

**ISIL KONFORA IŞINIM ETKİSİNİN
DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

Nurullah ARSLANOĞLU



TC
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL KONFORA IŞINIM ETKİSİNİN DENEYSEL VE TEORİK
İNCELENMESİ

Nurullah ARSLANOĞLU

Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT
(Danışman)

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

Her Hakkı Saklıdır

Nurullah ARSLANOĞLU tarafından hazırlanan “*Isıl konfora ışı nım etkisinin deneysel ve teorik incelenmesi*” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT

- | | | |
|----------------|---|------|
| Başkan: | Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT
UÜ Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: | Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
UÜ Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: | Prof. Dr. M.İhsan KARAMANGİL
UÜ Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: | Prof. Dr. Bedri YÜKSEL
BAUN Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye: | Doç. Dr. İbrahim ATMACA
Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü
.. / 06 / 2015

UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

11 / 06 / 2015

Nurullah ARSLANOĞLU

ÖZET

Doktora Tezi

ISIL KONFORA IŞINIM ETKİSİNİN DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

Nurullah ARSLANOĞLU

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Abdulvahap YİĞİT

Mağazalarda yazın iç ortam sıcaklıkları önemli derecede yükselmektedir. Bunun ana sebeplerinden birisi aydınlatma amacıyla kullanılan ampullerdir. Estetik açıdan mağazanın ve ürünlerin güzel görünmesi amacıyla, ampullerin gereğinden fazla bir şekilde kullanılması, ortamda bulunan insanları ısı konfor açısından rahatsız etmekte, özellikle çalışanların iş verimliliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında aydınlatma için kullanılan ampullerin yaydığı ışınım ısı akısının insan ısı konforu üzerine etkisi Taguchi deneysel tasarımıyla incelenmiştir. Ayrıca iç ortam şartlarında, ışınım etkisi altında insanın giydiği kıyafetin ve duruş pozisyonunun ısı konfor üzerine etkisi de ele alınmıştır. Deneyler yaz ve sonbahar mevsiminde laboratuvar ortamında hazırlanmış bir şartlandırma odasında yapılmıştır. Ayrıca kapalı mekanlarda aydınlatma için kullanılan ampullerin yaydığı ışınım ısı akısının etkisinde kalan insan vücudunun ısı ortama verdiği ısı tepkiyi tayin edebilmek için, temeli Gagge modeline dayalı, bazı değişiklikler yapılmış, simülasyon modeli oluşturulmuştur. Böylece, iç ortamlarda aydınlatma amacıyla kullanılan ampullerin yaydığı ışınım ısı akısı etkisi altındaki insanların giymiş olduğu farklı renkte kıyafetler, duruş pozisyonları ve değişik ampul tipleri için uygun şartlar saptanarak, ısı konfor açısından bilimsel bir veri oluşturulmuş ve uygulamacılara önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ışınım, ısı konfor, ampul

2015, xiii+114 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF RADIATION EFFECT ON THERMAL COMFORT

Nurullah ARSLANOĞLU

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Danışman: Prof.Dr.Abdulvahap YIĞİT

Indoor temperatures increases significantly in the shopping centers during summer season. Lighting lamp have an important share in this temperature increase. Excessive usage of lambs due to aesthetic sight of show case and products disturbs people from thermal comfort point of view, especially it has negative effect on working productivity of personnel.

In this study, the effect of radiation heat flux of lighting lamps on human thermal comfort are investigated by using Taguchi method. In addition, at indoor conditions, clothing and posture position under the radiation effect on thermal comfort are also investigated. For this purpose, experiments are performed in an air conditioned laboratory room in summer and autumn seasons. To determine the thermal response of human body exposed to radiation heat flux from lighting lamps, a simulation model based on Gagge model with some modifications are constituted. In this way, by determining proper conditions for clothes with different colors, posture positions and various lamp types under the radiation heat flux from indoor lighting lamps, scientific data set are constituted and suggested to practitioners in this field.

Key words: radiation, thermal comfort, lighting lamp

2015, xiii+114 sayfa

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

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

Tez izleme komitesinde bulunan hocalarım Prof. Dr. Atakan AVCI ve Prof. Dr. M. İhsan KARAMANGİL' e ve tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI ve Doç. Dr. İbrahim ATMACA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora seviyesinde Makine Mühendisliği Bölümünde yetişmemde emeği geçen başta Prof. Dr. Muhiddin CAN, Prof. Dr. Muhsin KILIÇ, Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ, Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT olmak üzere tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

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.

Ayrıca Doktora tez çalışmasını 213M661 numaralı proje ile destekleyen TUBİTAK kurumuna teşekkürlerimi sunarım.

Bana hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen, sevinçlerimi ve üzüntülerimi daima paylaşan, anlayışlı yaklaşımlarıyla her zaman yanımda olan sevgili eşim Ayşe ARSLANOĞLU ve tüm aileme şükranlarımı sunuyorum.

Nurullah ARSLANOĞLU

11/ 06 / 2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Model ve Simülasyon ile İlgili Kaynaklar.....	4
2.2. Isıl Konfor Üzerine Yapılan Çeşitli Çalışmalar.....	8
2.3. Işınım ve Isıl Konfor.....	13
2.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yenilikleri.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
3.1. Işınımın Isı Transferi.....	18
3.1.1. Görüş faktörü.....	19
3.1.2. Isıl ışınım.....	20
3.1.3. Ortalama ışınım sıcaklığı.....	24
3.1.4. Asimetrik ısı ışınım.....	25
3.1.5. İnfrared ısıtma.....	26
3.2. Aydınlatma Tanımı ve Aydınlatma Türleri.....	27
3.2.1. Etkinlik.....	29
3.2.2. Işık akısı.....	30
3.2.3. Işık şiddeti.....	31
3.2.4. Aydınlik düzeyi.....	32
3.2.5. Lamba tipleri.....	32
3.3. Yaygın Olarak Kullanılan Isıl Konfor Modelleri.....	34
3.3.1. Sürekli rejim enerji dengesi modeli.....	34
3.3.2. İki bölmeli anlık enerji dengesi modeli.....	35
3.4. Simülasyon Modeli.....	36
3.4.1. Giysinin ısı ve buharlaşma direnci.....	40

	Sayfa
3.4.2. Deriden duyulur ısı kaybı hesabı.....	40
3.4.3. Deriden gizli ısı kaybı	43
3.4.4. Solunum ile olan ısı kaybı.....	46
3.4.5. Sıcaklık denetim sinyalleri ve etkileri.....	46
3.5. Simülasyon.....	50
3.6. Deneysel Çalışmalar.....	51
3.6.1. Şartlandırma odası.....	52
3.6.2. Deneysel tasarımı ve ölçümler	53
3.6.3. Taguchi deneysel tasarım yöntemi ve varyans analizi (ANOVA).....	54
3.6.4. Deneysel tasarımının belirlenmesi.....	58
3.6.5. Denekler	60
3.6.6. Ölçüm cihazları	61
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	65
4.1. Deneysel Çalışmalar.....	65
4.1.1. Yaz mevsiminde (klima açık) yapılan deneysel çalışmalar	65
4.1.2. Sonbahar mevsiminde (klima kapalı) yapılan deneysel çalışmalar	69
4.2. PMV İndeksinin Değişimi	73
4.3. Aydınlatma Amacıyla Kullanılan Ampullerden Gelen Işınım Isı akısı Etkisinin İncelenmesi	75
5. SONUÇ	87
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	95
EK 1 KUMAŞ TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK ISIL ve BUHARLAŞMA DİRENÇLERİ	96
EK 2 SİMÜLASYON PROGRAMI	98
ÖZGEÇMİŞ	113

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
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)
h_c	Taşınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
h_{fg}	Suyun buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)
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)
n_l	Toplam giysi tabakaları sayısı (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)
$Q_{r,sk}$	Ampullerden, insan üzerine gelen ışınım ısı akısı değeri (W/m^2)
Q_{res}	Solunum ile olan toplam ısı kaybı (W/m^2)
Q_{sk}	Deriden olan toplam ısı kaybı (W/m^2)
R	İşınım 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)
$R_{e,a}$	Dış hava tabakası buharlaşma direnci (m^2kPa/W)
$R_{e,al}$	Giysi tabakalarının arasındaki havanın 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)
R_t	Toplam ısı direnci (m^2C/W)
S_{cr}	Korda depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
S/N	Sinyal/Gürültü oranı (dB)
S/N'	Tahmin edilen S/N oranı (dB)
S/N_i	Her bir faktörün optimum seviyedeki S/N oranı (dB)
S/N_{ort}	Tüm S/N oranlarının ortalaması (dB)
SS	Kareler toplamı (boyutsuz)
S_{sk}	Deride depolanan ısı enerjisi (W/m^2)

x	Giysi katmanları arasındaki hava tabakası kalınlığı (mm)
T_a	Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{b,m}$	Vücut ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{b,n}$	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_{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

Sayfa

Şekil 3.1. Oturan bir kişi ile yatay ve dikey dikdörtgenler arasındaki şekil faktörleri (Anonim 2009)	25
Şekil 3.2. Asimetrik ışıınımdan dolayı konforsuzluk ifade edenlerin yüzdesi (Anonim 2009)	26
Şekil 3.3. Deri yansıtma ve yutma oranlarının siyah cisim ışıınımlarına göre değişimi (Anonim 2009)	27
Şekil 3.4. Şartlandırma odasında ayakta durma pozisyonundaki denek	53
Şekil 3.5. Şartlandırma odasında oturma pozisyonundaki denek	54
Şekil 3.6. Testo 454 veri toplama cihazı (a) hava hızı ölçüm probu (b) ortam sıcaklığı ve bağıl nem ölçüm probu.....	62
Şekil 3.7. EKO MS-410 piranometre	63
Şekil 3.8. (a) Hioki LR-8431-20 marka 10 kanallı veri kaydedici (b) K tipi termoelemanlar.....	64
Şekil 3.9. (a) Parabolik reflektörlü halojen ampul (b) Halojen şeffaf ampul.....	64
Şekil 4.1. Yaz mevsimi deneylerinde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonu için S/N oranları.....	67
Şekil 4.2. Sonbahar mevsimi deneylerinde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonu için S/N oranları.....	71
Şekil 4.3. Tahmini ortalama oy (PMV) ölçeği (Hamdi ve ark. 1999)	73

Şekil 4.4. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.5. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.6. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.7. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.8. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.9. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.10. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.11. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.12. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması	84
Şekil 4.13. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.14. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması.....	85

Şekil 4.15. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması..... 86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri.....	30
Çizelge 3.2. Bazı ışık kaynaklarının güç ve ışık akısı değerleri	31
Çizelge 3.3. Simülasyon modelinde kullanılan vücut parçaları ve bu parçalara ait değerler.....	38
Çizelge 3.4. Vücut parçalarına ait nötr kor sıcaklıkları	39
Çizelge 3.5. Kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri	40
Çizelge 3.6. Yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler	40
Çizelge 3.7. Deney faktörleri ve seviyeleri	58
Çizelge 3.8. L8 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tasarımı.....	59
Çizelge 3.9. Çalışmada Elde Edilecek Çıktı İçin Kullanılacak S/N Oranı	59
Çizelge 3.10. Deneklerin antropometrik özellikleri.....	61
Çizelge 4.1. Yaz mevsiminde (klima açık) yapılan deneylerden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı ve standart sapma değerleri.....	66
Çizelge 4.2. Yaz mevsiminde yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık artış çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu.....	67
Çizelge 4.3. Yaz mevsimi deneylerinde optimum seviyelerde tahminsel ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık artış miktarları	68
Çizelge 4.4. Yaz mevsiminde yapılan deneyler için ANOVA tablosu	69

Çizelge 4.5. Sonbahar mevsiminde (klima kapalı) yapılan deneylerden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı ve standart sapma değerleri	69
Çizelge 4.6. Sonbahar mevsiminde yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık artış çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu	70
Çizelge 4.7. Sonbahar mevsimi deneylerinde tahminsel ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık artış miktarları.....	71
Çizelge 4.8. Sonbahar mevsiminde yapılan deneyler için ANOVA tablosu	72
Çizelge 4.9. Yaz deneylerinden deneklerin PMV sorgusuna verdiği cevaplardan elde edilen ortalama PMV değerleri	74
Çizelge 4.10. Sonbahar deneylerinden deneklerin PMV sorgusuna verdiği cevaplardan elde edilen ortalama PMV değerleri	74
Çizelge 4.11. Vücut parçalarına gelen ışınım ısı akısı değerleri.....	76
Çizelge 4.12. Vücut parçalarına ait nötr deri sıcaklıkları.....	77

1.GİRİŞ

İnsanların günlük yaşamlarında kullanmış olduğu kapalı hacimlerin birçoğu yaz ve kış şartlarına bağlı olarak değişik sistemler ile iklimlendirilmektedir. İklimlendirme sistemlerinin kullanım amacı kapalı hacimlerde bulunan insanlar için konforlu ve sağlıklı iç ortam havası sağlamaktır. Bundan dolayı, doğru bir sistem seçimi veya tasarımı için insan vücudunun ısıl durumu ve tepkileri iyi bir şekilde anlamak ve analiz edilmek zorundadır.

İnsan vücudu ile çevre arasında sürekli olarak ısı ve kütle transferi gerçekleşmektedir. İnsan vücudu, yakıtı yenilen besinler olan mekanik iş üreten termodinamik bir sistem olarak düşünülebilir. Vücudumuzda yakıt olarak kullanılan besinler, kandaki eritrositler (alyuvar, kırmızı kan hücreleri) tarafından taşınan oksijen ile vücut hücreleri içerisinde yanma işlemine uğrar ve metabolik enerji açığa çıkar. Vücutta üretilen metabolik enerji taşınım ve ışıyım ile duyulur ısı olarak ve buharlaşma ile gizli ısı olarak deriden ve solunum ile ciğerlerden bulunulan çevreye atılır. Vücut, hayati fonksiyonlarının zarar görmemesi için, çevresel şartlar ne olursa olsun vücut iç bölme sıcaklığını 36,8 °C de tutmak için fizyolojik denetim mekanizmalarına sahiptir (Anonim 1993, Butera 1998).

Vücutla çevre arasında kurulan ısı dengesi yani vücutta üretilen ısıyla çevreye olan ısı kayıplarının dengelenmesi ısıl konfor için gerekli bir şarttır fakat yeterli değildir (Butera 1998). Isı dengesinin kurulduğu sınırlar içerisinde dar bir bölgede ısıl konfor sağlanmaktadır. Isıl konfor, Anonim (1993)' ün bildirdiğine göre çevreden ısıl olarak hoşnut olunan düşünce hali olarak tanımlanabilmektedir. Isıl konforu temel olarak çevresel ve kişisel olmak üzere toplam altı parametre etkilemektedir.

Çevresel parametreler;

- Havanın sıcaklığı,
- Havanın bağıl nemi,
- Havanın hızı,
- Ortalama ışıyım sıcaklığı,

Kişisel parametreler ise;

- Kişinin aktivite düzeyi,
- Kişinin giyinme durumu

olarak sıralanabilir (Havenith ve ark. 2002, McQuiston ve ark. 2005).

Bu tez kapsamında ampullerden kaynaklanan ışınımın insan ısı konforu ve ısı duyumu üzerine etkileri incelenecektir. Ampullerin klima soğutma yükü üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmekte ve klima hesaplarında hesaba katılmaktadır. Ancak ortam sıcaklığı konfor sınırları içinde olsa bile sıcak veya soğuk bir yüzeyin, ışınım etkisi sebebiyle, ısı konforu önemli bir şekilde etkilediği de bilinmektedir. Ampuller çok sayıda ve dar bir ortamda kullanıldığında önemli bir ışınım etkisi oluşturmaktadır. Işınım ısı akısı oluşturan bu ampuller, özellikle tavan yüksekliği çok olmayan klasik çarşı mağazalarında insanlara yakın mesafede bulunmaktadır. Dolayısıyla insan üzerinde önemli bir ışınım ısı akısı oluşturmakta ve bu da insan ısı konforunu etkileyebilmektedir.

Isıl konfor üzerine birçok modelleme ve deneysel çalışma yapılmıştır. Işınım ile ilgili daha çok mesken ve işyerleri için yapılan ısı konfor çalışmalarında sadece farklı duvar sıcaklıklarının asimetric ışınım etkilerinin insan ısı konforu üzerinde etkileri araştırılmış, fakat ampuller gibi etrafına çok fazla ışınım ile ısı yayan etkenlerin insan ısı konforuna etkisini inceleyen bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Bu tez kapsamında literatürde eksik kalan bu konu ele alınacak, ampullerin insan ısı konforu üzerinde etkileri incelenecektir.

İnsanların buldukları ortamda ısı çevreye verdikleri cevap kişiden kişiye önemli farklılıklar göstermektedir. Bundan dolayı bu tez çalışmasında ampullerden gelen ışınım ısı akısının insan ısı konforu üzerine etkisi, oluşturulan bir matematiksel model vasıtasıyla elde edilen bir simülasyon programı ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan simülasyon programında iki bölmeli Gagge modeli kullanılmış fakat model üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bilindiği üzere iki bölmeli Gagge modeli tüm vücut için uygulanmaktadır. Geliştirilen simülasyon programında iki bölmeli Gagge modeli tüm vücuttan ziyade bağımsız on altı vücut parçasına uygulanmaktadır. Bu sayede belirli ortam koşullarında bulunan ışınım ısı akısı etkisinde insanın çeşitli vücut

parçalarına ait deri sıcaklığının ve buna bağlı duyulur 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.

Çalışma kapsamında, ampulden kaynaklanan ışınımın insan ısı konforu üzerine etkisinin incelenmesinin yanında, ışınım ısı akısı etkisi altında insanın üzerine giydiği kıyafetin ve duruş pozisyonunun ısı konforu nasıl etkilediği de ele alınmıştır. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve istatistiksel analizlerde Taguchi metodu ve ANOVA analizlerinden faydalanılmıştır.

Mevcut tez çalışması kapsamında oluşturulan simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar ve deneysel veriler birlikte değerlendirilecektir. Tez çalışması kapsamında ikinci bölümde literatürde ısı konforu ile ilgili yapılan teorik ve deneysel araştırmalar sunulacaktır. Üçüncü bölüm olan materyal ve yöntem kısmında ışınım ile ısı transferi hakkında ve ışınımın ısı konforu üzerinde etken olduğu temel konular hakkında ve aydınlatma hakkında bilgi verilecek, oluşturulan simülasyonda kullanılan matematiksel model tanıtılacak ve ışınım etkisini görebilmek için yapılan değişiklik sunulacak, modelin tüm vücuda değil de on altı vücut parçasına uygulanışından bahsedilecek, yapılan deneysel tasarımdan ve gerçekleştirilen deneyler ile, bu deneylerde kullanılan cihazlar tanıtılacaktır. Dördüncü bölüm olan bulgular ve tartışma kısmında ise, elde edilen teorik sonuçlar yapılan deneylerden elde edilen veriler ile karşılaştırılacaktır. Beşinci bölüm olan sonuç bölümünde sonuçlar yorumlanacak ve önerilerde bulunulacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tez kapsamında incelenen literatürde yapılmış olan çalışmalar özetlenecektir. Bu çalışmalar üç başlık altında ele alınacaktır. Giriş bölümünde belirtildiği gibi, bu tez kapsamında ampullerin yaydığı ışının etkisinde kalan insan ile çevresi arasındaki ısı etkileşim için bir simülasyon oluşturulmuştur. Bu simülasyonda kullanılan çalışmalar “Model ve Simülasyon için İlgili Kaynaklar” başlığı altında incelenecektir. Isıl konfor ile ilgili birçok yönde araştırmalar yapılmaya devam edilmektedir ve bu çalışmalarda “Isıl Konfor Üzerine Yapılan Çalışmalar” başlığı altında özetlenecektir. Işının ısı konfor üzerine etkisini inceleyen çalışmalar “Işınım ve Isıl Konfor” başlığı altında incelenecektir. Literatür bilgilerinin verilmesinden sonra da “Tezin Katkısı ve Yenilikleri” başlığı altında yapılan tez çalışmasının şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalardan farklılığı, amaçladığı ve gerçekleştirdiği bilimsel iyileştirme ve gelişme özetle sunulacaktır.

2.1. Model ve Simülasyon ile İlgili Kaynaklar

Bu tez kapsamında oluşturulan simülasyonda iki bölmeli anlık enerji dengesi modelinden (Gagge modeli) faydalanılmıştır. Mevcut çalışmada oluşturulan simülasyonda kullanılan Gagge modelinde ampullerden kaynaklanan ışının insan ısı konforu üzerinde etkisini görebilmek için yapılan değişiklikler tezin ilerleyen aşamalarında detaylı olarak sunulacaktır. Bundan dolayı Gagge tarafından yapılmış olan çalışmalar önem bulmaktadır. Gagge tarafından yapılan iki bölmeli anlık enerji dengesi modelinin detayları da Gagge ve ark. (1971) ve Gagge ve ark. (1986)’ da sunulmaktadır. Bu model detaylı olarak ASHRAE tarafından sunulan el kitabında da mevcuttur (Anonim 1993).

Olesen ve ark. (1988)’ de on altı erkek denek üzerinde yürüttükleri deneysel çalışmada, toplam ısı direnci aynı (1,3 clo) olan beş farklı giysi takımının etkisi ısı konfor açısından incelemiştir. Deneysel çevre sıcaklığı, deneklerin ortalama deri sıcaklığı 33,3 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Giysi takımlarının toplam dirençleri aynı olmasına rağmen vücut üzerindeki dağılımları farklıdır. Sonuç olarak, giysi yalıtım asimetrisinin

ortam sıcaklığını çok fazla etkilemediği sonucuna varmışlardır. Yaptıkları çalışmada, insan vücudu on altı ayrı parçaya ayrılarak incelenmiştir. Mevcut çalışma kapsamında inceleme yapılan on altı bağımsız vücut parçası, Olesen ve ark. (1988) tarafından verilenler ile aynıdır.

McCullough ve ark. (1989), yirmi iki tane elbise takımının, dış taşınım direnci dahil ve ayrı olmak üzere ısı ve buharlaşma dirençlerini, buhar geçirgenlik verimlerini ısı manken deneylerinde, otuz dokuz ayrı kumaş türü için ıslak sıcak plaka aparatı kullanarak tayin etmişlerdir. Çalışmada, herhangi bir elbise takımı için bu parametreleri tahmin edebilen iki boyutlu hesaplamalı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde deneysel olarak elde edilen kumaş kalınlık verilerinden, kumaş dirençlerinden, farklı kumaş tabakalarının vücut yüzey kaplama oranından ve kumaş tabakaları arasında kalan havanın kalınlığından faydalanılmıştır. Modelden elde edilen tahminler ile deneysel çalışmalardan elde edilen ölçümler karşılaştırılmış, hatanın kabul edilebilir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan modelde, on altı ayrı vücut parçasının ısı ve buharlaşma dirençlerinin belirlenmesinde McCullough ve ark. (1989) tarafından sunulan iki boyutlu hesaplama modelinden faydalanılmıştır.

Yiğit (1998) yaptığı çalışmada, belirli ortam şartlarında, on altı vücut parçasından olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarlarını hesaplamış ve sayısal sonuçları literatürde mevcut deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Yiğit (1999), yaptığı çalışmada Fanger ve Gagge modellerini birleştirmiş ve yeni bir model geliştirmiştir. Bu model kapsamında, 16 vücut parçası için ısı ve buharlaşma dirençlerini hesaplamış, 5 ayrı giysi takımı için toplam ısı ve buharlaşma dirençlerini tespit etmiş ve modelden elde edilen teorik değerleri literatürdeki deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Huizenga ve ark. (2001), Stolwijk modeline dayanan Berkeley ısı konfor modelini geliştirmişlerdir. Berkeley modeli Stolwijk modeline dayanmakla beraber, modele önemli gelişmeler eklemiştir. Bu yeni model, Stolwijk modelinde altı olan vücut parça sayısını daha da artırabilmektedir. Modeldeki vücut parçaları, kor, kas, yağ, deri olmak üzere dört tabaka ve bir giysi tabakasından oluşmaktadır. Bu modelde vazokonstriksiyon, vazodilasyon, terleme, metabolik ısı üretimi gibi sıcaklık denetim

mekanizmaları dikkate alınmıştır. Modelde, vücut parçalarının başka bir yüzeyle temasından dolayı iletimle ısı transferi, vücut ile çevre arasında taşınım ve ışınım ile olan ısı transferi dikkate alınmıştır. Bu model, geçici rejim şartlarında insanın ısı ortama vereceği cevabı tahmin etmeye uygundur.

Tanabe ve ark. (2002), temeli Stolwijk (Stolwijk 1970,1971) ısı konfor modeline dayanan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde vücut on altı parçaya ayrılmış olup, her bir parça kor, kas, yağ, deriden oluşmuştur. Modeldeki altmış beşinci nokta, merkezi kan bölgesini temsil etmektedir ve bu merkezi kan bölgesi ile diğer noktalar arasında kan dolaşımı vasıtasıyla taşınım ile ısı transferi olmaktadır. Modelde kullanılan taşınım ve ışınım ısı transfer katsayıları ile giysi yalıtımı değerleri termal manken deneylerinden elde edilmiştir. Tanabe ve ark. (2002), çalışmalarında on altı vücut parçası için nötr kor sıcaklıkları ve yine on altı vücut parçasına ait Dubois yüzey alanları ile vücut parçası ağırlıkları vermişlerdir. Bu tez kapsamında oluşturulan modelde bu verilerden faydalanılmıştır.

Yi ve ark. (2004), Stolwijk çok noktalı modelini deri üzerinde biriken ter miktarını dikkate alacak şekilde geliştirmişlerdir. Modelde baş, gövde, kollar, eller, bacaklar ve ayaklar olmak üzere 6 vücut parçası kullanılmış ve vücut parçaları, diğer Stolwijk modellerinde olduğu gibi, kor, kas, yağ, deri olmak üzere dört tabakaya ayrılmıştır. Yi ve ark. (2004), modelden elde ettiği tahmin değerlerinin, literatürde mevcut deneysel veriler ile uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Atmaca ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, sürekli rejim enerji dengesi modeli ile çeşitli metabolik aktivite düzeylerinde çalışan insanlar için ısı konfor durumu ve üretkenliğin değişimini incelemişlerdir. Atmaca ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, on altı parçalı Gagge modeli vasıtasıyla hazırlanan simülasyon ile ortam sıcaklık ve bağıl neminin deri sıcaklığı ve ıslaklığı üzerine olan etkisini sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmada 26 °C, 30 °C ve 34 °C gibi çeşitli operatif sıcaklıklarda %30, %50, %70 ve %90 gibi farklı nem seviyelerinde vücut parçalarının sıcaklığı ve ıslaklığının değişimi incelenmiştir. Mevcut çalışma kapsamında da, iki bölmeli on altı parçalı Gagge

modelinde, ampullerin yaydığı ışınım etkisini görebilmek için bazı değişiklikler yapılmış ve kullanılmıştır.

Salloum ve ark. (2007) temeli Stolwijk modeline dayalı, çıplak insanın vücut parçaları ile çevresi arasında ısıl etkileşimi tahmin edebilecek çok parçalı matematiksel bir biyotermik model geliştirmişlerdir. Modelde, vücut on beş silindirik parçaya, her parçada dört bölmeye ayrılmıştır. Çıplak vücut modeli, giysi katmanları arasında ısı ve kütle difüzyonu olan ve kumaşların nem adsorplama özelliğini dikkate alan mevcut bir giyinik modele entegre edilmiştir. Biyotermik modelin vücut parçalarının kor ve deri sıcaklıklarını, deri ıslaklığı oranlarını, duyulur ve gizli ısı kayıplarını hassasiyetle tahmin ettiği görülmüştür. Çıplak ve giyinik modelden elde edilen tahmin sonuçları yayınlanmış deneysel veriler ile karşılaştırılmış, her iki modelinde tüm vücuttan olan ısı kayıplarını veya kazançlarını %8' den daha az bir hassasiyetle tahmin edebildiği görülmüştür. Çıplak model ise deri sıcaklıklarını %0,48 hassasiyetle tahmin edebilmektedir.

Wan ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, insan fizyolojik cevaplarını tahmin edebilmek için geliştirdikleri iki noktalı geçici rejim modeliyle giysi aracılığıyla gerçekleşen ısı ve nem transferini birleştirmişlerdir. Bu model, deri yüzeyinde ve iç çamaşırın iç yüzeyinde biriken ter miktarını ile giysi hava ve nem geçirgenliğini dikkate almaktadır. Bu modelden elde edilen sayısal sonuçlar literatürdeki veriler ve gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarla uyum göstermiştir.

Zolfaghari ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, temeli Gagge modeline dayanan 3 bölmeli yeni bir model geliştirmişlerdir. Fanger ve Gagge ısıl konfor modelleri gibi, standart ısıl konfor modellerinde, giysi sistemi bütün vücuda giysi yalıtımı sağlıyor gibi simüle edilirken, gerçek şartlarda vücudun bazı parçaları çıplak bazı parçalarında giysi yalıtımı olduğu vurgulanarak modelde insan vücudu kor, çıplak deri, giydirilmiş deri olmak üzere üç bölmeye ayrılmıştır. Model vücudun çıplak ve giydirilmiş kısımların ısıl duyumunu doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Önerilen model deneysel ve analitik sonuçlarla karşılaştırılmış ve uygun olduğu görülmüştür.

Dongmei ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, uykuda olan insanlar için iki bölmeli Gagge modeline dayanan dört bölmeli ısı konfor modeli geliştirmişlerdir. Kaliteli bir uyku için, uykudaki insan vücudunun ısı çevreye verdiği cevapların incelenmesinin şart olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ilk önce Gagge modeli detaylı olarak sunulmuş, daha sonra uyuyan insan vücudunun ısı çevreye verdiği cevapları incelemek için Gagge modeline yapılan değişiklikten bahsedilmiş ve detayları verilmiştir. Son olarak da dört bölmeli ısı konfor modelinde tahmin edilen deri ve kor sıcaklıkları deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sonuçlara göre uyuyan insanlar için geliştirilen dört bölmeli ısı konfor modelinde tahmin edilen ısı fizyolojik cevapların kabul edilebilir doğrulukta olduğu görülmüştür.

Atmaca ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, sürekli enerji dengesi modelini kullanarak oluşturdukları simülasyon ile farklı metabolik aktivite düzeyleri için ısı konfor aralıklarını tahmin etmişlerdir. Çalışmada çeşitli makine - atölye çalışmalarını dikkate almışlardır. Hafif, orta ve ağır iş durumu için sırasıyla 1,8 met, 2,2 met ve 4,0 met aktivite düzeyleri için ısı konfor aralıkları tespit etmişlerdir. Artan metabolik aktivite seviyesi ile optimum operatif sıcaklık değerinin düştüğü, yüksek metabolik aktivite seviyelerinde yüksek ortam hava hızlarına ihtiyaç olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2. Isı Konfor Üzerine Yapılan Çeşitli Çalışmalar

Berglund (1994) çalışmasında aktivitenin, kuru termometre ve çiğ noktası sıcaklığının ısı konfor üzerine olan etkisini incelemiştir. 20 denek üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlardan biri, sıcaklığın neme göre ısı konfor üzerinde daha etkin olduğudur. Yapılan deneylerde aktivite seviyesi arttıkça, ortamın daha sıcak algılandığı belirtilmiştir. Aktivite seviyesindeki 1 met'lik artışın ortamın 1,4°C daha sıcak algılanmasına neden olduğunu, çiğ noktası sıcaklığındaki 10,5 °C' lik değişikliğin, kuru termometre sıcaklığındaki 1 °C'lik değişime eşdeğer olduğunu belirtmişlerdir. Ortam sıcaklığında 1°C değişme, çiğ noktası sıcaklığında 6,6°C değişimine eşdeğerdir.

de Dear ve ark (1997) ısı manken üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmada, on altı vücut parçasına ait taşınım ve ışınım ile olan ısı transfer katsayısını tayin etmişlerdir. Hava hızının 0 ile 5 m/s arasında olduğu durumlar incelenmiş, ayakta durma ve oturma pozisyonu için doğal ve zorlanmış ısı taşınım katsayıları bulunmuştur. Işınım ile olan ısı transfer katsayısı hem ayakta hem de oturma pozisyonunda tüm vücut için $4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ bulunmuştur. Doğal ısı taşınım katsayısı ise oturma pozisyonu için $3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, ayakta durma pozisyonu için ise $3,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ bulunmuştur. Çalışmada on altı vücut parçası için zorlanmış ısı taşınım katsayısı değerleri hem tüm vücut hem on altı vücut parçası için verilmiştir.

Butera (1998) yapmış olduğu çalışmada ısı konfor şartlarını etkileyen parametreler ve vücut ile çevre arasındaki ısı transfer mekanizmalarını açıklayarak, çevreyle gerçekleşen ısı ve kütle transferi denklemlerini sunmuştur. Bu çalışmada, insanın farklı metabolik aktivite düzeyleri için (oturma, uyuma, koşma, ayakta durma, otomobil kullanma, çalışma vs.) metabolik ısı üretimi, giysilerin ısı dirençleri, insanla çevreleyen yüzeyler arasındaki görüş faktörü detaylı olarak ele alınarak farklı hava hızı ve giysi durumlarında kişinin aktivitesiyle tahmini ortalama oy (*PMV*) değerinin değişimi verilmiştir. Metabolik aktivitenin 58, 81, 116 ve 174 W/m^2 , giysi yalıtımının 0, 0,25, 0,50, 0,75, 1 ve 1,5 clo olması durumları için farklı hava hızı değerlerinde operatif sıcaklığa bağlı olarak *PMV*'nin değişimi grafikler halinde sunulmuştur.

Fountain ve ark. (1999) yapmış olduğu çalışmada, yüksek nemin ısı konfora etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, 1,2, 1,6 ve 4 met olmak üzere üç farklı aktivite düzeyi ve 0,5 ve 0,9 clo olmak üzere iki farklı giyim durumu için, $20-26^\circ\text{C}$ iç ortam sıcaklığı ile %60–90 bağıl nem aralığında inceleme yapılmış ve metabolik aktivitenin 1,6 met ve üzeri için hiçbir nem değerinde, memnun olmayanların yüzdesinin (*PPD*) %25 değerinin altına inmediği sonucuna varılmıştır.

Todde (2000) yapmış olduğu çalışmada, global ısı konfor içinde hafif aktivite düzeyindeki insanların hava hareketlerine karşı olan tepkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada cereyan etkisi incelenmiş, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki amaç, global ısı konfor şartlarında insanın, arkasından

boynuna doğru olan yatay türbülanslı hava hareketlerine tepkisini incelemektir. Özetle, cereyanın yüksek hava hızlarında süre ile ilişkili olduğu, cinsiyet farklılığının deneklerin cereyana verdiği tepkide etkili olduğu, bayanların erkeklere göre daha çok etkilendiği, başlangıçta bayan ve erkek deneklerin deri sıcaklıklarındaki düşüşün aynı olduğu, zamanla bayan deneklerin deri sıcaklığındaki düşüşün daha fazla olduğu görülmüştür.

Mehnert ve ark. (2000), ortalama deri sıcaklığının tespiti için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde, denekler farklı giysi yalıtımı değerlerine sahip kıyafetler giymiştir. İç ortam hava sıcaklığı 20 ile 55°C arasında, iç ortam hava hızı 0,1 ile 2 m/s arasında , ortamdaki havanın su buharı kısmi basıncı değeri 0,2 ile 5,3 kPa değeri arasında değişmekte, deneklerin metabolik aktivite düzeyi ise 102 ile 620 W aralığındadır. Yapılan deneysel çalışmalarda vücudun ortalama deri sıcaklığı 30,7 ile 38,6°C arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Kaynaklı (2004) yılında yapmış olduğu çalışmada, otomobil içinde ısıtma ve soğutma süreçlerindeki değişken ısı şartların, vücuttan olan ısı ve kütle transferi, vücut fizyolojisi ve ısı konfor algısı üzerindeki etkilerini hem teorik hem deneysel olarak araştırmıştır. Bu amaçla otomobil üzerinde yaz ve kış koşullarında deneysel çalışmalar gerçekleştirmiş, iç ısı şartlar hassas olarak tayin edilmiş ve denek üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun yanı sıra vücuttaki fizyolojik mekanizmaların ve vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferinin sayısal modeli kurulmuştur. Hazırlanan model kullanılarak, araç içindeki ortam şartlarının hızla değiştiği ısıtma ve soğutma süreçlerinin ısı konfora etkileri deneysel verilerle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Huizenga ve ark. (2004) kontrollü bir ortamda, üniform olmayan geçici rejim ısı şartlarında insanların fizyolojik ve sübjektif cevaplarını tespit edebilmek için, insanları parçalı ve tüm vücut olarak ısıtma ve soğutma işlemine maruz bırakmışlardır. Deneysel çalışmalara 109 denek iştirak etmiş, 19 yerel vücut parçası ve tüm vücut için deri sıcaklıkları, kor sıcaklıkları, ısı duyumu ve konfor cevapları elde edilmiştir. Kor sıcaklığının derinin soğumasına karşılık arttığı ve derinin ısınması ile düştüğü tespit edilmiştir. Vücut ısı dengeye yaklaştığında, el ve parmak sıcaklıklarında önemli

dalgalanmalar belirlenmiştir. Bundan başka, soğuk bir ortamda bilgisayar kullanılması durumunda, bilgisayarda kullanılan elin deri sıcaklığının boş elin deri sıcaklığına göre 2 – 3 °C daha düşük olduğu, sıcak veya nötr şartlarda ise önemli değişikliklerin olmadığı çalışmada elde edilen bir başka sonuçtur.

Atmaca (2006) yapmış olduğu çalışmada, insan vücudu ile çevresi arasındaki ısı etkileşimi bir simülasyon ile incelemiştir. Bu çalışmada deri sıcaklığı, deri ıslaklığı ile deriden olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarları zamana bağlı olarak tayin edilmiştir. Simülasyonda 2 bölmeli Gagge modeli kullanılmış, fakat model tüm vücuttan ziyade on altı bağımsız vücut parçası üzerine uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları deneysel veriler ve literatürdeki çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve simülasyon sonuçlarının güvenilir olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sıcaklık, nem, hava hızı gibi ısı konfor parametrelerinin, boynun hareket açıklıkları üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kontrollü bir odada, ele alınan ısı 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 ısı ortama verdiği tepkiler ise çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon programı ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, deneysel veriler ile simülasyon sonuçları eş zamanlı olarak yorumlanmış, iklimlendirilmiş ortamlarda yaşayan insanlarda boyun hareket kısıtlılığı oluşturmeyen en uygun şartlar tespit edilerek, akademik ve endüstriyel kullanıcılara önerilmiştir.

Arslanoğlu (2009) yapmış olduğu deneysel çalışmada, klimanın yazın soğutmada 22°C sıcaklık ve 0,2 m/s hava hızı veya 24 ° C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı olacak şekilde çalıştırılmasının insan üzerinde aynı ısı konforu sağladığı sonucuna varmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak tüm Türkiye’de split klima kullanılan mahallerde hava sıcaklığını 2 ° C düşürmek yerine hava hızını 0,2 m/s artırmanın yıllık ne kadar enerji tasarrufu sağladığını hesaplamış ve grafikler halinde sunmuştur.

Arslanoğlu ve ark. (2011) kontrollü odada yapmış oldukları deneysel çalışmada, iç ortam bağıl nemini %50 değerinde sabit tutup farklı iç ortam hava hızı ve sıcaklıklarında deneklerin ense deri yüzey sıcaklıklarını ölçmüş ve deneklerin ısı konfor sorgulamasını yapmıştır. Bu çalışmada ısı konfor sorgulaması tahmini ortalama oy (PMV) indisi ile yapılmıştır. Yapılan deneysel ölçümler ve ısı konfor sorgulaması sonuçları birlikte değerlendirilerek iklimlendirme sistemlerinin ideal işletim şartları hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Chen ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada, dış ortamdan iklimlendirilmiş ortama giren insanlarda ısı konforsuzluk ve sağlık sorunları meydana gelebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada geçici rejim şartlarında ani sıcaklık değişiminde insan vücudunun verdiği ısı tepkiyi incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı kontrollü oda hazırlamışlar, birinde 32 °C ve 28°C iç ortam sıcaklığından 24 °C ye düşürülmüş, diğerinde iç ortam sıcaklığı 20 °C den 24 °C ye yükseltilmiştir. Bu sıcaklık değişimlerinde deneklerin ısı duyularındaki değişimler incelenmiştir. Bunun yanı sıra deri nemliliği, transepidermal su kaybı, deri sıcaklığı, deri kılcak kan akışı gibi deri fizyolojik özellikleri de incelenmiştir. Sonuç olarak insanın ısı duyusunda önemli bir değişiklik yaşamaması için ortamdaki ani sıcaklık değişiminin 4 °C' yi aşmaması gerektiğini vurgulamışlardır.

Sezgin (2011) yapmış olduğu çalışmada, mağaza aydınlatmasının müşteri karakteristiklerine bağlı algılanmasını incelemiştir. Araştırmanın sonucu yaş, cinsiyet ve eğitim seviyesi gibi müşteri karakteristiklerinin farklılıklarının mağaza aydınlatması üzerindeki etkisini ve algı biçimini ortaya koymuştur. Çalışmada, halojen lambalar ısı ürettiği için çok sayıda kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir.

Chou ve ark (2014) yapmış oldukları çalışmada binalarda en çok enerji kullanımının ısı konforu sağlamak için olduğunu, daha iyi bir ısı konfor için iklimlendirme sistemlerinin uygun işletim şartlarının belirlenmesinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Taguchi yönteminin ısı konfor değerlendirme hızının tam-faktöriyel yöntemine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak Taguchi yöntemi

başarılı bir şekilde uygulanmış ve ısı konfor değerlendirmesinde yüksek bir verimlilik gösterdiği belirlenmiştir.

2.3. Işınım ve Isıl Konfor

Atmaca ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, yüksek ışıınım sıcaklığının sebep olduğu vücut parçaları arasındaki lokal farklılıkları ve farklı konstrüksiyondaki duvar ve tavanların iç yüzey sıcaklıklarının ısı konfor üzerine etkisini incelemişlerdir. Vücut parçaları ile çevresi arasındaki ısı etkileşim, iki noktalı Gagge modeli modifiye edilerek simüle edilmiş, vücut parçalarındaki lokal farklılıklar gösterilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasının sonuçları ile literatürde yayınlanmış simülasyon ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür.

Sakoi ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, asimetric ışıınım etkisi altında tüm vücut için ısı konfor incelemenin yanında, lokal deri sıcaklıkları ve duyulur ısı kaybını ölçülmüştür. İnsan kullanılan deneylerde genel ısı duyum hissi ve lokal konforsuzluğu değerlendirmişlerdir. Isıl manken deneylerinde üniform olmayan çevre şartlarında, lokal duyulur ısı kaybını ölçen hassas bir metod geliştirmişler. Işınım panelleri ile ön-arka, sağ-sol, aşağı-yukarı asimetric ısı çevre oluşturmuşlardır. İç ortam sıcaklığının 25,5 - 30,5 °C, ışıınım panellerin yüzey sıcaklığı 11,5-44,5 °C, bağıl nemin %40 ile %50 arasında değiştiği, giriş hava hızının 0,05 m/s altında olduğu 35 ısı çevre şartı oluşturmuşlardır. Ortalama deri sıcaklığı ve duyulur ısı kaybı hemen hemen sabit kalmasına rağmen, üniform olmayan ısı çevre şartlarına bağılı olarak lokal deri sıcaklıklarında ve duyulur ısı kaybında değişiklikler meydana geldiği görülmüştür.

Ghali ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, daha önce geliştirdikleri çok noktalı ve parçalı biyosis modelini, Lübnan'da soba ile hacim ısıtması yapılan bir mekanda, asimetric ışıınım etkisine maruz kalan insanın ısı konfor cevaplarını tahmin etmek için ısıl modele entegre etmişler ve soba tarafından asimetric ışıınım etkisi oluşturulan ortamda sürekli rejimde ayakta olan deneğin vücut parçalarında farklı sıcaklıkları ölçmüşlerdir. Deneyler asimetric şartlarda, biyosis modelin vücut deri sıcaklığını tahmin edilebilir olduğunu doğrulamak için yapılmıştır. Modelin tahmin ettiği deri sıcaklıkları

ile deneysel olarak elde edilen sonuçların uyumlu olduğu, arasında \pm %5 fark olduğu görülmüştür.

Watanabe ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmada, dış ortam şartlarında ısı konforu etkileyen çeşitli faktörlerin olduğu, bunlardan birinin güneş ışınımı olduğunu ve dış ortam ısı konfor şartlarını doğru bir şekilde değerlendirebilmek için insan vücudunun güneş yutucu özelliğini ölçmek gerektiğini vurgulamışlardır. İnsan derisinin ve kumaşların güneş yutucu özelliğini ölçen birçok çalışmanın yapıldığını, ancak bu ölçümlerde giyinik bir insan vücudunun güneş yutuculuğunun verilmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada siyah ve beyaz kıyafetlerin birleşiminden oluşmuş bir giysi takımının ve bunun yanı sıra okul çağındaki Japon erkek öğrencilerin yaz, sonbahar, kış aylarında giydiği günlük kıyafetleriyle insan vücudunun ortalama güneş yutuculuğunu tespit etmişlerdir. Giyinik insan vücudunun güneş yutuculuğu deneylerden elde edilmiştir. Sonuç olarak güneş yutuculuğu siyah tişört ve siyah pantolon kombinasyonunda 0,76, beyaz tişört ve beyaz pantolon kombinasyonunda 0,38 çıkmıştır. Ayrıca yaz, sonbahar, kış aylarında günlük kıyafetlerini giymiş 30 Japon erkek öğrencinin vücudunun ortalama güneş yutuculuklarının sırasıyla 0,66, 0,69 ve 0,77 değerlerinde olduğunu tayin etmişlerdir. Diğer bir sonuç olarak da yaz aylarında deneklerin giyinik vücudunun ortalama güneş yutuculuğunun vücudun üst kısmına giydiği kıyafet rengine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm giyinik vücudun ortalama güneş yutuculuğu değeri siyah üst kıyafette 0,76, beyaz üst kıyafette 0,56, üst kıyafetin renginin ¹Munsell değerinin 2 ila 8 arasında olması durumunda ise 0,68 değerlerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Mevcut tez çalışması kapsamında da bu çalışmada olduğu gibi deneklere farklı renkte giysiler (siyah ve beyaz tişörtler) giydirilerek, farklı renkteki giysilerin farklı ışınım yutma özelliklerinin ısı konfora etkisi incelenmiştir.

Barna ve ark. (2012) tarafından sunulan çalışmada, tasarımcıların enerji etkin sistemler geliştirmesi gerektiğini ve bunun yanında ısı konforun sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Lokal konforsuzluk parametrelerinden iki tanesi olan ışınım sıcaklığı

¹ Munsell renk sistemi, bir rengin görsel özelliklerini, renk adı, değer ve doygunluk gibi üç bileşenle tanımlayabilen bir sistemdir (Ünver 2000, Yılmaz 2002)

asimetrisi ve sıcak zeminin birleşik etkisi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada denekler ve termal manken, soğuk duvar ve sıcak zemin etkisine aynı anda maruz bırakılmışlardır. Deneklerin ısı duyum algıları ve deri sıcaklıkları, ışınlama olan ısı transferinden dik soğuk duvar yüzeyden sıcak zemine göre daha çok etkilenmiştir. Ayrıca cinsiyet farklılığının deri sıcaklığının değişiminde önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür.

Alfano ve ark. (2013) yaptığı çalışmada, iç ve dış ortam şartlarında ortalama ışınlama sıcaklığının insan ısı konforunu etkileyen altı parametreden biri olduğunu ve ortalama ışınlama sıcaklığının direkt ölçülemediğini, detayları ve hassasiyetleri ISO 7726 standartlarında belirtilen farklı ölçüm yöntemleri ve cihazlarla gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Çalışmada bu ölçüm yöntemleri ve pratikte en yaygın kullanılan cihazlar üzerinde karşılaştırmada bulunmuşlardır. Bunun için bir test odası yapmışlar ve sonuç olarak ISO 7726 standartlarına uygun olarak farklı ölçüm cihazlarıyla elde edilen ortalama ışınlama sıcaklığı sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, ölçüm protokolleri üzerinde derinlemesine bir tartışma ihtiyacı başlatmış, hassasiyetlerin az olmasına neden olan cihazlar ISO 7726 standartlarına rapor edilmiştir.

Frontini ve ark. (2012) yılında yapmış oldukları çalışmada, ofislerde çeşitli iç panjur kaplamalarının operatif sıcaklık üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Güneş koruma sistemlerinin, bina konforu ve insan üzerindeki etkilerinin doğru değerlendirilmesinin çok önemli olduğunu, bir çok bina enerji simülasyon programının iç yüzeylerin gerçek ışınlama yayma katsayısı değerine bağlı olarak ortalama ışınlama sıcaklığını dikkate aldığını ancak bu yaklaşımın iç yüzey ışınlama katsayısı 1'e yakın olduğu normal konstrüksiyonlarda kabul edilebilir olduğu, iç yüzeylerin ışınlama katsayısı düşük boyalarla boyanmış veya düşük emissiviteye sahip kaplamalarla kaplı olduğu zaman dikkate alınması gereken hatalara sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Atmaca ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, insan ile ortam arasındaki ısı etkileşimi iki noktalı Gagge modelinin bütün vücuttan ziyade on altı farklı vücut parçasına uygulanması ile simüle etmişlerdir. Bu sayede ortam ışınlama sıcaklığının farklı vücut parçaları üzerine etkisini tespit etmişlerdir. Simülasyon ile farklı ışınlama sıcaklığının

farklı vücut parçaları üzerinde lokal sıcaklık farkına yol açtığını göstermişlerdir. Simülasyon sonuçlarına yakın sonuçları deneysel olarak da elde etmişler, termal kamera görüntüleri ile lokal sıcaklık farklılıklarını göstermişlerdir. Çalışmada, ortam ışınım sıcaklığının, ortam kuru termometre sıcaklığından farklı olması durumunda konforsuzluk oluşumuna sebebiyet verebileceğini sonucuna varmışlardır. Ancak bu çalışmada da kapalı hacimlerde direkt insan üzerine ışınım yayan ampuller gibi bir etkenin insan ısı konforu üzerine etkisi incelenmemiştir.

2.4. Tezin Amacı, Katkısı ve Yenilikleri

Literatür taramasından görüleceği üzere ışınım ile ilgili ısı konforu çalışmalarında, dış ortamda güneşten kaynaklanan ışınımın etkisi ile kapalı mekânlar için ise sadece farklı duvar sıcaklıklarının asimetric ışınım etkilerinin insan ısı konforu üzerine etkileri araştırılmıştır. Fakat bu çalışmalarda aydınlatma için kullanılan ampullerden kaynaklanan ışınımın insan ısı konforu üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu amaçla, işyerlerinde aydınlatma için kullanılan ampullerin yaydığı ışınım ısı akısının etkisinde kalan insan vücudunun ısı ortama verdiği ısı tepkiyi tayin edebilmek için, insan ile çevresi arasında olan ısı ve kütle transferini hesaplayabilen ve böylece zamana bağlı olarak vücut deri sıcaklığını tayin edebilen bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Mevcut çalışma kapsamında oluşturulan modelde iki bölmeli Gagge modeli, tüm vücuttan ziyade on altı vücut parçasına uygulanarak kullanılmıştır. Işınım ısı akısı etkisini simülasyon programından elde edilen sonuçlarda da görebilmek için Gagge modeli değiştirilmiştir. Temel Gagge modeline dayalı bazı değişiklikler yapılmış simülasyon çalışmalarına literatürde rastlamak mümkündür. Fakat ışınım kaynaklarının yaydığı ışınımın etkisini görebilmek için geliştirilmiş model ve simülasyon çalışmasına rastlanmamıştır.

Dış ortamda insanların giydikleri kıyafetlerin insan ısı konforunu nasıl etkilediğini ele alan ve kapalı mekânlarda ısı konforu parametrelerinin insan ısı konforu ve ısı duyumuna etkilerini inceleyen çalışmalar mevcuttur. İç ortam koşullarında herhangi bir ışınım kaynağı etkisindeki insanın giydiği kıyafetin ve duruş pozisyonunun insan ısı

konforu üzerine etkisini ele alan çalışma literatürde mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında aydınlatma için kullanılan farklı ampullerin yaydığı ışınım ısı akısı etkisindeki insanın giydiği kıyafetin ve duruş pozisyonunun insan ısı konforu üzerine etkisi deneysel incelenecektir.

Deneyle yaz ve sonbahar mevsiminde laboratuvar ortamında hazırlanmış bir şartlandırma odasında yapılacaktır. Yaz ortam şartları, sıcaklık için 24 °C, nem için %50, hava hızı içinse 0,2 m/s seçilmiştir. Sonbahar ortam şartlarında ise iklimlendirme yapılmamıştır. Kıyafet rengi siyah ve beyaz renk kullanılmış, denekler ayakta ve oturma pozisyonunda konumlandırılmıştır. Burada amaç, aydınlatma amacıyla kullanılan farklı ampullerin yaydığı ışınım etkisi altındaki insanın giydiği kıyafet renginin ve duruş pozisyonunun insan ısı konforuna etkisinin incelenmesidir.

Çalışma sonucunda kıyafet renginin ve duruş pozisyonunun ışınım etkisi altında insan ısı konforu üzerine etkisi deneysel olarak elde edilirken, ışınım ısı akısı etkisi altında olan vücudun ısı ortama verdiği ısı tepki de geliştirilen model ve simülasyon programı ile incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan simülasyon sonuçları ve deneysel veriler eş zamanlı olarak değerlendirilmiş, belirli iç ortam koşullarında vücudun ısı tepkileri simülasyondan alınmış, o ortam koşullarında vücut sıcaklığındaki değişimler ise deneysel olarak elde edilmiş ve beraber yorumlanmıştır.

Böylece, iç ortamlarda aydınlatma amacıyla kullanılan ampullerin yaydığı ışınım ısı akısı etkisi altındaki insanların giymiş olduğu farklı renkte kıyafetler ve duruş pozisyonları ile değişik ampul tipleri için uygun şartlar saptanarak, ısı konfor açısından bilimsel bir veri oluşturulmuş ve akademik kullanıcılara önerilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, ışınlama ısı transferi ve ışınlama ısı konfor üzerinde etken olduğu temel konulardan bahsedilecek, aydınlatma hakkında genel bilgi verilecek, sonra en çok kullanılan ısı konfor modelleri tanıtılacak, tez çalışması kapsamında oluşturulan simülasyonda kullanılan on altı parçalı iki bölmeli Gagge modelinin çözümü için gerekli olan denklemler sunulacak ve ampullerden kaynaklanan ışınlama ısı akısının etkisini görebilmek için on altı parçalı iki bölmeli Gagge modelinde yapılan düzenlemeden bahsedilecektir. Daha sonra deneysel çalışmaların detaylarından bahsedilecek, deney tasarımında faydalanılan Taguchi metodu tanıtılacak, bu metoda göre yapılan deneysel tasarım sunulacaktır.

3.1. Işınlama Isı Transferi

Işınlama gerçekleşen ısı transferi, elektromanyetik dalgalar ya da fotonlar (kütlesiz enerji yüklü parçacıklar) vasıtasıyla gerçekleşen ısı transferi diye tanımlanır. Vakum ortamında, bir odada bulunan sıcak bir cisim zamanla soğur ve çevresiyle ısı dengeye gelir. Yani sıcaklığı oda sıcaklığına gelinceye kadar soğur. Cisim ile oda arasında vakum ortamı olduğu için taşınım ve iletim mekanizmaları ile ısı transferi gerçekleşemez. Bundan dolayı ısı transferi başka bir mekanizma ile gerçekleşmek zorundadır. Bu mekanizma ışınlamadır. Işınlama ısı transferinin diğer iki ısı transferi mekanizmasından farkı, gerçekleşmesi için herhangi bir ara ortama ihtiyaç duymamasıdır. Yüzeylerin birbirini görmesi yeterlidir. Işınlama ısı transferi, sıvı ve gazlar da olduğu gibi katılarda da olur. Gazlarda ışınlama yayma işlemine bütün moleküller katılmaktadır. Bundan dolayı gazlarda ışınlama hacimsel bir olaydır. Sıvılarda ise yaklaşık 1 cm' lik yüzey katmanında bulunan sıvı molekülleri ışınlama yayma işlemine katılmaktadır. Katılarda sadece 1µm'lik yüzey katmanında bulunan moleküller ya da atomlarla ışınlama yayma işlemi gerçekleşmektedir. Bu nedenle katı ve sıvılarda ışınlama yayını ve soğurma işlemi yüzeyde gerçekleşen bir olaydır. Özellikle katılarda yüzey şartları değiştirilerek ışınlama yayma ve soğurma etkinliği artırılabilir. Örneğin cisimlerin yüzeyleri siyaha boyanarak ısı ışınlama artırılabilir. Siyah cisim (yüzey), teorik olarak

tanımlanan ve üzerine düşen ışınımın tamamını soğurabilen ve aynı zamanda maksimum ışınım yayan cisim olarak tanımlanmaktadır. Siyah cisim gerçek cisimlerin ışınım yayma ve soğurma oranlarını belirlemek için tanımlanmıştır. Gerçekte siyah cisim yoktur. Ancak bir cismin yüzeyi karbon veya platin siyahı ile boyanarak siyah cismin özelliklerine yakın özellikler kazandırılabilir (Kamışlı 2012). Çoğu pratik uygulamada ısı transferinin üç mekanizması eşzamanlı olarak gerçekleşir. Ancak vakumlanmış bir ortamda ısı transferi sadece ışınım ile olabilir. Mesela güneşin enerjisi dünyaya ışınım ile ulaşır. Taşınım ve iletim ile ısı transferi yüksek sıcaklıklı bir ortamdan düşük sıcaklıklı bir ortama gerçekleşmektedir. Işınım ile ısı transferinin, kendilerinden daha soğuk bir ortamla ayrılan iki cisim arasında gerçekleşmesi ilginçtir. Mesela güneşten gelen ışınım yüksek soğuk hava tabakalarını geçtikten sonra dünyaya ulaşır (Çengel 2002).

3.1.1. Görüş faktörü

İki yüzey arasındaki ışınım vasıtasıyla ısı transferi üzerinde yönlendirme etkilerini açıklamak için, yüzey özelliklerinden ve sıcaklığından bağımsız, tamamıyla geometrik bir nicelik olan ve görüş faktörü adı verilen bir parametre tanımlanır (Çengel 2002). İnsan, şöminde yanan ateşe tamamen kapalı bir yerde oturuyorsa, şömindeki ateşten doğrudan ısı transferi olmaz. Ateşin karşısında oturan kişi ışınım yolu ile doğrudan ısı alır. Hatta ateşe daha yakın oturan kişi daha fazla ısı alır. Ateşin tam önünde oturan, yanlarında oturanlardan daha fazla ısı enerjisi alır. Bu örnekte belirtildiği gibi, pozisyon kaynakla alıcı arasındaki ışınım ile olan ısı transferinde, transfer edilen ısı miktarının belirlenmesinde önemlidir. Görüş faktörü kaynakla alıcı arasındaki uzaklık ve geometrilere bağlı olarak tanımlanır. Diğer bir tanımı da bir cisimden ayrılıp diğer cisme direkt olarak giden ışınımın oranı olarak da tanımlanabilir (Yiğit, Kılıç 2014).

Bir i yüzeyinden j yüzeyine görüş faktörü $F_{i \rightarrow j}$ olarak gösterilir. Birbirini gören i ve j gibi genel iki yüzeyin alanı birbirine eşit olmadıkça $F_{i \rightarrow j}$ ve $F_{j \rightarrow i}$ görüş faktörleri birbirine eşit değildir. Yani, $A_i = A_j$ iken $F_{i \rightarrow j} = F_{j \rightarrow i}$, $A_i \neq A_j$ iken $F_{i \rightarrow j} \neq F_{j \rightarrow i}$ şeklindedir. $F_{i \rightarrow j}$ ve $F_{j \rightarrow i}$ görüş faktörü çifti arasında;

$$A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i} \quad (3.1)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı karşılıklılık bağıntısı veya karşılıklılık kuralı olarak anılır ve görüş faktörünün kendi ve iki yüzeyin alanı bilgilerinden diğer görüş faktörünün bulunmasını sağlar. $F_{i \rightarrow j}$ ve $F_{j \rightarrow i}$ görüş faktörü çiftinin bulunması esnasında öncelikle kolay olanı türetilip, ondan sonra karşılıklılık bağıntısını uygulanarak daha zor olanı bulunur (Çengel 2002).

Bir yüzeyin ışıınınm çözümlenmesinde bütün yönlerden gelen ve giden ışıınınm dikkate alınması gerekir. Bir ışıınınm formülü elde edilirken, genellikle ışıınınm yoluyla birbiriyle etkileşen yüzeylerin oluşturduğu bir kovuk oluşturulur (Çengel 2002). Kapalı ortamlardan yayılan ısı ışıınınm tamamı yüzeyler tarafından alınacağından, oranların toplamının bire eşit olması gerekir (Kamışlı 2012). Toplam kuralı olarak bilinen ifade matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$\sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} = 1 \quad (3.2)$$

Buradaki N kapalı ortamdaki yüzey sayısıdır. Mesela üç yüzeyli bir kapalı ortama toplam kuralının uygulanmasıyla;

$$\sum_{j=1}^3 F_{1 \rightarrow j} = F_{1 \rightarrow 1} + F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} = 1$$

elde edilir.

3.1.2. Isıl ışıınınm

Elektromanyetik dalgalar aynı özellikte olmalarına rağmen, değişik dalga boyuna sahip dalgalar farklı davranış gösterirler. Isı transferine uygun elektromanyetik ışıınınm tipi olan ısı ışıınınm, bir maddenin molekül, atom ve elektronlarının enerji değişmesinin sonucu yayınır. Sıcaklık, mikroskobik düzeydeki bu aktivitelerin şiddetinin bir ölçüsüdür ve ısı ışıınınm yayınıımı artan bu sıcaklığa bağlı olarak artar. Isıl ışıınınm elektromanyetik dalga spektrumunun $0,1 \mu m$ ve $100 \mu m$ dalga boyu aralığında

yayılmaktadır. Bu aralığın dışında dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar farklı isimlerle adlandırılmaktadır. Elektromanyetik ışınımın farklı tipleri çeşitli mekanizmalarla üretilirler. Mesela gama ışınları nükleer reaksiyonlarla, X- ışınları metallerin yüksek enerjili elektronlar ile bombardımanıya, mikrodalgalar klistronlar ve magnetronlar gibi özel tip elektron tüpleriyle ve radyo dalgaları bazı kristallerin uyarılması veya elektrik iletkenlerinden alternatif akımın akmasıyla üretilir (Çengel 2002).

Işık olarak adlandırılan elektromanyetik dalgalar, elektromanyetik spektrumun görünür kısmıdır ve 0,40 ile 0,76 μm aralığında yayınır. Işığın insan gözünde görme hissine yol açması dışında özellik olarak diğer elektromanyetik ışınımından farkı yoktur. Görünür aralıkta bir miktar ışınım yayan cisimlere ışık kaynağı denir. Güneşin ana ışık kaynağı olduğu açıktır. Güneşin yaydığı elektromanyetik ışınım güneş ışınımı olarak tanımlanır ve hemen hemen tamamı 0,3-3 μm dalga boyu aralığına düşer. Güneş ışınımının neredeyse yarısı ışıktır, gerisi morötesi ve kızılötesidir.

Cismin özelliklerine göre, cismin üzerine gelen toplam ışınımın bir kısmı yutulur, bir kısmı yansıtılır, geriye kalan kısmı da geçirilir. Cismin yüzeyinden yutulan, yansıtılan ve geçirilen ışınım miktarlarının; yüzeye gelen ışınım miktarına oranları sırasıyla ışınım yutma oranı α , ışınım yansıtma oranı ρ , ışınım geçirme oranı τ olarak tanımlanırsa;

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3.3)$$

bağıntısı elde edilir.

Çoğu katı maddelerin ışınım geçirme oranı sıfırdır, bu tür yüzeyler opak yüzey olarak adlandırılır. Opak bir yüzey için;

$$\alpha + \rho = 1 \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Cisimler üzerlerinden yansıyan ışınlar vasıtasıyla görünürler, eğer ışınım yansımaları yoksa bu cisim siyah olarak görünür. Bir yüzey tarafından, belli bir dalga boyunda yayılan ışınımın enerji miktarı, yüzey sıcaklığının yanı sıra cismin malzemesine ve yüzey şartlarına da bağlıdır. Bu sebeple aynı sıcaklıkta olsalar bile farklı cisimler, birim yüzey alanlarından farklı miktarlarda ışınım yayabilirler. Bundan dolayı gerçek

yüzeylerin ışınma özellikleriyle kıyaslanabilecek bir standart görevi gören siyah cisim denilen ideal bir cisim tanımlanır. Siyah cisim mükemmel ışınım yayıcısı ve soğurucusu olarak tanımlanır. Belirli bir sıcaklık ve dalga boyunda hiçbir yüzey siyah cisimden daha fazla enerji yayamaz. Bir siyah cisim dalga boyu ve yönüne bakılmaksızın gelen bütün ışınımı soğurur ve her yönde yayınım yönüne dik birim alan başına ışınım enerjisi yayar. Üzerine bütün dalga boylarında gelen ışınımı yutan ideal bir yüzey, siyah cisim olarak adlandırılır. Bir siyah cisim için $\alpha=1$, $\rho=0$, $\tau=0$ dır.

Bir yüzeyin yayıcılığı, belli bir sıcaklıkta yüzeyin yaydığı ışınımın aynı sıcaklıktaki siyah cismin yaydığı ışınımına oranını gösterir, ε ile gösterilir ve sıfır ile bir arasında değişir: $0 < \varepsilon < 1$. Gerçek cismin yayıcılığı, $\varepsilon=1$ olan siyah cisme ne kadar yaklaştığının bir ölçüsüdür. Siyah cismin birim alan başına yaydığı belli bir mutlak sıcaklıkta ışınım enerjisi Stefan-Boltzmann kanunu olarak şu şekilde ifade edilir (Çengel 2002);

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (3.5)$$

Burada $\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ Stefan-Boltzmann sabiti, T ise K cinsinden yüzeyin mutlak sıcaklığıdır. Bir cismin toplam neşretme gücü mutlak sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle orantılıdır. Yüzeyler ışınımı hem yayar hem de yansıtır ve yüzeyi terk eden ışınım; yayılan ve yansıyan bileşenlerden oluşur. Bir yüzeyin birim alanından birim zamanda ayrılan toplam ışınım enerjisi giden ışınımdır ve J ile gösterilir.

Gri ve opak i yüzeyi ($\varepsilon_i=\alpha_i$ ve $\alpha_i + \rho_i=1$) için giden ışınım

$$\begin{aligned} J_i &= (i \text{ yüzeyinin yaydığı ışınım}) + (i \text{ yüzeyinin yansıttığı ışınım}) \\ &= \varepsilon_i E_{bi} + \rho_i G_i \\ &= \varepsilon_i E_{bi} + (1-\varepsilon_i) G_i \quad (\text{W/m}^2) \end{aligned} \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir. Burada $E_{bi}(T) = \sigma T^4$ değeri i yüzeyinin siyah cisim ışıyım yayma gücü ve G_i ise gelen ışıyımdır. Bir yüzey bir ışıyım etkileşmesi esnasında ışıyarak enerji kaybeder ve diğler yüzeylerin yaydığı ışıyımı soğurarak enerji kazanır. Bir yüzey, büyük olanın hangi miktar olduğuna bağılı olarak ya net ısı kazanır veya net ısı kaybeder. A_i yüzey alanına sahip i yüzeyinden ışıyım ısı transferi net Q ile gösterilir ve şu şekilde ifade edilir.

$$Q_i = (\text{Bütün i yüzeyinden ayrılan ışıyım}) - (\text{Bütün i yüzeyine gelen ışıyım}) \\ = A_i(J_i - G_i) \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.6' dan G_i çözümlür ve Eşitlik 3.7' de yerine konulursa

$$Q_i = A_i \left(J_i - \frac{J_i - \varepsilon_i E_{bi}}{1 - \varepsilon_i} \right) = \frac{A_i \varepsilon_i}{1 - \varepsilon_i} (E_{bi} - J_i) \quad (3.8)$$

elde edilir. Elektrik devreleri benzeşiminin ifadesiyle Eşitlik 3.8 şu şekilde,

$$Q_i = \frac{E_{bi} - J_i}{R_i} \quad (3.9)$$

düzenlenebilir, burada;

$$R_i = \frac{1 - \varepsilon_i}{A_i \varepsilon_i} \quad (3.10)$$

ışıyımına karşı yüzeyin direncidir.

N yüzeyden oluşmuş kapalı bir sistemde; i ninci yüzeyin net ısı ışıyımının bulunması için bu yüzeyin diğler tüm yüzeylerle olan net ışıyım ısılarının toplanması gereklidir. Dolayısıyla şu şekilde ifade edilir;

$$Q_i = \frac{E_{si} - J_i}{R_i} = \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{R_{i \rightarrow j}} \quad (3.11)$$

3.1.3. Ortalama ışıınım sıcaklığı

İnsan vücudu ile ilgili ısı hesaplarında kullanılan temel değişkenlerden biridir. Glob sıcaklığı, hava sıcaklığı ve hızından yararlanarak ortalama ışıınım sıcaklığı tahmin edilebilir. Bu şekilde belirlenen ortalama ışıınım sıcaklığının hassaslığı, çevrenin türüne ve ölçümlerin hassaslığına göre önemli ölçüde değişebilir. Ortalama ışıınım sıcaklığı glob termometre ile ölçülebildiği gibi kişiyi çevreleyen yüzeylerin sıcaklıklarına ve bu yüzeylerin kişiye göre konumlarına bağlı olarak da hesaplanabilmektedir. Yapı malzemelerinin çoğu yüksek ışıınım yayma katsayısı değerlerine sahip olduğu için, yüzeylerin tümü siyah cisim gibi düşünölebilmektedir. Ortalama ışıınım sıcaklığını hesaplamak için şu ifade kullanılır;

$$T_r^4 = T_1^4 \cdot F_{P-1} + T_2^4 \cdot F_{P-2} + \dots + T_N^4 \cdot F_{N-1} \quad (3.12)$$

T_r = Ortalama ışıınım sıcaklığı, K

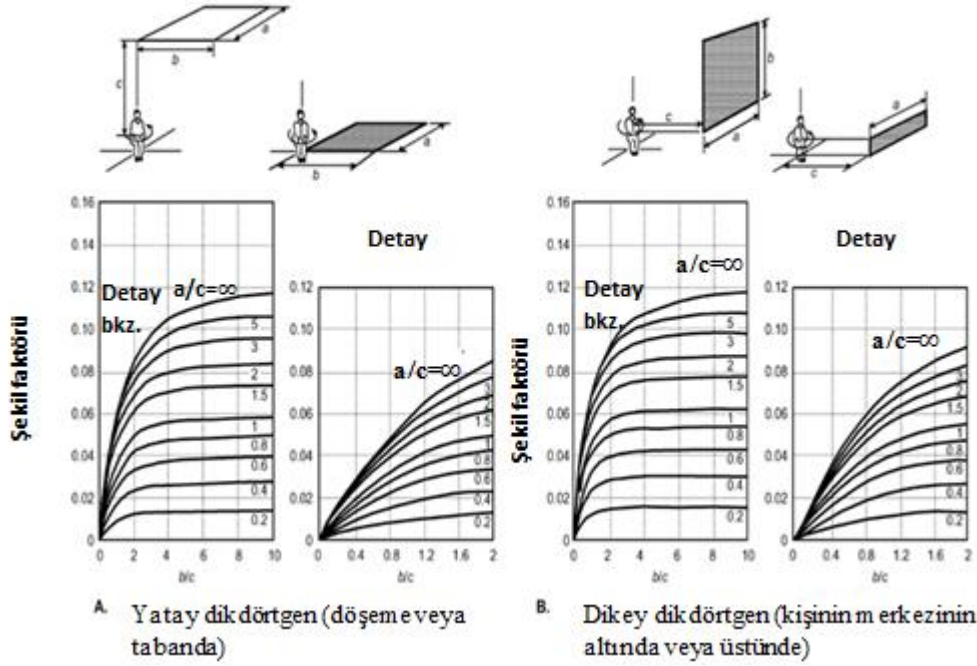
T_N = N. yüzeyin sıcaklığı, K

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

olarak tanımlanmaktadır.

Kapalı hacimlerde şekil faktörlerinin toplamı 1 olduğu için, ortalama ışıınım sıcaklığının dördüncü kuvveti, kişiyi çevreleyen yüzeylerin sıcaklıklarının dördüncü kuvvetlerinin, ilişkili şekil faktörleri ile çarpımının toplamına eşittir. Genelde kişinin konumuna ve duruş biçimine bağlı olan şekil faktörünü bulmak kolay değildir. Şekil 3.1'de dikdörtgen yüzeyler için şekil faktörleri verilmektedir (Anonim 2009). Kişiyi çevreleyen yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı düşük ise Eşitlik 3.12 ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir (Anonim 1993). Eşitlik 3.13 ifadesi Eşitlik 3.12' ye oranla her zaman biraz daha düşük bir ortalama ışıınım sıcaklığı verir.

$$T_r = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N \cdot F_{p-N} \quad (3.13)$$

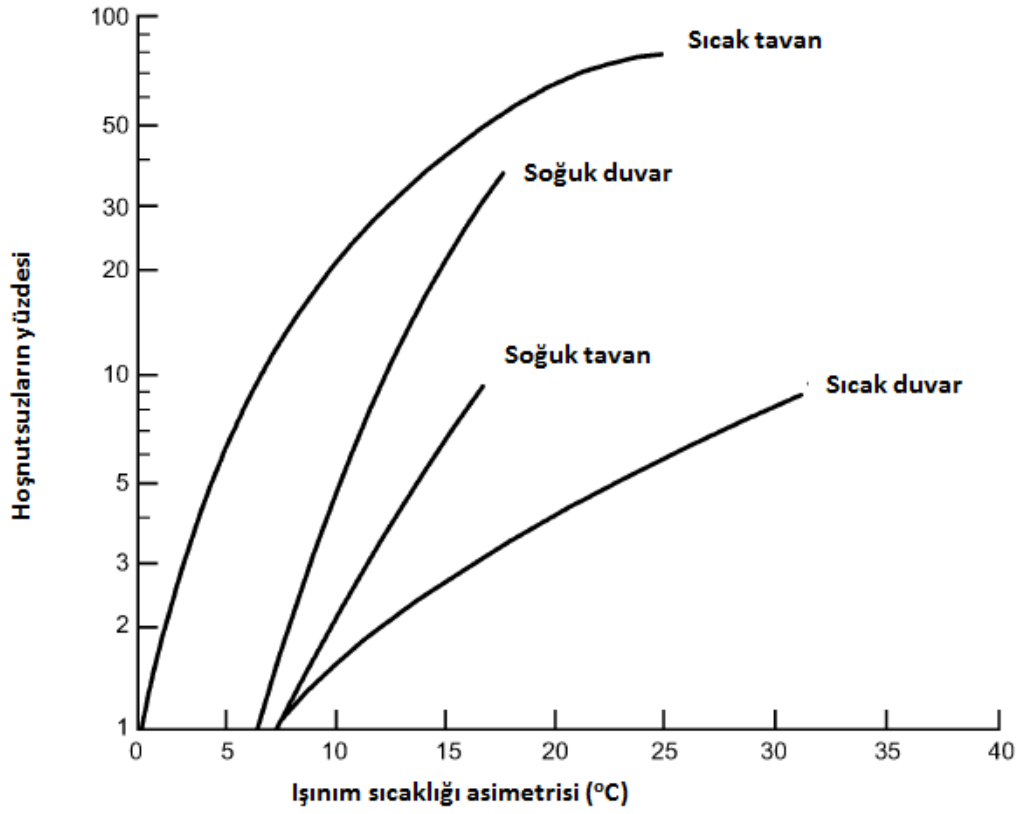


Şekil 3.1. Oturan bir kişi ile yatay ve dikey dikdörtgenler arasındaki şekil faktörleri (Anonim 2009)

3.1.4. Asimetrik ısı ışınım

Ortamda asimetrik veya üniform olmayan ısı ışınım; soğuk pencerelerden, yalıtılmamış duvarlardan, soğuk ürünlerden, sıcak veya soğuk makinelerden, tavanda veya duvarda hatalı boyutlandırılmış ısıtma panellerinden kaynaklanabilir. Binalarda, ofislerde, restaurantlarda ve benzeri yerlerde asimetrik ısı ışınımıyla ilgili konforsuzluğun başlıca nedenleri, kışın büyük pencereler, hatalı boyutlandırılmış veya yerleştirilmiş tavadan ısıtma panelleridir.

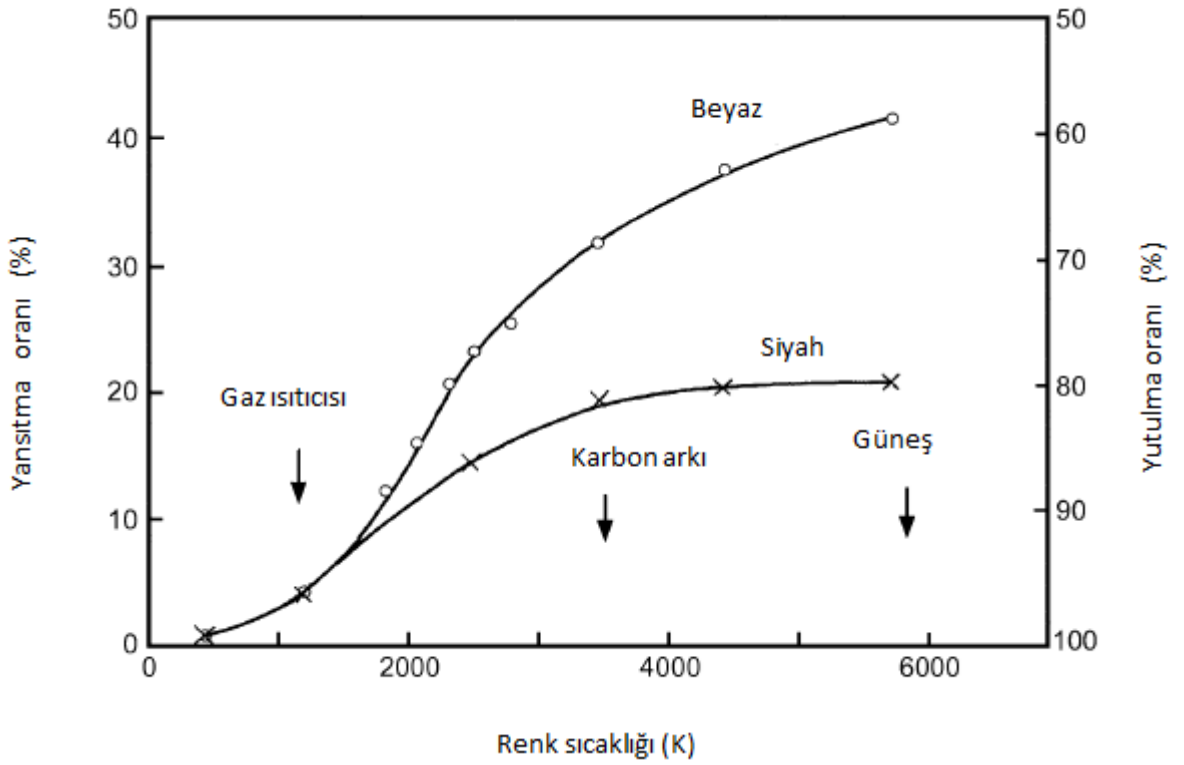
Şekil 3.2' de asimetrik ışımandan dolayı konforsuzlukların yüzdesi verilmektedir. İnsanların üst sıcak yüzeyden kaynaklanan asimetriye, dikey soğuk yüzeye oranla daha duyarlı oldukları görülmektedir. Üst soğuk yüzey ve dikey sıcak yüzeyin etkileri daha azdır. Bu bilgiler büyük soğuk yüzeyleri ve soğuk pencereleri olan ortamlarda ısı konforu sağlamak için ısıtım panoları yerleştirirken önem kazanmaktadır (Anonim 2009).



Şekil 3.2. Asimetrik ışımdan dolayı konforsuzluk ifade edenlerin yüzdesi (Anonim 2009)

3.1.5. İnfrared ısıtma

İnfrared ışınımın deri sıcaklığı ve derideki kan akışında neden olduğu değişimler ile sıcaklık ve konfor duyuları üzerindeki etkilerini araştırmak için derinin optik ve ısıl özelliklerinin dikkate alınması gerekir (Hardy 1961). Şekil 3.3' de derinin yansıtma ve yutma oranlarının verilen sıcaklıktaki (K) bir siyah cisim ışınım kaynağına göre değişimi verilmiştir. Bu eğriler 2500 K sıcaklığındaki bir ısıtıcıdan kaynaklanan ışınımın koyu tenli bir deriyi açık tenli bir deriye göre daha çok ısıttığı görülmüştür (Anonim 2009).



Şekil 3.3. Deri yansıtma ve yutma oranlarının siyah cisim ışınım kaynaklarına göre değişimi (Anonim 2009)

3.2. Aydınlatma Tanımı ve Aydınlatma Türleri

Işığın bir yere, nesnelere veya bunların çevrelerine görülebilecekleri şekilde uygulanmasına aydınlatma denir. Işık, bir ışmanın ışık kaynağından çıktıktan sonra cisimlere çarparak veya direkt olarak yansması sonucu canlıların görmesini sağlayan olgudur.

Aydınlatmada amaç iyi görme koşullarının sağlanmasıdır. Bürolarda, kamu kurumlarında, fabrikalarda, trafikte, güvenlik konularında aydınlatma bu amaçla yapılır. Yanıltıcı, şaşırtıcı, ilgi çekici, alışılmamış etkiler elde etmeye yönelik amaçlarla yapılan aydınlatmalarda, bu etkilerin elde edilebilmesi görme koşulları ve aydınlığın niteliği konularının çok iyi bilinmesine bağlıdır.

Burada bir konuya özellikle dikkat çekmek gerekir. Aydınlatmada amaç, belli bir aydınlık düzeyi elde etmek değil, iyi görme koşullarını sağlamaktır. İyi bir aydınlatma ile aşağıdaki yararlar sağlanır.

- Gözün görme kabiliyeti artar,
- Göz sağlığı korunmuş olur,
- Kaza gerçekleşme oranı azalır,
- İş verimi yükselir,
- Güvenli bir ortam sağlanır,
- Estetik hislere ve konfor gereksinimine yanıt verilir.

Amacı bakımından aydınlatma üçe ayrılır.

- Fizyolojik aydınlatma: Cisimleri şekil, renk ve ayrıntıları ile rahat ve hızla görebilmek için yapılır. Bu tip aydınlatmaya fizyolojik aydınlatma denir.
- Dekoratif aydınlatma: Görülmesi istenen cisimleri bütün ayrıntıları ile göstermek değil, daha çok estetik etkiler uyandırmak için yapılan aydınlatmadır.
- Dikkati çeken aydınlatma: Bu çeşit aydınlatmada amaç reklam yapmaktır. Bunun için yüksek aydınlık düzeyleri, renkli ışıklar, değişken ışıklı şekiller ve yanıp sönen aydınlatma elemanları kullanılır.

Aydınlatma, ışığın kökenine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye; aydınlatılan yere göre de iç ve dış aydınlatma olarak ikiye ayrılabilir. Doğal aydınlatma doğal ışığın en uygun şekilde dağıtılması ile yapılır. Ayrıca doğal ışığın yapay ışıkla birlikte kullanılması konusu ve ekonomik koşulların sağlanması için binaların yerleştirilmesi ve projelendirilmesi de doğal aydınlatmanın konusudur. Yapay aydınlatma günümüzde hemen hemen sadece elektrikli ışık kaynakları ile sağlanmaktadır. Kullanılan

kaynaklara göre bu aydınlatma akkor telli lambalarla, deşarj lambaları, led lambalarla ve floresan lambalarla aydınlatma gibi alt türlere ayrılabilir.

İç aydınlatma kapalı mekânların aydınlatması olup, bu aydınlatma türünde tavan ve duvarlar yansıtma vasıtasıyla çalışma düzlemine ışık gönderirler ve çalışma düzleminin aydınlanmasına sağlarlar. Ev, okul, hastane, fabrika, tiyatro, sinema ve benzeri yerlerin aydınlatılması bu sınıfa girer. Dış aydınlatma açık yerlerin aydınlatması olup bu aydınlatma türünde aydınlatılacak yüzey genel olarak ışık kaynaklarından gelen direkt ışıklar tarafından aydınlatılır. Yol ve cadde, meydan, spor alanları, rıhtım gibi yerlerin aydınlatılması bu sınıfa girer (Taş 2013). Aydınlatma tekniği ışığa ve aydınlatmacılığa ait hesap, ölçme ve değerlendirmeleri yapabilmek için bazı temel büyüklükler tanımlanmıştır. Bu kısımdan sonra bu tanımlar açıklanmıştır.

3.2.1. Etkinlik

Işık akısı ile harcanılan güç arasındaki ilişkiye “aydınlanma verimi veya etkinlik faktörü” denir. Bir ışık kaynağının etkinlik faktörü, kaynaktan çıkan toplam ışık akısının kaynağın gücüne oranıdır. Birimi lümen/watt (lm/W) dır. Bu parametre verimlilik konusunda öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken en temel kriter olmalıdır. Çizelge 3.1’ de bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri görülmektedir (Taş 2013). Etkinlik faktörü şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$e = \frac{\Phi}{P} \quad (3.14)$$

e= etkinlik faktörü

Φ = ışık akısı (lm)

P= Güç (W)

Çizelge 3.1. Bazı ışık kaynaklarına ait etkinlik faktörleri

LAMBA TÜRÜ ETKİNLİK FAKTÖRÜ	lm/W
Akkor Lambalar	8 - 16
Halojen Lambalar	12 - 26
Floresan Lambalar	45 - 100
YB Civa Buharlı Lambalar	36 - 70
Metal Halide Lambalar	71 - 98
YB Sodyum Buharlı Lambalar	66 - 142
AB Sodyum Buharlı	100 – 198
LED	100-150 lm/W

3.2.2. Işık akısı

Işık akısı Φ harfi ile gösterilir. Birimi lümen dir (lm). Işık akısı, bir ışık kaynağı tarafından saniyede yayılan toplam ışık miktarını gösteren bir kavramdır. İnsan gözünün spektral duyarlılığına karşı bir ışık kaynağı tarafından saniyede yayılan enerjidir. Şu şekilde;

$$\Phi = K_o . F . V\lambda \quad (3.15)$$

hesaplanabilmektedir. Burada K_o enerji akısının fotometrik eşdeğeri, F enerji akısı, $V\lambda$ gözün spektral duyarlılığıdır. Çizelge 3.2' de bazı ışık kaynaklarının güç ve ışık akısı değerleri görülmektedir (Taş 2013).

Çizelge 3.2. Bazı ışık kaynaklarının güç ve ışık akısı değerleri

Bisiklet Farı	3 W 30 lm
Enkandesen Lamba	75 W 900 lm
Floresan Lamba	65 W 5 000 lm
Yüksek Basınçlı Sodyum Lamba	100 W 10 000 lm
Alçak Basınçlı Sodyum Lamba	180 W 32 000 lm
Yüksek Basınçlı Civa Lamba	1 000 W 58 000 lm
Metal Halide Lamba	2 000 W 190 000 lm

3.2.3. Işık şiddeti

Işık şiddeti “I” ile gösterilir. Birimi “candela (cd)” dır. Işık şiddeti, saniyede yayılan ışığın belli bir yönde yoğunlaşmasıdır. Noktasal ışık kaynakları için ifade edilir ve doğrultuya bağlı bir büyüklüktür. Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir γ doğrultusundaki ışık şiddeti bu doğrultuyu içine alan bir $\Delta\Omega_\gamma$ bir uzay açısından çıkan $\Delta\Phi$ ışık akısının $\gamma\Delta\Omega$ uzay açısına bölümü ile ilişkilidir. $\gamma\Delta\Omega$ sıfıra yaklaşırken bu oranın limiti de γ I ışık şiddetini tanımlar (Taş 2013, Onaygil 2008).

Noktasal bir ışık kaynağının γ doğrultusundaki γ I ışık şiddetinin tanımı;

$$I_\gamma = \lim_{\Delta\Omega_\gamma \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega_\gamma} = \frac{d\Phi}{d\Omega_\gamma} \quad 1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ sr}} \quad (3.16)$$

Bu denklemde ışık akısı lümen ve uzay açısı steradyan cinsinden yerlerine konursa ışık şiddeti candela cinsinden bulunur. Buna göre 1 steradyanlık uzay açısından çıkan ışık akısı 1 lümen ise ışık şiddeti 1 candela olur (Taş 2013, Onaygil 2008).

3.2.4. Aydınlık düzeyi

Aydınlik düzeyi “E” harfi ile gösterilir. Birimi lux tür. Aydınlik düzeyi, bir yüzeyin birim alanına düşen ışık veya ışık akısı miktarıdır. Bir yüzeyin bir M noktasındaki ortalama aydınlık düzeyi bu noktayı içine alan bir ΔS yüzeyine düşen $\Delta \Phi$ ışık akısının ΔS yüzeyine bölümüne eşittir. ΔS yüzeyi sıfıra yaklaşırsa $\Delta S / \Delta \Phi$ oranının limiti bu noktadaki aydınlık düzeyini verir (Taş 2013).

$$E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta S} = \frac{d\Phi}{dS} \quad 1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \quad (3.17)$$

Eğer Φ lümen S metrekare olarak alınırsa E lux cinsinden bulunur.

3.2.5. Lamba tipleri

İç aydınlatma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan lamba tipleri aşağıda verilmiştir;

- **Akkor Flamanlı Lambalar;**

İç mekânlarda en çok kullanılan akkor flamanlı ampulde elektrik akımı, ısıya dayanıklı ve direnci yüksek bir metal tel üzerinden, havası alınmış bir ortamda geçirildiğinde metal tel akkor hâle gelerek ısı üretirken aynı zamanda ışık yayarak çevresini aydınlatır. Cam tüp içerisindeki hava boşaltılıp yerine kripton, argon veya azot gazı kullanılırsa uzun süre çalışan aydınlatma tesisatlarında kullanılan ampuller elde edilmiş olur. Akkor flamanlı ampullerin yapısında kullanılan metal ise volfram (tungsten) adı verilen maddedir. Aşağıda akkor flamanlı lambaların üstünlükleri ve sakıncaları verilmiştir (Özbay).

Üstünlükleri;

- ✓ Bağlantısı kolaydır.
- ✓ Az yer kaplar.
- ✓ Anında ışık verir.
- ✓ Montaj maliyeti ucuzdur.
- ✓ Doğru akımda ve alternatif akımda kullanılabilir.
- ✓ Ampulün çalışma gerilimi değiştirilerek (dimmer anahtarla) ampulün ışık

akısı ayarlanabilir.

- ✓ Kullanım alanı geniştir.
- ✓ Ortam sıcaklığından etkilenmez.
- ✓ Az kullanılan (yılda 500 saatten az) tesisler için uygundur.
- ✓ Ampul sık sık yakılıp söndürülmeye uygundur.

Sakıncaları;

- ✓ Verimi düşüktür, ısınır.
- ✓ Ömrü kısadır (yaklaşık 1000 saat).
- ✓ Armatürsüz kullanıldığında göz kamaşmasına neden olur.

- **Akkor Halojen Lambalar;**

Akkor ampullere oranla yaklaşık % 20 daha fazla ışık veren ampullere halojen akkor flamanlı ampul adı verilmektedir. Halojen akkor flamanlı ampullerin yapısında flaman olarak volfram (tungsten) maddesi, cam tüpteki gazın içinde de iyot ya da brom gibi bir halojen bulunur. Teknik olarak, akkor halojen lambaların verimlilik ve Lümen/Watt cinsinden etkinlik değerleri düşüktür. Yani bu tür lambalar enerjisinin çoğunu görülür ışık yerine çevreye kızılötesi bölgede ısı olarak yaymaktadır.

- **Floresan Lambalar;**

Bu ampullerin cam tüpünün içi floresan maddeyle sıvanmıştır. Bu madde ampul içinde oluşan ultraviyole ışınları görülebilir ışığa çevirir. Floresan madde olarak silikatlar, fosfatlar ve volfram bileşikleri kullanılır. Floresan ampullerin iki ucunda elektrotları taşıyan metal başlıklar bulunur. Başlıkların iç kısmında üzeri baryum oksitle kaplanmış volfram elektrotları yer alır. Ampulün içinde ise civa buharı ve argon gazı mevcuttur.

- **LED (ışık yayan diyotlar);**

Tasarımcılara geniş ve kolay kullanım imkanları sunan ledler (ışık yayan diyotlar) sahip oldukları birçok olumlu özellikten dolayı her geçen gün biraz daha geliştirilerek aydınlatma sektöründe yerini almıştır. Çok düşük enerji sarfiyatları, yüksek ışık verimliliği, minimal boyutları, geniş renk yelpazesi, farklı renk sıcaklıkları gibi bir çok özelliğiyle yakın bir zamanda geleneksel aydınlatma sistemlerini geride bırakacak

oldukça geniş uygulama alanına sahip olan bir teknolojidir. Nano saniyeler mertebesinde hızlı bir ışık çıkışına sahiptir. Şok ve titreşimlere dayanıklıdır. Cam, flaman gibi kırılğan elemanlar ihtiva etmez. Led ampulleri doğru akım kullandığı için çalışmaları tamamıyla sessizdir. Çevrecidir, yapısında civa gibi ağır metaller ve halojen gazları yoktur. Titreşimsiz yanma özelliğine sahiptirler. Isı vermeyen ışık nedeniyle güvenli kullanım olanağı vardır (Anonim 2012).

3.3. Yaygın Olarak Kullanılan Isıl Konfor Modelleri

Vücut ile çevre arasındaki ısıl etkileşim için literatürde yaygın olarak iki model kullanılır. Bunlardan birincisi Fanger tarafından geliştirilen Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli, ikincisi ise Gagge ve ark. (1971) tarafından geliştirilen İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modelidir.

3.3.1. Sürekli rejim enerji dengesi modeli

Sürekli rejim enerji dengesi modeli Fanger tarafından geliştirilmiştir (Anonim 1993). Vücudu bütün olarak ele alıp enerji depolamasının ihmal edilebileceğini ve vücut sıcaklıklarının zamana bağlı sabit kaldığını kabul eder. Bu modelde, kor ve deri tek bir bölme olarak dikkate alınır. Enerji depolaması ihmal edildiğinden, sürekli rejimde, vücut tarafından üretilen ısı enerjisi vücuttan olan ısı kayıplarına eşit olmalıdır.

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (3.18)$$

Bu bağıntıda,

M= metabolik ısı enerjisi üretimi, W/m²

W= yapılan mekanik iş, W/m²

Q_{sk} = deri tabakasından olan toplam ısı kaybı, W/m²

Q_{res}= solunum ile olan toplam ısı kaybı, W/m²

C+R= deri tabakasından duyulur ısı kaybı, W/m²

E_{sk}= deri tabakasından toplam buharlaşma ısı kaybı, W/m²

C_{res}= solunum ile olan taşınım ısı kaybı, W/m²

E_{res}= solunum ile olan buharlaşma ısı kaybı, W/m²

3.3.2. İki bölmeli anlık enerji dengesi modeli

Vücut ile çevre arasındaki ısıl etkileşimde yaygın olarak kullanılan, enerji depolamasının ihmal edilmediği, geçici rejim için geliştirilen diğer bir model de Gagge modelidir. Bu model insan vücudunu iç içe iki silindir olarak kabul eder (Gagge ve ark. 1971, Gagge ve ark. 1986, Anonim 1993). İç silindir iç organları, kasları, kemikleri, dış silindir ise deri tabakasını simgeler. Gagge modelinde kor ve deri bölmesi arasında ısı ve kütle transferi olmasının yanında, deri tabakasından çevreye de duyulur ve gizli ısı transferi gerçekleşmektedir. Gagge modelinde yapılan bazı kabuller vardır. Deriden iletimle olan ısı geçişi ihmal edilebilir, her iki bölmenin sıcaklığı yani kor ve deri sıcaklığı üniformdur. Metabolik ısı üretimi ve yapılan mekanik iş, solunum ile yapılan ısı alışverişi kor tabakası ile ilişkilidir, kor tabakasından deri tabakasına iletim ve kan akışı ile enerji alışverişi gerçekleşmektedir.

Kor ve deri tabakasında birim zamanda depolanan ısıl enerji, bu kor ve deri tabakasının sıcaklıklarının zamana bağlı değişmesine neden olur. Isıl model her biri bir bölmenin ısıl dengesini veren birbiri ile ilişkili iki denklemlerle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Anonim 1993, Butera 1998).

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - Q_{cr,sk} \quad (3.19)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (C + R + E_{sk}) \quad (3.20)$$

Bu denklemlerde,

S_{cr} = birim zamanda kor tabakasında depolanan ısıl enerji, W/m^2

S_{sk} = birim zamanda deri tabakasında depolanan ısıl enerji, W/m^2

$Q_{cr,sk}$ = Kor tabakasından deri tabakasına olan iletim ve kan akışı ile olan taşınım ile ısı geçişinin toplamı, W/m^2

olarak tanımlanmaktadır. Vücutta birim zamanda depolanan ısıl enerji anlık iç enerji artışına eşittir. Bu artış, kor ve deri tabakası için aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$S_{cr} = (1 - \alpha). m. c_{p,b}. \left(\frac{dT_{cr}}{d\theta} \right) / A_D \quad (3.21)$$

$$S_{sk} = \alpha. m. c_{p,b}. \left(\frac{dT_{sk}}{d\theta} \right) / A_D \quad (3.22)$$

şekillerinde yazılabilir. Bu denklemlerde,

α = boyutsuz olarak vücut kütlelerinin 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). Literatürde yaygın olarak kullanılan vücudun çıplak yüzey alanı için, oldukça iyi bir sonuç veren DuBois denklemi (Anonim 1993) kullanılmaktadır.

$$A_D = 0,202. m^{0,425}. l^{0,725} \quad (3.23)$$

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

3.4. Simülasyon Modeli

Tez çalışması kapsamında oluşturulan modelde iki bölmeli Gagge modeli, tüm vücut yerine on altı bağımsız vücut parçasına uygulanmıştır. Bu modelde vücut ışıınım ısı akısı etkisi altında iken, ısı ortama verdiği tepkiler zamana bağlı olarak tespit edilebilmektedir.

İki bölmeli Gagge modeli, ışıınım ısı akısına maruz kalan her bir vücut parçasının ısı ortama verdiği ısı tepkinin zamana bağlı değişimini incelemek için, on altı vücut parçasına uygulanmıştır. İki bölmeli anlık enerji dengesi modeli, Eşitlik 3.19 ve 3.20'nin on altı parçaya uygulanması ile zamana bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$S_{cr}(i, \theta) = M - W - [C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta)] - Q_{cr,sk}(i, \theta) \quad (3.24)$$

$$S_{sk}(i, \theta) = Q_{cr,sk}(i, \theta) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{sk}(i, \theta)] \quad (3.25)$$

Eşitliklerde kullanılan i vücut parçasını, θ ise zaman adımını temsil etmektedir. Bu modelde, vücut parçaları arasındaki sıcaklık farkı çok küçük olduğundan, parçalar arasında iletimle ve kan dolaşımı vasıtası ile taşınım ile olan ısı transferi ihmal edilmiştir.

Ampullerin yaydığı ışınım ısı akısının, insan ısı konforu üzerinde etkisini simülasyon çalışmasında da görebilmek için Gagge modelinde değişiklik yapılmış ve modele ampullerden gelen ışınım ısı akısı dahil edilmiştir. İnsan vücudunun farklı kısımları ampullerden kaynaklanan ışınım ısı akısına maruz kaldığından, ışınımın iki bölmeli Gagge modelinde sadece deri tabakası ile ilişkili olduğu kabul edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, denekler iklimlendirme odasında iken, ışınım etkisini görebilmek için deney başladıktan 15 dakika sonra ampuller açılmaktadır. Piranometre ile ölçülen ışınım ısı akısı değerleri, simülasyonda, ampullerin açıldığı yani ışınım ısı akısının etkisini gösterdiği zaman adımından (15.dakika) iterasyon sonuçlanana kadar, Eşitlik 3.25' de verilen deride depolanan enerji miktarını veren ifadeye, Eşitlik 3.26' da verildiği gibi dahil edilmiştir.

$$S_{sk}(i, \theta) = Q_{cr,sk}(i, \theta) + Q_{r,sk}(i) - [C(i, \theta) + R(i, \theta) + E_{sk}(i, \theta)] \quad (3.26)$$

Bu denklemde;

$Q_{r,sk}$ = Ampullerden, insan üzerine gelen ışınım ısı akısı değeri, W/m^2 olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak Eşitlik 3.21 ve 3.22, on altı parçalı modelde şu şekilde ifade edilebilir.

$$S_{cr}(i, \theta) = [1 - \alpha(\theta)]. m(i). c_{p,b}. \left[\frac{dT_{cr}(i, \theta)}{d\theta} \right] / A(i) \quad (3.27)$$

$$S_{sk}(i, \theta) = \alpha(\theta). m(i). c_{p,b}. \left[\frac{dT_{sk}(i, \theta)}{d\theta} \right] / A(i) \quad (3.28)$$

Çizelge 3.3' de her bir vücut parçasına ait yüzey alanı ve ağırlık değerleri verilmektedir. Vücut parçalarının başlangıç deri ve kor sıcaklık değerleri, simülasyonda bu parçaların nötr değerleri olarak alınmıştır.

Çizelge 3.3. Simülasyon modelinde kullanılan vücut parçaları ve bu parçalara ait değerler

<i>i</i>	<i>Vücut Parçası</i>	<i>Yüzey Alanı</i> <i>A(i)(m²)</i>	<i>Ağırlığı</i> <i>m(i)(kg)</i>
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

Çizelge 3.4' de vücut parçalarının nötr kor ve tüm vücudun ortalama nötr kor sıcaklık değerleri verilmiştir. Nötr deri ve tüm vücudun ortalama nötr deri sıcaklık değerleri deneysel tespit ile simülasyona girilmiştir. Belli bir zaman adımı için korda ve deride depolanan enerji miktarı hesaplandıktan sonra, o zaman adımının sonunda oluşan yeni sıcaklıklar $dT_{cr}/d\theta$ ve $dT_{sk}/d\theta$ türevlerinin ileri sonlu farklara açılımı ile elde edilebilir. Başlangıç sıcaklıkları bilindiğine göre belli bir θ zaman adımı sonrası, vücut parçasının yeni kor ve deri sıcaklığı şu şekilde hesaplanabilmektedir.

$$T_{cr}(i, \theta + 1) = T_{cr}(i, \theta) + \frac{S_{cr}(i, \theta). A(i). \Delta\theta}{[1 - \alpha(\theta)]. m(i). c_{p,b}} \quad (3.29)$$

$$T_{sk}(i, \theta + 1) = T_{sk}(i, \theta) + \frac{S_{sk}(i, \theta). A(i). \Delta\theta}{\alpha(\theta). m(i). c_{p,b}} \quad (3.30)$$

Çizelge 3.4. Vücut parçalarına ait nötr kor sıcaklıkları

<i>i</i>	<i>Vücut Parçası</i>	<i>Nötr kor sıcaklığı (°C)</i>
1	Sol ayak	35,1
2	Sağ ayak	35,1
3	Sol diz altı	35,6
4	Sağ diz altı	35,6
5	Sol bacak	35,8
6	Sağ bacak	35,8
7	Pelvis	36,3
8	Baş	36,9
9	Sol el	35,4
10	Sağ el	35,4
11	Sol dirsek altı	35,5
12	Sağ dirsek altı	35,5
13	Sol kol	35,8
14	Sağ kol	35,8
15	Göğüs	36,5
16	Sırt	36,5
	Ortalama*	35,94

Kaynak: Tanabe ve ark. 2002

*Ortalama değerler hesaplanarak tespit edilmiştir.

İleriki bölümler de korda ve deride birim zamanda depolanan ısı enerji miktarını tayin etmek için gerekli olan ısı transferi hesaplamalarında kullanılan eşitlikler verilecektir, Bunun yanında bu hesaplamaların yapılmasında faydalanılan çeşitli ampirik ifadeler de sunulacaktır.

3.4.1. Giysinin ısı ve buharlaşma direnci

Vücut üzerindeki giysi takımları ve aralarındaki hava katmanlarının ısı ve buharlaşma dirençleri, çevre ortama olan ısı ve kütle transferini azaltmaktadır. Giysi yalıtımı genellikle *clo* biriminde ifade edilir ve $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ a eşdeğerdir (Anonim 1993). Deneysel çalışmalarda ve simülasyon çalışmasında kullanılan giysi takımını oluşturan kumaşların karakteristik özellikleri ile ısı ve buharlaşma direnç değerleri Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kumaş karakteristikleri ile ısı ve buharlaşma dirençleri

<i>Kumaş kodu</i>	<i>Kumaşın tanımı</i>	<i>Kalınlık</i> (mm)	<i>Isıl direnç</i> R_f ($\text{m}^2 \text{ C/W}$)	<i>Buharlaşma direnci</i> $R_{e,f}$ ($\text{m}^2 \text{ kPa/W}$)
1	Jersey RL örme kumaş, %100 pamuk	1,270	0,036	0,0040
2	Poplin kumaş, %60 pamuklu, %40 polyester	0,787	0,026	0,0041

Kaynak: McCullough ve ark. (1989)

Deneysel çalışmalarda, deneklerin giymiş olduğu ve erkek yazlık giyim olarak ifade edilen giysi takımının her bir parçası ve bu parçaların kumaş türleri ve hangi vücut parçasını kapladığı Çizelge 3.6’ da gösterilmektedir. Kumaş türleri ile bunlara ait ısı ve buharlaşma direnç değerleri, EK – 1’ de tablo halinde sunulmuştur (Atmaca 2006).

Çizelge 3.6. Yazlık erkek giyiminde kullanılan elbiseler

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

* *kumaş koduna bağlı olarak kumaş tanımları Çizelge 3.5’ den bulunabilir.*

3.4.2. Deriden duyulur ısı kaybı hesabı

Deriden duyulur ısı kaybı taşınım, ışınım ve iletimle olmaktadır. Daha önceden de belirtildiği gibi, iletim ile ısı kaybı hesaplanabilmesi zordur ve bu nedenle taşınım ve ışınım ile olan ısı kaybına göre sayısal olarak çok daha küçük olması nedeniyle ihmal

edilebilir. Deri yüzeyinden duyulur ısı kaybı giysilerden geçerek, insanın bulunduğu çevre ortama olur veya tersi de olabilir. Bu ısı transfer 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 ifade edilebilir;

$$C(i, \theta) + R(i, \theta) = [T_{sk}(i, \theta) - T_o(i)]/R_t(i) \quad (3.31)$$

yazılabilir (Anonim 1993). Bu denklemde,

T_{sk} = deri sıcaklığı

T_o = operatif sıcaklık

R_t = hava film tabakasını da içeren toplam direnç, $m^2.K/W$ şeklinde ifade edilebilir.

T_a ortam sıcaklığı ve T_r ışıınım sıcaklığı olmak üzere operatif sıcaklık, ortalama ışıınım sıcaklığı ile ortam sıcaklığının, karşılıklı ısı geçiş katsayılarına göre ağırlıklı ortalaması olarak;

$$T_o(i) = (h_r \cdot T_r(i) + h_c \cdot T_a)/(h_r + h_c) \quad (3.32)$$

tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ortalama ışıınım sıcaklığı, ortam sıcaklığına eşit alınmıştır. Isı taşınım katsayısının tespit edilebilmesi için kişinin duruş pozisyonu (oturma veya ayakta durma), aktivitesi ve bulunduğu ortamdaki hava hızı gibi şartların bilinmesi gerekmektedir. Hareketli havada ayakta durma hali için şu şekilde hesaplanabilmektedir (Anonim 1993):

$$h_c = \begin{cases} 14,8 \cdot V^{0,69} & 0,15 < V < 1,5 \\ 4 & 0 < V < 0,15 \end{cases} \quad (3.33)$$

Durgun havada iş yapmak hali için ısı taşınım katsayısı şu şekilde hesaplanabilmektedir (Anonim 1993):

$$h_c = 5,7. (M - 0,85)^{0,39} \quad (3.34)$$

Durgun havada ayakta durma için $M=70 \text{ W/m}^2=1,2$ met alınmıştır (Anonim 1993). Bu ifadede ısı taşınım katsayısının (h_c) birimi $\text{W/m}^2\text{K}$ iken ortam hava hızının (V) birimi m/s dir.

Model de duyulur ısı kaybını tespit ederken, her bir vücut parçası bağımsız olarak ele alındığından, vücut parçalarının her birini etkileyen toplam ısı direnç hesaplanmalıdır. Toplam ısı direnç, giysi takımını oluşturan kumaşların iletim dirençleri (R_f), giysi tabakaları arasında kalan durgun havanın iletim ve ışınım direnci (R_{al}) ve dış ortam hava tabakası taşınım ve ışınım direncinden (R_a) oluşur. Her bir vücut parçasını etkileyen toplam ısı direnç;

$$R_t(i) = R_a(i) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{al}(i, j) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, j-1)} + R_f(i, j) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, j)} \right] \quad (3.35)$$

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

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. Giysi dış yüzeyinden bulunulan çevre ortama taşınım ve ışınım ile ısı kaybı olmaktadır. Dış hava tabakası ısı direnci;

$$R_a = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (3.36)$$

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. Giysi takımları arasında kalan hava katmanlarında ısı transferi iletim ve radyasyon ile gerçekleştiği kabul edilir. Giysi tabakaları arasındaki havanın ısıl direnci;

$$R_{al} = \frac{1}{h_r + k/x} \quad (3.37)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Bu ifadelerde, $h_r=4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, $k=24 \text{ mm.W/m}^2\text{C}$, $x=1,3 \text{ mm}$ olarak alınabilmektedir (McCullough ve ark. 1989).

3.4.3. Deriden gizli ısı kaybı

Deriden gizli ısı kaybı (E_{sk}) iki şekilde gerçekleşir, Bunlar, vücuttan salgılanan terin buharlaşması (E_{rsw}) ile suyun deriden doğal difüzyonu (E_{dif}) şeklindedir. Deriden gizli ısı kaybı (E_{sk}), simülasyonda salgılanan terin buharlaşması ile doğal difüzyon sonucu olan ısı kayıplarının toplanmasıyla şu şekilde hesaplanır;

$$E_{sk}(i, \theta) = E_{rsw}(\theta) + E_{dif}(i, \theta) \quad (3.38)$$

Deriden gizli ısı kaybı yani buharlaşma ile olan ısı kaybı, deri yüzeyi ile çevre ortam arasındaki su buharı basıncı farkına ve deri üzerindeki nem miktarına bağlıdır. On altı vücut parçası için zamana bağlı olarak şu şekilde ifade edilmektedir (Anonim 1993);

$$E_{sk}(i, \theta) = w(i, \theta) \cdot [p_{sk,s}(i, \theta) - p_a] / R_{e,t}(i) \quad (3.39)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade;

w = deri ıslaklığı, boyutsuz

p = çevre havasının 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.

Deri ıslaklığı, gerçekte meydana gelen gizli ısı kaybının (E_{sk}), maksimum gerçekleşebilecek gizli ısı kaybına (E_{max}), yani tamamen ıslak deriden olan gizli ısı kaybına oranı olarak tanımlanabilir ve şu şekilde ifade edilir.

$$w = \frac{E_{sk}}{E_{max}} \quad (3.40)$$

Salgılanan terin buharlaşması ile olan ısı kaybı (E_{rsw}), salgılanan ter miktarı ile doğru orantılı olup şu şekilde ifade edilebilir:

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

şeklinde yazılabilmektedir. Burada h_{fg} suyun buharlaşma gizli ısısı (30 °C sıcaklıkta 2430 kJ/kg dır), m_{rsw} birim zamanda üretilen ter miktarı olup vücut ve deriden gelen sıcaklık sinyalleriyle ilişkilidir. Terin buharlaşması için vücudun ıslak olması gereken bölümü (w_{rsw}) ise;

şeklinde tanımlanmaktadır. Vücutta terleme olmadığı zaman, difüzyona bağlı deri ıslaklığı 0,06 kadardır (Anonim 1993).

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (3.42)$$

Difüzyona bağlı olarak gerçekleşen buharlaşma ısı kaybı;

$$E_{dif} = [1 - w_{rsw}] \cdot 0,06 \cdot E_{max} \quad (3.43)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Deri ıslaklığı (w) şu şekilde ifade edilebilir:

$$w = w_{rsw} + w_{dif} = w_{rsw} + 0,06 \cdot (1 - w_{rsw}) = 0,06 + 0,94 \cdot \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (3.44)$$

Bu eşitlik, 16 parçalı model için zamana bağlı olarak simülasyonda şu şekilde kullanılmıştır;

$$w(i, \theta) = 0,06 + 0,94 \cdot \frac{E_{rsw}(\theta)}{E_{max}(i, \theta)} \quad (3.45)$$

Vücut parçalarından olan gizli ısı kaybının bulunması için, vücut parçalarını etkileyen toplam buharlaşma direncinin hesaplanması gereklidir. 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;

$$R_{e,t}(i) = R_{e,a}(i) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, nl)} + \sum_{j=1}^{nl} \left[R_{e,al}(i, j) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, j-1)} + R_{e,f}(i, j) \cdot \frac{r(i, 0)}{r(i, j)} \right] \quad (3.46)$$

şeklinde ısı dirence benzer olarak zamandan bağımsız hesaplanabilmektedir (McCullough ve ark. 1989). Dış taraftaki havanın buharlaşma direnci ise Lewis oranına bağlı olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir;

$$R_{e,a} = \frac{1}{h_c \cdot LR} \quad (3.47)$$

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;

$$R_{e,al} = a \cdot [1 - \exp(-x/b)] \quad (3.48)$$

şeklinde bulunabilir. Bu ifadede $a=0,0334 \text{ m}^2\text{kPa/W}$, $b=15 \text{ mm}$ olarak sabit değerlerdir (McCullough ve ark. 1989).

3.4.4. Solunum ile olan ısı kaybı

Solunum esnasında havaya taşınım ve buharlaşma ile duyulur ve gizli ısı transferi meydana gelir. Solunum ile olan ısı kaybı aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir (Anonim 2009);

$$C_{res}(i, \theta) + E_{res}(i, \theta) = [0,0014. M. (34 - T_a) + 0,0173. M. (5,87 - p_a)] \quad (3.49)$$

Eşitlik 3.49' da verildiği üzere, solunum ile olan ısı kaybı, ortam sıcaklığına, ortamdaki su buharı basıncına ve metabolik aktivite düzeyine bağlıdır.

3.4.5. Sıcaklık denetim sinyalleri ve etkileri

İnsan vücudu, bulunduğu çevre ile ısı dengeyi, fizyolojik denetim mekanizmalarının minimum çabası ile sağlıyorsa vücut fizyolojik ısı olarak nötr halindedir. Fizyolojik ısı nötr halinde insan, sıcak veya soğuğu hissetmediği ısı denge durumundadır. Bu durumda fizyolojik denetim mekanizmaları devreye girmez.

İnsan soğuk bir ortamda bulunursa deriden insanın bulunduğu ortama ısı transferi artar. Bunun sonucunda vücut damarları kısarak(vazokonstriksiyon) deriye olan kan akışını azaltarak deri ve deriye yakın dokuları soğutmuş olurken iç dokuların sıcaklığını korumuş olur. Bu duruma dış ortam şartlarına, soğuğa karşı vazomotor denetim bölgesi adı verilir. Vücut bu bölgenin altına düşüldüğü zaman, kas gerilmesi, titreme ve kendiliğinden hareket etme gibi işlemler ile ısı üretir. Bu işlemler ile insan vücudundan çevreye olan ısı transferini dengelerse, vücut iç sıcaklığı korunmuş olur. Bir başka denetim mekanizması da daha fazla giyinmek ve hızlı yürümek gibi hareket düzeyini artırmaktır. Eğer vücut sıcaklığını korumak için tüm denetim mekanizmaları yetersiz kalırsa, bu durum olumsuz sonuçlara neden olabilir. Vücut kor sıcaklığı $35 \text{ }^\circ\text{C}$ değerinin altına indiği zaman, insanlarda önemli verim düşüklüğü meydana gelir ve $31 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığının altına düşerse ölümcül sonuçlar doğurabilir (Anonim 1993).

İnsan sıcak bir ortamda bulunduğu zaman, çevreye istenilen seviyede ısı transferi olmazsa, vücut damarları genişleterek(vazodilasyon) deriye olan kan akışını artırır, böylece deri sıcaklığı iç bölmenin sıcaklığına yaklaşmış olur. Bu duruma dış ortam şartlarına, sığağa karşı vazomotor denetim bölgesi adı verilir. Buna rağmen kor sıcaklığı 37 °C değerinin üstüne çıkarsa, vücut ter salgılayarak çevreye olan ısı transferini artırır.

Laboratuvar deneylerinden elde edilen deneysel bağıntılar, vazomotor denetimi, terleme, titreme gibi sıcaklık denetim mekanizmalarının, vücut sıcaklığının nötr değerlerden sapması ile deriden ve kor tabakasından gelen sıcaklık sinyalleri ile harekete geçme ve yönetilme şekillerini açıklamaktadır. Sıcaklık denetim mekanizmalarını beş sinyal başlatmaktadır. Bu sinyaller,

$$WSIG_{cr}(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{cr,m}(\theta) \leq T_{cr,n} \\ T_{cr,m}(\theta) - T_{cr,n} & T_{cr,m}(\theta) > T_{cr,n} \end{cases} \quad (3.50)$$

$$CSIG_{cr}(\theta) = \begin{cases} T_{cr,n} - T_{cr,m}(\theta) & T_{cr,m}(\theta) < T_{cr,n} \\ 0 & T_{cr,m}(\theta) \geq T_{cr,n} \end{cases} \quad (3.51)$$

$$WSIG_{sk}(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{sk,m}(\theta) \leq T_{sk,n} \\ T_{sk,m}(\theta) - T_{sk,n} & T_{sk,m}(\theta) > T_{sk,n} \end{cases} \quad (3.52)$$

$$CSIG_{sk}(\theta) = \begin{cases} T_{sk,n} - T_{sk,m}(\theta) & T_{sk,m}(\theta) < T_{sk,n} \\ 0 & T_{sk,m}(\theta) \geq T_{sk,n} \end{cases} \quad (3.53)$$

$$WSIG_b(\theta) = \begin{cases} 0 & T_{b,m}(\theta) \leq T_{b,n} \\ T_{b,m}(\theta) - T_{b,n} & T_{b,m}(\theta) > T_{b,n} \end{cases} \quad (3.54)$$

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

Sıcaklık denetim sinyalleri, on altı parçalı modelde tüm vücut için belirli bir θ zaman adımı için hesaplanmıştır. Simülasyon modelinde 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 hesaplanmıştır. Her bir zaman adımı sonunda ortalama kor ve deri sıcaklığı alan ağırlıklı ortalama olarak;

$$T_{cr,m}(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^{16} T_{cr}(i, \theta) \cdot A(i)}{A_D} \quad (3.55)$$

$$T_{sk,m}(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^{16} T_{sk}(i, \theta) \cdot A(i)}{A_D} \quad (3.56)$$

şeklinde hesaplanmıştır. İnsan vücudunun ortalama sıcaklığı ise zamana bağlı olarak deri ve kor sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak şu şekilde bulunur (Anonim 1993);

$$T_{b,m}(\theta) = \alpha(\theta) \cdot T_{sk,m}(\theta) + [1 - \alpha(\theta)] \cdot T_{cr,m}(\theta) \quad (3.57)$$

Kor ve deri sıcaklıklarının nötr değerlerden sapmalarının kan akış debisi üzerindeki etkisi zamana bağlı olarak matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir (Anonim 1993);

$$m_{bl}(\theta) = [(6,3 + 200 \cdot WSIG_{cr}(\theta)) / (1 + 0,5 \cdot CSIG_{sk}(\theta))] / 3600 \quad (3.58)$$

Kor tabakasından deri tabakasına olan iletim ve kan akışı ile olan birleşik ısı geçişi, her bir vücut parçası için zamana bağlı olarak;

$$Q_{cr,sk}(i, \theta) = [K + c_{p,bl} \cdot m_{bl}(\theta)] \cdot [T_{cr}(i, \theta) - T_{sk}(i, \theta)] \quad (3.59)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu bağtıda,

- K = kor ile deri arasındaki toplam ısı transfer katsayısı (5.28 W/m²K)
 $c_{p,bl}$ = kanın özgül ısısı (4187 J/kg.K)

olarak ifade edilmektedir (Anonim 1993). Kan debisindeki değişmeler, deri ve kor bölmelerinin göreceli kütlelerini etkilemektedir. Bu etki, zamana bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir (Anonim 1993):

$$\alpha(\theta) = 0,0418 + 0,745/[3600 \cdot m_{bl}(\theta) + 0,585] \quad (3.60)$$

Ter bezleri, hem kor hem deri bölgesinden gelen ılık sinyaller ile çalışmaya başlar, üretilen ter miktarı, zaman bağlı olarak şu şekilde ifade edilir (Anonim 1993):

$$\dot{m}_{rsw}(\theta) = 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot WSIG_b(\theta) \cdot \exp[WSIG_{sk}(\theta)/10,7] \quad (3.61)$$

Simülasyon modelinde, salgılanan ter miktarına bağlı olarak terin buharlaşması ile meydana gelen ısı kaybı zamana bağlı olarak şu şekilde hesaplanabilir (Anonim 1993):

$$E_{rsw}(\theta) = \dot{m}_{rsw}(\theta) \cdot h_{fg} \quad (3.62)$$

Titreme yoluyla metabolik enerji üretimi vücudun ısı dengesini korumak için vazokonstriksiyona oranla daha etkili bir mekanizmadır. Titreme ile metabolik enerji üretilmesi için eşzamanlı hem kordan hem deriden soğuk sinyaller gönderilmesi gerekir (Anonim 1993).

$$M_{shiv}(\theta) = 19,4[CSIG_{sk}(\theta) \cdot CSIG_{cr}(\theta)] \quad (3.63)$$

Toplam metabolik enerji M , hareket ile üretilen M_{act} ile titreme enerjisi M_{shiv} ' in toplamına eşittir.

$$M(\theta) = M_{act} + M_{shiv}(\theta) \quad (3.64)$$

İnsan, yaptığı değişik işler sırasında vücuttaki metabolik aktiviteler vasıtasıyla geniş bir aralıkta ısı üretir. Metabolik aktivite birçok durumda met ile ifade edilir ve 1 met , 58,15

W/m^2 'dir. Vücutun olağan hareketi ile üretilen ısı miktarları çok çeşitli aktiviteler için kaynaklarda mevcuttur (Anonim 1993,1994, 2004) .

3.5. Simülasyon

On altı parçalı iki bölmeli Gagge modeli vasıtasıyla geliştirilen simülasyon ile ışıınım etkisindeki insanın bulunduğu ısıl ortama verdiği ısıl tepkiler incelenecektir. Yazılım MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır ve yazılımın tamamı EK – 2' de sunulmaktadır. EK – 2' de verilen yazılımda işlem basamakları şu şekildedir:

- Vücut parçalarına ait yüzey alanları, ağırlıklar, deneyler ile ölçülen her bir vücut parçasına gelen ışıınım ısı akıları, simülasyonda kullanılan sabit değerler, her bir vücut parçasının nötr kor ve deri sıcaklığı, nötr ortalama kor, deri ve vücut sıcaklığı değerleri programda tanıtılmıştır.
- Eşitlik 3.35 ile Eşitlik 3.37 arasında ve Eşitlik 3.46 ile Eşitlik 3.48 arasında verilen denklemler ile sırası ile her bir vücut parçası için ısıl ve buharlaşma dirençleri hesaplanmış ve yazdırılmıştır.
- Zaman döngüsü başlatılmış ve her bir zaman adımı için şu işlemler yapılmıştır.
- Nötr ortalama kor, deri ve vücut sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık denetim sinyalleri Eşitlik 3.50 ile Eşitlik 3.54 arasında verilen denklemler ile bulunmuştur. Sıcaklık denetim sinyallerine bağlı olarak;
 - Eşitlik 3.58 ile kan akış debisi bulunmuştur.
 - Eşitlik 3.59 ile her bir vücut parçasında kordan deriye olan ısı transferi miktarı hesaplanmıştır.
 - Eşitlik 3.60 ile vücut kütlelerinin deride bulunan oranı tespit edilmiştir.
 - Eşitlik 3.32 ile olarak operatif sıcaklık hesaplanmıştır.
 - Eşitlik 3.31 ile her bir vücut parçasından olan duyulur ısı kaybı bulunmuştur.
 - Eşitlik 3.61 ile üretilen ter miktarı hesaplanmıştır.
 - Eşitlik 3.62 ile aktif terleme ile olan buharlaşma ısı kaybı bulunmuştur.

- Eşitlik 3.39 ile her bir vücut parçasından buharlaşma ile olan maksimum ısı kaybı hesabı hesaplanmıştır.
- Eşitlik 3.45 ile her bir vücut parçasının deri ıslaklığı tespit edilmiştir.
- Eşitlik 3.43 ile her bir vücut parçasından difüzyona bağlı olarak gerçekleşen buharlaşma ısı kaybı hesaplanmıştır.
- Eşitlik 3.38 ile her bir vücut parçasından olan buharlaşma ile olan ısı transferi bulunmuştur.
- Eşitlik 3.28 ile her bir vücut parçasının deri kısmında depolanan enerji miktarı tespit edilmiştir.
- Eşitlik 3.63 ile titreme ile üretilen enerji miktarı hesaplanmıştır
- Eşitlik 3.64 ile toplam metabolik enerji bulunmuştur.
- Eşitlik 3.49 ile her bir vücut parçasından olan solunum ısı kaybı hesaplanmıştır.
- Eşitlik 3.27 ile her bir vücut parçasının kor kısmında depolanan enerji miktarı bulunmuştur.
- Eşitlik 3.29 ile her bir vücut parçasının yeni kor sıcaklığı bulunmuştur.
- Eşitlik 3.30 ile her bir vücut parçasının yeni deri sıcaklığı bulunmuştur.
- Mevcut zaman adımı için Eşitlik 3.55 ve Eşitlik 3.56, Eşitlik 3.57 ile ortalama kor ve deri sıcaklıkları, vücut sıcaklıkları tespit edilmiştir.
- Bir sonraki zaman adımına geçilerek, aynı işlemler tekrarlanmıştır. Vücut ısı dengeye geldiği zaman, sürekli rejim şartlarında iterasyon tamamlanmıştır.

3.6. Deneysel Çalışmalar

Yapılan deneysel çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi ve ANOVA analizi ile ampul tipinin, insanın kapalı bir hacimde duruş pozisyonunun ve giydiği üst kıyafetin (tişörtün) renginin değişimi ile ışınımın insan ısı konforu üzerine olan etkisi incelenmiş, bunun yanında deneysel çalışmalarda ışınım ısı akısı etkisi altında deneklerden alınan bazı vücut parçalarındaki sıcaklık ölçümleri ve aynı şartlar altında simülasyondan alınan çıktılar ile “Bulgular ve Tartışma” bölümünde karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde, deneylerin yapılmış olduğu şartlandırma odası tanıtılacak, Taguchi deneysel tasarımı hakkında ve ölçümlerin nasıl yapıldığı hakkında bilgiler verilecek, deneklerin antropometrik özellikleri verilerek, ölçümde kullanılan cihazlar tanıtılacaktır.

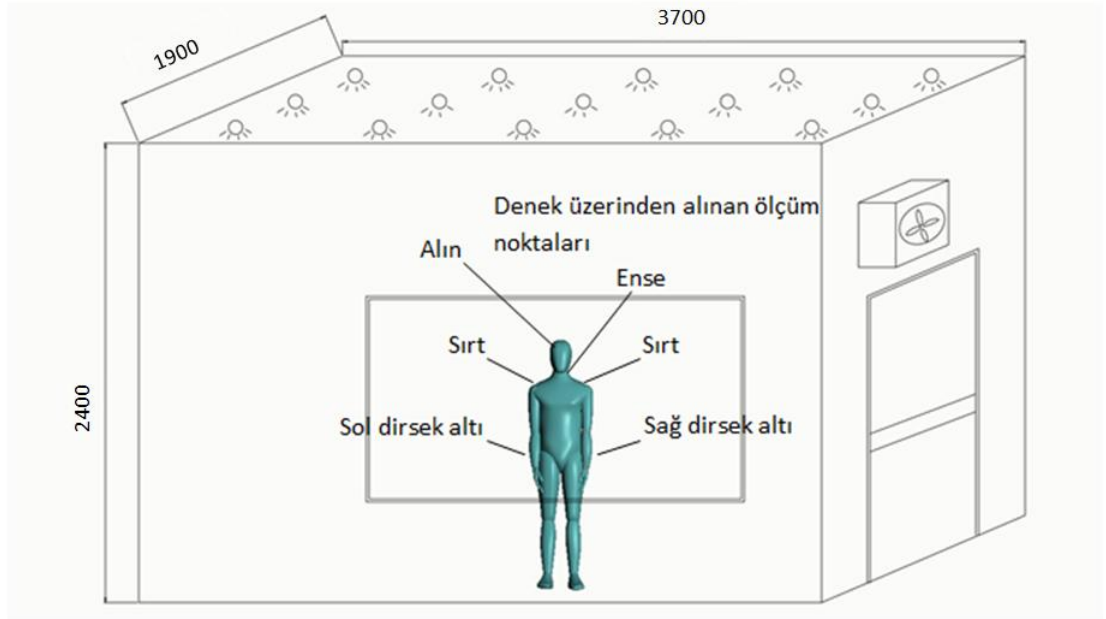
3.6.1. Şartlandırma odası

Deneysel çalışmalar, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 ' 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 gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' de görüldüğü üzere şartlandırma odasının tavanına 15 tane spot yuvası açılmıştır. Deneylerde kullanılacak ampuller bu spot yuvalara monte edilmiştir. Şartlandırma odasındaki mevcut 3450 W soğutma kapasitesindeki klima, nemlendirici ve nem alıcı vasıtasıyla odanın nemi, sıcaklığı ve ortamdaki hava hızı değerleri sabitlenebilmekte ve mevcut ölçüm cihazları ile ölçüm yapılabilmektedir.

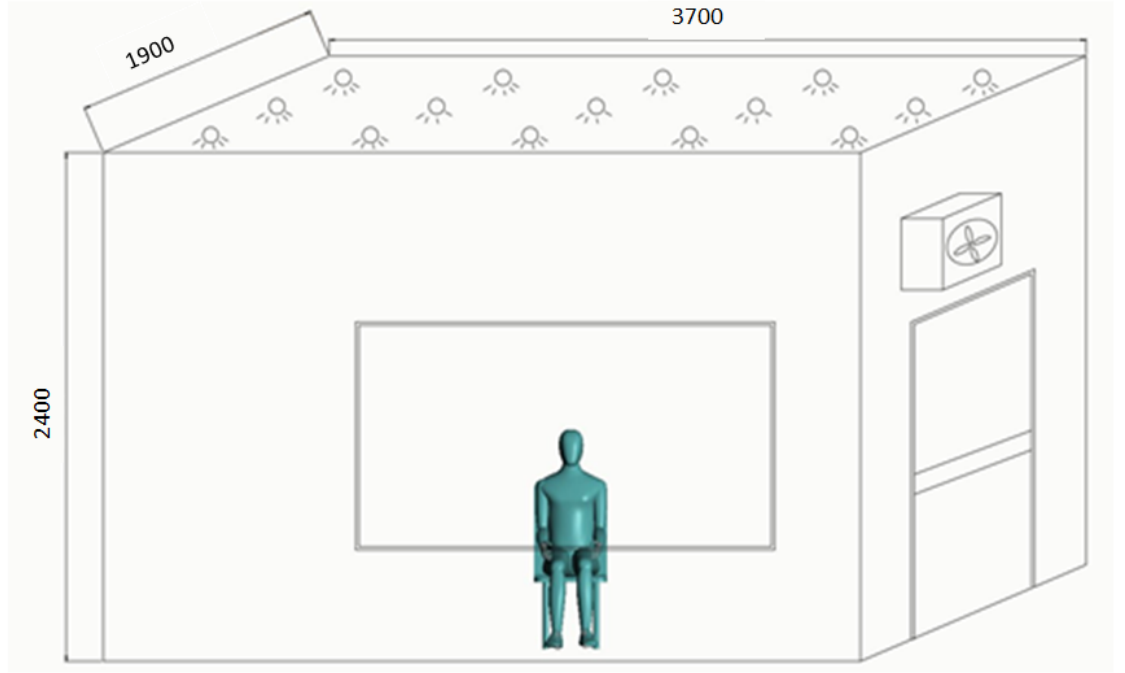
Şartlandırma odasının sıcaklık ayarı bahsedilen klima ile sağlanmıştır. Bu klimanın 3 kademeli fanı ile deney ortamında 3 farklı hava hızı da sağlanabilmektedir. Ortamın nemi ise, nemlendirici ve nem alıcı grup ile ayarlanmaktadır. Nemlendirme işlemi, su havuzu ile temasta olan gözenekli bir sünger içerisinden 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. 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. Deney başlangıcından sonuna kadar sürekli olarak bahsedilen bu cihazlar ile ortam sıcaklığı, nemi ve ortamdaki hava hızı ölçülmüş ve 15 dakika aralıklar ile kaydedilmiştir.

3.6.2. Deneysel tasarım ve ölçümler

Deneysel çalışmada, denekler Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 ' de görüldüğü gibi yüzü pencereye dönük bir şekilde ampullerin altında ayakta durma pozisyonu ve oturma pozisyonu halinde konumlandırılmışlardır. Deneklerin tam sırt hizasından ortam sıcaklığı, nemi ve ortam hava hızı ölçülebilmektedir. Deneyler esnasında deneğin 6 noktasından (ense, alın, sırtın sağ ve sol bölgesi, sağ ve sol dirsek altından) deri sıcaklığı ölçümü yapılabilmektedir. Denekler her deney sırasında sıcaklık, nem ve hava hızı kontrolü sağlanan ısı konfor odasında 45 dakika süre ile tutulmuşlardır. Deneyler klimanın çalıştırıldığı yaz mevsimi ile, ayrıca hacimlerde genelde iklimlendirme ihtiyacı duyulmadığı sonbahar mevsiminde yapılmıştır. Bu şekilde her iki mevsimde de ampullerin yaydığı ışınımın insan ısı konforu üzerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.4. Şartlandırma odasında ayakta durma pozisyonundaki denek



Şekil 3.5. Şartlandırma odasında oturma pozisyonundaki denek

Daha öncede belirtildiği gibi farklı ampullerin yaydığı ışınım ısı akısı etkisi altında, insanın kapalı bir hacimde duruş pozisyonunu, giydiği üst kıyafetin (tişörtün) rengi gibi üç faktörün insan ısı konforuna ve ısı duyumuna etkisi incelenmiştir. Her bir faktörün insan ısı konforunda ne kadar etken olduğunu ve etkenlik derecelerini belirlemek, optimum seviyeleri doğru bir şekilde tespit edebilmek için istatistiksel analizlerde Taguchi metodu ve ANOVA analizi uygulanmıştır.

3.6.3. Taguchi deneysel tasarım yöntemi ve varyans analizi (ANOVA)

Deney tasarım yöntemleri ilk olarak 1930'lu yılların başında tarımsal araştırmalarda kullanılmak üzere Fischer tarafından geliştirilmiştir (Yang ve ark. 1998, Montgomery 2001). Fakat bu klasik deney tasarım yöntemleri endüstriyel şartlar altında çok da verimli ve sağlıklı olmamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmaktadır (Savaşkan ve ark. 2004).

Endüstriyel şartlar dikkate alındığında hem bu deneyleri ekonomik şartlar ve zamansal kısıtları gözeterek en verimli şekilde gerçekleştirebilmek, hem de sonuçları doğru değerlendirebilmek için deney tasarımı yöntemlerinin uygulaması son derece verimli bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım çerçevesinde, Taguchi deney tasarımı metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metod olarak gözükmektedir. Taguchi metodu, problemin çözümünün en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla birlikte, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan desteklemektedir. Taguchi deney tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek analiz edilmektedir. Eşitlik 3.65 ve Eşitlik 3.69 arasında görüldüğü gibi, sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir (Savaşkan ve ark. 2004).

Deney tasarımında, süreci etkileyen her türlü etken “faktör” olarak adlandırılır. Faktörlerin çeşitli kategorileri, dereceleri ve yoğunlukları ise “seviye“ olarak adlandırılır (Şanyılmaz 2006). Bir deney tasarımı sırasında birden fazla faktör ve seviye grupları bulunabilir. Yapılan değerlendirmelerde hangi S/N oranı kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak elde ettiğimiz değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade eder. Böylelikle deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı verecektir. Bunun yanı sıra varyans analizi (ANOVA) ile hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konulmaktadır (Yang ve ark. 1998). Hem S/N oranı, hem de varyans analizi yardımı ile de faktörlerin, prosesi optimum performansa ulaştıracak kombinasyonu tayin edilebilir (Savaşkan ve ark. 2004). Taguchi Deney Tasarımı metoduna göre tasarlanacak bir çalışmada izlenecek yol aşağıdaki şekildedir (Yang ve ark. 1998):

- Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi,
- Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi,
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi,
- Seçilen ortogonal matrise faktör ve etkileşimlerin atanması,

- Deneyleerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi,
- Sonuçların analizi,
- Doğrulama deneyleerinin yapılması.

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenebilmektedir.

Genel gösterimi;

A= Toplam deney sayısı,

b=Faktörlerin seviye sayısı,

c=Faktör sayısı,

L= Ortogonal dizin olmak üzere,

$L_a(b^c)$ şeklinde ifade edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L12 ve L32 ve 3 seviyeliler için L9, L18 ve L27 dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Ortogonal dizinler tam faktöriyel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır. Örnek vermek gerekirse, tam faktöriyel tasarıma göre $3^4=81$ adet deneme yapılması gerekirken, ortogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir. Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine 1 eklendiğinde deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanmış olur. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur (Şeker 2013). Taguchi yöntemine göre tasarımı yapılan deneyleerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Taguchi, 60'ın üzerinde S/N oranından bahsetmektedir. En çok bilinen üç tanesi en küçük-en iyi, nominal-en iyi ve en büyük-en iyi S/N oranlarıdır. Her üç tip problemde

de, amaç S/N oranını maksimize etmektir. Aşağıda verilen formüllerle S/N oranı hesaplanabilmektedir (Yıldırım 2011).

- En küçük en iyi olduğu durum:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.65)$$

- En büyük en iyi olduğu durum:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.66)$$

- Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3.67)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.68)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.69)$$

Bu eşitliklerde;

y_i : Performans yanıtının i . değeri

n : Bir denemede test sayısı

\bar{y} : Gözlem değerlerinin ortalaması

S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir

3.6.4. Deney tasarımının belirlenmesi

Bu kısımda mevcut tez kapsamında, Taguchi metoduna göre yapılan deney tasarımı sunulmuştur. Bu çalışmada daha önce belirtildiği gibi üç faktörün ışınım etkisi altında ısı konforu ve ısı duyumu etkisi incelenmiştir. Ampul tipi olarak halojen, led ve floresan gibi farklı ampullerin ısı konforu ve ısı duyumu üzerine etkisi incelenmiş, led ve floresan ampullerin ısı konforu ve duyumu üzerine çok ciddi bir etkisi görülmediği için sonuçları mevcut tez çalışması kapsamına dahil edilmemiştir. Mağazalarda iyi aydınlatma sağladığı amacıyla tercih edilen ve ısı konforu ve ısı duyumu üzerine ciddi bir etkisi olduğu gözlemlenen halojen ampuller ile yapılmış deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Faktörler ve seviyeleri hakkında Çizelge 3.7’ de bilgi verilmiştir. Belirlenen faktör ve bunların seviyeleri ışığında L8 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tasarımı çerçevesinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir deneysel çalışma 3 defa tekrar edilmiştir. Deneysel çalışmalardaki ölçümlerin belirsizliği standart sapma kullanılarak tanımlanabilir ve bu yöntemle standart belirsizlik adı verilir (Nicholas and White 1994). Mevcut tez çalışması kapsamında ölçümlerin belirsizliği aynı şartlarda tekrarlanan deneylerin sonuçlarının standart sapma değerleri ile karakterize edilmiştir. Taguchi L8 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tasarımı ise Çizelge 3.8’ de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Deney faktörleri ve seviyeleri

<i>Faktörler</i>	<i>Seviye</i>	
	1	2
Halojen Ampul Tipi	75 W Parabolik reflektörlü	70 W Halojen şeffaf
Kıyafet (tişört) rengi	Siyah	Beyaz
Duruş pozisyonu	Ayakta	Oturma

Çizelge 3.8. L8 ortogonal dizisine göre oluşturulan deney tasarımı

<i>Deney No</i>	<i>Halojen Ampul Tipi</i>	<i>Kıyafet Rengi</i>	<i>Duruş pozisyonu</i>
<i>1</i>	1	1	1
<i>2</i>	1	1	2
<i>3</i>	1	2	1
<i>4</i>	1	2	2
<i>5</i>	2	1	1
<i>6</i>	2	1	2
<i>7</i>	2	2	1
<i>8</i>	2	2	2

İstatistiksel analizlerde, kıyafet renginin de ısı konforuna etkisini görebilmek için çıplak vücut parçaları yerine ışıyım kaynağına yakın olduğundan en çok etkilenen giyinik vücut parçası olan sırt kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda üç faktörün insan ısı konforuna olan etkisini istatistiksel olarak analiz edebilmek için ampullerden kaynaklanan ışıyım ısı akısına bağlı artan sırt sıcaklığındaki artış miktarı dikkate alınmıştır. Daha önce belirtildiği gibi Taguchi metoduna göre yapılan deneysel tasarımdan elde edilen sonuçlar, bu çalışma için sırt sıcaklığındaki artış miktarı, sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürülmektedir. Bu çalışmada elde edilecek çıktı için kullanılacak S/N oranı Çizelge 3.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Çalışmada Elde Edilecek Çıktı İçin Kullanılacak S/N Oranı

<i>Performans yanıtı</i>	<i>S/N Oran Grubu</i>	<i>Kullanılacak Formül</i>
Sırt sıcaklığındaki artış miktarı	En Küçük En İyi	$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

Taguchi deneysel tasarım metoduna göre gerçekleştirilen deney sonuçlarında performans yanıtı, sırt sıcaklığındaki artış miktarı olarak belirlenmiştir ve bu artış miktarının ısı konforun sağlanabilmesi için az olması istenmiştir. Deney sonuçlarının yorumlanması ve elde edilen optimum seviyeler “Bulgular ve Tartışma” bölümünde sunulmuştur.

3.6.5. Denekler

Deneysel çalışmalara, yaşları yirmi ile yirmi beş arasında değişen Makine Mühendisliği Bölümünde lisans ve lisansüstü seviyede eğitim gören yirmi dört erkek denek, gönüllü olarak katılmıştır. Deneysel çalışmalara katılan yirmi dört erkek deneye ait antropometrik özellikler ve bunların ortalamaları ile standart sapmaları Çizelge 3.10 ' da sunulmaktadır. Deneyler sırasında deneklerden yazlık erkek giyimi olarak isimlendirilen giysi takımının giyilmesi istenmiştir. Bu giysi takımı tipik yazlık giysiler (0,5 clo) olan; pamuklu iç çamaşırı ve çorap ile polyester ve pamuk karışımı pantolon ile kısa kollu tişörtten oluşmaktadır.

Çizelge 3.10. Deneklerin antropometrik özellikleri

<i>Denek no</i>	<i>Yaş</i>	<i>Kilo (kg)</i>	<i>Boy (m)</i>	<i>DuBois yüzey alanı (m²)</i>
1	21	78	1,7	1,89
2	20	90	1,75	2,05
3	23	75	1,78	1,9
4	24	80	1,72	1,93
5	22	68	1,7	1,78
6	22	70	1,78	1,87
7	23	67	1,69	1,77
8	24	90	1,75	2,05
9	24	73	1,76	1,88
10	25	75	1,7	1,86
11	25	77	1,77	1,93
12	23	68	1,71	1,79
13	23	85	1,74	1,99
14	22	69	1,73	1,82
15	25	80	1,77	1,97
16	24	80	1,71	1,92
17	24	80	1,69	1,90
18	23	80	1,75	1,95
19	22	78	1,77	1,94
20	23	85	1,79	2,03
21	22	85	1,76	2,01
22	23	85	1,78	2,02
23	21	69	1,75	1,83
24	23	74	1,78	1,91
<i>Ortalama</i>	22,96	77,54	1,74	1,91
<i>Standart Sapma</i>	±1,3	±6,9	±0,03	±0,084

3.6.6. Ölçüm cihazları

Bu kısımda ölçümlerde kullanılan cihazlar ve kullanılan halojen ampuller anlatılacaktır. Deneyle sırasında ortam sıcaklığı, bağıl nemi, deneğin sırt hizasındaki hava hızı sürekli olarak ölçülmüştür. Ayrıca simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırabilmek için ense, alın, sırtın sağ ve sol omuza yakın bölgesinden, sağ ve sol dirsek altı olmak üzere toplam 6 noktadan ölçüm alınmıştır. Bu sıcaklık ölçümlerinde termoelemanlar kullanılmış ve ölçülen sıcaklık verileri datalogger cihazı ile kaydedilmiştir. Halojen ampullerden gelen ışıma ısı akısının etkisini simülasyon programında görebilmek ve sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırabilmek için piranometre ile vücudun on altı bağımsız parçasına

gelen ışı nım ısı akısı ölçülmüştür. Her bir vücut parçasına gelen ışı nım ısı akısı değerini doğru belirleyebilmek için, aynı vücut parçasının farklı noktalarından ölçümler alınmış, ölçüm alınan nokta sayısı vücut parçasına göre farklı seçilmiştir. Vücut parçasına gelen toplam ışı nım ısı akısı değerini, o parçadan ölçüm alınan nokta sayısına bölüp, vücut parçasına gelen ortalama ışı nım ısı akısı değeri hesaplanmıştır. Vücut parçalarına gelen ışı nım ısı akısını doğru ölçebilmek için piranometre, ölçüm alınan vücut parçasına göre yatay veya açılı pozisyonlarda konumlandırılmıştır. Birinci sınıf piranometrelerin açılı bir şekilde konumlandırılması durumunda ölçüm belirsizliği %2 mertebelerindedir (Vignola ve ark. 2012, Hulstrom 1989). Her bir vücut parçası için ölçümler üç defa tekrarlanmıştır.

Şartlandırma odası sıcaklığı, bağıl nemi ve deneğin baş ile sırt bölgesi hizasındaki hava hızı, Şekil 3.6' da verilen 6 kanallı Testo 454 veri toplama cihazı ile ölçülerek, 15 dakikalık aralıklar ile kaydedilmiştir. Hız ölçüm probu Şekil 3.6.a' da görölmektedir. 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 $\pm 0,03$ m/s iken 2 m/s ile 20 m/s aralığında hassasiyeti $\pm 0,2$ m/s' dir.



Şekil 3.6. 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 3.6.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. Halojen ampullerden gelen ışınım ısı akısını ölçmek için Şekil 3.7' de gösterilen 285-3000 nm dalga boyu aralığında ölçüm yapan EKO MS-410 kullanılmıştır. Bu piranometre ISO 9060 standartlarına göre birinci sınıf bir piranometre olup, yatay ve açılı bir şekilde ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm hassasiyeti 200 W/m^2 ışınım ısı akısında 6 W/m^2 'den küçüktür. Piranometre açılı konumlandırılması durumunda ölçüm belirsizliği $\%2$ den küçüktür.



Şekil 3.7. EKO MS-410 piranometre

Sıcaklık ölçüm değerlerini ve piranometre ile ölçülen ışınım ısı akısı verilerini kaydetmek için Şekil 3.8.a' da gösterilen Hioki LR-8431-20 marka 10 Kanallı veri kaydedici kullanılmıştır. Vücut deri sıcaklıkları Şekil 3.8.b' de görülen K tipi termoelemanlar ile ölçülmüştür. Veri kaydedici K tipi termoeleman ile kullanıldığında $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında hassasiyet $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+1350\text{ }^{\circ}\text{C}$

sıcaklık aralığında hassasiyet ± 1 °C' dir. Tüm kanalları aynı anda 10 ms' de bir veri kaydedebilmektedir ve USB giriş yeri ile veriler direkt kaydedilmektedir. Sıcaklık ölçüm değerleri 30 sn de bir alınmış ve 10 ölçümün ortalaması kullanılmıştır.



Şekil 3.8. (a) Hioki LR-8431-20 marka 10 kanallı veri kaydedici (b) K tipi termoelemanlar

Deneysel çalışmalar da kullanılmak üzere şartlandırma odasının tavanına on beş tane spot yuvası açılmıştır. Spot yuvalara monte edilmek üzere Şekil 3.9.a,b' de gösterilen Osram marka 300 nm- 800 nm dalgaboyu aralığında ışınım yayan on beşer adet 75 W gücünde parabolik reflektörlü ve 70 W gücünde Tekfen marka halojen şeffaf iki farklı halojen ampul tedarik edilmiştir.



Şekil 3.9. (a) Parabolik reflektörlü halojen ampul (b) Halojen şeffaf ampul

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde ilk önce, istatistiki çalışmalarda kullanılan Taguchi metodu ve ANOVA analizinin nasıl yapıldığından ve sonuçlarından bahsedilecektir. Daha sonra, oluşturulan on altı parçalı iki bölmeli Gagge modeli ile geliştirilen simülasyondan elde edilen sonuçlar, yapılan deneylerden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak, ampullerin yaydığı ışınının ısı konfor üzerine etkisi teorik ve deneysel olarak karşılaştırmalı olarak verilecektir.

4.1. Deneysel Çalışmalar

Şartlandırma odasında yapılan deneyler 45 dakika sürmekte, deney başladıktan 15 dk sonra ampuller açılmakta, böylece deneklerin ölçüm yapılan vücut parçalarındaki ışınım ısı akısına bağlı sıcaklık artışları ve zamana bağlı sıcaklık değişimleri tespit edilebilmektedir. Deneylerde ışınımından en çok etkilenen vücudun üst kısmında sırtın sağ ve sol tarafında omuza yakın bölgeden, ense, alın, sağ ve sol dirsek altı olmak üzere altı noktadan sıcaklık ölçüm verileri alınmıştır. Deneysel çalışmalarda ense ve alın sıcaklığının ortalaması baş sıcaklığı, sırtın sağ ve sol tarafında omuza yakın bölgeden alınan sıcaklık değerinin ortalaması sırt sıcaklığı, sağ ve sol dirsek altından alınan sıcaklık değerinin ortalaması da dirsek altı sıcaklığı olarak alınmıştır. Bu kısımda yaz ve bahar deneylerinde daha önce belirlenen ısı konforu etkilediği düşünülen faktörlerin ışınım ısı akısı etkisi altında sırt sıcaklığında meydana getirdiği artış miktarı istatistiksel olarak değerlendirilecek ve sonuçları yorumlanacaktır.

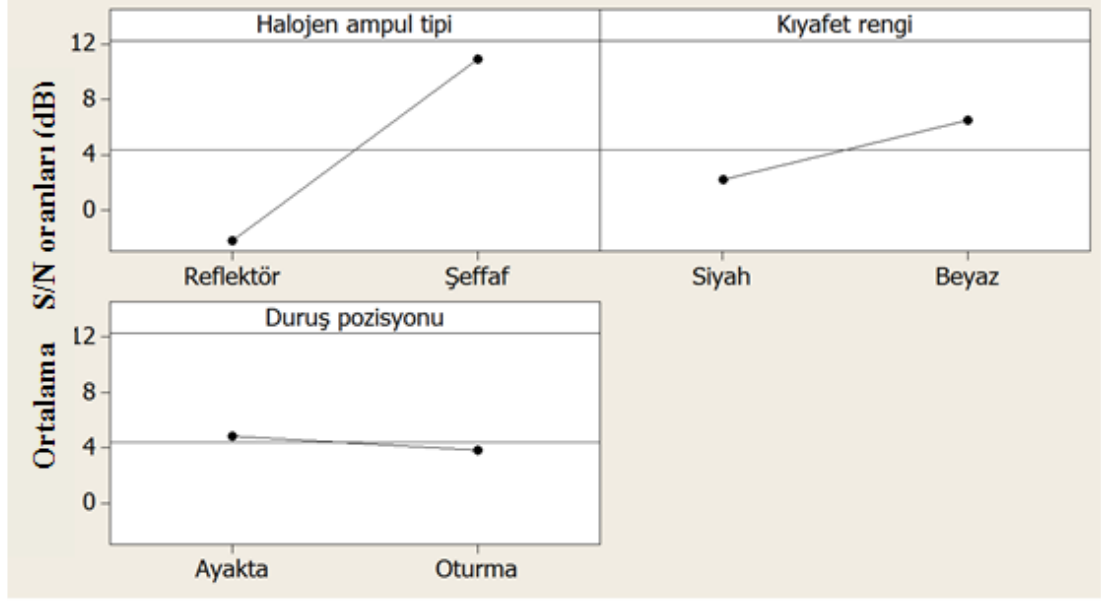
4.1.1. Yaz mevsiminde (klima açık) yapılan deneysel çalışmalar

Yaz mevsiminde yapılan deneysel çalışmalar iklimlendirilmiş bir ortamda gerçekleştirilmiştir. İç ortam sıcaklığı 24 °C, iç ortam hava hızı 0.2 m/s, bağıl nem %50 de sabit tutulmuştur. Yaz deneylerinden elde edilen deney sonuçlarına uygulanan Taguchi analizinden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı, standart sapmaları Çizelge 4.1 ' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yaz mevsiminde (klima açık) yapılan deneylerden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı ve standart sapma değerleri

<i>Deney No</i>	<i>Halojen Ampul Tipi</i>	<i>Kıyafet Rengi</i>	<i>Duruş pozisyonu</i>	<i>Sıcaklık Artış Miktarı(°C)</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>S/N (dB)</i>
1	1	1	1	1,66	0,06	-4,41
2	1	1	2	1,19	0,38	-1,85
3	1	2	1	1,17	0,05	-1,39
4	1	2	2	1,12	0,16	-1,07
5	2	1	1	0,40	0,30	6,49
6	2	1	2	0,36	0,07	8,63
7	2	2	1	0,08	0,09	18,87
8	2	2	2	0,32	0,07	9,70

Şekil 4.1’ de Yaz mevsiminde gerçekleştirilen deneylerde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonun farklı seviyeleri için S/N oranlarının değişimi verilmektedir. Yaz mevsiminde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sırt sıcaklık artışının çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Delta değeri her bir faktörün seviyelerinin sahip oldukları maksimum S/N oranı ile minimum S/N oranı arasındaki farktır. Delta sayısı ne kadar büyük ise o faktörün çıktıya yani sırt sıcaklığındaki artışa etkisi o kadar büyüktür. Maksimum S/N oranları dikkate alındığından, minimum sıcaklık artışı oluşturan optimum seviyeler, halojen ampulün 2’nci seviyesinde yani ampulün halojen şeffaf olması durumunda, kıyafet rengine baktığımızda tişörtün beyaz olması durumunda yani 2’nci seviyede olması durumunda, duruş pozisyonuna baktığımızda deneğin ayakta olması durumunda yani 1’inci seviyede görülmektedir. Faktörlerin önem (rank) sırasına bakıldığında sırt sıcaklık artış miktarında en etkili faktörün halojen ampul tipi, sonra sırasıyla kıyafet rengi ve duruş pozisyonu olduğu görülmektedir. Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılan çalışmalarda tespit edilen optimum seviyeler deney planında yer almadığı zaman doğrulama deneyleri yapılması gerekmektedir. Çalışmada, deney sonuçları incelendiğinde yedi numaralı deneyin optimum seviyelerin kombinasyonunu sağlayan deney olduğu, en az sıcaklık artış miktarında bu deneyde gerçekleşmiş olduğu görülmektedir, Taguchi metodu sonucu tespit edilen optimum seviyelerin oluşturduğu deney kombinasyonu gerçekleştirilen deneyler arasında olduğu için doğrulama deneyi yapmaya gerek kalmamıştır.



Şekil 4.1. Yaz mevsimi deneylerinde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonu için S/N oranları

Çizelge 4.2. Yaz mevsiminde yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık artış çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu

<i>Seviye</i>	<i>Halojen Ampul Tipi</i>	<i>Kıyafet Rengi</i>	<i>Duruş pozisyonu</i>
<i>1</i>	-2,18	2,21	4,88 ^a
<i>2</i>	10,92 ^a	6,52 ^a	3,85
<i>Delta</i>	13,1	4,31	1,03
<i>Rank</i>	1	2	3

^a Optimum seviye

Optimum seviyeler altında oluşması beklenen sinyal/gürültü oranı Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır (Tutar 2014). Hesap edilen sinyal/gürültü oranı ile Eşitlik 4.2 ile yapılan hesaplama vasıtasıyla optimum deney kombinasyonu için sıcaklık artış miktarı tahmin edilmiştir.

$$S/N' = S/N_{ort} + \sum_{i=0}^p (S/N_i - S/N_{ort}) \quad (4.1)$$

S/N' = Tahmin edilen S/N oranı

S/N_i = Her bir faktörün optimum seviyedeki S/N oranı

S/N_{ort} = Tüm S/N oranlarının ortalaması

p = Faktör sayısı

$$\text{Taguchi metodu ile tahmin edilen sıcaklık artışı değeri} = 10^{-\frac{S/N'}{20}} \quad (4.2)$$

Teorik olarak tahmin edilen sonuçlar ile optimum seviyelerin kombinasyonu olan yedi numaralı deneyin sonucu karşılaştırılmış Çizelge 4.3' de gösterilmiştir, teorik olarak tahmin edilen ile deneysel olarak elde edilen sonucun uyum içinde olduğu görülmüştür. Yaz deneylerinde optimum seviyelerde elde edilen sıcaklık artış miktarı çok az olup 0,08 °C değerinde olduğu, teorik olarak Taguchi optimizasyonuna göre yapılan tahminde ise sonucun deneysel değere yakın olup 0,208 °C değerinde olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Yaz mevsimi deneylerinde optimum seviyelerde tahminsel ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık artış miktarları

	<i>Sıcaklık Artış Miktarı (°C)</i>
<i>Tahminsel (Taguchi metodu)</i>	0,208
<i>Deneysel</i>	0,08

Çizelge 4.4' de sırt sıcaklık artışına uygulanan ANOVA analizi verilmiştir. Yaz mevsiminde yapılan deneylerde ısıl konfora etki eden faktörler arasında etki değeri en yüksek olan % 89 ile halojen ampul tipi olduğu görülmektedir. Bunun anlamı halojen ampul tipi sıcaklık artış miktarı üzerinde en etkili faktördür ve % 89' luk bir etkisi vardır ve kıyafet rengi faktörü % 4,7' lik etkisi ile 2' nci etkili faktördür. İnsanın duruş pozisyonu da % 0,55 kadar az bir etki ile üçüncü sıradadır. Taguchi metodu elde edilen

faktörlerin önem sıralaması ile ANOVA analizi ile elde edilen faktörlerin etki sıralamasının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Yaz mevsiminde yapılan deneyler için ANOVA tablosu

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Etki (%)</i>
<i>Halojen ampul tipi</i>	1,98569	1	1,98569	60,83	89
<i>Kıyafet rengi</i>	0,10637	1	0,10637	3,26	4,7
<i>Duruş pozisyonu</i>	0,01228	1	0,01228	0,38	0,55
<i>Hata</i>	0,13058	4	0,03265		5,84
<i>Toplam</i>	2,23492	7			100

4.1.2. Sonbahar mevsiminde (klima kapalı) yapılan deneysel çalışmalar

Sonbahar mevsiminde deneysel çalışmaların yapıldığı günlerde iç ortam sıcaklığı 20 °C olduğu için mahal soğutması yapılmamıştır. Bundan dolayı ortamdaki hava hızı durgundur ve bağıl nem % 50 de sabit tutulmuştur. Bu mevsimde yapılan deneylerden elde edilen verilere uygulanan Taguchi analizinden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı ve standart sapmaları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sonbahar mevsiminde (klima kapalı) yapılan deneylerden elde edilen S/N oranları, sırt sıcaklığındaki artış miktarı ve standart sapma değerleri

<i>Deney No</i>	<i>Halojen Ampul Tipi</i>	<i>Kıyafet Rengi</i>	<i>Duruş pozisyonu</i>	<i>Sıcaklık Artış Miktarı(°C)</i>	<i>Standart Sapma</i>	<i>S/N (dB)</i>
1	1	1	1	2,28	0,42	-7,28
2	1	1	2	2,19	0,19	-6,83
3	1	2	1	1,29	0,21	-2,34
4	1	2	2	1,55	0,13	-3,83
5	2	1	1	1,95	0,34	-5,90
6	2	1	2	1,63	0,11	-4,26
7	2	2	1	1,43	0,20	-3,20
8	2	2	2	0,79	0,17	1,88

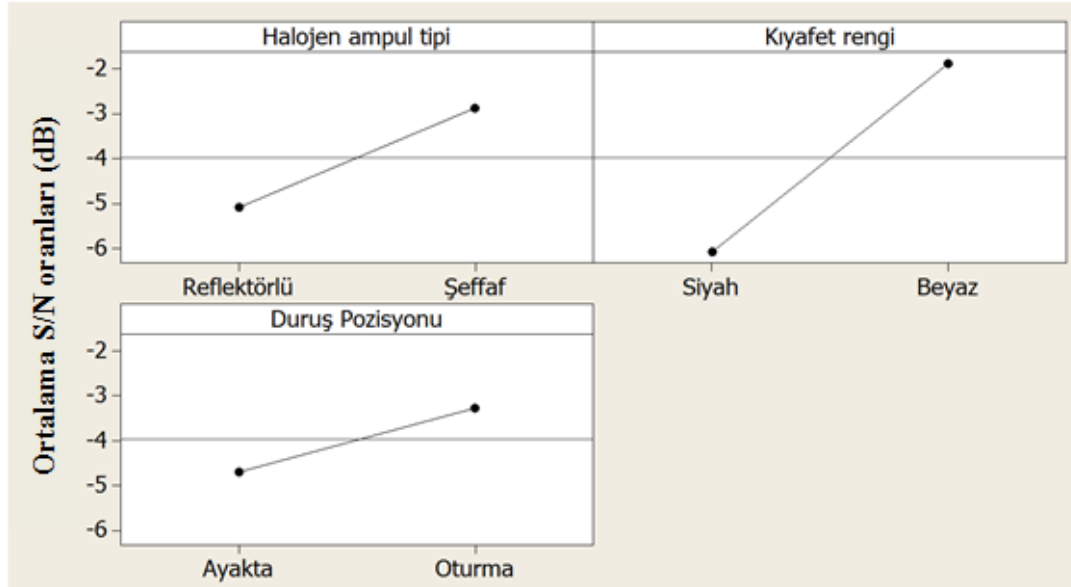
Sonbahar deneylerinden elde edilen sırt sıcaklık artışının çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu Çizelge 4.6' da verilmiştir. Maksimum S/N oranlarına baktığımızda, minimum sıcaklık artışını oluşturan optimum şartlar halojen ampulün 2'nci seviyesinde yani ampulün halojen şeffaf olması durumunda, kıyafet rengine baktığımızda tişörtün beyaz olması durumunda yani 2'nci seviyede olması durumunda oluşmuştur. Duruş pozisyonunun optimum seviyesi deneğin oturma pozisyonunda olması durumunda yani 2'nci seviyede görülmektedir. Taguchi metoduna göre sonbaharda yapılan deneylerde elde edilen faktörlerin optimum seviyelerinin yaz deneylerinden tek farkı, insanın şartlandırma odasındaki duruş pozisyonudur. Yaz mevsiminde yapılan deneylerde ayakta duran insanların sırt sıcaklık artış miktarlarının daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi şartlandırma odasında ayakta duran insana klimanın üflediği havanın direkt temas etmesidir. Bundan dolayı sıcaklık artış miktarı klimanın çalışması durumunda daha az olmaktadır. Fakat sonbaharda yapılan deneylerde ortam iklimlendirilmediği için ayakta olan insan halojen ampullere daha yakın olduğundan sıcaklık artış miktarı daha fazla olmuştur. Faktörlerin önem (rank) sırasına baktığımızda sırt sıcaklık artış miktarında en etkili faktörün kıyafet rengi, sonra sırasıyla halojen ampul tipi ve duruş pozisyonu olduğu görülmektedir. Sekiz numaralı deneyin optimum seviyelerin kombinasyonunu sağlayan deney olduğu, en az sıcaklık artış miktarında bu deneyde gerçekleşmiş olduğu görülmektedir, Taguchi metodu sonucu tespit edilen optimum seviyelerin oluşturduğu deney kombinasyonu gerçekleştirilen deneyler arasında olduğu için doğrulama deneyi yapmaya gerek kalmamıştır.

Çizelge 4.6. Sonbahar mevsiminde yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık artış çıktısının S/N oranı için yanıt tablosu

<i>Seviye</i>	<i>Halojen Ampul Tipi</i>	<i>Kıyafet Rengi</i>	<i>Duruş pozisyonu</i>
<i>1</i>	-5,07	-6,07	-4,68
<i>2</i>	-2,87 ^a	-1,87 ^a	-3,26 ^a
<i>Delta</i>	2,2	4,2	1,42
<i>Rank</i>	2	1	3

^a Optimum seviye

Şekil 4.2’ de sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen deneylerde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonunun farklı seviyeleri için ortalama S/N oranlarının değişimi verilmektedir.



Şekil 4.2. Sonbahar mevsimi deneylerinde halojen ampul tipi, kıyafet rengi ve duruş pozisyonu için S/N oranları

Teorik olarak hesaplanan sonuçlar ile optimum seviyelerin kombinasyonu olan sekiz numaralı deneyin sonucu karşılaştırılmış Çizelge 4.7’ de gösterilmiştir. Hesaplanan ile deneysel sonucun uyum içinde olduğu görülmüştür. Sonbahar deneylerinde optimum seviyelerde elde edilen sıcaklık artış miktarı çok az olup 0,79 °C değerinde olduğu, Taguchi optimizasyonuna göre yapılan tahminin deneysel olarak elde edilen değere yakın olup 1 °C değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Sonbahar mevsimi deneylerinde tahminsel ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık artış miktarları

<i>Sıcaklık Artış Miktarı (°C)</i>	
<i>Tahminsel (Taguchi metodu)</i>	1
<i>Deneysel</i>	0,79

Çizelge 4.8’ de sırt sıcaklık artışına uygulanan ANOVA analizi verilmiştir. Sonbahar mevsiminde yapılan deneylerde ısı konforuna etki eden faktörler arasında etki değeri % 65,2 ile kıyafet rengi olduğu görülmektedir. Bunun anlamı kıyafet rengi sıcaklık artış miktarı üzerinde en etkili faktördür ve % 65,2 lik bir etkisi vardır. Halojen ampul tipi % 16,8’lik etkisi ile ikinci etkili faktördür ve insanın kapalı hacimde duruş pozisyonu ise % 4,7 lik etki ile üçüncü sıradadır. Taguchi metodu ile elde edilen faktörlerin etkenlik sıralaması ile ANOVA analizi ile elde edilen faktörlerin etkenlik sıralamasının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. Sonbahar mevsiminde yapılan deneyler için ANOVA tablosu

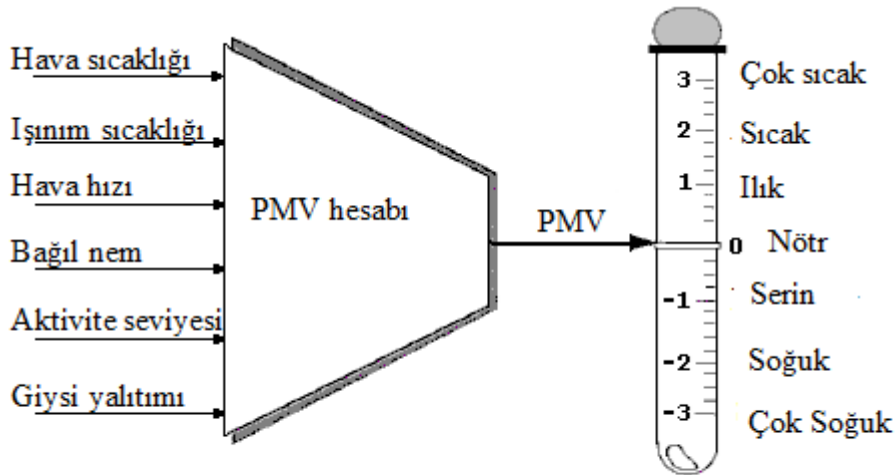
<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Etki (%)</i>
<i>Halojen ampul tipi</i>	0,28633	1	0,28633	5,11	16,8
<i>Kıyafet rengi</i>	1,11228	1	1,11228	19,86	65,2
<i>Duruş pozisyonu</i>	0,08153	1	0,08153	1,46	4,7
<i>Hata</i>	0,22403	4	0,05601		13,1
<i>Toplam</i>	1,70416	7			100

Watanabe ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, giyinik insan vücudunun güneş yutuculuğunu deneysel olarak incelemişlerdir. Bu makalede üst kıyafet siyah olması durumunda giyinik vücudun güneş yutuculuğu en yüksektir. Güneş yutuculuğu siyah tişört ve siyah pantolon kombinasyonunda 0,76, beyaz tişört ve beyaz pantolon kombinasyonunda 0,38 olarak ölçülmüştür. Ayrıca yaz, sonbahar, kış aylarında günlük kıyafetlerini giymiş 30 Japon erkek öğrencinin vücudunun ortalama güneş yutuculuklarının sırasıyla 0,66, 0,69 ve 0,77 değerlerinde olduğunu tayin etmişlerdir. Diğer bir sonuç olarak da yaz aylarında deneklerin giyinik vücudunun ortalama güneş yutuculuğunun vücudun üst kısmına giydiği kıyafet rengine bağlı olduğunu tayin etmişlerdir. Tüm giyinik vücudun ortalama güneş yutuculuğu değeri siyah üst kıyafette 0,76, beyaz üst kıyafette 0,56, üst kıyafetin renginin Munsell değerinin iki ila sekiz arasında olması durumunda ise 0,68 değerlerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında bu sonuçlardan esinlenerek deneklerin sadece üst kıyafetleri siyah ve beyaz renk olarak değiştirilmiştir. Siyah renk tişört giymiş vücudun güneş yutuculuğunun yüksek olması, sıcaklığının ışınım ısı akısı altında daha çok artacağı anlamına gelir. Başka bir ifade ile yüksek bir güneş yutuculuğuna sahip siyah veya koyu

renkte bir elbise giymiş insan ışınlam enerjisine maruz kaldığında, sahip olduğu yüksek güneş yutuculuğu özelliğinden dolayı vücut sıcaklıkları ısıl konforu olumsuz etkileyebilecek şekilde artabilir. Bu tez çalışması yaz ve sonbahar mevsiminde yapılan deneylerde siyah renkli tişört giyen deneklerin sırt sıcaklıklarında daha çok artış olduğu görülmektedir.

4.2. PMV İndeksinin Değişimi

Hem yaz mevsiminde hem de sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen deneylerde deneklere, ısıl duyumun tespit için “Tahmini Ortalama Oy (PMV)” sorgulaması da yapılmıştır. Şekil 4.3’ de görüldüğü gibi, PMV, 7 ölçeğe bağı ve geniş bir insan kümesiyle yapılan deneyler ile elde edilmiş bir ısıl duyum ölçeğidir. Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da hem yaz hem sonbahar deneyleri için deneklerden alınan PMV değerlerinin ortalamaları sunulmuştur.



Şekil 4.3. Tahmini ortalama oy (PMV) ölçeği (Hamdi ve ark. 1999)

Çizelge 4.9’ da görüldüğü üzere ilk dört deneyde ısıl duyum ılık ve ılığa yakındır. Son dört deneyde ise denekler kendisini serin hissetmektedirler. Sonuç olarak ilk dört deneyde reflektörlü halojen ampul kullanılmış, son dört deneyde de halojen şeffaf ampul kullanılmıştır. Reflektörlü halojen ampul daha çok ışınlam yaydığı için deneklerin

ısıl duyumu ılık ve ılığa yakın çıkmıştır. Halojen şeffaf ampul kullanılan deneylerde ise deneklerin kendilerini serin hissetmekte olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Yaz deneylerinden deneklerin PMV sorgusuna verdiği cevaplardan elde edilen ortalama PMV değerleri

<i>Deney No</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>PMV</i>	+1	+0,75	+0,75	+0,75	-1	-1	-1	-1

Çizelge 4.10' dan görüldüğü üzere sonbahar deneylerinde klimanın çalıştırılmadığı durumda, ısıl duyum ilk dört deneyde çok sıcaktır, son dört deneyde ise sıcaktır. İlk dört deneyde reflektörlü halojen ampul kullanılmıştır, son dört deneyde de halojen şeffaf ampul kullanılmıştır. Reflektörlü halojen ampul daha çok ışınım yaydığı için ve şartlandırma odası iklimlendirilmediği için deneklerin ısıl duyumu çok sıcak olarak çıkmıştır. Halojen şeffaf ampul kullanılan deneylerde ise deneklerin kendilerini sıcak hissetmekte olduğu görülmektedir. Sonbahar deneylerinde deneklerin PMV sorgusuna verdiği cevaplarda ısıl duyum hissi olarak çok sıcak ve sıcak hissetmelerini belirtmeleri, reflektörlü halojen ampul ve şeffaf ampul kullanımında şartlandırma odasının sıcaklığında deney sonunda meydana gelen sırasıyla 5,6°C ve 3,8°C' lik artıştan kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.10. Sonbahar deneylerinden deneklerin PMV sorgusuna verdiği cevaplardan elde edilen ortalama PMV değerleri

<i>Deney No</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>PMV</i>	+3	+3	+3	+3	+2	+2	+2	+2

4.3. Aydınlatma Amacıyla Kullanılan Ampullerden Gelen Işınım Isı akısı Etkisinin İncelenmesi

Simülasyondan elde edilen, ampullerden gelen ışınım ısı akısı etkisi altında insanın ısı ortama verdiği fizyolojik tepkiler deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar yaz ve sonbaharda gerçekleştirildiği için, simülasyon sonuçları her iki mevsim için de deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Işınım ısı akısı etkisi altında, insan vücudundan deneysel ölçüm alınan üç parça; baş, sırt, dirsek altı zamana bağlı sıcaklık değişimleri ile simülasyondan elde edilen aynı parçaların sıcaklık değişimleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.11’de sunulan deneysel olarak ölçülen ışınım ısı akısı değerlerinin simülasyon çalışmasında da etkisini görebilmek için, deneysel çalışmada ışınım ısı akısının etkisini göstermeye başladığı aynı zaman adımı (15.dakika) matematiksel modele dahil edilmiştir. Bunun yanı sıra simülasyonda metabolik aktivite düzeyi sakin ayakta durma konumu için 70 W/m^2 alınmıştır. Çizelge 4.12’ de simülasyona veri olarak girilen deneysel tespit edilmiş olan vücut parçalarına ait nötr deri sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 4.11. Vücut parçalarına gelen ışınım ısı akısı değerleri

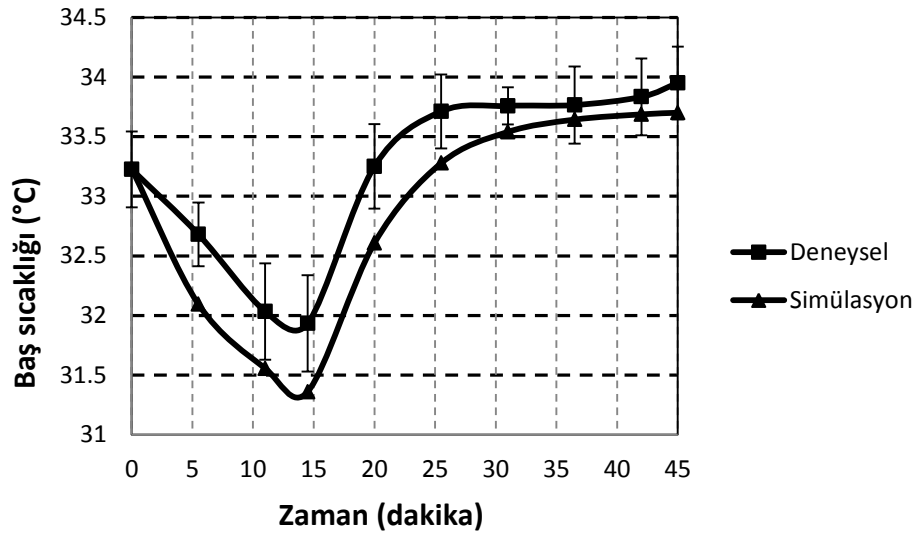
<i>Vücut Parçası</i>	<i>Işınım ısı akısı değerleri (W/m²)</i>	
	<i>Reflektörlü halojen</i>	<i>Halojen şeffaf</i>
Sol ayak	25	12
Sağ ayak	25	12
Sol diz altı	16	8
Sağ Diz altı	16	8
Sol bacak	16	8
Sağ bacak	16	8
Pelvis	18	10
Baş	80	50
Sol el	12	4
Sağ el	12	4
Sol dirsek altı	14	6
Sağ dirsek altı	14	6
Sol kol	40	15
Sağ kol	40	15
Göğüs	50	25
Sırt	50	25

Çizelge 4.12. Vücut parçalarına ait nötr deri sıcaklıkları

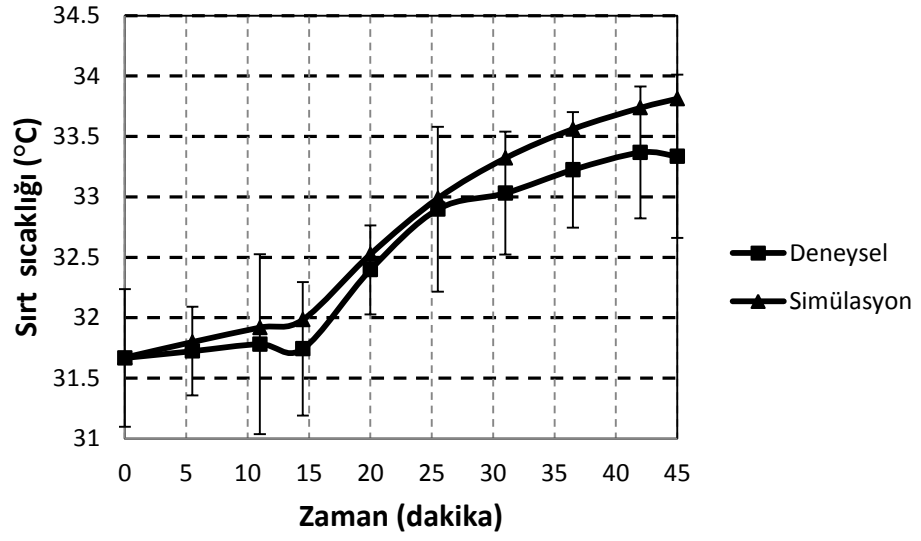
<i>Mevsim</i>		<i>Yaz</i>		<i>Sonbahar</i>	
<i>Ampul tipi</i>		<i>Reflektörlü</i>	<i>Şeffaf</i>	<i>Reflektörlü</i>	<i>Şeffaf</i>
<i>i</i>	<i>Vücut Parçası</i>	<i>Nötr deri sıcaklığı (°C)</i>			
1	Sol ayak	32,5	33,9	32,9	32,8
2	Sağ ayak	32,5	33,9	32,9	32,8
3	Sol diz altı	32	33,4	32,4	33,2
4	Sağ diz altı	32	33,4	32,4	33,2
5	Sol bacak	32,4	33,8	32,8	32,9
6	Sağ bacak	32,4	33,8	32,8	32,9
7	Pelvis	32,9	33,4	32,7	32,8
8	Baş	33,23	34,13	33,15	33,16
9	Sol el	32,6	33,8	32,9	32,9
10	Sağ el	32,6	33,8	32,9	32,9
11	Sol dirsek altı	32,23	32,4	31,93	32,3
12	Sağ dirsek altı	32,23	32,4	31,93	32,3
13	Sol kol	32	33,4	32,4	32,5
14	Sağ kol	32	33,4	32,4	32,5
15	Göğüs	32,2	33,6	32,5	32,6
16	Sırt	31,67	32,97	32,7	32,22
	Ortalama*	32,35	33,50	32,64	32,76

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' da yaz mevsiminde şartlandırma odasında reflektörlü halojen ampul kullanımında iç ortam sıcaklığı 24 °C, iç ortam hava hızı 0.2 m/s, bağıl nem %50 olması durumunda baş, sırt ve dirsek altı bölgesindeki sıcaklık değişimi ile simülasyondan aynı şartlarda elde edilen baş, sırt ve dirsek altı bölgesinde ki sıcaklık değişimleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonda ortam havası ile insan vücudu arasındaki ısı taşınım katsayısı hareketli havada ayakta durma hali için Eşitlik 3.33 ifadesinden hesaplanmıştır. Şekillerden görülebileceği gibi aynı şartlarda insanın ısı ortama verdiği tepki kişiden kişiye değişebilmekte, bundan dolayı deneysel verilerde ortalama değerlerin yanında standart sapmaları hata çubukları ile gösterilmiştir. Simülasyondan ve deneysel verilerden görüleceği üzere deney başladıktan 15 dakikadan sonra halojen ampuller açıldığı için vücut parçalarında bu zamandan sonra dikkate değer bir sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Özellikle baş ve sırt deri yüzey sıcaklığındaki artış miktarı, daha çok ışınımına maruz kaldığı için, dirsek altındaki sıcaklık artış miktarına göre daha fazladır. Baş sıcaklığında yaklaşık 2 °C' lik bir artış olduğu, aynı şartlarda gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında da deneysel çalışmadan elde edilen

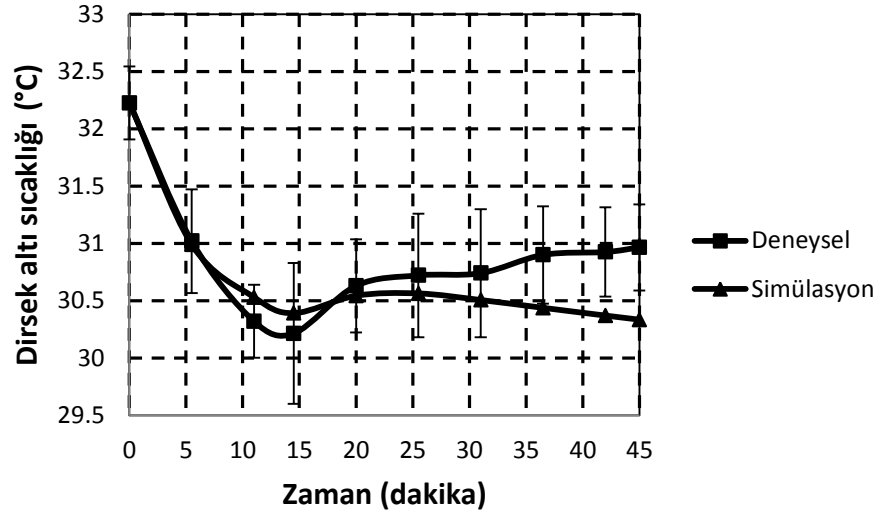
sonuca yakın, yaklaşık 2,4 °C' lik bir artış görünmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı sırasıyla yaklaşık 1,6 °C ve 0,75 °C 'dir. Simülasyon çalışmasından elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı ise yaklaşık 1,9 °C ve 0,3 °C dir. Işınım ısı akısı en çok baş, sonra sırt ve dirsek altı bölgesini etkilemektedir. Bu durum simülasyon ve deney sonuçları ile doğrulanmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen vücut parçalarına ait sıcaklık değişimleri, farklılıklar olsa da, birbiri ile uyumludur.



Şekil 4.4. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

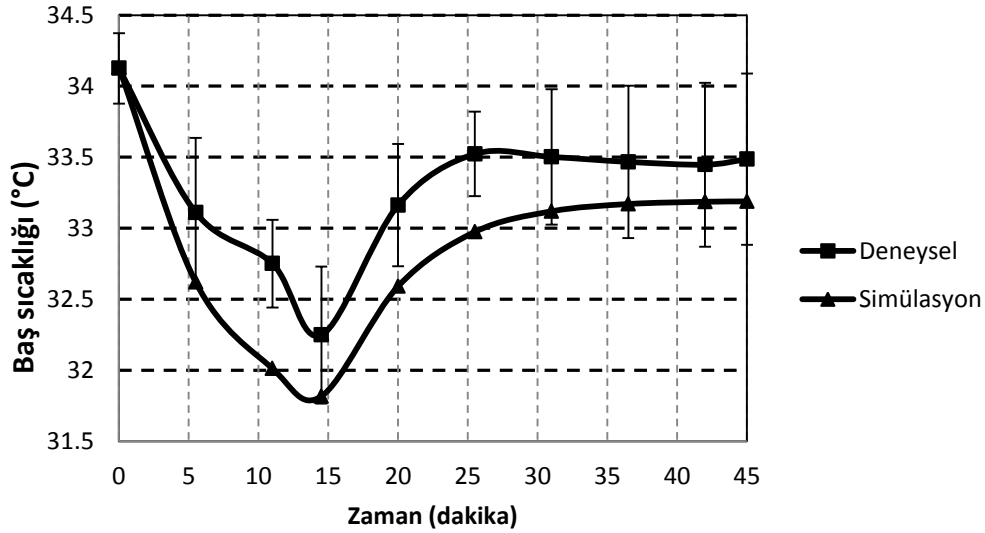


Şekil 4.5. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

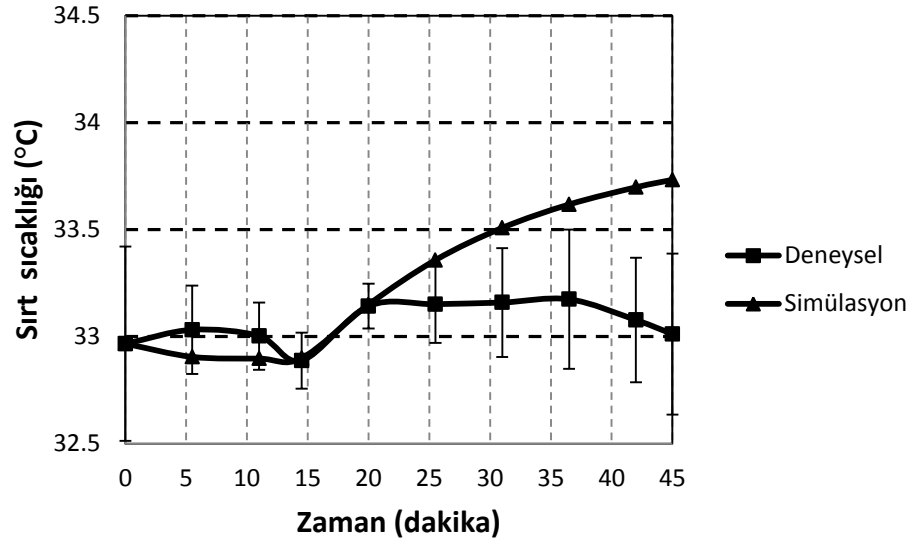


Şekil 4.6. Yaz mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

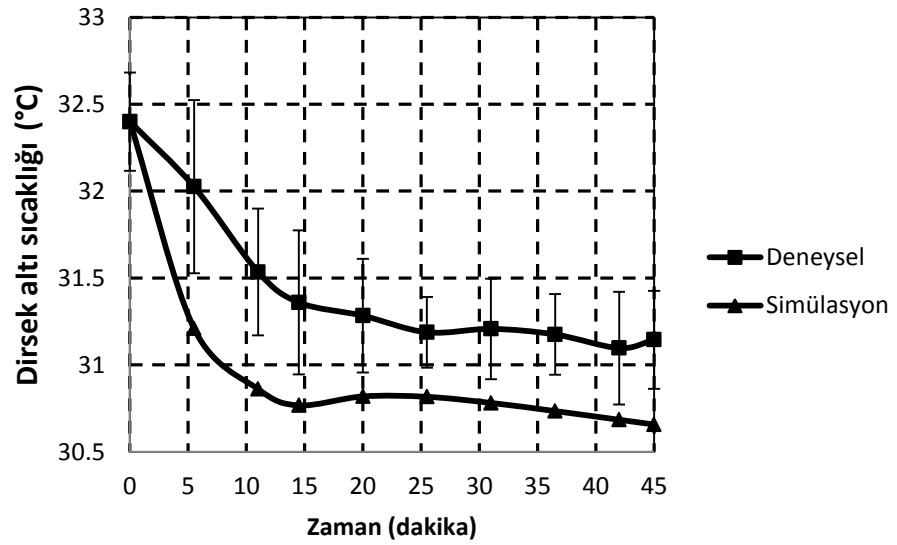
Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’ da yaz mevsiminde şartlandırma odasında halojen şeffaf ampul kullanımında aynı iç ortam ısıl şartlarında yapılan deneylerde baş, sırt ve dirsek altı bölgesindeki sıcaklık değişimi ile simülasyondan elde edilen aynı vücut parçalarında ki sıcaklık değişimi karşılaştırılmıştır. Halojen şeffaf ampul kullanımında da baş ve sırt sıcaklığındaki artış miktarı dirsek altındaki sıcaklık artış miktarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yaz mevsiminde yapılan deneylerde şartlandırma odasında halojen şeffaf ampul kullanımı durumunda baş sıcaklığında yaklaşık 1,3 °C’ lik bir artma olduğu görülmüştür. Aynı şartlar altında oluşturulan simülasyon modelinde de deneysel çalışmadan elden edilen sonuca hemen hemen aynı, yaklaşık 1,3 °C’ lik bir artış görünmektedir. Simülasyon çalışmasından elde edilen sırt sıcaklığındaki artış miktarı ise yaklaşık 0,8 °C dir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sırt sıcaklığındaki artış miktarı sırasıyla yaklaşık 0,3 °C dir. Dirsek altı sıcaklığında ise deneysel çalışmalarda bir artış görünmemiş ve simülasyon çalışmasında ise çok az yaklaşık 0,1 °C lik bir artış gözlemlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde simülasyondan elde edilen değerlerin deneysel verilere yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

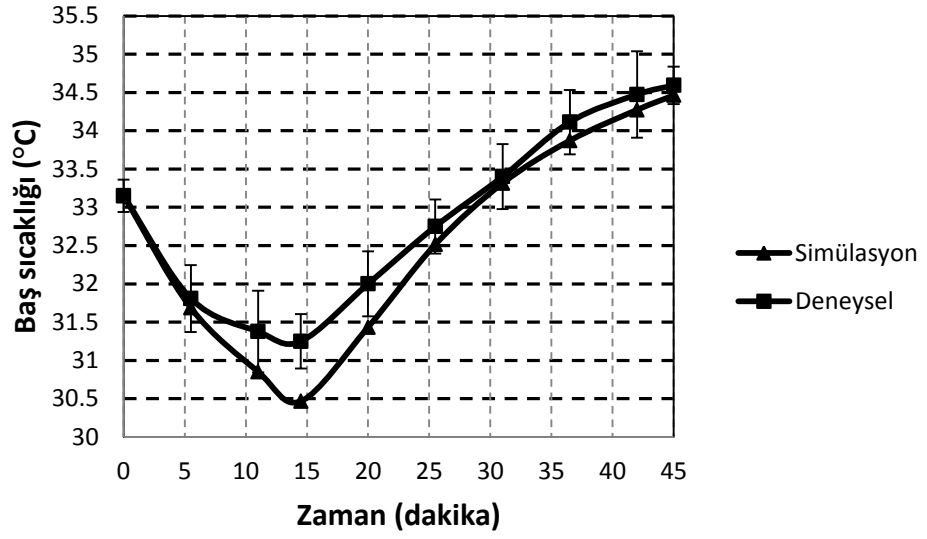


Şekil 4.8. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

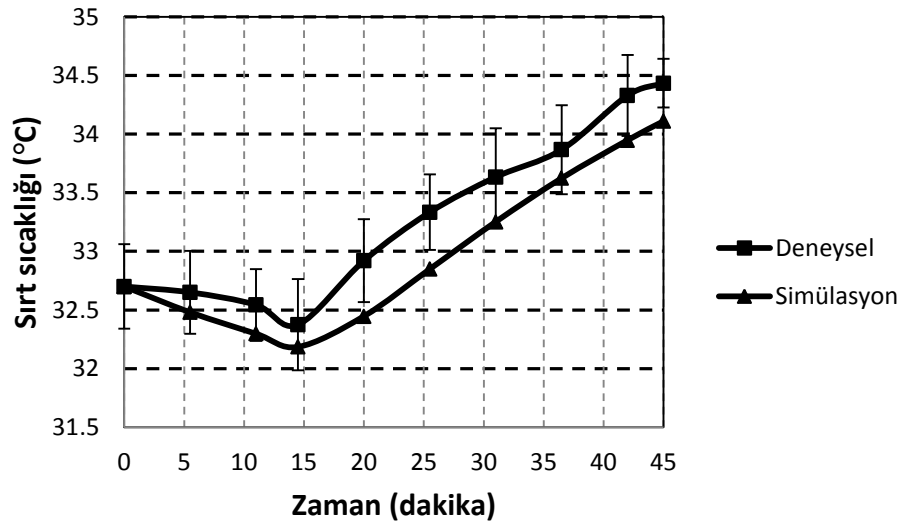


Şekil 4.9. Yaz mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

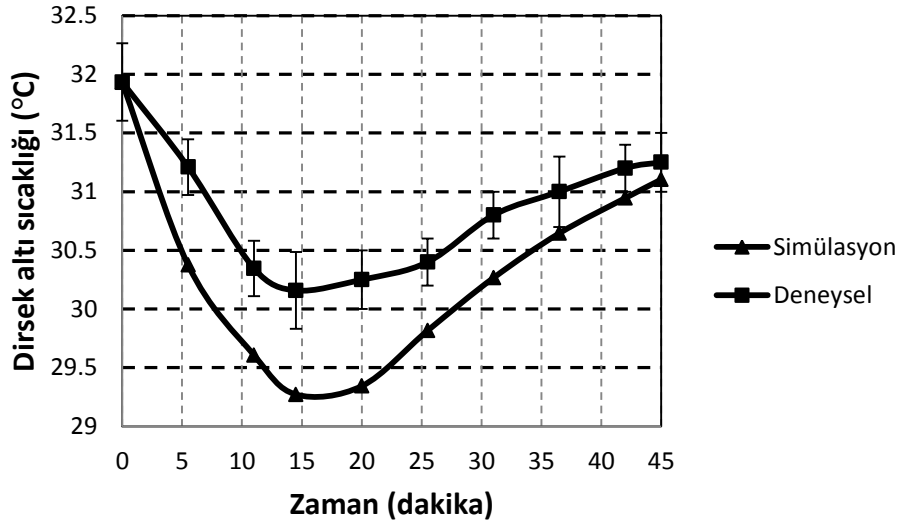
Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de sonbahar mevsiminde şartlandırma odasında reflektörlü halojen ampul kullanımında yapılan deneylerde ortam soğutulması yapılmamıştır. Şartlandırma odasında iç ortam sıcaklığı 20 °C ölçülmüş, durgun hava şartlarında, bağıl nem %50 olması durumunda sırasıyla baş, sırt ve dirsek altı bölgesindeki sıcaklık değişimi ile simülasyondan aynı şartlarda elde edilen baş, sırt ve dirsek altı bölgesindeki sıcaklık değişimi karşılaştırılmıştır. Simülasyonda ortamın ısı taşınım katsayısı durgun havada ayakta durma hali için Eşitlik 3.34 ifadesinden hesaplanmıştır. Sonbahar mevsimi deneylerinde ortam iklimlendirilmediği için ortam sıcaklığı sabit tutulmamıştır. Bundan dolayı deney odası sıcaklığında deney başladıktan 15 dakika sonra açılan halojen ampuller nedeniyle artış meydana gelmiş, şartlandırma odasında reflektör halojen ampul kullanımı durumunda ortam sıcaklığının deney sonunda 5,6 °C arttığı tespit edilmiştir. Simülasyonda bu sıcaklık artışı, deneysel çalışmada ışıyım ısı akısının etkisini göstermeye başladığı zaman adından itibaren en son zaman adımına kadar ortam sıcaklığındaki artışın deneysel çalışmada olduğu gibi 5,6 °C olacak şekilde lineer bir artış olarak düzenlenmiştir. Yani simülasyonda ışıyım ısı akısından kaynaklanan ortam sıcaklığındaki artış dikkate alınmıştır. Sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen deneylerde şartlandırma odasında reflektörlü halojen ampul kullanımı durumunda baş sıcaklığında yaklaşık 3,4 °C’ lik bir artış meydana gelmektedir. Aynı şartlarda gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında da deneysel çalışmadan elden edilen sonuçtan biraz fazla, yaklaşık 4 °C’ lik bir artış görünmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı sırasıyla yaklaşık 2 °C ve 1 °C ‘dir. Simülasyon çalışmasından elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı ise yaklaşık 1,9 °C ve 1,8 °C dir. Simülasyondan çalışmaları deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında dirsek altındaki sıcaklık artış miktarı arasında biraz fark vardır, diğer parçalarda sıcaklık artış miktarları ise uyumludur.



Şekil 4.10. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

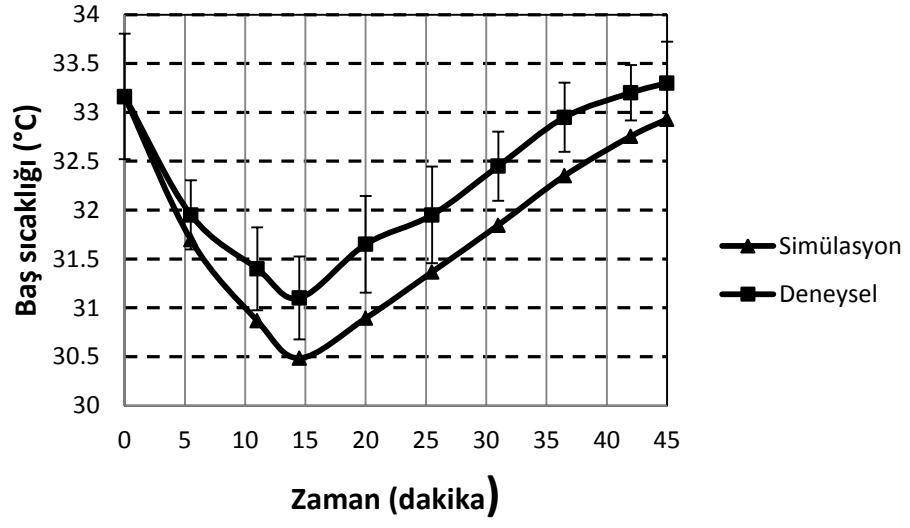


Şekil 4.11. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

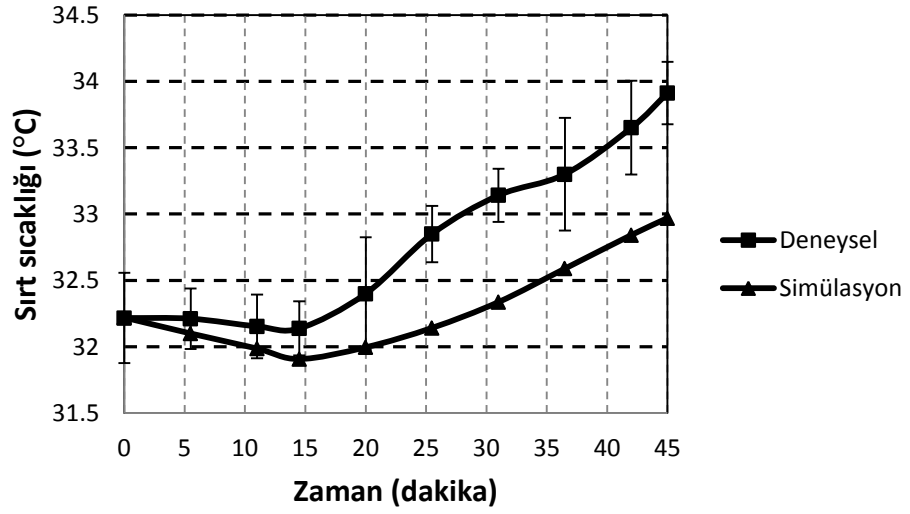


Şekil 4.12. Sonbahar mevsiminde reflektörlü halojen ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

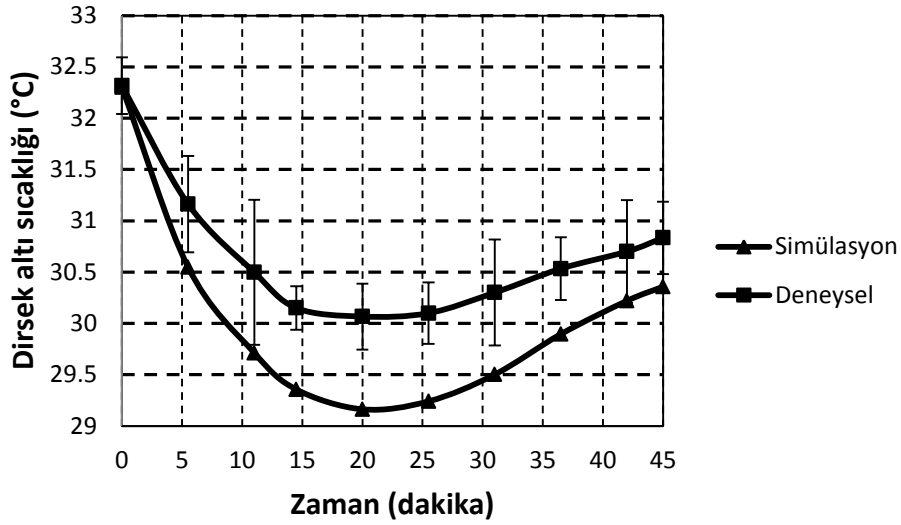
Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de sonbahar mevsiminde şartlandırma odasında halojen şeffaf ampul kullanımı sonucu elde edilen deneysel veriler ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şartlandırma odasının ortam sıcaklığının deney sonunda halojen şeffaf ampul kullanımında 3,8 °C arttığı tespit edilmiştir. Simülasyonda bu sıcaklık artışı, deneysel çalışmada ışınım ısı akısının etkisini göstermeye başladığı zaman adımından itibaren iterasyonun sonlandığı zaman adımında toplam artış 3,8 °C olacak şekilde lineer bir artış olarak düzenlenmiştir. Sonbahar mevsiminde yapılan deneylerde şartlandırma odasında halojen şeffaf ampul kullanımı durumunda baş sıcaklığında yaklaşık 2,20 °C’ lik bir artış meydana gelmektedir. Aynı şartlarda gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında da deneysel çalışmadan elden edilen sonuçtan biraz fazla, yaklaşık 2,5 °C’ lik bir artış görünmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı sırasıyla yaklaşık 1,9 °C ve 0,7 °C ‘dir. Simülasyon çalışmasından elde edilen sırt ve dirsek altı sıcaklığındaki artış miktarı ise yaklaşık 1,1 °C ve 1 °C dir. Sonuç olarak halojen şeffaf ampul kullanımında en çok sıcaklık artışı baş bölgesinde, daha sonra sırt ve dirsek altı bölgesi gelmektedir. Simülasyon sonuçlarında sırt ve dirsek altındaki sıcaklık artışı birbirine yakın olmuştur. Simülasyondan elde edilen sonuçlarda bazı farklılıklar olsa da deneysel verilere oldukça yakındır.



Şekil 4.13. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında baş sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 4.14. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında sırt sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması



Şekil 4.15. Sonbahar mevsiminde halojen şeffaf ampul kullanımında dirsek altı sıcaklığı için deneysel verilerin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Deneysel farklı deneklerin kullanılmasının, insanın ısı ortama verdiği tepkiyi etkilediği bahsedilen grafiklerden açıkça görülebilmektedir. Daha önce Çizelge 3.3' de gösterilmiş olan simülasyonda kullanılan antropometrik özellikler ile Çizelge 3.10' da verilen deneklere ait antropometrik özellikler kıyaslandığında da çeşitli farklılıklar olduğu açıktır. Simülasyonda $1,87 \text{ m}^2$ yüzey alanına sahip, 74 kg ağırlığında model kişi için hesaplamalar yapılırken, deneklerin ortalama ağırlığının $77,54 \pm 6,9 \text{ kg}$ ve yüzey alanının $1,91 \pm 0,084 \text{ m}^2$ olduğu bahsedilen çizelgelerden görülebilmektedir. Her denegin on altı ayrı vücut parçasının ağırlığı ve yüzey alanı bilinmediği için simülasyon hesaplamaları Tanabe ve ark. (2002)' de verilen ve Çizelge 3.3.' 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. Oluşturulan simülasyon modeli farklı aydınlatma çeşitlerinin ısı konforu üzerine etkisini görebilmek için ideal bir modeldir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması deneysel çalışmalar ve simülasyon çalışması olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda aydınlatma için kullanılan farklı ampullerin yaydığı ışınım ısı akısı etkisindeki insanın giydiği kıyafetin ve duruş pozisyonunun insan ısı konforu üzerine etkisi incelenmiştir. Deneysel tasarımda Taguchi metodu kullanılmış, deneysel sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilerek, bahsedilen bu faktörlerin etkenlik sıraları ve etkenlik düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece aydınlatma için kullanılan ampullerin ısı konfora etkileri ortaya konulmuştur.

Ayrıca ampullerin yaydığı ışınım ısı akısına maruz kalan insanın bulunduğu ısı ortama verdiği ısı tepkileri tespit eden bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Işınım etkisinin insan ısı konforu üzerinde etkisinin görüldüğü bu modelde, ısı ve kütle transferi denklemleri ile deneysel olarak elde edilmiş çeşitli ampirik ifadelerden yararlanılmıştır. Simülasyon çalışmasında iki bölmeli Gagge modeli, tüm vücut yerine, insan vücudu on altı parçaya ayrılarak uygulanmıştır. Bu sayede her bir vücut parçasının ışınım ısı akısı etkisinde zamana bağlı olarak kor ve deri sıcaklığı değişimi ile vücut parçası ıslaklığının değişimi hesaplanabilmekte, deri sıcaklığındaki artış tayin edilebilmektedir. Bunun yanı sıra vücut parçalarından olan duyulur ve gizli ısı transferi miktarları da hesaplanabilmektedir. Oluşturulan simülasyon programından elde edilen sonuçlar ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, sonuç olarak modelin güvenilirliği gösterilmiştir. Özetle bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir:

1. Geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar, mevcut çalışma kapsamında yapılan deneysel veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçların güvenilirliği gösterilmiştir. Mevcut tez çalışmasında, aynı ısı ortama verilen tepkinin kişiden kişiye değiştiği görülmekle birlikte simülasyon modeli aydınlatma türünün ısı konforu üzerine etkisinin incelenmesi için faydalı bir modeldir.
2. Yaz mevsiminde yapılan deneylerde ampullerden yayılan ışınım ısı akısının etkisinden sırt sıcaklığındaki maksimum artış miktarı 1,66 °C değerine kadar ulaşmıştır. Bu da insan ısı konforunu olumsuz etkileyebileceğinden ortam

soğutma yükünü arttırma ihtiyacı doğurabilir ve bu da enerji ekonomisi açısından olumsuz sonuçlara yol açabilir.

3. Faktörlerin aynı seviyelerinin kombinasyonunda yapılan deneylerde sonbahar mevsiminde ampullerden gelen ışınım ısı akısından etkilenen sırtta meydana gelen sıcaklık artışı miktarlarının yaz mevsiminde yapılan deneylere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak da sonbahar deneylerinde ortamın iklimlendirilmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.
4. Deneklere yapılan PMV sorgulamaları neticesinde sonbahar mevsiminde yapılan deneylerde şartlandırma odasında reflektör halojen ampul kullanımı durumunda oda sıcaklığı yükselmesinden dolayı deneklerin ısıl duyumu olarak çok sıcak hissettiği, halojen şeffaf ampul kullanımı durumunda ise sıcak hissettiği görülmektedir. Genelde klima kullanılmasına gerek olmayan sonbahar mevsiminde, halojen ampullerin ortam sıcaklığını yükseltmesinden dolayı, kapalı hacimlerin iklimlendirilmesi ihtiyacı doğabileceği görülmektedir. Bu durum enerji tasarrufu açısından istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Kapalı hacimlerde özellikle mağazalarda iyi bir aydınlatma sağladığı için tercih edilen halojen ampuller aydınlatmayı sağlarken, özellikle reflektörlü olanlar, ortam sıcaklığını da artırdığı için insan vücut sıcaklığını da artırır ki, bu durum ısıl konforu olumsuz yönde etkiler. Mevsim şartlarında ortamın klimatize edilmesine gerek olmayan durumlarda bile bu tür kapalı hacimlerde ortam soğutması yapmak gerekebilir. Enerji ekonomisinin yanında ısıl konforsuzluk bu tür mekanlarda çalışanların iş verimliliğini de etkileyebilir. Bu durum dolaylı olarak ülke ekonomisini de etkileyebilir. Sonuç olarak aydınlatma tasarımları yapılırken bu tasarımların insan ısıl konforu üzerinde nasıl bir etkisi olduğu titizlikle sorgulanmalıdır.
5. Hem deneysel hem simülasyon sonuçlar halojen ampullerin yaydığı ışınımın farklı vücut parçaları üzerinde lokal sıcaklık farkına yol açtığını tespit etmiştir. Ölçüm alınan vücut parçalarından, ampullerin yaydığı ışınım ısı akısından en çok baş, sonra sırt ve dirsek altı etkilenmektedir. Bu farklılığın sebebi vücut parçalarının ışınım kaynağına olan mesafeleridir. Ampullere daha yakın olan

vücut parçalarında sıcaklık artışları daha fazla olmuştur. Bu lokal sıcak farklılığın insan üzerinde ısı konforsuzluğa yol açtığı görülmektedir.

Bu çalışma sonucunda, yaz ve sonbahar aylarında kapalı hacimlerde özellikle mağazalarda aydınlatma amacıyla kullanılan genelde spot yuvalara monte edilen halojen ampullerin yaydığı ışınım ısı akısının vücut sıcaklıklarında artırdığı ve ısı konforsuzluğa neden olabileceği görülmüştür. Özellikle reflektörlü yani yansıtıcı tip olan halojen ampullerin vücut sıcaklıklarını daha çok artırarak insan ısı konforunu olumsuz bir şekilde etkileyebileceği görülmüştür.

Kapalı mekânların aydınlatma tasarımları yapılırken, tasarımın insan ısı konforunu nasıl etkileyebileceği dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu tür aydınlatma yapılan mekanlarda çalışan veya uzun bir süre bulunmak zorunda kalan insanların açık renkte kıyafet giymelerinin kendilerinde iyi bir ısı konfor hissi sağlaması açısından önemli olduğu anlaşılmıştır. İnsanların kapalı hacimlerde duruş pozisyonlarının (ayakta veya oturma) incelenen diğer iki faktöre göre insan ısı konforu üzerinde daha az etken olduğu görülmüştür.

Bu çalışma bu konuda bir başlangıç olduğundan, konu hakkında ön fikir vermesi açısından ve başka çalışmalara kaynak olabilmesi bakımından önemlidir. Taguchi metodu ve ANOVA analizi ile istatistiksel analiz yapılırken, ısı konfor değerlendirmesinde ışınım ısı akısından kaynaklanan sırt sıcaklığındaki artış miktarı dikkate alınmıştır. Daha sonraki çalışmalarda üç faktörün ortak olarak etkilediği daha fazla vücut parçalarından ölçüm alınarak çalışmalar yapmak istatistiksel hata payını azaltmak ve daha hassas sonuçlar elde etmek açısından önemli bir adım olacaktır.

Sonuç olarak yapılan deneysel çalışma, simülasyon modeli ve çalışma ile ilgili tavsiyeler bundan sonra yapılabilecek çalışmalara ışık tutacak ve işyerlerinde ısı konfor ve enerji verimliliğine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

Alfano, F.R.D., Dell’Isola, M., Palella, B.I., Riccio, G., Russi, A. 2013. On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. *Building and Environment*, 63(): 79– 88.

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

Anonim, 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.

Anonim, 2004. ANSI / ASHRAE Standard 55 – 2004, Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Atlanta.

Anonim, 2009. ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 9. American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Atlanta.

Anonim, 2012. Aydınlatma proje ve laboratuvarı deney kitabı. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Arslanoğlu, N. 2009. İklimlendirme sistemlerinde iç ortam şartlarının optimizasyonu ve ekonomik analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2011. The effect of different indoor air velocities and temperatures on thermal comfort. *ISI Bilimi ve Tekniği Dergisi-Journal of Thermal Science and Technology*, 31(2): 95–100.

Atmaca, İ., Kaynaklı, Ö., Yiğit, A. 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.

Atmaca, İ., Yiğit, A. 2006. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*, 31(5): 442 – 452.

Atmaca, İ. 2006. Isıl konfor parametrelerinin insan üzerine etkisinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Atmaca, İ., Kaynaklı, O., Yiğit, A. 2007. Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, 42(9): 3210 – 3220.

Atmaca, İ., Koçak, S. 2013. İklimlendirilen hacimlerde ortam ışıyım sıcaklığının ısı konfor üzerine etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi. 11.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2013, MMO Tepekule Kongre Sergi ve İş Merkezi, İzmir.

Atmaca, İ., Soylu Koçak, S. 2013. İşletmelerde farklı metabolik aktivite düzeylerinde çalışanlar için ısı konfor bölgelerinin tespiti. *Mühendis ve Makina*, 54(638):26-32.

Barna, E., Banhidi L. 2012. Combined effect of two local discomfort parameters studied with a thermal manikin and human subjects. *Energy and Buildings*, 51 : 234 – 241.

Berglund, L.G. 1994. Common elements in the design and operation of thermal comfort and ventilation systems. *ASHRAE Transactions*, 6 (2): 776-781.

Butera, F.M. 1998. Chapter 3 – Principles of Thermal Comfort. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2):39 – 66.

Cengel, Y.A. 2002. *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2th Edition. Mc-Graw-Hill, New York, 896.

Chen, C.P., Hwang, R.L., Chang, S.Y., Lu, Y.T. 2011. Effects of temperature steps on human skin physiology and thermal sensation response. *Building and Environment*, 46(11): 2387 – 2397.

Chou, Y.T., Hsia, S.Y., Lee, B.W. 2014. Efficiency Enhancement on Thermal Comfort Assessment of Indoor Space with Air-Conditioner Using Computational Analysis. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-7.

de Dear, R.J., Arens, E., Hui, Z., Ogura, M. 1997. Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments. *Int. Journal of Biometeorol*, 40: 141-156.

Dongmei, P., Mingyin, C., Shiming, D., Minglu, Q. 2012. A four-node thermoregulation model for predicting the thermal physiological responses of a sleeping person. *Building and Environment*, 52: 88– 97.

Fountain, M.E., Arens, E., Xu, T., Bauman, F.S., Oguru, M. 1999. An Investigation of thermal comfort at high humidities. *ASHRAE Transactions*, 94: 94-103.

Frontini, F., Kuhn, E.T. 2012. The influence of various internal blinds on thermal comfort: A new method for calculating the mean radiant temperature in office spaces. *Energy and Buildings*, 54: 527 – 533.

Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J., Nishi, Y. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, 77(1): 247 – 257.

Gagge, A.P., Fobelets, A.P., Berglund, L.G. 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, 92(2B): 709 – 731.

Ghali, K., Ghaddar, N., Salloum, M. 2008. Effect of stove asymmetric radiation field on thermal comfort using a multisegmented bioheat model. *Building and Environment*, 43(7): 1241 – 1249.

Hamdi, M., Lachiver, G., Michaud, F. 1999. New predictive thermal sensation index of human response. *Energy and Buildings*, 29(2): 167 – 178.

Hardy, J.D. 1961. Physiological effects of high intensity infrared heating. *ASHRAE journal*, 4-11.

Havenith, G., Holmer, I., Parsons, K. 2002. Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production. *Energy and Buildings*, 34(6) 581 – 591.

Huizenga, C., Hui, Z., Arens, E. 2001. A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments. *Building and Environment*, 36(6): 691 – 699.

Huizenga, C., Zhang, H., Arens, E., Wang, D. 2004. Skin and core temperature response to partial and whole – body heating and cooling. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8): 549 – 558.

Hulstrom, R. L. 1989. Solar resources. MIT Press, London,408.

Kamışlı, F. 2012. Isı Transferi, 1. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 714.

Kaynaklı, Ö. 2004. Otomobillerde ısı konfor parametrelerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Mehnert, P., Malchaire, J., Kampmann, B., Piette, A., Griefahn, B., Gebhardt, H. 2000. Prediction of the average skin temperature in warm and hot environments. *European Journal of Applied Physiology*, 82: 52-60.

Mccullough, E.A., Jones, B.W., Tamura, T. 1989. A Database for Determining the Evaporative Resistance of Clothing. *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316 – 328.

Mcquiston, F.C., Parker, J.D., Spitler, J.D. 2005. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design. 6th Edition, John Wiley & Sons, New York, 623.

Montgomery, D.C. 2001. Design and analysis of experiments, 5th Edition. John Wiley, Wiley & Sons, New York, 684.

Nicholas, J.V., White, D.R. 2001. Traceable temperatures, An Introduction to Temperature measurement and Calibration. John Wiley, Wiley & Sons, New York, 421 pp.

Olesen, B.W., Hasebe, Y., de Dear, R.J. 1988. Clothing insulation asymmetry and thermal comfort. ASHRAE Transactions, 94(1): 32 – 51.

Onaygil, S. 2008. Dış Aydınlatma. İ.T.Ü, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Ders Notları, İstanbul.

Özbay, A. İç Aydınlatma Tesisatı. Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, Ders Notları, 96, Gaziantep.

Sakoi, T., Tsuzuki, K., Kato, S., Ooka, R., Song, D., Zhu, S. 2007. Thermal comfort, skin temperature distribution, and sensible heat loss distribution in the sitting posture in various asymmetric radiant fields. Building and Environment, 42(12): 3984 – 3999.

Salloum, M., Ghaddar, N., Ghali, K. 2007. A new transient bioheat model of the human body and its integration to clothing models. International Journal of Thermal Sciences, 46(4): 371–384.

Şanyılmaz, M. 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde yöntemi ile bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M. 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu, İTÜ Mühendislik Dergisi, 3(6): 117-128.

Şeker, M. 2013. Fren balatalarının üretim şartları ve içeriğinin, performansa etkisinin Taguchi yöntemiyle araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

Sezgin, G. 2011. Mağaza aydınlatma tasarımının analizi: müşteri karakteristiklerine bağlı içsel tepkiler. *Yüksek Lisans Tezi*, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Bölümü, Ankara.

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., Kobayashi, K., Nakano, J., Ozeki, Y., Konishi, M. 2002. Evaluation of Thermal Comfort Using Combined Multi – node Thermoregulation (65 MN) and Radiation Models and Computational Fluid Dynamics (CFD). Energy and Buildings, 34(6): 637 – 646.

Taş, Y. 2013. Aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği ve dış aydınlatma kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel sistemler ve ulaştırma yönetimi, İstanbul.

Todde, V. 2000. Perception and Sensitivity to Horizontal Turbulent Air Flows at the Head Region. *Indoor Air*, 10(4): 297 – 305.

Tutar, M., Aydin, H., Yuce, C., Yavuz, N., Bayram, A. 2014. The optimisation of process parameters for friction stir spot-welded AA3003-H12 aluminium alloy using a Taguchi orthogonal array. *Materials and Design*, 63 (): 789-797.

Ünver, R. 2000. Renk Görünüm Dizgeleri. 3. Ulusal Aydınlatma Kongresi,2000, İstanbul.

Vignola, F., Michalsky, J., Stoffel, T. 2012. Solar and Infrared Radiation measurements, 1th Edition. CRC press, London, 410.

Wan, X., Fan, J. 2008. A transient thermal model of the human body–clothing–environment system. *Journal of Thermal Biology*, 33(2): 87– 97.

Watanabe, S., Horikoshi, T., Ishii, J., Tomita, A. 2013. The measurement of the solar absorptance of the clothed human body-The case of Japanese, college-aged male subjects. *Building and Environment*, 59: 492 – 500.

Yang, W. H., Tarng, Y. S. 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1-3), 122-129.

Yi, L., Fengzhi, L., Yingxi, L., Zhongxuan, L. 2004. An Integrated Model for Simulating Interactive Thermal Processes Human – Clothing System. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8): 567 – 575.

Yıldırım, S. 2011. Ürün Tasarımı gerçekleştirilmesi: Taguchi Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Yılmaz, İ. 2002. Renk sistemleri, renk uzayları ve dönüşümler. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, Konya.

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

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

Yiğit, A., Kılıç, M. 2014. Isı Transferi, 5.Baskı. Alfa Aktüel, Bursa, 508.

Zolfaghari, A., Maerefat M. 2010. A new simplified model for evaluating non-uniform thermal sensation caused by wearing clothing. *Building and Environment*, 45(3): 776– 783.

EKLER

EK 1 KUMAŞ TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK ISIL ve BUHARLAŞMA DİRENÇLERİ

EK 2 SİMÜLASYON PROGRAMI

EK 1 KUMAŞ TÜRLERİNE BAĞLI OLARAK ISIL ve BUHARLAŞMA DİRENÇLERİ

Kumaş Tanımı	Kalınlık (mm)	Isıl Direnç (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 (m²°C/W)	Buharlaşma 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

EK 2 SİMÜLASYON PROGRAMI

```
%N=C+R
%NRES=CRES+ERES
TA=24;
TR=24;
V=0.2;
W=0;
RH=0.50;
Qisnim=[25 25 16 16 16 16 18 80 12 12 14 14 40 40 50 50];
if V<= 0.15
    hc=4 ;
else 0.15<V< 1.5
    hc=14.8*V^0.69 ;
end
k=24;
t=1.3;
LR=16.5;
a=0.0334;
b=15;
rt1=1/(hc+4.9)+1/(4.9+(k/t))+0.036;
rt2=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt3=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt4=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt5=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt6=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt7=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+1/(4.9+k/t)+0.036+0.026;
rt8=1/(hc+4.9);
rt9=1/(hc+4.9);
rt10=1/(hc+4.9);
rt11=1/(hc+4.9);
rt12=1/(hc+4.9);
rt13=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt14=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt15=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt16=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
ret1=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret2=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret3=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret4=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret5=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret6=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret7=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+a*(1-exp(-t/b))+0.0040+0.0041;
ret8=1/(hc*LR);
ret9=1/(hc*LR);
ret10=1/(hc*LR);
ret11=1/(hc*LR);
```

```

ret12=1/(hc*LR);
ret13=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret14=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret15=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret16=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
TSK=[32.5 32.5 32 32 32.4 32.4 32.9 33.23 32.6 32.6 32.23 32.23 32 32 32.2 31.67];
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];
hr=4.9;
MACT=70;
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];
AG=[0.480 0.480 3.343 3.343 7.013 7.013 17.57 4.020 0.335 0.335 1.373 1.373 2.163
2.163 12.40 11.03];
RT=[rt1 rt2 rt3 rt4 rt5 rt6 rt7 rt8 rt9 rt10 rt11 rt12 rt13 rt14 rt15 rt16];
RET=[ret1 ret2 ret3 ret4 ret5 ret6 ret7 ret8 ret9 ret10 ret11 ret12 ret13 ret14 ret15
ret16];
TCRM=35.94;
TSKM=32.35;
TBM=35.4;
for i=0:2700
if TCRM<=35.94
    WSIGCR=0;
    else
    WSIGCR=TCRM-35.94;
end
if TCRM<35.94
    CSIGCR=35.94-TCRM;
    else
    CSIGCR=0;
end
if TSKM<=32.35
    WSIGSK=0;
    else
    WSIGSK=TSKM-32.35;
end
if TSKM<32.35
    CSIGSK=32.35-TSKM;
    else
    CSIGSK=0;
end
MBL=((6.3+200*WSIGCR)/(1+0.5*CSIGSK))/3600;
if MBL<0.00014
    MBL=0.000141
end
if MBL>=0.025
    MBL=0.0249
end
if TBM<=35.4

```

```

    WSIGB=0;
    else
        WSIGB=TBM-35.4;
    end
    ALFA=(0.0418+0.745/(3600*MBL+ 0.585));
    QCRSK=(5.28+ 4187*MBL).*(TCR-TSK);
    TO=(hr*TR+hc*TA)/(hr+hc);
    N=(TSK-TO)./RT;
    MRSW= 0.000047*WSIGB*exp(WSIGSK/10.7);
    ERSW=MRSW*2430000;
    PSK=(exp(18.956-4030.18./(TSK+235)))/10;
    PA=RH*(exp(18.956-4030.18/(TA+235)))/10;
    EMAX=(PSK-PA)./RET;
    w=0.06+0.94.*ERSW./EMAX;
    for c=1:16
        if w(c)>=1
            w(c)=1;
        end
        wd(i+1,:)=w;
    end
    WRSW=ERSW./EMAX;
    for d=1:16
        if WRSW(d)>=1
            WRSW(d)=1;
        end
    end
    EDIF=(1-WRSW).*0.06.*EMAX;
    ESK=ERSW+EDIF;
    esk(i+1,:)=ERSW+EDIF;
    if i>900
        SSK=QCRSK+Qisinim-(N+ESK);
    else
        SSK=QCRSK-(N+ESK);
    end
    MSHIV=19.4*(CSIGSK*CSIGCR);
    M=MACT+MSHIV;
    NRES=0.0014*M*(34-TA)+0.0173*M*(5.87-PA);
    SCR=M-W-(NRES)-QCRSK;
    DTCR=(SCR.*ALAN)./((1-ALFA).*AG*3490);
    DTSK=(SSK.*ALAN)./(ALFA.*AG*3490);
    TSK(1)=TSK(1)+DTSK(1);
    TSK(2)=TSK(2)+DTSK(2);
    TSK(3)=TSK(3)+DTSK(3);
    TSK(4)=TSK(4)+DTSK(4);
    TSK(5)=TSK(5)+DTSK(5);
    TSK(6)=TSK(6)+DTSK(6);
    TSK(7)=TSK(7)+DTSK(7);
    TSK(8)=TSK(8)+DTSK(8);

```

```

TSK(9)=TSK(9)+DTSK(9);
TSK(10)=TSK(10)+DTSK(10);
TSK(11)=TSK(11)+DTSK(11);
TSK(12)=TSK(12)+DTSK(12);
TSK(13)=TSK(13)+DTSK(13);
TSK(14)=TSK(14)+DTSK(14);
TSK(15)=TSK(15)+DTSK(15);
TSK(16)=TSK(16)+DTSK(16);
TCR(1)=TCR(1)+DTCR(1);
TCR(2)=TCR(2)+DTCR(2);
TCR(3)=TCR(3)+DTCR(3);
TCR(4)=TCR(4)+DTCR(4);
TCR(5)=TCR(5)+DTCR(5);
TCR(6)=TCR(6)+DTCR(6);
TCR(7)=TCR(7)+DTCR(7);
TCR(8)=TCR(8)+DTCR(8);
TCR(9)=TCR(9)+DTCR(9);
TCR(10)=TCR(10)+DTCR(10);
TCR(11)=TCR(11)+DTCR(11);
TCR(12)=TCR(12)+DTCR(12);
TCR(13)=TCR(13)+DTCR(13);
TCR(14)=TCR(14)+DTCR(14);
TCR(15)=TCR(15)+DTCR(15);
TCR(16)=TCR(16)+DTCR(16);
TCRM=(TCR(1)*ALAN(1)+TCR(2)*ALAN(2)+TCR(3)*ALAN(3)+TCR(4)*ALAN(4)
)+TCR(5)*ALAN(5)+TCR(6)*ALAN(6)+TCR(7)*ALAN(7)+TCR(8)*ALAN(8)+TCR
(9)*ALAN(9)+TCR(10)*ALAN(10)+TCR(11)*ALAN(11)+TCR(12)*ALAN(12)+TC
R(13)*ALAN(13)+TCR(14)*ALAN(14)+TCR(15)*ALAN(15)+TCR(16)*ALAN(16))/
1.87;
TSKM=(TSK(1)*ALAN(1)+TSK(2)*ALAN(2)+TSK(3)*ALAN(3)+TSK(4)*ALAN(4)
+TSK(5)*ALAN(5)+TSK(6)*ALAN(6)+TSK(7)*ALAN(7)+TSK(8)*ALAN(8)+TSK(
9)*ALAN(9)+TSK(10)*ALAN(10)+TSK(11)*ALAN(11)+TSK(12)*ALAN(12)+TSK(
13)*ALAN(13)+TSK(14)*ALAN(14)+TSK(15)*ALAN(15)+TSK(16)*ALAN(16))/1.8
7;
TBM=ALFA*TSKM+(1-ALFA)*TCRM;
end

%N=C+R
%NRES=CRES+ERES
TA=24;
TR=24;
V=0.2;
W=0;
RH=0.50;
Qisinim=[12 12 8 8 8 8 10 50 4 4 6 6 15 15 25 25];
if V<= 0.15
    hc=4 ;
else 0.15<V< 1.5

```

```

hc=14.8*V^0.69 ;
end
k=24;
t=1.3;
LR=16.5;
a=0.0334;
b=15;
rt1=1/(hc+4.9)+1/(4.9+(k/t))+0.036;
rt2=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt3=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt4=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt5=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt6=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt7=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+1/(4.9+k/t)+0.036+0.026;
rt8=1/(hc+4.9);
rt9=1/(hc+4.9);
rt10=1/(hc+4.9);
rt11=1/(hc+4.9);
rt12=1/(hc+4.9);
rt13=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt14=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt15=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt16=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
ret1=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret2=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret3=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret4=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret5=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret6=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret7=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+a*(1-exp(-t/b))+0.0040+0.0041;
ret8=1/(hc*LR);
ret9=1/(hc*LR);
ret10=1/(hc*LR);
ret11=1/(hc*LR);
ret12=1/(hc*LR);
ret13=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret14=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret15=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret16=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
TSK=[33.9 33.9 33.4 33.4 33.8 33.8 33.4 34.13 33.8 33.8 32.4 32.4 33.4 33.4 33.6
32.97];
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];
hr=4.9;
MACT=70;
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];
AG=[0.480 0.480 3.343 3.343 7.013 7.013 17.57 4.020 0.335 0.335 1.373 1.373 2.163
2.163 12.40 11.03];

```

```

RT=[rt1 rt2 rt3 rt4 rt5 rt6 rt7 rt8 rt9 rt10 rt11 rt12 rt13 rt14 rt15 rt16];
RET=[ret1 ret2 ret3 ret4 ret5 ret6 ret7 ret8 ret9 ret10 ret11 ret12 ret13 ret14 ret15
ret16];
TCRM=35.94;
TSKM=33.51;
TBM=35.58;
for i=0:2700
if TCRM<=35.94
    WSIGCR=0;
    else
    WSIGCR=TCRM-35.94;
end
    if TCRM<35.94
    CSIGCR=35.94-TCRM;
    else
    CSIGCR=0;
    end
    if TSKM<=33.51
    WSIGSK=0;
    else
    WSIGSK=TSKM-33.51;
    end
    if TSKM<33.51
    CSIGSK=33.51-TSKM;
    else
    CSIGSK=0;
    end
MBL=((6.3+200*WSIGCR)/(1+0.5*CSIGSK))/3600;
if MBL<0.00014
    MBL=0.000141
end
if MBL>=0.025
    MBL=0.0249
end
if TBM<=35.58
    WSIGB=0;
    else
    WSIGB=TBM-35.58;
end
ALFA=(0.0418+0.745/(3600*MBL+ 0.585));
QCRSK=(5.28+ 4187*MBL).*(TCR-TSK);
TO=(hr*TR+hc*TA)/(hr+hc);
N=(TSK-TO)/RT;
MRSW= 0.000047*WSIGB*exp(WSIGSK/10.7);
ERSW=MRSW*2430000;

PSK=(exp(18.956-4030.18./(TSK+235)))/10;
PA=RH*(exp(18.956-4030.18/(TA+235)))/10;

```



```

EMAX=(PSK-PA)/RET;
w=0.06+0.94.*ERSW./EMAX;
for c=1:16
if w(c)>=1
    w(c)=1;
end
end
WRSW=ERSW./EMAX;
for d=1:16
if WRSW(d)>=1
    WRSW(d)=1;
end
end
EDIF=(1-WRSW).*0.06.*EMAX;
ESK=ERSW+EDIF;
if i>900
SSK=QCRSK+Qisinim-(N+ESK);
else
SSK=QCRSK-(N+ESK);
end
MSHIV=19.4*(CSIGSK*CSIGCR);
M=MACT+MSHIV;
NRES=0.0014*M*(34-TA)+0.0173*M*(5.87-PA);
SCR=M-W-(NRES)-QCRSK;
DTCR=(SCR.*ALAN)./((1-ALFA).*AG*3490);
DTSK=(SSK.*ALAN)./(ALFA.*AG*3490);
TSK(1)=TSK(1)+DTSK(1);
TSK(2)=TSK(2)+DTSK(2);
TSK(3)=TSK(3)+DTSK(3);
TSK(4)=TSK(4)+DTSK(4);
TSK(5)=TSK(5)+DTSK(5);
TSK(6)=TSK(6)+DTSK(6);
TSK(7)=TSK(7)+DTSK(7);
TSK(8)=TSK(8)+DTSK(8);
TSK(9)=TSK(9)+DTSK(9);
TSK(10)=TSK(10)+DTSK(10);
TSK(11)=TSK(11)+DTSK(11);
TSK(12)=TSK(12)+DTSK(12);
TSK(13)=TSK(13)+DTSK(13);
TSK(14)=TSK(14)+DTSK(14);
TSK(15)=TSK(15)+DTSK(15);
TSK(16)=TSK(16)+DTSK(16);
TCR(1)=TCR(1)+DTCR(1);
TCR(2)=TCR(2)+DTCR(2);
TCR(3)=TCR(3)+DTCR(3);
TCR(4)=TCR(4)+DTCR(4);
TCR(5)=TCR(5)+DTCR(5);
TCR(6)=TCR(6)+DTCR(6);

```

```

TCR(7)=TCR(7)+DTCR(7);
TCR(8)=TCR(8)+DTCR(8);
TCR(9)=TCR(9)+DTCR(9);
TCR(10)=TCR(10)+DTCR(10);
TCR(11)=TCR(11)+DTCR(11);
TCR(12)=TCR(12)+DTCR(12);
TCR(13)=TCR(13)+DTCR(13);
TCR(14)=TCR(14)+DTCR(14);
TCR(15)=TCR(15)+DTCR(15);
TCR(16)=TCR(16)+DTCR(16);
TCRM=(TCR(1)*ALAN(1)+TCR(2)*ALAN(2)+TCR(3)*ALAN(3)+TCR(4)*ALAN(4)
)+TCR(5)*ALAN(5)+TCR(6)*ALAN(6)+TCR(7)*ALAN(7)+TCR(8)*ALAN(8)+TCR
(9)*ALAN(9)+TCR(10)*ALAN(10)+TCR(11)*ALAN(11)+TCR(12)*ALAN(12)+TC
R(13)*ALAN(13)+TCR(14)*ALAN(14)+TCR(15)*ALAN(15)+TCR(16)*ALAN(16))/
1.87;
TSKM=(TSK(1)*ALAN(1)+TSK(2)*ALAN(2)+TSK(3)*ALAN(3)+TSK(4)*ALAN(4)
+TSK(5)*ALAN(5)+TSK(6)*ALAN(6)+TSK(7)*ALAN(7)+TSK(8)*ALAN(8)+TSK(
9)*ALAN(9)+TSK(10)*ALAN(10)+TSK(11)*ALAN(11)+TSK(12)*ALAN(12)+TSK(
13)*ALAN(13)+TSK(14)*ALAN(14)+TSK(15)*ALAN(15)+TSK(16)*ALAN(16))/1.8
7;
TBM=ALFA*TSKM+(1-ALFA)*TCRM;
end

```

```

%N=C+R
%NRES=CRES+ERES
TA=20;
TR=20;
W=0;
RH=0.50;
Qisinim=[25 25 16 16 16 16 18 80 12 12 14 14 40 40 50 50];
hc=5.7*(0.352)^0.39
k=24;
t=1.3;
LR=16.5;
a=0.0334;
b=15;
rt1=1/(hc+4.9)+1/(4.9+(k/t))+0.036;
rt2=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt3=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt4=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt5=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt6=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt7=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+1/(4.9+k/t)+0.036+0.026;
rt8=1/(hc+4.9);
rt9=1/(hc+4.9);
rt10=1/(hc+4.9);
rt11=1/(hc+4.9);
rt12=1/(hc+4.9);

```

```

rt13=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt14=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt15=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt16=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
ret1=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret2=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret3=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret4=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret5=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret6=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret7=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+a*(1-exp(-t/b))+0.0040+0.0041;
ret8=1/(hc*LR);
ret9=1/(hc*LR);
ret10=1/(hc*LR);
ret11=1/(hc*LR);
ret12=1/(hc*LR);
ret13=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret14=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret15=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret16=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
TSK=[32.9 32.9 32.4 32.4 32.8 32.8 32.7 33.15 32.9 32.9 31.93 31.93 32.4 32.4 32.5
32.70];
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];
hr=4.9;
MACT=70;
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];
AG=[0.480 0.480 3.343 3.343 7.013 7.013 17.57 4.020 0.335 0.335 1.373 1.373 2.163
2.163 12.40 11.03];
RT=[rt1 rt2 rt3 rt4 rt5 rt6 rt7 rt8 rt9 rt10 rt11 rt12 rt13 rt14 rt15 rt16];
RET=[ret1 ret2 ret3 ret4 ret5 ret6 ret7 ret8 ret9 ret10 ret11 ret12 ret13 ret14 ret15
ret16];
TCRM=35.94;
TSKM=32.64;
TBM=35.44;
for i=0:2700
if TCRM<=35.94
    WSIGCR=0;
    else
    WSIGCR=TCRM-35.94;
end
if TCRM<35.94
    CSIGCR=35.94-TCRM;
    else
    CSIGCR=0;
end
if TSKM<=32.64
    WSIGSK=0;

```

```

else
WSIGSK=TSKM-32.64;
end
if TSKM<32.64
CSIGSK=32.64-TSKM;
else
CSIGSK=0;
end
MBL=((6.3+200*WSIGCR)/(1+0.5*CSIGSK))/3600;
if MBL<0.00014
MBL=0.000141
end
if MBL>=0.025
MBL=0.0249
end
if TBM<=35.44
WSIGB=0;
else
WSIGB=TBM-35.44;
end
ALFA=(0.0418+0.745/(3600*MBL+ 0.585));
QCRSK=(5.28+ 4187*MBL).*(TCR-TSK);
if i>900
TA=TA+0.00313
TR=TR+0.00313
end
TO=(hr*TR+hc*TA)/(hr+hc);
N=(TSK-TO)/RT;
MRSW= 0.000047*WSIGB*exp(WSIGSK/10.7);
ERSW=MRSW*2430000;
PSK=(exp(18.956-4030.18./(TSK+235)))/10;
PA=RH*(exp(18.956-4030.18/(TA+235)))/10;
EMAX=(PSK-PA)/RET;
w=0.06+0.94.*ERSW./EMAX;
for c=1:16
if w(c)>=1
w(c)=1;
end
end
WRSW=ERSW./EMAX
for d=1:16
if WRSW(d)>=1
WRSW(d)=1;
end
end
EDIF=(1-WRSW).*0.06.*EMAX;
ESK=ERSW+EDIF;
if i>900

```

```

SSK=QCRSK+Qisinim-(N+ESK);
else
SSK=QCRSK-(N+ESK);
end
MSHIV=19.4*(CSIGSK*CSIGCR);
M=MACT+MSHIV;
NRES=0.0014*M*(34-TA)+0.0173*M*(5.87-PA);
SCR=M-W-(NRES)-QCRSK;
DTCR=(SCR.*ALAN)./((1-ALFA).*AG*3490);
DTSK=(SSK.*ALAN)./(ALFA.*AG*3490);
TSK(1)=TSK(1)+DTSK(1);
TSK(2)=TSK(2)+DTSK(2);
TSK(3)=TSK(3)+DTSK(3);
TSK(4)=TSK(4)+DTSK(4);
TSK(5)=TSK(5)+DTSK(5);
TSK(6)=TSK(6)+DTSK(6);
TSK(7)=TSK(7)+DTSK(7);
TSK(8)=TSK(8)+DTSK(8);
TSK(9)=TSK(9)+DTSK(9);
TSK(10)=TSK(10)+DTSK(10);
TSK(11)=TSK(11)+DTSK(11);
TSK(12)=TSK(12)+DTSK(12);
TSK(13)=TSK(13)+DTSK(13);
TSK(14)=TSK(14)+DTSK(14);
TSK(15)=TSK(15)+DTSK(15);
TSK(16)=TSK(16)+DTSK(16);
TCR(1)=TCR(1)+DTCR(1);
TCR(2)=TCR(2)+DTCR(2);
TCR(3)=TCR(3)+DTCR(3);
TCR(4)=TCR(4)+DTCR(4);
TCR(5)=TCR(5)+DTCR(5);
TCR(6)=TCR(6)+DTCR(6);
TCR(7)=TCR(7)+DTCR(7);
TCR(8)=TCR(8)+DTCR(8);
TCR(9)=TCR(9)+DTCR(9);
TCR(10)=TCR(10)+DTCR(10);
TCR(11)=TCR(11)+DTCR(11);
TCR(12)=TCR(12)+DTCR(12);
TCR(13)=TCR(13)+DTCR(13);
TCR(14)=TCR(14)+DTCR(14);
TCR(15)=TCR(15)+DTCR(15);
TCR(16)=TCR(16)+DTCR(16);
TCRM=(TCR(1)*ALAN(1)+TCR(2)*ALAN(2)+TCR(3)*ALAN(3)+TCR(4)*ALAN(4)
)+TCR(5)*ALAN(5)+TCR(6)*ALAN(6)+TCR(7)*ALAN(7)+TCR(8)*ALAN(8)+TCR
(9)*ALAN(9)+TCR(10)*ALAN(10)+TCR(11)*ALAN(11)+TCR(12)*ALAN(12)+TC
R(13)*ALAN(13)+TCR(14)*ALAN(14)+TCR(15)*ALAN(15)+TCR(16)*ALAN(16))/
1.87;

```

```

TSKM=(TSK(1)*ALAN(1)+TSK(2)*ALAN(2)+TSK(3)*ALAN(3)+TSK(4)*ALAN(4)
+TSK(5)*ALAN(5)+TSK(6)*ALAN(6)+TSK(7)*ALAN(7)+TSK(8)*ALAN(8)+TSK(
9)*ALAN(9)+TSK(10)*ALAN(10)+TSK(11)*ALAN(11)+TSK(12)*ALAN(12)+TSK(
13)*ALAN(13)+TSK(14)*ALAN(14)+TSK(15)*ALAN(15)+TSK(16)*ALAN(16))/1.8
7;
TBM=ALFA*TSKM+(1-ALFA)*TCRM;
end

%N=C+R
%NRES=CRES+ERES
TA=20;
TR=20;
W=0;
RH=0.50;
Qisinim=[12 12 8 8 8 8 10 50 4 4 6 6 15 15 25 25];
hc=5.7*(0.352)^0.39
k=24;
t=1.3;
LR=16.5;
a=0.0334;
b=15;
rt1=1/(hc+4.9)+1/(4.9+(k/t))+0.036;
rt2=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt3=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt4=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt5=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt6=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.026;
rt7=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+1/(4.9+k/t)+0.036+0.026;
rt8=1/(hc+4.9);
rt9=1/(hc+4.9);
rt10=1/(hc+4.9);
rt11=1/(hc+4.9);
rt12=1/(hc+4.9);
rt13=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt14=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt15=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
rt16=1/(hc+4.9)+1/(4.9+k/t)+0.036;
ret1=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret2=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret3=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret4=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret5=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret6=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0041;
ret7=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+a*(1-exp(-t/b))+0.0040+0.0041;
ret8=1/(hc*LR);
ret9=1/(hc*LR);
ret10=1/(hc*LR);
ret11=1/(hc*LR);

```

```

ret12=1/(hc*LR);
ret13=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret14=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret15=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
ret16=1/(hc*LR)+a*(1-exp(-t/b))+0.0040;
TSK=[32.8 32.8 33.2 33.2 32.9 32.9 32.8 33.16 32.9 32.9 32.3 32.3 32.5 32.5 32.6
32.22];
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];
hr=4.9;
MACT=70;
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];
AG=[0.480 0.480 3.343 3.343 7.013 7.013 17.57 4.020 0.335 0.335 1.373 1.373 2.163
2.163 12.40 11.03];
RT=[rt1 rt2 rt3 rt4 rt5 rt6 rt7 rt8 rt9 rt10 rt11 rt12 rt13 rt14 rt15 rt16];
RET=[ret1 ret2 ret3 ret4 ret5 ret6 ret7 ret8 ret9 ret10 ret11 ret12 ret13 ret14 ret15
ret16];
TCRM=35.94;
TSKM=32.77;
TBM=35.46;
for i=0:2700
if TCRM<=35.94
    WSIGCR=0;
    else
    WSIGCR=TCRM-35.94;
end
if TCRM<35.94
    CSIGCR=35.94-TCRM;
    else
    CSIGCR=0;
end
if TSKM<=32.77
    WSIGSK=0;
    else
    WSIGSK=TSKM-32.77;
end
if TSKM<32.77
    CSIGSK=32.77-TSKM;
    else
    CSIGSK=0;
end
end
MBL=((6.3+200*WSIGCR)/(1+0.5*CSIGSK))/3600;
if MBL<0.00014
    MBL=0.000141
end
if MBL>=0.025
    MBL=0.0249
end
end

```

```

if TBM<=35.46
  WSIGB=0;
else
  WSIGB=TBM-35.46;
end
ALFA=(0.0418+0.745/(3600*MBL+ 0.585));
QCRSK=(5.28+ 4187*MBL).*(TCR-TSK);
if i>900
  TA=TA+0.0021;
  TR=TR+0.0021;
end
TO=(hr*TR+hc*TA)/(hr+hc);
N=(TSK-TO)/RT;
MRSW= 0.000047*WSIGB*exp(WSIGSK/10.7);
ERSW=MRSW*2430000;
PSK=(exp(18.956-4030.18/(TSK+235)))/10;
PA=RH*(exp(18.956-4030.18/(TA+235)))/10;
EMAX=(PSK-PA)/RET;
w=0.06+0.94.*ERSW./EMAX;
for c=1:16
  if w(c)>=1
    w(c)=1;
  end
end
WRSW=ERSW./EMAX
for d=1:16
  if WRSW(d)>=1
    WRSW(d)=1;
  end
end
EDIF=(1-WRSW).*0.06.*EMAX;
ESK=ERSW+EDIF;
if i>900
SSK=QCRSK+Qisinim-(N+ESK);
else
SSK=QCRSK-(N+ESK);
end
MSHIV=19.4*(CSIGSK*CSIGCR);
M=MACT+MSHIV;
NRES=0.0014*M*(34-TA)+0.0173*M*(5.87-PA);
SCR=M-W-(NRES)-QCRSK;
DTCR=(SCR.*ALAN)./((1-ALFA).*AG*3490);
DTSK=(SSK.*ALAN)./(ALFA.*AG*3490);
TSK(1)=TSK(1)+DTSK(1);
TSK(2)=TSK(2)+DTSK(2);
TSK(3)=TSK(3)+DTSK(3);
TSK(4)=TSK(4)+DTSK(4);
TSK(5)=TSK(5)+DTSK(5);

```



```

TSK(6)=TSK(6)+DTSK(6);
TSK(7)=TSK(7)+DTSK(7);
TSK(8)=TSK(8)+DTSK(8);
TSK(9)=TSK(9)+DTSK(9);
TSK(10)=TSK(10)+DTSK(10);
TSK(11)=TSK(11)+DTSK(11);
TSK(12)=TSK(12)+DTSK(12);
TSK(13)=TSK(13)+DTSK(13);
TSK(14)=TSK(14)+DTSK(14);
TSK(15)=TSK(15)+DTSK(15);
TSK(16)=TSK(16)+DTSK(16);
TCR(1)=TCR(1)+DTCR(1);
TCR(2)=TCR(2)+DTCR(2);
TCR(3)=TCR(3)+DTCR(3);
TCR(4)=TCR(4)+DTCR(4);
TCR(5)=TCR(5)+DTCR(5);
TCR(6)=TCR(6)+DTCR(6);
TCR(7)=TCR(7)+DTCR(7);
TCR(8)=TCR(8)+DTCR(8);
TCR(9)=TCR(9)+DTCR(9);
TCR(10)=TCR(10)+DTCR(10);
TCR(11)=TCR(11)+DTCR(11);
TCR(12)=TCR(12)+DTCR(12);
TCR(13)=TCR(13)+DTCR(13);
TCR(14)=TCR(14)+DTCR(14);
TCR(15)=TCR(15)+DTCR(15);
TCR(16)=TCR(16)+DTCR(16);
TCRM=(TCR(1)*ALAN(1)+TCR(2)*ALAN(2)+TCR(3)*ALAN(3)+TCR(4)*ALAN(4)
)+TCR(5)*ALAN(5)+TCR(6)*ALAN(6)+TCR(7)*ALAN(7)+TCR(8)*ALAN(8)+TCR
(9)*ALAN(9)+TCR(10)*ALAN(10)+TCR(11)*ALAN(11)+TCR(12)*ALAN(12)+TC
R(13)*ALAN(13)+TCR(14)*ALAN(14)+TCR(15)*ALAN(15)+TCR(16)*ALAN(16))/
1.87;
TSKM=(TSK(1)*ALAN(1)+TSK(2)*ALAN(2)+TSK(3)*ALAN(3)+TSK(4)*ALAN(4)
+TSK(5)*ALAN(5)+TSK(6)*ALAN(6)+TSK(7)*ALAN(7)+TSK(8)*ALAN(8)+TSK(
9)*ALAN(9)+TSK(10)*ALAN(10)+TSK(11)*ALAN(11)+TSK(12)*ALAN(12)+TSK(
13)*ALAN(13)+TSK(14)*ALAN(14)+TSK(15)*ALAN(15)+TSK(16)*ALAN(16))/1.8
7;
TBM=ALFA*TSKM+(1-ALFA)*TCRM;
end

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Nurullah Arslanoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Belçika-1983

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Bursa Erkek Lisesi, 1998-2001

Lisans: UÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2002-2006

Yüksek Lisans: UÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2007-2009

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

UÜ, Makine Mühendisliği Bölümü (Arş. Gör.), 2008-...

İletişim (e-posta): narslanoglu@uludag.edu.tr

Yayınları:

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2011. The effect of different indoor air velocities and temperatures on thermal comfort. ISI Bilimi ve Tekniği Dergisi-Journal of Thermal Science and Technology, 31(2): 95–100.

Türköz, N., Erkus, B., Karamangil, M.İ., Sürmen, A., Arslanoğlu, N. 2014. Experimental investigation of the effect of E85 on engine performance and emissions under various ignition timings. Fuel, 115: 826-832.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2010. İklimlendirme Sistemlerinin Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi. TTMD IX.Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 3-5 Mayıs 2010, İstanbul.

Türköz, N., Erkus, B., Karamangil, M.İ., Sürmen, A., Arslanoğlu, N. 2012. Experimental investigation of performance investigation of performance and emission improvement by altering ignition timing with use of E85 etanol blend in an SI engine . 12. Uluslararası yanma sempozyumu, 24-26 Mayıs 2012, Kocaeli.

Kaynaklı, O., Arslanoglu, N., Yamankaradeniz, R., Yamankaradeniz, N. 2013. A computer based analysis of single-stage vapor absorption refrigeration system. The Sixth International Exergy, Energy and Environment Symposium, 1-4 Temmuz 2013, Rize.

Arslanođlu, N., Yiđit, A. 2014. Ani sıcaklık dűşümü ve hız artışlarının insan ısı konforu ve deri yüzey sıcaklıklarına etkilerinin deneysel incelenmesi. TTMD XI.Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 8-10 Mayıs 2014, İstanbul.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2010. Konvansiyonel soğutma sistemi ile jeotermal enerji kaynaklı absorbsiyonlu soğutma sisteminin ekonomik açıdan karşılaştırılması. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 1-5 Aralık 2010, Bursa.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2011. İklimlendirme Sistemlerinde Optimum Çalışma Şartlarında Enerji Ekonomisi. Ulusal İklimlendirme Kongresi ve Fuarı- İKLİM 2011, 18-20 Kasım 2011, Antalya.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A., Atmaca, İ. 2013. Deri Islaklığının Isıl Konfor ve Deri Sıcaklığı Üzerine Etkisinin Deneysel olarak İncelenmesi', XI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir 17-20 Nisan 2013, İzmir.

Arslanoğlu, N., Yiğit, A. 2015. Mağazalarda spot lambaların insan ısı konforuna etkisinin taguchi yöntemiyle incelenmesi. XII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015. İzmir.