

## SICAK ÇALIŞMA HATLARINDA ISIL KONFOR İYİLEŞTİRMESİ: SOĞUK YELEK UYGULAMASI

*Nurettin YAMANKARADENİZ* \*  
*Tuğçe TURAN ABİ* \*\*

Alınma: 15.11.2021; düzeltme: 26.01.2022; kabul: 31.01.2022

**Öz:** İnsanlar gün içerisindeki faaliyetlerinin büyük bölümünü kapalı alanlarda geçirir. Bu nedenle insanlar için kapalı mahallerde iyi bir havalandırma ve iklimlendirme sistemi tasarlamak son derece kritiktir. İyi bir havalandırma, insanlarda hem vücut sağlığı hem de çalışma verimleri adına önemli bir kısıttır. Sıcaklık maruziyeti, vücudun fizyolojik ve psikolojik dengesini, çalışma verimini önemli ölçüde etkileyen ve çalışma ortamında sıkça karşılaşılan problemlerdendir. Isıl konfor ise, kişinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ile uyumun sağlanması ve memnuniyetsizliğin bertaraf edilmesi anlamına gelmektedir. Termal konfor şartlarının tam olarak sağlanamadığı ortamlarda çalışmak zorunda kalan çalışanların verimlerinin düştüğü, güvenli çalışma durumunun zayıfladığı ve buna bağlı olarak iş kazasına maruz kalma sıklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden ısı işleminin zorunlu olduğu, sıcaklık maruziyetinin kaynağında yok edilemediği durumlarda çalışan kişilerin termal konfor şartlarının iyileştirilmeleri öncelikle çalışanların sağlığına sonrasında ise üretim verimine olumlu katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada, ısı konforu belirleyen parametreler üzerine incelemeler yapılmış olup, örnek mahal olan sıcak şekillendirme prosesi kullanılarak sac şekillendirme yapan hatta çalışan işçilerin ısı konforu için çalışma koşulları gözlenmiştir. Isıl konforu sağlamak adına soğuk yelek üretilmiş ve ısı transferi dikkate alınarak iyileştirici faaliyetler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl Konfor, Sıcak Çalışma, Soğuk Yelek

### Thermal Comfort Improvement Works At Hot Line: Cold Vest Application

**Abstract:** People spend most of their activities during the day in closed areas. Therefore, it is extremely critical to design a good ventilation and air-conditioning system in closed spaces for people. Good ventilation is an important criterion for both human health and working efficiencies. Temperature exposure is one of the most frequently encountered problems in the working environment, which significantly affects the physiological and psychological balance of the body and the working efficiency. Thermal comfort means compliance with the temperature of the person's environment and eliminating dissatisfaction. It was observed that the efficiency of the employees who had to work in the environments where the thermal comfort conditions could not be fully decreased, the safety status of the workers had weakened and the frequency of exposure to work accidents increased. Therefore, if the thermal treatment is compulsory and the temperature exposure cannot be eliminated at the source, the improvement of the thermal comfort conditions of the employees will firstly contribute to the health of the employees and then to the production efficiency. In this study, the parameters determining thermal comfort were investigated and the working conditions of the workers who worked on the sheet metal forming even by the hot forming process were observed. In order to provide thermal comfort, cold vests were produced and heating activities were determined considering heat transfer.

\* Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ali Durmaz Makine Mühendisliği Bölümü Görükle Kampüsü 16059 Nilüfer/BURSA

\*\* Beyçelik Gestamp Teknoloji ve Kalıp Sanayi A.Ş., Dosab, kardelen sok. No:10, Osmangazi/BURSA

İletişim Yazarı: Nurettin Yamankaradeniz (nyk@uludag.edu.tr)

**Keywords:** Thermal Comfort, Hot Work, Cold Vest.

## 1. GİRİŞ

Doğadaki tüm canlılar birbirleriyle ısı alışverişi içerisinde. Isıl konfor, ortamdaki memnuniyeti belirleyen kişisel bir unsurdur ve duyarlar ile ilgili bir kavramdır. Ergonomide ise "iş ortamındaki etkenler ile birlikte insanların vücut özelliklerini, vücut performansı ve gücünü esas alarak, insan, makine ve çevre arasındaki temel yasaları düzenleyen kuramsal temel" olarak tanımlanmaktadır. İnsanlar, vücut sıcaklığında artışa neden olan iklim değişikliklerine dayanıksızdırlar. Bilhassa çevreye ısı veren fırınlarda ya da çok soğuk şartlarda çalışmanın, iş verimliliğini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Çalışma ortamı koşullarını, ortam sıcaklığı, nem ve hava hareketleri etkilemektedir (Erkan, 1997).

İş ortamında aşırı ısı, iş verimini düşürmekte, çalışanlarda baş ağrısı, bıkkınlık, sinirlilik ve hatalı işlere sebebiyet vermekte, bunların yanında yüksek ısı çalışanlarda beceri kaybına ve iş kazalarının artmasına neden olur (Baltaoğlu, 1988). Çevresel koşulların iş verimi ve çalışma performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezi'nde yapılan araştırma sonuçlarına göre iç ortam hava kalitesinin işyeri çalışanlarının üretkenliği üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır. Örneğin; literatürde sıcak, soğuk, ve nötr şeklinde belirtilen üç farklı ortam koşulundaki taşıt sürüş performansına ilişkin deneysel çalışmada sıcak ortamdaki deneklerin ısı konfor değerlendirmesinde cevaplarının genel olarak "sıcak" olduğu ve sürüş performansının %13 azaldığı, soğuk ortamdaki deneklerin cevaplarının ise "soğuk" ile "çok soğuk" arasında olup sürüş performansının %16 azaldığı sonuçlarına varılmıştır (Daanen ve diğ., 2003).

Isıl konfor için; yaş, ortama uyumluluk, cinsiyet, hava hızı, ışınım gibi unsurlar dışında konforu etkileyen başlıca faktörler, kişisel (Kişinin aktivite seviyesi, kıyafet) ve çevresel unsurlar (Sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı) olarak sınıflandırılır (Mcquiston ve Parker, 1994). İnsanoğlu yıllarca daha konforlu yaşam alanları adına çabalamış, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri geliştirmiştir. Konforun ölçülmesiyle ilgili olarak P.O. Fanger isimli Danimarkalı bilim insanı 70'lerde bir modelleme yapmıştır. Bu modelleme, Fanger tarafından termal konfora etkisi olan kişisel ve ortama bağlı etkenlerin bileşenlerinin sayısal olarak ifade edilmesini sağlamıştır. Mahaldeki insanların, konfor hissi ile ilgili bir parametre olan ısı çevreden memnuniyet (Predicted Mean Vote) PMV değeri Fanger'in geliştirdiği sistem sonucunda sayısal bir veri olarak belirlenebilmiştir. Ayrıca PMV değeri ile ortamdaki memnuniyet oranını da ortaya çıkaran bir sayısal veri olan ısı çevreden memnuniyetsizlik (Predicted Percentage Dissatisfied) PPD değeri de hesaplanabilmektedir (Ekici, 2013). Fanger'in PMV metodu uluslararası olarak kabul gören, ısı konforun belirlenmesinde önemli bir metottür. Isıl konfor standardı, Avrupa'da ISO 7730, Kuzey Amerika'da ASHRAE Standard 55 yaygın olarak kabul görmektedir (Hoof ve Hensen, 2007).

İnsan vücudu, besin ve oksijen ile termodinamik bir sistem olarak çalışır. Bu sistemde, vücut sıcaklığı 37 ile 37.5 °C, deri yüzey sıcaklığı da 31.5 °C ile 33,5 °C arasında olmalıdır. Deri sıcaklığındaki 1-3 °C arasında sıcaklık değişiminin insanı rahatsız etmediği görülmüştür (Avcı ve Yiğit, 1997). Başka bir çalışmada, düşük enerjili klimanın çalıştığı bir mahalde, termal konfor sağlanabilmesi adına havanın ortalama 23.5 °C ve % 56 nem oranında olması gerektiği saptanmıştır (Khan ve Rasul, 2007). Giydiğimiz kıyafetler de, çalışma ortamında bizim ısı konforumuzu etkileyen parametrelerden biridir. 1 clo, giysinin dinlenen insanı 21°C, 0.1 m/sn hava hızı ve % 50 bağıl nemde konfor sağlayan ısı yalıtımı olarak tanımlanmaktadır. Havadaki her 6 °C 'lik değişim, yalıtımda 1 clo'luk değişime karşılık gelmektedir (Huang ve Xu, 2006). Günlük hayatta insanların dikkat etmediği fakat ısı konfor üzerine etki eden faktörlerden diğeri de kişinin hareket durumudur. 45-59 yaşlarında hafif kilolu bir insanın dinlenirken konforlu hissettiği bir mahalde termonötral(konfor) bölge koşullarında ısı taşınım katsayısı yaklaşık 35 kcal/h.m<sup>2</sup>'dir (Ivanov, 2006). Bazı kaslar kasıldığı için oturur vaziyette bu metabolik hız % 43

artar. Ayağa kalkınca ise %71 artar. Odada dolaşma halinde %285 artar. Yapılan çalışmalara göre uzanır durumdan oturur duruma geçildiğinde vücut sıcaklığı 1 saat içinde 0,51°C artar (Öngel ve Mergen, 2009). Havadaki nem miktarı, insanın teninden buharlaşmayla ilgili enerji kaybıdır. Ortamdaki nem arttıkça memnuniyetsizlik oluşur. İnsanlar için uygun olan nem oranı 20 °C 'de %30- %80'dir. Düşük oranlarda nem solunum problemlerine neden olur. Hava hareketleri, insanın ortamlarla arasındaki ısı alışverişlerini belirleyen unsurlardan biridir. Hava hareketinin şiddetlenmesi, hareketsiz hava tabakasının azalışına sebebiyet verir. Bu durum üşüme hissiyatına neden olur. Isıl konfor adına hava hızının ortalama 0,05 m/s olması önerilmektedir (Yüksel, 2005). Hava hızı arttığında mahal, rüzgarlı ve konforsuz olur. Hava hızının düşük olduğu mahal için hava hareketi azaldığından ortamdaki canlılar adına havasızlık sorunu ortaya çıkar (Yiğit ve Horuz, 1995). Hindistan'da yüksek sıcaklıkta çelik üretimi yapan bir fabrikada, ısıl konfor şartları araştırılarak, işçilerin ısıl konforunu sağlamak adına "Soğuk Mont" adını verdiği giysi ile işçilerin vücut sıcaklığını düşürmeye yönelik çalışma gerçekleştirmiş ve çalışma sonucunda işçilerin termal konfor hislerinde olumlu değişimler olduğu tespit edilmiştir (Parameswarappa ve Narayana, 2017). İtfaiyecilerin çalışma sırasındaki maruz kaldıkları yüksek ısı yükünü azaltmak için yapılan çalışmada, itfaiye çalışanlarına soğuk yekek giydirilmiş ve sonucunda vücut ısıları, kalp vuruş hızları ve terleme oranlarında hissedilir azalma tespit edilmiştir (Smolander ve diğ., 2015). Çalışma alanlarının iklimlendirilmesindeki temel amaç alanda bulunan kişilerin konforlu şartlarda, üretkenlik seviyelerini koruyarak daha da arttırmaktır. Bu sebeple bu çalışmada termal konfor parametreleri irdelenerek, otomotiv sektöründe, sıcak şekillendirme prosesi kullanılarak metal sac şekillendiren pres hattında çalışan insanların, çalıştıkları ortamlarda ölçümler yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarından yola çıkarak konforsuzluğun ve atölye çalışmalarının en yoğun olduğu alanın çalışanlarında ısıl konforun sağlanması için soğuk yekek uygulaması yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

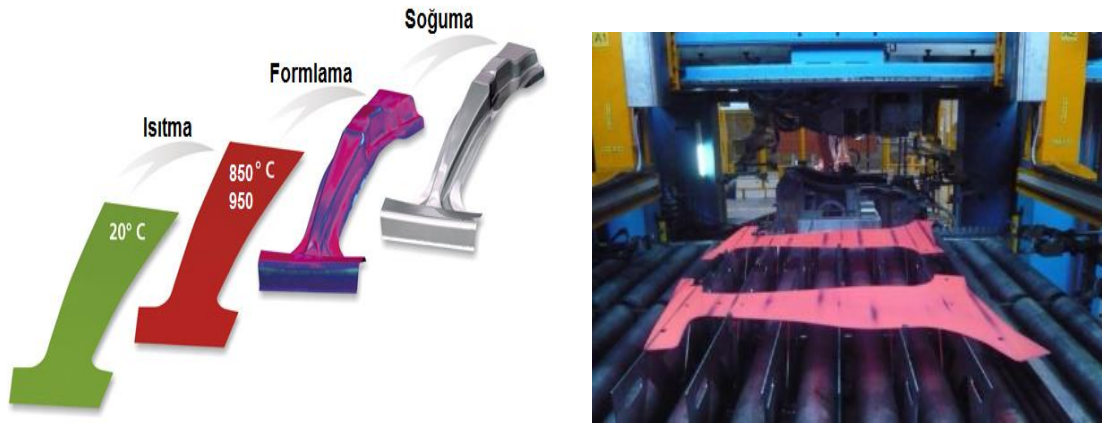
### 2.1. İşletmenin Sıcak Şekillendirme Hatları Hakkında Bilgilendirme



**Şekil 1:**  
*Beyçelik Gestamp sıcak şekillendirme hattı*

Otomotiv endüstrisinde, araç şasesi üretiminde, bulunduğu bölgeye bağlı olarak farklı mukavemet değerlerine sahip sac parçalar kullanılır. Bu parçalardan, özellikle yolcu güvenliğinin kritik öneme sahip olduğu kabin içerisinde yüksek mukavemetli sac parçalar

(1200-1500 MPa) kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli bu parçalar, geleneksel soğuk şekillendirme yönteminden farklı olarak hattı verilen sıcak şekillendirme yöntemi ile üretilmektedir (Şekil 1). Sıcak şekillendirme, borlu malzemenin (AL-Si kaplamalı 22MnB5) östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp ve hızlıca kalıba transfer edilip, kalıp içerisinde soğutulup şekillendirilmesidir. Şekil 2’ de sıcak şekillendirme prosesinde görüldüğü üzere, soğuk malzemenin kesilen açımın 3-10 dakika süre ile 880-930°C ‘ye kadar da ısıtılmaktadır. Bu işlem parça sertliği ve martenzit dönüşümü için büyük önem taşır. Bu aşamadan sonraki kısım çok önemlidir. Parça fırından olabildiğince hızlı bir şekilde alınıp kalıbın üzerine yerleştirilmelidir. 600-800°C sıcaklık ile prese giren parçaya şekil verilirken, kalıpta bulunan soğutma kanalları vasıtası ile parçanın sıcaklığı çok kısa bir sürede 200 °C ‘nin altına kadar düşmektedir. Yaklaşık 200°C’deki parça hattan operatörler vasıtasıyla özel eldivenler ile alınmaktadır. Bu işlem sırasında operatörler, yüksek sıcaklığa maruz kalmakla beraber kasaya koyulan parçalar da çevreye ısı yayarak soğumaya devam etmektedir.



**Şekil 2:**

*Sıcak şekillendirme proses süreci ve sıcak şekillendirilmiş parça örneği*

Sac metal şekillendirme yöntemlerinden biri olan sıcak şekillendirme yönteminin, sac levhanın fırında ısıtılmasına dayalı olması, fırınların sürekli olarak faaliyette ve üretimin kesintisiz olması, çalışanların sürekli olarak sıcak ortama maruz kalmasına sebebiyet vermektedir. Özellikle pres altında şekillendirilen parçanın kasalanması aşamasında çalışanlar, sıcak parçayla temas içinde olduklarından parçadan yayılan ısıya direkt olarak maruz kalmaktadırlar. Bu durum sıcak ortamda çalışmaya bağlı olarak bıkkınlık, sinirlilik ve dikkatsizlik hallerinin oluşmasından dolayı iş kazalarının artması, zihin yorgunluğu, fiziksel çalışmalarda performans ve beceri azalması gibi olumsuzlukları ortaya çıkarabilmekte ve bunun sonucu olarak iş kazalarında artış görülebilmektedir. Özellikle çok dikkat isteyen işlerde, belirli bir seviyeye kadar sıcaklık artışında, kaza sayısı rutin devam etmekte, sıcaklık seviyesi aşılsa iş kazası sayısı çoğalmaktadır (Yıldırım ve Altınsoy, 2015). Bu yüzden ısıl işlemin zorunlu olduğu, sıcaklık maruziyetinin kaynağında yok edilemediği durumlarda, çalışan kişilerin uygun kişisel koruyucu donanımlar ile vücut sıcaklığının istenilen seviyelere düşürülmesi işlemi son yıllarda ilgi çeken bir konu olmuştur. Öyle ki, yapılan işe ve çalışma ortamına bağlı olarak vücut sıcaklığının artması sadece sanayide çalışan kişiler için bir sorun değildir. Sporcular, sağlık çalışanları, bazı hastalığa sahip kişiler (örneğin MS ve Egzama) içinde ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu yüzden çalışma sırasında vücut ve cilt sıcaklıklarının belli bir derecede tutulması hem insan sağlığı açısından hem de yapılan işin performansı açısından son derece önemlidir.

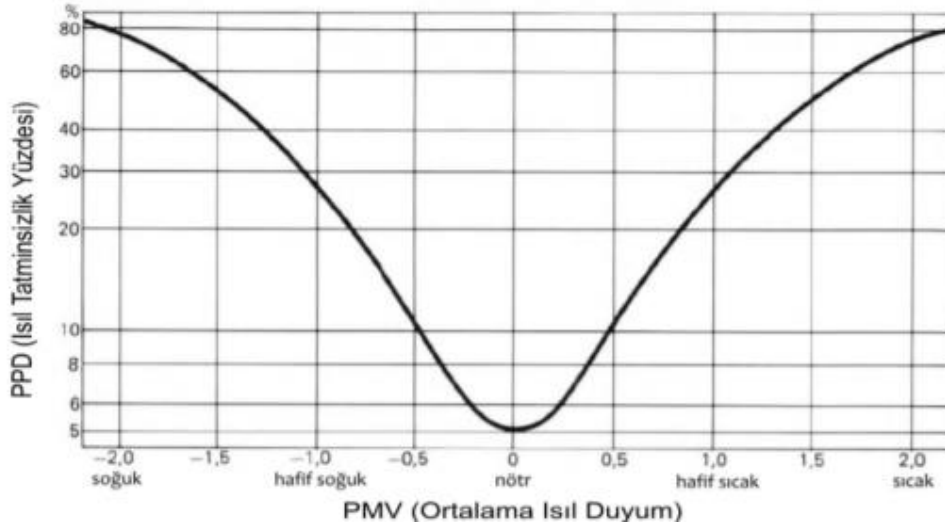
## 2.2. Tesiste Kullanılan Ölçümlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yönetmelikler ve Standartlar

Bir işyeri ortamında dengesiz ısı etkilerinden olumsuz olarak etkilenmemek için, çalışma mahallinde ısı konfor şartlarına önem vererek uygun şartları sağlamak gerekir. Çalışma ortamında ısı konfor, beş duyu ile belirlenemediğinden; konfor şartlarını sağlamak ve çalışma ortamının mevcut şartlarını belirlemek için gerekli ölçümler yapılır ve sonuçları değerlendirilir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığına bağlı İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi (İSGÜM), den ön yeterlilik veya yeterlilik almış firmalar çalışma ortamında termal konfor şartlarının belirlenmesine yönelik ölçümler yapmaktadır.

Tesiste yapılan ölçüm değerlendirmelerinde aşağıdaki mevzuat hükümleri dikkate alınmıştır.

- İşyeri, Bina ve Eklentilerinde Uygulanacak Asgari Sağlık ve Güvenlik Şartları (Resmi Gazete Tarihi: 17.07.2013 Resmi Gazete Sayısı: 28710)
- TS EN ISO 7730 Orta dereceli termal ortamlar- PMV ve PPD indislerinin tayini ve ısı konfor için şartların belirlenmesi
- TS EN 27243 sıcak ortamlar- WBGT veya WBGTS indeksinin tayini ve ısı konfor için şartların belirlenmesi

Isıl konfor ölçümleri sayesinde kişilerin maruz kaldığı termal memnuniyetsizliği/ termal konforu tahmin etmek için bir yöntem sunar. Termal Ortam Ergonomisi PMV ve PPD indekslerinin hesaplanması, kullanımı ve lokal termal konfor kriterlerinin değerlendirilmesi ile termal konforun analitik belirlenmesi ve yorumlanmasını sağlar. TS EN ISO 7730 standardına göre mahaldeki memnuniyetsiz kişilerin oranının maksimum %10 olması için, konforlu olduğu belirlenen bir mahalde PMV değerlerinin  $\pm 0,5$  değerleri arasında olması gerekir. PMV Değerleri 0 - 1 aralığında 'Hafif Sıcak', 1-2 aralığında 'Sıcak' ve 2-3 aralığında ise 'Aşırı Sıcak' olarak değerlendirilir. Şekil 3' de görüldüğü üzere ortamdaki insanların memnuniyetsizlik yüzdesini veren PPD değeri ile PMV değeri arasındaki ilişkiye bakıldığında, en konforlu ortamda bile insanların yüzde 5 'inin ortamdaki memnuniyetsiz olduğu görülmektedir (Ekici, 2013).



**Şekil 3:**  
PMV ve PPD değeri arasındaki ilişki (Ekici,2013)

PMV değeri -2 ile +2 aralığında ise TS EN ISO 7730 standardı ile ölçüm yapılır. PMV değeri -2 ile +2 dışında bir değer ise ölçüm stratejisi değiştirilir. PMV değeri +2 üzerinde olduğu ortamlarda (çok sıcak ortamlar) için kullanılan TS EN 27243 standardı kullanılır.

TS EN ISO 7730 standardı ılıman ortamlarda kullanılabilir bir standarttır. İki ana kısımdan oluşan bu standardın ilk kısmı kişisel, ikinci kısmı bölgesel memnuniyetsizlik başlıkları atında toplanabilir. Günümüzde PMV (Tahmin Edilen Ortalama Oy) ve buna bağlı olarak elde edilen PPD (Kişisel Memnuniyetsizlik Yüzdesi) indeksleri kişisel PMV ve PPD, TS EN ISO 7730 (TS EN ISO 7730, 2005) tarafından kullanılan ana indekslerdir. PMV'nin hesaplanması çok kapsamlıdır ve birçok değişkenin hesaplanmasına bağlı olup 1 ve 6 arasındaki eşitliklerde bu hesaplamalar verilmiştir. Kullanılan değişkenler, iki ana başlık altında toplanır; Birinci ana grupta nem, rüzgâr hızı, ortalama radyal sıcaklık ve kuru hava sıcaklığı gibi meteorolojik değişkenlerdir. İkinci ana grupta ise giydikleri kıyafetlere bağlı olan kıyafet katsayısı ve yaptıkları işin ağırlığına bağlı olan metabolik orandır.

$$f_{cl} = 1 + 1.29 * I_{cl} \text{ eğer } I_{cl} \leq 0.078(m^2.K/W) \quad (1)$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0,645 * I_{cl} \text{ eğer } I_{cl} > 0.078 (m^2.K/W) \quad (2)$$

$$h_c = 2.38 * (t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ eğer } 2.38 * (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 * \sqrt{V_{ar}} \quad (3)$$

$$h_c = 12.1 * \sqrt{V_{ar}} \text{ eğer } 2.38 * (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 * \sqrt{V_{ar}} \quad (4)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 * (M - W) - I_{cl} * \{3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (5)$$

$$PMV = [0.303 * e^{(-0.036 * M)} + 0.028] * \{(M - W) - 3.05 * 10^{-3} * [5.733 - 6.99 * (M - W) - p_a] - 0.42 * [(M - W) - 58.15] - 1.7 * 10^{-5} * M(5867 - p_a) - 0.0014 * M * (34 - t_a) - 3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - ((t_r + 273)^4)] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\} \quad (6)$$

Burada; (M, W/m<sup>2</sup>) metabolik oran, (W, W/m<sup>2</sup>) efektif mekanik güç, (I<sub>cl</sub>, m<sup>2</sup>.K/W) kıyafet yalıtımı, (f<sub>cl</sub>) kıyafet yalıtım alan faktörü, (t<sub>a</sub>, °C) kuru hazne (hava) sıcaklığı, (t<sub>r</sub>, °C) ortalama radyal sıcaklık, (v<sub>ar</sub>, m/sn) hava akım hızı, (p<sub>a</sub>, Pa) kısmi buhar basıncı, (h<sub>c</sub>, W/m<sup>2</sup>.K) konvektif ısı transfer katsayısı, (t<sub>cl</sub>, °C) kıyafet yüzey sıcaklığı anlamlarıdır.

Soğuk yelek ile yapılan denemelerde PMV değerinin teorik hesabı için eşitlik 6 kullanılmıştır. Buna bağlı olarak operatörün yaptığı iş, kasalama olarak tanımladığı için metabolik oran 120 W/m<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir. Mekanik iş, operatör çalışırken vücutta güç sarf ettirici bir faaliyet olmadığından ihmal edilmiştir. Kıyafet yalıtımı (I<sub>cl</sub>) ve kıyafet yalıtım alan faktörü f<sub>cl</sub> ASHRAE standartlarına göre 1.01 (m<sup>2</sup>.K/W) ve 1.28 alınmıştır. Kuru hazne sıcaklığı (t<sub>a</sub>) Mayıs ayında yapılan denemelerde atölyenin mevcut hava sıcaklığı, termal kamera ile ölçülerek dikkate alınmıştır. Hava şartlarının çok benzer olması sebebiyle, ortalama radyal sıcaklık (t<sub>r</sub>), kısmi buhar basıncı ve hava akım hızı (v<sub>ar</sub>) Tablo 4' deki 2018 yılındaki ölçüm değerleri ile benzer alınmıştır.

Konvektif ısı transfer katsayısı (h<sub>c</sub>) eşitlik 3 ve eşitlik 4 göre hesaplanmıştır. Kıyafet yüzey sıcaklığı (t<sub>cl</sub>), hava sıcaklığı ile operatörün ten sıcaklığına göre ortalama alınarak hesaplanmıştır. Eşitlik 7 de verilen PPD ise sadece PMV'nin kullanılması ile elde edilen memnuniyetsizlik indeksidir.

$$PPD = 100 - 95 * e^{(0.3353*PMV^4 - 0.219*PMV^2)} \quad (7)$$

TS EN 27243 standardında ölçülmesi gereken sıcaklık indeksi, ıslak hazne küre sıcaklığı (WBGT)'dir. Bu sıcaklık indeksinin hesabı için ölçülen değişkenler, küre sıcaklığı ( $T_g$ ), doğal yaş-hazne sıcaklığı ( $T_{nw}$ ) ve kuru hava sıcaklığı ( $T_a$ )'dır. Kış aylarında hava bulutsuz ve soğuk olsa da, güneş yüzle temas ettiğinde hissedilen sıcaklık hissi ya da yazın buzdolabı açıldığında, yüzde hissedilen serinlemeye neden olan sıcaklık, radyal sıcaklığa bağlı olan küre sıcaklığıdır. Nemli havalarda sıcaklığın etkisi daha çok hissedilir. Bunun hesaba katıldığı indeks ise doğal yaş hazne sıcaklığıdır. Kuru hava sıcaklığı ise termometrenin ölçtüğü sıcaklıktır. Güneş yükü olmayan iç ortam ile dış ortamda çalışanlar ve güneş yükü olan dış ortamlarda çalışanlar için iki ayrı WBGT indeksi kullanılmaktadır. Bunlara bağlı olarak dış ortamda çalışanlar için eşitlik 8 iç ortamda çalışanlar için eşitlik 9 kullanılır (Yıldırım ve Altınsoy, 2015).

$$WBGT_{dış} = 0,7 * T_{nw} + 0.2 * T_g + 0.1 * T_a \quad (8)$$

İç ortamlarda kullanılan indeksin dış ortamlarda kullanılan farkı ise katsayılar değil aynı zamanda kuru hazne sıcaklığının etkisinin hesaba katılmamasıdır.

$$WBGT_{iç} = 0,7 * T_{nw} + 0.3 * T_g \quad (9)$$

Meteorolojik etkenlerden başka diğer etken, metabolik orandır. İşin yürütümü sırasında çalışanların harcadıkları enerji metabolik oranlarla ifade edilmektedir. Yapılan iş ne kadar ağır, harcanan enerji ne kadar fazla ise bu oran da o kadar büyüktür.

TS EN 27243 standardında, Tablo 1' de görüldüğü üzere, ısı baskı indeksinin referans değer çizelgesine göre her biri için farklı metabolik oran aralıkları vardır. Bu aralıklar için önerilen, hava akımına, kişinin çalıştığı ortamın sıcaklığına alışık olup olmamasına ve metabolik oran aralıklarına göre 18 ile 33 derece arasında değişen farklı WBGT değerleri Tablo 1'de mevcuttur (Yıldırım ve Altınsoy, 2015). Ölçümlerde bu değerler referans alınır ve ilgili standarda göre yorumlanması sağlanır. TS EN 27243 standardında WBGT referans değeri, ısıya alıştırmış kişi ve ısıya alıştırmamış kişi olarak iki gruba ayrılmaktadır. Isıya alıştırmış kişi ifadesi çalışma ortamında uzun süredir çalışan ve ortama alışık kişilerin yani adapte olmuş çalışanları ifade etmektedir. "Isıya alıştırmamış kişi" için de tam tersi durum geçerlidir. Ortamda daha önce bulunmamış ve ısıya adapte olamayan kişiler, bu sınıfta değerlendirilir. Fabrikada yapılan ölçümlerde WBGT referans değeri " ısıya alıştırmış kişi" sınıfında değerlendirilmiştir.

Tablo 1' de görüldüğü üzere, vücut içerisinde tüketilen toplam enerji miktarını gösteren metabolik oran ve değerlerinin endüstride birçok çalışma pozisyonuna göre sınıflandırılması TS EN 27243 standardında 4 sınıfa ayrılmıştır. Yapılan aktiviteler 65 ile 260 M/m<sup>2</sup> arasında değişen metabolik oran aralıklarına göre gruplandırılmıştır.

**Tablo 1. Isının çalışanlara etkisinin TS EN 27243 WBGT indeksine göre tahmini (Ashrae,1989)**

Metabolik oran sınıfı	Metabolik oran (M, W/m <sup>2</sup> )		WBGT'nin referans değeri			
	Bir birim deri yüzey alanıyla (M/m <sup>2</sup> )	Toplam(1.8 'lik ortalama deri yüzey alanı için) (W)	Isıya alıştırmış kişi (°C)		Isıya alıştırmamış kişi (°C)	
0 Dinlenme	M≤65	M≤117	33		32	
1	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	30		29	
2	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	28		26	
3	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	Hissedilmeyen hava hareketi 25	Hissedilir hava hareketi 25	Hissedilmeyen hava hareketi 22	Hissedilir hava hareketi 23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

**Tablo 2. Metabolik oran seviyelerinin tasnifi (TS EN 27243, 2002)**

Sınıf	Metabolik Oran Aralığı M		Ortalama Metabolik Oran Hesabı İçin Kullanılan Değer		Örnekler
	Bir Birim Deri yüzey Alanıyla İlgili (M/m <sup>2</sup> )	1.8 m <sup>2</sup> 'lik Bir Ortalama Deri Yüzey Alanı İçin (W)	W/m <sup>2</sup>	W	
0 Dinlenme	M ≤ 65	M ≤ 117	65	117	Dinlenme
1 Düşük Metabolik Oran	65 < M ≤ 130	117 < M ≤ 234	100	180	<u>Rahat Oturma</u> : yazma, dikiş dikmek; küçük tezgâh aletleri, hafif malzemelerin kontrolü, montaj ve tasnifi; araç kullanma, pedal basma <u>Ayakta</u> : Matkapla delik açma; freze makinası; bobin sarma; küçük armatür sarma; düşük güçlü aletle şekil verme; hafif yürüme(saatte 3.5 km'ye kadar bir hızla)
2 Orta Metabolik Oran	130 < M ≤ 200	234 < M ≤ 360	165	297	Çekiçle çivi çakmak, dolgu yapmak; kamyon, traktör veya yapı ekipmanlarıyla yapılan arazi işleri; havalı çekiçle çalışma, traktör montajı, sıva yapma, nispeten ağır malzemenin zaman zaman durarak taşınması, ot temizleme, çapalama; hafif iki tekerlekli yük arabası veya tekerlekli el arabasının itilmesi veya çekilmesi; saatte 3.5 km ile 5.5 km arası bir hızla yürüme; demir döğme)
3 Yüksek Metabolik Oran	200 < M ≤ 260	360 < M ≤ 468	230	414	Kol ve bedenle yapılan ağır işler; ağır malzeme taşıma; kürek işleri; balyoz işleri; sert ahşabın testereyle kesilmesi, rendelenmesi veya keskiyle oyulması; elle çim biçme; kazı yapma; saatte 5.5 km ile 7.0 km arası bir hızla yürüme; ağır yüklenmiş çek çek

Tablo 2. de belirtildiği üzere atölyede çalışan kişilerin aktiviteleri, hat boyunca banttan kasaya parça taşınması ve göz ile kontrol gibi güç sarf etmek zorunda kalınmayan davranış türleri olduğundan, metabolik oranının “1 düşük metabolik oran” sınıfında olmasına karar verilmiştir.



### 2.3. Kullanılan Ölçüm Standartları ve Cihazlar

**Çok Amaçlı Ölçüm Cihazı;** TESTO 480, hava hızı ölçüm aralığı 0.6 ... +50 m/sn (Pervane prob Ø 16 mm), iç hava/radyan sıcaklık ölçüm aralığı -100 ... +400 °C ve bağıl nem ölçüm aralığı 0 ... 100 %rF.

**Küre Sıcaklığı Ölçüm Probu;** Küre sıcaklığı, 150 mm çapında, olabildiğince ince, mat siyah bir kürenin merkezine yerleştirilen bir sıcaklık algılayan sensördür, TCK Tipi, ölçüm aralığı 0,+120 °C.

**Nem ve Sıcaklık Ölçüm Probu;** Nem ölçüm aralığı 0,100 %RH ve sıcaklık ölçüm aralığı -20, +70 °C.

**Yaş Hazne Sıcaklığı Ölçüm Probu;** (Seri No: 02717881), sıcaklık ölçüm aralığı +10,+60 °C sahip ıslak bir yüzeydeki buharlaşma sonucu oluşan hava ile denge sıcaklığını ölçen probdur.

**Türbülans Seviyesi Probu;** (Seri No: 02998652), sıcaklık ölçüm aralığı 0, +50 °C, rüzgar hızı ölçüm aralığı 0, +5 m/sn ve basınç çalışma aralığı +700, +1100 hPa.

### 2.4. Soğuk Yelek Uygulaması

Sıcak ortamdaki işler için, tehlikeden korunmak adına koruyucu giysiler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, giyim vücut ve çevre arasındaki ısı değişimini etkiler. Isıya dayanıklı giysiler, nefes alamaz ve vücudun hava sirkülasyonu ile soğumasına izin vermez. Buna bağlı olarak giysi, ter buharlaşma süreçlerini etkiler ve bu durum hastalık riskini artırır. Dolayısıyla koruyucu giysiler terin ciltten buharlaşabileceğinden emin ve nefes alabilir olmalıdır.

Fabrikada beyaz yakalı personeller hariç özellikle sıcaklığa maruz kalan mavi yakalı çalışanların kıyafetlerinde, şekil 4 a. ile gösterilen %100 Pamuk ring iplikten pike örgü kumaş kullanılmaktadır. Fabrikada kullanılan iş kıyafetleri için giysi yalıtım değeri standartlarda 1,01 clo olarak belirlenmiştir (Ashrae, 1989).



a.



b.

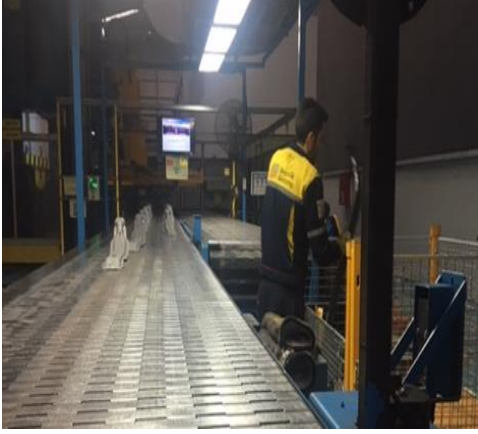
#### Şekil 4:

Çalışanların ölçüm sırasında giydikleri kıyafetler

a. Çalışan kıyafeti b. Soğuk yelek

Sayısı artan sıcak şekillendirme hatları ile birlikte azalan çalışma konforunu iyileştirmek için hem prosese müdahale etmeden hem de çalışanlara fayda sağlayacak yöntemler araştırılmıştır. Isıl konfor parametrelerinden biri olan giysi faktörü üzerine yoğunlaşılmasına karar verilmiştir. Sıcak şekillendirme hattında çalışan kişiler için yüksek sıcaklığa maruz kalma durumlarını iyileştirecek yöntemlerden biri olarak “soğuk yelek” uygulaması hedeflenmiştir. Şekil 4 b.’den görüldüğü üzere tasarlanan yelek, 3 katmanlı özel su tutabilen bir kumaştan

yapılmıştır. İç katman polar, orta katman su geçirmez membran ve dış katman, suya kolaylıkla izin veren, hidrofilik özelliği olan, nefes alabilen bir kumaştır. Sıcak ortama maruz kalındığında orta katman suyu emer ve daha hızlı buharlaşmaya yardımcı olur. Üç tabaka kapitone / ultrasonik yapıştırma yöntemi ile birleştirilerek kompozit bir giysi elde edilmiştir. Soğuk yeleğin vücut sıcaklığındaki etkisini incelemek için deneme, şekil 5 a.' da gösterilen sıcak şekillendirme 3.hat sonunda ve 1. Hat sonunda banttan kasaya parça taşıyan operatörler için uygulanmıştır.



a.



b.

**Şekil 5:**

*Soğuk yelek uygulaması*

*a. 3.hat sonu b. Soğuk yeleğin hazırlanması*

Soğuk yelek, buharlaşmalı soğutma konsepti üzerine çalışmaktadır. Şekil 5 b.'de gösterildiği gibi, suya batırılan yelekte depolanan su, insan vücudundan gelen ısı ile yelekten dışarıya buharlaşmaya başlamakta, böylelikle insan vücudunda sıcaklık düşüşü gerçekleşmiş olmaktadır. Uygulamadan önce yelek su dolu bir kovaya batırılarak 5 dakika su içerisinde bekletilmiştir.



a.



b.

**Şekil 6:**

*Çalışanların ölçüme hazırlanması*

*a. Vücut sıcaklığı ölçümü b. Vücut sıcaklığı ölçümünde kullanılan termometre*

Şekil 6 b.'den görüldüğü üzere, işe başlamadan hemen önce ve yelek giyildikten hemen sonra çalışanın vücut sıcaklığı ölçüm hassasiyeti  $\pm 0.1$  °C, hava nemi %30 ile %85 aralığında, hava sıcaklığı 10°C ile 40 °C arasında olan termometre yardımı ile ölçülmüştür. İnsan vücudundan alınan ölçümler, günün belirli saat aralıklarında da gerçekleştirilmiştir. Şekil 6 a.'da görüldüğü üzere, çalışanın, yelekten önce ve yeleği giydikten 5 dakika sonra alın, boyun ve bilek bölgelerinden dijital termometre vasıtasıyla değerler ölçülmüştür. Çalışanın mola saatleri de dikkate alınarak yeleği giydikten 1 saat, 2 saat ve 3 saat sonraya kadar ölçümler devam ettirilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Termal Ölçüm Sonuçları

Termal konfor PMV, PPD ölçümleri TS EN ISO 7730 standardı, WBGT - WBGTs ölçümleri TS EN 27243 standardı esas olarak gerçekleştirilmiştir. PMV parametresi, mahaldeki şartlar kişiden kişiye göre farklı değerlendirildiğinden öznel bir tanımdır. PMV değerine göre ölçüm stratejisi belirlenir. PMV değeri -2 ile +2 arasında ISO 7730, +2 üzerinde ise TS EN 27243 standardı kullanılır. PPD parametresi, mahaldeki insanların % kaçının o mahalden rahatsız olmayacağını yorumlar. PMV değeri +2 üzerinde olduğu durumlarda TS EN 27243 standardı kullanılır. WBGT, ısı baskısını altındaki insanın konfor şartlarını yorumlayan indekslerden biridir. Güneş yükünün olduğu durumlarda ise WBGTs ölçülür.

Çalışma ortamının termal konfor şartları belirlenirken iki temel bileşen olan çevresel ve kişisel faktörler kullanılmıştır. Ölçümler yapılırken ölçüm cihazına ısı konfor üzerinde etkisi olan giysi yalıtım katsayısı ve işçilerin metabolik hız değerleri girilmiştir. Tablo 3. de, fabrikada gerçekleştirilen termal konfor ölçümü gerçekleştirilen 1, 2, 3 ve 4 sıra no'lu noktalarda, PMV indeksi  $\pm 2$  aralığı içerisinde olduğundan TS EN ISO 7730 metodu kullanılmıştır. Tablo 4. de ise, TS EN ISO 7730 standardı esas alınarak yapılan değerlendirmeye göre 1, 2, 3 ve 4 sıra numaralı alanlar "sıcak" olarak bulunmuştur. Tesiste 10 noktada TS EN ISO 7730 standardının gerekliliği sağlanmadığından, bu noktalar için WBGT değerleri hesaplanmıştır.

**Tablo 3. Deneysel termal ölçüm sonuçları- PMV- PPD**

No	Ölçüm Yapılan Bölüm	Ölçüm Tarihi	Sıcaklık (°C)	Basınç (hPa)	Nem (%Rh)	Hava Akım Hızı (m/sn)	PM V	PPD %	Sonuç	clo
1	Sıcak Şekillendirme 3. Hat	26.06.18	29.4	998.5	54.3	0.41	1.96	72.3	Sıcak	1
2	Sıcak Şekillendirme Robot Hattı Kalite Bölümü	26.06.18	23.4	998.4	54.3	0.41	1.95	69.4	Sıcak	1
3	Sıcak Şekillendirme 2.hat Ekip Lideri Alanı	26.06.18	29.2	998.8	48.8	0.32	1.79	63.1	Sıcak	1
4	Sıcak Şekillendirme 4.Hat Ofis	26.06.18	25.7	994.6	37.1	0.2	1.35	43	Sıcak	1

**Tablo 4. Deneysel termal ölçüm sonuçları- WBGT**

Sıralama	Ölçüm Yapılan Bölüm	Baş.-Bitiş Tarihi	Ta (°C)	Tg (°C)	Tnw (°C)	Nem (%Rh)	Hava Akım Hızı	WBGT	Referans Değer
							(m/sn)		
1	Sıcak Şekillendirme 1.Hat	26.06.2018	33.5	35.7	23.3	45.7	0.24	27	30
2	Sıcak Şekillendirme Robot Hattı MTR 204	28.06.2018	33.9	38.3	22	40.2	0.14	26.9	30
3	4.Hat Sıcak Şekillendirme Ekip Lideri Alanı	2.06.2018	33.3	35.2	23	45.2	0.29	26.7	30
4	Sıcak Şekillendirme 4.Hat	27.06.2018	33.5	34.8	23	44.5	0.22	26.5	30
5	Sıcak Şekillendirme 3.Hat sonu	27.06.2018	32.8	34	23.1	46.8	0.22	26.4	30
6	Sıcak Şekillendirme 2.Hat Kasalama	26.06.2018	29.8	35	22.5	53.8	0.2	26.3	30
7	Sıcak Şekillendirme 1.Hat Sonu	26.06.2018	32.7	33.7	23	46.7	0.21	26.2	30
8	Sıcak Şekillendirme 2.Hat sonu	27.06.2018	32.3	34.1	22.8	47.2	0.17	26.2	30
9	Sıcak Pres Hattı Kalıp Bakım	28.06.2018	33.1	33.3	21.7	40.8	0.19	25.2	30
10	Sıcak Şekillendirme Üretim Ofisi	26.06.2018	26.9	33.7	17	39.5	0.15	22	30

TS EN 27243 standardına göre metabolik oran seviyelerinin tasnifi çizelgesinde, fabrikada çalışan personeller 1, düşük metabolik oran sınıfına koyulmuştur. Tablo 4. deki sonuçlara göre, TS EN 27243 standardında belirtilen referans değerler belirtilen metabolik oran sınıfı “1” için ısıya alıştırmış kişi – 30 °C referans alındığında WBGT değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak; 10 nokta için ‘çok sıcak’ ile ‘tolere edilebilir sıcak’ arasında bir seviyede olduğu görülmüştür.

Yelek ile denemelerin olduğu Mayıs 2019 döneminde teorik olarak PMV ve WBGT hesabı sonuçları Tablo 5. de belirtilmiştir. Haziran 2018 döneminde yapılan deneysel ölçümlerde olduğu gibi, Mayıs 2019 döneminde teorik olarak hesaplanan PMV değerleri de 2'nin üzerinde çıkararak ortamın konforsuz olduğu görülmüştür. Teorik olarak hesaplanan sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. Teorik hesaplamalarda, hava şartlarının çok benzer olması sebebiyle, ortalama radyal sıcaklık, kısmi buhar basıncı ve hava akım hızı deneysel hesaplamalar ile benzer alınmıştır. İki hesaplama arasındaki küçük farklılık, konvektif ısı transfer katsayısı ile kıyafet yüzey sıcaklığının farklılığından kaynaklanmaktadır. Teorik hesaplamalarda konvektif ısı transfer katsayısı ve kıyafet yüzey sıcaklığı birbiri ile ilişkili iki

bilinmeyenli denklem olduğundan, kıyafet yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığı ile insan ten sıcaklığı arasında ortalama değer alınarak kabul edilmiş ve buna bağlı olarak konvektif ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

**Tablo 5. Yelek ile ölçüm zamanlarında teorik PMV-WBGT hesaplama sonuçları**

Ölçüm Yapılan Bölüm	Ölçüm Tarihi	Sıcaklık (°C)	Basınç	Teorik Pmv	Deneyisel Pmv	Tnw (°C)	Tg (°C)	Teorik Wbgt	Deneyisel Wbgt	Referans
Sıcak Şekillendirme 3. Hat sonu 1.operatör	21.05. 2019	29.8	998.5	2.48	2.43	22.5	34	25.95	26.3	30
Sıcak Şekillendirme 3. Hat sonu 2.operatör	21.05. 2019	32.8	998.5	2.62	2.60	23.1	34	26.37	26.40	30
Sıcak Şekillendirme 1. Hat sonu 1.operatör	21.05. 2019	29	998.5	2.12	2.01	22.5	33.7	25.86	26	30
Sıcak Şekillendirme 1. Hat sonu 2.operatör	21.05. 2019	32.5	998.5	2.5	2.46	23	33.7	26.21	26.20	30

### 3.2. Soğuk Yelek Uygulaması Sonuçları

Tablo 6. da görüldüğü üzere, çalışma sonrasında bu yelek ile vücut sıcaklığının 5 dakika içerisinde yaklaşık 1 derece düşmesi sağlanmıştır. Diğer ölçüm zamanlarında da vücut sıcaklığının düşüşü ile konfor sağlanmaya devam etmiştir. Ayrıca yeleğin ıslaklığı gün boyu korunmuş ve çalışan kendini konforlu hissetmiştir.

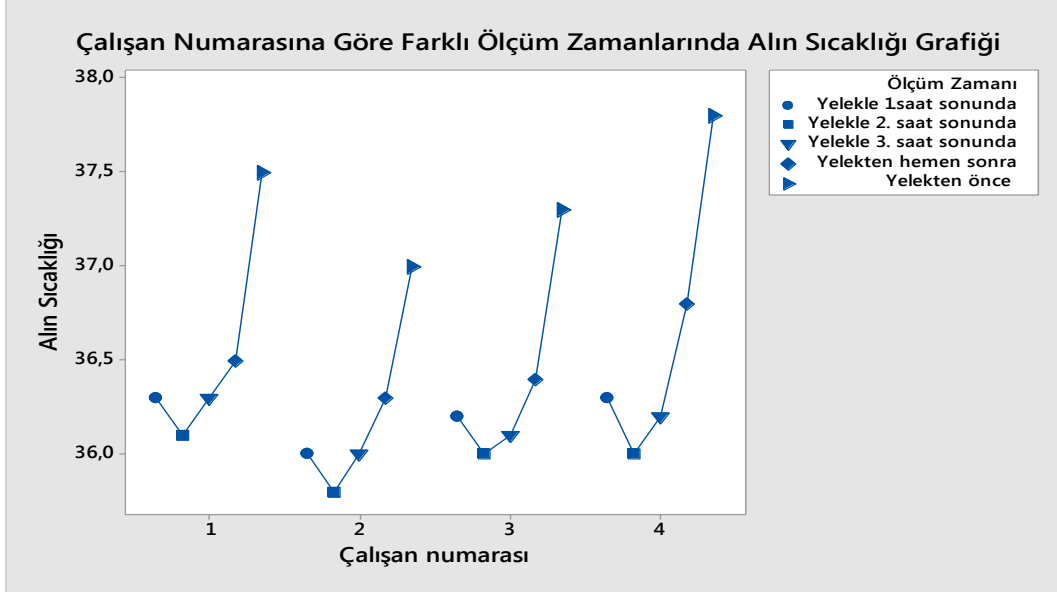
Çalışanların alın sıcaklıklarındaki farklılıkların kıyaslaması adına Şekil 7. de görüldüğü üzere, yelek giyilmeden önce 4 numaralı çalışanın diğer çalışanlara göre daha yüksek vücut sıcaklığına sahip olduğu görülmüştür. Yelekten önce ve yelek giyildikten 3. saat sonunda vücut sıcaklığı farkının en fazla olduğu çalışan ise yine 4 numaralı çalışandır.

Şekil 8-11. arasında her çalışanın farklı zamanlarda yapılan ölçümlerde farklı vücut bölümlerindeki (alın-boyun-bilek) sıcaklıklarına bakıldığında, genel olarak bilek sıcaklığının alın ve boyun sıcaklığından fazla olduğu görülmektedir. Soğuk yeleğin, vücut sıcaklığını düşürücü etki yaptığı atölyede yapılan denemeler sonucunda görülmüştür.

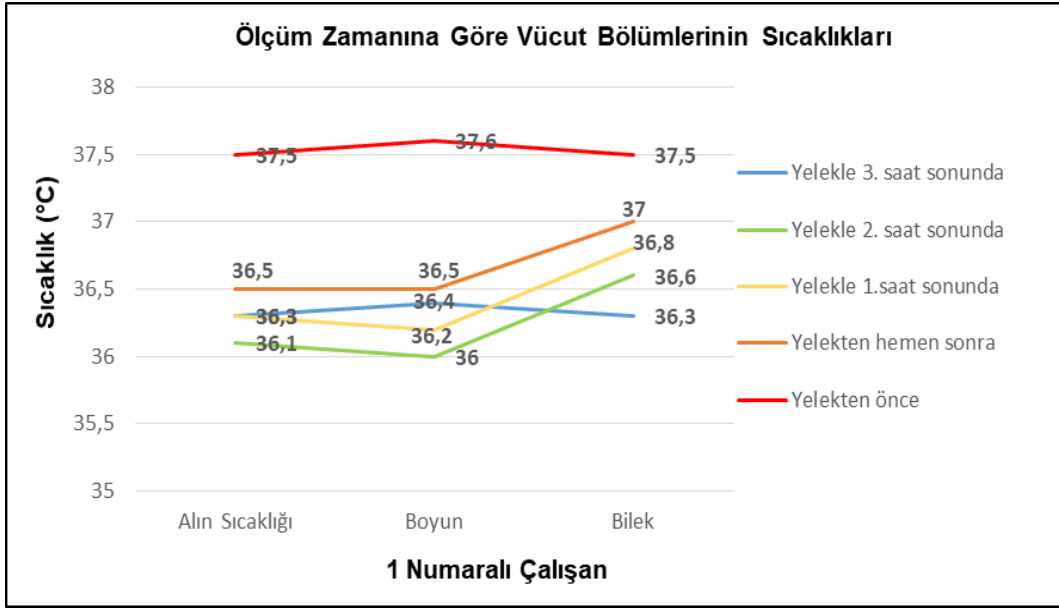
Bu çalışma için tasarlanan evaporatif soğuk yeleğin yaklaşık ağırlığı 0.4 kg olup 5 dk su içine bekletildikten sonraki ağırlığı yaklaşık 0.82 kg dır. Ölçüm sonrası soğuk yelek kullanan çalışanlardan alınan geri bildirimlerde üzerlerine giydikleri soğuk yeleğin ağırlığının herhangi bir konforsuzluğa neden olmadığı tespit edilmiştir.

**Tablo 6. Soğuk yelekli ve yelek vücut bölümleri sıcaklık değişimi**

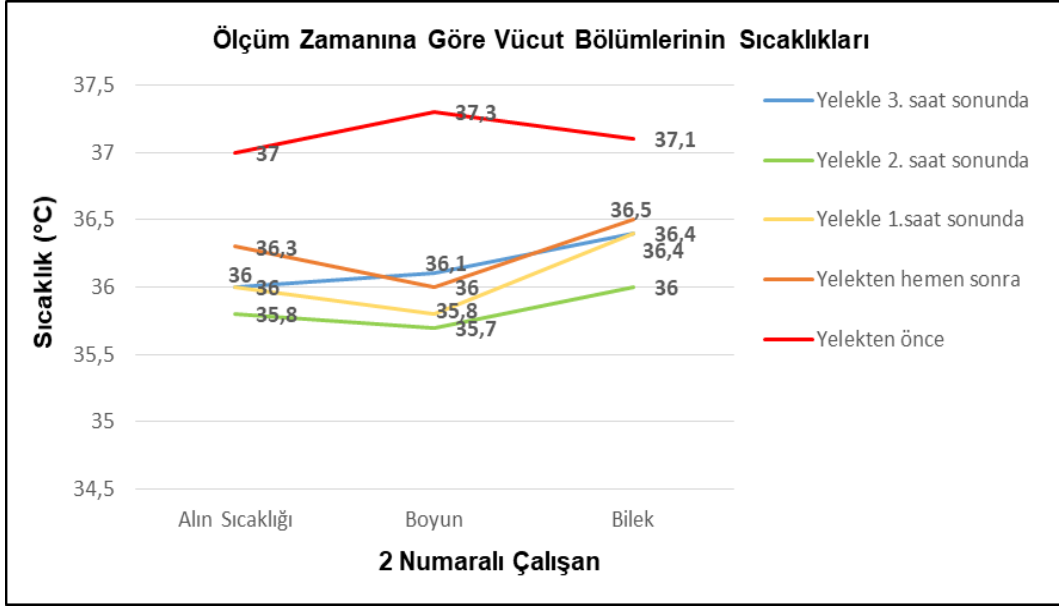
Çalışan numarası	Ölçüm tarihi	Ölçüm Saati	Çalışma ortamı	Giysi Yalıtım Katsayısı (Clo)	Ortam Sıc.	Ölçüm Zamanı	Vücut Bölümleri		
							Alın	Boyun	Bilek
1	21.05.2019	09.00	3.hat sonu	1	29.8°C	Yelekten önce	37.5°C	37.6 °C	37.5 °C
						Yelekten hemen sonra	36.5 °C	36.5 °C	37.0 °C
						Yelekle 1.saat sonunda	36.3 °C	36.2 °C	36.8 °C
						Yelekle 2. saat sonunda	36.1 °C	36 °C	36.6 °C
						Yelekle 3. saat sonunda	36.3 °C	36.4°C	36.3 °C
2	21.05.2019	13.18	3.hat sonu	1	32.3°C	Yelekten önce	37 °C	37.3 °C	37.1 °C
						Yelekten hemen sonra	36.3 °C	36 °C	36.5 °C
						Yelekle 1.saat sonunda	36.0°C	35.8 °C	36.4 °C
						Yelekle 2. saat sonunda	35.8 °C	35.7 °C	36.0 °C
						Yelekle 3. saat sonunda	36.0°C	36.1°C	36.4°C
3	21.05.2019	08.00	1.hat sonu	1	29°C	Yelekten önce	37.3°C	37.5°C	37.5°C
						Yelekten hemen sonra	36.4°C	37.0°C	36.8°C
						Yelekle 1.saat sonunda	36.2°C	36.8°C	36.5°C
						Yelekle 2. saat sonunda	36°C	36.7°C	36.4°C
						Yelekle 3. saat sonunda	36.1°C	36.9°C	36.5°C
4	21.05.2019	13.25	1.hat sonu	1	32.5°C	Yelekten önce	37.8°C	37.6°C	37.8°C
						Yelekten hemen sonra	36.8°C	37.3°C	37.2°C
						Yelekle 1.saat sonunda	36.3°C	36.9°C	36.8°C
						Yelekle 2. saat sonunda	36°C	36.1°C	36.2°C
						Yelekle 3. saat sonunda	36.2°C	36.4°C	36.2°C



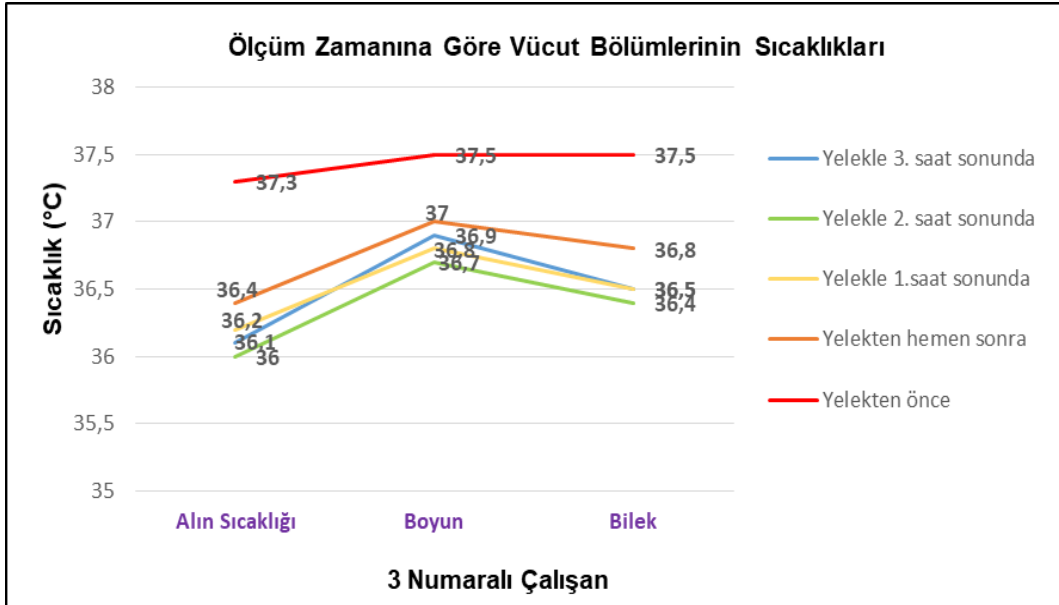
**Şekil 7:**  
*Soğuk yekele ve yeleksiz çalışanların alın sıcaklığı dağılımı*



**Şekil 8:**  
*1 numaralı çalışanın farklı vücut bölümleri sıcaklıkları*

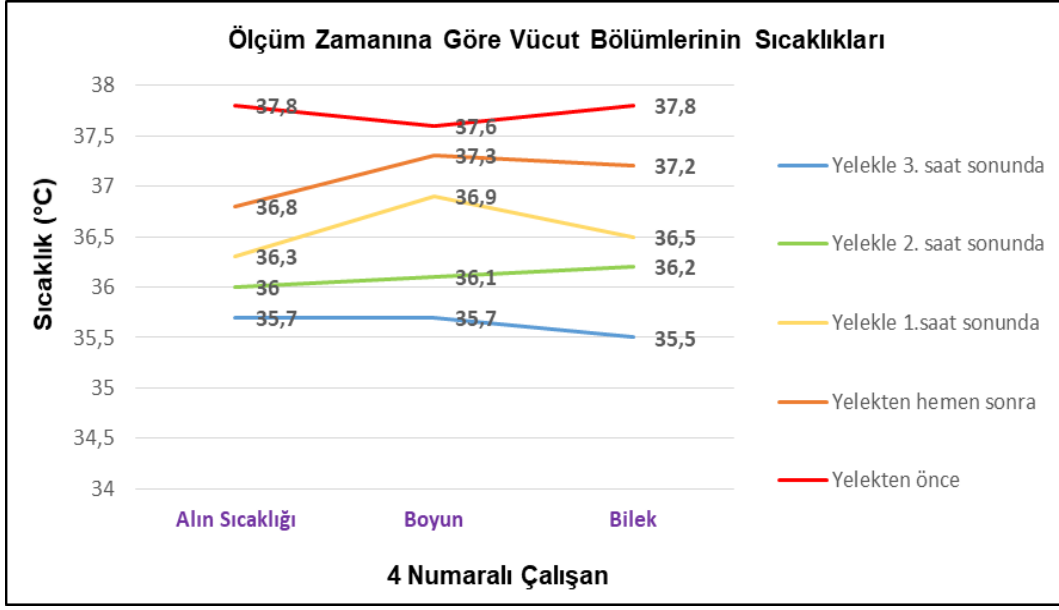


**Şekil 9:**  
2 Numaralı çalışanın farklı vücut bölümleri sıcaklıkları



**Şekil 10:**  
3 Numaralı çalışanın vücut bölümleri sıcaklıkları





**Şekil 11:**  
4 Numaralı çalışan vücut bölümleri sıcaklıkları

#### 4. SONUÇ

Sıcak şekillendirme hattında yapılan bu çalışmada, fabrikada çeşitli alanların termal ölçümler ile ortam sıcaklıkları belirlenerek, termal konfor durumları araştırılmıştır. Bu kapsamda firmada araştırma konusu alanlar, şekillendirme hat boyu, hat sonu, üretim ofisleri ve bakım bölgesi olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular değerlendirilmiş, yüksek sıcaklığa maruz kalınan bölgeler için çözüm önerisi düşünülmüştür.

Fabrika içerisinde yapılan termal ölçüm sonuçlarına göre, en sıcak bölgenin sıcak şekillendirme 1. hat olduğu görülmüştür. 14 farklı alanda yapılan ölçümlerde, 10 alanın PMV değerlendirme tablosuna göre “çok sıcak” olduğu ve bu nedenle WBGT indeksine bağlı olarak ölçüm yapılması gerektiği belirlenmiştir. Diğer 4 alanda ise yapılan ölçümlere göre PMV değerlendirme tablosunda “2” nolu seviyenin altında kaldığı ve “tolere edilebilir, sıcak” olduğu görülmüştür. Ölçümlerin yapıldığı gün içinde en yüksek çevre sıcaklığı 30 °C iken çalışma ortamı sıcaklığı 32.5 °C olarak ölçülmüştür. 32.5 °C olan sıcaklığın kişinin çalışma alanında zaman zaman farklı noktalardan bakıldığında 41°C-41.5°C olduğu da gözlemlenmiştir. 4 farklı kişi üzerinden sabah ve öğleden sonra yapılan 2 günlük ölçümlerde yeleden önce kişilerin vücut sıcaklığı ortalama 37.4 °C iken, yelege giydikten 3 dakika sonra vücut sıcaklığı ortalama 36.5 °C seviyelerine inmiştir. 1. saat ve 2. saat sonunda yapılan ölçümlerde ise vücut sıcaklığının düşüşünün devam ettiği görülmüştür. 3. saatin sonunda hafif derecede vücut sıcaklığında artış görülse de vücut sıcaklığı ortalama 36.1 °C seviyelerinde korunmuştur. Kişinin vücut sıcaklığında, yelege ilk giydiği zaman ile paydos zamanı arasında geçen sürede toplam da 1.3 °C azalma sağlanmıştır.

Bu veriler doğrultusunda ısı konforu sağlanması adına soğuk yelegen kullanılması, çalışanlara fayda sağlayacağı yapılan vücut sıcaklığı ölçümlerinde görülmüştür. Özellikle havalandırma sisteminin olmadığı, pres içlerinde arıza tamir durumunda çalışan operatör, daha fazla sıcaklığa maruz kalmasına rağmen, ortam şartlarını iyileştirmeye yönelik vantilatör gibi araçlardan uzak kaldığı için, ortamda çalışırken termal konforu sağlama adına “soğuk yelek” kullanması kısa vadede iyi bir çözüm yöntemi olarak görülmektedir. Vücut sıcaklığının düşmesi ile birlikte çalışanların ısı konfor memnuniyetlerinin arttığı, buna bağlı olarak iş kazasına maruz kalma olasılıklarını düşüreceği ve çalışanların performansını arttıracığı yapılan çalışma

sonuçlarına göre öngörülmektedir. Bütün bu olumlu bildirimlere rağmen sıcak çalışmaların yapıldığı ortamlarda ısı konforunun artırılması için mutlaka toplu korumaya yönelik mühendislik çözümleri devreye alınmalıdır. Özellikle iklimlendirme sistemlerinin geliştirilmesi, işletmedeki diğer birimlerin sıcak çalışma hatlarından izolasyonlu yapı malzemeleri ile ayrılması ve sıcak çalışma alanlarının modernizasyonu önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra sıcak çalışma bölgesinde bulunan çalışanların, gün içinde mola sıklıklarının ve sayısının artırılması, fazla sıvı tüketimine önem verilmesi ve radyant ısıya maruziyeti azalmak için koruyucu gözlük ve siperliklerin de kullanılması gibi önlemler de gerekmektedir.

Sıcak çalışma hattındaki çalışanların giydikleri soğuk yelek bu çalışma için örnek olarak üretilmiş olup, yelekte depolanan suyun insan vücut ısısı ile yelekten dışarıya buharlaşma yolu ile insan vücudundaki sıcaklığın düşürülmesi amaçlanmıştır. Seri üretim ile piyasa arz edilecek farklı tip soğuk yelek uygulamalarında, ısıl etkenliğinin artırılması, estetik olarak giyilebilir ergonomik tasarımların ve vücut sıcaklığının ani düşürülmesinin yol açacağı hipotermi ve diğer sağlık problemlerinin de mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

## **NOT**

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsünde gerçekleştirilen Yüksek Lisans çalışmasından çıkarılmıştır. Yüksek Lisans Çalışmasının gerçekleştirildiği ortamda ölçümler 2017 yılı başında alınmaya başlanmıştır. Bu yüzden çalışmada alınan değerler ve ölçüm normları 2002 yılında yayınlanan “TS EN 27243” standardında belirtilen değerlere göredir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmanın hazırlanması için desteklerini esirgemeyen Demirtaş organize sanayi bölgesinde bulunan Beyçelik Gestamp firmasına teşekkür ederiz.

## **ÇIKAR ÇATIŞMASI**

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## **YAZAR KATKISI**

Nurettin Yamankaradeniz, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin incelenmesi ve makalenin son onay kısımlarında katkı koymuştur. Tuğçe Turan Abi ise çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin incelenmesi konularında katkı koymuştur.

## **KAYNAKLAR**

1. Ashrae handbook–Fundamentals, “American Society of Heating”, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 8: 29, 1989.
2. Avcı, A., Yiğit, A. (1992) Değişik giysilerin ısı ve kütle transferi özelliklerinin insan konforu açısından incelenmesi, 2. *Soğutma ve iklimlendirme Kongresi Bildiri Kitabı*, Adana, 165-174.
3. Baltaoğlu, C. (1988) Çalışma yerleri için bir bilim denetim listesi geliştirilme ve çalışma yerlerinin değerlendirilmesi, 1.*Ulusal Ergonomi Kongresi*, Ankara, Yayın No:372.

4. Daanen, H.A.M., Vliert, E.V., Huang, X. (2003) Driving performance in cold, warm, and thermoneutral environments, *Applied Ergonomics*, 34: 597-602. doi:10.1016/S0003-6870(03)00055-3
5. Ekici, C. (2013) PMV metodu ile ısı konfor ölçümü ve hesaplanması, *VIII Ulusal Ölçüm bilim Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1-5, 2013.
6. ERKAN, N. (1997) *Ergonomi*, M.P.M. yayınları, Ankara, Yayın No:373.
7. Hoof, J. V., Hensen, M. (2007) Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones, *Building and Environment*, 42(1): 156-170. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.08.023
8. Huang, J., Xu, W. (2006) A new practical unit for the assessment of the heat exchange of human body with the environment, *Journal of Thermal Biology*, 31: 318-322. doi: 10.1016/j.jtherbio.2005.12.008
9. Ivanov, K.P. (2006) The development of the concepts of homeothermy and thermoregulation, *Journal of Thermal Biology*, 31: 24-29. doi: 10.1016/j.jtherbio.2005.12.005
10. Khan, M.M.K., Rasul, M.G. (2007) Thermal-comfort analysis and simulation for various low-energy cooling-technologies applied to an office building in a subtropical climate, *Applied Energy*, 85(6): 449-462. doi: 10.1016/j.apenergy.2007.10.001
11. Mcquiston, F.C., Parker, J.D. (1994) Heating, ventilating, and air conditioning analysis and design, New York, 100 –136.
12. Öngel, K., Mergen, K. (2009) Isıl konfor parametrelerinin insan vücudundaki etkilerine yönelik literatür taraması, *S.D.Ü. Tıp Fak. Dergisi*, 16(1):21-25.
13. Parameswarappa, S.B. ve Narayana, J., (2017) Assessment of effectiveness of cool coat in reducing heat strain among workers in steel industry, *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 21(1):30-35. doi: 10.4103/ijoom.IJOEM\_70\_16
14. Smolander, J., Kuklane, K. ve Holmer, I., (2015) Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10:2, 111-117. doi: 10.1080/10803548.2004.11076599.
15. TS EN 27243, “Sıcak Ortamlar - Wbgt (Yaş - Hazne Küre Sıcaklığı) İndeksine Göre Isının Çalışan Üzerindeki Baskısının Tahmini”, 2002
16. Yıldırım, H.A. ve Altınsoy, H., (2015) TS EN ISO 7730 ve TS EN ISO 27243 standartlarına göre termal konfor programı, *Çalışma Dünyası Dergisi*, (2):7-17.
17. Yiğit, A. ve Horuz, İ. (1995) Isıl konfor modellerinin incelenmesi ve karşılaştırılması, 10. *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Ankara, 613-622.
18. Yüksel, N. (2005) Günümüz kamu kurumlarında yapısal konfor koşullarının tespit edilmesine yönelik bir çalışma, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2):21-28.

