

DOĞAL YOL İLE HAVALANDIRILAN BİR SANAYİ KURULUŞUNDA ISIL KONFOR İNCELEMESİ VE GİYSİ FAKTÖRÜ, METABOLİK ORAN, ÇALIŞAN AĞIRLIĞININ KONFORA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

*Kemal Furkan SÖKMEN **

Alınma:22.02.2018; düzeltme:25.10.2018; kabul:10.12.2018

Öz: Bu çalışmada otomotiv sektöründeki firmanın termal konfor şartları ve çalışan kilosuna, giysi yalıtım faktörü, metabolik oranın termal konfor üzerinde etkilerini incelenmiştir. Konfor ölçümleri 6 bölümde yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı bölümler kalıphane, kaynak, pres, boya, montaj ve boyahane bölümleridir. Ölçümler DELTA OHM 52.1 marka ekipmanlar ve yazılımı ile yapılmıştır. Giysi faktörü ölçümlerde 0,8 clo olarak alınmıştır. Metabolik oran değerleri bölümlerine bağlı olarak düşük 100 W/m² ve orta 135 W/m² değerler olarak kabul edilmiştir. Giysi faktörü etkisinin incelenmesinde değerler 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1 clo olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda fabrika içinde termal konfor bakımından en iyi ve kötü bölümün sırasıyla lojistik ve kalıphane olduğu tespit edilmiştir. Çalışanların düşük giysi faktörü değerlerinde özellikle iş yoğunluğunun yüksek olmadığı sabah saatlerinde ortamı daha konforlu hissettikleri görülmüştür. Çalışmada dikkate değer bir sonuç olarak ağırlığı 80 kg'ın üzerindeki kişilerin ortamı daha sıcak hissettikleri yapılan anket sonucu belirlenmiştir. Yüksek metabolik oranda çalışan kişilerin düşük metabolik oran gerektiren işlerle değişimli çalışmasının konfor hissi bakımından önemli olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, ısı baskısı, metabolik oran, giysi yalıtım faktörü, WBGT, PMV

Thermal Comfort Examination in an Industrial Establishment Ventilated Naturally and Investigation of the Effects of Clothing Factor, Metabolic Rate, Comfort of Working Weight

Abstract: In this study, the thermal comfort conditions of the company in the automotive sector and the effects of working weight, clothing factor, metabolic rate on thermal comfort were investigated. Thermal comfort measurements were done in 6 divisions. The divisions that the measurements were done are molding, welding, pressing, dye house, assembling and logistic. The measurements were done via DELTA OHM 52.1 labeled equipments and software. The clothing factor is taken as 0,8 clo during measurements. Metabolic rates varies between low 100 W/m² and medium 135 W/m² ratios depending to their divisions. During examination of the clothing factor, the rates were selected as 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1 clo. As a result of the study, it was determined that the best and worst thermal comfort in the factory are respectively logistics and molding. On low ratio clothing factor, employees feel more snug especially during morning hours as workload is not high was seen. During the research, the people whose weight are over 80 kg. feel surrounding much more hot was determined as significant finding as the conclusion of survey. The importance of alternate shift between the employees work with high metabolism ratio and the employees work with low metabolism ratio ascertained.

Keywords: Thermal comfort, heat pressure, metabolic rate, clothing insulation factor, WBGT, PMV,

* Bursa Teknik Üniversitesi 152 Evler Mahallesi Eğitim Caddesi 1.Damla Sok.No:2/10 16330 Yıldırım/BURSA
İletişim Yazarı: Kemal Furkan Sökmen(furkan.sokmen@btu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişmekte olan sanayi ülkelerinde işçi sağlığı ve güvenliği kapsamında işçi performansını, işin devamlılığını etkileyen parametreler üzerine çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalardan birinde çalışan performansına ve sağlığına %54 ile ortamının ısıl konforunun etki ettiği tespit edilmiştir. Çalışmanın yapıldığı işletmede çalışanların sıcaklık yüzünden aşırı yorgunluk ve konsantrasyon sorunları yaşadığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak çalışma ortamının termal konforunun üretim kapasitesi ve çalışanın işte devamlılığını direk etkilediği görülmüştür (Fisk ve Rosenfeld, 1997; Kjellstrom ve diğ., 2009; Shikdar ve Sawaqed, 2003). Bu sebeple termal konfor üretkenliğin, verimliliğin, çalışan konforunun temel parametreleri arasına yerleşmiştir (HSE, 1999). Çalışma alanındaki termal parametreler iş güvenliği standartlarına uygun şartları sağlamalıdır. Çünkü hava sıcaklığının değişimi, kontrol edilemeyen ısı kaynakları üretim oranlarını düşürebilmekte, iş kazalarına sebebiyet verebilmekte ve çalışan sağlığını kötü yönde etkilemektedir (One, 2003; Orosa ve Oliveira, 2010; Shikdar ve Sawaqed, 2003). Isıl konfor üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda da konfor şartlarının çalışan performansına etkileri detaylıca incelenmiştir (Epstein ve Moran, 2006; Fox, 1967; McIntyre, 1980; Parsons, 1993). Sıcak ortamda, çalışan birinin yaptığı işe bağlı olarak vücut sıcaklığının yükselmesiyle bir risk altına girdiği tespit edilmiştir. Vücut sıcaklığının yükselmesi ile çalışanın fiziksel, zihinsel kapasitesinin olumsuz yönde etkilendiği ve iş kazası riskinin arttığı çalışmalar sonucu ortaya konmuştur. Isıl konforsuzluğun devam etmesi halinde ısı çarpması, krampı ve bazı patolojik etkilerin görüldüğü belirtilmiştir (Bridger, 2003; Y. Epstein ve Roberts, 2011; Hales JRS, 1987; Kerslake, 1972; Ramsey, 1995; Ramsey ve diğ., 1983). İnsanların çalışma saatlerinin %90'nını binalarda ve ofislerde geçirdiği düşünüldüğünde iç hacimlerde yer alan ofislerin ve çalışma alanlarının ısıl konfor ölçümü ve değerlendirilmesi önemli hale gelmiştir (Skoog ve diğ., 2005; Zhang ve Niu, 2003). Isıl konforu etkileyen başlıca parametrelerin hava sıcaklığı, nemi, hava hareketi, ve ışınım ile olan ısı transferi olduğu belirlenmiştir (Holm ve Engelbrecht, 2005; Parsons, 2000; Pfafferott ve diğ., 2005; Yamankaradeniz ve diğ., 2008; Skoog ve diğ., 2005). Ayrıca termal konforun insanların sıcaklık ve soğukluk hislerine göre şekillenen bir reaksiyon olduğu, çalışanların kıyafetlerine, yaptıkları işin zorluğuna, hareketliliğine de bağlı olduğu tespit edilmiştir (Yamankaradeniz ve diğ., 2008; Pfafferott ve diğ., 2005). Çalışanların giydiği kıyafetler, kıyafetlerin biofiziksel özellikleri, sıcaklığı dağıtabilme özellikleri, renkleri çalışanların ısıl konforu için önemli diğer parametreler olduğu Goldman (2001) tarafından ortaya konmuştur. Çalışma ortamında termal konfordan bahsetmek için çalışanların en az %80'ninin ortam sıcaklığı, nemi, hava dağılımından memnun olması gerekmektedir (Beaton ve diğ., 2004). Konfor ortamının bozulması çalışmada 3 farklı adaptasyon ihtiyacının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunlar psikolojik, davranışsal ve fizyolojik değişim ve etkileşimlerdir. ASHRAE (55-2004) ve ISO (7730) gibi standartlarla çalışma alanlarının konforu için gerekli ana parametreler belirlenmiştir. (Ansi/Ashrae, 2004; ISO 7730 International Standard, 1994). Isıl konforun çalışılan ortamda değerlendirilmesi için öncü çalışmalardan biri Fanger tarafından yapılmıştır. Çalışanın metabolik oranını, kıyafet özellikleri, çevre hava sıcaklığı, hızı ve nemini temel alan bir hesaplama ile PMV (Predicted Mean Vote) termal konfor parametresi bulunmaktadır (Fanger, 1970, Ho ve diğ., 2009). Isıl konforun belirlenmesinde bir diğer parametre PPD (Predicted percentage of dissatisfaction) parametresidir. PPD, ısıl konfordan memnun olmayan kişi oranını vermektedir. PMV skalasına göre ortam nötr olarak çıksa bile memnuniyetsizlik oranı %5 olabilmektedir (Guan ve diğ., 2003). PMV ve PPD değerinin hesabında çalışanın metabolik oranının doğru tespit edilmesi önemlidir. Yapılan işe bağlı olarak bir kaynakçının metabolik oranının belirlenmesi üzerine Broday ve diğ. (2004) yaptığı araştırmaya göre ISO 8996 standartlarından alınan değerlerin gerçek şartlara yakın olduğu belirlenmiştir. Termal konfor şartlarının tespit edilmesinde çalışan üzerinde oluşan ısı yükünün tespiti gerekmektedir. WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature) kişinin maruz kaldığı ısı baskısını ifade eden bir değerdir. WBGT indeksi uluslararası standartlar içinde yerini almış

ve ilk olarak 1950 yılında ABD ordusu içinde yapılan çalışmalarda belirlenmiş bir indekstir (Budd, 2008; Lemke ve Kjellstrom, 2012). Lenke ve Kjellstrom (2012) yaptıkları çalışmada termal konfor hesaplamaları için en uygun yöntemin WBGT hesabı olduğunu diğer metotlarla karşılaştırarak belirlemiştir. WBGT değerinin 32,22 °C ve üstüne çıkması halinde çalışan performansında gözle görülür düşmeler olduğu belirlenmiştir. WBGT değerinin 26,67 °C bulması ya da aşmasıyla çalışanlarda öğrenme ve hafıza yeteneklerinde olumsuz etkiler bıraktığı tespit edilmiştir (Pilcher ve diğ., 2002). Termal konforun çalışanın davranışlarını etkilediğini ortaya koyan başka bir çalışmada WBGT değerinin 17-23°C'de olması halinde çalışanın daha dikkatli olduğu, güvenliğe dikkat ettiğini ortaya koymuştur. WBGT değerinin 26 °C'yi aşması halinde güvensiz davranışlara sebep olacağı ortaya konmuştur (Ramsey ve diğ., 1983). İsmail ve diğ. (2013) Malezya otomotiv sektöründe termal konfor şartları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada ortam termal konfor ölçümlerinde BABUC A marka ve modelinde ekipman kullanılmıştır. En uygun termal şartların lastik montaj hattında olduğu en uygunsuz şartlarında boya ve motor toplama atölyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük PMV değeri 1,09'dan 1,41 değişirken, PPD değeri %46 olarak tespit edilmiştir. Termal koşulların en kötü olduğu motor toplama ve boya departmanında PMV değerleri sırasıyla 2,1 ve 2,9, PPD değeri ise %81 ve %99 olarak tespit edilmiştir (İsmail, ve diğ. 2013).

Bu çalışmada orta ölçekli bir otomotiv yan sanayisinde 6 departmanda termal konfor ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklılaştıran ve özgünlük katan araştırma konuları; konfor ölçümlerinin PMV, PPD, WBGT değerlerinin her üçü açısından değerlendirilmesi, ölçümlerin mesai saatleri boyunca yapılması, çalışan kilosunun ısı konfor hissini üzerindeki etkisinin araştırılması ve çalışma metabolik oranı yüksek çalışanların daha düşük metabolik oranlı işlere geçişinin incelenmesidir. Ayrıca çalışmada giysi faktörünün yaz ayları içinde çeşitlenmesi ile ısı konforunun değişiminin incelenmesi çalışmaya farklılık katmaktadır. Çalışmada ölçüm yapılan 6 bölümün her birinde bölüm içinde aynı işi yapan 10 kişi ile PMV ve PPD değerini değerlendiren anket yapılmıştır. Anket değerleri ile hesaplama değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışanların giysi yalıtım faktörü, metabolik oran değişimlerine bağlı olarak konforlu bir ortama nasıl sahip olabilecekleri üzerine öneriler sunulmuştur. Termal konfor açısından günün en kritik zamanı tespit edilmiştir. Ölçümler ve sonuçları 08:00-18:00 arası yapılmış ve değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

PMV değeri çalışanın ısı konforu algılama seviyesini gösteren, ortamda hissedilen sıcaklığı ya da soğukluğu notlayan, ASHRAE'nin 7 noktadan oluşan termal duyarlılık çizelgesidir. Çizelge -3 ile +3 arası değişim göstermektedir. PMV değerini hava sıcaklığı, hızı, nemi, çalışanın bedensel aktivitesi ve kıyafet özellikleri gibi etmenler etkilemektedir (Şekil.1). PMV değeri Eşitlik.1'e göre hesap edilmektedir.

$$PMV = (0,303e^{-2,100 \cdot M} + 0,0028) * [(M - V) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki H, E_c, C_{res}, ve E_{res} değerleri kişi vücudu ile çevre arasında olan ısı transferi çeşitlerini temsil etmektedir.

$$H = 3,96x10^{-8}x f_c x [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} x h_c x (t_{cl} - t_a) \quad (2)$$

$$E_c = 3,05x10^{-3}x [5733 - 6,99x(M - V) - p_a] - 0,42x[(M - V) - 58,15] \quad (3)$$

$$C_{res} = 0,0014xMx(34 - t_a) \quad (4)$$

$$E_{res} = 1,7x10^{-5}xMx(5867 - p_a) \quad (5)$$

Değer	Duyarlılık
3	Sıcak
2	Ilık
1	Hafif ılık
0	Nötr
-1	Hafif serin
-2	Serin
-3	Soğuk

Şekil 1.

ASHRAE Isıl duyarlılık çizelgesi ("Predicting Thermal Comfort Fanger Comfort Analysis," n.d.)

PMV değerinin hesabında kıyafetin yüzey sıcaklığını tespit etmek oldukça zordur. Bu değer iterasyon metoduyla aşağıdaki Eşitlik 6 ve 7 yardımıyla çözülmektedir.

$$\frac{t_{sk}-t_{cl}}{I_c} = 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + (t_r + 273)^4 + f_{cl} \times h_c (t_{cl} - t_a) \quad (6)$$

$$t_{sk} = 35,7 - 0,028(M - W) \quad (7)$$

PMV değerinin hesabında h_c ısı taşınım katsayısının hesabı ve I_c değerleri ISO 7730 standardında verildiği gibi alınmış ve hesaplanmıştır. PPD değeri Eşitlik.8 yardımıyla PMV değerinin yardımıyla hesap edilmektedir.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (8)$$

WBGT indeksi iki türetilmiş parametre ölçüsü olan, doğal yaş termometre sıcaklığı (t_{nw}) ile radyasyon sıcaklığını (t_g) ve bazı durumlarda da hava sıcaklığının (t_a) (kuru hazne sıcaklığı) sonucudur (Lemke ve Kjellstrom, 2012). WBGT hesabında güneş yükü olan dış yapılar için verilen Eşitlik 9 temel alınmıştır.

$$WBGT = 0,7t_{nw} + 0,2t_g + 0,1t_a \quad (9)$$

Elde edilen WBGT değerleri Tablo 1'de verilmiş olan ve ISO 7243 standartında izin verilen WBGT referans değerleriyle mukayese edilmektedir. Tablo 1'de kritik WBGT değerleri alıştırmış ve alıştırmamış olarak 2 kısımdır. Burada "Alıştırmış" ifadesi çalışma ortamında uzun süredir çalışan ve ortama alışık kişilerin yani adapte olmuş çalışanların WBGT değeri ile Alıştırmamıştan kasıt çalışma ortamına adapte olmamış kişilerin WBGT değerini kastetmektedir. Çalışmada çalışanların güvenliği açısından kötü senaryo üzerinden değerlendirme ile "Alıştırmamış" WBGT eğerleri temel alınmıştır. Vücut içerisinde tüketilen toplam enerji miktarını gösteren metabolik oran ve değerlerinin endüstride birçok çalışma pozisyonuna göre sınıflandırılması TS EN 27243 (2002)'de verilmiştir. Bu çalışmada metabolik oran değerleri TS EN 27243 (2002)'den alınmıştır.

Tablo 1. ISO 7243: WBGT referans değerleri (Parsons, 2006)

Metabolik oran (W/m ²)		WBGT referans değerleri	
		Alıştırmış (°C)	Alıştırmamış (°C)
1 Dinlenme	Dinlenme M < 65	33	32

2 Düşük	$65 < M < 130$	30	29
3 Orta	$130 < M < 200$	28	26
4 Yüksek	$200 < M < 260$	25 (26)*	22 (23)*
5 Çok Yüksek	$M > 260$	23 (25)*	18 (20)*

2.2. Deneysel Çalışma

Türkiye’de Otomotiv sektörü en geniş üretim ağına sahip sektördür. Çalışmamızda OEM gruplarına parça üretimi yapan, 324 kişinin çalıştığı bir fabrikanın ısı konfor ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler fabrikada 6 farklı bölümde aynı anda yapılmıştır. Bu departmanlar kalıphane, kaynak atölyesi, pres bölümü, montaj bölümü, boya ve lojistik bölümlerinden oluşmaktadır. Ölçümler Delta OHM 32.1 cihazı ile yapılmıştır (Şekil.2).



Şekil 2:
Delta OHM 52.1

Cihazın ve ölçüm sensörlerinin kalibrasyonu Türkiye Cumhuriyeti Devleti resmi kurumu TÜRKAK kontrolünde Protos Kalibrasyon laboratuvarlarında yapılmıştır. Ölçümler 07.07.2017 günü mesai saati boyunca (08:00-18.00) her yarım saatte bir veri alınarak yapılmıştır. Ölçüm sensörlerinin ölçüm aralığı ve hata oranı Tablo.2’de verilmiştir.

Çalışmada her bölümden 10 çalışan ile ortam konforu üzerine anket yapılmıştır. Anket yapılan kişilerin yaşı, cinsiyeti, kilosuna gibi parametreler ankette dikkate alınmış ve Tablo 3’de verilmiştir.

Ölçüm yapılacak 6 bölüm Bilgemed İş Sağlığı ve Güvenliği Ölçüm Laboratuvarı ölçüm ekibi tarafından önceden incelenmiş ve en uygun ölçüm yeri tespiti yapılmıştır. Cihaz çalışma şartlarını engellemeyecek şekilde bölümlerde çalışanlara en yakın yere yerleştirilmiştir. Çevre ölçüm değerleri Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği tarafından günlük yapılan resmi ölçümlerden alınmıştır. Çalışma ortamında ofisler hariç çalışanlar iş tulumları ile çalışmaktadır. İş elbiseleri için giysi yalıtım değeri İsmail ve diğ. (2013) çalışmasında olduğu gibi 0,8 clo olarak alınmıştır. Çalışanların metabolik oranları ISO 8996’ya göre literatür çalışmalarından referans alınarak seçilmiş olup ölçüm yapılan iş yerinde düşük ve orta metabolik seviyesinde çalışıldığı belirlenmiştir. Her bölümün metabolik oranı Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 2: Ölçüm cihazları ölçüm aralığı ve hata oranları

Ölçüm sensörleri	Ölçüm aralığı	Hata oranı
Kuru termometre sensörü (TP 3207)	-10 °C to 100 °C	± 0.15%
Anemometre (Hız ölçer) sensörü (AP 3203)	0.05÷5 m/s	± 0.02 m/s (0.05÷1 m/s) ± 0.1 m/s (1÷5 m/s)
Glop termometre Ø=150 mm ISO 7243- ISO 7726 (TP 3275)	-30 °C to 120 °C	± 0.15%
Yaş termometre sensörü (HP 3201)	+4 °C to +80 °C	
Nem ölçme sensörü (HP 3217)	-30°C ... +100°C Nem 5%RH÷98%RH	± 2.5%

Tablo 3. Bölümlere göre çalışan yaş ve kilo aralığı

Bölüm	Yaş aralığı	Kilo aralığı
Kalıphane	35-46	68-89
Kaynak	27-39	70-91
Pres	32-45	64-85
Boya	27-35	68-83
Montaj	32-51	71-92
Lojistik	26-53	67-87

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ölçümlerin yapıldığı gün içinde en yüksek ve düşük çevre sıcaklığı 28,4°C, 21,8°C iken çalışma ortamı sıcaklığı 31°C ve 24°C, çevre için en yüksek ve düşük nem oranı %61,3, % 44,7 iken çalışma ortamında %54, %42 olarak ölçülmüştür. Konfor ölçümü yapılan bütün bölümlerin PMV, PPD ve WBGT değerleri minimum ve maksimum olarak Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Bölümlere göre ısı konfor sonuçları

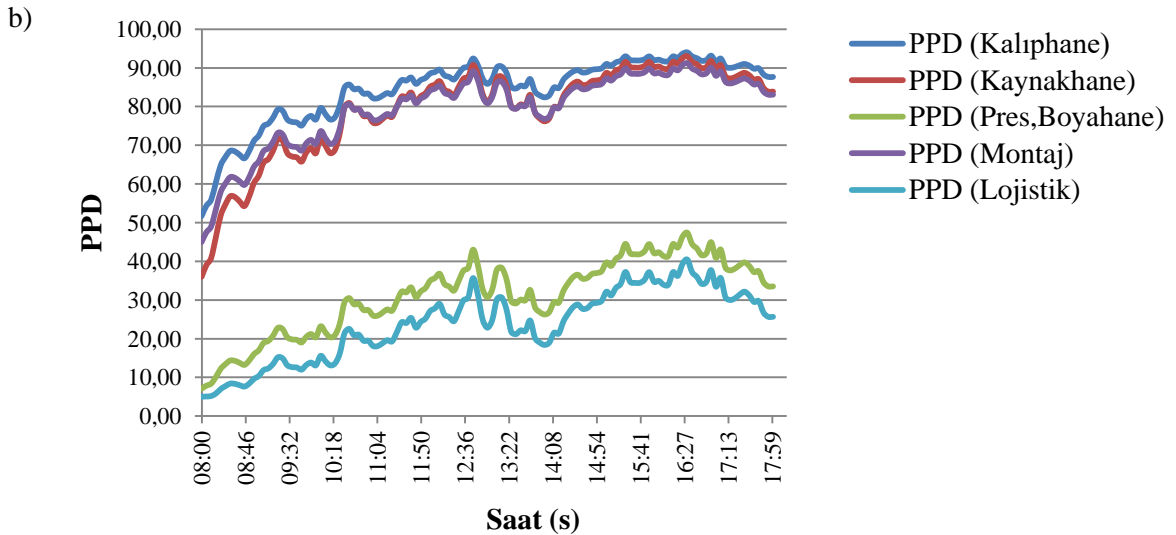
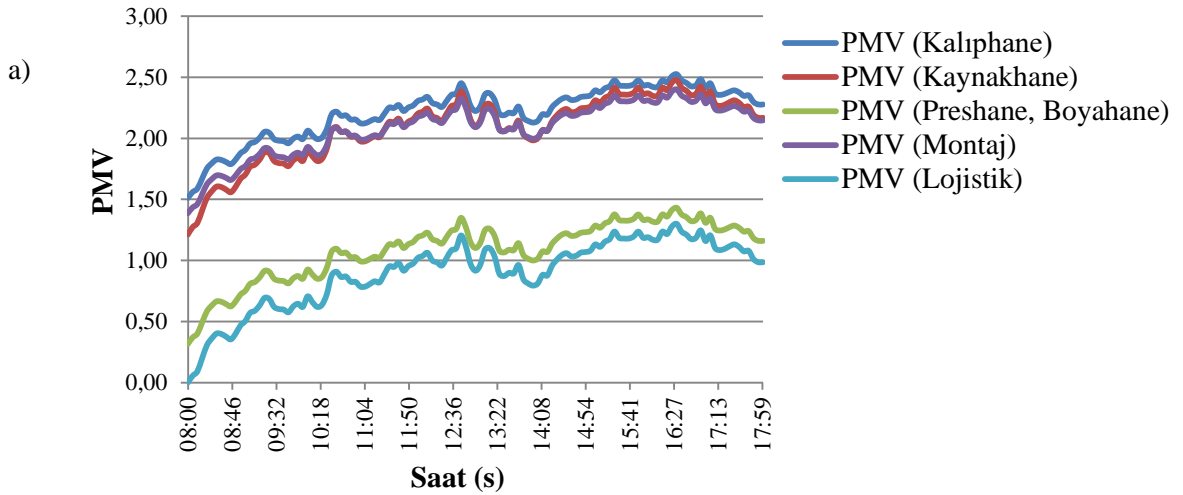
Bölüm	Isıl konfor ölçüm sonuçları
Kalıphane 135 W/m ²	PMV: Min 1,51 (08:00), Max 2,52 (16:30)
	PPD : Min %51,7 (08:00), Max %94 (16:30)
	WBGT: Min 22°C (08:00), Max 30°C (16:30)
Kaynak Atölyesi 100 W/m ²	PMV : Min 1,21 (08:00), Max 2,48 (16:30)
	PPD : Min %36 (08:00), Max %93 (16:30)
	WBGT: Min 23°C (08:00), Max 28°C (16:30)
Preshane/Boya 90 W/m ²	PMV : Min 0,32 (08:00), Max 1,43 (16:30)
	PPD : Min %7,1 (08:00), Max %47,4 (16:30)
	WBGT: Min 17°C (08:00), Max 23°C (16:30)
Montaj 100 W/m ²	PMV: Min 1,51 (08:00), Max 2,47 (16:30)
	PPD: Min %51,7 (08:00), Max %92,8 (16:30)
	WBGT: Min 22°C (08:00), Max 29°C (16:30)

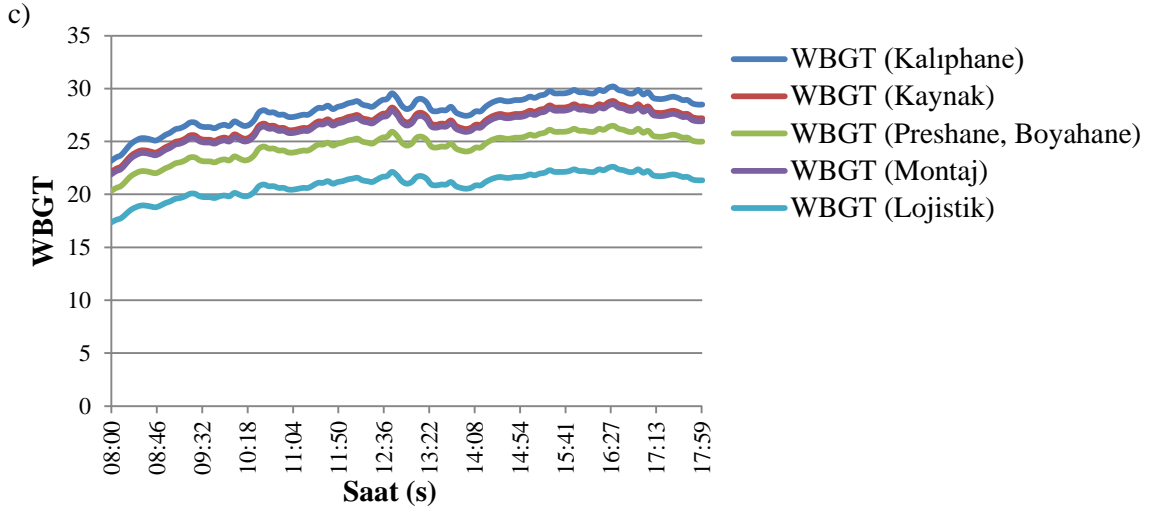
Lojistik 100 W/m ²	PMV: 0 Min 0 (08:00), Max 1,3 (16:30)
	PPD: Min %5 at (08:00), Max %40,4 (16:30)
	WBGT: Min 17°C (08:00), Max 23°C (16:30)

Şekil 3 a, b, c'den ve Tablo 4'den görüldüğü üzere iş yükünün, hava sıcaklığının ve neminin yüksek olmadığı sabah saatlerinde özellikle işin başladığı 08:00 için PMV, PPD ve WBGT değerlerinin en düşük olduğu tespit edilmiştir. İlerleyen zamanla proseslerin çalışmaya başlaması ve çevre sıcaklığının artışı ile değerlerde artış gözlemlenmiştir. Giderek artan iş yoğunluğu ve çevresel etkiler konfor şartlarının bozulması yönünde tesir göstermiştir. Öğle yemeği saatine kadar konfor şartlarında olumsuz etkiler devam etmiştir. Öğle arası ile çalışan iş ara vermesi, proseslerin durması ve ısı kaynağı olan makinaların durması konfor hissini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Fakat işe tekrar başlama ile sıcaklık artışı, iş yükü artışı ile konfor hissi giderek kötüleşmiş ve saat 16:30 gibi maksimum değerine ulaştığı görülmüştür.

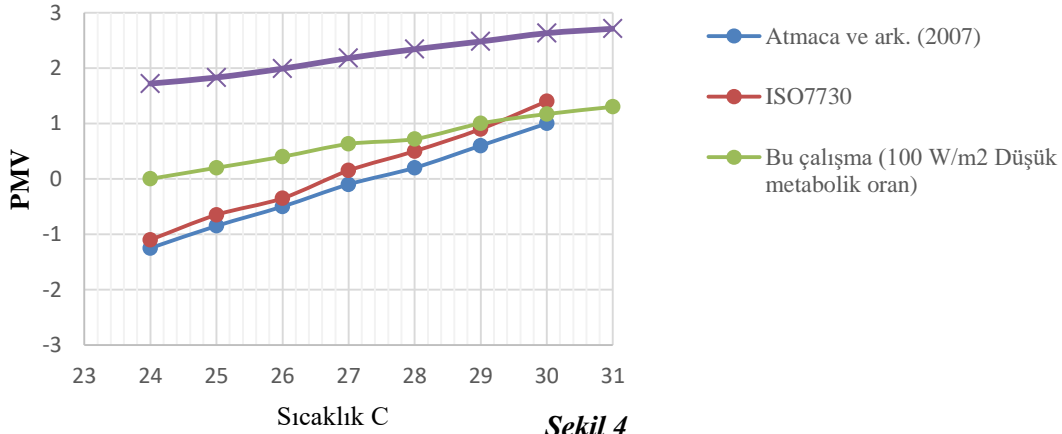
Artan sıcaklık ile PMV değerinin düşük ve orta metabolik oran için yükseldiği tespit edilmiştir. Atmaca, ve diğ. (2007) çalışmasında verilen PMV değerleride sıcaklıkla beraber yükselmektedir. Burada grafiklerin eğimleri farklılık göstermekle birlikte çalışmamızda metabolik oranların dikkate alınması yükseliş eğimindeki farka sebebiyet verdiği düşünülmektedir. (Şekil.4).

PMV, PPD ve WBGT değerlerinin iş yükünün artması ve çevre sıcaklığının artmasıyla yükseldiği Şekil 5 a,b,c'den görülmektedir.

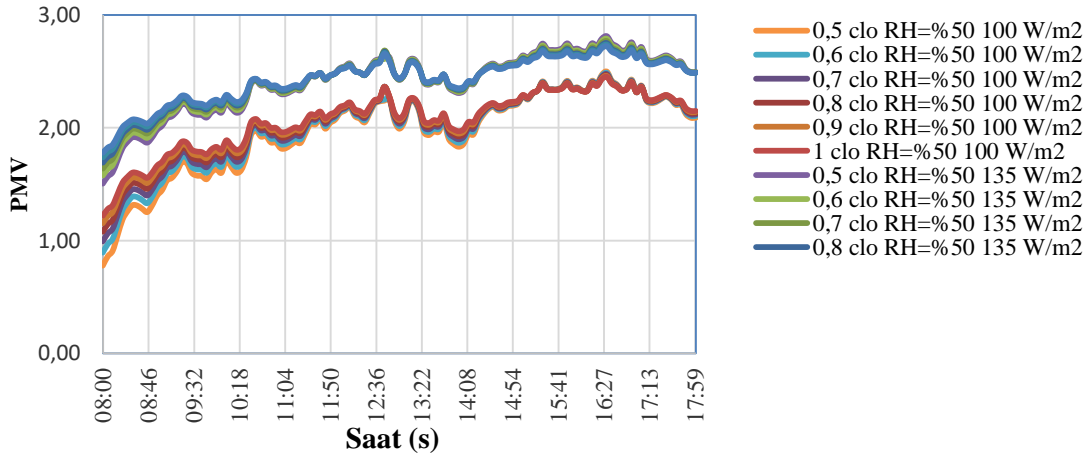




Şekil 3
a.) Günlük PMV b.) Günlük PPD c.) Günlük WBGT dağılımı



Şekil 4
Düşük ve orta metabolik oranlarında sıcaklık-PMV ilişkisinin Atmaca ve ark (2007) ve ISO 7730 ile karşılaştırılması



Şekil 5.
Orta ve düşük metabolik oranlarda değişken giysi yalıtım faktörünün PMV değerine etkileri

Çalışmada düşük (100 W/m^2) ve orta metabolik oran (135 W/m^2) değerleri için giysi yalıtım değeri 0,5, 0,6 0,7, 0,8, 0,9 ve 1 clo için ısı konfor şartlarının nasıl değiştiği Şekil 5’de verilmiştir. Her iki metabolik oran seviyesinde küçük giysi yalıtım değerlerinin sabah saatlerinde daha etkili olduğu görülmektedir. Bu durum zamanla iş yükünün artması buna bağlı olarak metabolik oranın artmasına sebep olmakta ve giysi yalıtım faktörünün etkisinin azalması şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca giysi yalıtım faktörünün sabah saatlerinde düşük metabolik (100 W/m^2) oranda daha fazla etkili olduğu görülmüştür.

Bütün bölümlerde ölçümler yapılırken çalışanlarla yapılan anketlerde Tablo 6’den görüleceği üzere 80 kg ağırlığın üzerindeki kişilerin buldukları ortamı olduğundan daha sıcak hissettikleri tespit edilmiştir. Anket sonuçlarında PMV değerleri açısından hesaplamalarla elde edilen sonuçlara göre anket sonuçlarının 0,5 birim yukarı olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin anket sorusunda Şekil 1 skalası üzerinden cevap alınması olduğu düşünülmektedir. Skalada ara değerlerinin bulunmamasının bu sonucu ortaya çıkardığı düşünülmektedir.

Table 5: Anket sonuçları

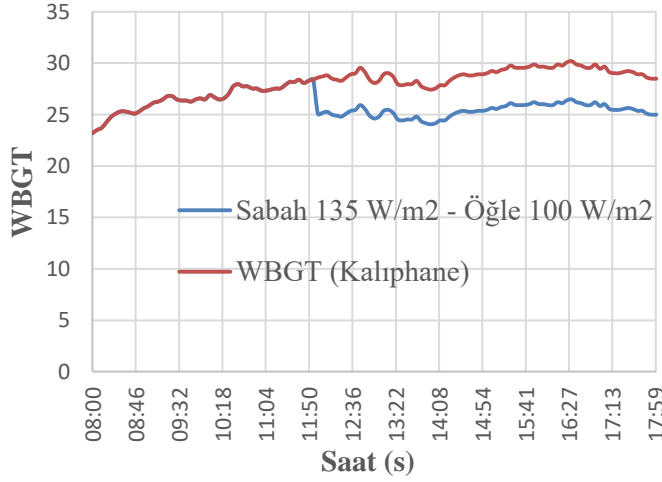
Kalıphane										
Yaş//Kilo(kg)	35/70	36/80	42/79	36/75	45/82	46/83	38/72	40/76	41/78	38/71
PPD (am/pm)	2/3	3/>3	2/3	2/3	3/>3	3/>3	2/3	2/3	2/3	2/3
PMV (am/pm)	%70- %100									
Kaynak bölümü										
Yaş//Kilo(kg)	27/72	32/89	33/82	35/85	37/71	38/80	39/76	40/81	42/85	45/91
PPD (am/pm)	2/3	3/>3	3/>3	3/>3	2/3	3/>3	2/3	3/>3	3/>3	3/>3
PMV (am/pm)	%30-%100									
Montaj										
Yaş//Kilo(kg)	32/71	34/82	35/77	36/79	36/82	38/83	38/72	41/89	43/80	51/85
PPD (am/pm)	2/3	2/3	2/3	2/3	3/>3	3/>3	2/3	3/>3	3/>3	3/>3
PMV (am/pm)	%50-%90									
Pres Bölümü										
Yaş//Kilo(kg)	31/64	33/75	36/79	37/75	37/83	42/84	42/72	44/76	44/81	46/85
PPD (am/pm)	1/1	1/1	1/2	1/1	1/2	1/2	1/1	1/1	1/2	1/2
PMV (am/pm)	%10-%50									
Boyahane										
Yaş//Kilo(kg)	27/68	37/80	39/77	40/76	41/82	43/83	43/72	45/76	47/78	48/83
PPD (am/pm)	1/1	1/2	1/2	1/1	1/2	1/2	1/1	1/1	1/2	1/2
PMV (am/pm)	%10-%60									
Lojistik										
Yaş//Kilo(kg)	26/67	29/76	33/82	36/73	37/87	39/85	41/78	41/73	45/82	48/87
PPD (am/pm)	0/1	0/1	0/2	0/1	0/2	0/2	0/1	0/1	0/2	0/2
PMV (am/pm)	%0-%50									

Isıl konfor ölçümlerine ve hesaplamalarına göre lojistik bölümü en iyi ısı konfor şartlarına sahip bölümdür. Bölüm fabrikanın dış çevreye en yakın ve çevre şartlarından direk olarak etkilenen bölümdür. Doğal yolla havalandırılmaktadır. Bölümde PMV değeri sabah saatlerinde (0) nötr iken saat 16:30 gibi maksimum değeri olan 1,3 değerine ulaşmaktadır. Şekil 5 a,b,c incelendiğinde saat 16.30 gibi PMV, PPD ve WBGT değerlerinin bütün bölümlerde maksimum yaptığı görülmektedir. Değerlerin günün en sıcak saatlerinde öğle 12.00-13:00 gibi maksimum olması beklenirken maksimum değerlerin 16:30 gibi görünmesinin sebebi şöyle açıklanabilir. 12:00-13:00 saatleri arası öğle tatili olması çalışanların buldukları ortamı terk etmesi, metabolik oranlarının düşmesi olabilir. Otomotiv sektörü için yapılan başka bir çalışmada lojistik bölümü çalışanları için düşük metabolik oran değeri olan 116 W/m^2 alınmıştır (A.R.

Ismail et al., 2010). Bu çalışmada lojistik bölümü yine düşük metabolik oran seviyesinde kabul edilip TS EN 27243 (2002) standardına göre ortalama düşük metabolik oran değeri 100 W/m² olarak seçilmiştir. Memnuniyetsizlik oranı PMV değeri gibi sabah saatlerinde minimum değeri %5 iken 16.30'da maksimum memnuniyetsizlik oranı olan %40,4 ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda Guan, Y. ve ark. (2003) çalışmasında olduğu gibi sabah saatlerinde ortam ısı konfora sahip olsada PPD değerinin sıfırdan farklı olabileceğini göstermektedir. WBGT değerleri sabah saatlerinde 17°C iken Şekil 5 c'den görüleceği üzere 16.30'da maksimum değeri 23°C olarak hesap edilmiştir. Bu değerler ISO 7243 standardına göre düşük metabolik oran için izin verilen değer 29°C'den küçüktür. Hesaplanan WBGT değerleri Ramsey ve ark.(1983) çalışmasında çalışanın dikkatinin yerinde olduğu değerler olarak değerlendirilmektedir. Bu sonuca göre lojistik bölümü iş kazası bakımından en güvenli bölümdür yorumu yapılabilir. Bu sonuca göre lojistik bölümünde çalışanlar üzerinde ısı baskısı olmadığı belirlenmiştir. Isıl anlamda konforlu olan lojistik bölümünde çalışanlar üzerinde ısı baskısının olmamasına rağmen Guan ve ark. (2003) çalışmasında belirtildiği gibi PPD değeri %5 memnuniyetsizlik saptanmıştır. PPD değerinin ısı konforun sağlanmasından bağımsız olarak değiştiği bu çalışmada da bir kez daha ortaya konmuştur. Lojistik bölümü anket sonuçlarına göre PPD değerleri açısından sabah saatlerinde %5 iken öğleden sonra %50 memnuniyetsizlik oranına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu değerlerin ölçüm değerleri ile yakın değerler olduğu görülmektedir. PMV değeri açısından 4 çalışan ortamı ılık (2) hissederken 6 çalışan hafif ılık derecesi olan 1 olarak nitelendirmiştir. Hesaplamalar sonucu ısı konfora sahip diyebileceğimiz tek bölümün düşük metabolik oranda çalışan doğal yol ile havalandırılan lojistik bölümü olduğu tespit edilmiştir

Bu çalışmada en konforsuz bölüm Kalıphane bölümü olmuştur. Kalıphane 2x2m boyutlarında pencerelere ve 5 m tavan yüksekliğe sahiptir. Havalandırma için fan bulunmasına rağmen doğal yolla havalandırma sağlanan bir bölümdür. Kalıphane çalışanları kalıp üzerinde CNC tezgâhlar ile çalışmakta olup metabolik oranları Malchaire (2004) çalışmasında ISO 8996'ya uygun olarak makine ile çalışan kalıp personeli için ortalama metabolik oran değeri 135 W/m² olarak seçilmiştir. Kalıphane için yapılan ölçümlerde nem oranı minimum %35 maksimum %51 olarak ölçülmüştür. PMV değeri ise Tablo 4'den görüldüğü üzere 1,51-2,52 aralığında değişirken PPD değeri %51,7 ile %94 aralığında değişmektedir. Kalıphane çalışanları üzerinde ısı baskısı olup olmadığını gösteren WBGT değeri sabah saatlerinde 22°C iken saat 16:30 civarı 30°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer ISO 7243 standardında orta metabolik oran için izin verilen 26°C'den yüksektir. Bu sonuçlara ve Ramsey ve ark. (1983) çalışmasına göre kalıphane bölümü izin verilen WBGT değerinin üzerinde olduğu için çalışanlarda dikkatsizlik, dalgınlık gibi davranışlara sebep olabilmektedir. Dikkatsizlik ve dalgınlık iş kazalarının ana sebebi olabilmektedir. Bu çalışmada hesaplanan WBGT değerine göre bölüm çalışanlarında öğrenme güçlüğü, dikkatsizlik ve güvensiz davranışlar görülebileceği Pilcher et al., (2002; Ramsey et al., (1983) çalışmalarında belirtilmiştir. Anket sonuçlarına göre 7 çalışan sabah saatlerini ılık (2) olarak tanımlarken 3 çalışan sıcak (3) olarak tanımlamaktadır. Öğleden sonra için ankete katılan 10 kişide ortamı sıcak (3) olarak değerlendirmiştir. PPD oranı bakımından ankete katılanlar sabah saatlerinde %70 öğleden sonra ise %100 memnuniyetsizlik oranını seçmiştir. Ölçüm sonuçlarında %51 ve %93 olan memnuniyetsizlik oranının ankette daha kötü oranda olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada orta metabolik oranda çalışan bir Kalıphane çalışanı öğleden sonra boyahane bölümüne alınmış ve WBGT değerinde ciddi bir dengelenme olduğu tespit edilmiştir. Saat 12:00'a doğru orta metabolik oran WBGT sınır değerine (29°C) yakın bir değerde 28°C çalışan kişi üzerinde ısı baskısı oluşmadan öğleden sonra düşük metabolik oranda çalışmakta ve Şekil 6'daki grafik elde edilmiştir. Çalışan metabolik oranındaki düşme kişide rahatlama hissi oluştururken düşük metabolik oranda çalışılan ortamın WBGT değeri artan iş yükü ile artabilmekte ve yine riskli değerlere ulaşabildiği Şekil 6 saat 16:27 tespit edilmiştir.



Şekil 6.

Öğleden önce düşük metabolik oranda (100 W/m²) öğleden sonra orta metabolik oranda (135 W/m²) çalışan kişinin WBGT grafiği

Aynı metabolik orana sahip olmasına rağmen montaj bölümü sabah saatlerinde PMV, PPD ve WBGT değerleri açısından kaynak bölümüne göre daha iyi koşullardayken öğleden sonra bütün değerler açısından daha kötü duruma gelmiştir. Bunun nedeni İsmail ve ark.(2013) çalışması gibi düşük metabolik oran kabulü yapılan montaj bölümünün iş yoğunluğunun artması ve böylelikle orta metabolik oranda enerji harcaması yada hava hızının düşüklüğü ile ilgili olabildiği düşünülmektedir. Metabolik oran değişiminin ısı konfor üzerine etkileri olduğu çalışma sonucu ortaya çıkmıştır

Çalışma sonuçlarına göre belli kilonun üzerindeki çalışanların ısı konfor hissi ve ısı baskısı anlamında ısı konfora sahip bir bölümde çalıştırılmalarının daha sağlıklı olabileceği düşünülmektedir.. Yine 80 kg üzerindeki çalışanların ortamı olduğundan daha sıcak hissettikleri bölümlerde yapılan anketlerde göze çarpmıştır.

4. SONUÇLAR

Çalışmada orta metabolik oranda birinin düşük metabolik oranda bir işe geçirilmesi ile ısı baskısından kurtulduğu tespit edilmiştir. Fakat etkilerin incelenmesi ve detaylandırılması gerekmektedir. Ayrıca Orta ve Düşük metabolik değerlerde değişken giysi yalıtım değerleri için yapılan incelemede yalıtım değeri ne kadar düşük olursa ısı konfor hissini olumlu yönde etkimektedir. Fakat çalışma koşullarında iş tulumu kullanılmakta ve iş tulumu minimum 0,8 clo değerindedir. Firmalara yüksek metabolik oranlarda çalışan bölümlerde kıyafet yalıtım değerinin düşürülmesi yada daha düşük yalıtım değerine sahip iş giysileri tasarlanması tavsiye edilebilir. Ayrıca yüksek metabolik değerde çalışan kişilerin belirli aralıklarla düşük enerji sarf edilen işlere geçmesi ısı konfor açısından olumlu olabilir. Özellikle anket sonuçlarına dayanarak 80 kg üzerindeki kişilerin yüksek metabolik değerli işlerde çalışmamasının iş güvenliği açısından risk teşkil ettiği belirlenmiştir. Bu durumda göre ısı konforu olumsuz etkileyen kilo sınırının ne olduğu üzerine araştırmalar yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca kaynak ve montaj bölümlerinde hava hızı değerlerinin farklılığının konfor hissini ne kadar etkilediği Eşitlik.1 kapsamında incelenmelidir. Isı konforunda WBGT değerinin izin verilen sınırlar içinde kalmasının iş güvenliği ve çalışan sağlığı açısından önemli olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Bu bağlamda WBGT değerini direk etkileyen çevre sıcaklığı, nem ve radyasyon sıcaklığı gibi değerlerin zorlanmış havalandırma koşulları ile değiştirilmesi kaçınılmaz görünmektedir. Zorlanmış havalandırma metodlarının uygulanması ve ısı konfora etkileri incelenmesi tavsiye edilebilir. Bu çalışmanın hesaplamalı akışkanlar mekaniği

yazılımları ile detaylandırılması ayrıca bütün parametrelerin detaylıca incelenmesine yardımcı olabilir.

M - Metabolik oran (W/m^2)

W - Mekanik güç (W/m^2)

H - Isı kaybı

E_c - Deri üzerinden havalandırma ile olan ısı değişimi

C_{res} -Isı taşınımı yoluyla kaybedilen ısı

E_{res} -Solunum yoluyla ısı geçisi

I_{cl} - Giysi yalıtım faktör (m^2K/W)

f_d - Giysi yüzey alan faktörü

t_a - Hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)

t_r - Radyasyon sıcaklığı ($^{\circ}C$)

v_{ar} -Hava hızı (m/s)

p_a -Su buharı kısmı basıncı (Pa)

t_{cl} - Giysi yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)

t_{sk} Deri sıcaklığı ($^{\circ}C$)

t_{nw} Yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)

KAYNAKLAR

1. Ansi/Ashrae. (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae, 2004*, 30.
2. Atmaca, I., Kaynakli, O., & Yigit, A. (2007). Effects of radiant temperature on thermal comfort. *Building and Environment*, 42(9), 3210–3220. doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.009
3. ANSI/ASHRAE Standard, (2004). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. ANSI/ASHRAE Addendum N to 62-2001, 8400.
4. Bridger RS. (2003). *Introduction to ergonomics* (2nd Edition). London: Taylor & Francis, London and Newyork.
5. Budd, G. M. (2008). Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1), 20–32, doi:10.1016/j.jsams.2007.07.003
6. Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44(3), 388–398, doi: 10.2486/indhealth.44.388
7. Epstein, Y., & Roberts, W. O. (2011). The pathophysiology of heat stroke: an integrative view of the final common pathway. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(6), 742–748, doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01333.x
8. Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort : analysis and applications in environmental*

engineering. McGraw-Hill, New York:

9. Fisk, W. J., & Rosenfeld, A. H. (1997). Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments. *Indoor Air*, 7(3), 158–172. doi:10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00002.x
10. Fox, W. . (1967). Human Performance in the Cold. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics*, 9(3), 203–220, doi: 10.1177/001872086700900302
11. Guan, Y., Jones, B.W., Mohammad H. Hosni, Giolda, T. P. (2003). Literature Review of the Advances in Thermal Comfort Modeling. *ASHRAE Transactions*, 3(109), 908–916.
12. Hales JRS, R. D. (1987). *Heat stress-physical exertion and environment*. Excerpta Medica, Amsterdam.
13. Ho, S. H., Rosario, L., & Rahman, M. M. (2009). Thermal comfort enhancement by using a ceiling fan. *Applied Thermal Engineering*, 29(8–9), 1648–1656. doi:10.1016/j.applthermaleng.2008.07.015
14. Holm, D., & Engelbrecht, F. A. (2005). Practical choice of thermal comfort scale and range in naturally ventilated buildings in South Africa. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 47(2), 9–14.
15. HSE. (1999). Thermal comfort in the workplace: Guidance for employers, Health & Safety Executive
16. Ismail, A. R., Jusoh, N., Makhtar, N. K., Daraham, M. R., Parimun, M. R., & Husin, M. A. (2010). Assessment of Environmental Factors and Thermal Comfort at Automotive Paint Shop. *Journal of Applied Sciences*, 10(13), 1300–1306, doi: 10.3923/jas.2010.1300.1306
17. Ismail, A. R., Karagaratnan, S. K., & Kadirgama, K. (2013). Thermal comfort findings: Scenario at Malaysian automotive industry. *Thermal Science*, 17(2), 387–396, doi:10.2298/TSCII111110151
18. ISO 7730 International Standard. (1994). Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
19. Kerslake, M. D. (1972). *The Stress of Hot Environments*. Cambridge University Press, London.
20. Kjellstrom, T., Holmer, I., & Lemke, B. (2009). Workplace heat stress, health and productivity - an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Global Health Action*, 2(Special Issue), doi:10.3402/gha.v2i0.2047
21. Lemke, B., & Kjellstrom, T. (2012). Calculating Workplace WBGT from Meteorological Data: A Tool for Climate Change Assessment. *Industrial Health*, 50(4), 267–278, doi:10.2486/indhealth.MS1352
22. Malchaire, P. J. (2004). Ergonomics of the thermal environment Determination of metabolic rate, 3, 1–14, doi: 10.3403/03205220
23. McIntyre, D. A. (1980). *Indoor Climate*. London, Elsevier, United Kingdom.

24. One, P. (2003). Table of contents, (November), 1–85. doi:10.1002/ejoc.201200111
25. Orosa, J. A., & Oliveira, A. C. (2010). Assessment of work-related risk criteria onboard a ship as an aid to designing its onboard environment. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(1), 16–22, doi:10.1007/s00773-009-0067-0
26. Parsons, K. (2006). Heat stress standard ISO 7243 and its global application. *Industrial Health*, 44(3), 368–379, doi:10.2486/indhealth.44.368
27. Parsons, K. . (1993). *Human Thermal Environments*. Taylor & Francis, London.
28. Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: A review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6), 581–594, doi:10.1016/S0003-6870(00)00044-2.
29. Pfafferott, J., Herkel, S., & Wapler, J. (2005). Thermal building behaviour in summer: Long-term data evaluation using simplified models. *Energy and Buildings*, 37(8), 844–852, doi:10.1016/j.enbuild.2004.11.007.
30. Pilcher, J. J., Nadler, E., & Busch, C. (2002). Effects of Hot and Cold Temperature Exposure on Performance: a Meta-Analytic Review. *Ergonomics*, 45(10), 682–698. doi:10.1080/00140130210158419.
31. Predicting Thermal Comfort Fanger Comfort Analysis. (n.d.). Retrieved from <http://ceae.colorado.edu/~brandem/aren3050/docs/ThermalComfort.pdf>
32. Ramsey, J. D. (1995). Task performance in heat: a review. *Ergonomics*, 38(1), 154–165, doi:10.1080/00140139508925092.
33. Ramsey, J. D., Burford, C. L., Beshir, M. Y., & Jensen, R. C. (1983). Effects of workplace thermal conditions on safe work behavior. *Journal of Safety Research*, 14(3), 105–114, doi:10.1016/0022-4375(83)90021-X.
34. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S., Kaynaklı, Ö., Yamankaradeniz, N., (2008). *İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları*, Dora Yayıncılık, Bursa.
35. Shikdar, A. A., & Sawaqed, N. M. (2003). Worker productivity, and occupational health and safety issues in selected industries. *Computers and Industrial Engineering*, 45(4), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(03\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(03)00074-3)
36. Skoog, J., Fransson, N., & Jagemar, L. (2005). Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements. *Energy and Buildings*, 37(8), 872–877, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.11.003.
37. TS EN 27243. (2002). Sıcak ortamlar - Wbgt (yaş - Hazne küre sıcaklığı) indeksine göre ısıнын çalışan üzerindeki baskısının tahmini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
38. Zhang, L. Z., & Niu, J. L. (2003). Indoor humidity behaviors associated with decoupled cooling in hot and humid climates. *Building and Environment*, 38(1), 99–107, doi:10.1016/S0360-1323(02)00018-5.