



İTFAİYECİ GİYSİLERİNİN KORUMA PERFORMANSININ ŞEKİL HAFIZALI YAY KULLANILARAK GELİŞTİRİLMESİ

Sevda ALTAŞ*, Elif YILMAZ

Ege Üniversitesi, Emel Akın Meslek Yüksekokulu, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Koruyucu giysi,
Dokuma kumaş,
Şekil hafızalı alaşım yayı,
Hava boşluğu,
Konvektif ısı testi,
Radyan ısı testi.*

Öz

Koruyucu giysiler, giyen kişi ve potansiyel risk kaynağı arasında tampon görevi gören, giyen kişinin hayatını korumaya yönelik olarak üretilen teknik giysilerdir. Koruyucu giysiler giyen kişinin korunması hedeflenen tehlikeye göre çeşitli gruplar altında incelenmektedir. Çalışanları yüksek sıcaklıktan korumak için üretilen itfaiyeci giysisi, termal koruyucu giysiler grubunda yer almaktadır. Termal koruyucu giysilerin kalın ve çok katmanlı olması gerekmekte olup, kumaş katları arasında yer alan boşluk koruyucu giysinin koruma performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada itfaiyeci giysilerinin termal koruma özelliklerinin geliştirilmesi ve çalışmanın çıktılarının akıllı koruyucu giysiler konusunda literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir. Bu amaçla kumaş katmanları arasına şekil hafızalı yaylar entegre edilerek, giyside yaratılan hava boşluğunun giysinin termal koruyucu özellikleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, kumaş katmanları arasına yay yerleştirilmesiyle oluşan hava boşluğu sayesinde kumaşların radyan ve konvektif ısıya karşı dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. Yay uzunluğu arttıkça, kumaş katları arasındaki hava boşluğu artmakta ve buna bağlı olarak ikinci derece yanık oluşumu için geçen süre uzamakta, giysinin koruma performansı iyileşmektedir.

IMPROVING THE PROTECTION PERFORMANCE OF FIRE FIGHTER'S SUITS BY USING SHAPE MEMORY ALLOY SPRINGS

Keywords

*Protective clothing,
Woven fabric,
Shape memory alloy spring,
Air gap,
Convective heat test,
Radiant heat test.*

Abstract

Protective clothing are technical garments that are produced to protect the wearer's life as a buffer between the wearer and the potential source of risk. Protective clothing is examined under various groups according to the intended hazard which the person aimed to be protected. Fire fighter's suit which is under the group of thermal protective clothing is produced to protect the workers from high temperatures. Thermal protective clothing must be thick and multi-layered, and the air gap between the fabric layers significantly affects the protection-performance of the protective clothing. In this study, it was aimed to improve the thermal protection properties of fire fighter's suits and to contribute to the literature with the outputs of the study in respect of smart protective clothing. For that purpose, shape memory springs were integrated between the fabric layers to determine the effect of the air gap created by shape memory springs, on the thermal protective properties of the garment. According to test results, it is determined that the fabric's resistance to radiant and convective heat increased due to the air gap formed by the spring insertion between the fabric layers. The amount of air gap between fabric layers increases when the spring length increases, accordingly time until second degree burns extends and the protection performance of the clothing improves.

* İlgili yazar / Corresponding author: sevda.altas@ege.edu.tr, +90-(232)-311-2079.

Alıntı / Cite

Altaş, S., Yılmaz, E., (2019). İtfaiyeci Giysilerinin Koruma Performansının Şekil Hafızalı Yay Kullanılarak Geliştirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 313-320.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

S.Altaş, 0000-0002-2504-8794

E.Yılmaz, 0000-0002-0433-0336

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

04.06.2018

Revizyon Tarihi / Revision Date

26.11.2018

Kabul Tarihi / Accepted Date

08.01.2019

Yayın Tarihi / Published Date

26.06.2019

1. Giriş

Koruyucu bir giysinin sahip olduğu performans sadece iş yerindeki kazalarda yaralanmaların önüne geçmekle sınırlı olmayıp aynı zamanda uzun vadeli meslek hastalıklarını da engelleyebilmektedir. Bu nedenle günümüzde her geçen gün koruyucu giysiler konusu ile ilgili olarak çeşitli bilimsel araştırmalar ve projeler yapılmakta, koruyucu giysiler başlığı altında değerlendirilen ürün gruplarının çeşitlenmesi ile bu giysiler çalışanların iş yerinde emniyetini sağlamada önemli bir rol üstlenmektedir.

Koruyucu giysiler, kullanıcının zararlı maddelere, olumsuz çevre koşullarına maruz kalma riskini önleyen ve bu riskten korunmasını sağlayan teknik amaçlı giysilerdir. Çeşitli risk ortamlarında çalışan itfaiyeciler, güvenlik personeli, otomobil yarışçıları, tıbbi personel ve ağır sanayi işçilerinin dış etkilerden korunması amacı ile üretilmektedir.

Bu çalışmanın amacı itfaiyeci giysisi olarak kullanılan iş elbiselerinin koruma performansını iyileştirilmesidir. Literatürde koruyucu giysilere yay, tel gibi şekil hafızalı alaşım materyali entegre edilerek yapılan önceki çalışmalarda bu giysilerin sadece ısıl direnç ve su buharı iletimi gibi termal konfor özelliklerinin araştırıldığı, radyan ve konvektif ısıya karşı olan dirençlerinin araştırılmadığı görülmüştür. Giysinin radyan ve konvektif ısılara olan direncinin araştırıldığı diğer çalışmalarda ise kumaş katmanları arasındaki hava boşluğunun metal ara parçalar kullanılarak oluşturulduğu görülmüştür. Bu çalışmada kumaş katmanları arasında şekil hafızalı alaşım yayları kullanılarak, alev veya yüksek ısıya maruz kalındığında giysi yapısında artan hava boşluğu oluşturulmuştur. Yeni tasarlanan itfaiyeci giysisinin radyan ve konvektif ısıya karşı dayanım özellikleri değerlendirilmiş, kumaş katmanları arasında şekil hafızalı yay kullanımının giysinin termal koruma performansını iyileştirdiği belirlenmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Kalıcı şeklini ezberleyen ve bir dış uyaranın etkisiyle hafızasındaki şekil ve boyuta geri dönebilen malzemeler şekil hafızalı malzemeler olarak adlandırılır. Şekil geri dönüşü, çevre sıcaklığı, elektrik akımı, manyetik alan, pH, UV ışık, belirli bir kimyasal veya herhangi başka bir uyaran tarafından tetiklenebilmektedir (Çukul, 2013; Bedeloğlu, 2011; Coşkun ve Oğulata, 2008; Mondal ve Hu, 2006).

Sanayide oldukça fazla kullanım alanı bulan şekil hafızalı alaşım, iç yapılarında bulunan östenit ve martensit adlı iki ayrı faz nedeniyle şekil hafıza etkisi, süperelastisite ve geri dönebilen gerilme uzaması gibi eşsiz özellikler gösteren metalik malzemeler grubuna dâhildir (Vasile vd., 2011; Hu, 2007).

Şekil hafızalı alaşım malzemeler tek veya çift yönlü şekil hafıza etkisi gösterebilmektedir. Tek yönlü şekil hafızasına sahip malzemeler sadece östenit yani yüksek sıcaklık fazdaki şeklini hatırlarken, çift yönlü şekil hafıza özelliği gösteren malzemeler eğitime denilen özel ısıl işlemlere tabi tutulduktan sonra martensit fazdaki şeklini de hatırlayabilmektedir (Zanaboni, 2008; Jani et al. 2014).

Metal alaşımların sadece sınırlı bir kısmı ticari olarak önem kazanmış olup, uygulamada şekil hafıza etkisi gösteren çok sayıda alaşımın olduğu bilinmekle birlikte bunlar arasında en çok ilgi görenler nikel-titanyum alaşımları ile bakır esaslı alaşımlardır (Akdoğan ve Nurveren, 2003).

Şekil hafızalı metallerin tekstil ürünlerinde kullanılması ile geliştirilen akıllı tekstiller konusunda son yıllarda yapılan oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda şekil hafızalı yay hem tel hem de yay formunda kullanıldığı görülmüştür.

Şekil hafızalı alaşımın tel formunda kullanıldığı bir çalışmada; peristaltik hareketler sağlamak için nitinol tellerin kullanıldığı bir model geliştirilmiş, tekstil materyali olarak örgü kumaş kullanılmış ve teller ilmekler arasına yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda nitinol tellerin elektrik akımı yardımıyla kasılma hareketi yaparak, bir kas gibi davranabildiği ve tekstil materyallerinin bu şekilde bir yapıda kullanılabilirdiği ortaya konmuştur (Güney, 2009). Başka bir çalışmada, tekstil yüzeyi içerisine yerleştirilen nitinol tellere elektrik akımı verilerek parmaklarını hareket ettirebilen bir eldiven geliştirilmiştir (Dede, 2013). Şekil hafızalı yaylar ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada ise, şekil hafızalı yayın aktuatör özelliğinden faydalanılmış, yayların dış uyaran etkisi ile boyunun kısalmasıyla giysinin vücuda uygun olarak ayarlanmasını sağlayan astronot kıyafetleri üretilmiştir (Clarke vd., 2016). Bir başka çalışmada ise şekil hafızalı yaylar baskı sağlayıcı kumaş üretimi için kullanılmıştır (Holschuh ve Newman, 2015).

Şekil hafızalı yayların kullanıldığı alanlardan biri de termal koruma giysileridir. Çalışmanın konusu olan itfaiyeci giysileri termal koruyucu giysiler başlığı altında değerlendirilmekte olup, ısı, alev kaynaklı tehlike kaynaklarından insan hayatını koruma fonksiyonunu üstlenen teknik giysilerdir.

Bu giysilerin itfaiyecileri termal kaynaklı tehlikelerden koruması için kalın ve çok katmanlı olması beklenmektedir. Kumaş katmanları arasında yer alan durgun hava boşluğu da giysi sisteminin yalıtım özelliklerini arttırarak hem konfor hem koruma performansını etkileyen faktörlerdendir (Congalton, 1999; Udayraj vd., 2016).

Literatürde şekil hafızalı yay kullanımı ile kumaş katmanları arasında hava boşluğu oluşturulan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda iki yönlü şekil hafızalı yayların, soğuktan koruyucu giysi ve itfaiyeci giysi yapılarının termal konfor özelliklerini arttırmaya yönelik olarak, kumaş katmanları arasına entegre edildiği görülmüştür. Gerçekleştirilen testlerde giysilerin yalıtım özellikleri HCE (insan-giysi-çevre) simülatörü ve sübjektif giyim denemeleri ile belirlenmiş, yayların akıllı termal koruma giysilerinin üretiminde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir (Yoo vd., 2006; Lee vd., 2009; Park vd., 2012).

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda, daha önceki çalışmalara benzer şekilde itfaiyeci giysilerinin koruma performansının şekil hafızalı yay kullanarak iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla iki yönlü şekil hafızalı yaylar, piyasada satışı bulunan itfaiyeci giysilerinde kullanılan kumaş katmanları arasına entegre edilmiş ve elde edilen katmanlı kumaş yapılarının termal koruma performansı araştırılmıştır.

Literatürde koruyucu giysilerin koruma performanslarının değerlendirilmesi üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde hava boşluğu miktarı ve pozisyonunun giysinin termal koruma performansı üzerindeki etkisinin araştırılması için çok katmanlı numuneler hazırlanmış, kumaş katmanları arasında hava boşluğu yaratmak için 5 farklı kalınlıkta tutucu çerçeve farklı kumaş katmanları arasına yerleştirilmiş ve numunelere NFPA 1971 standardına göre 84kW/m^2 lik ısı akısı uygulanmıştır. Çalışma sonucunda hava boşluğunun artmasının kumaş sisteminin termal koruma performansını arttırdığı, hava boşluğu pozisyonunun aleve maruz kalma esnasındaki ısı iletimini büyük ölçüde etkilediği, alev kaynağından daha uzakta konumlandırılan hava boşluğunun daha fazla koruma etkisi sağladığı belirtilmiştir (Wang vd., 2012).

Başka bir çalışmada termal koruma performansının değerlendirilmesi için farklı kalınlıktaki metal ara parçalar farklı kumaş katmanları arasında

yerleştirilerek numuneler hazırlanmış ve numunelere 2, 5 ve 10kW/m^2 lik termal radyasyon uygulanmıştır. Çalışma sonucu olarak hava boşluğu miktarı arttıkça, artan termal dirence bağlı olarak ikinci derece yanık oluşumu için geçen sürenin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca hava boşluğu pozisyonunun ısı kaynağına yakın olduğu durumlarda, katmanlı kumaş yapısında sıcaklık değişiminin çok daha hızlı olduğu, bunun da termal koruma özelliğini azalttığı gözlemlenmiştir (Fu vd., 2014a). Aynı araştırmacılara ait diğer bir çalışmada düşük seviye radyasyon seviyelerinde hava boşluğunun çok katmanlı koruyucu giysi sistemin termal performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada hava boşlukları yine metal ara parçalar kullanılarak dış katman ile nem bariyeri ve nem bariyeri ile termal astar arasında oluşturulmuştur. Çalışma sonunda, iki hava boşluğunun termal dirençlerinin direkt olarak ısı akısı ile ilişkili olduğu: ısı akısı arttıkça termal direncin azaldığı, hava boşluğu pozisyonunun hava boşluğu miktarının etkinliğini de belirlediği, nem bariyeri ve termal astar arasında oluşturulan hava boşluğunun termal performansı daha fazla iyileştirdiği sonuçları paylaşılmış, farklı pozisyonlarda farklı büyüklüklerde hava boşlukları kullanılması önerilmiştir (Fu vd., 2014b).

Literatürde rastlanan diğer bir çalışmada farklı miktarda nem içeren numunelerin termal davranışının değerlendirilmesi için numunelere ISO 6942 standardına göre 20kW/m^2 lik radyan ısı uygulanmıştır. Çalışma sonucunda kumaş yapısındaki nemin hem radyan hem konvektif ısıya karşı korumayı azalttığı ortaya konmuştur (Makinen vd., 1988).

Bir diğer çalışmada 6 farklı kumaş kombinasyonunun termal koruma ve mekanik özellikleri ısı uygulaması öncesi ve sonrasında araştırılmıştır. 40kW/m^2 radyan ısı ve 80kW/m^2 konvektif ısı uygulaması sonrasında, mekanik özelliklerin, koruma özelliklerine kıyasla ısıdan daha fazla etkilendiği ve ısı uygulaması sonrasında değerlerde azalmalar olduğu ancak yine de koruyucu giysi standartlarının sağlandığı belirtilmiştir (Rossi vd., 2008).

Polibenzimidazol (PBI), aromatik poliamid ve PBI'nın aramid veya aleve dayanıklı rayon lifleri ile karışımından elde edilen 21 ısıya dirençli kumaşın $20-84\text{kW/m}^2$ arasında değişen yüksek yoğunlukta konvektif ve radyan ısı akılarına maruz bırakıldığı bir diğer çalışmada numunelerin termal koruma performansları değerlendirilmiş, en yüksek korumanın en düşük seviye ısı akısında kaydedildiği, termal korumanın kumaş kalınlığı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Lee ve Barker, 1987).

Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada kumaş katmanları arasındaki hava boşluğu ısı etkisi ile boyu uzayan şekil hafızalı yayların kumaş yapısı içerisine entegrasyonu ile sağlanmıştır. Önceki çalışmalarda kumaş katmanları arasındaki hava boşluğunun metal ara parçalar kullanılarak

oluşturulduğu görülmüştür. Metal ara parçaların aksine şekil hafızalı yaylar normal şartlarda kapalı konumda bulunmakta, giysinin yüksek ısı veya alev ile karşılaşması durumunda boyca uzayarak kumaş katmanları arasındaki hava boşluğunu arttırmakta, bu sayede ikinci derece yanık oluşumu için geçen süreyi uzatarak giysinin koruma performansını iyileştirmektedir. Bununla birlikte, giysi sistemi içinde bulunan şekil hafızalı yayların normal ortam koşullarında kapalı konumda bulunması, kumaş katmanları arasında daha az miktarda hava boşluğu olmasını sağlamakta, böylece normal ortam koşullarında giysinin ısı direnci daha düşük olmaktadır. Bu durum giysi konforunu da olumlu yönde etkilemektedir.

Şekil hafızalı yayların, termal koruma giysilerinin alev ve ısıya karşı dayanımını arttırmaya yönelik olarak kullanıldığı bir çalışmada ise düz konumdaki yaylar 3 katmanlı giysi sistemine entegre edilmiş, konik kalorimetre ile çeşitli ısı akılarında yapılan ölçümler sonucunda, 3mm'lik hava boşluğunun 15 kW/m² ısı akısında en iyi koruma performansı göstererek, ikinci derece yanık oluşumu için ekstra 40 sn. kazandırdığı belirtilmiştir (Congalton, 1999). Bu çalışmada ise farklı olarak 3 katmanlı itfaiyeci giysisinin termal koruma performansı hem radyan hem konvektif ısıya karşı, sırasıyla orta ve yüksek seviye ısı akılarında incelenmiştir.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Çalışmada Kullanılan Kumaş Özellikleri

Çalışma kapsamında kullanılan kumaşlar, piyasada satışı bulunan itfaiyeci kıyafetlerinde kullanılan kumaş katman yapısına uygun kumaşlardan seçilmiş ve çalışma için temin edilmiştir. Bu kumaşlar; dış katman, nem bariyeri ve termal astardan oluşmakta olup, özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan kumaşlar ve özellikleri

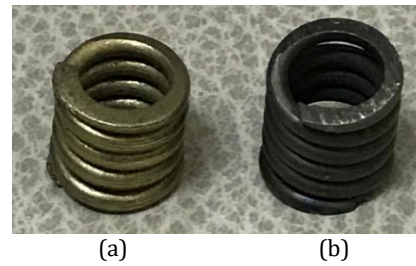
KUMAŞ KODU	KUMAŞ KATMANI	KUMAŞ İÇERİĞİ	GRAMAJ (G/M ²)	KALINLIK (MM)
1	Dış katman	%75 m-aramid, %23 p-aramid, %2 antistatik lif	195	0,42
2	Nem bariyeri	Poliüretan	150	0,43
3	Termal astar	Aramid/viskon FR kumaş ile kaplı aramid keçe	270	2,36

3.2. Yayların Özellikleri

Şekil hafızalı yayların kumaş katmanları arasında oluşturduğu hava boşluğunun etkisini incelemek için çalışmada hem şekil hafızalı yay ve hem de klasik yay kullanılmıştır (Bkz. Şekil 1).

Şekil hafızalı yaylar pirinç alaşım malzemeden üretilmiş olup, iki yönlü şekil hafızasına sahiptir. Şekil değişimi kuvvet etkisi olmaksızın, yalnızca sıcaklık etkisiyle gerçekleşmektedir. Isıtılan yay boyca uzarken, ısı etkisi ortadan kaldırıldığında yay boyca kısalarak kapalı konumdaki ilk haline dönmektedir. Çalışmada kullanılan şekil hafızalı yay hazır olarak temin edilmiştir.

Klasik yaylar ise şekil hafızalı yayların ısı etkisiyle açılmadan önceki hallerini simule etmekte olup, birebir şekil hafızalı yay ölçülerinde olacak şekilde üretilmiştir. Bu sayede yayın kapalı formunun kumaşta yarattığı hava boşluğunun etkisi de incelenmiştir. Kullanılan yayların özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kumaşa entegre edilen şekil hafızalı (a) ve klasik yay (b)

Tablo 2. Çalışmada kullanılan yayların özellikleri

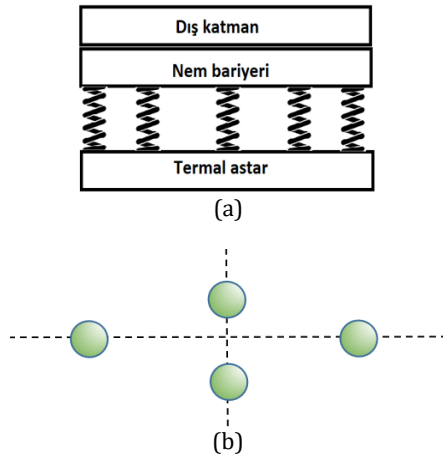
PARAMETRELER	ÖLÇÜLER	
	SMA	KLASİK
İÇ ÇAP (MM)	8	8
DIŞ ÇAP (MM)	11	11
TEL KALINLIĞI (MM)	1,5	1,5
TOPLAM YAY UZUNLUĞU (MM)	KAPALI	10
	AÇIK	-
YAY AĞIRLIĞI (GR)	3	

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında kumaşlar sırasıyla dış katman, nem bariyeri ve termal astar olacak şekilde bir araya getirilerek 3 katmanlı deney numuneleri hazırlanmıştır. Deney numunelerinin hazırlanması esnasında, yaylar meta aramid dikiş ipliği kullanılarak el dikışı ile nem bariyeri ve termal astar arasına entegre edilmiştir.

Hem yay yerleştirme yeri hem de yay yerleştirme düzeni, literatürden edinilen bilgiler ve tarafımızdan yapılan önceki çalışmanın (Wang vd.,2012; Fu vd., 2014a-b; Yılmaz ve Altaş,2017) verileri ışığında belirlenmiştir. Şekil hafızalı yaylı numunelerin yanı sıra, karşılaştırma yapılabilmesi için yayların kapalı formunda temin edilen klasik yaylar entegre edilen numune ve ayrıca içinde hiç yay bulundurmayan bir referans numune de hazırlanmıştır. Çalışma

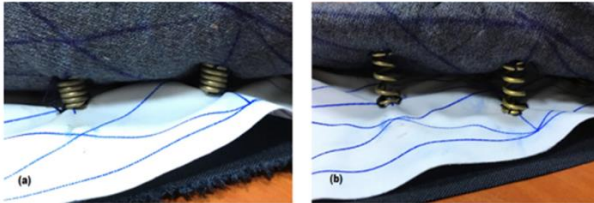
kapsamında hazırlanan deney numuneleri ile referans numuneye ait bilgiler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 2. Yayların yerleşim yeri (a) ve yerleştirme düzeni (b)

Tablo 3. Deney numuneleri ile referans numuneye ait bilgiler

NUMUNE KODU	NUMUNE TİPİ	YAY CİNSİ	YAY SAYISI
RS	Referans numune	-	-
SMAS	SMA entegre edilen numune	SMA yay	4
RSS	Klasik yay entegre edilen numune	Klasik yay (SMA kapalı hali)	4



Şekil 3. SMA yaylarının, nem bariyeri ve termal astar arasına yerleştirilmiş görüntüsü; kapalı durumda (a) ve ısıtıldığında açık durumda (b).

Radyan ısı testi TS EN ISO 6942 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Standartta belirtildiği üzere radyan ısı testi farklı ısı akı yoğunluk seviyelerinde gerçekleştirilmektedir. Buna göre 5-10 kW/m² düşük seviye, 20-40 kW/m² orta seviye ve 80 kW/m² yüksek seviye ısı akısı olarak değerlendirilmektedir (Onofrei vd., 2014). Çalışma kapsamında itfaiyeci giysilerinin termal koruma özelliklerinin incelenmesi için orta seviye ışıma şiddeti seçilmiş, numunelere 40±2 kW/m² radyan ısı akısı uygulanmıştır. Numune boyutları 230mm*80 mm olup, test her bir numune için 3 kez tekrarlanmıştır.

Konvektif ısı testi ise ISO 9151 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Numune boyutları standarda

göre belirlenmiş olup 140mm*140mm'dir. Numunelere uygulanan ısı akısı 80±2 kW/m² olup, test üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Radyan Isı Testi Ölçüm Verileri

Çalışma kapsamında radyan ısı iletimi değerleri ölçülen yaylı numuneler ile referans numuneye ait veriler Tablo 4'de verilmiştir. Radyan ısı testi gerçekleştirilen her bir numune için 12 °C ve 24 °C ısı artışları için geçen süre incelenmiş ve sırasıyla, şekil hafızalı yay kullanılan kumaşlarda radyan ısının transferi için geçen sürenin en yüksek olduğu, yayların kapalı formda kullanıldığı numuneler için ölçülen sürelerin daha düşük olduğu, yay kullanılmayan referans numunenin ise en düşük ölçüm sürelerini verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4. Radyan ısı testi ölçüm verileri

PARAMETRELER		NUMUNELER	
		Ortalama	Standart Sapma
t12(sn)*	SMAS	29,1	0,808
	RSS	27,5	1,222
	RS	16,7	1,026
t24(sn)*	SMAS	43,2	1,400
	RSS	36,7	1,644
	RS	23,3	0,751
MESAFE, d(cm)**		16,8	
* Kalorimetrede 12 °C ve 24 °C sıcaklık artışı için geçen süredir.			
** Kalorimetre ve radyan ısı kaynağı arasındaki istenilen ısı akısını sağlamak için ayarlanan mesafe.			

Radyan ısı testinden elde edilen veriler aynı zamanda varyans analizi ile de test edilmiştir.

12 °C'lik ısı artışı için geçen sürede elde edilen verilerde gruplar arasında anlamlı fark bulunmuştur (p<0,001). Gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalarda, istatistiksel açıdan anlamlı bu farkın SMAS ve RS numuneleri (p<0,001) ile RSS ile RS numuneleri (p<0,001) arasında olduğu görülmüştür.

24 °C ısı artışı için geçen sürede elde edilen verilerde de gruplar arasında istatistiksel açıdan önemli fark bulunmuştur. SMA ve RSS (p=0,002), SMA ve RS (p<0,001), RSS ve RS (p<0,001) numuneleri arasında yapılan ikili karşılaştırmalarda da anlamlı farklılıklar saptanmıştır.

4.2. Konvektif Isı İletimi Ölçüm Verileri

Çalışma kapsamında konvektif ısı iletimi değerleri ölçülen yaylı numuneler ile referans numuneye ait veriler Tablo 5'te verilmiştir. Konvektif ısı testinde 12 °C ve 24 °C ısı artışları için geçen süre incelendiğinde sırasıyla, şekil hafızalı yay kullanılan numunelerde

konvektif ısının transferi için daha fazla süre geçtiği, yayların kapalı formda kullanıldığı numunelerde ikinci en yüksek sürenin geçtiği ve yay kullanılmayan referans numunede ise sürenin en az olduğu gözlenmiştir. Gerçekleştirilen istatistiksel analizde 12 °C ve 24 °C ısı artışları için geçen süreler için gruplar arasında anlamlı fark bulunmuştur (t12 için $p<0.001$ ve t24 için $p<0,001$).

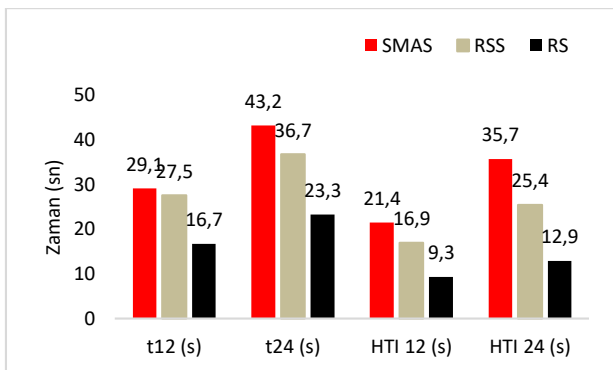
12 °C'lik ısı artışı için geçen süre için varyans analizi sonrasında SMAS ve RSS ($p=0,012$), SMAS ve RS ($p<0,001$), RSS ve RS ($p=0,001$) numuneleri arasında gerçekleştirilen karşılaştırmalarda ikili gruplar arasında önemli farklar olduğu belirlenmiştir.

24 °C ısı artışı için tüm numune gruplarının ikili karşılaştırmalarında anlamlı istatistiksel farklılıklar saptanmıştır ($p<0,001$).

Tablo 5. Konvektif ısı iletimi ölçüm verileri

PARAMETRELER		NUMUNELER	
		Ortalama	Standart Sapma
t12(sn)*	SMAS	21,4	1,355
	RSS	16,9	0,375
	RS	9,3	1,753
t24(sn)*	SMAS	35,7	0,967
	RSS	25,4	1,109
	RS	12,9	2,058
MESAFE (mm)**		50	
* K kalorimetrede 12 °C ve 24 °C sıcaklık artışı için geçen süredir.			
** Numune destek çerçevesi ve alev kaynağının üst yüzeyi arasındaki standart mesafe			

Radyan ve konvektif ısı testleri için ikinci derece yanık oluşumu için geçen sürelerin karşılaştırılması olarak gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Radyan (t12 ve t24, $40\pm 2\text{ kW/m}^2$) ve konvektif (HTI12 ve HTI24, $80\pm 2\text{ kW/m}^2$) ısı testleri için ikinci derece yanık oluşana kadar geçen sürelerin karşılaştırılması

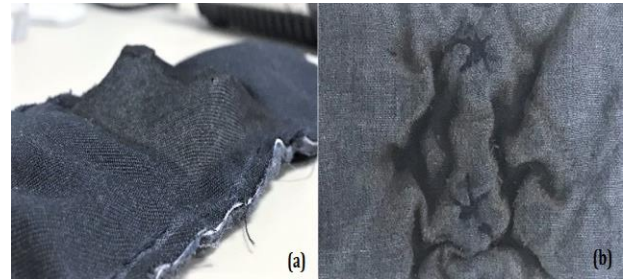
4.3. Radyan ve Konvektif Isı Testleri Sonrasında Numunelerin Yüzey Görünümlerine Ait Bulgular

Gerçekleştirilen testler sonrasında numunelerin ön ve

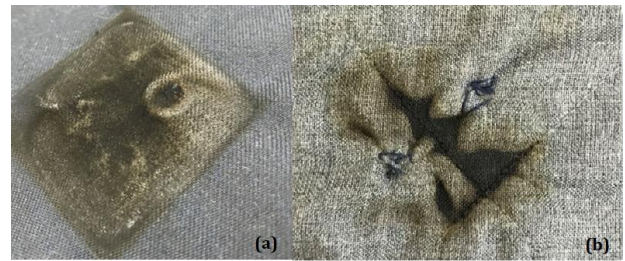
arka yüzey görüntüleri görsel olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, her iki test sonrasında kumaş yüzeyinde kömürleşme ve renk değişimi olduğu, ancak bozulmanın en çok ısı veya alevle direkt maruz kalan dış katmanda olduğu belirlenmiştir.

Aynı zamanda, testler sonrasında numunelerde kullanılan SMA ve klasik yayların yandığı ve SMA yayının ısı uygulaması sonrası kapalı konumda olan ilk haline geri dönmeyip şekil hafıza özelliğini kaybettiği görülmüştür. Bunun nedeni şekil hafızalı alaşım malzemelerin şekil dönüşümlerinin belirli sıcaklık aralıklarında gerçekleşmesidir. Belirli bir sıcaklık noktası aşıldıktan sonra malzeme şekil hafıza özelliğini kaybetmektedir. Testler sonrası gözlemlenen durum bu şekilde açıklanabilmektedir. Şekil 5'te radyan ve Şekil 6'da konvektif ısı testleri sonrasında numunelerin dış katman ve termal astara ait örnek yüzey görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5. Radyan ısı testi sonrası SMAS numunelerin ön (a) ve arka (b) yüzey görüntüleri



Şekil 6. Konvektif ısı testi sonrası RSS numunelerin ön (a) ve arka (b) yüzey görüntüleri

5. Sonuç ve Tartışma

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; hem şekil hafızalı yay, hem de klasik yayın kumaş katmanları arasına yerleştirilmesiyle oluşan hava boşluğu sayesinde, itfaiyeci elbiselerinin ısı ve alevden koruma performansı artmaktadır. Yay uzunluğu arttıkça, kumaş katları arasındaki boşluk miktarı da artmakta ve bunun sonucunda ikinci derece yanık oluşumu için geçen süre uzamaktadır.

Yaylar arasında karşılaştırma yapıldığında, SMA yaylı numunelerin, artan sıcaklık ile uzaması nedeniyle

sıradan yaylara sahip numunelere kıyasla kumaş katları arasında daha fazla hava boşluğu yarattığı ve buna bağlı olarak SMA yaylı numunelerin radyan ve konvektif ısıya karşı dirençleri daha yüksek olduğu görülmüştür.

Konvektif ısı testinden elde edilen veriler incelendiğinde tüm numuneler için ikinci derece yanık oluşumuna dek geçen sürelerin radyan ısı testi sonuçlarından daha az bulunduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni konvektif ısı testinde kumaşın dış yüzeyine uygulanan ısı akısının radyan ısı testinden uygulanan ısı akısından 2 kat fazla olmasıdır. Bu nedenle numunelerin konvektif ısıya dayanım sürelerinin radyan ısı testi sonucu elde edilen sürelerden daha kısa olması çalışmanın sonuçları bakımından anlamlıdır.

Gerçekleştirilen varyans analizlerinde de her iki teste ait veriler üç numune tipi açısından değerlendirilmiş ve gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu açıdan istatistiksel verilerin çalışma sonuçlarını destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Yapılan denemeler sonucunda, şekil hafızalı yayın kumaş katmanları arasında oluşturduğu hava boşluğunun radyan ve konvektif ısıya dayanım açısından olumlu etkilerinin olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, yay kullanımının katmanlı kumaş yapısında ağırlıkça artışa neden olması sonucu nihai giysiyi de ağırlaştırarak olması ve dolayısıyla giyim konforunu olumsuz yönde etkilemesi gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır. Yapılan çalışmada tek tip yay yerleşimi kullanılarak numunelere yalnızca 4 adet yay entegre edilmiş olup, bu yayların numunenin ağırlığına etkisi 12 grdır. Numune boyutları test standardına göre değiştiğinden yay entegrasyonunun kumaş m² ağırlığına olan etkisi radyan ısı ve konvektif ısı testleri için sırasıyla 612 ve 652 gram olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle çalışma sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak koruyucu giyside kullanılacak yayların giyen kişide konforsuzluğa neden olmaması için mümkün olduğunca hafif olması, koruma giysisinin her yerinde değil, sadece omuz ve göğüs bölgesi gibi termal koruma açısından kritik bölgelerde kullanılması önerilmektedir.

Yapılacak sonraki çalışmalarda kumaş katmanları arasında hava boşluğu yaratmak için tekrarlı ısıl uygulamalar sonrasında şekil hafıza özelliklerini koruyabilecek farklı şekil hafızalı materyaller kullanılması, kumaş katmanları arasına entegre edilen metal alaşım malzemenin neden olduğu ısı transferini önlemek için kumaş katmanları arasında bir yalıtım malzemesi eklenmesi, yayların kumaşa entegre edilmesi için sanayide gerçekleştirilecek seri üretime uygun farklı yöntemler geliştirilmesi, son olarak, optimum koruma seviyesini belirlemek için kumaş katmanları arasında farklı miktarda hava boşluğu yaratacak farklı yay uzunlukları seçilerek giysilere entegre edilmesi ve testlerin farklı radyan ısı akısı

değerleri için tekrarlanması çalışma sonucunda yapılan diğer önerilerdir.

Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi 16 EAMYO 007 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiş olup, 14-16 Nisan 2018 tarihlerinde İstanbul'da düzenlenen 8.Uluslararası İstanbul Tekstil Konferansında (ETT) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özet metin olarak basılmıştır.

Yazarlar çalışmada kullanılan kumaşları çalışma için bedelsiz olarak temin eden İST İşçi Sağlığı Teçhizatı Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'ne teşekkür eder.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Akdoğan, A., Nurveren, K., 2003. Shape Memory Alloys. *Engineer and Machinery*, 44(521), 35-44.
- Bedeloğlu, A., 2011. Şekil Hafızalı Alaşım ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları. *Tekstil ve Mühendis*, 18(83), 27-37.
- Congalton, D., 1999. Shape Memory Alloys for Use in Thermally Activated Clothing, Protection Against Flame and Heat. *Fire and Materials*, 23, 223-226.
- Coşkun, E., Oğulata, T., 2008. Akıllı Tekstiller ve Genel Özellikleri. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, 18(3), 100-109.
- Çukul, D., 2013. Teknik İpliklerde Son Yıllardaki Gelişmelere Örnekler. *Tekstil ve Mühendis*, 20(91), 50-63.
- Dede, A., 2013. Şekil Hafızalı Teknik Tekstil Materyallerle Elde Edilen Hareketli Tekstil Yüzeylerinin (Aktüatörlerin) İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Fu, M., Weng, W., Yuan, H., 2014a. Effects of Multiple Air Gaps on the Thermal Performance of Firefighter Protective Clothing under Low-Level Heat Exposure. *Textile Research Journal*, 84(9), 968-978.
- Fu, M., Weng, W., Yuan, H., 2014b. Quantitative Investigation of Air Gaps Entrapped in Multilayer Thermal Protective Clothing in Low-Level

- Radiation at the Moisture Condition. *Fire and Materials*, 84(9), 968–978.
- Güney, S., 2009. Peristaltik Hareket Sağlayan Tıbbi Tekstil Materyalinin Geliştirilmesine Bilgisayarlı Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Holschuh, B, Newman, D., 2015. Two-Spring Model for Active Compression Textiles with Integrated Niti Coil Actuators.
- Hu, J., 2007. *Shape Memory Polymers and Textiles*, J. Hu (Edt), (s. 3-25). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Jani, J.M., Leary, M., Subic, A., Gibson, M. A., 2014. A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities., *Materials and Design*, 56, 1078-1113.
- Lee, Y.M., Barker, R.L., 1987. Thermal Protective Performance of Heat-Resistant Fabrics in Various High Intensity Heat Exposures, *Textile Research Journal*, 57(3), 123-132.
- Lee, J., Park, H., Jee, K., Kim, E., 2009. Intelligent Cold Protection Jacket Embedded with Two Way Shape Memory Alloy Springs, 4th European Conference on Protective Clothing (ECPC) and NOKOBETEF 9, June 10-12, 2009, Netherlands.
- Makinen, H., Smolander, J., Vuorinen, H., 1988. Simulation of the Effect of Moisture Content in Underwear and on the Skin Surface on Steam Burns of Fire Fighters. *Performance of Protective Clothing: Second Symposium*, 415-421.
- Clarke, M.E., Dunne, L.E., Holschuh, B.T., 2016. Self-Adjusting Wearables: Variable Control through a Shape-Memory Latching Mechanism. *UBICOMP/ISWC '16 Adjunct*, September 12-16, 2016, Heidelberg, Germany.
- Mondal, S., Hu, J.L., 2006. Temperature Stimulating Shape Memory Polyurethane for Smart Clothing. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 31, 66-71.
- Onofrei, E., Petrusic, S., Bedek, G., Dupont, D., Soulat, D., Codau, T.C., 2014. Modeling of Heat Transfer Through Multilayer Firefighter Protective Clothing, *Industria Textila*, 65(5), 277-281.
- Park, G., Chae, Y., Kim, E., 2012. Thermal Protective Performance of Fire Fighter's Turnout Gear Embedded with Shape Memory Alloy Thermal Liner. 5th European Conference on Protective Clothing (ECPC) and NOKOBETEF 10, May 29-31, 2012, Valencia, Spain.
- Rossi, R.M., Bolli, W., Sataempfli, R., 2008. Performance of Firefighters' Protective Clothing After Heat Exposure. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(1), 55-60.
- TS EN ISO 6942: Koruyucu giyecekler - Isı ve yangına karşı koruma - Deney metodu: Işıma yoluyla yayılan ısı kaynaklarına maruz kalındığında malzeme ve malzeme birleşimlerinin değerlendirilmesi.
- Udayraj, Talukdar, P., Das, A., Alagirusamy, R., 2016. Heat and Mass Transfer Through Thermal Protective Clothing- A Review. *International Journal of Thermal Sciences*, 106(2016), 32-56.
- Vasile, S., Githaiga, J., Ciesielska-Wrobel, I.L., 2011. Comparative Analysis of the Mechanical Properties of Hybrid Yarns with Superelastic Shape Memory Alloys (SMA) Wires Embedded, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 6(89), 41-46.
- Wang, Y., Lu, Y., Li, J., Pan, J., 2012. Effects of Air Gap Entrapped in Multilayer Fabrics and Moisture on Thermal Protective Performance. *Fibers and Polymers*, 13(5), 647-652.
- Yılmaz, E., Altaş, S., 2017. Termal Koruyucu Giysilerde Sekil Hafızalı Yay Kullanımı ile Oluşturulan Hava Boşluğunun Giysinin Konfor Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. 1. Uluslararası İleri Araştırmalar ve Mühendislik Kongresi, 16-18 Kasım, Osmaniye, 1596-1602.
- Yoo, S., Yeo, J., Hwang, S., Kim, E.A., 2006. Development of a Versatile Insulating Jacket Using Niti Alloy Two-Way Sma Conical Spring, 3rd European Conference on Protective Clothing (ECPC) and NOKOBETEF 8, 10-12 May, 2006, Poland.
- Zanaboni, E., 2008. One Way and Two Way-Shape Memory Effect: Thermo-Mechanical Characterization of Ni-Ti wires. Dissertation, The University of Pavia, Department of Structural Mechanics, Italy.