ALAN(16),CR(16),EMAX(16),ESK(16),AG(16),XW(16),XXW(16),
  %QCRSK(16),Q(16),QE(16),QS(16),TSK(16),TCR(16),TR(16),FP(16,7),
  %CERES(16),TO(16),QTOP1(16)
  DIMENSION XKUMAS(44,2),XMBS(8,17),XMSC(8,17),RT(16),RET(16),
  %SCR(16),SSK(16),XL(16)
  OPEN(2,FILE='KONFOR')
    OPEN(4,FILE='ISLAKLIK')
    OPEN(5,FILE='SICAKLIK')
    OPEN(7,FILE='ISINSIC')
    OPEN(8,FILE='OPESIC')
    OPEN(41,FILE='SIRTDUY')
    OPEN(42,FILE='SIRTGIZ')
    OPEN(43,FILE='SIRTSOL')
    OPEN(44,FILE='SIRTSIC')
    OPEN(45,FILE='SIRTTOP')
    OPEN(46,FILE='SIRTISL')
    OPEN(47,FILE='SIRTSON')
  C    OPEN(UNIT=11,FILE='AKONFOR.txt',STATUS='UNKNOWN')
C-----
C  VUCUT PARCALARI ICIN ALANLARIN BELIRLENMESI VE BAZI SABIT DEGERLER
  DATA ALAN/0.056,0.056,0.112,0.112,0.209,0.209,0.221,0.140,
  %0.050,0.050,0.063,0.063,0.096,0.096,0.175,0.161/
  DATA AD,KUT/1.869,74/
  DATA AG/0.480,0.480,3.343,3.343,7.013,7.013,17.570,4.020,
  %0.335,0.335,1.373,1.373,2.163,2.163,12.400,11.030/
C-----
C  ILK DURUM ICIN CEVRE ORTAMA AIT DEGERLER
  TC=22
  BN=0.50
  XMACT=60
  XV=0.6
C-----
C-----CESITLI GIYIMLER ICIN HER VUCUT PARCASININ DIRENCININ HESABI-----
  DATA XKUMAS/0.036,0.011,0.055,0.103,0.024,0.049,0.011,0.025,0.024,
  %0.047,0.036,0.039,0.043,0.041,0.026,0.037,0.034,0.025,0.020,
  %0.046,0.049,0.008,0.024,0.033,0.158,0.012,0.061,0.034,0.034,
  %0.027,0.030,0.052,0.016,0.024,0.011,0.017,0.013,0.086,0.070,
  %0.08,0.,0.,0.,0.,
  %0.0040,0.0014,0.0060,0.0106,0.0024,0.0046,0.0009,0.0024,0.0027,
  %0.0052,0.0052,0.0039,0.0042,0.0065,0.0041,0.0066,0.0055,0.0044,
  %0.0030,0.0059,0.0055,0.0018,0.0044,0.0040,0.0152,0.0055,0.0079,
  %0.0053,0.0038,0.0163,0.0035,0.3542,0.3489,0.3575,0.0052,0.0047,
  %0.0007,0.0083,0.0076,0.079,0.052,0.047,0.103,0.126/
  DATA XMBS/2*1,8,2*21,14,38,40,7,15,11,7,15,3,2*1,0,16,12,11,16,4,
  %2*2,2*0,13,12,0,5,2*0,2*0,14,13,0,6,2*0,2*0,15,14,0,7,2*0,2*0,16,
  %15,4*0,3*0,16,4*0,72*0/
  DATA XMSC/1,8,15,1,4*0,7,13,3,1,4*0,0,14,4,2,4*0,0,15,5,
  %5*0,0,16,6,5*0,2*0,7,5*0,88*0/
  DATA XHR,TA,XK,AA,BB/4,9,1,3,24,0,0.0334,15,0/
  IF (XV.GT.0.AND.XV.LE.0.2) THEN
  XHC=3.1
  ENDIF
  IF (XV.GT.0.2.AND.XV.LT.4) THEN

```

```

XHC=8.3*(XV**0.6)
ENDIF
C  WRITE(2,*)"TASINIM KATSAYISI',XHC
WRITE(2,*)"SICAKLIK---NEM---HIZ---MET',TC,BN,XV,XMACT
RA=1/(XHC+XHR)
RAL=1/(XHR+(XK/TA))
WRITE(2,*)"RA,RAL',RA,RAL
REA=1/(16.5*XHC)
REAL=AA*(1-EXP(-TA/BB))
WRITE(2,*)"REA,REAL',REA,REAL
CALL KDIR(XMSC,RAL,RA,XKUMAS,RT)
CALL BDIR(XMSC,REA,REAL,XKUMAS,RET)
WRITE(2,*)"KURU DIRENCLER'
WRITE(2,*)RT
WRITE(2,*)"ISLAK DIRENCLER'
WRITE(2,*)RET
C-----
C  OPARATIF SICAKLIGIN TAYINI
      TF=TC
      TBW=TC
      TRW=TC
      TBG=TC
C*****TAVAN SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****ON DUVAR (GUNEY) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****SOL DUVAR (BATI) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C  DATA TCE,TFW,TLW/29.88731,25.96623,24.96618/
      TCE=TC
      TFW=TC
      TLW=TC
C*****
DATA FP/2*51.452,2*36.883,2*34.688,23.676,9.579,2*31.296,2*17.647,
%2*12.324,11.606,14.156,2*6.011,2*4.424,2*10.252,8.201,20.523,
%2*3.540,2*6.788,2*11.868,14.310,12.855,2*11.191,2*17.960,2*10.816,
%10.953,12.869,2*8.779,2*13.802,2*14.086,30.938,0.930,2*4.651,
%2*6.745,2*4.186,24.528,15.428,2*9.814,2*13.029,2*17.403,0.869,
%41.202,13.346,6.892,15.246,8.039,15.403,5.101,10.076,16.283,
%16.403,2.341,19.834,3.084,23.152,1.822,11.853,9.945,6.892,
%13.346,8.039,15.246,5.101,15.403,9.955,16.156,2.341,16.403,
%3.084,19.834,1.822,23.152,12.560,9.374,2*6.45,2*10.70,2*19.55,
%12.61,9.16,2*27.83,2*25.82,2*19.35,17.86,11.54/
      TRT=0
      TOT=0
      DO 3 K=1,16
          TR(K)=TF*(FP(K,1)/100)+TCE*(FP(K,2)/100)+TFW*(FP(K,3)/100)
          %+TBW*(FP(K,4)/100)+TLW*(FP(K,5)/100)+TRW*(FP(K,6)/100)
          %+TBG*(FP(K,7)/100)
          TRT=TRT+(TR(K)*ALAN(K))
          TO(K)=(XHR*TR(K)+XHC*TC)/(XHR+XHC)
          TOT=TOT+(TO(K)*ALAN(K))
          WRITE(7,*) TR(K)
          WRITE(8,*) TO(K)
3 CONTINUE
      TRORT=TRT/AD
      TOORT=TOT/AD
      WRITE(2,*)"ORTALAMA ISINIM SICAKLIKLARI'
      WRITE(2,*) TRORT
      WRITE(2,*)"ORTALAMA OPARATIF SICAKLIK'
      WRITE(2,*) TOORT

```

```

WRITE(2,*)'ISINIM SICAKLIKLARI'
WRITE(2,*) TR
WRITE(2,*)'OPARATIF SICAKLIK'
WRITE(2,*) TO
C-----
      TSKORT=33.84
      TCRORT=35.94
      CALL DESIN(XMACT,TSKORT,TCRORT,ERSW,XM,XMBL,ALFA,TB)
C-----VUCUT BASLANGIC SICAKLIKLARI-----
      DATA TSK/33.9,33.9,33.4,33.4,33.8,33.8,33.4,35.6,35.2,35.2,34.6,
      %34.6,33.4,33.4,33.6,33.2/
      DATA TCR/35.1,35.1,35.6,35.6,35.8,35.8,36.3,36.9,35.4,35.4,35.5,
      %35.5,35.8,35.8,36.5,36.5/
C-----ZAMAN DONGUSU BASLIYOR-----
      PMVT=0
      M=0
      8 M=M+1
      IF (M.GT.7200) GOTO 11
      QT=0
      QET=0
      QST=0
      TSKT=0
      TCRT=0
      ATOP=0
      WSK=0
      EMAXT=0
      XLT=0
C   VUCUT PARCALARI ICIN SAYAC
      DO 9 K=1,16
C   DERIDEN DUYULUR ISI KAYBI
      CR(K)=(TSK(K)-TO(K))/RT(K)
C-----
C   BASINCLARIN BULUNMASI
      T1=TSK(K)
      DBSK=DYBA(T1)
      DBA=DYBA(TC)
      PA=DBA*BN
      PSKS=DBSK
C   WRITE(2,*)'PA,PSKS',PA,PSKS
C-----
C-----DERIDEN BUHARLASMA ILE ISI KAYBININ HESABI-----
      EMAX(K)=(PSKS-PA)/RET(K)
C   WRITE(2,*)'EMAX(K)',EMAX(K)
      XW(K)=0.06+((0.94*ERSW)/EMAX(K))
C   WRITE(2,*)'XW(K)',XW(K)
      IF (XW(K).GT.1) THEN
      XXW(K)=1
      ELSE
      XXW(K)=XW(K)
      ENDIF
      IF (XXW(K).LT.0) XXW(K)=0
C   WRITE(2,*)'XXW(K)',XXW(K)
      ESK(K)=XXW(K)*EMAX(K)
C-----
C   SOLUNUM KAYIPLARININ HESABI
      CERES(K)=((0.0014*XM*(34-TC))+((0.0173*XM*(5.87-PA)))/AD)
C-----
C   IC VUCUTTAN DERIYE PASIV OLARAK (DOGRUDAN TEMAS) ILE ISI GECISI

```



```

      QCRSK(K)=(5.28+(4187*XMBL))*(TCR(K)-TSK(K))
C   WRITE(2,*)'QCRSK(K)',QCRSK(K)
C-----
C   IKI BOLMELI ANLIK ENERJI DENGESI MODELİ
      SCR(K)=XM-CERES(K)-QCRSK(K)
C   WRITE(2,*)'SCR',SCR
      SSK(K)=QCRSK(K)-CR(K)-ESK(K)
C   WRITE(2,*)'SSK',SSK
      XL(K)=XM-CR(K)-ESK(K)-CERES(K)
      XLT=XLT+XL(K)
C-----
C   YENİ SICAKLIGIN BULUNMASI
      DTCR=(SCR(K)*ALAN(K))/((1-ALFA)*AG(K)*3490)
      DTSK=(SSK(K)*ALAN(K))/(ALFA*AG(K)*3490)
      TSK(K)=TSK(K)+DTSK
      TCR(K)=TCR(K)+DTCR
C-----TOPLAMLARIN TESPITI-----
      TSKT=TSKT+(TSK(K)*ALAN(K))
      TCRT=TCRT+(TCR(K)*ALAN(K))
      WSK=WSK+(XXW(K)*ALAN(K))
      ATOP=ATOP+ALAN(K)
      Q(K)=CR(K)*ALAN(K)
      QE(K)=ESK(K)*ALAN(K)
      QS(K)=CERES(K)*ALAN(K)
      QTOP1(K)=CR(K)+ESK(K)+CERES(K)
      QT=QT+Q(K)
      QET=QET+QE(K)
      QETW2=QET/AD
      QST=QST+QS(K)
      QTOP=QT+QET+QST
9 CONTINUE
      WRITE(41,*) CR(16)
      WRITE(42,*) ESK(16)
      WRITE(43,*) CERES(16)
      WRITE(44,*) TSK(16)
      WRITE(45,*) QTOP1(16)
      WRITE(46,*) XXW(16)
      PMV1=EXP(-0.036*XM)
      PMV2=0.303*PMV1
      PMV=PMV2*XLT
      PMVT=PMVT+PMV
      TSKORT=TSKT/ATOP
      TCRORT=TCRT/ATOP
      WSKORT=WSK/ATOP
      CALL DESIN (XMACT,TSKORT,TCRORT,ERSW,XM,XMBL,ALFA,TB)
      GO TO 8
11   PMVORT=PMVT/3600
      WRITE(47,*) TSK(16)
      WRITE(47,*) QTOP1(16)
      WRITE(47,*) XXW(16)
      WRITE(47,*) CR(16)
      WRITE(47,*) ESK(16)
      WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI AKISI (W/M2)'
      WRITE(2,*) CR
      WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI AKISI (W/M2)'
      WRITE(2,*) ESK
      WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISI AKISI (W/M2)'
      WRITE(2,*) CERES

```

```

WRITE(2,*)QCRSK (W/M2)'
WRITE(2,*) QCRSK
WRITE(2,*)'SCR (W/M2)'
WRITE(2,*) SCR
WRITE(2,*)'SSK (W/M2)'
WRITE(2,*) SSK
WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI'
WRITE(2,*) Q
WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI'
WRITE(2,*) QE
WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISISI'
WRITE(2,*) QS
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN DUYULUR ISI'
WRITE(2,*) QT
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI'
WRITE(2,*) QET
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI (W/M2)'
WRITE(2,*) QETW2
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN SOLUNUM ISISI'
WRITE(2,*) QST
WRITE(2,*)'VUCUTTAN ATILAN TOPLAM ISI'
WRITE(2,*) QTOP
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI SICAKLIGI',TSKORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA KOR SICAKLIGI',TCRORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI ISLAKLIGI',WSKORT
WRITE(2,*)'PMVORT',PMVORT
WRITE(2,*)'XXW'
WRITE(2,*) XXW
WRITE(2,*)'TSK'
WRITE(2,*) TSK
WRITE(2,*)'TCR'
WRITE(2,*) TCR
XRT=(TSKORT-TC)*AD/QT
WRITE(2,*)'ORTALAMA TOPLAM KURU DIRENC XRT',XRT
DBORT=DYBA(TSKORT)
PSKORT=DBORT
XRET=(PSKORT-PA)*AD*WSKORT/QET
WRITE(2,*)'ORTALAMA ISLAK TOPLAM DIRENC XRET',XRET
XH=XHC+XHR
WRITE(2,*)'TOPLAM KATSAYI',XH
XRCL=XRT-(1/(1.15*XH))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISIL DIRENCI',XRCL
XHE=XHC*16.5
XRECL=XRET-(1/(1.15*XHE))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISLAK DIRENCI',XRECL
WRITE(2,*)'-----'
WRITE(2,*)'-----'
WRITE(2,*)'-----'
C   IKINCI DURUM ICIN CEVRE ORTAMA AIT DEGERLER
    TC=24
    BN=0.80
    XMACT=60
    XV=0.2
C-----
C-----CESITLI GIYIMLER ICIN HER VUCUT PARCASININ DIRENCININ HESABI-----
DATA XKUMAS/0.036,0.011,0.055,0.103,0.024,0.049,0.011,0.025,0.024,
%0.047,0.036,0.039,0.043,0.041,0.026,0.037,0.034,0.025,0.020,
%0.046,0.049,0.008,0.024,0.033,0.158,0.012,0.061,0.034,0.034,

```

```

%0.027,0.030,0.052,0.016,0.024,0.011,0.017,0.013,0.086,0.070,
%0.08,0.,0.,0.,
%0.0040,0.0014,0.0060,0.0106,0.0024,0.0046,0.0009,0.0024,0.0027,
%0.0052,0.0052,0.0039,0.0042,0.0065,0.0041,0.0066,0.0055,0.0044,
%0.0030,0.0059,0.0055,0.0018,0.0044,0.0040,0.0152,0.0055,0.0079,
%0.0053,0.0038,0.0163,0.0035,0.3542,0.3489,0.3575,0.0052,0.0047,
%0.0007,0.0083,0.0076,0.079,0.052,0.047,0.103,0.126/
DATA XMBS/2*1,8,2*21,14,38,40,7,15,11,7,15,3,2*1,0,16,12,11,16,4,
%2*2,2*0,13,12,0,5,2*0,2*0,14,13,0,6,2*0,2*0,15,14,0,7,2*0,2*0,16,
%15,4*0,3*0,16,4*0,72*0/
DATA XMSC/1,8,15,1,4*0,7,13,3,1,4*0,0,14,4,2,4*0,0,15,5,
%5*0,0,16,6,5*0,2*0,7,5*0,88*0/
DATA XHR,TA,XK,AA,BB/4.9,1.3,24.0,0.0334,15.0/
IF (XV.GT.0.AND.XV.LE.0.2) THEN
XHC=3.1
ENDIF
IF (XV.GT.0.2.AND.XV.LT.4) THEN
XHC=8.3*(XV**0.6)
ENDIF
C   WRITE(2,*)'TASINIM KATSAYISI',XHC
WRITE(2,*)'SICAKLIK---NEM---HIZ---MET',TC,BN,XV,XMACT
RA=1/(XHC+XHR)
RAL=1/(XHR+(XK/TA))
WRITE(2,*)'RA,RAL',RA,RAL
REA=1/(16.5*XHC)
REAL=AA*(1-EXP(-TA/BB))
WRITE(2,*)'REA,REAL',REA,REAL
CALL KDIR(XMSC,RAL,RA,XKUMAS,RT)
CALL BDIR(XMSC,REA,REAL,XKUMAS,RET)
WRITE(2,*)'KURU DIRENCLER'
WRITE(2,*)RT
WRITE(2,*)'ISLAK DIRENCLER'
WRITE(2,*)RET
C-----
C   OPARATIF SICAKLIGIN TAYINI
      TF=TC
      TBW=TC
      TRW=TC
      TBG=TC
C*****TAVAN SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****ON DUVAR (GUNEY) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****SOL DUVAR (BATI) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C   DATA TCE,TFW,TLW/29.88731,25.96623,24.96618/
      TCE=TC
      TFW=TCE
      TLW=TCE
C*****
DATA FP/2*51.452,2*36.883,2*34.688,23.676,9.579,2*31.296,2*17.647,
%2*12.324,11.606,14.156,2*6.011,2*4.424,2*10.252,8.201,20.523,
%2*3.540,2*6.788,2*11.868,14.310,12.855,2*11.191,2*17.960,2*10.816,
%10.953,12.869,2*8.779,2*13.802,2*14.086,30.938,0.930,2*4.651,
%2*6.745,2*4.186,24.528,15.428,2*9.814,2*13.029,2*17.403,0.869,
%41.202,13.346,6.892,15.246,8.039,15.403,5.101,10.076,16.283,
%16.403,2.341,19.834,3.084,23.152,1.822,11.853,9.945,6.892,
%13.346,8.039,15.246,5.101,15.403,9.955,16.156,2.341,16.403,
%3.084,19.834,1.822,23.152,12.560,9.374,2*6.45,2*10.70,2*19.55,
%12.61,9.16,2*27.83,2*25.82,2*19.35,17.86,11.54/
TRT=0

```

```

TOT=0
DO 13 K=1,16
TR(K)=TF*(FP(K,1)/100)+TCE*(FP(K,2)/100)+TFW*(FP(K,3)/100)
%+TBW*(FP(K,4)/100)+TLW*(FP(K,5)/100)+TRW*(FP(K,6)/100)
%+TBG*(FP(K,7)/100)
TRT=TRT+(TR(K)*ALAN(K))
TO(K)=(XHR*TR(K)+XHC*TC)/(XHR+XHC)
TOT=TOT+(TO(K)*ALAN(K))
WRITE(7,*) TR(K)
WRITE(8,*) TO(K)
13 CONTINUE
TRORT=TRT/AD
TOORT=TOT/AD
WRITE(2,*)'ORTALAMA ISINIM SICAKLIKLARI'
WRITE(2,*) TRORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA OPARATIF SICAKLIK'
WRITE(2,*) TOORT
WRITE(2,*)'ISINIM SICAKLIKLARI'
WRITE(2,*) TR
WRITE(2,*)'OPARATIF SICAKLIK'
WRITE(2,*) TO
C-----
WRITE(2,*)'TSKB',TSK
WRITE(2,*)'TCRB',TCR
C-----ZAMAN DONGUSU BASLIYOR-----
PMVT=0
M=0
18 M=M+1
IF (M.GT.7200) GOTO 21
QT=0
QET=0
QST=0
TSKT=0
TCRT=0
ATOP=0
WSK=0
EMAXT=0
XLT=0
C VUCUT PARCALARI ICIN SAYAC
DO 19 K=1,16
C DERIDEN DUYULUR ISI KAYBI
CR(K)=(TSK(K)-TO(K))/RT(K)
C-----
C BASINCLARIN BULUNMASI
T1=TSK(K)
DBSK=DYBA(T1)
DBA=DYBA(TC)
PA=DBA*BN
PSKS=DBSK
C WRITE(2,*)'PA,PSKS',PA,PSKS
C-----
C-----DERIDEN BUHARLASMA ILE ISI KAYBININ HESABI-----
EMAX(K)=(PSKS-PA)/RET(K)
C WRITE(2,*)'EMAX(K)',EMAX(K)
XW(K)=0.06+((0.94*ERSW)/EMAX(K))
C WRITE(2,*)'XW(K)',XW(K)
IF (XW(K).GT.1) THEN
XXW(K)=1

```

```

ELSE
XXW(K)=XW(K)
ENDIF
IF (XXW(K).LT.0) XXW(K)=0
C  WRITE(2,*)'XXW(K)',XXW(K)
  ESK(K)=XXW(K)*EMAX(K)
C-----
C  SOLUNUM KAYIPLARININ HESABI
  CERES(K)=((0.0014*XM*(34-TC))+(0.0173*XM*(5.87-PA)))/AD
C-----
C  IC VUCUTTAN DERIYE PASIV OLARAK (DOGRUDAN TEMAS) ILE ISI GECISI
  QCRSK(K)=(5.28+(4187*XMBL))* (TCR(K)-TSK(K))
C  WRITE(2,*)'QCRSK(K)',QCRSK(K)
C-----
C  IKI BOLMELI ANLIK ENERJI DENGESI MODELİ
  SCR(K)=XM-CERES(K)-QCRSK(K)
C  WRITE(2,*)'SCR',SCR
  SSK(K)=QCRSK(K)-CR(K)-ESK(K)
C  WRITE(2,*)'SSK',SSK
  XL(K)=XM-CR(K)-ESK(K)-CERES(K)
  XLT=XLT+XL(K)
C-----
C  YENI SICAKLIGIN BULUNMASI
  DTCCR=(SCR(K)*ALAN(K))/((1-ALFA)*AG(K)*3490)
  DTSK=(SSK(K)*ALAN(K))/(ALFA*AG(K)*3490)
  TSK(K)=TSK(K)+DTSK
  TCR(K)=TCR(K)+DTCCR
C-----TOPLAMLARIN TESPITI-----
  TSKT=TSKT+(TSK(K)*ALAN(K))
  TCRT=TCRT+(TCR(K)*ALAN(K))
  WSK=WSK+(XXW(K)*ALAN(K))
  ATOP=ATOP+ALAN(K)
  Q(K)=CR(K)*ALAN(K)
  QE(K)=ESK(K)*ALAN(K)
  QS(K)=CERES(K)*ALAN(K)
  QT=QT+Q(K)
  QET=QET+QE(K)
  QETW2=QET/AD
  QST=QST+QS(K)
  QTOP=QT+QET+QST
19 CONTINUE
  PMV1=EXP(-0.036*XM)
  PMV2=0.303*PMV1
  PMV=PMV2*XLT
  PMVT=PMVT+PMV
  TSKORT=TSKT/ATOP
  TCRORT=TCRT/ATOP
  WSKORT=WSK/ATOP
  CALL DESIN (XMACT,TSKORT,TCRORT,ERSW,XM,XMBL,ALFA,TB)
  GO TO 18
21  PMVORT=PMVT/3600
  WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI AKISI (W/M2)'
  WRITE(2,*) CR
  WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI AKISI (W/M2)'
  WRITE(2,*) ESK
  WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISI AKISI (W/M2)'
  WRITE(2,*) CERES
  WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI'

```

```

WRITE(2,*) Q
WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI'
WRITE(2,*) QE
WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISISI'
WRITE(2,*) QS
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN DUYULUR ISI'
WRITE(2,*) QT
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI'
WRITE(2,*) QET
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI (W/M2)'
WRITE(2,*) QETW2
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN SOLUNUM ISISI'
WRITE(2,*) QST
WRITE(2,*)'VUCUTTAN ATILAN TOPLAM ISI'
WRITE(2,*) QTOP
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI SICAKLIGI',TSKORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA KOR SICAKLIGI',TCRORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI ISLAKLIGI',WSKORT
WRITE(2,*)'PMVORT',PMVORT
WRITE(2,*)'XXW'
WRITE(2,*) XXW
WRITE(2,*)'TSK'
WRITE(2,*) TSK
WRITE(2,*)'TCR'
WRITE(2,*) TCR
XRT=(TSKORT-TC)*AD/QT
WRITE(2,*)'ORTALAMA TOPLAM KURU DIRENC XRT',XRT
DBORT=DYBA(TSKORT)
PSKORT=DBORT
XRET=(PSKORT-PA)*AD*WSKORT/QET
WRITE(2,*)'ORTALAMA ISLAK TOPLAM DIRENC XRET',XRET
XH=XHC+XHR
WRITE(2,*)'TOPLAM KATSAYI',XH
XRCL=XRT-(1/(1.15*XH))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISIL DIRENCI',XRCL
XHE=XHC*16.5
XRECL=XRET-(1/(1.15*XHE))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISLAK DIRENCI',XRECL
WRITE(2,*)'-----'
WRITE(2,*)'-----'
WRITE(2,*)'-----'
C UCUNCU DURUM ICIN CEVRE ORTAMA AIT DEGERLER
TC=30
BN=0.40
XMACT=60
XV=0.2
C-----
C-----CESITLI GIYIMLER ICIN HER VUCUT PARCASININ DIRENCININ HESABI-----
-----
DATA XKUMAS/0.036,0.011,0.055,0.103,0.024,0.049,0.011,0.025,0.024,
%0.047,0.036,0.039,0.043,0.041,0.026,0.037,0.034,0.025,0.020,
%0.046,0.049,0.008,0.024,0.033,0.158,0.012,0.061,0.034,0.034,
%0.027,0.030,0.052,0.016,0.024,0.011,0.017,0.013,0.086,0.070,
%0.08,0.,0.,0.,
%0.0040,0.0014,0.0060,0.0106,0.0024,0.0046,0.0009,0.0024,0.0027,
%0.0052,0.0052,0.0039,0.0042,0.0065,0.0041,0.0066,0.0055,0.0044,
%0.0030,0.0059,0.0055,0.0018,0.0044,0.0040,0.0152,0.0055,0.0079,
%0.0053,0.0038,0.0163,0.0035,0.3542,0.3489,0.3575,0.0052,0.0047,

```

```

%0.0007,0.0083,0.0076,0.079,0.052,0.047,0.103,0.126/
DATA XMBS/2*1,8,2*21,14,38,40,7,15,11,7,15,3,2*1,0,16,12,11,16,4,
%2*2,2*0,13,12,0,5,2*0,2*0,14,13,0,6,2*0,2*0,15,14,0,7,2*0,2*0,16,
%15,4*0,3*0,16,4*0,72*0/
DATA XMSC/1,8,15,1,4*0,7,13,3,1,4*0,0,14,4,2,4*0,0,15,5,
%5*0,0,16,6,5*0,2*0,7,5*0,88*0/
DATA XHR,TA,XK,AA,BB/4,9,1.3,24.0,0.0334,15.0/
IF (XV.GT.0.AND.XV.LE.0.2) THEN
XHC=3.1
ENDIF
IF (XV.GT.0.2.AND.XV.LT.4) THEN
XHC=8.3*(XV**0.6)
ENDIF
C WRITE(2,*)"TASINIM KATSAYISI',XHC
WRITE(2,*)"SICAKLIK---NEM---HIZ---MET',TC,BN,XV,XMACT
RA=1/(XHC+XHR)
RAL=1/(XHR+(XK/TA))
WRITE(2,*)"RA,RAL',RA,RAL
REA=1/(16.5*XHC)
REAL=AA*(1-EXP(-TA/BB))
WRITE(2,*)"REA,REAL',REA,REAL
CALL KDIR(XMSC,RAL,RA,XKUMAS,RT)
CALL BDIR(XMSC,REA,REAL,XKUMAS,RET)
WRITE(2,*)"KURU DIRENCLER'
WRITE(2,*)"RT
WRITE(2,*)"ISLAK DIRENCLER'
WRITE(2,*)"RET
C-----
C OPARATIF SICAKLIGIN TAYINI
TF=TC
TBW=TC
TRW=TC
TBG=TC
C*****TAVAN SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****ON DUVAR (GUNEY) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C*****SOL DUVAR (BATI) SICAKLIGINI GIRINIZ*****
C DATA TCE,TFW,TLW/29.88731,25.96623,24.96618/
TCE=TC
TFW=TCE
TLW=TCE
C*****
DATA FP/2*51.452,2*36.883,2*34.688,23.676,9.579,2*31.296,2*17.647,
%2*12.324,11.606,14.156,2*6.011,2*4.424,2*10.252,8.201,20.523,
%2*3.540,2*6.788,2*11.868,14.310,12.855,2*11.191,2*17.960,2*10.816,
%10.953,12.869,2*8.779,2*13.802,2*14.086,30.938,0.930,2*4.651,
%2*6.745,2*4.186,24.528,15.428,2*9.814,2*13.029,2*17.403,0.869,
%41.202,13.346,6.892,15.246,8.039,15.403,5.101,10.076,16.283,
%16.403,2.341,19.834,3.084,23.152,1.822,11.853,9.945,6.892,
%13.346,8.039,15.246,5.101,15.403,9.955,16.156,2.341,16.403,
%3.084,19.834,1.822,23.152,12.560,9.374,2*6.45,2*10.70,2*19.55,
%12.61,9.16,2*27.83,2*25.82,2*19.35,17.86,11.54/
TRT=0
TOT=0
DO 23 K=1,16
TR(K)=TF*(FP(K,1)/100)+TCE*(FP(K,2)/100)+TFW*(FP(K,3)/100)
%+TBW*(FP(K,4)/100)+TLW*(FP(K,5)/100)+TRW*(FP(K,6)/100)
%+TBG*(FP(K,7)/100)
TRT=TRT+(TR(K)*ALAN(K))

```

```

TO(K)=(XHR*TR(K)+XHC*TC)/(XHR+XHC)
TOT=TOT+(TO(K)*ALAN(K))
WRITE(7,*) TR(K)
WRITE(8,*) TO(K)
23 CONTINUE
TRORT=TRT/AD
TOORT=TOT/AD
WRITE(2,*)'ORTALAMA ISINIM SICAKLIKLARI'
WRITE(2,*) TRORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA OPARATIF SICAKLIK'
WRITE(2,*) TOORT
WRITE(2,*)'ISINIM SICAKLIKLARI'
WRITE(2,*) TR
WRITE(2,*)'OPARATIF SICAKLIK'
WRITE(2,*) TO
C-----
WRITE(2,*)'TSKB',TSK
WRITE(2,*)'TCRB',TCR
C-----ZAMAN DONGUSU BASLIYOR-----
PMVT=0
M=0
28 M=M+1
IF (M.GT.3600) GOTO 31
QT=0
QET=0
QST=0
TSKT=0
TCRT=0
ATOP=0
WSK=0
EMAXT=0
XLT=0
C VUCUT PARCALARI ICIN SAYAC
DO 29 K=1,16
C DERIDEN DUYULUR ISI KAYBI
CR(K)=(TSK(K)-TO(K))/RT(K)
C-----
C BASINCLARIN BULUNMASI
T1=TSK(K)
DBSK=DYBA(T1)
DBA=DYBA(TC)
PA=DBA*BN
PSKS=DBSK
C WRITE(2,*)'PA,PSKS',PA,PSKS
C-----
C-----DERIDEN BUHARLASMA ILE ISI KAYBININ HESABI-----
EMAX(K)=(PSKS-PA)/RET(K)
C WRITE(2,*)'EMAX(K)',EMAX(K)
XW(K)=0.06+((0.94*ERSW)/EMAX(K))
C WRITE(2,*)'XW(K)',XW(K)
IF (XW(K).GT.1) THEN
XXW(K)=1
ELSE
XXW(K)=XW(K)
ENDIF
IF (XXW(K).LT.0) XXW(K)=0
C WRITE(2,*)'XXW(K)',XXW(K)
ESK(K)=XXW(K)*EMAX(K)

```



```

C-----
C   SOLUNUM KAYIPLARININ HESABI
C   CERES(K)=(0.0014*XM*(34-TC))+(0.0173*XM*(5.87-PA))/AD
C-----
C   IC VUCUTTAN DERIYE PASIV OLARAK (DOGRUDAN TEMAS) ILE ISI GECISI
C   QCRSK(K)=(5.28+(4187*XMBL))*(TCR(K)-TSK(K))
C   WRITE(2,*)QCRSK(K),QCRSK(K)
C-----
C   IKI BOLMELI ANLIK ENERJI DENGESI MODELİ
C   SCR(K)=XM-CERES(K)-QCRSK(K)
C   WRITE(2,*)SCR',SCR
C   SSK(K)=QCRSK(K)-CR(K)-ESK(K)
C   WRITE(2,*)SSK',SSK
C   XL(K)=XM-CR(K)-ESK(K)-CERES(K)
C   XLT=XLT+XL(K)
C-----
C   YENI SICAKLIGIN BULUNMASI
C   DTCR=(SCR(K)*ALAN(K))/((1-ALFA)*AG(K)*3490)
C   DTSK=(SSK(K)*ALAN(K))/(ALFA*AG(K)*3490)
C   TSK(K)=TSK(K)+DTSK
C   TCR(K)=TCR(K)+DTCR
C-----
C-----TOPLAMLARIN TESPITI-----
C   TSKT=TSKT+(TSK(K)*ALAN(K))
C   TCRT=TCRT+(TCR(K)*ALAN(K))
C   WSK=WSK+(XXW(K)*ALAN(K))
C   ATOP=ATOP+ALAN(K)
C   Q(K)=CR(K)*ALAN(K)
C   QE(K)=ESK(K)*ALAN(K)
C   QS(K)=CERES(K)*ALAN(K)
C   QT=QT+Q(K)
C   QET=QET+QE(K)
C   QETW2=QET/AD
C   QST=QST+QS(K)
C   QTOP=QT+QET+QST
29 CONTINUE
C   PMV1=EXP(-0.036*XM)
C   PMV2=0.303*PMV1
C   PMV=PMV2*XLT
C   PMVT=PMVT+PMV
C   TSKORT=TSKT/ATOP
C   TCRORT=TCRT/ATOP
C   WSKORT=WSK/ATOP
C   CALL DESIN (XMACT,TSKORT,TCRORT,ERSW,XM,XMBL,ALFA,TB)
C   GO TO 28
31   PMVORT=PMVT/3600
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI AKISI (W/M2)'
C   WRITE(2,*) CR
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI AKISI (W/M2)'
C   WRITE(2,*) ESK
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISI AKISI (W/M2)'
C   WRITE(2,*) CERES
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN DUYULUR ISI'
C   WRITE(2,*) Q
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN GIZLI ISI'
C   WRITE(2,*) QE
C   WRITE(2,*)'PARCALARDAN ATILAN SOLUNUM ISISI'
C   WRITE(2,*) QS
C   WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN DUYULUR ISI'

```

```

WRITE(2,*) QT
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI'
WRITE(2,*) QET
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN GIZLI ISI (W/M2)'
WRITE(2,*) QETW2
WRITE(2,*)'TOPLAM ATILAN SOLUNUM ISISI'
WRITE(2,*) QST
WRITE(2,*)'VUCUTTAN ATILAN TOPLAM ISI'
WRITE(2,*) QTOP
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI SICAKLIGI',TSKORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA KOR SICAKLIGI',TCRORT
WRITE(2,*)'ORTALAMA DERI ISLAKLIGI',WSKORT
WRITE(2,*)'PMVORT',PMVORT
WRITE(2,*)'XXW'
WRITE(2,*) XXW
WRITE(2,*)'TSK'
WRITE(2,*) TSK
WRITE(2,*)'TCR'
WRITE(2,*) TCR
XRT=(TSKORT-TC)*AD/QT
WRITE(2,*)'ORTALAMA TOPLAM KURU DIRENC XRT',XRT
DBORT=DYBA(TSKORT)
PSKORT=DBORT
XRET=(PSKORT-PA)*AD*WSKORT/QET
WRITE(2,*)'ORTALAMA ISLAK TOPLAM DIRENC XRET',XRET
XH=XHC+XHR
WRITE(2,*)'TOPLAM KATSAYI',XH
XRCL=XRT-(1/(1.15*XH))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISIL DIRENCI',XRCL
XHE=XHC*16.5
XRECL=XRET-(1/(1.15*XHE))
WRITE(2,*)'ORTALAMA GIYSI ISLAK DIRENCI',XRECL
END

```

```

C-----
C----DENETIM SINYALLERI VE TEPKILERIN HESAPLANDIGI ALT PROGRAM-----
SUBROUTINE DESIN (XMACT,TSKORT,TCRORT,ERSW,XM,XMBL,ALFA,TB)
TSKN=33.84
TCRN=35.94
TBN=35.63
IF (TCRORT.LE.TCRN) THEN
WSIGCR=0
ELSE
WSIGCR=TCRORT-TCRN
ENDIF
IF (TCRORT.GE.TCRN) THEN
CSIGCR=0
ELSE
CSIGCR=TCRN-TCRORT
ENDIF
IF (TSKORT.LE.TSKN) THEN
WSIGSK=0
ELSE
WSIGSK=TSKORT-TSKN
ENDIF
IF (TSKORT.GE.TSKN) THEN
CSIGSK=0
ELSE
CSIGSK=TSKN-TSKORT

```

```

ENDIF
C  WRITE(2,*)'WSIGCR',WSIGCR
C  WRITE(2,*)'CSIGCR',CSIGCR
C  WRITE(2,*)'WSIGSK',WSIGSK
C  WRITE(2,*)'CSIGSK',CSIGSK
XMBL1=6.3+(200*WSIGCR)
XMBL2=1+(0.5*CSIGSK)
XMBL0=XMBL1/XMBL2
XMBL3=XMBL0/3600
IF (XMBL3.GT.0.025) THEN
XMBL=0.025
ELSE
XMBL=XMBL3
ENDIF
IF (XMBL3.LT.0.00014) XMBL=0.00014
C  WRITE(2,*)'XMBL',XMBL
C  DIKKAT...KAN DEBISI 1.4E-4 ILE 2.5E-2 ARASINDA CIKMALI'
ALFA1=(3600*XMBL)+0.585
ALFA=0.0418+(0.745/ALFA1)
C  WRITE(2,*)'ALFA',ALFA
TB=(ALFA*TSKORT)+((1-ALFA)*TCRORT)
C  WRITE(2,*)'TB',TB
IF (TB.LE.TBN) THEN
WSIGB=0
ELSE
WSIGB=TB-TBN
ENDIF
C  WRITE(2,*)'WSIGB',WSIGB
XMRSW1=EXP(WSIGSK/10.7)
XMRSW=(4.7E-5)*WSIGB*XMRSW1
C  WRITE(2,*)'XMRSW',XMRSW
ERSW=(2430*XMRSW)*1000
C  WRITE(2,*)'ERSW',ERSW
C  METOBOLIK ISI URETIMININ HESABI
XMSHIV=19.4*CSIGSK*CSIGCR
XM=XMACT+XMSHIV
C  WRITE(2,*)'XM',XM
END
C-----
C  KURU DIRENCIN HESAPLATILDIGI ALT PROGRAM
SUBROUTINE KDIR(X,RAL,RA,XKUMAS,RT)
DIMENSION X(8,17),XKUMAS(44,2),RT(16)
DO 50 I=1,16
RT(I)=RA
DO 50 J=1,8
DO 50 K=2,17
IF (X(J,K).EQ.I) THEN
M=X(J,1)
RT(I)=RT(I)+(RAL+XKUMAS(M,1))
ELSE
RT(I)=RT(I)+0
END IF
50 CONTINUE
RETURN
END
C  BUHARLASMA DIRENCININ BULUNDUGU ALT PROGRAM
SUBROUTINE BDIR(Y,REA,REAL,XKUMAS,RET)
DIMENSION Y(8,17),RET(16),XKUMAS(44,2)

```

```

DO 60 I=1,16
RET(I)=REA
DO 60 J=1,8
DO 60 K=2,17
IF (Y(J,K).EQ.I) THEN
M=Y(J,1)
RET(I)=RET(I)+(REAL+XKUMAS(M,2))
ELSE
RET(I)=RET(I)+0
END IF
60 CONTINUE
RETURN
END
C   HAVANIN DOYMA BASINCINI BULDURAN ALT PROGRAM
FUNCTION DYBA(T)
DIMENSION F(8)
DATA PWC,TWC/22.129,647.3/
DATA F/-741.9242,-29.721,-11.55286,-0.8685635,0.1094098,0.43999
*,0.2520658,0.05218684/
TC=TWC-273.15
TN=T+273.15
TAU=1000./TN
AA=TAU*10.**(-5)*(TC-T)
TOP=0.
DO 10 J=1,8
TOP=TOP+F(J)*(0.65-0.01*T)**(J-1)
10 CONTINUE
PPWC=PWC*1000.
DYBA=PPWC*EXP(AA*TOP)
RETURN
END

```

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma fırsatı verip, her zaman ve her konuda destek olan, bilgi ve deneyimi ile çalışmalarımı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT' e, şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca, çalışmanın tüm aşamalarını inceleyen ve yönlendiren hocalarım Prof. Dr. Muhsin KILIÇ ve Prof. Dr. Yusuf ULCAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora seviyesinde Makine Mühendisliği Bölümünde yetişmemde emeği geçen başta Prof. Dr. Muhiddin CAN, Prof. Dr. Atakan AVCI ve Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ olmak üzere tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan, M-2004 / 30 nolu Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu Projesinde birlikte çalışma fırsatı bulduğum ve tez çalışmama büyük emeği geçen Uludağ Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Konçuy SİVRİOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarımın her aşamasında tecrübesi ile bana çok yardımcı olan Teknisyen Yaşar KUMRALTEKİN' e teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde gönüllü olarak çalışmayı kabul eden bölümümüz Araştırma Görevlileri ile Makine Mühendisliği Bölümü lisans ve yüksek lisans öğrencilerine ayrıca şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında hep yanımda olan değerli Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bana hayatımın her aşamasında maddi, manevi her konuda her zaman destek olan çok değerli babam Mehmet ATMACA, annem Sunay ATMACA ve kardeşim Yiğit ATMACA' ya ayrıca teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZGEÇMİŞ

1979' da Antalya' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Antalya' da tamamladı. 1995 yılında, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı yüksek öğrenimini, 1999 yılında ikincilik derecesi ile bitirdi. 2002 yılı Şubat ayında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sisteminin simülasyonu konulu tez çalışması ile yüksek lisans derecesini aldı ve aynı yıl içinde Doktora öğrenimine başladı.

Araştırma Görevlisi İbrahim Atmaca' nın Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimi süresince yaptığı bilimsel çalışmalar sonucunda güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemi ve ısı konfor üzerine yayınlanmış 2 adet SCI expanded makalesi, yayına kabul edilmiş 1 adet SCI makalesi olmak üzere 3 adet SCI - SCI expanded makalesi, Uluslararası kongre ve sempozyumlarda sunulmuş ve basılmış 3 adet uluslararası kongre bildirisi, 5 adet ulusal dergilerde yayınlamış makalesi ve değişik ulusal kongrelerde sunulmuş ve basılmış 3 adet bildirisi olmak üzere 14 bilimsel yayın çalışması bulunmaktadır. İbrahim Atmaca, Indoor Air ve International Journal of Energy Research dergilerinde çeşitli bilimsel makalelere hakemlik de yapmıştır.

2000 yılı Haziran ayında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayan İbrahim Atmaca halen görevine devam etmektedir.