

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE AĞIR İŞ ORTAMLARI İÇİN ISIL
KONFOR ANALİZİ**

ŞÜKRAN ÖZBAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nadir İLTEN (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Ramazan YAMAN
Dr. Öğrt. Üyesi Tuğrul AKYOL
Dr. Öğrt. Üyesi İsmail CANER (Eş Danışman)

BALIKESİR, HAZİRAN-2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Endüstriyel Tesislerde Ağır İş Ortamları İçin Isıl Konfor Analizi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Şükran ÖZBAĞ

ÖZET

**ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE AĞIR İŞ ORTAMLARI İÇİN ISIL KONFOR
ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞÜKRAN ÖZBAĞ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. NADİR İLTEN)
(EŞ DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ İSMAİL CANER)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

Endüstriyel tesislerde çalışanların konforunu ve verimliliğini etkileyen temel konuların başında termal ortam gelmektedir. Yeni Öztürk Makine Kalıp ve San. Tic. Ltd. Şti.'nde yapılan bu çalışma, iç mekandaki çevresel faktörlerin ısı konfor ve çalışan üretkenliği üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. İç ortamlardaki ısı koşullarının değerlendirilmesinde en çok kullanılan modeller: Tahmini Ortalama Oy (PMV) ve Tahmini Memnun Olmayanların Yüzdesi (PPD)'dir. Bu çalışma, Testo-480 sensörleri kullanılarak iç mekan ısı konfor parametrelerinin toplanması ve dört mevsim boyunca anket yapılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Isı konforun çalışanlar üzerindeki etkisi Fanger modeli iç mekan ısı konfor parametrelerine (iç hava sıcaklığı, hava akım hızı, radyan sıcaklık ve bağıl nem) göre analiz edilmiştir. Çalışanların ısı algıları, iç mekan çevre faktörlerinin ısı konfor ve üretkenlik üzerinde etkili olduğunu doğrulamıştır. Endüstriyel tesislerdeki çalışanlar daha yüksek aktivite seviyelerinde ve iş kıyafetleri ile çalışmakta olduklarından, bu araştırmanın ana bulgusu: yüksek metabolizma hızına sahip çalışanlar için konforlu ortam sıcaklığının daha düşük olabileceğidir. Bu doğrultuda endüstriyel tesislerde çalışanların iş kıyafeti durumları ISO 7730 Ek C'ye göre değerlendirildiğinde, saha çalışması sonuçlarında giysi izolasyonunun optimum çalışma sıcaklığında 0,9 °C ile 2,2 °C arasında değişime neden olabileceği görülmüştür. Bu saha çalışmasının yapıldığı endüstriyel tesiste sadece ısıtma sistemi kurulu olup, yıl boyunca klimalı bir ortam bulunmamaktadır. PMV-PPD modelinin yıl boyunca şartlandırılmış ortamlarda, doğal olarak havalandırılan ortamlara göre daha iyi performans gösterebileceği değerlendirilmiştir. Endüstriyel tesis binalarına yönelik tasarım ve işletme kuralları, çalışan verimliliğini ve iç mekan çevre kalitesi parametrelerini dikkate almalıdır. Yapılan saha çalışması sonuçları endüstriyel tesislerde ağır işlerde çalışanların, aktivite seviyesi ve kıyafet durumuna bağlı olarak ısı konfor gereksinimlerinin ($-1,0 < PMV < +1,0$) olarak tanımlanabileceğini göstermiştir. Uygun olmayan ısı konfor, çalışan verimliliğini bilişsel ve fiziksel olarak olumsuz etkilemektedir. Bu sonuçlar; yapı tasarımcıları ve mekanik tasarımcılar tarafından tasarlanan endüstriyel tesislerin, çalışanların konforunu ve üretkenliğini arttıracak şekilde daha iyi tasarlanmasına yardımcı olacaktır.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji, Isı Konfor, PMV-PPD Model

Bilim Kod / Kodları : 91408, 91412

Sayfa Sayısı : 51

ABSTRACT

THERMAL COMFORT ANALYSIS FOR HEAVY MANUFACTURING ENVIRONMENTS IN INDUSTRIAL FACILITIES

MSC THESIS

ŞÜKRAN ÖZBAĞ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. NADİR İLTEN)

(CO-SUPERVISOR: ASSIST. PROF. İSMAIL CANER)

BALIKESİR, JUNE - 2024

Thermal environment is one of the main issues affecting the comfort and productivity of worker in industrial facilities. This study carried out in Yeni Öztürk Makine Kalıp ve San. Tic. Ltd. Şti. investigates the effects of indoor environmental factors on thermal comfort and worker productivity. The most commonly used models for evaluating thermal conditions in indoor environments are: Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied People (PPD). This study was carried out by collecting indoor thermal comfort parameters using Testo-180 sensors and conducting a survey throughout four seasons. The effect of thermal comfort on employees was analyzed according to Fanger model indoor thermal comfort parameters (indoor air temperature, radiant temperature, air flow rate and relative humidity). Workers' thermal perceptions confirmed that indoor environmental factors have an impact on thermal comfort and productivity. Since workers in industrial facilities work at higher activity levels with work clothes, the essential verity of this research is that the comfortable ambient temperature may be lower for workers with high metabolic rates. In this regard, when the workwear conditions of employees in industrial facilities were evaluated according to ISO 7730 Annex C, field study results showed that clothing insulation could cause a change in the optimum working temperature between 0.9 °C and 2.2 °C. In the industrial facility where this field study was conducted, only a heating system is installed and there is no air-conditioned environment throughout the year. It has been evaluated that the PMV-PPD model can perform better in year-round conditioned environments than in naturally ventilated environments. Design and operation rules for industrial facility buildings should take into account worker productivity and indoor environmental quality parameters. The results of the field study showed that the thermal comfort requirements of heavy workers in industrial facilities can be defined as $(-1.0 < PMV < +1.0)$, depending on their activity level and clothing condition. Unsuitable thermal comfort negatively affects worker productivity both cognitively and physically. These results; it will help industrial facilities designed by structural designers and mechanical designers to be better designed to increase the comfort and productivity of workers.

KEYWORDS: Energy, Thermal Comfort, PMV-PPD Model

Science Code / Codes : 91408, 91412

Page Number : 51

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 İklim Özellikleri ile Isıl Konfor İlişkisi.....	2
1.2 Literatür	3
1.3 Tezin Amacı.....	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM	11
2.1 Materyal.....	11
2.1.1 Saha Çalışması Yapılan Yeni Öztürk Kalıp Makine San.Tic.Ltd.Şti. İklim Özellikleri	11
2.1.2 Çalışma Yapılan Endüstriyel Tesisin Konumu	11
2.1.3 Saha Çalışması Yapılan Firmanın Sektörel Bilgileri.....	12
2.2. Yöntem	15
2.2.1 Isıl Konfor Değerlendirmesinde Kullanılan Model ve Bu Modele Yönelik Anket Çalışması.....	15
2.2.2 Isıl Konfor Parametreleri.....	18
2.2.3 Güvenilirlik Analizi.....	23
3. YAPILAN ÇALIŞMA	24
3.1 Analizlerin Değerlendirilmesi	24
3.1.1 Isıl Konfor Değişkenlerinin Analizi	24
3.1.2 Isıl Konforun Çalışanlar Açısından Değerlendirilmesi	26
3.1.3 Algılanan ve Ölçülen Isıl Konfor Parametreleri.....	28
3.1.4 Anket Katılımcılarının Güvenilirlik Analizi.....	30
3.1.5 Bağımsız Değişkenlerin Analizi	32
4. SONUÇLAR	42
5. KAYNAKLAR	45
EKLER	50
EK A: Araştırma Çalışmasına Yönelik Firmadan Alınan İzin Yazısı.....	50
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışmanın yol haritasına yönelik akış şeması.....	10
Şekil 2.1: Endüstriyel tesisin bulunduğu yerin uydu görünümü.....	11
Şekil 2.2: Saha çalışması yapılan endüstriyel tesisin görünümü	12
Şekil 2.3: Saha çalışması yapılan fabrikanın imalat prosesi.....	12
Şekil 2.4: Saha çalışması yapılan fabrikanın sac kalıplama pres prosesi.....	13
Şekil 2.5: Saha çalışması yapılan fabrikanın tel erezyon ve CNC işlem imalat prosesi.....	13
Şekil 2.6: Saha çalışması yapılan fabrikanın lazer kesim imalat prosesi.....	14
Şekil 2.7: Saha çalışması yapılan fabrikanın proses kontrol ofisi.....	14
Şekil 2.8: Isıl konfor değerlendirme anketi.....	16
Şekil 2.9: PPD değerinin PMV değerinin fonksiyonu olarak değişimi.....	19
Şekil 2.10: Talaşlı imalat ve tel erezyon prosesi ile Testo 480 cihazı görüntüsü.....	21
Şekil 2.11: Lazer kesim prosesi ve Testo 480 cihazı görüntüsü.....	22
Şekil 2.12: Fabrika sahasında ölçüm ve anket yapılan noktalar.....	22
Şekil 3.1: Soğutma dönemi AMV ve PMV verileri.....	26
Şekil 3.2: Isıtma dönemi AMV ve PMV verileri.....	27
Şekil 3.3: Sonbahar geçiş dönemi AMV ve PMV verileri.....	27
Şekil 3.4: İlkbahar geçiş dönemi AMV ve PMV verileri.....	27

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Bolu ili iklim özellikleri tablosu.....	11
Tablo 2.2: Anket çalışmasında kullanılan ısı algı ölçekleri.....	17
Tablo 2.3: 7 noktalı ısı duyum skalası.....	18
Tablo 2.4: ISO 7730 A, B,C ısı konfor kategorileri.....	19
Tablo 2.5: Ölçüm cihazı TESTO-480'un bilgileri.....	21
Tablo 3.1: Dönemlere göre ısı konfor parametrelerinin istatistiksel analizi.....	25
Tablo 3.2: İç ortam parametrelerinin referans değerleri.....	25
Tablo 3.3: Soğutma döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.....	28
Tablo 3.4: Isıtma döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.....	29
Tablo 3.5: Sonbahar döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.....	29
Tablo 3.6: İlkbahar döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.....	30
Tablo 3.7: Cinsiyet, aktivite seviyesi, yaş ve kıyafet durumuna göre soğutma, ısıtma ve geçiş dönemleri için Pearson Chi-Square (ki-kare) testleri.....	31
Tablo 3.8: Cinsiyet, aktivite seviyesi, yaş ve kıyafet durumunun Levene Testi ve T-Testinin tüm dönemler için karşılaştırılması.....	34
Tablo 3.9: Çalışanların ısı memnuniyetinin (AMV) dönemlere göre dağılımı.....	35
Tablo 3.10: Çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	36
Tablo 3.11: Met 2 olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	36
Tablo 3.12: Met 1,5 olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	37
Tablo 3.13: Erkek çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	37
Tablo 3.14: Kadın çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	38
Tablo 3.15: 1,2 clo kıyafeti olanların Tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	38
Tablo 3.16: 1,5 clo kıyafeti olanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	39
Tablo 3.17: Yaşı 30'a eşit veya küçük olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	39
Tablo 3.18: Yaşı 30'a eşit veya küçük olan çalışanların ısı memnuniyet (AMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	40
Tablo 3.19: Yaşı 30'dan büyük olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	40
Tablo 3.20: Yaşı 30'dan büyük olan çalışanların ısı memnuniyet (AMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.....	41

SEMBOL LİSTESİ

AMV	:Actual Mean Vote, Gerçek memnuniyet oranı
APD	:Actual Predicted of Dissatisfied, Gerçek memnuniyetsizlik yüzdesi
clo	:Kıyafet yalıtım değeri, $m^2.K/W$
Icl	:watt başına metrekare kelvin cinsinden giysi yalıtımı ($m^2.K/W$)
M	:metrekare başına watt (W/m^2) cinsinden metabolik hız
met	:Aktivite seviyesi değeri, met, W/m^2
OPT	:Optimum Operative Temperature, Operatif sıcaklık
A	:Hava hızına bağlı olan bir katsayı
PMV	:Predicted Mean Vote, Tahmini ortalama oy
PPD	:Predicted Percentage of Dissatisfied, Tahmin edilen memnuniyetsizlik yüzdesi
RH	:Bağıl nem, %
Ta	:Santigrat derece ($^{\circ}C$) cinsinden hava sıcaklığı
ta,l	:Bölgesel hava sıcaklığı, $^{\circ}C$
tcl	:Santigrat derece ($^{\circ}C$) cinsinden giysi yüzey sıcaklığı
V_{ar}	:metre/saniye (m/s) cinsinden bağıl hava hızı
fcl	:Giysi yüzey alanı faktörü.
hc	:metre kare kelvin başına watt cinsinden taşınım ile ısı transfer katsayısı [$W/(m^2.K)$]
T_r	:santigrat derece ($^{\circ}C$) cinsinden ortalama radyan sıcaklık
Tg	:Küre sıcaklığı($^{\circ}C$)

ÖNSÖZ

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

“**Endüstriyel Tesislerde Ağır İş Ortamları İçin Isıl Konfor Analizi**” konulu çalışma ile endüstriyel tesislerde ağır iş faaliyetlerinde çalışanların ısı konfor duyarlılığı; uluslararası ısı konfor standartları referans alınarak yapılan iç ortam ölçümleri ve yine bu standartlar referans alınarak uygulanan anket çalışması ile çalışanların kişisel algılarına dayanılarak incelenmiştir.

Öncelikle tez danışmanlığımı yaparak bilgilerini, emeklerini ve desteklerini esirgemeyen her daim nezaketleri ile beni yönlendiren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Nadir İLTEN’e ve Dr. Öğr. Üyesi İsmail CANER’e, tezimin saha çalışmasında fabrikasının kapılarını bana açan ve sonsuz destek veren kıymetli büyüğüm, değerli sanayici Mehmet ÖZTÜRK’e, bugünkü halime gelmemde güçlerini her daim arkamda hissettiğim aileme, hayatımı anlamlandıran oğlum Alp Arhan SADAL’a minnetlerimi sunarım.

Balıkesir, 2024

Şükran ÖZBAĞ

1. GİRİŞ

18. ve 19. yüzyıldan itibaren yapılan buluşların makineleşme ve üretime doğrudan etki ederek Endüstri Devrimi'ni ortaya çıkarması ile şehirleşme hızı giderek artmıştır. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketiminin önemli bir kısmı binaların ısıtılması ve soğutulması ile ilişkilidir. Enerji kaynaklarının sınırlılığı ve aşırı enerji kullanımının çevresel etkileri göz önüne alındığında, binalarda enerji verimliliğinin artırılması sürdürülebilir gelecek vizyonu göz önüne alındığında kalkınmanın sağlanmasında kilit rol oynamaktadır. Bina sakinlerinin ısı konforu iyi anlaşılmadan, binalarda ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji tüketimini azaltmak için uygun stratejiler oluşturmak mümkün değildir. Bunun nedeni, enerji tasarrufunun son kullanıcıların konforu ve üretkenliğinden ödün vererek olmaması gerektiğidir [1]. Teknolojinin gelişmesi ve insanların yaşam standartlarının giderek iyileşmesiyle birlikte yaşam alanlarındaki konfor giderek daha fazla önem kazanmıştır [2]. Alhorr ve arkadaşlarının araştırmasına göre [3], insanlar yaşamlarının yaklaşık %80-90'ını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Son elli yılda kitlesel sanayileşme ve kentleşme, açık hava çalışma ortamından ofis binaları veya fabrika gibi kapalı çalışma ortamına önemli bir geçişe yol açmıştır. Verimli ve elverişli bir çalışma ortamı, çalışanların performans etkinliği için hayati ve temel bir gerekliliktir [4].

Isıl konfor literatürü yirminci yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır [5]. İlk çalışmalar, iç ortam sıcaklığının insan konforu ve yapılan iş üzerindeki etkisini anlamaya yönelik durumları vurgulamaktadır [6]. ASHRAE 55 [7] ısı konforu; ısı çevreden duyulan zihinsel memnuniyet durumu olarak tanımlamaktadır. Isıl konfor tanım itibarıyla, oldukça bağımsız ve çok sayıda fiziksel, fizyolojik ve psikolojik faktöre bağımlı olan subjektif bir durumdur. Bu faktörler giyim, fiziksel aktivite, konum, duruş ve zihinsel duruma (ruh haline) göre değişmektedir [7]. 1970'lerden bu yana, insanların kapalı ortamlardaki ısı hissini tahmin etmek için çeşitli ısı konfor modelleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda araştırmacılar tarafından iki tür ısı konfor yaklaşımı yoğun olarak incelenmiş ve tartışılmıştır. En yaygın olarak kullanılanı Fanger tarafından geliştirilen ve PMV-PPD (Öngörülen Ortalama Oy -Tahmin Edilen Memnuniyetsiz Yüzdesi) modelidir [8]. Fanger'in geliştirdiği bir grup insanın ısı oylarının ortalama değerini tahmin eden (PMV) ve ısı olarak memnun olmayan insanların yüzde (PPD) endeksleri, binalardaki iç mekan ısı konforunu tahmin etmek ve değerlendirmek için dünya çapında kullanılmaktadır [9]. Fanger'e göre ısı konfor oluşturmanın temel nedeni, insanların ısı anlamında rahat hissetme isteklerini karşılamaktır. Fanger tarafından geliştirilen PMV endeksi, aynı ortama maruz kalan, aynı aktiviteyi

gerçekleştiren ve aynı giysi yalıtımına sahip bir grup insanın ortalama ısı hissinin temsil eder. PPD göstergesi ise, insanların ısı ortamından memnuniyetsizlik oranını ortaya çıkaran değerdir [8]. Klasik uyarlanabilir ısı konfor modeli, saha çalışmalarına dayanmaktadır ve PMV-PPD endeksleri kullanılarak tahmin edilen ısı duyumu ile serbest çalışan iç mekan iklimlerindeki gerçek ısı duyumu arasındaki farklılıkları, ilave insan adaptasyon faktörlerini dikkate alarak açıklamayı amaçlamaktadır. Klasik uyarlanabilir yaklaşım esas olarak iç mekan ısı konfor sıcaklığını dış hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak kuran regresyon modelidir. 1978'den bu yana, farklı bina türleri ve iklim koşulları bağlamında iç mekan ısı konfor sıcaklığı için çeşitli ampirik denklemler (regresyon modelleri) geliştirilmiştir [10]. Bu klasik uyarlanabilir yaklaşım, insanın uyum kapasitesinin anlaşılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Günümüzde PMV ve PPD endeksleri ile iç mekan ortamlarını değerlendirmek için referans ISO 7730 [11] ve ASHRAE 55 [7] standartları kullanılmaktadır. ASHRAE, ısı hissi, bina sakininin yakın çevreye ilişkin duyuşsal algısı olarak tanımlamaktadır [7]. Bir sakinin ısı tercihi, bir ortamdaki ideal ısı durumdur. Oysa ısı kabul edilebilirlik, bir sakinin ısı ortamını onaylama düzeyidir. İnsanın ısı konfora tepkisi genel olarak üç kavram kullanılarak açıklanmaktadır; ısı duyumu, ısı tercih ve ısı kabul edilebilirlik. ısı konfor ve duyumu benzerdir ancak yapıları farklıdır, yani ısı konfor öznel, ısı duyumu nesnel [12],[13]. Literatürde bir kişinin ısı konforunu etkileyen dört fiziksel parametre ve iki bireysel değişken olmak üzere altı temel faktör özetlenmektedir. Bu faktörler; hava sıcaklığı, hava akım hızı, bağıl nem, ortalama ortam sıcaklığı, giysi yalıtımı ve metabolizma hızı yani etkinlik düzeyidir [14].

1.1 İklim Özellikleri ile ısı Konfor İlişkisi

Çağlar boyunca iklim koşullarının insanlar üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. Yerleşim, ulaşım, şehirleşme, tarımsal faaliyetler, endüstriyel tesislerin kurulması gibi bir çok alanın belirlenmesinde iklim elemanları ve iklim verilerinin göz önünde bulundurulması gerekmiştir. İklim elemanları; güneşlenme, basınç, sıcaklık, rüzgar, buharlaşma gibi atmosferik özelliklerin farklı oranlarda birleşmesiyle oluşarak iklimsel koşulları meydana getirmektedir [15].

Binanın ısıtma ve soğutma yüklerini belirleyen faktörler; binanın konumu nedeniyle güneş ısı kazancı, ısı transferi, havalandırma ve iç yüklerdir. Bina kabuğunu etkileyen yükler ise,

binayı dışarıdan etkileyen dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı, nem ve rüzgâr gibi iklimsel elemanlardır. İklimsel parametreler dinamik oldukları için günün saatine ve mevsimlere göre değişmektedir [16]. Bu parametre değerleri ile diğer tasarım girdilerinin oluşturacağı teknik gereksinimlerin, proje fizibilite aşamasında değerlendirilmesi, kaynakların etkin kullanılması, dış iklimsel etkilerin kontrol edilmesi ve bina kullanıcılarının iç konfor koşullarını sağlayan çevreye duyarlı yapılar oluşturulmasına yol göstermektedir. [17].

Isıl olarak konforlu olma hissi, bina kullanıcılarının çevreyle ısıl olarak dengede olmaları yani sıcak veya soğuk hissetmemelerini tarif ettiğine göre, kullanıcıların ısıl dengelerini minimum enerji harcayarak sağlayabilmeleri önem arz etmektedir. Yapı içerisindeki ısıl çevreyi kontrol altında tutmak mümkün olup dış çevreyi kontrol altında tutmak söz konusu değildir. Bu durumda bina yapı kabuğunun dış ortamla olan ısı transferini tanzim etmek gerekmektedir [16].

1.2 Literatür

Bu bölümde ısıl konfor ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Endüstriyel tesislerde yapılan ısıl konfor çalışmaları literatürde sınırlıdır.

İnsanların günün büyük bir bölümünü kapalı mekanlarda geçirmesi nedeniyle İç Mekan Çevre Kalitesi (IEQ), konfor ve üretkenlik üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Fiziksel iç ortam IEQ'yu belirleyen; aydınlatma kalitesi (görsel konfor), akustik konfor, iç hava kalitesi, yaşam alanı düzeni ve ısıl konforu içerisine almaktadır [19]. Tüm faktörler arasında ısıl konfor, bina sakinlerinin konforu ve üretkenliği üzerinde en yüksek etkiye sahiptir [20],[21],[22]. Bir ortam kullanım için yeterli özelliklere sahip olmadığında, kötü hava kalitesi ve yerel ısıl rahatsızlık gibi olumsuz koşullar ortaya çıkmakta, bu da sağlık problemlerine ve üretkenliğin azalmasına neden olmaktadır [23]. İyi bir IEQ elde etmek, yüksek ısıl konfor standartlarına ulaşmak koşulu ile mümkündür. Isıl konfor, iç mekan çevre tasarımı ve işletiminin değerlendirilmesi için temeldir [24].

Isıl konfor “ısıl ortamdan memnuniyeti ifade eden bir ruh hali” olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım ısıl konforun subjektif bir değerlendirme olduğunu göstermektedir. Isıl konfor koşulları en yaygın yöntemi ile bir alan veya laboratuvarındaki bir grup denek üzerinde her bir denegin ısıl duyularını, tercihlerini, fiziksel ve kişisel konfor faktörlerini izleyerek gerçekleştirilen subjektif değerlendirmelere dayanmaktadır [7].

Isıl konfor yaklaşımı, bireylerin çevreleriyle nasıl etkileşimde bulunduğunu dikkate almaktadır. İç mekan sıcaklıklarını veya kabul edilebilir sıcaklık aralıklarını dış ortam sıcaklığıyla ilişkilendiren model, uyarlanabilir model olarak bilinir. Isıl konfora uyarlanabilir yaklaşım, insanların günlük yaşamdaki çalışmalarından geliştirilmiştir ve insanların termal çevreleriyle nasıl etkileşime girdiğini dikkate almaktadır [7]. Uyarlanabilir yöneme göre, eğer bir değişiklik rahatsızlığa neden oluyorsa, insanlar kendilerini daha rahat hissetmelerini sağlayacak şekilde tepki verecektir [25]. Isıl rahatsızlık insan üzerinde negatif etki yaratmakta olup verimliliği azaltmaktadır [26]. Çalışmalar, uygun bir ısı ortamının personelin ısı konforunu iyileştirebileceğini ve iş verimliliğini arttırabileceğini göstermiştir. Çeşitli ısı konfor çalışmaları, ortamdaki fiziksel ve çevresel uyaranların, bireysel farklılıklar ve kültürel konular gibi fiziksel olmayan konuların birleşik etkilerinin, bina sakinlerinin ısı duyularını ve tercihlerini etkileyebileceğini göstermiştir. Isıl kabul edilebilirliğin ısı konforu etkilediği ve bunun bireyin fizyolojik ve psikolojik adaptasyonuna dayanan insan davranışına büyük ölçüde bağlı olduğu tespit edilmiştir [27], [28]. Örneğin, Auliciems ve Parlow [29], psikolojik parametrelerin ısı duyusunun değişkenliğini açıklayabildiğini ve ısı konforun kişilik faktörlerine bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Ayrıca Schweiker ve ark. [30], ısı duyusunun kişilik özelliklerinden ve bireysel farklılıklardan önemli ölçüde etkilendiğini ve bu farklılıkların farklı davranış kalıpları oluşturduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle gerçek ortamda fiziksel olmayan parametrelerin ısı konfor hissi üzerindeki etkisinin konfor çalışmaları ile dikkate alınması gerekmektedir.

Nikolopoulou ve Steemers [31], mikroklimatik parametrelerin ısı hissi güçlü bir şekilde etkilediğini, ancak objektif ve subjektif konfor değerlendirmesi arasındaki değişimin yalnızca %50'sine katkıda bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Gerisi, önemi giderek daha fazla kabul edilen psikolojik adaptasyonun rolüdür.

Yıllar boyunca yapılan ısı konfor çalışmaları, ısı konfor durumunun iklim, coğrafi konum ve inşa edilmiş çevreden etkilendiğini göstermektedir. Bina tasarımcılarının, bina sakinleri için ısı açıdan konforlu bir iç ortam sağlamada ısı konfor standartlarını referans almaları gerekmektedir [32].

ASHRAE Standardı 55 [7] ve EN 15251 [33] gibi güncel uluslararası standartların ısı konfor tavsiyelerinin çeşitli bina tiplerine uygulanabileceği savunulmaktadır. ASHRAE RP-884 [34] standardında kullanılan uyarlanabilir konfor önerilerinin büyük oranda ofislerden elde edilen saha verilerinden oluşturulduğu göz önüne alındığında üç adaptasyon kategorisi,

adaptasyonun esnekliğini ve kapsamını belirlemektedir. a) Davranışsal adaptasyon: Deneklerin bilinçli ve bilinçsiz olarak gerçekleştirdiği ve vücudun kütlelerini ve ısı akışını değiştiren eylemler olup kişisel, teknolojik ve kültürel düzeyde çalışır. b) Fizyolojik adaptasyon: Uzun süreli maruz kalma, mevcut iklimin bina sakinlerini etkilemesi gibi hususlarda, bina sakinlerinde değişikliklere neden olup genel kapsayıcı ve alışma düzeylerinde çalışır. c) Psikolojik uyum: Kişinin önceki deneyimleri sonucunda kişinin sosyoekonomik ve kültürel çevresinden etkilenmesi durumu olup kişinin beklenti ve algı düzeyinden kaynaklanmaktadır [35, 36].

Jin ve ark. [37] sıcak ve nemli ortamlarda yüksek nem ve yüksek sıcaklığın bina sakinlerinin ısı tepkileri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, bağıl nem %70'in altında olduğunda nemin insan tepkileri üzerindeki etkisinin önemli bir etken olmadığını göstermiştir. Diğer taraftan bağıl nem %70'i aştığında nemin etkisi belirgin hale gelmekte ve sıcaklık arttıkça bu etki daha da artmaktadır.

Araştırmalar, sıcaklığın kullanıcı verimliliği açısından çok önemli olduğunu göstermektedir. Bir ofis ortamının okuma, yazma ve öğrenme etkinlikleri gibi çeşitli amaçları vardır. 18 °C'den 30 °C'ye kadar olan sıcaklıkta, bina sakinlerinin üretkenliğinde farklı tepkiler gözlemlenmiştir. Ofis ortamında konfor açısından en uygun sıcaklık aralığının 21 °C –25 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık 25 °C'nin üzerine çıkarsa, 30 °C'ye kadar her 1 °C'de üretkenlikte % 2'lik bir düşüş olduğu kaydedilmiştir [38].

Brezilyada çelik ürünleri üreten bir fabrikada yapılan ısı konfor araştırması sonucunda, incelenen ortamlarda yüksek sıcaklıkların hakim olduğunu ve bunun bireysel üretim performansına etki ederek ciddi iş kazalarına yol açabilecek sağlık sorunları oluşturabileceğini göstermektedir. Ölçümlerin %73,62'sinde çalışanların ısı algıları; hafif sıcak, sıcak ve çok sıcak düzey olarak bildirilmiştir. PMV Modeli ile uyumlu olmadığı bildirilen duyular, anketten elde edilen ısı duyumu oylamasının birleşik varyasyonlu bir ölçek altında olduğu, -3 ila +3 aralığında değerlendirilen PMV'nin ise sürekli bir varyasyona sahip olduğu göz önünde bulundurularak diferansiyel ölçeklerden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonuçları, uluslararası metabolik hız değerlerinin kullanımında büyük hatalar olabileceğini ve Brezilya etnik nüfusunun özelliklerine göre çalışma yapılması gerekliliğini vurgulamaktadır [54].

Hindistan'ın tropikal bir ülkesinde yaz ve kış mevsiminde mini endüstriyel bir ünite de çalışan işçiler üzerinde uyarlanabilir termal konfor çalışması yapılmıştır. Ortalama konfor sıcaklığı 32,2 °C iken, kış ve yaz ortalama konfor sıcaklığı 9,5 °C'den fazla değişti. Benzer şekilde, mevsimsel olarak tercih edilen sıcaklık da incelenen lokasyonda 7,9 °C'den fazla değişiklik gösterdi. Ortalama tercih edilen sıcaklığın, ortalama konfor sıcaklığından yaklaşık 2,5 °C daha düşük olduğu gözlemlendi. Uyarlanabilir konfor ilişkisi, ankete katılan fabrika işçilerinin, davranışsal ayarlamalar ve artan hava hızının birleşik etkisi nedeniyle yüksek bir termal adaptasyona sahip olduğunu ortaya koydu [55].

İş performansının araştırılması sırasında yapılan birkaç çalışma, kadınların iş performansının erkeklere göre kapalı ortamlara karşı daha az hassas olduğunu göstermiştir. Ilıman bir ortamla karşılaştırıldığında, iç ortam sıcaklığının 28 °C olduğu ortamda kadınların iş yapmadaki reaksiyon hızının etkilenmediğini, erkeklerin ise aynı görevdeki performansının önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir [39].

Bir traverten işleme tesisinin üretim hattında PMV değeri - 0,5 , PPD oranı %11,24 olarak hesaplanmıştır. -1,12 PMV değerinde ise PPD oranı %32,47'dir. PMV değerinde fark %124 iken memnuniyetsizlik oranı yaklaşık 3 kat artmıştır. Bu çalışma çalışanların ısı konforunu tam olarak anlamak için PPD'nin önemini ortaya koymuş ve %32,47'lik PPD sonucu çalışanların neredeyse üçte birinin çalışılan ortamı uygun bulmadığını göstermiştir. Uygun olmayan ısı ortamının çalışan performansını düşüreceği, performansın düşmesiyle üretimin de azalacağı, bu durumun firmanın satış tablosunda negatif sonuç ortaya çıkacağı değerlendirilmiştir. Çalışanlara uygun iş kıyafetleri sağlanması, havalandırma sistemi ile sıcaklık, nem ve hava akım hızının belirli değerlerde tutulmasının ısı konfor seviyeleri için gereklilik olduğu belirtilmiştir [56].

Endüstriyel işyerlerinde çalışma saatleri içerisinde çalışanlar olası sıcak ve soğuk risklerine maruz kalabilmektedir. Bu tür işyerlerinde teknolojik ekipmanlar tarafından mikro iklimik ortam oluşturulur. Sıcak stres potansiyelinin değerlendirilmesi için en çok kullanılan ampirik indeks, WBGT indeksidir (ıslak ampul küre sıcaklığı). WBGT endeksi endüstride ısı stresinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan ve kabul edilen endekstir. Endüstriyel işyerlerinde hava sıcaklığının yüksek olması sorunu özellikle sıcak yaz günlerinde ortaya çıkmaktadır. Değerlendirilen işyerinde yüksek kuru hava sıcaklıkları (32 °C ila 35 °C arasında) ve yüksek küre sıcaklıkları (31 ila 40 °C arasında) görüldü. Bu, işyerinde meydana gelen yüksek düzeyde termal yükün göstergesiydi. PMV indeksi hesaplaması ile işçilerin

termal strese maruz kaldıkları kanıtlanmıştır. WBGT endeksi istatistiksel sonuçlarla ortalama değer 32,84 °C bulunmuştur (referans değer WBGT = 28°C). Bu sonuç, WBGT referans değerinin aşıldığı, bu işyerindeki ısı yükünü azaltılmasının, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri kullanılmasının gerekli olduğu anlamına gelmektedir [57].

Malezya otomotiv endüstrisinde çalışanların ısı konforunun belirlenmesi amacıyla kritik bir manuel montaj iş istasyonu seçilmiştir. Çalışmanın insan deneklerini gövde montaj istasyonundaki operatörler oluşturmaktadır. Isıl konfor parametrelerinin ölçümleri yapılarak PPD ve PMV değerleri hesaplanmıştır. PMV sonucu 1,8 ile 2,3 arasında olup, PPD %60 ile %84 arasındadır. Anket sonucu, çalışanların sıcaklıktan fazla etkilendiğini gösterdi. Ağır iş giysilerinin sıcaklığın daha güçlü hissedilmesine neden olduğu değerlendirilmiştir [58].

Hastane ortamında yapılan bir araştırmada ölçülen ve algılanan sıcaklıklar; soğutma dönemi için 24,47 °C ve 21,91 °C , ısıtma dönemi için 22,92 °C ve 23,9 °C'dir. Soğutma döneminde ölçülen sıcaklıklar konfor sıcaklığının üzerinde olup kullanıcılar ortam sıcaklığını daha düşük hissetmekte yani daha sıcak bir ortam tercih etmektedir. Isıtma döneminde algılanan yani hissedilen sıcaklıklar, önerilen sıcaklıklar referans değerlerdedir. Buna rağmen kullanıcıların anket sonuçlarında daha sıcak ortam tercih ettikleri görülmüştür. Soğutma dönemi için hastane personeli ile hasta ve hasta yakınları arasında aktivite seviyelerinin farklılığından kaynaklı hastane personelinin diğer gruplara göre aktivite seviyesinin yüksek olması nedeniyle ısı algılarının da daha sıcak olduğu ortaya konulmuştur [40].

İlkokul sınıflarında yapılan bir çalışmada; 1,2 met'lik bir aktivite düzeyi belirlenmiş ve aynı sınıfta bulunan kız ve erkek öğrencilerin ortamın ısıtıldığı ve ısıtılmadığı dönemde giysi yalıtım faktörlerinde 0,2–0,4 clo' luk fark gözlenmiş, bu farkın vücuttaki ısı alışveriş sistemlerinin harekete geçmesinde etkin rol oynaması nedeniyle ısı konfor üzerinde önemi olduğu ve aynı sınıf içerisinde farklı ısı koşulların istenilmesine yol açtığı tespit edilmiştir [47].

Saha çalışmalarına dayanan ısı konfor modelleri PMV-PPD endekslerini kullanarak, tahmin edilen ısı duyumu ile iç mekan iklimindeki gerçek ısı duyumu arasındaki farklılıkları insan adaptasyonunu dikkate alarak açıklar [41]. PMV-PPD tahminleri ile subjektif tahminler arasındaki tutarsızlıklar; uyarlanabilir konfor modeli, iklimlendirme, alışkanlık, beklenti, kültürel farklılık, davranışsal uyum ve çevresel kontrolün mevcudiyeti gibi çeşitli yönleri kapsar [42]. Tutarsızlıkların artmasındaki faktörler ise; metodolojik farklılıklar veya çalışma

sınırlamaları (örnekleme protokolü, sensör doğruluğu, giyim ve metabolik hız tahmini, vb.), ısı tercihler ve bireylerin beklentileri arasındaki farklılıklardır. Bunlar bir hata kaynağı olsa da, son yıllarda ısı konfor saha çalışmalarında rapor edilen tutarsızlıkların en önemli bileşeninin adaptasyon süreçlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, havalandırma stratejileri, bina tipleri ve iklim koşulları dahil olmak üzere çeşitli çevresel kriterlerden etkilenmektedir [43].

PMV-PPD modelinin klimalı ortamlarda doğal havalandırılmalı binalara göre daha iyi performans gösterdiği bildirilmektedir. Klimalı ve serbest çalışma stratejileri altında çalışan karma modlu binalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur [44].

Tatminkar ısı duyumu, üretken iş performansı ve binaların iyileştirilmiş yapısal özellikleri iç mekanları oluştururken en yüksek önceliği kazanmıştır [45]. Bununla birlikte, cinsiyet, geçmiş tecrübeler veya ısı beklentileri gibi çeşitli faktörlerin etki ettiği bireysel farklılıklar nedeniyle, kullanıcılar aynı ortama maruz kalsalar bile farklı algılara sahip olabilirler. Uygulamada bina sakinlerinin bireysel farklılıkları, araştırmacıların, tasarımcıların ve mühendislerin, bina sakinlerinin farklı gereksinimleri ile refah ve çalışma performansı gibi farklı ihtiyaçlarını karşılamakta herkese uygun bir ısı ortam yaratma konusunda zorluklar çıkmaktadır. Bu nedenle, eşitlik yöneliminin bina tasarımından başlayarak planlama ve enerji verimli bina yaratma konseptlerinin ayrılmaz bir parçası olarak geliştirilmesi gerekmektedir [46].

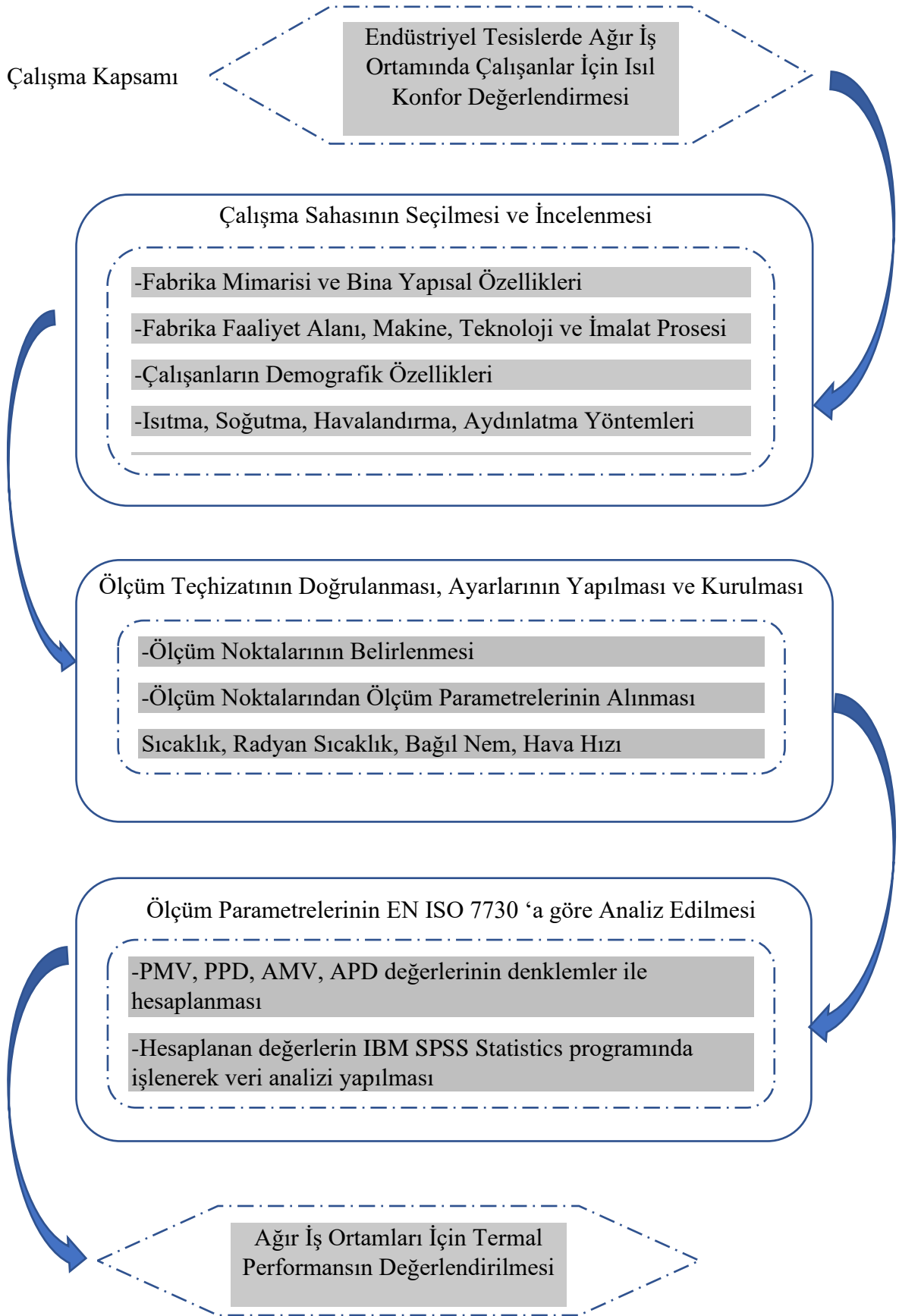
1.3. Tezin Amacı

Endüstriyel alanda ısı konfor; çalışma ortamındaki sıcaklık, nem, hava akımı gibi parametrelerin çalışanın bedensel ve fiziksel eylemlerini rahat ve verimli bir şekilde yapabilmesine olanak sağlayan koşullarda olması olarak tanımlanabilir. Buradan hareketle, çalışma ortamındaki koşullarda, çalışanın sıcak veya soğuk olarak hissetmemesi hali 'ısı rahatlık' durumu olarak yorumlanabilir.

Çalışma ortamında ideal sıcaklık ve nem değerlerinin sağlanması çalışan performansı açısından büyük önem taşımakta olup motivasyon, işe konsantrasyon ve üretkenlik üzerinde doğrudan etkilidir. Yaz ve kış koşullarında hem çalışan sağlığını hem de çalışan performansının devamlılığını sağlamak için doğru bir iklimlendirme sistemiyle ısı konforun sağlanması gerekmektedir.

İnsan sağlığını etkileyen (sıcak, soğuk, nemli, yüksek hava akımlı vb.) ortamlarda çalışan kişilerin, algılama, görevlerini yerine getirme yetenekleri ve reaksiyon hızları bozulduğu için dşuk performans gösterme veya hata yapma olasılıkları artmaktadır. Örneğin; alışanlar aşırı sıcak veya aşırı soğuk ortamlarda ortamdaki kaçma eğiliminde bulunabilir, sıcak ortamlarda uygun koruyucu giysiler giymeyerek iş kazası riski doğurabilir, işe konsantre olma yetenekleri düşmeye başlayabilir ve yapılan işte hata oluşma riskleri artabilir.

Literatürde, ısıl konfor koşulları kapsamındaki çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Ancak endüstriyel ısıl konfor koşullarına yönelik çalışmalar hem ulusal hem de uluslararası düzeyde çok sınırlıdır. İş sahasına yönelik araştırmalarda öncelikle ofis ortamı, okullar ve hastane ortamları yer almaktadır. Bu çalışmada endüstride çalışan iş gücünün, yaptıkları işler doğrultusunda gereksinim duydukları ısıl konfor parametrelerinin çalışma sahasından toplanan veriler ile referans standartlarda tanımlanan teorik değerlerle karşılaştırmalarının yapılması, talaşlı imalattaki aktivite seviyesi ve iş kıyafeti yalıtımının ısıl konfor ve yapılan iş üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede sahadan elde edilen verilerin iş ortamı özelinde değerlendirilerek, ısıl konfor bileşenlerinin HVAC (Heating Ventilating Air Conditiong) sistemleri ile optimize edilmesi gerekliliğinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Çalışmanın amacına yönelik iş ve işlem adımları Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1: Çalışmanın yol haritasına yönelik akış şeması.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Saha Çalışması Yapılan Yeni Öztürk Kalıp Makine San. Tic.Ltd.Şti. İklim Özellikleri

Coğrafik özelliklerden enlem, boylam ve rakım yeryüzündeki konumu tanımlamaya yarayan araçlardır. Binanın iç ortam koşullarını belirleyen güneş ışınımı, hava akımı, sıcaklık ve nem gibi iklimsel özelliklerdir. Tablo 2.1’de saha çalışmasının yapıldığı endüstriyel tesisin yer aldığı Bolu ilinin iklim özellikleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü istatistik verileri doğrultusunda verilmiştir [18].

Tablo 2.1: Bolu ili iklim özellikleri tablosu.

BOLU İLİ İKLİM ÖZELLİKLERİ (1920-2023)													
Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	0,5	1,8	4,7	9,6	14,1	17,3	19,8	20	16,2	11,8	6,9	2,8	10,5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5,3	7,2	11	16,6	21,4	24,6	27,4	28	24,3	19,3	13,3	7,5	17,2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3,5	-2,6	-0,5	3,6	7,6	10,4	12,4	12,7	9,5	6,2	2,1	-1,1	4,7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2	2,9	4	5,3	6,7	8	8,9	8,7	6,9	4,8	3,4	2,1	5,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15,5	14,4	14,7	13,4	14	11,9	6,16	5,19	7,17	10,6	11,8	14,7	139,7
Aylık Toplam Yağış Ortalaması (mm)	57,7	48,7	50,9	50,8	60,4	59,9	28,3	24,7	28,3	41	45,9	58,8	555,4

2.1.2 Çalışma Yapılan Endüstriyel Tesisin Konumu

Saha çalışması yapılan Yeni Öztürk Kalıp Makine San. Tic.Ltd.Şti., Bolu ili Susuzkınık Organize Sanayi Mevkiinde 40,74 enlem ve 31,73 boylamlarında 10.000 m² kapalı alanda yapılandırılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Endüstriyel tesisin bulunduğu yerin uydü görünümü.

2.1.3 Saha Çalışması Yapılan Firmanın Sektörel Bilgileri

Yeni Öztürk Makine Kalıp ve San. Tic. Ltd. Şti., 1983 yılından beri otomotiv, medikal, ısıtma & soğutma, elektronik ve beyaz eşya sektörlerine yönelik metal kalıplama, CNC işleme ve sac şekillendirme konularındaki üretilebilirlik yeteneklerini 84 mavi yaka ve 17 mühendis çalışanla sunmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Saha çalışması yapılan endüstriyel tesisin görünümü.

Firma kabiliyetleri aşağıdaki gibidir.

➤ Kalıp tasarımı, analizi ve imalatı yapan firma kalifiye çalışanları ve geniş CNC makine parkuru sayesinde otomotiv, beyaz eşya ve ısıtma-soğutma sektörlerine yönelik progresif kalıplar, transfer kalıpları ve derin çekme kalıpları olan sac kalıpları konusunda uzun yıllara dayanan tecrübeye sahip olup yurt içi ve yurt dışı müşterilerine hizmet sunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Saha çalışması yapılan fabrikanın imalat süreci.

- Fabrikada 500 tona kadar eksantrik pres üretim hattı bulunmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Saha çalışması yapılan fabrikanın sac kalıplama pres prosesi.

- CNC İşleme Merkezinde çok Eksenli Torna Tezgahları, Frezeler ve Tel Erozyonlar kullanılarak Otomotiv endüstrisi için 5 eksene kadar işlenmiş parçalar ile CNC makine imalat endüstrisi için makine parçalarının imalatı yapılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Saha çalışması yapılan fabrikanın tel erezyon ve CNC işlem imalat prosesi.

- Lazer Kesim, Abkant Bükme İşlemleri çok geniş bir ürün portföyü için, kapsamlı otomasyon ve en yüksek performans ile yapılmakta ve verimli üretim çözümleri sunulmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Saha çalışması yapılan fabrikanın lazer kesim imalat prosesi.

- Otomotiv ve beyaz eşya endüstrisi için metal, plastik ve diğer elektrikli bileşenlerden karmaşık hibrit montajlar geliştirilmekte ve üretilmektedir. Otomotiv ve traktör endüstrilerine yönelik kaynak ve punta kaynak işlemleri yapılmaktadır.
- Kalite yönetim sistemleri uygulanmakta, PPAP, FMEA, MSA çalışmaları standartların gerektirdiği şekilde yapılmakta ve kalite ön planda tutulmaktadır. Üretim hattında yüksek hassasiyeti korumak için kaliteye önem veren kurum kültürüne sahip firmada 3D Koordinat Ölçme Makinası (CMM) bulunmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Saha çalışması yapılan fabrikanın proses kontrol ofisi.

2.2. Yöntem

2.2.1 Isıl Konfor Değerlendirmesinde Kullanılan Model ve Bu Modele Yönelik Anket Çalışması

Fanger'in deneysel çalışmalar sonucu elde ettiği, kullanıcı ile çevresi arasındaki ısı denge denkleminin temelini oluşturan analitik yöntem, PMV (Tahmini Ortalama Oy) Modeli veya Statik Model olarak bilinir. Bu model ile bir ortamın konfor durumu belirlenebilmektedir. 7 noktalı ısı duyum ölçeği ile hesaplanan PMV değerlendirilerek kullanıcıların buldukları ortamdaki ısı algıları ortaya konabilmektedir. Aynı ortamda kendini rahatsız hisseden kişileri tahmin etmek için ise PMV değerinden hareketle Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD) hesaplanabilmektedir [11],[59]. Fanger'in PMV ve PPD değerlerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel denklemler Denklem 2.1-2.5'te verilmiştir.

Araştırmalarda kişilerin fikir veya eğilimlerini belirlemeye yönelik, belli bir düzende soru hazırlanarak bu sorulara cevap bulunması ve bilgi toplanması anket çalışmaları ile sağlanmaktadır. Fabrika sahasında talaşlı imalat prosesinin faaliyetlerini gerçekleştiren çalışanlara Fanger'in 7 ölçekli skalası doğrultusunda ısı konfor şartlarının değerlendirilmesi yoluyla anket yapılmıştır. Çalışanlara sorulan 'çalışma ortamı sıcaklığını şu anda nasıl tanımlarsınız?' ve 'çalışma ortamı koşulları şu anda kabul edilebilir seviyede mi?' sorularının cevapları analiz edilerek ısı konfor koşulları belirlenmiştir. Uygulama anketi üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.8): İlk kısımda; çalışanın yaşı, cinsiyeti, herhangi bir sağlık problemi olup olmadığı hakkında bilgiler sorulmuştur. İkinci kısımda; çalışanın kıyafet durumu, çalışma ortamında ısıtma ve soğutmayı etkileyen cihazlar olup olmadığı, ne kadar süredir çalışma ortamında bulunduğu, son bir saattir yaptığı iş tipleri sorulmuştur. Üçüncü kısımda ise; çalışanın ısı ortamdaki hissi, ısı açıdan çalışma ortamının nasıl olmasını istediği, ortamdaki konfor şartlarının kabul edilebilir olup olmadığı, aydınlatma düzeyinin yeterliliği ve ortamdaki esinti miktarı hakkında sorular sorulmuştur. Sorular, ASHRAE-55 Standart [7], Ek-E'de tavsiye edilen anket referans alınarak oluşturulmuştur.

Standartların tavsiye ettiği şekilde hazırlanan anketler, kişilerin rutin mesai saatleri içinde yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır.

ISIL KONFOR DEĞERLENDİRME ANKETİ						
Termal Konfor Cihazı Kurulum Tarihi:				Saati:		
Çalışma Alanı/Bölüm:						
Tarih:				Ölçüm Saati:		
Yaş:				Cinsiyet:		
Herhangi Bir Sağlık Problemi Olup Olmadığı:						
Dış Hava Sıcaklığı °C:				Dış Hava Nemi %:		
Dış Hava Durumu:						
Açık/Güneşli:				Güneşli/Bulutlu:		
Kapatılı:						
Mevsim:						
İlkbahar:		Yaz:		Sonbahar:		Kış:
Çalışan Kıyafeti:						
ISO 7730 Annex C.1						
Çalışma ortamında Isıtma veya soğutmayı etkileyen cihazlar ve sayıları (klima,fan,aydınlatma,bilgisayar,cnc vb.)						
Tipi					Sayısı	
Ne kadar süredir çalışma ortamında bulunduğunuz?						
15dk		15-30 dk		30-60dk		1 saatten fazla
Son 1 saattir bulunulan iş tipi/ tipleri? (Farklı aktiviteler için süreye bağlı metabolik hız hesaplanacaktır)						
Ofis Aktiviteleri						
Ashrae 55 Appendix A						
Mesleki Aktiviteler						
Ashrae 55 Appendix A						
Çalışma ortamının termal açıdan değerlendirilmesi?						
Çok Sıcak-7		Sıcak-6		Biraz Sıcak-5		Konforlu/Uygun-Normal-4
Biraz Soğuk-3		Soğuk-2		Çok Soğuk-1		
Çalışma ortamı aydınlık seviyesinin değerlendirilmesi?						
Aydınlık:		Normal:		Loş:		
Çalışma Ortamı Koşullarının Kabul Edilebilir Olup Olmadığı?						
Kabul Edilebilir:				Kabul Edilemez:		
Ortamdaki Esinti Durumunun Değerlendirilmesi?						
Çok fazla		Fazla		Biraz fazla		Normal
Biraz az		Az		Çok az		
Cihaz Okumaları:						
Sıcaklık °C:				B.Nem %:		
Radyant °C:				Hava Hızı (m/s):		

Şekil 2.8: Isıl konfor değerlendirme anketi.

Fabrika sahası ısı konforunun belirlenmesi kapsamında; iç ortam parametrelerinin ölçülmesi ile ısı konforu değerlendirildiği kullanıcı anketlerinin uygulanması eş zamanlı olarak yapılmıştır. Değerlendirme anketi ve ölçüm yapılacak zamanlara yönelik fabrika yönetiminden alınan etik izin EK-A'da sunulmuştur. 14.11.2022 – 05.06.2023 tarihleri arasında talaşlı imalat, kalite kontrol, laboratuvar ve yönetim, tasarım ofislerinde 54 gönüllü çalışan personele uygulanmıştır. Çalışanların aktivite seviyesine bağlı metabolik oranları ve kıyafet yalıtımları için, ISO 7730'da belirtilen değerler referans alınmıştır. Yaz dönemi ölçümlerinde; imalat sahasında iş güvenliği çerçevesinde iş kıyafeti ve kişisel koruyucu donanım kullanan personel için kıyafet ısı direnci 1,2 clo ve yaptıkları iş tipine göre yoğun uzuv hareketi gerektiren makinelerde çalışan personelin metabolik hızları 2 met, kalite kontrol, tasarım ve yönetim ofislerinde çalışan personel için kıyafet ısı direnci 1,0 clo ve yaptıkları iş tipine göre okuyan, yazan, çizen, dosyalayan personelin metabolik hızları 1,5 met, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemi ölçümlerinde; imalat sahasında iş güvenliği çerçevesinde iş kıyafeti ve kişisel koruyucu donanım kullanan personel için kıyafet ısı direnci 1,5 clo ve yaptıkları iş tipine göre yoğun uzuv hareketi gerektiren makinelerde çalışan personelin metabolik hızları 2 met, kalite kontrol, tasarım ve yönetim ofislerinde çalışan personel için kıyafet ısı direnci 1,2 clo ve yaptıkları iş tipine göre okuyan, yazan, çizen, dosyalayan personelin metabolik hızları 1,5 met olarak kabul edilmiştir. Anket sonuçları değerlendirilerek, Tablo 2.2'de verilen ölçeğe [48] göre; kullanıcılar tarafından hissedilen gerçek memnuniyet oranı AMV ve gerçek memnuniyetsizlik yüzdesi APD hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 2.2: Anket çalışmasında kullanılan ısı algı ölçekleri.

Isıl duyum skalası	Isıl konfor hissi	Katılımcı ısı tercihi	Nem hissi	Katılımcı nem tercihi	Hava sirkülasyonu	Hava sirkülasyonu tercihi	Isıl olarak kabul edilebilirlik durumu
+3	Çok Sıcak	-	Yoğun nemli	-	Çok yüksek	-	Kabul edilemez
+2	Sıcak	Daha Serin	Nemli	Daha nemli	Yüksek	Daha fazla esinti	Kabul edilemez
+1	Kısmen Sıcak	Kısmen Serin	Kısmen nemli	Kısmen nemli	Kısmen Yüksek	Biraz esinti	Kabul edilebilir
0	Konforlu	Konforlu/ Uygun	Uygun	Farklılık ihtiyacı yok	Uygun	Farklılık ihtiyacı yok	Kabul edilebilir
-1	Kısmen Soğuk	Kısmen ılık	Kısmen kuru	Kısmen kuru	Kısmen Düşük	Kısmen az esinti	Kabul edilebilir
-2	Soğuk	Daha ılık	Kuru	Daha kuru	Düşük	Daha az esinti	Kabul edilemez
-3	Çok Soğuk	-	Çok kuru	-	Çok düşük	-	Kabul edilemez

IBM SPSS Statistics 27.0.1 istatistik programı aracılığı ile pearson korelasyon katsayısı, ki-kare testi, Anova testleri yapılmış, AMV ve PMV arasındaki korelasyon ilişkisi ortaya konmuştur. Bu analizlerde; tüm çalışanlar için PMV-AMV değerleri hesaplanmış, çalışan personelin anketlere verdikleri cevaplar istatistiki analiz yöntemleri ile değerlendirilerek değişkenlere bağlı istatistiki çıkarımlar yapılmış, ısıtma ve soğutma dönemlerinin yaş, cinsiyet, aktivite türü, kıyafet yalıtımı gibi faktörler açısından karşılaştırılması incelenmiştir.

2.2.2 Isıl Konfor Parametreleri

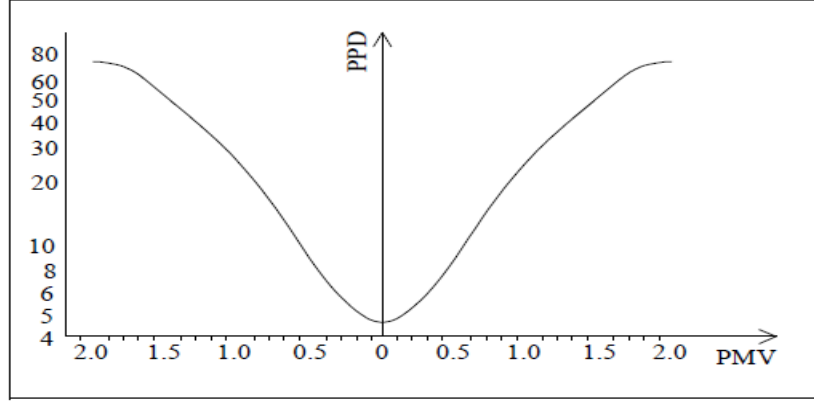
ISO 7730 standardı, genel ısı duyum ve sıcaklık derecesini tahmin etmek için yöntemler sunmaktadır. Bu yöntemler, aynı ortamı paylaşan insanların ısı duyum ölçeğine (Tablo2.3) göre verdikleri tahmini ortalama oy (PMV) ve yine ısı duyum ölçeğine göre insanların memnuniyetsizlik yüzdesini veren (PPD) endekslerinin analitik olarak hesaplamasını ve yorumlanmasını sağlayarak, genel ısı konfor için kabul edilebilir olduğu düşünülen çevresel koşulların yanı sıra yerel rahatsızlığı temsil eden koşulların da belirlenmesini sağlamaktadır. ISO 7730 [11] ve ASHRAE [7] standartlarında, 7 noktalı ısı duyum skalası referans olarak verilmektedir.

Tablo 2.3: 7 Noktalı ısı duyum skalası.

	Çok Soğuk	Soğuk	Biraz Soğuk	Normal	Biraz Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak
Bedford	1	2	3	4	5	6	7
Ashrae	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

PMV modeli, aynı ısı ortamı paylaşan bir grup insanın ısı duyarlılığını tahmin etmek için tasarlanmıştır. Bu gruptaki bireylerin o anki psikolojik durumları, kıyafet yalıtımları ve diğer kişisel tercihlerinden kaynaklı ısı algılarında yaklaşık 2 °C ya da ısı duyarlılık ölçeğinde bir birim kadar farklılık görülebilir. Dolayısıyla mekândaki ısı çevre PMV modeline göre oluşturulsa bile bu ortamdaki bireylerin bazılarının ısı olarak memnuniyetsiz olmaları söz konusu olabilir. Fanger tarafından geliştirilen PPD göstergesi bireyler arasındaki bu farklılığı ifade etmektedir. PMV göstergesiyle tanımlanan 0=normal=konforlu noktada PPD göstergesi, kullanıcıların %5'inin hala ısı çevreden memnun olmadığını gösterir (Şekil 2.9). Bu nedenle kullanıcıların çoğunluğu için memnuniyet sağlayan sıcaklık

aralığı PMV modeli ile belirlenirken, tüm kullanıcıların ısı olarak aynı koşullarda memnun olabileceği çıkarımını yapmak uygun değildir [11].



Şekil 2.9: PPD değerinin PMV değerinin fonksiyonu olarak değişimi [11].

PMV ve PPD parametreleri referans alınarak, ISO 7730 [11] standardında ısı konfor kategorileri belirlenmiştir. Kapalı ortamlarda; konfor hissi 0 veya 0'a yakın PMV değeri, yine memnuniyetsizlik yüzdesi olarak % 0'a yakın PPD değeri ile tarif edilmekte ve konforsuzluk halinin en düşük seviyede olması istenmektedir. Kategorize edilen ısı konfor için kabul edilebilir değer aralıkları (Tablo 2.4) 'te verilmiş olup Fanger'in geliştirdiği PMV ve PPD değerlerinin matematiksel modelleri Denklem 2.1 ile Denklem 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4: ISO 7730 A, B,C ısı konfor kategorileri [11].

Seviye	PPD (%)	PMV
Kategori A	<6	-0,2<PMV<+0,2
Kategori B	<10	-0,5<PMV<+0,5
Kategori C	<15	-0,7<PMV<+0,7

$$PMV = [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * [(M - W) - 3,0 * 10^{-3}] * [5733 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \quad (2.1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (2.2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}}, & 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl}, & I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 * \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl}, & I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 * \text{K/W} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (2.5)$$

Yapılan çalışmada endüstriyel tesisin mevcut ısıl konfor düzeyini belirlemek için PMV ve PPD göstergelerinin hesabında ISO 7730 [11] standardında verilen bu denklemler kullanılmıştır.

PMV ve PPD değerlerini hesaplamak için iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem, küre sıcaklığı ve hava akım hızından oluşan iç ortam ısıl konfor parametreleri, Testo-480 (Şekil 2.10-Şekil 2.11) cihazı ile ölçülmüştür. Cihazda üç farklı prob bulunmaktadır. Problardan ilki sıcaklık ve bağıl nemi, ikincisi küre sıcaklığını, üçüncüsü ise hava akım hızını ölçmektedir. Cihaza ait problemlerin ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir. Ölçüm sırasında cihaz, ASHRAE-55 [7]'de istenen şekilde ölçüm sahasının ortasına ve 110 cm yüksekliğe konumlandırılmıştır. Yapılan 202 ölçümün 51'i yaz döneminde, 52'si sonbahar döneminde, 54'ü kış döneminde, 45'i ilkbahar döneminde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ısıtma, soğutma ve geçiş dönemleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Cihazın ölçüm sahasına yerleştirilmesinden 8 dakika sonrasında ölçme işlemi başlatılarak cihazın kararlı hale gelmesi göz önünde bulundurulmuştur. Kararlı hale gelen cihaz ile 20 dakika süreyle ölçüm yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Radyan sıcaklığın hesaplanmasında Denklem 2.6 kullanılmıştır [49].

$$T_r = T_g + 0,227 * \sqrt{v_{ar}} * (T_g - T_a) \quad (2.6)$$

Denklem 2.6’da T_r (°C) ortalama radyan sıcaklık, T_g (°C) küre sıcaklığı, T_a (°C) iç ortam hava sıcaklığı, V_{ar} (m/s) ise ortalama hava akım hızı’dır. İncelenen fabrika sahasında ölçüm yapılan alanlar ile cihazın kurulumunun yapıldığı alanlar Şekil 2.12’de verilmiştir. ASHRAE-55 [7]’de Operatif sıcaklık (OPT), hava sıcaklığı ile ortalama ışıyım sıcaklığının hava akım hızına bağlı kombinasyonundan oluşan denklem ile tanımlanmış ve Denklem 2.7 ile verilmiştir. ASHRAE-55’ te 0,2’den küçük hava akım hızları için A katsayısının 0,5 alınacağı belirtilmiştir.

$$OPT = A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_r \quad (2.7)$$

Tablo 2.5: Ölçüm cihazı TESTO-480’un bilgileri.

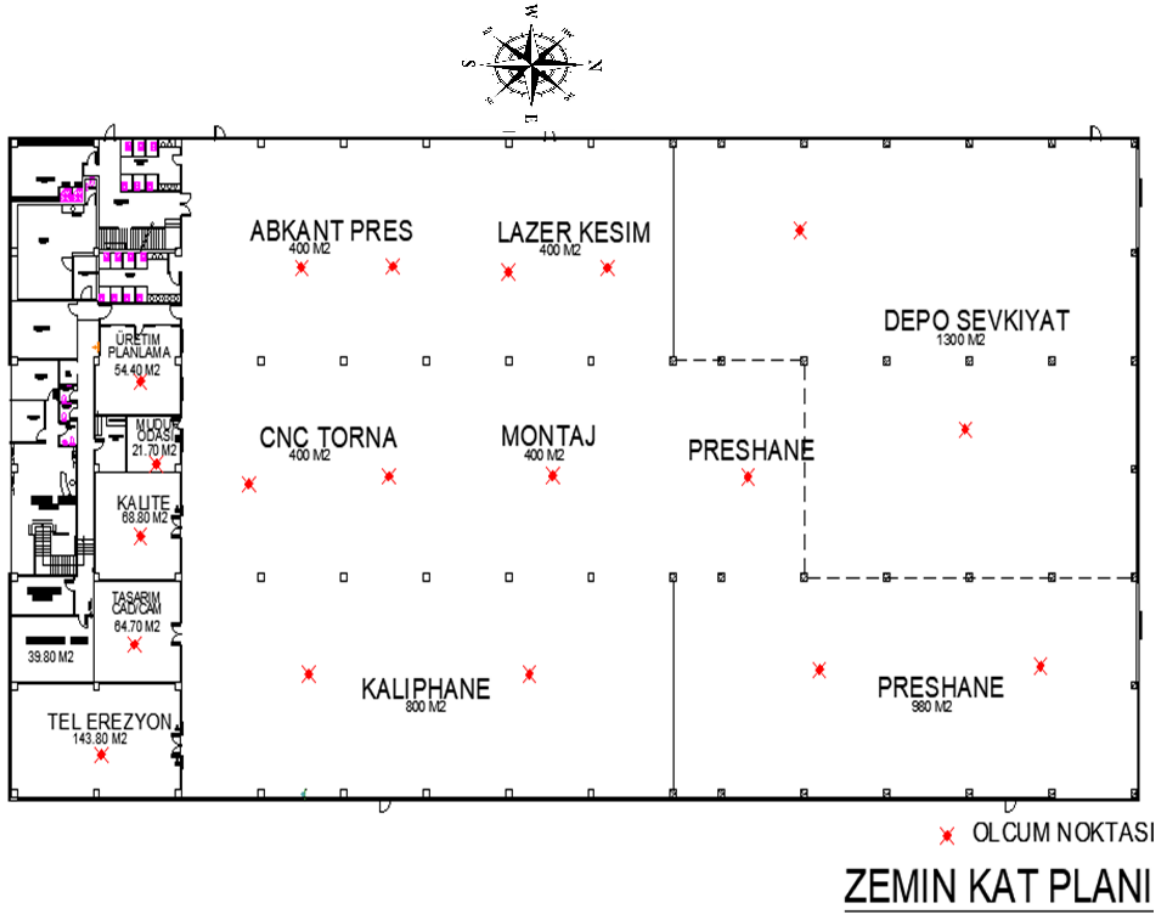
Cihaz ölçüm probu	Cihaz kapasitesi	Cihaz toleransı
İç ortam sıcaklığı	-20 to +70 °C	±0,5 °C
Bağıl nem	0 to 100 %RH	±(1,0 %RH + 0,7%) 0 to 90 %RH ±(1,4 %RH + 0,7%) 90 to 100 %RH
Küre sıcaklığı Ø 150 mm	0 to +120 °C	±0,3 °C
Hava akım hızı	0 to +50 °C 0 to +5 m/sn +700 to +1100 hPa	±0,5 °C ±(0,03 m/sn +4%) ±3 hPa



Şekil 2.10: Talaşlı imalat ve tel erzyon prosesi ile Testo 480 cihazı görüntüsü.



Şekil 2.11: Lazer kesim prosesi ve Testo 480 cihazı görüntüsü.



2.2.3 Güvenilirlik Analizi

Cronbach Alpha Katsayısı, anket ölçeğini oluşturan soruların toplam varyanslarının genel varyansa oranlanması ile elde edilen ağırlıklı standart değişim ortalaması olup ölçekte yer alan soruların homojen olup olmadıklarını araştırmaktadır. Cronbach Alpha Katsayısının yüksek olmasından anket ölçeğindeki soruların kendi içlerinde aynı niteliği taşıyan ve irdeleyen sorular olduğu anlaşılmaktadır. Cronbach Alpha Katsayısı, diğer katsayılara göre tutarlı bir istatistiki temel üzerinde tüm sorular baz alınarak hesaplandığından, güvenilirlik durumunu en iyi şekilde gösteren katsayıdır [50]. Literatür çalışmaları incelendiğinde, uyum endeks modellerinde güvenilirlik değerleri 0,70 ile 0,90 arasında kabul edilmektedir [51]. Fabrika çalışma sahasında uygulanan anket ölçeklerinin cronbach alpha değeri 3.1.4 Katılımcı Analizi maddesinde detaylı incelenmiştir.

3. YAPILAN ÇALIŞMA

3.1 Analizlerin Değerlendirilmesi

3.1.1 Isıl Konfor Değişkenlerinin Analizi

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemlerine yönelik ısı konfor parametrelerinin analizleri Tablo 3.1' de iç ortam parametrelerinin referans değerleri Tablo 3.2'de yer almaktadır. Isıtma döneminde iç ortam sıcaklığı; ortalama 21,43 °C, en düşük 19,40 °C ve en yüksek 25,50 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma dönemi ortalama sıcaklık değerlerinin ASHRAE-55 [7] ve ISO 7730 [11] standartlarındaki referans değerlerde olduğu görülmüştür. Soğutma döneminde iç ortam sıcaklığı; ortalama 28,57 °C, en düşük 25,40 °C ve en yüksek 29,50 °C olarak ölçülmüştür. Soğutma döneminde ölçülen sıcaklıklar standartlardaki referans değerlerin dışındadır.

Isıtma dönemi için şubat ayında ölçümler yapılmış olup ölçüm yapılan saatlerde dış ortam hava sıcaklığı ortalama 1,2 °C, soğutma dönemi için ağustos ayında ölçümler yapılmış olup ölçüm yapılan saatlerde dış ortam hava sıcaklığı ortalama 25,7 °C , ilkbahar dönemi için nisan ayında ölçümler yapılmış olup ölçüm yapılan saatlerde dış ortam hava sıcaklığı ortalama 16,6 °C, sonbahar dönemi için kasım ayında ölçümler yapılmış olup ölçüm yapılan saatlerde dış ortam hava sıcaklığı ortalama 10 °C ölçülmüştür.

Fabrikada doğalgazlı sıcak hava üreteçleri ile ısıtma teknolojisi kullanılmaktadır. Fabrikada kullanılan endüstriyel ısıtma sistemi ayar noktası 20 °C 'de sabit tutulmaktadır. Soğutma döneminde tel erezyon işlem alanı 44000 BTU'luk iki ayrı duvar tipi klima ile 22 °C'de sabit tutulmakta ve fabrikanın diğer imalat sahasında cebri soğutma ve havalandırma uygulaması bulunmamaktadır.

ASHRAE-55 [7] standardına göre bağıl nem seviyesi %30-60 ve ISO 7730 [11] standardına göre bağıl nem seviyesi %30-70 aralığında olmalıdır. Ortalama bağıl nem değerleri kaydedilen tüm ölçümlerde standart referans değer aralığındadır. Isıtma döneminde en yüksek hava akım hızı 0,24 m/s, soğutma döneminde ise en yüksek hava akım hızı 0,25 m/s olarak ölçülmüştür. ASHRAE-55 standardına göre hava akım hızı 0,16 m/s ve ISO 7730 standardına göre hava akım hızı 0,19 m/s olmalıdır. Ölçülen değerler standartlardaki referans değerlerin çok üzerindedir. Ortalamaya bakıldığında ısıtma dönemi için ortalama hava akım hızı 0,14 m/s, soğutma dönemi için 0,15 m/s olarak bulunmuştur. ISO 7730 standardı operatif sıcaklığı soğutma döneminde 22 ± 2 °C, ısıtma döneminde ise $24,5 \pm 1,5$ °C olarak

tanımlamaktadır. ASHRAE-55 standardı ise operatif sıcaklığı 1 saatlik zaman zarfında iç ortam sıcaklığının en yüksek 2,2 °C'lik değişmesi olarak önermektedir. Ortalama operatif sıcaklık; ısıtma döneminde 21,3 °C, sonbahar döneminde 21,6 °C, ilkbahar döneminde 23 °C olarak hesaplanmış olup standartlardaki değerleri karşılamaktadır. Fabrikada cebri soğutma ve havalandırma sistemi olmaması nedeniyle soğutma döneminde operatif sıcaklık 28,4 °C ölçülmüş olup standartlardaki referans değerleri karşılamamaktadır.

ISO 7730 [11] standardına göre ısı konfor A, B ve C seviyelerinde kategorize edilmiştir (Tablo 2.4). Isıl konfor A, B, C sınıflarında önerilen en düşük ve en yüksek PMV değerleri büyük oranda standartlardaki referans değerlerden yüksektir. Isıtma dönemi için en yüksek 1,51, soğutma dönemi için en yüksek 2,28, sonbahar dönemi için 1,48, ilkbahar dönemi için 1,69 olarak hesaplanan PMV değerleri referans değerlerin dışındadır. PMV değerlerinin soğutma dönemi için %3,92'si, ısıtma dönemi için %98,15'i, sonbahar dönemi için %80,77'si, ilkbahar dönemi için %80'i konfor aralığındadır.

Tablo 3.1: Dönemlere göre ısı konfor parametrelerinin istatistiksel analizi.

Kriter	Minimum				Maksimum				Ortalama				Standart Sapma			
	Yaz	Kış	Son-bahar	İlk-bahar	Yaz	Kış	Son-bahar	İlk-bahar	Yaz	Kış	Son-bahar	İlk-bahar	Yaz	Kış	Son-bahar	İlk-bahar
İç Ortam Sıcaklığı (°C)	25,40	19,40	18,90	21,70	29,50	25,50	24,90	26,30	28,57	21,43	21,80	23,26	1,13	1,74	1,11	1,09
Bağıl Nem(%)	39,30	33,10	37,20	34,70	72,70	43,10	44,50	49,90	58,72	37,34	39,67	44,56	8,74	1,65	1,60	3,97
Hava Akımı (m/s)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25	0,24	0,33	0,26	0,15	0,14	0,14	0,12	0,05	0,05	0,08	0,05
Ortalama Radyan Sıcaklık (°C)	25,20	18,60	18,20	21,20	29,40	25,90	25,90	26,40	28,26	21,17	21,44	22,79	1,17	2,11	1,31	1,12
Operatif Sıcaklık (°C)	25,3	19,0	18,55	21,45	29,45	25,7	25,4	26,35	28,41	21,3	21,62	23,02	0,08	0,13	0,02	0,14
Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	23	-4	8	13	27,5	6	12	19	25,7	1,2	10	16,6	1,789	4,14	1,414	2,509
PMV	0,99	0,60	0,22	0,32	2,28	1,51	1,48	1,69	2,11	1,03	1,01	1,23	0,26	1,15	0,33	0,37
PPD	26,1	12,7	6,3	7,4	87,3	52,1	51,3	61,7	80,88	27,25	29,56	37,71	11,9	6,2	10,89	15,49

Tablo 3.2: İç ortam parametrelerinin referans değerleri.

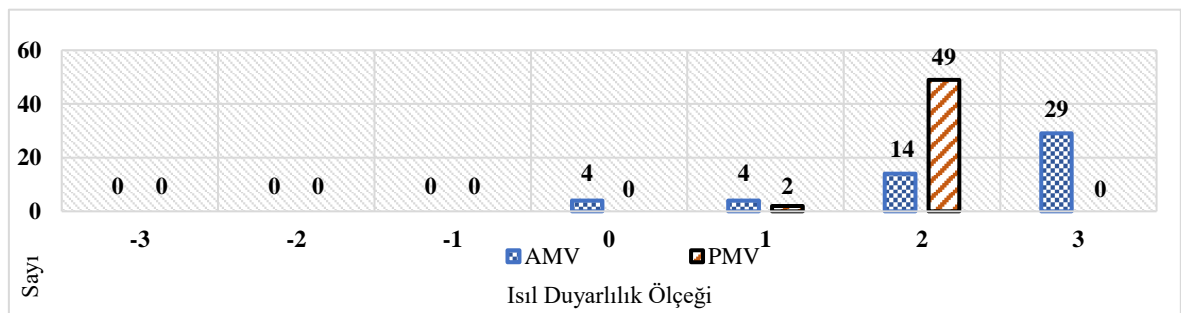
		İç Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem(%)	Hava Akım Hızı(m/s)	Ortalama Radyan Sıcaklık (°C)	Operatif Sıcaklık (°C)	PMV	PPD
REFERANS	ASHRAE-55	22-24	30-60	0,16	NA	1 saatlik zaman zarfında iç ortam sıcaklığının en yüksek 2,2 °C'lik değişmesi	NA	NA
	ISO 7730	22-24	30-70	0,19	NA	22±2	NA	NA

3.1.2 Isıl Konforun Çalışanlar Açısından Değerlendirilmesi

Talaşlı imalat prosesinde anket uygulanarak yapılan 202 ölçümün 51'i yaz döneminde, 52'si sonbahar döneminde, 54'ü kış döneminde, 45'i ilkbahar döneminde gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların verdiği cevapların dağılımı Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Isıtma ve soğutma dönemi için hesaplanan PMV değerlerinin standartlarda tanımlanan genel kabul edilebilir ısı konfor değerlerini ($-0,5 < PMV < +0,5$) karşılamadığı görülmüştür. Bu referans aralığı yüksek bir ısı konfor standardı istenen %90 kabul edilebilirlik sınırlarını içermektedir.

Endüstriyel tesislerde standartlarda tanımlanan genel kabul edilebilir, yüksek seviyeli ısı konfor değerlerinin ($-0,5 < PMV < +0,5$) sağlanmasında zorluk bulunmaktadır. Bu kapsamda ASHRAE [7] standardında insanların ısı algısının niceliğini tanımlamak üzere geliştirilen PPD değerinin PMV değerinin fonksiyonu olarak değişim modeli (Şekil 2.9)'ne göre aynı ısı ortamı paylaşan bir grubun en az % 80 oranında memnuniyetini sağlayan konfor bölgesi ($-1,0 < PMV < +1,0$) konforlu olarak nitelendirilmiştir.

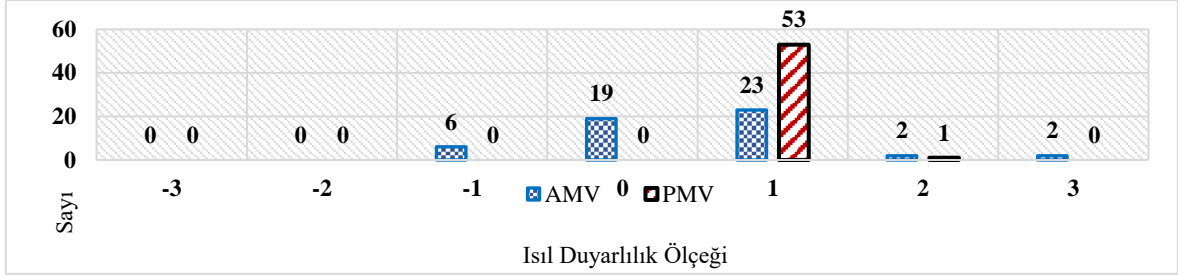
En az % 80'lik memnuniyeti sağlayan konfor bölgesi ($-1,0 < PMV < +1,0$) temel alındığında; soğutma dönemi için 2 değer kriterleri karşılamakta olup ölçülen değerler standartların çok üzerindedir. Ancak 8 çalışan bulunduğu ortamın konforlu olduğunu belirtmiştir. Diğer çalışanlar buldukları konfor koşullarının uygun olmadığını, becerisel ve bilişsel kabiliyetlerinin etkilendiğini ve ortam şartlarında iyileştirme yapılması gerektiği belirtmişlerdir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Soğutma dönemi AMV ve PMV verileri.

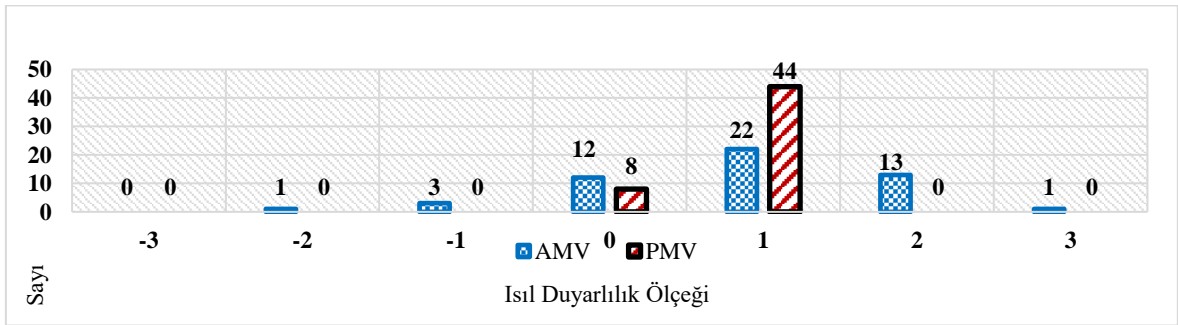
En az % 80'lik memnuniyeti sağlayan konfor bölgesi ($-1,0 < PMV < +1,0$) temel alındığında; ısıtma dönemi için 53 değer, yani ölçümlerin %98,15'i kriterleri sağlamaktadır. Ancak 48

çalışan, ısıtma dönemi için bulunduğu konfor koşullarının uygun olduğunu, 6 çalışan ise koşulların uygun olmadığını söylemiştir (Şekil 3.2).



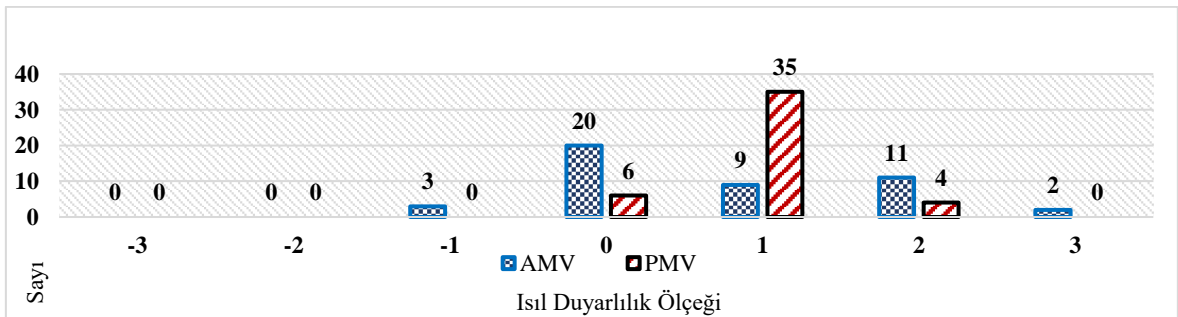
Şekil 3.2: Isıtma dönemi AMV ve PMV verileri.

En az % 80'lik memnuniyeti sağlayan konfor bölgesi ($-1,0 < PMV < +1,0$) temel alındığında; sonbahar dönemi için 52 ölçüm yani ölçümlerin tamamı kriterleri sağlamaktadır. Ancak 15 çalışan koşulların uygun olmadığını belirtmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Sonbahar geçiş dönemi AMV ve PMV verileri.

En az % 80'lik memnuniyeti sağlayan konfor bölgesi ($-1,0 < PMV < +1,0$) temel alındığında; ilkbahar dönemi için 41 ölçüm yani ölçümlerin %91,11'i kriterleri sağlamaktadır. Ancak 13 çalışan koşulların uygun olmadığını belirtmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: İlkbahar geçiş dönemi AMV ve PMV verileri.

3.1.3 Algılanan ve Ölçülen Isıl Konfor Parametreleri

Algılanan ve ölçülen ısı konfor verileri Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da verilmiştir. Soğutma dönemi hesaplanan konfor verileri, ölçülen PMV değeri 2,11 ve PPD değeri %80,88’dir. Çalışanların aynı koşullar için anketlerde verdikleri cevaplar üzerinden, AMV değeri 2,33 ve APD değeri %89,30 değeri olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.3). Bu veriler, ortamın ısı konfor açısından uygun seviyede olmadığını belirtmektedir. Çalışanların makinelerde iş yapmaya bağlı yoğun uzuv hareketi gerektiren aktivite durumları, kıyafet durumları(iş kıyafeti ve ekipmanı), iç hava sıcaklığı, hava akım hızı ve bağıl nem değerlerinin bu uygunsuz durumu oluşturduğu söylenebilir.

Isıtma dönemi verileri incelendiğinde, ölçülen PMV değeri 1,03 ve PPD değeri %27,25 olarak hesaplanmıştır. Çalışanların anket sonuçları ele alındığında aynı koşullar için, AMV değeri 0,57 ve APD değeri %11,9 (Tablo 3.4) değeri hesaplanmış, katılımcı tercihleri açısından da ortamın uygun olmadığı görülmüştür. Mevcut konfor koşullarında ölçülen ve hesaplanan sonuçların ısıtma ve soğutma dönemleri için katılımcıların tercihleri ile örtüştüğü görülmektedir. Hesaplanan PMV değeri ve çalışan tercihlerini gösteren AMV değeri arasında büyük farklılık görülmemiştir.

Özetle ısıtma döneminde PMV değerine bağlı ortam koşulları ‘sıcak’ olarak tanımlanırken, çalışan tercihleri de ortam koşullarının ‘sıcak’ olduğunu, soğutma döneminde PMV değerine bağlı ortam koşulları ‘biraz sıcak’ olarak tanımlanırken, çalışan tercihleri de ortamın ‘biraz sıcak’ olduğunu belirtmiştir.

Tablo 3.3: Soğutma döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.

YAZ VERİLERİ							
Parametre	Ölçülen			Kişi Sayısı	Hissedilen		
	Ort. PMV	Konfor Durumu	Ort.PPD		AMV	Konfor Durumu	APD
Tümü	2,11	Sıcak	80,88	51	2,33	Sıcak	89,30
Erkek	2,13	Sıcak	81,70	39	2,39	Sıcak	90,70
Kadın	2,06	Sıcak	78,20	12	2,17	Sıcak	83,70
clo 1,0	1,65	Sıcak	60,11	8	0,88	Biraz Sıcak	21,20
clo 1,2	2,20	Sıcak	84,74	43	2,61	Çok Sıcak	95,40
clo1,5	-	-	-	-	-	-	-
≤30 Yaş	2,12	Sıcak	80,89	23	2,35	Sıcak	89,70
>30 Yaş	2,11	Sıcak	80,86	28	2,32	Sıcak	88,90
1,5 met	1,65	Sıcak	60,11	8	0,88	Biraz Sıcak	21,20
2,0 met	2,20	Sıcak	84,74	43	2,61	Çok Sıcak	95,40

Tablo 3.4: Isıtma döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.

KIŞ VERİLERİ							
Parametre	Ölçülen			Kişi Sayısı	Hissedilen		
	Ort. PMV	Konfor Durumu	Ort.PPD		AMV	Konfor Durumu	APD
Tümü	1,03	Biraz Sıcak	27,254	54	0,574	Biraz Sıcak	11,9
Erkek	1,03	Biraz Sıcak	27,25	43	0,488	Normal	10
Kadın	1,02	Biraz Sıcak	27,27	11	0,909	Biraz Sıcak	22,4
clo 1,0	-	-	-	-	-	-	-
clo 1,2	1,066	Biraz Sıcak	29,08	12	0,917	Biraz Sıcak	22,8
clo1,5	1,018	Biraz Sıcak	26,73	42	0,476	Normal	9,7
≤30 Yaş	1,018	Biraz Sıcak	27	24	0,5	Biraz Sıcak	10,2
>30 Yaş	1,036	Biraz Sıcak	27,46	30	0,633	Biraz Sıcak	13,4
1,5 met	1,066	Biraz Sıcak	29,08	12	0,917	Biraz Sıcak	22,8
2,0 met	1,018	Biraz Sıcak	26,73	42	0,476	Normal	9,7

Geçiş dönemleri için; sonbahar dönemi için PMV değeri 1,01 ve PPD değeri %29,56 (Tablo 3.5), ilkbahar dönemi için PMV değeri 1,23 ve PPD değeri %37,71 (Tablo 3.6) olarak hesaplanmıştır. PMV değerine bağlı ortam koşulları ‘biraz sıcak’ olarak tanımlanırken, çalışan tercihleri de ortamın ‘biraz sıcak’ olduğunu belirtmiştir. Hesaplanan PMV değerleri ile çalışanların ısı algısını ifade eden AMV değerleri aynı doğrultuda örtüşmektedir.

Tablo 3.5: Sonbahar döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.

SONBAHAR VERİLERİ							
Parametre	Ölçülen			Kişi Sayısı	Hissedilen		
	Ort. PMV	Konfor Durumu	Ort.PPD		AMV	Konfor Durumu	APD
Tümü	1,01	Biraz Sıcak	29,56	52,00	0,89	Biraz Sıcak	21,50
Erkek	0,98	Biraz Sıcak	28,47	41,00	0,88	Biraz Sıcak	21,30
Kadın	1,15	Biraz Sıcak	33,65	11,00	0,91	Biraz Sıcak	22,40
clo 1,0	-	-	-	-	-	-	-
clo 1,2	0,37	Normal	63,90	8,00	0,50	Biraz Sıcak	10,20
clo1,5	1,31	Biraz Sıcak	33,49	44,00	0,96	Biraz Sıcak	24,30
≤30 Yaş	0,99	Biraz Sıcak	29,45	24,00	1,00	Biraz Sıcak	26,10
>30 Yaş	1,03	Biraz Sıcak	29,66	28,00	0,79	Biraz Sıcak	18,00
1,5 met	0,37	Normal	63,90	8,00	0,50	Biraz Sıcak	10,20
2,0 met	1,31	Biraz Sıcak	33,49	44,00	0,96	Biraz Sıcak	24,30

Tablo 3.6: İlkbahar döneminde algılanan ve ölçülen ısı konfor parametreleri.

İLKBAHAR VERİLERİ							
Parametre	Ölçülen			Kişi Sayısı	Hissedilen		
	Ort. PMV	Konfor Durumu	Ort.PPD		AMV	Konfor Durumu	APD
Tümü	1,23	Biraz Sıcak	37,71	45,00	0,76	Biraz Sıcak	17,00
Erkek	1,16	Biraz Sıcak	35,57	31,00	0,45	Normal	9,30
Kadın	1,38	Biraz Sıcak	42,47	14,00	1,43	Biraz Sıcak	47,10
clo 1,0	-	-	-	-	-	-	-
clo 1,2	0,87	Biraz Sıcak	21,19	12,00	0,42	Normal	8,60
clo1,5	1,36	Biraz Sıcak	43,72	33,00	0,88	Biraz Sıcak	21,30
≤30 Yaş	1,15	Biraz Sıcak	36,48	19,00	1,00	Biraz Sıcak	26,10
>30 Yaş	1,28	Biraz Sıcak	38,61	26,00	0,58	Biraz Sıcak	12,00
1,5 met	0,87	Biraz Sıcak	21,19	12,00	0,42	Normal	8,60
2,0 met	1,36	Biraz Sıcak	43,72	33,00	0,88	Biraz Sıcak	21,30

3.1.4 Anket Katılımcılarının Güvenilirlik Analizi

Literatür çalışmaları incelendiğinde, uyum endeks modellerinde güvenilirlik değerleri 0,70 ile 0,90 arasında kabul edilmektedir [51]. Fabrika çalışma sahasında uygulanan anketlerin cronbach alpha değeri 0,732, standardize edilmiş cronbach alpha değeri 0,779 bulunmuş, sorular ve ölçeklerin analiz için güvenilir olduğu görülmüştür. Çalışanların cinsiyet, yapılan aktivite, yaş ve kıyafet durumları baz alınarak ısı konfor farkı analizi Ki-Kare Testi ile yapılmış olup, sonuçlar Tablo 3.7'de gösterilmektedir. Ki-Kare testinde, ısı duyular ve ısı konfor oyları anlamlı bir farklılık göstermiştir. Değişkenler ile ısı memnuniyet arasındaki korelasyonları analiz etmek için SPSS 27.0 istatistik yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 3.7: Cinsiyet, aktivite seviyesi, yaş ve kıyafet durumuna göre soğutma, ısıtma ve geçiş dönemleri için Pearson Chi-Square testleri.

Parametre		Isıl Konfor								Toplam	Pearson Chi-Square (ki-kare)	Anlamlılık Düzeyi
		Dönem	Soğuk	Biraz Soğuk	Serin	Normal	Ilık	Biraz Sıcak	Sıcak			
			(-3)	(-2)	(-1)	0	(+1)	(+2)	(+3)			
Cinsiyet	Erkek	Soğutma Dönemi	0	0	0	3	3	9	24	39	10,870a	0,054
		Isıtma Dönemi	0	0	5	17	18	3	0	43		
		Sonbahar Dönemi	0	1	3	9	16	11	1	41		
		İlkbahar Dönemi	0	0	3	17	6	4	1	31		
	Kadın	Soğutma Dönemi	0	0	0	1	1	5	5	12		
		Isıtma Dönemi	0	0	1	2	5	3	0	11		
		Sonbahar Dönemi	0	0	0	3	6	2	0	11		
		İlkbahar Dönemi	0	0	0	3	3	7	1	14		
Toplam			0	1	12	55	58	44	32	202		
Aktivite Seviyesi Metabolik Oran	met 1,5	Soğutma Dönemi	0	0	0	3	3	2	0	8	16,189b	0,006
		Isıtma Dönemi	0	0	0	7	2	2	2	13		
		Sonbahar Dönemi	0	0	1	4	2	1	0	8		
		İlkbahar Dönemi	0	0	2	7	1	2	0	12		
	met 2,0	Soğutma Dönemi	0	0	0	1	1	12	29	43		
		Isıtma Dönemi	0	0	6	12	21	2	0	41		
		Sonbahar Dönemi	0	1	2	8	20	13	0	44		
		İlkbahar Dönemi	0	0	1	13	9	9	1	33		
Toplam			0	1	12	55	59	43	32	202		
Yaş	<30	Soğutma Dönemi	0	0	0	2	2	5	14	23	2,754c	0,738
		Isıtma Dönemi	0	0	3	9	10	2	0	24		
		Sonbahar Dönemi	0	0	1	5	12	5	1	24		
		İlkbahar Dönemi	0	0	2	6	3	6	2	19		
	≥30	Soğutma Dönemi	0	0	0	2	2	9	15	28		
		Isıtma Dönemi	0	0	3	10	13	3	1	30		
		Sonbahar Dönemi	0	1	2	7	10	8	0	28		
		İlkbahar Dönemi	0	0	1	14	6	5	0	26		
Toplam			0	1	12	55	58	43	33	202		
Kıyafet Durumu	clo 1,2	Soğutma Dönemi	0	0	0	3	3	2	0	8	17,605d	0,003
		Isıtma Dönemi	0	0	0	7	2	3	0	12		
		Sonbahar Dönemi	0	0	1	4	2	1	0	8		
		İlkbahar Dönemi	0	0	2	7	2	1	0	12		
	clo 1,5	Soğutma Dönemi	0	0	0	1	1	12	29	43		
		Isıtma Dönemi	0	0	6	12	22	2	0	42		
		Sonbahar Dönemi	0	1	2	8	20	13	0	44		
		İlkbahar Dönemi	0	0	1	13	9	9	1	33		
Toplam			0	1	12	55	61	43	30	202		

- a. 3 cells (25,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,24.
b. 3 cells (25,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,20.
c. 2 cells (16,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,45.
d. 3 cells (25,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,20.

Kullanıcı memnuniyeti değişkenleri, faktörlerin ilişkili olduğunu varsayan Oblimin Rotation ile faktör analizi yapılarak ısı konfor ve konfor değişkenleri gruplar halinde yapılandırılmıştır. Farklı gruplar arasında iki veya daha fazla değişkenin frekans dağılımlarının anlamlı farklılık içerip içermediğini belirlemek için Pearson Ki-Kare testi uygulanmıştır [52].

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) cinsiyet farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ki-kare değeri 10,870, anlamlılık düzeyi 0,054 olarak hesaplanmıştır. 0,05'ten büyük olan anlamlılık düzeyi için gruplar arasında farklılık olmadığı dolayısıyla cinsiyet farklılığının ısı konfor üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) yapılan aktivite seviyesi (ofiste tasarım, modelleme, test ve ölçüm yapanlar 1,5 metabolik oran, talaşlı imalat prosesinde makine başında sürekli ayakta çalışanlar 2,0 metabolik oran) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ki-kare değeri 16,189, anlamlılık düzeyi 0,006 olarak hesaplanmıştır. 0,05'ten küçük olan anlamlılık düzeyi için gruplar arasında farklılık olduğu dolayısıyla aktivite farklılığının ısı konfor üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) yaş (30 yaş altı 30 yaş dahil ve 30 yaş üstü) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ki-kare değeri 2,754, anlamlılık düzeyi 0,738 olarak hesaplanmıştır. 0,05'ten büyük olan anlamlılık düzeyi için gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı dolayısıyla yaş farklılığının ısı konfor üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) yapılan kıyafet durumu (ofiste tasarım, modelleme, test ve ölçüm yapanlar 1,2 clo), talaşlı imalat prosesinde makine başında çalışanlar 1,5 clo) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ki-kare değeri 17,605, anlamlılık düzeyi 0,003 olarak hesaplanmıştır. 0,05'ten küçük olan anlamlılık düzeyi için gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu dolayısıyla kıyafet farklılığının ısı konfor üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

3.1.5 Bağımsız Değişkenlerin Analizi

Isı konfora etki eden faktörler; çalışan yaşı, cinsiyet, yapılan iş türü ve kıyafet durumu ısıtma, soğutma ve geçiş (ilkbahar ve sonbahar) dönemleri için detaylı incelenmiştir. İstatistiksel analiz yöntemlerinden grup varyanslarının homojenliğini test etmede Levene testi kullanılmaktadır. Varyansların homojenliğinde ise, t-test ve Anova testinde kullanılmaktadır. Bağımsız örneklem t-testi; iki grup için ortalama puanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını yorumlayan analiz metodudur. Levene testi analiz sonuçlarında sig (p) değerine bakılır. Bu durumda F değerinde $p > 0,05$ ise "Sig."

varyansların eşit (homojen) olduğu sonucuna varılır ve aynı satırdaki t-test değerleri (t değeri, p değeri) dikkate alınır. Eğer $p < 0,05$ ise “Sig.” varyansların eşitliği sağlanmadığı için ikinci satırdaki değerler (t değeri, p değeri) dikkate alınır. Sig. (2-tailed) sütunundaki değer 0,05’ten küçükse, iki grubun ortalama değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. 0,05’ten büyükse, iki grup arasındaki fark anlamlı değildir. Yani t testinin p değeri $p \leq 0,05$ ise hipotez doğrulanır, $p > 0,05$ ise hipotez doğrulanmaz [52].

Hipotez kabulleri denklem 3.1’de gösterilmiştir [53].

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2, \quad H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (3.1)$$

Tablo 3.8’de Levene testi yöntemi doğrultusunda analiz sonuçları gösterilmiştir. Hipotezde H_0 anlamlı farklılık olmadığını ve yokluk hipotezinin kabul edildiğini, H_1 ise anlamlı farklılık olduğunu ve yokluk hipotezinin reddedildiğini ifade etmektedir. Gruplar ısıtma, soğutma ve geçiş (ilkbahar ve sonbahar) dönemlerine göre gruplandırılmış olup çalışanların bu dönemlerdeki cevapları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemle dönemler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Bu tabloda öncelikle F değerinin p değeri incelenmiş $p > 0,05$ olduğu durumlarda karar vermek için aynı sütununun “Sig. (2-tailed)” kısmına bakılmıştır. “Sig. (2-tailed)” sütununa bakıldığında $p < 0,05$ olduğu durumlarda anlamlı farklılık olduğu görülmüş ve hipotez doğrulanmıştır. Aktivite seviyesi için met 1,5 ve met 2 durumlarında tüm dönemler için %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır, kıyafet durumunun 1,2 clo ve 1,5 clo olması halinde homojen olmayan varyanslara göre anlamlı farklılık vardır. Cinsiyet ile ≤ 30 yaş ve > 30 yaş durumlarında anlamlı bir farklılık yoktur. Aktivite seviyesi ısı konfor üzerinde etkili olup makede ayakta iş yapan orta seviyeli uzuv hareketinde bulunan çalışanların buldukları çevreyi daha sıcak algıladıkları bu sonuçlarla örtüşmektedir.

Tablo 3.8: Cinsiyet, aktivite seviyesi, yaş ve kıyafet durumunun Levene testi ve t-testinin tüm dönemler için karşılaştırılması.

Bağımsız Değişkenlerin Tüm Dönemler İçin Karşılaştırılması											
Varyanslar	Levene's Test		Homojen varyanslar için t-test							Hipotez Kabulü	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Ortalama Farklılık	Hata Farklılık	95% Güven Aralığı			
								Alt Sınır	Üst Sınır		
Metabolik Oran 1,5 Olanlar ile Metabolik Oran 2 Olanların Isıl Duyum Analizi	Homojen	0,113	0,737	-2,785	200	0,006	-0,57173	0,20529	-0,97654	-0,16692	Anlamli farklılık vardır, yokluk hipotezi reddedilmiştir.
	Homojen Olmayan			-2,868	64,36	0,006	-0,57173	0,19935	-0,96994	-0,17353	
≤30 Yaş Olanlar ile >30 Yaş Olanların Isıl Duyum Analizi	Homojen	0,331	0,566	0,773	200	0,440	0,13075	0,16907	-0,20263	0,46413	Anlamli farklılık yoktur, yokluk hipotezi kabul edilmiştir.
	Homojen Olmayan			0,771	188,35	0,442	0,13075	0,16960	-0,20380	0,46531	
Kıyafet Durumu 1,2 clo Olanlar ile Kıyafet Durumu 1,5 clo Olanların Isıl Duyum Analizi	Homojen	0,028	0,868	-2,790	200	0,006	-0,57809	0,20718	-0,98663	-0,16954	Homojen olmayan varyanslara göre anlamli farklılık vardır, ancak hipotezin doğrulanması için örneklem sayısının artırılması gerekmektedir.
	Homojen Olmayan			-2,849	61,32	0,006	-0,57809	0,20288	-0,98373	-0,17245	
Erkekler ile Kadınların Isıl Duyum Analizi	Homojen	1,998	0,159	-1,578	200	0,116	-0,31006	0,19650	-0,69755	0,07742	Anlamli farklılık yoktur, yokluk hipotezi kabul edilmiştir.
	Homojen Olmayan			-1,763	95,82	0,081	-0,31006	0,17588	-0,65919	0,03906	

Isıl konfor koşulları farklı faktörlere göre; Isıtma, soğutma ve geçiş (sonbahar ve ilkbahar) dönemleri için Anova testi uygulanmıştır. Bu test sonucunda tespit edilen farklılıklar için farklılığın hangi grupta olduğunu anlamak üzere LSD (ileri düzey) testi yapılarak sonuçlar ortaya konulmuştur. Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11, Tablo 3.12, Tablo 3.13, Tablo 3.14, Tablo 3.15, Tablo 3.16, Tablo 3.17, Tablo 3.18, Tablo 3.19, Tablo 3.20' de görüldüğü üzere tüm dönemler için LSD testi uygulanarak anlamlılık düzeyleri belirlenmiştir. Tüm çalışanların ısıtma, soğutma ve geçiş (sonbahar ve ilkbahar) dönemlerinde ısıl algıları değerlendirildiğinde soğutma dönemi verileri diğer tüm dönemlere göre anlamlı farklılık oluşturmaktadır.

Çalışanların ısı algısı ile çalışanların tahmini ortalama oy değerleri tüm dönemler için karşılaştırıldığında çalışanların soğutma dönemi dışındaki dönemlerde kişisel tercihleri nedeniyle ısı çevreyi kabul edilebilir buldukları tespit edilmiştir. Hesaplanan PMV değerleri analiz edildiğinde ısıtma dönemi ile sonbahar dönemi haricinde anlamlı farklılık görülmektedir. Çalışanların ısı algısı ile çalışanların tahmini ortalama oy değerleri tüm dönemler için karşılaştırıldığında çalışanların soğutma dönemi dışındaki dönemlerde kişisel tercihleri nedeniyle ısı çevreyi kabul edilebilir buldukları tespit edilmiştir (Tablo 3.9-Tablo 3.10).

Tablo 3.9: Çalışanların ısı memnuniyetinin (AMV) dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken(I)	Değişken(J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,75926*	0,18933	0,000	1,3859	2,1326
	3,00	1,44872*	0,19109	0,000	1,0719	1,8256
	4,00	1,57778*	0,19831	0,000	1,1867	1,9689
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,75926*	0,18933	0,000	-2,1326	-1,3859
	3,00	-0,31054	0,18839	0,101	-0,6821	0,0610
	4,00	-0,18148	0,19571	0,355	-0,5674	0,2045
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,44872*	0,19109	0,000	-1,8256	-1,0719
	2,00	0,31054	0,18839	0,101	-0,0610	0,6821
	4,00	0,12906	0,19742	0,514	-0,2602	0,5184
4,00 (İlkbahar)	1,00	-1,57778*	0,19831	0,000	-1,9689	-1,1867
	2,00	0,18148	0,19571	0,355	-0,2045	0,5674
	3,00	-0,12906	0,19742	0,514	-0,5184	0,2602

*Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.10: Çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken(I)	Değişken(J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,08460*	0,05599	0,000	0,9742	1,1950
	3,00	1,10005*	0,05651	0,000	0,9886	1,2115
	4,00	,88697*	0,05865	0,000	0,7713	1,0026
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,08460*	0,05599	0,000	-1,1950	-0,9742
	3,00	0,01546	0,05572	0,782	-0,0944	0,1253
	4,00	-,19763*	0,05788	0,001	-0,3118	-0,0835
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,10005*	0,05651	0,000	-1,2115	-0,9886
	2,00	-0,01546	0,05572	0,782	-0,1253	0,0944
	4,00	-,21309*	0,05838	0,000	-0,3282	-0,0979
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,88697*	0,05865	0,000	-1,0026	-0,7713
	2,00	,19763*	0,05788	0,001	0,0835	0,3118
	3,00	,21309*	0,05838	0,000	0,0979	0,3282

*Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) yapılan aktivite seviyesi (ofiste tasarım,modelleme,test ve ölçüm yapanlar 1,5 metabolik oran, talaşlı imalat prosesinde makine başında sürekli ayakta çalışanlar 2,0 metabolik oran) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ısıtma dönemi ile ilkbahar dönemi korelasyonu haricinde anlamlı farklılık olduğu dolayısıyla aktivite farklılığının ısı konfor üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Tablo 3.11-Tablo 3.12).

Tablo 3.11: Met 2 olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,17543*	0,02682	0,000	1,1225	1,2284
	3,00	1,06815*	0,02635	0,000	1,0161	1,1202
	4,00	,84406*	0,02843	0,000	0,7879	0,9002
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,17543*	0,02682	0,000	-1,2284	-1,1225
	3,00	-,10728*	0,02667	0,000	-0,1600	-0,0546
	4,00	-,33137*	0,02873	0,000	-0,3881	-0,2746
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,06815*	0,02635	0,000	-1,1202	-1,0161
	2,00	,10728*	0,02667	0,000	0,0546	0,1600
	4,00	-,22409*	0,02829	0,000	-0,2800	-0,1682
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,84406*	0,02843	0,000	-0,9002	-0,7879
	2,00	,33137*	0,02873	0,000	0,2746	0,3881
	3,00	,22409*	0,02829	0,000	0,1682	0,2800

*Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.12: Met 1,5 olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	,60740*	0,17897	0,002	0,2448	0,9700
	3,00	1,28625*	0,19914	0,000	0,8828	1,6897
	4,00	,77958*	0,18179	0,000	0,4112	1,1479
2,00 (Isıtma)	1,00	-,60740*	0,17897	0,002	-0,9700	-0,2448
	3,00	,67885*	0,17897	0,001	0,3162	1,0415
	4,00	0,17218	0,15944	0,287	-0,1509	0,4952
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,28625*	0,19914	0,000	-1,6897	-0,8828
	2,00	-,67885*	0,17897	0,001	-1,0415	-0,3162
	4,00	-,50667*	0,18179	0,008	-0,8750	-0,1383
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,77958*	0,18179	0,000	-1,1479	-0,4112
	2,00	-0,17218	0,15944	0,287	-0,4952	0,1509
	3,00	,50667*	0,18179	0,008	0,1383	0,8750

*Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) cinsiyet durumu baz alınarak değerlendirildiğinde anlamlı farklılık görülmemiştir (Tablo 3.13-Tablo 3.14).

Tablo 3.13: Erkek çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,09993*	0,06443	0,000	0,9726	1,2272
	3,00	1,15289*	0,06517	0,000	1,0241	1,2817
	4,00	,97213*	0,07011	0,000	0,8336	1,1107
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,09993*	0,06443	0,000	-1,2272	-0,9726
	3,00	0,05296	0,06360	0,406	-0,0727	0,1786
	4,00	-0,12779	0,06865	0,065	-0,2634	0,0078
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,15289*	0,06517	0,000	-1,2817	-1,0241
	2,00	-0,05296	0,06360	0,406	-0,1786	0,0727
	4,00	-,18076*	0,06935	0,010	-0,3178	-0,0437
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,97213*	0,07011	0,000	-1,1107	-0,8336
	2,00	0,12779	0,06865	0,065	-0,0078	0,2634
	3,00	,18076*	0,06935	0,010	0,0437	0,3178

*Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.14: Kadın çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,03553*	0,10487	0,000	0,8242	1,2469
	3,00	,91098*	0,10487	0,000	0,6996	1,1223
	4,00	,68131*	0,09883	0,000	0,4821	0,8805
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,03553*	0,10487	0,000	-1,2469	-0,8242
	3,00	-0,12455	0,10712	0,251	-0,3404	0,0913
	4,00	-,35422*	0,10122	0,001	-0,5582	-0,1502
3,00 (Sonbahar)	1,00	-,91098*	0,10487	0,000	-1,1223	-0,6996
	2,00	0,12455	0,10712	0,251	-0,0913	0,3404
	4,00	-,22968*	0,10122	0,028	-0,4337	-0,0257
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,68131*	0,09883	0,000	-0,8805	-0,4821
	2,00	,35422*	0,10122	0,001	0,1502	0,5582
	3,00	,22968*	0,10122	0,028	0,0257	0,4337

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri (sonbahar ve ilkbahar) yapılan kıyafet durumu (ofiste tasarım, modelleme, test ve ölçüm yapanlar 1,2 clo), talaşlı imalat prosesinde makine başında çalışanlar 1,5 clo) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde ofis çalışanlarının kıyafet durumu anlamlı farklılık oluşturmazken talaşlı imalatta çalışanların kıyafet durumu anlamlı farklılık oluşturmaktadır. ISO 7730 [11] Annex C’de çalışanların iş kıyafeti durumu değerlendirildiğinde giysi yalıtımının optimum çalışma sıcaklığında 0,9 °C ile 2,2 °C arasında değişiklik oluşturabileceği görülmüştür (Tablo 3.15- Tablo 3.16).

Tablo 3.15: 1,2 clo kıyafeti olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	,58542*	0,18311	0,003	0,2141	0,9568
	3,00	1,28625*	0,20059	0,000	0,8794	1,6931
	4,00	,77958*	0,18311	0,000	0,4082	1,1509
2,00 (Isıtma)	1,00	-,58542*	0,18311	0,003	-0,9568	-0,2141
	3,00	,70083*	0,18311	0,000	0,3295	1,0722
	4,00	0,19417	0,16378	0,244	-0,1380	0,5263
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,28625*	0,20059	0,000	-1,6931	-0,8794
	2,00	-,70083*	0,18311	0,000	-1,0722	-0,3295
	4,00	-,50667*	0,18311	0,009	-0,8780	-0,1353
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,77958*	0,18311	0,000	-1,1509	-0,4082
	2,00	-0,19417	0,16378	0,244	-0,5263	0,1380
	3,00	,50667*	0,18311	0,009	0,1353	0,8780

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.16: 1,5 clo kıyafeti olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,18122*	0,02689	0,000	1,1281	1,2343
	3,00	1,06815*	0,02658	0,000	1,0157	1,1206
	4,00	,84406*	0,02869	0,000	0,7874	0,9007
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,18122*	0,02689	0,000	-1,2343	-1,1281
	3,00	-,11307*	0,02674	0,000	-0,1659	-0,0603
	4,00	-,33716*	0,02883	0,000	-0,3941	-0,2802
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,06815*	0,02658	0,000	-1,1206	-1,0157
	2,00	,11307*	0,02674	0,000	0,0603	0,1659
	4,00	-,22409*	0,02854	0,000	-0,2805	-0,1677
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,84406*	0,02869	0,000	-0,9007	-0,7874
	2,00	,33716*	0,02883	0,000	0,2802	0,3941
	3,00	,22409*	0,02854	0,000	0,1677	0,2805

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri(sonbahar ve ilkbahar) ≤ 30 yaş altı olma durumu baz alınarak değerlendirildiğinde soğutma dönemi için anlamlı farklılık görülmüş, diğer dönemlerde anlamlı farklılık görülmemiştir (Tablo 3.17-Tablo 3.18).

Tablo 3.17: Yaşı 30'a eşit veya küçük olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,09819*	0,08900	0,000	0,9213	1,2751
	3,00	1,12277*	0,08900	0,000	0,9458	1,2997
	4,00	,96442*	0,09456	0,000	0,7764	1,1524
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,09819*	0,08900	0,000	-1,2751	-0,9213
	3,00	0,02458	0,08805	0,781	-0,1505	0,1996
	4,00	-0,13377	0,09367	0,157	-0,3200	0,0524
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,12277*	0,08900	0,000	-1,2997	-0,9458
	2,00	-0,02458	0,08805	0,781	-0,1996	0,1505
	4,00	-0,15836	0,09367	0,095	-0,3446	0,0278
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,96442*	0,09456	0,000	-1,1524	-0,7764
	2,00	0,13377	0,09367	0,157	-0,0524	0,3200
	3,00	0,15836	0,09367	0,095	-0,0278	0,3446

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.18: Yaşı 30'a eşit veya küçük olan çalışanların ısı memnuniyet (AMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,84783*	0,29385	0,000	1,2637	2,4320
	3,00	1,34783*	0,29385	0,000	0,7637	1,9320
	4,00	1,34783*	0,31220	0,000	0,7272	1,9685
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,84783*	0,29385	0,000	-2,4320	-1,2637
	3,00	-0,50000	0,29071	0,089	-1,0779	0,0779
	4,00	-0,50000	0,30925	0,110	-1,1148	0,1148
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,34783*	0,29385	0,000	-1,9320	-0,7637
	2,00	0,50000	0,29071	0,089	-0,0779	1,0779
	4,00	0,00000	0,30925	1,000	-0,6148	0,6148
4,00 (İlkbahar)	1,00	-1,34783*	0,31220	0,000	-1,9685	-0,7272
	2,00	0,50000	0,30925	0,110	-0,1148	1,1148
	3,00	0,00000	0,30925	1,000	-0,6148	0,6148

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Isıtma, soğutma ve geçiş dönemleri(sonbahar ve ilkbahar) >30 yaş üstü olma farklılığı göz önüne alınarak ısı algı değerlendirildiğinde ısıtma dönemi ile ilkbahar dönemi korelasyonu haricinde anlamlı farklılık olduğu görülmüştür. Hesaplanan PMV değerleri analiz edildiğinde soğutma dönemi haricinde anlamlı farklılık görülmemektedir (Tablo 3.19-Tablo 3.20).

Tablo 3.19: Yaşı 30'dan büyük olan çalışanların tahmini ortalama oy (PMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,07364*	0,07188	0,000	0,9312	1,2161
	3,00	1,08071*	0,07311	0,000	0,9358	1,2256
	4,00	,83003*	0,07450	0,000	0,6824	0,9777
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,07364*	0,07188	0,000	-1,2161	-0,9312
	3,00	0,00707	0,07188	0,922	-0,1354	0,1496
	4,00	-,24362*	0,07330	0,001	-0,3889	-0,0983
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,08071*	0,07311	0,000	-1,2256	-0,9358
	2,00	-0,00707	0,07188	0,922	-0,1496	0,1354
	4,00	-,25069*	0,07450	0,001	-0,3984	-0,1030
4,00 (İlkbahar)	1,00	-,83003*	0,07450	0,000	-0,9777	-0,6824
	2,00	,24362*	0,07330	0,001	0,0983	0,3889
	3,00	,25069*	0,07450	0,001	0,1030	0,3984

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 3.20: Yaşı 30'dan büyük olan çalışanların ısı memnuniyet (AMV) değerlerinin dönemlere göre dağılımı.

Bağımlı Değişken: LSD Test						
Değişken (I)	Değişken (J)	Ortalama Fark (I-J)	Hata	Anlamlılık Seviyesi	95% Güven Aralığı	
					Alt Limit	Üst Limit
1,00 (Soğutma)	2,00	1,68810*	0,24791	0,000	1,1967	2,1795
	3,00	1,53571*	0,25215	0,000	1,0359	2,0355
	4,00	1,74451*	0,25696	0,000	1,2352	2,2538
2,00 (Isıtma)	1,00	-1,68810*	0,24791	0,000	-2,1795	-1,1967
	3,00	-0,15238	0,24791	0,540	-0,6438	0,3390
	4,00	0,05641	0,25280	0,824	-0,4447	0,5575
3,00 (Sonbahar)	1,00	-1,53571*	0,25215	0,000	-2,0355	-1,0359
	2,00	0,15238	0,24791	0,540	-0,3390	0,6438
	4,00	0,20879	0,25696	0,418	-0,3005	0,7181
4,00 (İlkbahar)	1,00	-1,74451*	0,25696	0,000	-2,2538	-1,2352
	2,00	-0,05641	0,25280	0,824	-0,5575	0,4447
	3,00	-0,20879	0,25696	0,418	-0,7181	0,3005

*. Ortalama fark 0,05 seviyesinde anlamlıdır.

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada standartlara göre çalışma sahasının ısıl konfor koşulları incelenmiş, endüstride talaşlı imalat sektöründe çalışanların verimli çevresel şartları ortaya konulmuştur.

Fabrika saha çalışmasından elde edilen veriler doğrultusunda:

Ortalama ve maksimum PMV değerleri soğutma dönemi için standart referans değerlerinin üzerindedir. AMV değerlerinin soğutma dönemi için %13,73', ısıtma dönemi için %88,89'u, sonbahar dönemi için %71,15'i, ilkbahar dönemi için %64,44' konfor aralığındadır. PMV değerlerinin soğutma dönemi için %3,92'si, ısıtma dönemi için %98,15'i, sonbahar dönemi için %80,77'si, ilkbahar dönemi için %80'i konfor aralığındadır. Isıtma döneminin tüm aylarında endüstriyel ısıtma ile 20 °C'de şartlandırılmış ortam, konfor koşullarını sağlamakta ve çalışan memnuniyeti ile çalışan performansını artırmaktadır. Geçiş dönemlerinin bazı aylarında da ısıtma sistemi devreye alındığından çalışanların ısıl duyumu yüksek oranda kabul edilebilir seviyeye ulaşmaktadır.

Bu çalışmanın saha verileri doğrultusunda ISO 7730'da belirtilen ısıl konfor kategorilendirmesi güncellenerek endüstriyel tesisler için uygulanabilir değerler tanımlanabilir. Bu kapsamda Kategori B PMV değerleri +0,8 arttırılarak (+0,3 <PMV <+1,3), PPD değeri % 20'nin altı olarak değerlendirilirse çalışanlar açısından daha konforlu ve dengeli bir ısıl ortam sağlanabilir.

ASHRAE Standardında %90 kabul edilebilirlik için ısıl konfor değerleri (-0,5<PMV<+0,5) olarak verilmiş olup yüksek bir ısıl konfor seviyesi istenilen durumlar için kullanılması tavsiye edilmiştir. Tipik uygulamalarda %80 kabul edilebilirlik için (-1,0<PMV<+1,0) değerleri verilmiştir. Standarttaki bu verilerin yüksek oranda ofis binalarından alınan verilerle oluşturulan ısıl konfor modeline dayandığı belirtilmiştir. Endüstriyel tesislerde standartlarda tanımlanan genel kabul edilebilir ısıl konfor değerlerinin (-0,5<PMV<+0,5) sağlanmasında zorluk bulunmaktadır. Yapılan saha çalışması sonuçları endüstriyel tesisler için ısıl konfor değerlerinin (-1,0<PMV<+1,0) olarak tanımlanabileceğini göstermiştir. Ancak standard revizyonu için endüstriyel tesislerde daha çok ısıl konfor analizi gerekliliği de yadsınamaz bir gerçektir.

İç ortam sıcaklıkları, soğutma dönemi için 28,57 °C, ısıtma dönemi için 21.43 °C, sonbahar dönemi için 21,80 °C ve ilkbahar dönemi için 23,26 °C olarak olarak ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklıklar, soğutma dönemi hariç ASHRAE-55 ve ISO 7730 standartlarında referans edilen 22-24 °C konfor sıcaklık aralığına girmektedir. Bu veri çalışanların yüzde memnuniyet değerlendirmesi ile kıyaslanmış ve iki verinin örtüştüğü görülmüştür. Soğutma döneminde ise çalışanlar standartların referans değerlerine göre şartlandırılmış ve iyileştirilmiş çevresel şartlara ihtiyaç duymaktadır.

Isıtma, soğutma ve geçiş (sonbahar ve ilkbahar) dönemlerinde aktivite seviyesi (ofiste tasarım, modelleme, test ve ölçüm yapanlar 1,5 metabolik oran, talaşlı imalat prosesinde makine başında sürekli ayakta çalışanlar 2,0 metabolik oran) farklılığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde anlamlı farklılık olduğu dolayısıyla aktivite farklılığının ısı konforu üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Endüstriyel tesislerde ağır işlerde çalışan insanlar daha yüksek aktivite seviyelerinde çalışırlar. Dolayısıyla, aktivite seviyesi yani metabolizma hızı yüksek olan çalışanlar için konforlu ortam sıcaklığı daha düşük olabilir.

Isıtma, soğutma ve geçiş (sonbahar ve ilkbahar) dönemlerinde talaşlı imalat prosesinde makine başında çalışanların kıyafet durumu 1,5 clo kriteri göz önüne alınarak değerlendirildiğinde talaşlı imalatta çalışanların kıyafet durumu anlamlı farklılık oluşturmaktadır. Saha çalışmasının yapıldığı talaşlı imalat prosesinde çalışanların iş kıyafeti durumu, ISO 7730 Annex C’de verilen giysi yalıtım değerleri ile bu yalıtım değerlerinin optimum sıcaklık üzerindeki etkisi belirlenmiştir. 1,5 clo değerinde yalıtıma sahip iş kıyafetinin optimum çalışma sıcaklığında 0,9 °C ile 2,5 °C arasında değişiklik oluşturabileceği saha çalışması sonuçlarında görülmüştür.

Yapılan çalışmada çalışanlar; 21 °C ve 22 °C iç ortam sıcaklık aralığını, %40-%50 aralığındaki bağıl nem değerlerini ve 0,10-0,14 m/s aralığındaki hava akım hızlarını temsil eden iç ortam parametrelerinin konforlu olduğunu bildirmişlerdir. Özellikle sıcaklığın 25 °C üzerine çıktığı durumlar ile bağıl nemin %30’un altına düştüğü durumlarda çalışanlar; bıkkınlık, dikkatsizlik, algılama güçlüğü, hata sayısında artış, bilişsel beceri ve el becerisi gerektiren işlerde performans düşüşü, iş güvenliği bakımından ramak kala olayların ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek sıcaklığa olan toleranslarının düşük sıcaklığa kıyasla daha az olduğunu; yani düşük sıcaklığın performans üzerindeki etkisinin yüksek sıcaklığın etkisi kadar önemli fark yaratmadığını, düşük sıcaklığın negatif etkilerinin kıyafet çeşitlenmesini artırarak büyük oranda azaltabildiklerini belirtmişlerdir.

Saha çalışması yapılan endüstriyel tesiste sadece ısıtma sistemi kurulu olup tüm yıl boyunca iklimlendirilmiş ortam mevcut değildir. Fabrikaya, iç ortam sıcaklığının standartlarda önerilen ve çalışan tercihleriyle analiz edilen aralıkta, homojen dağılımlı, nem değeri uygun, hava hızının düşük olduğu iklimlendirme sistemlerinin entegre edilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

PMV-PPD modelinin yıl boyunca şartlandırılmış ortamlarda doğal havalandırılmalı ortamlara göre daha iyi performans göstereceği değerlendirilmiştir. Bu, iklimlendirilmiş binalarda ısı konfor parametrelerinin kontrol seçeneklerinin olması, giyim ve kişisel beklentilerin çevreye uyarlanmasıyla açıklanabilmektedir.

Bu araştırmada gerçek memnuniyetsizlik yüzdesi APD ile Fanger'in tahmin edilen memnuniyetsizlik yüzdesi PPD modeli sonuçları benzer yönelim göstermiştir. Ancak gelecekte endüstride yürütülen farklı iş türlerine yönelik kapsamlı veriye dayalı güvenilir ve uyarlanabilir ısı konfor parametrelerinin belirlenmesi, analitik çözümlerin üretilmesi ve bu doğrultuda ısı konfor modelleri geliştirilmesi, saha araştırması örneklem büyüklüğünün genişletilmesi ve verilerin ampirik denklemlerle ifade edilmesi ile sağlanabilir.

Standartlara göre; ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi projelerinde binayı kullanacak bireylerin %80'inin kabul edilebileceği bir ısı çevrenin yaratılması öngörülmüştür. Ancak yapılan tüm öngörülere ve iyileştirmelere rağmen, iç ortam konfor koşulları standart değerlerinde olsa bile hâlâ bir kısım kişiler ortamda konforsuzluk hissedebilir. Metabolik farklılıklar, kilo, cinsiyet, yaş, dönemsel ve günlük rutinler, alışkanlıklar, kültür gibi kişiye özgü birçok parametre de ısı konfor üzerinde etkilidir. Isı konfor, bulunulan çevre ile fizyolojik ve düşünsel ilişki kurma hali olup bu iyilik hali de kişiden kişiye önemli farklılıklar gösterebilir. Dolayısıyla yapılacak tasarımlar, ortamı paylaşacak grubun en az %80'inin ısı algısını tatmin edecek seviyede kararlı ortam oluşturmak ve devamlılığını sağlamak üzerine olmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- [1] A. Omidvar and J. Kim, “Modification of sweat evaporative heat loss in the PMV/PPD model to improve thermal comfort prediction in warm climates”, *Building and Environment*, vol. 176, 2020, doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106868.
- [2] Q. Wu et al., “Study on thermal sensation and thermal comfort in environment with moderate temperature ramps”, *Building and Environment*, vol. 171, 2019, doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106640.
- [3] Y. Al horr et al., “Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, pp. 1–11, 2016, dx.doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2016.03.006.
- [4] Lan et al., “Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance”, *Indoor Air*, vol. 21, pp. 376–390, 2011, doi:10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x.
- [5] A.F. Dufton M.A. D.I.C., “The effective temperature of a warmed room”, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 9:59, pp. 858-861, 1930, doi: 10.1080/14786443008565057.
- [6] McGill, G., Oyedele, L.O. and McAllister, K., “An investigation of indoor air quality, thermal comfort and sick building syndrome symptoms in UK energy efficient homes”, *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 4:3, pp. 329-348, 2014, doi.org/10.1108/SASBE-10-2014-0054.
- [7] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Atlanta, 2013.
- [8] P. Ole Fanger and J. Toftum, “Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates”, *Energy Build.*, vol. 34, pp. 533-536, 2002.
- [9] S. Zhang, et al., ”Improving predicted mean vote with inversely determined metabolic rate”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 53, 2020, doi.org/10.1016/j.scs.2019.101870.
- [10] M. Humphreys, “Outdoor temperature and comfort indoor”, *Build. Res. Inf. - Build. RES Inf.*, vol. 6, pp. 92, 1978.
- [11] *Ergonomics of the Thermal Environment-Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgment Scales*, ISO 7730:2005, Switzerland, 2005.
- [12] J. Langevin, J. Wen, P.L. Gurian., “Modeling thermal comfort holistically: bayesian estimation of thermal sensation, acceptability, and preference distributions for office building occupants”, *Build. Environ.*, vol. 69, 2013, pp. 206–226.

- [13] J. Langevin, P.L. Gurian, J. Wen., “Tracking the human-building interaction: a longitudinal field study of occupant behavior in air-conditioned offices”, *J. Environ. Psychol.*, vol. 42, 2015, pp. 94–115.
- [14] D. Enescu, “A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, 2017, pp. 1353-1379, dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.175.
- [15] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. “İklim Bilgileri”.
<https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx>. Erişim tarihi: 16.01.2024.
- [16] Yüksel E., “Binalarda cephe eğiminin enerji yükleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- [17] Ceyrancı Göral N., “Farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilmesine yönelik bir yaklaşım: belediye binası tip projesi örneği”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- [18] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. “Bolu ili iklim verilerinin istatistiği”.
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx=BOLU>. Erişim tarihi: 16.01.2024.
- [19] A. Kaushik et al., “Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis”, *Building and Environment*, vol. 180, 2020, doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021.
- [20] A.F. Alajmi, F.A. Baddar, R.I. Bourisli, “Thermal comfort assessment of an office building served by under-floor air distribution (UFAD) system – a case study”, *Build. Environ.*, vol. 85, 2015, pp. 153–159.
- [21] J. Langevin, J. Wen, P.L. Gurian, “Modeling thermal comfort holistically: bayesian estimation of thermal sensation, acceptability, and preference distributions for office building occupants”, *Build. Environ.*, vol. 69, 2013, pp. 206–226.
- [22] A. Lipczynska, S. Schiavon, L.T. Graham, “Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics”, *Build. Environ.*, vol. 135, 2018, pp. 202–212.
- [23] Y. Geng et al., “The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity”, *Building and Environment*, vol. 121, 2017, pp. 158-167.
- [24] K.W. Mui et al., “Bayesian updates for indoor thermal comfort models”, *Journal of Building Engineering*, vol. 29, 2020, doi.org/10.1016/j.job.2019.101117.
- [25] Yau, Y.; Chew, B., “A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models”, *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 35, 2014, pp. 23–35.

- [26] Lan, L.; Wargocki, P.; Lian, Z., “Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort”, *Energy Build.*, vol. 43, 2011, pp. 1057–1062.
- [27] X. Ye, H. Chen, Z. Lian., “Thermal environment and productivity in the factory”, *Build. Eng.*, vol. 116, 2010, pp. 590–599.
- [28] Listiani N. Huda, “The thermal environment effect on the comfort of electronic factory worker”, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 126, 2018, doi.org/ 10.1088/1755-1315/126/1/012143.
- [29] Auliciems A and Parlow J., “Thermal comfort and personality”, *Eng. Res. Technol.* vol. 43, 1975, pp. 94–97.
- [30] M. Schweiker et al., “The influence of personality traits on occupant behavioural patterns”, *Energy and Buildings*, vol. 131, 2016, pp. 63-75.
- [31] Nikolopoulou, M., Steemers, K., “Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces”, *Energy Build.*, vol. 35 (1), pp. 95–101, doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084-1.
- [32] P. Lamsal and S. B. Bajracharya, “A review on adaptive thermal comfort of office building for energy-saving building design”, *Energies*, vol. 16., 2023, pp. 1524, doi.org/10.3390/en16031524.
- [33] *Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality*, CEN-EN15251 Thermal Environment, Lighting and Acoustics., European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2007.
- [34] R.J. A., “Global database of thermal comfort field experiments”, *ASHRAE Trans.*, vol. 104, 1998, pp. 1141–1152.
- [35] R.J., Brager, G.S., “Developing an adaptive model of thermal comfort and preference”, *ASHRAE Trans.*, vol. 104, 1998, pp. 145–167.
- [36] Brager, G.S., de Dear, R.J., “Thermal adaptation in the built environment: A literature review”, *Energy Build.*, vol. 27, 1998, pp. 83–96.
- [37] L. Jin, Y. Zhang, Z. Zhang, “Human responses to high humidity in elevated temperatures for people in hot-humid climates”, *Build. Environ.*, vol. 114, 2017, pp. 257–266, doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.02.
- [38] P. Kekal, R. Niemela, M. Tuomainen, S. Kempplila, J. Palonen, H. Riuttala, E. Nykyri, O. Sepp, K. Reijula, “Effect of reduced summer indoor temperature on symptoms, perceived work environment and productivity in office work: an intervention study”, *Intell. Build. Int.*, vol. 2, 2010, pp. 251–266.

- [39] D.P. Wyon, I.b. Andersen, G.R. Lundqvist, “The effects of moderate heat stress on mental performance”, *Scand. J. Work, Environ. Health*, vol.5 (4), 1979, pp. 352–361.
- [40] Caner İ., “Hastanelerde ısıtma ve soğutma yüklerinin ısı konfor ve enerji verimliliği açısından optimizasyonu”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2020.
- [41] M. Humphreys, “Outdoor temperature and comfort indoor”, *Build. Res. Inf. - Build. RES Inf.*, vol. 6, 1978, pp. 92.
- [42] Y. Yang, B. Li, H. Liu, M. Tan, R. Yao, “A study of adaptive thermal comfort in a well controlled climate chamber”, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 76, 2015, pp. 283–291, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.004.
- [43] T. Cheung, et al., “Analysis of the accuracy on PMV – PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II”, *Building and Environment*, vol. 153, 2019, pp. 205-217, doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.055.
- [44] R.F. Rupp, R. de Dear, E. Ghisi, “Field study of mixed-mode office buildings in Southern Brazil using an adaptive thermal comfort framework”, *Energy Build.*, vol. 158, 2018, pp. 1475–1486, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.047.
- [45] F. Zhang et al., “Effects of moderate thermal environments on cognitive performance: A multidisciplinary review”, *Applied Energy*, vol. 236, 2019, pp. 760-777.
- [46] J. Hu, Y. He, X. Hao et al., “Optimal temperature ranges considering gender differences in thermal comfort, work performance, and sick building syndrome: A winter field study in university classrooms”, *Energy and Buildings*, vol. 254, 2022, doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111554.
- [47] Altıntaş E., “Termal konfor duyarlılık ölçeğine göre ilköğretim dersliklerinin termal konfor açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2008.
- [48] R. Yao, B. Li, and J. Liu, “A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV)”, *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, 2009, pp. 2089–2096.
- [49] K. Nagano and T. Mochida, "Experiments on thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects", *Build. Environ.*, vol. 39, no. 3, 2004, pp. 267–275.
- [50] Kula Kartal, S., Mor Dirlik, E., “Geçerlik kavramının tarihsel gelişimi ve güvenilirlikte en çok tercih edilen yöntem: Cronbach Alfa Katsayısı”, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 16(4), 2016, pp. 1865-1879.

- [51] Lance et al., “The Sources of Four Commonly Reported Cutoff Criteria What Did They Really Say?”, *Organizational Research Methods*, vol. 9 (2), 2006, pp 202-220 doi.org/10.1177/1094428105284919.
- [52] M. Kwon et al., “Personal control and environmental user satisfaction in office buildings: Results of case studies in the Netherlands”, *Building and Environment*, vol. 149, 2019, pp. 428-435.
- [53] Tae Kyun Kim, “T test as a parametric statistic”, *Korean J Anesthesiol.*, vol. 68(6), 2015, pp. 540–546.
- [54] Norma de Melo Pinto et al., “Thermal comfort in industrial environment: conditions and parameters”, *Procedia Manufacturing*, vol. 3, 2015, pp. 4999 – 5006.
- [55] Sanjay Kumar et al., “Adaptive thermal comfort study of workers in a mini-industrial unit during summer and winter season in a tropical country, India”, *Building and Environment*, vol. 197, 2021, doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107874.
- [56] Aritan, “AE Bir traverten işleme tesisinde ısı konfor koşullarının ısı konfor indeksleri kullanılarak incelenmesi”, *Uluslararası J. Çevre. Bilim. Teknoloji*, vol. 16 , 2019, pp. 5285–5288, doi.org/10.1007/s13762-019-02378-4.
- [57] Ruzena Kralikova et al., “Thermal Environment Evaluation According to Indices in Industrial Workplaces”, *Procedia Engineering*, vol. 69, 2014, pp. 158 – 167, doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.216.
- [58] A. R. Ismail et al., “Assessment of Thermal Comfort at Manual Car Body Assembly Workstation”, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol:3, no:6, 2009.
- [59] N. Eskin ve T. Aker, “Binalarda Isıl Konfor Hesaplama Yöntemleri Ve Kullanıcı Değerlendirmesi ile Karşılaştırılması”, *14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan 2019, s. 1053-1059.

EKLER

EK A: Araştırma çalışmasına yönelik firmadan alınan izin yazısı.

08.11.2022

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIğINA

Fakülteniz Makine Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans ğrencisi Şükran ZBAğ'ın tez çalışması kapsamında 14.11.2022 – 05.06.2023 tarihleri arasında **YENİ ÖZTÜRK KALIP PARÇA MAKİNE METAL SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.** fabrika sahasında dört dönemlik periyotlarla sıcaklık, nem, radyant sıcaklık, hava akım hızı ölçümleri yaparak çalışma ortamının termal açıdan değerlendirilmesini anket yoluyla personele sormasında herhangi bir sakınca yoktur.

Gereği için bilgilerinize arz ederim.

FİRMA İLETİŐİM BİLGİLERİ

Tel: 0374 243 9321

e-mail: info@yeniozturkkalip.com

web: <http://www.yeniozturkkalip.com/>

Adres: Susuzkınık OSB Mevkii 11.Cadde No:6 Merkez / BOLU

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Şükran ÖZBAĞ

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/MakineMühendisliği	2021-...
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2007-2012
Lise	Bolu Atatürk Anadolu Lisesi	2002-2006