

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İTFAİYE ELBİSELERİ İÇİN AKILLI BİR GİYSİ
TASARIMI

Müge YILMAZ

Aralık, 2010

İZMİR

İTFAİYE ELBİSELERİ İÇİN AKILLI BİR GİYSİ TASARIMI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Müge YILMAZ

Aralık, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Müge YILMAZ, tarafından **PROF. DR. ENDER YAZGAN BULGUN** yönetiminde hazırlanan “**İTFAİYE ELBİSELERİ İÇİN AKILLI BİR GİYSİ TASARIMI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
PROF. DR. ENDER YAZGAN BULGUN

Danışman

.....
Prof.Dr. Sevil YEŞİLPINAR

Jüri Üyesi

.....
Yrd.Doç.Dr. Yavuz ŞENOL

Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin gerçekleşmesinde bilgi birikimini ve her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ender YAZGAN BULGUN'a sonsuz ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin elektronik devre tasarımı kısmında büyük katkıları olan Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sn. Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL'a ve İzmir Meslek Yüksek Okulu Mekatronik Bölümü öğretim görevlisi Sn. Yrd. Doç. Dr. Taner AKKAN'a değerli bilgileri ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmamda kullandığım materyallerin temini konusunda yardımcı olan Kıvanç Kimya San. ve Tic. A.Ş yetkililerine, paylaştıkları bilgi ve deneyimlerle bana yol gösteren İzmir İtfaiye Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca sevgi ve destekleri ile yanımda olduklarını hissettiren aileme ve yaşantımda hep örnek almış olduğum, rahmetle andığım sevgili babama şükranlarımı sunuyorum.

Müge YILMAZ

İTFAİYE ELBİSELERİ İÇİN AKILLI BİR GİYSİ TASARIMI

ÖZ

Günümüzde insan yaşamının kalitesini arttırmak için, ilerleyen teknolojiden faydalanılmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelere karşı insanı koruma; gelişen teknoloji ile daha etkin hale gelmektedir. Bu koruma etkisinin büyük bir kısmı tekstil ürünleriyle, özellikle koruyucu giysilerle sağlanmaktadır.

Termal ortama en çok maruz kalan meslek grubu itfaiye görevlileridir. Bu nedenle itfaiyecilerin çok iyi ısı ve alev koruması sağlayan, kesilmeye ve aşınmaya dayanıklı termal koruyucu giysiler kullanmaları gerekmektedir. İtfaiyeciler uzun süre veya tekrarlı bir şekilde yüksek ısıya maruz kaldıklarında, giysileri yanmasa bile vücutlarında yanık yaraları oluşabilmektedir. Ortam sıcaklığının belli bir noktaya yükseldiği durumda ısı dengeyi sağlayabilmek için itfaiyecinin terlemesi hızlanmaktadır. Ancak, itfaiyeci çok yüksek sıcaklıkta terleme anında kendini iyi hissettiğinden, yangın ortamından gereken zamanda uzaklaşması gerektiğini fark etmeyebilmektedir. Islak giysi, kuru giysiden daha büyük ısı transfer oranı gösterdiği için de dışarıya atılamayan fazla ter buharı yanıklara sebep olmaktadır.

Son yıllarda; tekstil ve elektronik bilimlerinin ortak çalışmalarıyla, giysi katmanlarına yerleştirilen sıcaklık, nem, ECG, CO₂, CO gibi elektronik algılama sistemleriyle itfaiyecide meydana gelebilecek yanık, zehirlenme, şok gibi rahatsızlıklar önlenmekte; sağlık kontrolünün yapılması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, itfaiyecinin yangın ortamında sağlık durumunun kontrol edilmesi ve korunması hedeflenmiştir. İtfaiyecinin cilt sıcaklığında ve çevre sıcaklığında meydana gelebilecek kritik değişimleri öngören, dumanlı bir ortamda görünürlüğünü arttıran akıllı bir itfaiyeci ceketini tasarlanmıştır. Bu amaçla sensörler ve bağlantı elemanları kullanılarak bir elektronik devre altyapısı oluşturulmuş ve itfaiyeci ceketine entegre edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İtfaiyeci koruyucu giysileri, akıllı tekstiller, sensör, yanıklar.

DESIGNING SMART GARMENT FOR FIREFIGHTERS

ABSTRACT

Nowadays, developing technology is used to improve the quality of human life. Protection of people against the physical, chemical and biological dangers becomes more efficient with developed technology. The majority of the effect of this protection is provided with textile products, especially with protective clothing.

Firefighters are occupational group; most exposed to thermal environment. Therefore, fire-fighters must wear thermal cut-and abrasion-resistant protective clothing, providing very good heat and flame protection. When firefighters exposure in the long term or repeated to high temperatures, protective clothing may cause burn injuries. If the ambient temperature rises to a certain point to ensure thermal equilibrium, sweating of the firefighter is accelerating. However, the firefighter feels good during sweating at a very high temperature, hence he can't recognized, when he must move away from the fire environment. Wet clothes have greater heat transfer rate than dry clothes. The remaining sweat vapour, it can not be expelled out of the clothes, cause burns.

In recent years, with joint works of textile and electronic sciences, thanks to the electronic detection systems as temperature, humidity, ECG, CO₂, CO sensors, they are placed in layers of clothing, burns, poisoning, shock etc. diseases that may occur on the body of fire-fighters can be prevented and control the health care.

In this study, control and protection of health status for the firefighter was targeted. A smart firefighter jacket was designed, predicting the critical skin temperature and ambient temperature changes; increasing the visibility of firefighter in a smoky environment. For this purpose, sensors and connection components were used; an electronic circuit background was created and following it was integrated to the firefighter jacket.

Key words: Firefighters' protective clothing, smart textiles, sensors, burn injury.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – GENELBİLGİLER	6
2.1 Yanma ve Yangın.....	6
2.2 İtfaiyecilerin Yangın Ortamında Karşılaştıkları Sorunlar	10
2.3 İtfaiyeci Giysilerinde Isı Transferi	15
2.4 Nemin Termal Koruma Üzerine Etkisi.....	17
2.5 Liflerin Termal Davranışı.....	20
2.6 İtfaiyeci Koruyucu Giysilerinde Kullanılan Lifler	22
2.7 İtfaiyeci Koruyucu Giysi Yapısı	27
2.7.1 Dış katman	29
2.7.2 Nem Bariyeri	30
2.7.3 Termal Astar.....	32
2.8 İtfaiyeci Giysi ve Ekipmanlarının Tarihçesi	34
2.9 İtfaiyeci Giysilerinin Tasarım Özellikleri.....	35
2.9.1 İtfaiyeci Ceketini	36
2.9.2 İtfaiyeci Pantolonu	39
2.9.3 Alüminize Elbiseler	45
2.9.4 İtfaiyeci Yağmurluğu	46
2.9.5 İtfaiyeci Baretleri	47
2.9.6 İtfaiyeci Eldivenleri	48
2.9.7 İtfaiyeci Çizmeleri	49
2.9.8 Koruyucu Örme Başlıklar	49
2.10 İtfaiyeci Koruyucu Giysilerinin Bakımı ve Kullanım Süresi.....	50

2.11 Termal Koruyucu Giysi Performans Değerlendirmeleri	52
2.12 İtfaiyeci Giysisi Üreticileri	56
2.13 Önceki Çalışmalar	56
2.14 Çalışmanın Amacı	62
BÖLÜM ÜÇ – MATERYAL YÖNTEM.....	64
3.1 Materyal.....	64
3.1.1 İtfaiyeci Ceket.....	64
3.1.2 İtfaiyeci Ceket Prototipi Elektronik Donanımı.....	66
3.1.3 Kullanılan Devre Bileşenleri	67
3.1.3.1 Cilt Sıcaklığı Sensörü.....	67
3.1.3.2 Dış Sıcaklık Sensörü	67
3.1.3.3 Çevre Sıcaklığı Sensörü	67
3.1.3.4 Kuvvet Algılama Düğmesi	69
3.1.3.5 Işık Sensörü	70
3.1.3.6 Silikonlu LED Şeritler.....	70
3.1.3.7 Ses Modülü	71
3.1.3.8 Güç Kaynağı	71
3.1.3.9 Yazılım	72
3.2 Yöntem.....	73
BÖLÜM DÖRT – ARAŞTIRMA SONUÇLARI	75
4.1 Akıllı İtfaiyeci Ceket Tasarımı.....	75
4.2 Sensörlerin Yerleşimi	76
4.3 Aktif Elemanların Yerleşimi	77
4.4 Elektronik Devre Bağlantısı.....	78
4.5 Ceket-Elektronik Bileşen Entegrasyonu.....	80
4.6 Akıllı İtfaiyeci Ceketinin Test Edilmesi	85
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	87
KAYNAKLAR	90

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde insan yaşamının kalitesini arttırmak için, ilerleyen teknolojiden faydalanılmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelere karşı insanı koruma; gelişen teknoloji ile daha etkin hale gelmektedir. Bu koruma etkisinin büyük bir kısmı tekstil ürünleriyle, özellikle koruyucu giysilerle sağlanmaktadır (Zhou, Reddy ve Yang, 2005).

Koruyucu giysiler, estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade fonksiyonel veya performans özellikleri için kullanılan tekstil esaslı ürünler olarak tanımlanan teknik tekstillerin bir bölümüdür (Bryne, 2000).

Başka bir deyişle; kişinin zararlı maddelere, kötü çevre koşullarına maruz kalma riskini önlemek, bu riskten korunmasını sağlamak ve bu riski azaltmak için giyilen giysilere koruyucu giysi denilmektedir (Cireli, 2000).

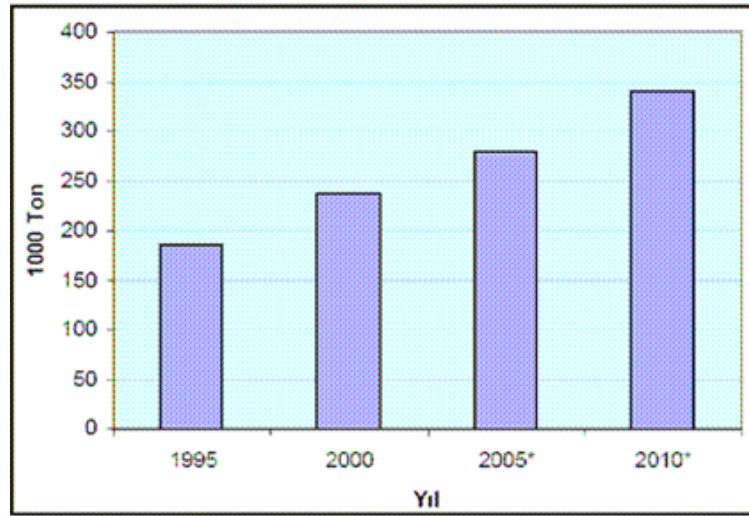
Literatürde koruyucu giysilerin kullanıldığı iş ve faaliyet tipleri şunlardır (Holmes, 2000) :

- Polis
- Güvenlik görevlileri
- Dağcılık
- Mağaracılık
- Tırmanma
- Kayak
- Uçak personeli (hem asker, hem sivil)
- Askerler
- Denizciler
- Denizaltıcılar
- Dökümhane ve cam işçileri
- İtfaiyeciler

- Su sporları
- Kış sporları
- Ticari balıkçılık ve dalgıçlık
- Deniz gibi petrol ve benzin ekipman işçileri
- Sağlık bakımı
- Yarış sürücüleri
- Astronotlar
- Kömür madenciliği
- Soğuk depo işçileri

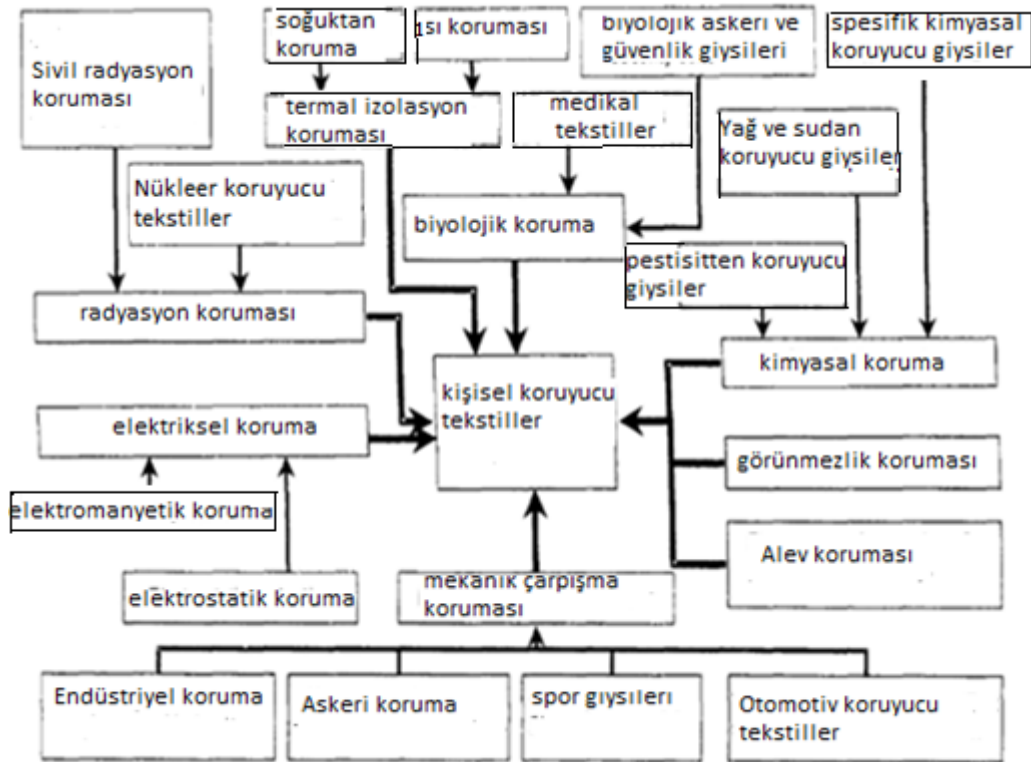
Koruyucu giysi tüketimi son on yılda lineer bir artış kaydetmiştir (Kalın, 2008).

Şekil 1.1' de koruyucu tekstillerin yıllara göre tüketim miktarları görülmektedir.



Şekil 1.1 Koruyucu tekstillerin yıllara göre tüketim miktarları

Koruyucu giysiler çok komplike özellikte olduklarından dolayı sınıflandırma alanı çok geniştir. Genellikle termal koruma, alevden koruma, kimyasal koruma, mekanik etkilerden koruma, radyasyon koruması, biyolojik koruma, elektrikten koruma gibi son kullanım fonksiyonlarına göre sınıflandırılmaktadırlar (Zhou ve diğer., 2005). Bu sınıflandırma Şekil 1.2 'de daha detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 1.2 Koruyucu giysilerin şematik sınıflandırılması

Termal koruyucu giysiler ise; ısıdan, alevden, eriyen metallerin sıçramalarından, soğuktan ve radyasyon kaynaklarından korumayı sağlayan koruyucu giysilerdir. Bu giysilerden iyi yalıtım sağlamanın yanında, kolay deforme olmamaları beklenmektedir (Cireli, 2000).

Endüstride çalışan birçok kişi alev ve yüksek ısıya maruz kalmak zorundadır. Bu kişilerin meslek grupları; zarar gördükleri etmenler ve zarar derecelerine göre Tablo 1.1’de belirtilmiştir (Holmes, 2000; Kutlu, 2002).

Tablo 1.1 Isı ve aleve karşı koruma gerektiren tehlikeli meslekler

Endüstri	Alev	Isıl temas	Yayılan ısı ışınlaması
Dökümhane (çelik imalatı, metal dökme, demircilik, cam imalatı)	*	**	**
Mühendislik (kaynak, kazan kesim işi)	*	**	*
Yağ, gaz ve kimyasal maddeler	*	-	-
Cephane ve fişekçilik	-	-	-
Havacılık ve uzay	*	-	-
Askeri	**	*	*
İtfaiyeciler	**	*	*

** Ciddi zarar; *İkincil zarar; - Az zarar ya da zarar yok.

Alev ve yüksek ısıya en çok maruz kalan meslek grubu itfaiyecilerdir ve giymiş oldukları üniformaların çok iyi termal dayanımı olması gerekmektedir.

İtfaiyeci üniforması ısı ve aleve karşı etkin koruma sağlayan, dışarıdan su geçirmez ve teri dışarıya atmaya yardımcı olan bir termal koruyucu giysidir. Ayrıca, kesim ve aşınma gibi mekanik tehlikelere karşı etkili bir koruma sağlamaktadırlar.

ISO TC 94/SC 14/WG 3'de arazi yangınlarını söndürme çalışmaları amacıyla optimal itfaiyeci koruyucu giysileri üzerine kriterler verilmiştir (Mäkinen, 2005). Bu kriterlere göre itfaiyeci giysisi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

- Terin buharlaşmasını sağlamalı; hafif, iyi havalandırılmış ve su buharını geçirgen özellikte olmalıdır.
- Radyan ısıdan itfaiyeciyi korumalıdır.
- Metabolik ısıyı tümüyle dağıtmalıdır.
- Saatte 1-2 litre terleme buharını dışarı atabilmelidir.
- Bir termal denge sağlamalı ve geniş bir yangın yoğunluğu ve süresinde konfor sağlamalıdır.
- Yanık yaraları riskini minimize etmelidir.

-Isı tüketimini minimize etmelidir.

Bu çalışmada itfaiyecilerin sağlık durumunu kontrol etmek ve herhangi bir kritik koşulda çevreye uyarı verebilmek amacıyla akıllı bir itfaiyeci ceketi geliştirilmiştir.

BÖLÜM İKİ

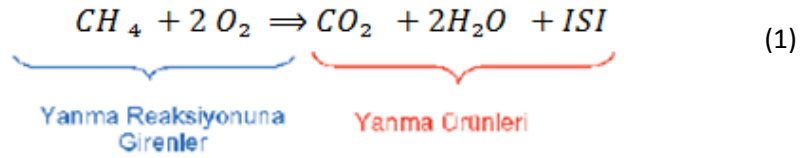
GENEL BİLGİLER

Bu bölümde görevdeki itfaiyecilerin buldukları yangın ortamının koşulları, bu ortamda karşılaştıkları sağlık sorunları, liflerin termal davranışları, itfaiyeci giysileri, kumaşları, kullanılan lifler, giysilerde meydana gelen ısı transfer şekilleri ve giysideki nemin ısı transferine nasıl etki ettiği incelenmiştir.

2.1 Yanma ve Yangın

Yanıcı maddelerin (yakıt), oksijenle birlikte yeterli ısı koşullarında kararlı bir ekzotermik zincirleme reaksiyona girmesine yanma denir.

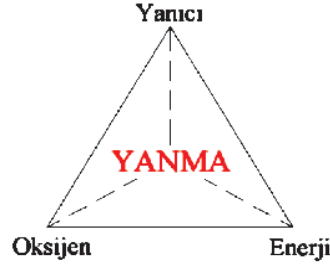
Yanma işlemi sırasında, kimyasal reaksiyondan önce var olan maddelere “yanma reaksiyonuna girenler” ve yanma reaksiyonundan sonra oluşan maddelere “yanma işleminden çıkanlar” veya “yanma ürünleri” denir. Yanma reaksiyonunun denklemi



gibidir (<http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1154690680.pdf>).

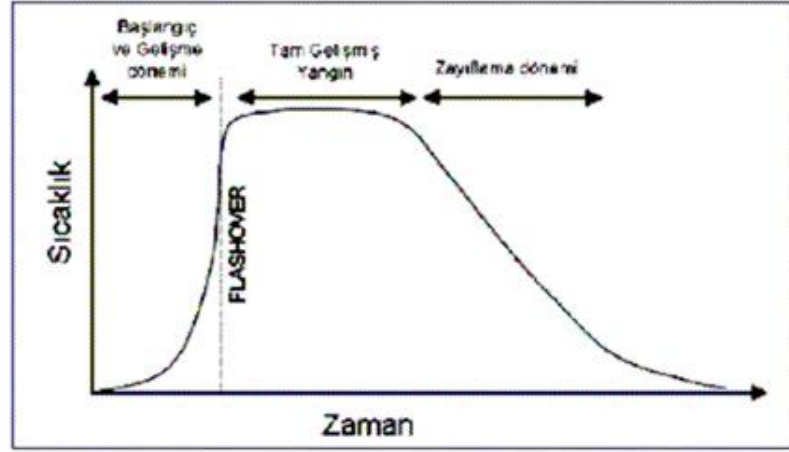
Yanmanın oluşabilmesi için yanıcı maddenin gaz fazında bulunması gerekmektedir. Faz değişimi için gerekli olan ısı enerjisi maruz kalan bir maddenin tutuşma sıcaklığına gelerek yanması için yakıt ve havanın uygun oranlarda bir arada olması gerekir.

Kontrolümüz dışında meydana gelen yanma reaksiyonlarına ise “yangın” denir. Yanma reaksiyonunun gerçekleşmesi için gereken üç bileşen (yanıcı-oksijen-ısı enerjisi) “yangın üçgeni” olarak adlandırılır. Şekil 2.1’de yangın üçgeni görülmektedir (<http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1154690680.pdf>).



Şekil 2.1 Yangın üçgeni

Herhangi bir yerde başlayan bir yangın aşama aşama gerçekleşmektedir. Bu aşamalar yangın evreleri adı altında kısaca incelenmiştir. Şekil 2.2’de yangın evreleri görülmektedir (<http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1154690680.pdf>).



Şekil 2.2 Standart zaman sıcaklık eğrisi

Yangının başlangıç safhasında oksijen yeterli, fakat ısı yetersiz olduğundan tam yanma gerçekleşmemektedir. Yarım yanmış gazlar sıcaklıklarından dolayı yükselip dolaşırken, uygun oksijen + sıcaklık oranını buldukları yerde kısa süreli olarak yanmaktadır (Flame-over). Yangının ilk beş dakikasında sıcaklık 500 °C’ ye çıkabilmektedir (<http://iys.inonu.edu.tr/index.php?web=sivilsavunma&mw=125>).

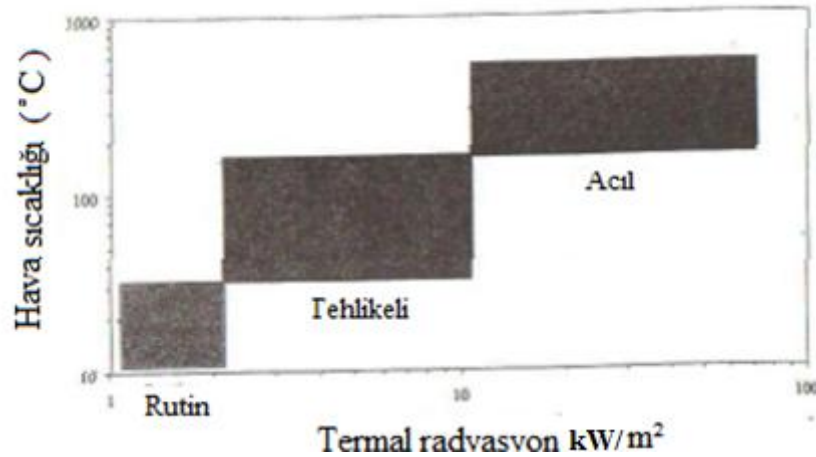
Sıcaklığın hızla 700-800 °C’lere yükselmesi sonucu öyle bir an gelmektedir ki, ortamdaki cisimlerin birçoğunun ısısı, kendi tutuşma sıcaklıklarına ulaşarak aniden tutuşmalarına sebep olmaktadır. Bu ani reaksiyon “genel kavuşum” (flashover) olarak tanımlanmaktadır ve bu reaksiyonun gerçekleşmesi için gereken süre, takribi

4-6 dakikadır (http://innotra.org/fireo/Fire-O_TR.pdf). Bu evrede yangının yayılması neticesinde yanma reaksiyonuna katılan ortamdaki oksijen hızla azalmaktadır (<http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1154690680.pdf>).

Alevli Yanma Safhasında (Steady State) yangın, en kuvvetli ve müdahalesi en zor safhasını sürdürmektedir. Isı 1200°C e ulaşmaktadır.

Yangının Sıcak Tütme Safhasında (Hot Smolding) yani zayıflama evresinde, ortamdaki oksijen %15'in altına düşmektedir. Ortam sıcaklığı tekrar $700 - 800^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Hafif tütme söz konusudur. Sıcak duman gazlarının yükselerek tavan altında birikmesi ve ortamdaki oksijenin azalması; ortamın alt bölümlerinde vakum oluşmasına neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda alçak seviyedeki çerçeve, camlar veya kapılar kırılmamalıdır. Açıldığı taktirde vakum etkisi ile ortama oksijen girmesine ve yeterli O_2 kaynağına ulaşan yanmamış gazların tekrar alevlenmesine sebep olur. Bu durum "alev kapanı" (back draft) olarak adlandırılmaktadır (http://innotra.org/fireo/Fire-O_TR.pdf).İslerden kararmış camlar, alev azlığı, duman çokluğu, kapının çok sıcak olması ve aralıklardan geçen duman alev kapanının habercisidir. İtfaiyeciler alev kapanı öncesini tespit etmeli, kapı ve pencereden direkt girmemeli, öncelikle çatıdan gaz tahliyesi (Ventilasyon) yapmalıdırlar. Bu aşamanın sonunda tüm yangıncıların tükenip kül olmasıyla yangın sönmektedir (<http://iys.inonu.edu.tr/index.php?web=sivilsavunma&mw=125>).

İtfaiyecilerin karşılaştıkları fiziksel durumlar; maruz kaldıkları farklı miktar, süre ve formlardaki termal koşullardır. Karşılaştıkları ısı yoğunluğu; düşük seviyedeki termal radyasyon ($1-10\text{ kW/m}^2$) ve genel kavuşum safhası ($80-180\text{ kW/m}^2$) arasında değişmektedir. Hoschke termal koşulları; rutin, tehlikeli ve acil durum olmak üzere üç kategoriye ayırmıştır; her bir sınıflandırma bir sıcaklık aralığında ve radyan akışı aralığında tanımlanmıştır. Şekil 2.3'teki grafikte bu sınıflandırma görülebilmektedir (Rossi, 2003; Song, 2005).



Şekil 2.3 İtfaiyecilerin karşılaştıkları termal koşullar

Rutin Durumlar; 1,1- 2,1 kW/m² ısı aralığında çok düşük bir termal radyasyon ve 20-60 °C hava sıcaklığı aralığında değişmektedir ve sıcak bir yaz gününe eş değerdir. İtfaiyeci koruyucu giysileri rutin koşullar altında koruma sağlarlar; ancak çok uzun süre maruz kalındığında ikinci derece yanık meydana getirebilmektedir.

Yanan bir yapının dışında tehlikeli durumla karşılaşılabilir. Bu alan 2,1- 25 kW/m² termal radyasyon ve 60-300 °C sıcaklık aralığında tanımlanmaktadır. İtfaiyeci giysisi yangını söndürmeye yetecek kadar bir süre koruma sağlayabilir; ancak ısınmış olan giysinin cilde değmesi sonucu yanık yaraları oluşabilmektedir.

Acil durum, ısı yoğunluğu 25 kW/m² 'yi geçen koşulları tanımlamaktadır. Genellikle ateşe çok yakın kapalı ortamlarda bulunmaktadır. Ancak bu sınıflandırma, nerede ve nasıl sıcaklık ölçüldüğünü belirtmemektedir. En son çalışmalar çok yüksek ısı akışlarının düşük sıcaklıklarda da oluşabildiğini göstermiştir. Koruyucu giysi itfaiyeciyi yanık oluşmadan kaçabilecek çok kısa bir süre için koruyabilmektedir. 167 ve 226 kW/ m² aralığındaki ısı akışı yoğunluklu uçak veya taşıt kazalarının yakıt sıçramalarından kaçış 3-10 sn. olarak hesap edilmektedir (Holmes 2000).

Sentetik yapı materyallerinin kullanılması, dahili apreler ve döşemelerden artan yakıt yükü sebebiyle; son yıllarda bazı yangınlarda meydana gelen ısı akışı miktarı,

Hoschke tablosunda görünen değerlerden daha yüksek olabilmektedir (Mäkinen, 2005).

Lawson (1998), 175°C'de zeminde 30 k W/ m² kadar çok yüksek ısı akışlarının mümkün olduğunu göstermiştir. Rossi (2003), radyan ısı akışını tipik olarak 5-10 kW/ m² arasında ölçmüştür ve zeminden 1 m. yüksekte sıcaklığın 100-190°C 'ye ulaştığını görmüştür.

2.2 İtfaiyecilerin Yangın Ortamında Karşılaştıkları Sorunlar

İtfaiyecinin görevi yangın söndürmek dışında, acil durumu mümkün olduğu kadar kontrol altına almak ve beklenmedik insan ve materyal kayıplarını minimize etmektir (Mäkinen, 2005). Bu amaç için eğitilmiş ve donatılmış milyonlarca itfaiyeci ile yangın söndürme aktivitelerinde dünya çapında binlerce organizasyon gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde itfaiyecilerin görevi yangın söndürme işinden çok kurtarma çalışması şekline dönüşmüştür. Örneğin, 1977-1999'da Birleşik Krallık'taki teftiş heyeti, İskoçya'da % 171 ve Kuzey İrlanda'da % 373, İngiltere ve Wales 'deki yangın dışı vakalar (non-fire vakalar) artış gösteren özel görevleri rapor etmiştir. Yangın dışındaki aktivitelerin; karayolu trafik kazaları, tehlikeli materyal vakaları ve kurtarma yetkinliklerini kapsayan diğer vakalar olduğu görülmüştür (Mäkinen, 2005).

Karter ve Molis (2009); NFPA (National Fire Protection Association Fire Analysis and Research Division) ile yaptıkları araştırmada 2008 yılında ABD'de 79.700 adet itfaiyeci yaralanmalarının meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu yaralanmaların yaklaşık yarısı yangın söndürme çalışmaları anında meydana gelmiştir. Yaklaşık 15.745 adet yaralanma vakası yangın dışındaki görevlerde meydana gelmiştir. Yangın ortamında en çok karşılaşılan yaralanma türleri gerilim, burkulma ve kas ağrıları olmuştur.

Çoğunlukla depremler veya bombardımanlar, taşıt kazalarındaki mağdurların çıkarılması, terörist saldırıları, sınır alanları girişleri ve çukur/yıkım kurtarmalarını kapsayan yapısal yıkımlara benzer arama ve kurtarma operasyonlarına ilk müdahale eden ekip itfaiyecilerdir. Havada, suda, yüksek yerlerden kurtarmalarda, hız veya durgun su kurtarmalarında ve kirli su dalışlarında da çalışabilmektedirler. Görüldüğü gibi itfaiyeciler çok riskli görevlerde bulunmaktadır ve birçok sağlık problemi yaşamaktadırlar (Mäkinen, 2005). İzmir İtfaiye Müdürlüğü'nden 2010 yılında edinilen bilgilere göre; günümüz itfaiyecilerinin görev başındayken ölümüne sebep olan durumlar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

1. Enkaz çökmesi
2. CO gazı zehirlenmeleri (solunum cihazını doğru kullanmamak)
3. Meslek hastalıkları (uzun vadede kalp hastalıkları ve akciğer kanseri)
4. Cilt yanıkları genellikle uzaktan müdahalelerde değil de anlık alev maruz kalma durumlarında veya buhar yanıklarında meydana gelmektedir.
5. Vücut sıcaklık artışının itfaiyeci tarafından zamanında fark edilmemesi sonucu vücutta su kaybı, kan basıncının artması, elektrolit kaybı, bulanık görme, algıda zayıflık, şok vs.

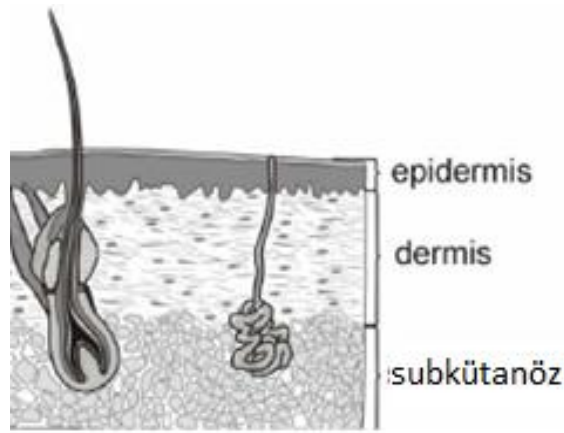
İtfaiyecilerin görevleri artık günümüzde yoğunlukla kurtarma çalışmaları olduğu için, itfaiyeciler en çok enkaz çökmeleri sebebiyle yaralanmakta veya yaşamlarını yitirmektedirler.

Enkaz çökmelerinin ardından **CO gazı zehirlenmeleri**, en çok karşılaştıkları olumsuz vakalardır. Bazı itfaiyeciler solunum cihazını doğru kullanamadıkları için, bazıları yangının boyutunun küçük olduğunu düşünerek solunum cihazını takmadıkları için oksijen yetersizliğinden dolayı yaşamlarını yitirmektedirler. Bunun nedeni yanma reaksiyonuna katılan O₂ çoğunlukla ortam havasından sağlanmakta ve yangın süresince tüketilmektedir. Ortamdaki O₂'nin azalması; yangın ortamında bulunan ve buldukları ortamı en kısa zamanda terk etmeleri gereken insanlar üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Atmosferde hacimsel olarak % 21 oranında bulunan O₂ insanlara uygun ortam sağlarken; O₂ seviyesinin düşmesi; kas

hareketlerinde yavaşlamaya, hızlı nefes alıp verilmesine, baş dönmesine, göz kararmasına, baş ağrısına, şuur kaybına, solunum yetersizliğine ve kalp yetmezliğine neden olmaktadır.

İtfaiyeciler arasındaki meslek hastalıklarının en yaygın sebeplerinden biri, ter oluşumu için gerekli vücut ısısı kaybının sebep olduğu ısı geriliminden dolayı oluşan kalp krizidir. 1982 Amerika yangın ölümleri istatistiğine göre; yangın ölümlerinin % 46,1'i kalp krizi sonucu ölüm olup yalnızca % 2,6'sı yanarak ölümdür (Holmes. 2000).

Cilt; vücudun termal dengesini sağlamasına yardımcı olan, bakteri ve hastalıklara karşı koruyucu bir bariyer olarak görev yapan, insan vücudundaki en fazla alana sahip olan organdır (Ellison, Groch, Higgins, Verrochi ve 2006). Cilt; epidermis, dermis ve derialtı dokusu (subkütanöz) olmak üzere üç ana katmandan meydana gelmektedir (Öner, 1997). Bu katmanlar Şekil 2.4 'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Cilt katmanları

Cilt yanıkları da itfaiyecilerde yaygın olarak ve çeşitli derecelerde oluşabilen çok riskli vakalardır. Termal yanık, ısı uygulamasının insan dokusunu tahrip etmesi olarak tanımlanmaktadır ve üç derecede sınıflandırılmaktadır (Öner, 1997).

1.Derece yanık: Geriye dönebilen minimal hücre bozulması vardır. Deri hafif ödemli; ağrılıdır. Güneş yanıkları bunun en belirgin örneğidir.

2.Derece yanık: Epidermis ve dermisin bir kısmı yanmıştır. Bu iki doku arasında sıvı birikimi söz konusudur. İkinci derece yanık kontrol edilemeyecek derecede infekte olursa üçüncü dereceye dönüşebilmekte ve dermisin kalan bölümü de harap olabilmektedir.

3.Derece yanıklar: Deri bütün tabakalarıyla yanmış haldedir. Elastikiyeti kaybolmuş, ağrısız, kahve veya beyaz, sarı bir renk almaktadır.

Cilt yanıkları ve tahribatları belirli cilt sıcaklıklarında meydana gelmektedir. Bu sıcaklık değerleri Tablo 2.1’de görülmektedir (Lawson, 1998).

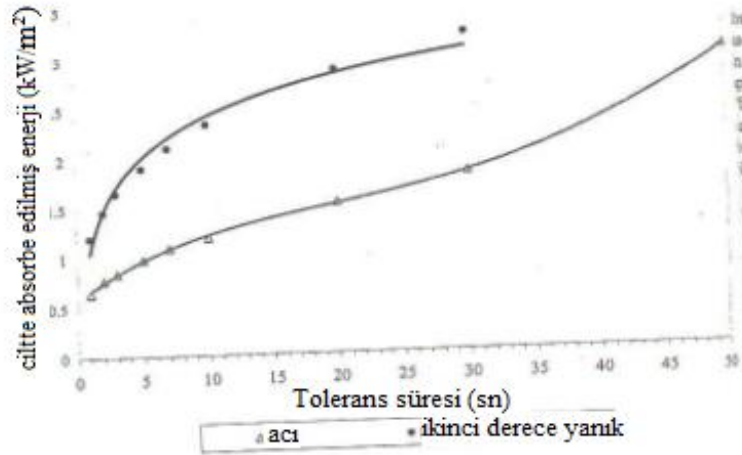
Tablo 2.1 Yanık yaralarının ciltte oluşum sıcaklıkları

Yara tipi	Cilt Sıcaklığı
Konforsuzluk ve acı	44° C
1.Derece yanık	48° C
2.Derece yanık	55° C
3.Derece yanık	>55° C
Anlık cilt tahribatı	72° C

Yanık yaraları, itfaiyecinin maruz kaldığı sıcaklığa ve süreye bağlıdır. Uzun süre veya tekrarlı bir şekilde yüksek ısıya maruz kalındığında, giysi sıcaklığı artmaktadır. İtfaiyeci yüksek ortam ısısına kısa süre maruz kaldığında bile yanık oluşabilmektedir.

Rabbitts, Alden, Scalabrino ve Yurt (2005), New-York Presbyterian/Weill Cornell Medical Center’daki yanık merkezinde 2000-2002 yılları arasındaki üç yıllık periyotta meydana gelen itfaiyeci yaralanmalarını yataklı ve ayaklı tedavili yaralanmalar olarak tanımlamışlardır. Bu tanımlamaya göre, 164 itfaiyecinin ayaklı tedavi gördüğü ve en çok boyun/baş bölgelerinin yandığı; 58 itfaiyecinin ise yataklı tedavi gördüğü ve ön kol ve bacak bölgelerinin daha çok yandığı belirtilmiştir.

Stoll yaptığı çalışmada, insan cildinin ısı enerjisine karşı verdiği tepkinin sayısal olarak ifade edilmesini sağlamıştır. Şekil 2.5'te, ciltte acının (time to pain=tolerance time) ve ikinci derece yanığın meydana geldiği sıcaklık–enerji grafiği (time-to-second-degree burn=blister time) görülmektedir (Stull, 2000).



Şekil 2.5 İnsan cildinin acıya ve ikinci derece yanığa olan toleransı

Koruyucu giysi giymelerine rağmen; itfaiyecilerin ciltlerinde çeşitli sebeplerden dolayı yanık yaraları oluşmaktadır. Bu sebepler ve oluşma koşulları kısaca belirtilmiştir (Lawson, 1998).

Islak giysi, kuru giysiden daha büyük ısı transfer oranı gösterir. Çünkü hava ısıyı 10 birimde iletirse, su aynı sıcaklıkta 210 birim ısı iletacaktır. Terin giysinin dışına atılamaması durumunda yanıklar oluşabilir.

Buhar ile olan ısı kaybı yani terleme genellikle itfaiyeciyi soğuk tutmaya yardımcı olmalıdır. Ancak, itfaiyeci çok yüksek sıcaklıkta terleme anında kendini iyi hissettiğinden termal ortamdaki gereken zamanda uzaklaşması gerektiğini fark etmeyebilir. Koruyucu giysi kurur ve soğuma durur. Kuruma meydana gelirken, koruyucu giysi sıcaklığı hızla artar. Giysi içindeki sıcaklık üretimi ciddi yanık yaralarına sebep olabilir.

Yangın söndürmede kullanılan hortum suyu ısı ile buhara dönüşmekte ve koruyucu giysinin geçirgen kısımlarından geçerek cildi yakabilmektedir.

Yanan yapının tavan ve duvarlarından akan veya sıçrayan sıcak bir likitle (su, sıvılaşmış katran veya endüstriyel likitler gibi) koruyucu giysinin ıslak olduğu ve giysinin sıkıştığı durumlarda, ısı hızla itfaiyecinin cildine iletilmekte ve haşlanma yanık yaraları oluşabilmektedir.

Yanık yaralanmasını etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler şunlardır (Holmes, 2000):

1. Gelen ısı akışının yoğunluğu ve etki gösterdiği süre içerisindeki değişimi
2. Maruz kalma süresi (kaynak uzaklaştırıldıktan sonra giysinin sıcaklığının yaralanmaya neden olanın altına düşmesi için gerekli zaman da dahil)
3. Dış giyim, iç giyim ve bunlar ile deri arasındaki hava aralıkları da dahil olmak üzere kaynak ve deri arasındaki toplam izolasyon
4. Maruz kalma esnasında giysi malzemelerinin bozunma miktarı ve bunun ardından giysi/hava izolasyonunun yeniden düzenlenmesi
5. Kumaşın sıcaklığı arttıkça açığa çıkan herhangi bir buhar veya piroliz ürününün deri üzerinde kondenzasyonu

2.3 İtfaiyeci Giysilerinde Isı Transferi

Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Bir cismin içindeki ısı miktarı o cismin sıcaklığı ile orantılıdır.

Isı birimi iş birimi ile aynıdır, yani joule (J) dür. Kalori de (cal) kullanılmaktadır. 1 kalori 1gram suyun sıcaklığını 14,5 °C' den 15,5 °C' ye yükseltmek için gerekli olan ısı miktarıdır. 1 cal = 4,187 joule'dir.

Sıcaklık, ısının yüksek sıcaklık noktasından düşük sıcaklık noktasına hareketini sağlayan bir potansiyeldir. Yaygın olarak kullanılan sıcaklık göstergeleri Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), Rankin ($^{\circ}\text{R}$) ve Reaumur ($^{\circ}\text{R}$)'dür.

Sıcaklık bir ısı ölçüsüdür. Tüm ölçüm sistemlerinde bir referans noktası vardır. Sıcaklık ölçümleri içinde referans noktası, suyun donma sıcaklığı olarak alınmıştır. Bu sıcaklık "0" santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) olarak kabul edilmiştir. Bilinen en düşük sıcaklık ise bir maddenin moleküler hareketinin durduğu, herhangi bir ısı enerjisinin olmadığı " Mutlak 0 " olarak ifade edilen derece Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) kabul edilmiştir (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0100.pdf).

Farklı birimlerde verilen sıcaklık değerleri birbirlerine dönüştürülebilir.

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot t^{\circ}\text{C} + 32 \quad \text{veya} \quad ^{\circ}\text{C} = \frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1,8} \quad (2)$$

$$^{\circ}\text{R} = \frac{4}{5} \times t^{\circ}\text{C} \quad \text{veya} \quad ^{\circ}\text{C} = \frac{5}{4} \times t^{\circ}\text{R} \quad (3)$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{R} - 460 \quad \text{veya} \quad ^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460 \quad (4)$$

Sıcaklık farkından kaynaklanan geçiş halindeki enerjiye ısı transferi denir.

İtfaiyeciler, yangın söndürme çalışması esnasında çeşitli ısı enerjilerine maruz kalmaktadır. Maruz kaldıkları ısı enerjisi, koruyucu giysisi içerisinde itfaiyeciye çeşitli yollarla transfer edilmektedir. Sıcaklığın itfaiyecinin çalışmasına olan etkisini anlamak için, ısı transfer çeşitleri hakkında bilgi edinmek gereklidir.

Isı, kondüksiyon, konveksiyon veya termal radyasyon yoluyla transfer edilebilmektedir (Keiser, 2007; Günerhan ve Erkek, 2006; Baykal, (b.t.)).

Kondüksiyon (iletim) yoluyla ısı transferi, giysi yüzeyi sıcak bir yüzeye temas ettiğinde meydana gelmektedir. Giyilmiş koruyucu giysi katlandığında veya sıkıştığında hava katmanları ortadan kalkarak ısı iletimi artmaktadır. Ayrıca giysi

ısladığında da, suyun ısı iletkenliği özelliğinden dolayı konduksiyon yoluyla ısı transferi artmaktadır.

Konveksiyon (Taşınım) katı bir yüzey ve ona komşu olan hareket halindeki sıvı veya gaz (akışkan) arasında gerçekleşen ısı transfer şeklidir. Sıcak havanın (veya su buharının) itfaiyeci koruyucu giysisi boyunca hareketi konveksiyon ısı transferini meydana getirmektedir. Ayrıca, konveksiyon; giysinin katmanları içindeki ve giysicilt arasındaki ısının transferini etkilemektedir.

Radyasyon (ışınım) yoluyla ısı transferi, elektromanyetik dalgalar şeklinde veya fotonlar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Termal radyasyon, iki yüzey arasındaki sıcaklık farkına, iki yüzey arasındaki mesafeye ve her bir yüzeyin yansıtma özelliğine bağlıdır.

Yangından uzaklıklarına göre, itfaiyecilerin maruz kaldıkları termal tehlikeler; genellikle yakıt yangınlarından, gelen radyan ısı enerjisi (1000 °C) veya yapısal yangınlardan gelen radyan ve konvektif ısı (100 °C – 325 °C) arasında değişmektedir.

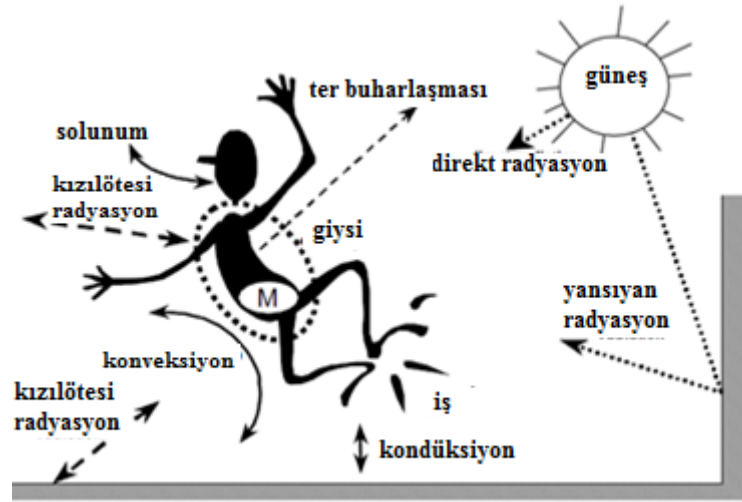
2.4 Nemin Termal Koruma Üzerine Etkisi

İnsan vücudu besin (yakıt) ve oksijen kullanarak mekanik iş ve düşük sıcaklıkta ısı oluşturan termodinamik bir sistemdir (Öngel ve Mergen, 2009).

İnsan vücudunun sürekli olarak, bilinçdışı ürettiği ısı enerjisi bazal metabolizma (Mh), kaslarda bir iş yapılması esnasında ürettiği enerji ise kas metabolizması (Mk) olarak isimlendirilir. Metabolizma hızı insanın içinde bulunduğu aktiviteye, yaşa, cinsiyete ve iklime de bağlıdır (Toksoy, 1993).

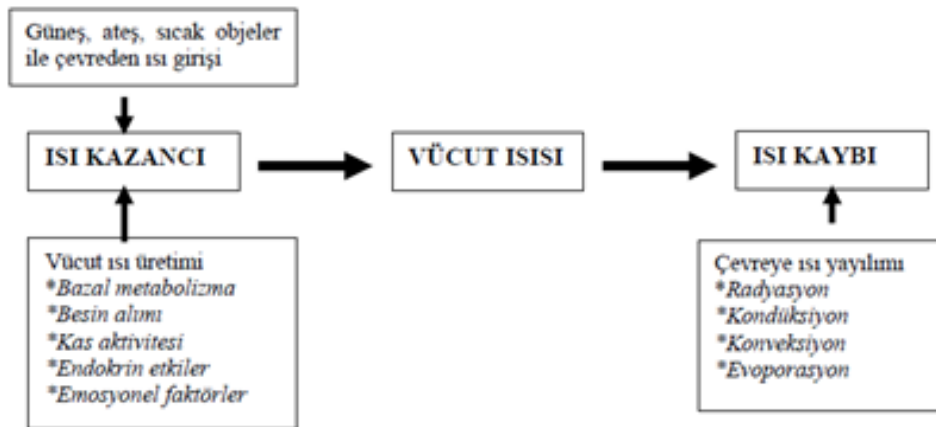
İnsan vücudu iç sıcaklığını $37\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, deri yüzey sıcaklığını ise ortalama $31,5-33,5^{\circ}\text{C}$ arasında tutmak zorundadır. Vücutta metabolik aktivitelerle üretilen enerji ile vücuttan ısı kayıplarının birbirini dengelemesi gerekmektedir. Buna ısıl denge adı verilmektedir (Kaynaklı ve Yiğit, 2003; Öngel ve Mergen, 2009).

Şekil 2.6’ da vücuttan dış ortama olan ısı kaybı çeşitliliği görülmektedir (Havenith, 2002).



Şekil 2.6 Vücuttan ısı kaybı çeşitleri

Fiziksel aktivite esnasında üretilen fazla vücut ısısı asıl olarak terin buharlaşmasıyla kaybedilirken, istirahat esnasında ekstra vücut ısısının tümü iletim ve ışınım, taşınım yolu ile kaybedilmektedir (Rossi, 2003). Vücut ısısının düzenlenmesi Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Vücut ısısının düzenlenmesi

Vücutumuzda ısı düzenleyici sistem, hipotalamus tarafından yürütülmektedir. Vücutla çevre arasındaki ısıl etkileşim sırasında vücudun birtakım fizyolojik denetim mekanizmaları harekete geçmektedir. Ortam koşullarına göre değişen ve temelde

vücut iç sıcaklığını korumaya yönelik olan bu tepkiler damarların kısılması (vazokonstriksiyon), genişlemesi (vazodilatasyon), titreme ve terleme şeklinde gerçekleşir. Vazokonstriksiyon ve titreme vücudu soğuğa karşı koruyan mekanizmalardır. Vücudu sıcaklık artışından koruyan mekanizmalar ise vazodilatasyon ve terlemedir. Hipotalamustaki ısı düzenleyici merkez vazodilatasyonu başlatarak kan damarlarını gevşetir, kan akımını artırır ve birim yüzeyi artırarak vücuttan ter ile buharlaşma yoluyla ısı kaybını sağlar (Öngel ve Mergen, 2009).

Terleme oranı; bir günde üretilen terin gram cinsinden miktarı olarak ifade edilmektedir. Tablo 2.2’de bazı aktiviteler sonucu kişinin vücudunda üretilen ısı enerjisi ve terleme oranları verilmiştir (Holmes, 2000).

Tablo 2.2 Çeşitli aktiviteler sonucu vücudun ürettiği ısı enerjisi ve bununla orantılı terleme oranları

Aktivite	Güç (Watt)	Terleme oranı (g/gün)
Uyumak	60	2280
Oturmak	100	3800
Yavaş yürüyüş	200	7600
Hızlı yürüyüş	300	11500
Hafif yük ile	400	15200
Ağır yük ile	500	19000
Ağır yük ile dağ yürüyüşü	600-800	22800-30400
Maksimum güç	1000-1200	38000-45600

İtfaiyecilerin çalışma esnasında yaklaşık 300-500 W ısı ürettikleri öngörülmektedir. Ağır yangın söndürme çalışmaları yapan kişiler için terleme oranı da 2000 g/sa’ e ulaşabilmektedir.

Rutin ve tehlikeli (hazardous) koşullarda bile, itfaiyecilerde yanık yaraları oluşabilmektedir. Bunun en önemli sebebi; itfaiyecinin giysisinin iç kısmındaki terden ve/veya dışarıdan (hortum suyundan) giysi içerisine giren nemden kaynaklanan yanıklardır.

Nemin termal korumaya etkileri üzerine birçok çalışma mevcuttur. Kumaş katmanları içindeki nem; termal etkinlik ve ısı tutma kapasitesi gibi kumaşın birçok parametresini değiştirmektedir.

Giysideki nem ısıtıldığında buharlaşır ve bir kısmı dağılır ve lokal sıcaklığa bağlı olan kumaşın farklı kısımlarında tekrar yoğunlaşır.

Lawson (1998), yüksek ısı akışına maruz kalındığında, dış nemin kumaş sistemi boyunca ısı transferini azaltma eğilimi gösterdiğini ve iç nemin ısı transferlerini arttırmaya yöneldiğini bulmuştur.

Veghte (1986), bir saha çalışması esnasında termal astardaki ölçülmüş terin miktarını taklit etmek için eldiven astarına 1 ve 2 g su eklemiştir. Termal koruma performans değerleri, önemli ölçüde azalmıştır. Mäkinen (1988), radyan ve konvektif ısıya karşı koruma üzerine ıslaklığın etkisini ölçtüklerinde benzer sonuçlar elde etmiştir. Islanmış kumaşlarda koruma azalmış olsa bile, materyallerdeki değişim ıslanmadan sonra çok önemsiz/az olmuştur.

Dışarıdan vücuda akan veya tekstil katmanlarından vücuda buharlaşan sıvının buharı, buhar yanıkları yapabilmektedir. Sıcak nem, cilt tarafından kısmen absorbe edilirken ve derin cilt tabakalarına transfer edilirken, kuru yanıklardan daha çok yanık meydana getirebilmektedir.

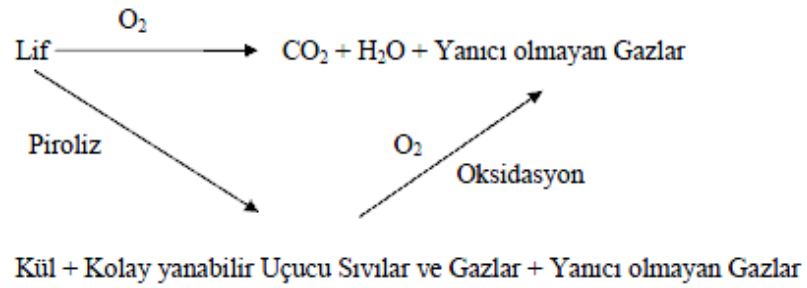
2.5 Liflerin Termal Davranışı

Tekstil liflerinin yanma olayından önce ısı enerjisine karşı gösterdiği tepki iki şekildedir. Farklı fiziksel tepki gösteren lifler bu özellikleri bakımından termoplastik ve non-termoplastik olarak ikiye ayrılır. Termoplastikler, ilk önce erir, ardından bozunur ve son olarak da bozunma sonucu oluşan gazlar, yanmaya başlar. Termoplastik liflerde, fiziksel değişiklikler, erime sıcaklığında (Te) ortaya çıkarken, kimyasal değişiklikler, ısıl bozunmanın meydana geldiği piroliz sıcaklığında ortaya

çıkar. Termosetler ise, erimeden bozunurlar. Tüm doğal lifler ve rejenere lifler nontermoplastik yapıdadırlar (Kalın, 2008; Kayan, 2004) .

Bir lif pirolize uğradığında oluşan tutuşabilir uçucu sıvılar ve gazlar ileriki tutuşma için yakıt olarak rol oynar. Sıcaklık tutuşma sıcaklığı T_c 'ye eşit veya büyükse tutuşabilir uçucu sıvılar oksijen varlığında yanarak karbondioksit ve su gibi ürünleri oluştururlar. Bir tekstil materyali tutuşturulduğunda, dış kaynaktan gelen ısı, lif parçalanana kadar sıcaklığı yükseltir (Bajaj, 2000).

Liflerin yanma mekanizmaları Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8 Liflerin yanması

Koruyucu giysilerde kullanılan materyal tutuştuğunda, düşük ısı çıkışına ve yavaş ateş yayılma hızına sahip olması idealdir. Genelde naylon, polyester ve polipropilen lifleri gibi termoplastik liflerden yapılmış kumaşlar bu gereksinimleri karşılamaktadır; ancak damlayarak ayrılmaktadırlar, bu da istenmeyen bir durumdur (Bajaj, 2000).

Koruyucu giysiler için yüksek boyutsal dayanım da önemlidir. Çalışma sırasında beklenen ısı akışı meydana gelirken erimemeli, çekmemeli ve bozuktan sonra kömürsü kalıntı oluşturmamalıdır. Tüm bu beklentiler, termoplastik lifler tarafından karşılanamamaktadır. Ancak aramid lifi (Nomex, DuPont), güç tutuşur pamuk veya yün, kısmen yükseltgenmiş akrilik lifler vb yüksek oksijen indekslerine sahip lifler bu beklentileri karşılayabilmektedirler (Bajaj, 2000; Kutlu, 2002).

Materyalin güç tutuşurluğu normalde Limit Oksijen İndeksi olarak ifade edilmektedir. Limit Oksijen İndeksi (LOI), materyalin yanmasını desteklemesi için gerekli en az oksijen konsantrasyonudur. LOI değeri 25'ten büyük olan materyaller havada genellikle kendiliğinden sönmekte; 25'ten küçük olanlar ise çok kolay yanmaktadır (Kutlu, 2002; Kalın, 2008).

Tablo 2.3'te başlıca tekstil liflerinin LOI değerleri görülmektedir.

Tablo 2.3 Liflerin LOI değerleri

Elyaf	T _g (°C) Yumuşar	T _e (°C) Eriir	T _p (°C) Pirroliz	T _c (°C) Yanma	LOI (%)
Yün			245	600	25
Pamuk			350	350	18.4
Viskoz			350	420	18.9
Nylon 6	50	215	431	450	20-21.5
Nylon 6.6	50	265	403	530	20-21.5
Poliester	80-90	255	420-477	480	20-21.5
Akrilik	100	>220	290	>250	18.2
Polipropilen	-20	165	469	550	18.6
Modakrilik	<80	>240	273	690	29-30
PVC	<80	>180	>180	450	37-39
PTFE	126	>327	400	560	95
Nomex	275	375	310	500	28.5-30
Kevlar	340	560	590	>550	29

- T_g : Camısı geçiş Sıcaklığı ya da Yumuşama Sıcaklığı
T_e : Erime Sıcaklığı (sadece termoplastikler için)
T_p : Pirroliz Sıcaklığı (polimerlerin termal olarak bozunması)
T_c : Yanma Sıcaklığı (kendiliğinden alev alma gerçekleşir)

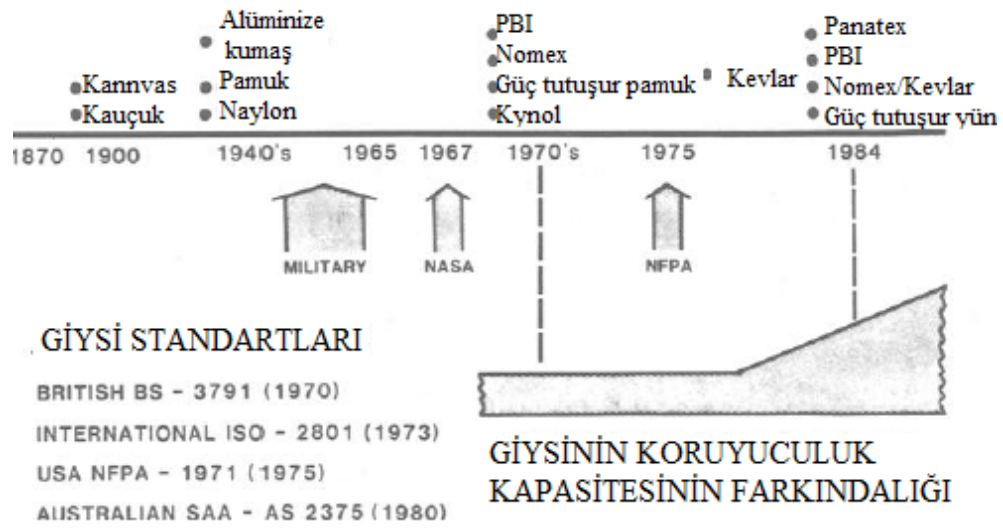
2.6 Termal Koruyucu Giysilerde Kullanılan Lifler

Alev, temas ısısı, radyan ısı, erimiş metallerin sıçramaları, sıcak buhar ve gazlara karşı koruyucu giysilerin tasarımı ve üretiminde ısı ve aleve dayanıklı birçok lif veya karışımları kullanılmaktadır. Tablo 2.4 'te bu liflerin; kendiliğinden yüksek sıcaklığa dayanıklı lifler ve kimyasal modifikasyonla elde edilen güç tutuşur lifler olmak üzere iki gruba ayrıldığı görülmektedir (Cireli, 2000).

Tablo 2.4 Termal koruyucu giysilerde kullanılan ısı ve alev dayanıklı lifler

1. Kendiliğinden Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Lifler	2. Kimyasal Modifikasyonla Elde Edilen Güç Tutuşur Lifler
Aramid Lifleri	Güç tutuşur viskoz lifleri
Polibenzimidazol lifleri (PBI)	Güç tutuşur polyester lifleri
Poliamid-imid lifleri	Güç tutuşur akrilik/modakrilik lifleri
Poliimid lifleri	Güç tutuşur pamuk lifleri
Novoloid lifleri	Güç tutuşur yün lifleri
Polifenilen sülfür lifleri	
Klor lifleri	
Poliakrilat lifleri	
Yarı karbon lifleri	
Melamin lifleri	

1940'lı yıllarda, doğal liflerin kullanım açısından yetersizliğinden dolayı sentetik lif üretimi gelişmeye başlamıştır. 1960'larda, üç astranotun yangında kaybedilmesi sonucu NASA (National Aeronautics and Space Administration) alev dirençli materyallerin gelişimine destek vermiştir. Nomex ve PBI lifleri de bu süreç içerisinde geliştirilmiştir. Koruyucu giysi üretiminde ilk ve en büyük ilerleme Amerika'daki NFPA (National Fire Protection Association) standartlarının oluşturulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, itfaiye memurlarının güvenlik için koruyucu ekipmanları hakkında bilgilendirilmesi zorunlu hale getirilmiştir (Veghte, 1986). Şekil 2.9'da itfaiyeci koruyucu materyallerinin ve standartlarının tarihsel gelişimi görülmektedir.



Şekil 2.9 İtfaiyeci koruyucu materyallerinin ve standartlarının tarihsel gelişimi

İtfaiyeci giysilerinde en çok kullanılan lifler; Aramid lifleri (Nomex ve Kevlar), Polibenzimidazol lifleri (PBI), güç tutuşur viskoz lifleri, Poliamid-imid lifi (Kermel lifi) ve bunların çeşitli karışımlarıdır.

Aramid lifleri; 400°C 'nin üzerinde erimeden kömürleşmekte; 700°C 'ye kadar kısa süreli etkilere dayanabilmektedirler Bu lifler, alev maruz kaldıklarında kömürleştikleri için, alevden korunma zamanını bir miktar uzatabilmektedirler.

Aramid lifleri kimyasal yapılarına göre meta-aramid ve para-aramid lifleri olmak üzere iki çeşittir. Meta-aramid lifleri, çok etkili bir yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Para-aramid lifleri ise, yüksek gerilme mukavemetine ve elastik modüle sahip olmaları nedeniyle balistik koruma amaçlı olarak kullanılmaktadırlar.

Meta-aramid liflerinden ilki ve en önemlisi; 1962 yılında DuPont firması tarafından üretilen ve pahalı bir lif olan Nomex'tir. Yapısı gereği alev almaz yani erimez fakat 370 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ayrışmaya 400 °C'de kömür oluşturmaya başlamaktadır. 260 °C'de lifte % 2'lik bir büzülme meydana gelmektedir.

250°C'de 1000 saat bırakılan Nomex'in kopma mukavemeti, alev maruz kalma öncesindeki % 65'i kadardır (Cireli, 2000). Nomex esaslı kumaşlar itfaiyeci giysi üretiminde çoğunlukla kullanılmaktadır.

Ticarileşmiş diğer meta-aramid lifleri; Fenilon (Rusya), Apyeil Unitika (Japonya) ve Teijin Conex (Japonya)'dir.

En çok bilinen ve itfaiyeci giysilerinde en çok kullanılan para-aramid lifi Kevlar'dır. Kevlar lifi 1970'li yıllarda DuPont firması tarafından üretilmeye başlanmıştır. Kesilmelere, aşınmaya, ısıya karşı yüksek dayanıma sahip, oldukça konforlu ve hafiftir. Çok iyi fiziksel özelliklerinden dolayı daha çok ağır sanayide: otomobil lastiklerinde, kompozit malzeme olarak uçak, inşaat ve uzay teknolojisinde kullanılmakla birlikte giysilere de uygundur (<http://www.dpp-europe.com/more,4536.html?lang=tr>).

Ticarileşmiş diğer para-aramid lifleri; Twaron (Akzo 1969) Technora (Teijin 1974)'dir.

Polibenzimidazol (PBI) Lifleri ise; yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve konfor özelliği çok iyidir. Pahalı bir lifdir. Kısa süreli temaslarda (3-5 sn.) 600 °C' ye, daha uzun sürelerde ise 300-350 °C 'ye kadar dayanıklıdır. PBI liflerinin ticari üretimi, 1983 yılından beri Hoechst Celanese tarafından yapılmaktadır (Conciatori et al., 1985). Sınırlayıcı oksijen indeksi de % 41'dir ve bu değer aramid liflerinininkinden daha büyüktür. En çok kullanılan PBI lif karışımları; 40/60 PBI/para-aramid, 20/80 PBI/meta aramid ve 20/80 PBI/FR Viskoz'dur (Kutlu, 2002).

Güç tutuşur viskoz (FR) lifleri halojen, azot ve fosfor bileşikleri içeren birçok katkı maddeleri ile güç tutuşur yapılmaktadırlar. Ayrıca; Nomex ve PBI lifleri ile belirli oranlarda karışım yapılarak da kullanılmaktadırlar. Durvil, bir güç tutuşur viskoz kesikli lifidir. Durvil lifinin termal koruma performans özellikleri güç tutuşur pamuktan % 70 daha iyi fakat Nomex, PBI veya yün gibi liflerden daha kötüdür (Cireli, 2000).

Bu liflerin bazılarının çeşitli oranlardaki karışımları ile farklı lifler elde edilmiştir. Ticari isimleri ile birlikte bu liflerden bazıları şunlardır (Cireli, 2000; Kutlu, 2002):

Nomex III: %95 Nomex + %5 Kevlar 29

Nomex Delta T (Nomex Outershell Tough): %77 Nomex + %23 Kevlar

Nomex Delta C: %93 Nomex + %5 Kevlar + %2 P140

Nomex Delta FF: %100 ince lif Nomex

X-Fire (Teijin) : Teijin Conex + Technora (1200 °C 'ye kadar 50 s. dayanabilir.)

Karvin (DuPont): %30 Nomex + %65 FR viskoz + %5 Kevlar

Rhône Poulenc adlı bir Fransız firması tarafından 1971 yılında üretilmiş olan tek ticari poliamid-imid lifi Kermel de itfaiyeci giysi üretiminde kullanılmaktadır (Kutlu, 2002). Kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri Nomex lifine benzerdir (Cireli, 2000). LOI değeri % 31-32'dir ve 250 °C 'ye kadar uzun süre dayanıklıdır. Kermel, yüksek fiyat dezavantajını ortadan kaldırmak ve özelliklerini iyileştirmek için diğer liflerle karışım halinde kullanılmaktadır. % 10-15 viskozla karışımının kullanılmasıyla statik elektriklenme problemi ortadan kaldırılmaktadır (Kutlu, 2002).

Lenzing isimli bir Avusturya firması tarafından üretilen Lenzing P84 de % 36-38 LOI değerine sahip bir poliamid lifidir. Erimez ve damlamaz. Mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik olmadan 260 °C 'ye kadar olan sıcaklıklarda koruma sağlayabilmektedir. 50/50 Lenzing P84/ Fr Viskoz karışımı koruyucu iç giyimde kullanılmaktadır(Cireli, 2000; Kutlu, 2002).

BASF tarafından üretilen bir melamin lifi olan Basofil lifi; çok iyi ısı ve alev dayanımı göstermektedirler. % 31-33 sınırlayıcı oksijen indeksine sahiptir. Erime noktası yoktur, damlamamakta; kömür oluşturmaktadır (Kutlu, 2002). Cam/para-aramid/Basofil karışımı lifler yoğun radyasyona karşı korumak için yangın giysilerinde kullanılabilirler.

2.7 İtfaiyeci Koruyucu Giysi Yapısı

İtfaiyeci koruyucu giysileri; giysi katmanları arasında hava boşlukları oluşturarak yüksek sıcaklıktan koruma sağlayan ve ısı-aleve dirençli malzemelerden yapıldığı için yanmadan oluşabilecek yaralanmaları azaltan giysilerdir. Bu giysiler, itfaiyecinin yangını söndürecek ve yangından insanları kurtarabilecek kadar yangına yaklaşabilmesini sağlayabilmektedirler (Mäkinen, 2005; Keiser, 2007). Şekil 2.10'da örnek bir itfaiyeci giysisi görülmektedir.



Şekil 2.10 Örnek bir itfaiyeci giysisi

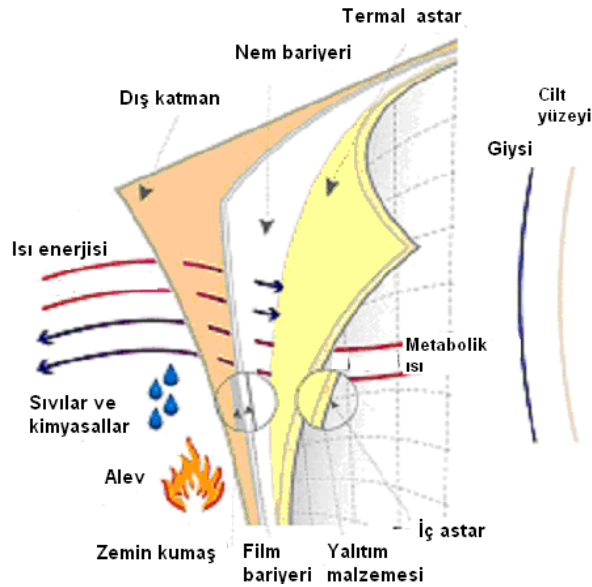
İtfaiyeciler için koruyucu giysiler ve gerekli performans kuralları hakkında en geniş standart EN 469'dır. Bu standart, genel itfaiyeci tasarımını, kullanılan malzemelerin asgari performans seviyelerini ve bu performans seviyelerini tayin etmek için kullanılan deney metotlarını kapsamaktadır.

İtfaiyeci koruyucu giysi yapısı birçok özelliklere sahip olmalıdır (Keiser, 2007; TS EN 469 : 2007):

- Aleviden gelen ısıya ve termal radyasyona karşı korumalıdır.
- Sıcak sıvılara ve diğer kimyasallara karşı korumalıdır.

- Aşınmaya ve mekanik yüklere karşı dirençli olmalıdır.
- Yanmaz özellikte olmalıdır.
- Büzüşmemelidir /çekmemelidir.
- Kolay yıkanabilmelidir.
- Hafif ve konforlu olmalıdır.
- Nefes alabilir özellikte olmalıdır.

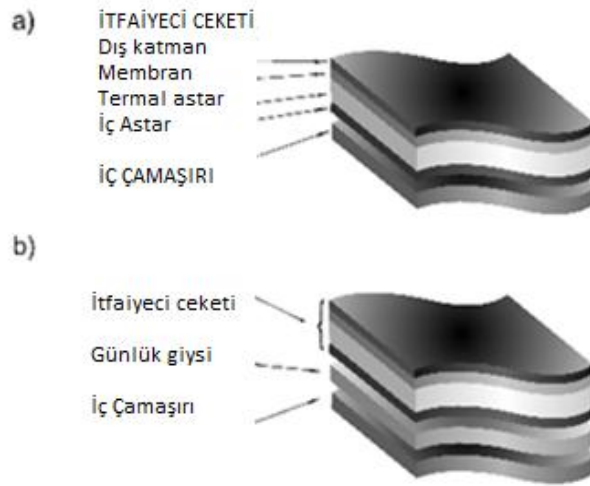
İtfaiyeci giysileri bir pantolon ve bir ceketten oluşan çok katmanlı bir kumaş yapısından meydana gelmektedir. Dış katman, nem bariyeri, termal astar ve iç astar bu yapıyı oluşturan kumaş katmanlarıdır. Şekil 2.11’de çok katmanlı itfaiyeci giysi yapısı görülmektedir (Giovanni, 2006).



Şekil 2.11 İtfaiyeci giysi yapısı

Daha yüksek ısılardaki arazi yangın söndürme çalışmaları için geliştirilen koruyucu giysiler, bir veya iki tabakalıdır. Bu giysilerin dış tabakası, alüminize olmuş bir dış yüzeye sahiptir ve radyan ısıyı yansıtmaktadır. Ancak genellikle pantolon ve ceket kombinasyonuna sahip geleneksel itfaiyeci giysileri daha çok kullanılmaktadır.

İtfaiyeci ceketi Şekil 2.12’de görüldüğü gibi iki farklı kombinasyonda kullanılabilir (Keiser, 2007):



Şekil 2.12 İtfaiyeci giysi kombinasyonu

- a) İtfaiyeci ceket + iç çamaşır
b) İtfaiyeci ceket+ günlük giysi+iç çamaşır

Çok katlı giysi yapıları tek katlılara göre; katmanlar arasındaki hava tabakalarının yalıtım özelliğinden dolayı daha iyi bir koruma sağlamaktadır. Ayrıca giysinin termal özellikleri; lif türünden çok, giysinin yapısı ve lifler arasında kalan hava miktarına bağlıdır. İtfaiyeci giysileri de etkin koruma sağlaması amacıyla çok katmanlı bir yapıdan meydana gelmektedir.

2.7.1 Dış Katman

İtfaiyeci giysi yapısının dış katmanı; aleve, kesilmeye, yırtılmaya ve aşınmaya dayanıklı özellikte olan malzemelerden meydana gelmektedir. Bunlar, genellikle 195-270 g/m² ağırlığında dimi ve ripstop dokuma kumaşlardır (Holmes, 2000). Dış katman, giysinin tüm koruma etkinliğinin % 25-30'unu sağlamaktadır (Mäkinen, 2005). Bu tabakaya su iticilik, yağ iticilik gibi bitim işlemleri uygulanmaktadır. (Ellison ve diğer., 2006).

Günümüzde itfaiyeci giysilerinin dış katman malzemesi olarak daha çok, kendiliğinden aleve dayanıklı lifler (aramidler ve PBI gibi) kullanılmaktadır. Ayrıca,

Rhone-Poulenc firmasının piyasaya sunduğu bir poliamidimid lifi olan Kermel de karışımlarda kullanılabilir (Mäkinen, 2005).

Dayanımı arttırmak için para-aramid lifler, genellikle meta-aramidlerle birlikte dış katman malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Nomex III, Nomex Antistatic (IIIA), Nomex Outersell Tough (Delta T), Kermel HTA, PBI Gold (Ibena) gibi ticari isimdeki malzemeler kullanılan bu karışımlara örnektir (Mäkinen, 2005).

Dış katman malzemesi olarak kullanılan başka ticari ürünler de bulunmaktadır. DuPont tarafından üretilen Advance isimli ürün; Nomex ve Kevlar karışımıdır, 570 °C'e kadar dayanabilmektedir. Ayrıca; % 40 Basofil ve % 60 oranında Kevlar kombinasyonundan oluşan ve yine DuPont firmasının ürettiği Basofil, diğer dış katman malzemelerine göre ağır olmasına rağmen 590 °C'e kadar dayanabilmektedir. Globe firmasının üretmiş olduğu bir ürün olan Mellenia da, en yeni dış katman malzemelerinden biridir. En önemli özelliği esnek ve hafif oluşudur (Ellison, 2006).

Güç tutuşur viskoz/güç tutuşur yün/Nomex ve güç tutuşur viskoz/Kermel karışımlarıyla da dış katman materyali elde edilebilmektedir (Mäkinen, 2005).

2.7.2 Nem Bariyeri

Nem bariyeri; termal astar ve dış katman arasında bulunan, giysi yapısındaki en önemli kumaşı oluşturan tekstil malzemesidir. Bu tabakanın esas amacı, termal astarı kuru tutmaktır; çünkü termal astar yüksek nem içerdiğinde ısı iletkenliği artmakta ve astarın yalıtım yeteneği ortadan kalkmaktadır (Ellison ve diğer., 2006). Özellikle yangında zemin sıvılarının cilde ulaşmasını önlemekte ve itfaiyecinin konforunu artırmaktadır. Yalıtım değeri, sıcak gaz ve buhar geçişine bağlıdır. Genellikle ripstop dokuma veya sonsuz elyaflı yöntemle göre serilmiş dokusuz yüzey şeklinde üretilmektedir (Holmes, 2000).

Nem bariyeri; su geçirmeyen, ısı ve nem yerleşimini engelleyip ısı ve nem çıkışına izin vererek nefes alabilen malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemeler bir

mikro gözenekli veya hidrofilik membran veya kaplama olabilmektedir (Mäkinen, 2005).

Mikro gözenekli bariyerler, politetrafloretillen (PTFE) veya poliüretan esaslı üretilmektedirler. Materyalden hava ve nem geçişine izin veren ince gözenekler içermektedirler.

Gore tarafından 1976 yılında Gore-Tex olarak geliştirilen ilk mikro gözenekli membran, politetrafloretillen (PTFE) polimeri ile birleşerek meydana getirilmiştir ve nem bariyeri olarak kullanılmaktadır. Yüzeyinde bulunan çok küçük delikler, su buharı molekülünden daha büyük, en küçük yağmur damlasından da daha küçüktür. Su itici ve rüzgar geçirmez özelliindedir (<http://www.gore-tex.com/remote/Satellite/home>).

Crosstech mikro gözenekli PTFE ile oluşturulmuş laminasyondur. Gore firmasının CROSSTECH kumaşları nefes alabilen bir nem bariyeri ardında en uzun ömürlü vücut sıvısı nüfuzu direncini sağlamaktadır (<http://globefiresuits.com/globe/materials/moisture-barrier/moisture-barrier-materials.aspx>.)

Mikro gözenekli ve hidrofilik kaplamalar genellikle poliüretan ürünlerdir. Action poliüretan kaplamaya bir örnektir (Mäkinen, 2005).

Breathe-Tex Plus, Stedair 2000 hidrofilik poliüretan laminasyon veya kaplanmış kumaşlardır, Sympatex ise bir hidrofilik polyester laminasyondur (Mäkinen, 2005).

RT7100; Crosstech nem bariyerinin daha az pahalı versiyonudur. Ancak termal kararlılık ve uzun ömürlülük konusunda eksiktirler (Ellison ve diğer., 2006).

Stedair 3000; nem bariyer uygulamalarındaki en yeni teknolojidir. Normal nem bariyer özelliklerine ek olarak, bu tabaka akü asidine, klorlu suya, benzine ve hidrolik sıvılara karşı koruma sağlamaktadır (Ellison ve diğer., 2006).

Hava veya su buharı akışına izin vermeyen sürekli bir kaplama sağlayan bariyerler monolitik bariyerlerdir. Bu materyalin nefes alabilir formu; sadece moleküler difüzyon ile sıvı iletimine izin vererek kullanılabilir. Neopren (Neoguard) ve polivinilklorür (PVC) de nefes almaz özellikteki kaplama malzemeleridir (Mäkinen, 2005).

Monolitik ve mikro gözenekli formlarla kombine olan ve her iki materyalin iyi özelliklerini bir araya getiren bi-komponent bariyerler de bulunmaktadır (Mäkinen, 2005).

Yapılan çalışmalarda vücudun güç işlere dayanma süresinin, kumaşın su buharı geçirgenliğindeki azalmayla orantılı olarak lineer bir şekilde azaldığı bulunmuştur. Aynı zamanda buhar bariyerli bir giysiyi giyen bir deneğin maksimum performansının aynı; fakat buhar bariyersiz giysiyi giyen deneğinkinin % 60 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hatta su buharı geçirgenliğinde küçük varyasyonlar gösteren iki takım giysiyi giyenlerin performansları arasındaki farkın önemli bir boyutta olduğu da gösterilmiştir.

Bazı ülkelerde itfaiyecilerin nem bariyeri olan bir koruyucu giysi giymeleri zorunludur, bazı ülkelerde ise zorunlu değildir. Türkiye'deki itfaiyeciler, termal konforlarından dolayı nem bariyersiz kostümleri tercih etmektedir.

2.7.3 Termal Astar

Termal astar, tüm üç tabakanın sağladığı termal korumanın % 75'ini karşılayan en iç tabakadır. Kişiyi kondüksiyon, konveksiyon ve radyan ısıdan yalıtılmaktadır.

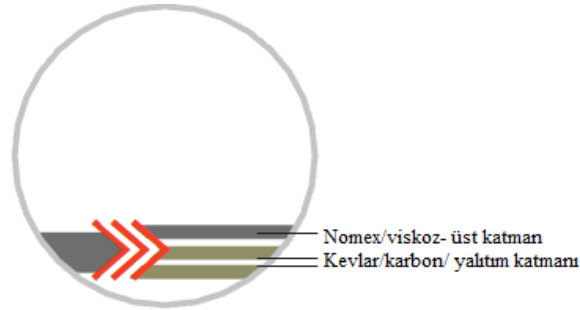
Termal astar iki ana bileşenden oluşmaktadır; bir termal yalıtım malzemesi (non-woven batting) ve cilde yakın olan bir iç astar (face cloth) tabakası.

İç astar; giyen kişinin cildiyle temas halindedir ve Nomex gibi bir dokuma astar kumaş veya güç tutuşur pamuktan yapılmaktadır. Bu malzeme bir dokusuz yüzey

termal yalıtım malzemesine lamine edilmekte veya dikilmektedir. Termal dayanıklılık; yalıtkan iplikler ve yalıtım malzemesi içindeki hava boşlukları ile sağlanmaktadır. Yalıtım malzemesi genellikle aramid ve karışımlarından çoğunlukla Nomex/Kevlar karışımından yapılmaktadır. Termal yalıtım malzemesinin kalınlığı termal performansla doğru; nefes alabilirlikle ters orantılıdır (Ellison ve diğer., 2006).

Günümüzde kullanılan Caldura-S.L.Platinum; mükemmel hava geçirgenliği olan, hızlı kuruma sağlayan, hafif bir termal astar malzemesidir. Ayrıca iki kat basofil tabakasının dikilmesiyle meydana gelen Synergy- 2-Layer Basofil Quilt hafif ve son derece yalıtkan bir malzemedir. Kevlar iplikleri kullanılarak elde edilen Aralite Quilt de uygun maliyet özelliği olan bir termal astardır.

Bir itfaiyeci giysi üreticisi firma Eco-tempex adı altında ayrı yalıtım tabakasına sahip olan bir termal astar geliştirmiştir. Bu termal astarı oluşturan koruyucu malzemeler kombinasyonu Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13 Eco-tempex termal astar

Firmanın kullanmış olduğu nem bariyeri ise Sympatex isimli patentli klima membrandır. Bu membran tamamen su itici, rüzgar geçirmez, nefes alabilir, toz geçirmez, kimyasallara dayanıklı, 220 °C' ye kadar ısıya ve bakterilere dayanıklı özelliktedir (<http://www.tempex.at/en/pdf/feuerwehr/einsatzbekleidung.pdf>).

2.8 İtfaiyeci Giysilerinin Tarihçesi

Amerika'daki ilk itfaiyeciler 1600'lü yıllarda görev yapmışlardır. O yıllarda yangına sadece dışarıdan müdahale edebildikleri için yapılar zamanında söndürülememiştir. Çünkü, itfaiyecilerin giysileri ısıya ve alevlere uygun olmadığından bina içinde operasyon yapılamamıştır. Bu problemi çözebilmek amacıyla günümüze kadar itfaiyeci giysilerinde çok büyük gelişmeler gözlenmiştir.

1730'lu yıllarda ilk yangın baretleri üretilmiştir. İlk baret; deriden yapılmıştır. Çok uzun ve çok geniş boyutlardadır. Henry T. Gratacap, 1986'dan sonra; günümüzde kullanılan benzer bir itfaiyeci baretini tasarlamıştır. Baret; ön kısmında koruyucu bir siper bulunan, insan başına uygun boyutta ve deriden imal edilmiştir. Son olarak da şimdi kullanımda olan; itfaiyecinin başını çöküntülerden, sudan, yüksek ısıdan ve rüzgardan koruyucu özellikteki baretler üretilmiştir.

İtfaiyeci üniforması üretiminde ise ağır bir materyal olan yün kullanılmıştır. İtfaiyeci pantolonları ve dik yakalı itfaiyeci yağmurlukları da yünden yapılmıştır. Ceketin altına genellikle kırmızı renkte olan pamuk veya yün bir gömlek giyilmiştir. Ayrıca deri çizmeler kullanmışlardır.

Kauçuğun üretimi arttıkça, itfaiyeci giysi üretiminde etkili bir rol oynamaya başlamıştır. Yün ceket üzerine giyilen kauçuk yağmurluklar; itfaiyeciyi ısıdan korumak ve daha çok da itfaiyeciyi kuru tutmak amacıyla ek bir katman olarak kullanılmıştır. Kauçuktan yapılan çizmeler de kişinin ayaklarını kuru tutmayı amaçlamıştır.

1825'lerde İtalyan bilim adamı Giovanni Aldini; ısı koruması ve temiz hava sağlayan bir maske tasarlamıştır. John Roberts adında bir madenci de Avrupa ve İngiltere'de kullanılan bir filtre maskesi icat etmiştir. İlk solunum cihazı ise 1863'lerde icat edilmiştir (Hasenmeier, 2008).

2.9 İtfaiyeci Giysilerinin Tasarım Özellikleri

Yapısal yangınlar için, bir itfaiyecinin giydiği üniforma; ceket, pantolon, koruyucu başlık, baret, eldiven ve çizmeden oluşmaktadır. Şekil 2.14'te bir itfaiye giysisi görülmektedir.



Şekil 2.14 İtfaiyeci giysisi

İtfaiyeci üniformasının her bir parçası, EN 340 (Protective Clothing-General Requirements) standardına uygun olarak çeşitli tekstil malzemelerinin kombinasyonlarından üretilmektedir.

EN 340 standardına göre itfaiyeci elbiseleri Tablo 2.5 'teki çıplak beden ölçüleri esas alınarak üretilmektedir.

Tablo 2.5 EN 340 standardına göre itfaiyeci giysi bedenleri ve vücut ölçüleri

Beden	Boy (cm)	Göğüs (cm)	Bel (cm)
XS	158-164	76-84	74-82
S	164-170	84-92	82-90
M	170-176	92-100	90-98
L	170-176	100-108	98-106
XL	176-182	108-116	106-114
XXL	182-188	116-124	114-122
XXXL	188-194	124-132	122-130

2.9.1 İtfaiyeci Ceket

İtfaiyeci ceketleri çeşitli malzemelerden oluşan dış katman, nem bariyeri, termal astarın farklı yöntemlerle kombine edilmesinden meydana gelmektedir.

Türkiye’de büyük şehirlerde kullanılmaya başlanan itfaiyeci ceketinin dış katmanı su ve yağ iticilik kazandırılmış, antistatik Nomex Outershell Tough; nem bariyeri poliüretan membrana lamine edilmiş alev almaz kumaştan ve ısı bariyeri aramid keçe ve buna kapitone edilmiş Aramid / Viskoz FR iç astardan oluşmaktadır. Dikiş iplikleri % 100 Nomex’tir (<http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>).

İtfaiyeci ceketlerinin sahip olduğu kombine sisteme alternatif olarak; dış katman kumaş, yalnızca Nomex, PBI Gold’dan oluşabilmektedir. Nem bariyeri olarak da poliüretan membrana lamine edilmiş alev almaz dokusuz yüzey kumaşlar kullanılmakla beraber bazı örneklerde alev almaz örme kumaşların da kullanılabilirliği görülmektedir. Aramid keçe veya iki katlı alev almaz dokusuz yüzey kumaş nem bariyeri olarak iç astara kapitone edilebilmektedir. İç astar olarak da Nomex Comfort veya Aramid/güç tutuşur viskoz da kullanılmaktadır.

İtfaiyeci ceketleri görüldüğü gibi üç katlı kumaş yapısından meydana gelmektedir. Üretilen itfaiyeci ceketlerindeki farklılıklar; koruyucu kumaş yapılarının çeşitliliğinden ve değişik tasarım özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2.15’te örnek bir itfaiyeci ceketini gösterilmektedir (<http://www.ilerisavunma.com/tr/yangin/index.htm>).



Şekil 2.15 İtfaiyeci ceketi örneği

İtfaiyeci ceketlerinin boyu genellikle pantolon belinden 30 cm daha uzun olacak şekilde tasarlanmaktadır.

Ceket yakası genellikle dış katman kumaşından ve nem bariyerinden oluşmakta; yukarıya kaldırıldığında boynu etkili bir şekilde korumaktadır. Şekil 2.16'da bir itfaiyeci ceketinin yakası görülmektedir.



Şekil 2.16 Bir itfaiyeci ceketindeki yaka örneği

Ceketin kol altlarına hareket kabiliyetini arttıran ergonomik ek parçalar ilave edilmiştir. Şekil 2.17'de kol altı parçaları görülmektedir.



Şekil 2.17 Kol altı ek parçaları

Ceket cepleri sağ, sol veya hem sağ hem sol göğüs üzerinde bulunabilmektedir. Bu ceplerden biri telsiz cebi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ceketin alt kısmında sağ ve sol olmak üzere birer büyük cep bulunmaktadır. Genellikle dış katman kumaşından üretilen bu cepler; ısıya dayanıklı kumaş fermuarıyla ya da cırt bantlarla kapanmaktadır. Bazı itfaiyeci ceketlerinin kol parçalarının üzerinde de cep bulunabilmektedir. Ceplerin modelleri ve boyutları çok çeşitli olabilmektedir.

Ceketlerde Şekil 2.18'deki cep modelleri kullanılabilir:



Şekil 2.18 Farklı cep modelleri

Ceketlerin ön kısmında genellikle 60 cm boyunda ısıya dayanıklı metal fermuar ve fermuarı örten, ısıya dayanıklı kumaş fermuarlı bir pat bulunmaktadır. Şekil 2.19'da ceket ön patı ve fermuarı görülmektedir.



Şekil 2.19 Ceket ön patı ve ön fermuarı

Sıvıların ve yakıcı parçaların kol uçlarından içeriye girmesini engelleyen, başparmağa geçirilen meta-aramid, genellikle de Nomex bileklikler tasarlanmıştır. Ayrıca, etek ve kol uçlarında dışarıdan su girmesini önleyen bir bant bulunmaktadır. Şekil 2.20’de bu bant ve bileklikler görülmektedir.



Şekil 2.20 Sıvı girişini engelleyen parçalar

2.9.2 İtfaiyeci Pantolonu

İtfaiyeci pantolonları; itfaiyeci ceketleriyle aynı kumaş türü ve yapısından üretilmektedir. Türkiye’de kullanılmaya başlanan itfaiyeci pantolonları, ceketlerle aynı katmanlardan meydana gelmektedir. Dış katmanı su ve yağ iticilik kazandırılmış, antistatik Nomex Outershell Tough; nem bariyeri poliüretan membrana lamine edilmiş alev almaz kumaştan ve ısı bariyeri aramid keçe ve buna kapitone edilmiş Aramid / Viskoza FR iç astardan oluşmaktadır. Dikiş iplikleri %100 Nomex’tir (<http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>). Şekil 2.21’de bir itfaiyeci pantolonu görülmektedir.



Şekil 2.21 İtfaiyeci pantolonu

İtfaiyeci pantolonlarının önünde şekil 2.22’de olduğu gibi, genellikle 25 cm boyunda kapaklı ve ısıya dayanıklı kumaş fermuarı ile çıt çıt bulunmaktadır (<http://www.dostteknoloji.com.tr/content/view/104/140/>) .



Şekil 2.22 İtfaiyeci pantolonunun ön fermuarı ve çıt çıtı

Bazı itfaiyeci pantolonlarının bel kısmında şekil 2.23’teki lastikli kemer bulunmaktadır:



Şekil 2.23 İtfaiyeci pantolonundaki elastik kemer

Fermuar ve askı gibi aksesuar materyallerinin esas gereksinimleri ısıya dayanıklılıktır. Genellikle meta-aramid esaslı üretilen elastik pantolon askı tasarımları Şekil 2.24’te görüldüğü gibi çok çeşitlidir.



Şekil 2.24 İtfaiyeci pantolon askıları

Paçaların genişliği en az 26 cm’ dir. Dışarıdan su girmesini engellemek amacıyla pantolonun paçasında bir bant bulunmaktadır. Şekil 2.25’te itfaiyeci pantolon paçaları görülmektedir.



Şekil 2.25 İtfaiyeci pantolon paçası örnekleri

İtfaiyeci pantolonlarının bazılarının yanlarında Şekil 2.26'da görüldüğü gibi kapaklı cep bulunabilmektedir.



Şekil 2.26 Pantolon cepleri

Bazı itfaiyeci ceket ve pantolonlarında özel araç-gereç cebi tasarlanmış olabilmektedir. Bu cep örnekleri Şekil 2.27'de görülmektedir:



Şekil 2.27 Araç-gereç yerleştirme cepleri

İtfaiyecinin eldivenlerini yanında taşıyabileceği metal veya plastik askılıklar küçük bir birite takılı halde tasarlanmıştır. Şekil 2.28'de bu askılıklara bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.28 Eldiven askılığı

İtfaiyeci pantolonlarındaki en önemli model özelliği diz ve dirsek bölgelerine yerleştirilen sürtünme ve aşınmaya dayanıklı ek koruyucu kumaş parçalarıdır. Bu ek parçalar Şekil 2.29’da gösterilmiştir.



Şekil 2.29 Diz ve dirsek ek parçaları

Daha etkin koruma sağlayabilmek amacıyla; bazı pantolonların paça genişliği, ayak bileğini sıkıca sarabilmesi ve botların kolay giyilmesi için birer cırt bant veya fermuarla ayarlanabilmektedir. Şekil 2.30’da pantolon paçalarının çeşitleri görülmektedir.



Şekil 2.30 Pantolon paça tasarım özellikleri

İtfaiyeci giysilerinde görünürlüğü artırabilmek amacıyla çeşitli renklerde, bölgelerde ve değişik tasarımlarda reflektif şeritler kullanılmaktadır. Piyasada çeşitli floresan materyaller olmasına rağmen, itfaiyeci koruyucu giysilerinin ihtiyaç duyduğu ısı direnci gereksinimlerini yalnızca birkaç materyal karşılamaktadır. 3M Scotchlite, Reflexite ve Unitika gibi üreticilerin ısıya dirençli reflektif ürünleri bulunmaktadır. Şekil 2.31’de itfaiyeci giysi modellerinde bu çeşitlilik görülebilmektedir:



Şekil 2.31 İtfaiyeci giysilerinde reflektif malzemelerin çeşitli yerleşimleri

İtfaiyeci üniformaları farklı ülkelerde farklı modellerde tasarlanmıştır. Şekil 2.32’de üniformalardaki bu çeşitlilik görülebilmektedir.



Şekil 2.32 Çeşitli itfaiyeci üniforma modelleri

2.9.3 Alüminize Elbiseler

Şekilde görülen alüminize elbiseler; yangın söndürme esnasında personelin yangın ortamından can ve mal kurtarma durumunda alev ve sıcaklığın olumsuz etkilerinden korunması için kullanılmaktadır. En önemli özelliği, alüminize kumaşın termal radyasyonu yansıtmasıdır.

Alüminize elbiseler; başlık, ceket, pantolon, eldiven ve çizmelerden oluşmaktadır. Her bir parça üç katmanlıdır. Dış katman; alüminize edilmiş para-aramid veya cam elyaf esaslı örme kumaşlardan kullanılmaktadır. (<http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>)

Şekil 2.33'te alüminize elbise parçaları görülmektedir.



Şekil 2.33 Alüminize elbise

%100 para-aramid esaslı örgü kumaşların bir yüzüne yüksek sıcaklıklara dayanıklı çift yüzeyi alüminize kaplı filmin kaplanmasıyla üretilmektedir. Cam elyaf alüminize elbise ise %100 cam elyaf esaslı kumaşın bir yüzüne yüksek sıcaklıklara dayanıklı çift yüzeyi alüminize kaplı filmin kaplanması yoluyla üretilmektedir. Para-aramid esaslı alüminize kumaşlar daha esnek, konforlu ve daha hafif olmaktadır.

Nem bariyeri, genellikle poliüretan membrana lamine edilmiş alev almaz dokusuz yüzey bir kumaştır. Güç tutuşur iki katmanlı keçe termal astara dikilmiş bir aramid/güç tutuşur viskoz karışımı iç astar kullanılmaktadır. İki katlı keçe arasında biriktirdiği hava katmanından dolayı daha iyi bir termal izolasyon sağlamaktadır. Alüminize elbiseler %100 Kevlar dikiş ipliği ile dikilmektedir. Toplam ağırlıkları 6-9 kg arasında değişmektedir (<http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>).

Alüminize elbise giyilirken önce pantolon ve çizme giyilir. Solunum cihazı takılması gerekiyorsa takılır. Ardından ceket ve eldivenler giyilir. Son olarak başlık takılır (<http://www.ahmetsertkan.com/2008/06/itfaiyeci-koruyucu-giysileri.html>).

2.9.4 İtfaiyeci Yağmurlukları

İtfaiyeci yağmurlukları; personeli üzerine gelen sudan, alev ve sıcaklığın olumsuz etkilerinden korumak amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle yanması geciktirilmiş pamuklu kumaş üzerine alev almaz poliüretan kaplama ile üretilmektedir. Gece kolay fark edilmek amacıyla genellikle kollarda ve eteklerde reflektif şeritler bulunur. Dikiş iplikleri yüksek sıcaklığa dayanıklı % 100 Kevlar'dır. Şekil 2.34'te bir itfaiyeci yağmurluğu modeli görülmektedir (<http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>).



Şekil 2.34 İtfaiyeci yağmurluğu

2.9.5 İtfaiyeci Baretleri

İtfaiyeci baretlerinin dış gövde kısmı genellikle cam elyafıdır. Baretler gece maksimum görünürlük sağlamak için fotoluminesan özelliktedir. Darbe emici poliüretan iç kısım ve polikarbonat yüz siperi mevcuttur. Ayarlanabilir çene kayışı genellikle Nomex malzemedir yapılmıştır. Enseden alev girmesini engelleyici deri veya Nomex malzeme kullanılmaktadır. Şekil 2.35'te itfaiyeci baretleri örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.35 İtfaiyeci Baretleri Örnekleri

Örnek bir itfaiyeci baretinin bölümleri Şekil 2.36'da detaylı olarak görülmektedir (<http://www.isciguvenligi.com/default.asp?git=8&urun=59>).



Şekil 2.36 Bir itfaiyeci baretinin bölümleri

- | | |
|------------------------------|---|
| 1.Cam elyafından dış katman | 7.Deri alın pedi (şekilde görünmemektedir) |
| 2.Full iç astar sistemi | 8.Reflektif şeritler |
| 3 .4" gözlük veya yüz siperi | 9.Paslanmaz çelik D-çemberi |
| 4. Nomex kulak kılıfı/siperi | 10.Başlık dolgulu başlık kayışı |
| 5.Sürgülü çene kayışı | 11.3 pozisyon mandal uzunluğu (şekilde görünmemektedir) |
| 6.Alın dolgulu mandal bandı | |

2.9.6 İtfaiyeci Eldivenleri

İtfaiyeci eldivenleri genellikle; % 100 Kevlar ısı bariyeri; su geçirmez, nefes alabilir membran; elin dış tarafında dış kat malzemedan yapılmış ve dikişle sağlamlaştırılmış takviye şerit ile oluşturulmaktadır. Sıcak maddenin içeri girmesini engellemek amacıyla da Kevlar örgü bileklik mevcuttur. Ayrıca eldivenlerin birçoğunda, pantolon biritindeki askıya takılabilmeleri için bir klips bulunmaktadır. Tablo 2.6' da çeşitli itfaiyeci eldivenleri görülmektedir (<http://www.durmanyangin.com/tr/e3.htm>):

Tablo 2.6 İtfaiyeci eldiveni çeşitleri

	Yüksek sıcaklık uygulamaları için tek parmaklı ve beş parmaklı Kevlar eldiven
	Dışı Nomex, ısı ve nem bariyeri Kermel, koncu ayarlanabilir (tekstil fermuarlı) itfaiyeci eldiveni
	Amerikan tipi, Kevlar bileklikli deri itfaiyeci eldiveni.
	Avuç içi deri, konç ve dış yüzey alüminize kumaşla oluşturulmuş alüminize itfaiyeci eldiveni,
	Tempex firmasının geliştirmiş olduğu 'Bombero' itfaiyeci eldiveni; avuç içi ve el sırtı silikon-karbon kaplamalı Kevlar dokuma kumaştan yapılmıştır. El ve parmak üstleri Nomex Delta-TA kumaştandır. İç eldiven Kevlar örgü kumaştır. Tüm dikişlerde Kevlar iplik kullanılmıştır.

2.9.7 İtfaiyeci Çizmeleri

İtfaiyeci çizmeleri lastik türevi olmasına karşın deri çizmeler de mevcuttur. Deri itfaiyeci çizmeleri çelik burunlu, antistatik ve yüksek ısıya dayanıklı nitril kauçuk tabanlıdır. Lastik çizmelerin su geçirmezlikleri deri çizmelere göre daha iyidir. Mekanik darbelere dayanımını artırmak için çelik taban ve çelik burundan imal edilmektedir. Çizme tabanı yüksek sıcaklığa dayanıklı özel malzemedir üretilir. İç kısmı alev almaz astarlıdır. Çizmenin dış yüzeyinde ayak bileğini topuğunu ve kaval kemiğini korumak için kauçuk bileşenlerden takviye bulunmaktadır.

Şekil 2.37’de itfaiyeci çizmeleri görülmektedir (*İtfaiyeci Eldiveni*, (b.t.). 2010, (<http://www.durmanyangin.com/tr/e3.htm>).



Şekil 2.37 Deri ve lastik itfaiyeci çizmeleri

2.9.8 Koruyucu Örme Başlıklar

Koruyucu örme başlıklar genellikle aramid veya karbon elyafından interlok örgü tekniği ile üretilmektedirler. Yüksek ısı ve direkt alev temasında yanmaya dayanıklıdır. Tüm dikişler aramid iplik ile yapılmaktadır.

Aleve dayanıklı örme başlıklara bir diğer örnek de % 48.5 Kermel, % 48.5 güç tutuşur viskoz, %3 Beltron karışımından oluşan başlıklardır. Yüzü çevreleyen kısmı elastiktir. Başlığın omuzları örten kısmının boyu daha kısadır.

Örnek koruyucu örme başlıklar Şekil 2.38’de görülmektedir.



Şekil 2.38 Koruyucu örme başlıklar

2.10 İtfaiyeci Koruyucu Giysilerinin Bakımı ve Kullanım Süresi

İtfaiyeciler yangın söndürme operasyonlarında çeşitli kimyasallar ve yanıcı sıvılarla temas halinde olabilmektedir. Bu maddeler elbisenin alev karşı direncini düşürmektedir. O nedenle giysilerin düzenli olarak temizlenmesi şarttır.

Giysinin yıkama ve bakımı hakkındaki talimatları üreticilerin sağlamaları gerekmektedir. Örneğin DuPont; Nomex giysilerin 60°C’ de yıkanmasını ve yıkama süresinin 1 saati geçmemesini, nötr pH değerine sahip bir sıvı deterjan kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır (<http://www.dpp-europe.com/-Yikama-ve-Bakim-.html?lang=tr>).

DuPont firmasının Türkiye’deki kalite partneri olan Kıvanç Group ürettikleri itfaiyeci giysileri hakkında yıkama talimatı belirlemiştir. Bu talimata göre giysi, klor içermeyen herhangi bir temizlik maddesi ile 40 °C’de çamaşır makinesinde normal devirde pamuklu/beyaz programda yıkanmalıdır. Yıkama işlemi sonrası giysi tersinden hava sirkülasyonunun olduğu ve güneşe doğrudan maruz kalmayan bir yerde kurutulmalıdır. Giysi kuruduktan sonra orta derece ısıda ütülenmeli; ancak reflektif şeritler bozulmaması için ütülenmemelidir.

Kullanımın ve yıkamanın koruyucu giysiye etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır, ancak kullanılmış giysilerin performansını incelemek için objektif bir metot bulunmamaktadır.

Vogelpohl (1996), yangın departmanlarında yangın söndürme ve eğitimi için kullanılmış giysilerin farklı özelliklerini değerlendirmiştir. Sonuçlara göre, giysilerin termal özellikleri bozulmamıştır. Sadece bazı nem bariyerleri, gereken süre kadar koruma sağlayamamıştır. Kullanılan giysi kaplamalarının su direnci azalmıştır; dış katman kumaşı % 10.3-55.9 oranında su absorbe etmiştir. Dikiş yapısında mukavemet kaybı meydana gelmiştir. (Mäkinen, 2005).

Rossi ve Zimmerli (1996), eski kullanılmayan itfaiyeci giysilerindeki giysi kirlenme değerleri üzerine çalışmıştır ve onları dezenfekte etmede geçerli yıkama uygulamalarının etkilerini değerlendirmiştir. Yıkama, giysi materyallerinin performansını etkilemiştir. En önemli değişim, nefes almaz nem bariyer materyalinin su penetrasyon direncinin azalmasıdır. Havalandırma ile takip edilen geleneksel temizleme metodlarının kimyasal kirlenmeler için etkili bir dezenfekte biçimi olduğunu belirtmişlerdir. (Mäkinen, 2005).

İtfaiyeci giysisi üreticileri, birtakım görsel incelemeler ve analizler sonucu koruyucu giysileri kullanımdan kaldırma süresi üzerine birçok yönerge oluşturmuşlardır. Bu yönergelere göre bir koruyucu giysinin tamir fiyatı yeni satın alma fiyatının yarısını geçiyorsa, o giysi artık kullanımdan kaldırılmaya uygun demektir. (Mäkinen, 2005).

En kapsamlı çalışmayı Vogelpohl (1997) gerçekleştirmiş; 1-6 yıl süreyle gerçek yangın söndürme çalışmalarında ve eğitim programlarında kullanılmış 20 adet giysinin fiziksel testlerini gerçekleştirmiştir. Termal koruma performansı (TPP), alev direnci, su direnci, dikiş mukavemeti, kopma mukavemeti, ultraviyole bozulma, fermuar operasyon direnci ve reflektör özelliği gibi özellikleri test etmiştir. Kullanılmış giysi testlerinin sonuçlarını; görevlere, giysilerin kullanım süresine ve nasıl yıkandıklarına göre karşılaştırmıştır. Kullanılmış giysilerin TPP'yi geçtiği ancak çoğunun gerekli alev direnci değerini geçemediğini tespit etmiştir. Dikiş mukavemetlerinin de düştüğünü belirlemiştir (Torvi ve Hadjisophocleous 1997).

2.11 Termal Koruyucu Giysi Performans Değerlendirmeleri

Isı veya alev maruz kalma sonucu, bir koruyucu giysinin ya da kumaşın oluşturduğu yanıkların derecesi ve yanıkların oluşması için gerekli etki süresi o materyalin termal koruma performansını (TPP) belirtmektedir. İtfaiyeci giysisi termal performansı küçük skala testleri ve büyük skala testleri ile değerlendirilmektedir.

Küçük skala testleri termal koruyucu giysi kumaşlarına uygulanan termal koruma performans testleridir. Kumaş koruma düzeyini değerlendiren ucuz bir yöntemdir; ancak bu testin çok dezavantajları bulunmaktadır. Her küçük skala testinde, parça halinde kumaşlar durağan ve kuru test edildiği için gerçek yangın senaryolarındaki giysileri doğru temsil etmemektedirler (Ellison ve diğer., 2006).

Büyük skala testleri ile koruyucu giysi sisteminin sadece bileşen malzemelerinin özelliklerinin değil, tümünün konforunun ve performansının değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu test metodunda insan boyutunda termal mankenler kullanılmaktadır. (Song, 2005). Gerçek boyuttaki bir mankene itfaiyeci giysisi giydirilerek ve manken yangın ortamına maruz bırakılarak yapılmaktadır.

Termal mankenler, giysi sistemlerinin termal direncini ve buhar direncini ölçmek için birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Bu direnç değerleri, giyen kişinin aktivitesiyle ve kısmi çevresel koşullarla ilişkili olan konforu ve termal stresi öngörmek amacıyla biyofiziksel modellemede kullanılmaktadır. Günümüzde ABD, Kanada, Fransa, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Almanya, İngiltere, İsviçre, Macaristan, Çin, Kore ve Japonya'da üretilen termal mankenler büyük skala testleri için kullanılmaktadır (Ellison ve diğer., 2006).

Koruyucu giysi termal performansını değerlendirmek üzere uygulanan büyük skala testleri çok çeşitlidir: Pyromen, Alberta Üniversitesi Testi, RALPH, Manikin Pit Test ve Thermo-Man.

Pyroman

The Center for Research on Textile Protection and Comfort at North Carolina State University; DuPont Thermo-Man testine benzer bir manken testi oluşturmuştur. Tüm ısı akışı; koruyucu giysili veya giysisiz manken üzerine yerleştirilen sensörlerden elde edilir. Test materyali boyunca ısı transferi ölçülür; cildin tepkisi öngörülür ve yanık hasarı tahmin edilir (Ellison ve diğer., 2006).

Alberta Üniversitesi Testi

Alberta Üniversitesi testleri için bir cam elyaf manken kullanılmaktadır. Manken; kalsiyum, alüminyum, silikat, asbest lifleri ile bir binderden oluşan Colorceran inorganik malzemesi ve termokapıl ile yapılan 110 adet sensörden oluşur. Henrique yanık hasarı integrali kullanılarak, cildin uğradığı yanık hasarı tahmin edilir (Ellison ve diğer., 2006).

RALPH

(Research Aim Longer Protection Against Heat, Fire Technology Services in Altrincham, Cheshire) İngiltere’de geliştirilen bir ısı algılama mankenidir. RALPH, kol, bacak ve gövde yüzeyinde (manken vücudunun % 80’ini oluşturan bölgelerde) bulunan toplam 56 sensöre sahiptir. Test esnasında, koruyucu giysi giydirilen mankene iki adet yanıcı tertibat ile 80 kW/m² ısı verilir (Bajaj 2000; Ellison ve diğer., 2006).

Manikin Pit Test

US Navy Clothing and Textile Research Facility (NCTRF); ASTM F 1930 standardını modifiye etmiştir. Bu testte, manken 84 kW/m²’e kadar bir heptan gazı ile oluşturulan ısıya maruz bırakılır; istenen maruz kalma süresinde, hesaplanan hızda belli bir yolda yürütülür. Test esnasında elde edilen veriler, bir zaman

fonksiyonu olarak cilt yanığı gelişimini ölçmek için kullanılır (Ellison ve diğer., 2006).

Thermo-Man

122 adet ısı sensöründen oluşan bir termal manken sistemidir. Test edilecek koruyucu giysi mankene giydirilir ve 1000 °C sıcaklığa ulaşan alevli bir yangına 4 saniye maruz bırakılır. Bu manken ilk olarak; DuPont giysilerinin, özellikle Nomex'in termal koruma özelliklerinin kapsamını değerlendirmek için kullanılmıştır. Test sonuçları % 100 pamuk ya da polyester/pamuk giyen kişilerin vücutlarındaki ciddi yanık oranının % 100'e yakın olduğunu, Nomex ile korunan işçilerin ise vücutlarındaki yanık oranının % 40 olduğunu göstermiştir. Şekil 2.39'da soldaki resimde pamuklu, sağdakinde ise Nomex'ten üretilmiş giysilerin test esnasındaki koruyuculuk etkileri görülmektedir (<http://www.dpp-europe.com/-THERMO-MAN- R,2263 .html?lang=tr.>, Mayıs 2010).



Şekil 2.39 Thermo-Man testi

Koruyucu giysilerin termal performansını değerlendirmek amacıyla çeşitli standartlar mevcuttur. Bunların bazıları NFPA 2112 ve ASTM F 1930'dur.

NFPA 2112

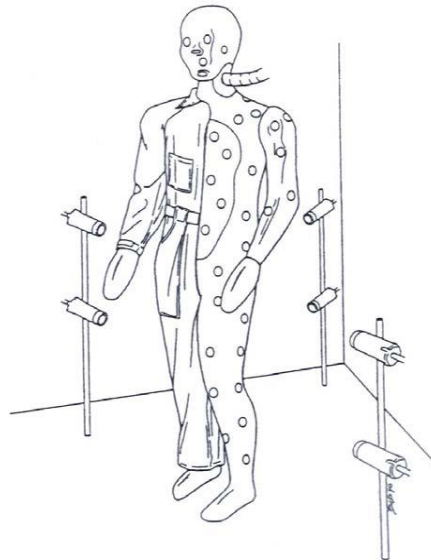
NFPA'nın manken testlerine hitaben yayımladığı bir standarttır. (NFPA 2112 Standard on Flame-Resistant Garments for Protection of Industrial Personnel against

Flash Fire 2001 Edition) Bu test; mankeni 3 saniye boyunca 84 kW/m^2 ısı akısına maruz bırakarak yapılır. Üç giysi numunesi için vücut yanık derecelendirmesi rapor edilir (Ellison ve diğer., 2006).

ASTM F 1930

(The ASTM Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Flash Fire Simulations using an Instrumental Manikin, ASTM F 1930) Bu standartta, termal mankenin elleri ve ayakları dışında bedenine yerleştirilen 100 ısı akışı sensörü bulunur. Isı akışı sensörleri, 167 kW/m^2 ısı akışına kadar dayanıklı olmalı ve doğru ölçüm yapabilmelidir.

Bu testte, Henrique'nin yanma integrali kullanılarak ikinci ve üçüncü derece yanıkların tüm yüzdesi kaydedilir. Şekil 2.40'ta görüldüğü gibi havayı yanmaya sevk eden endüstriyel tipteki sekiz adet propan yakıcı odanın dört köşesine mankenin kalça ve diz hizasına yerleştirilir. Bu yakıcıların yakıtları; minimum maruz kalma süresi olan 5 saniyenin üzerinde en az 84 kW/m^2 düzenli bir ısı akışı sağlamak zorundadır (Ellison ve diğer., 2006).



Şekil 2.40 ASTM test mankeni

2.12 İtfaiyeci Giysisi Üreticileri

İtfaiyeci giysi üreticilerinin en önemlileri Globe Manufacturing Company, Fire-Dex ve Lion Apparel'dir (Ellison ve diğer., 2006).

Globe, itfaiyeci kıyafeti üreticilerinin en büyüğüdür. 1887'de üretime başlamıştır ve bugün itfaiyeci giysilerinin dünyadaki ana üreticisidir.

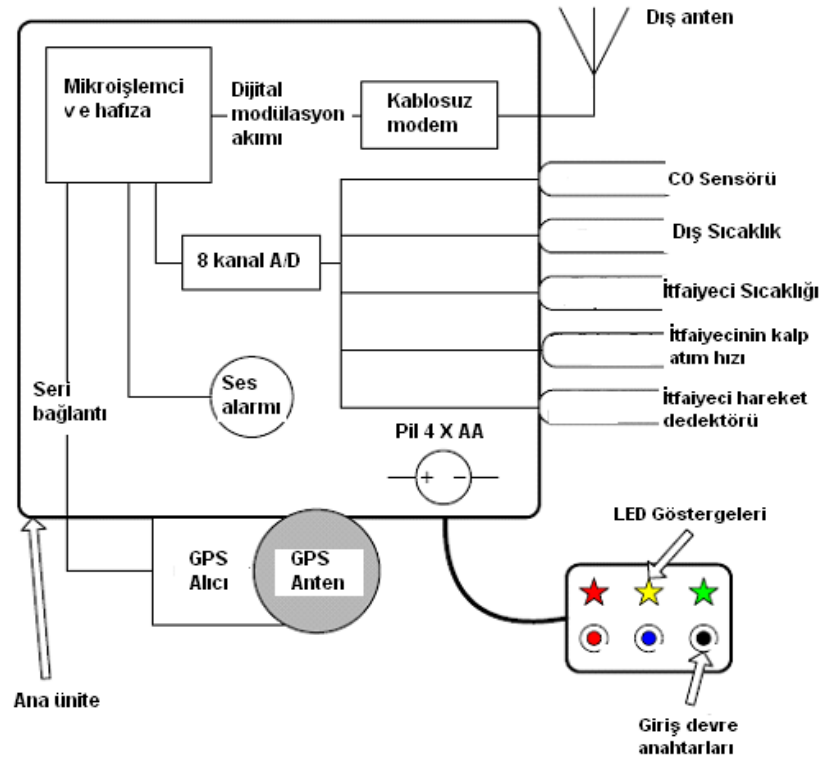
Fire-Dex; ABD'de kaynak eldiveni üreticisi olarak işe başlamış ve sonra itfaiyeci koruyucu giysisi üretimine de geçmiştir.

Lion Apparel; dünya çapında güvenlik personeli için koruyucu giysi üreterek ticarete atılmıştır. Bu şirket ABD Ordu Mühendislik Teşkilatına; ABD Deniz Piyade Sınıfına ve Alman Silahlı Kuvvetlerine koruyucu giysi temin etmektedir.

2.13 Önceki Çalışmalar

Yangın söndürme çalışmalarında kullanılan bazı itfaiyeci giysilerinde herhangi bir yanma, deformasyon olmamasına rağmen, itfaiyecilerde kullanılan zamanında fark edilmeyen ani vücut sıcaklığı artışı ve cilt yanığı oluşabilmektedir. Son yıllarda, bu olumsuz durumları engellemek için vücut fonksiyonlarını algılamak üzere elektronik sensör sistemleri giysi yapısına entegre edilmektedir. Bu konuda yayınlanmış bazı akademik çalışmalar olduğu gibi geliştirilen ticari sistemler de bulunmaktadır.

Kremens, Faulring ve Philips (2005), geliştirdikleri sensör sistemini bir itfaiyeci ceketine entegre etmişlerdir. Geliştirilen bu sensör sistemi; itfaiyecinin çevresindeki CO gazı miktarını, itfaiyecinin hareket durumunu, giysinin dış ve iç sıcaklığını algılayabilmektedir. Şekil 2.41'de görüldüğü gibi sensörler ana üniteye bağlıdır. Algılanan verilere göre sistemin programı; itfaiyecinin tehlike boyutunu hesaplayarak son durumu itfaiyeci üzerindeki ekrana yansıtmakta ve LED lambalar yanmaktadır. Ayrıca kablosuz bağlantı ile itfaiyecinin durumu ana bilgisayara yollanarak denetim sağlanmaktadır.



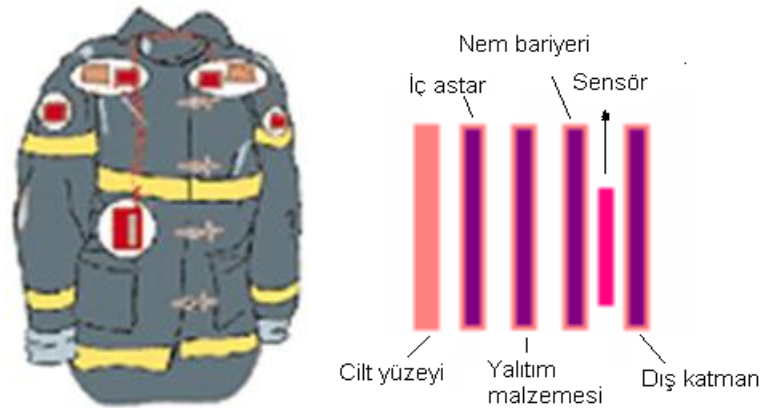
Şekil 2.41 Ana ünite ve bağlantı sistemi

Viking firması da tasarladığı akıllı giysi ile meydana gelebilecek yanık risklerini azaltmayı amaçlamıştır. Termal sensörler; ceketin vücuda yakın olan iç kısmının sıcaklığını ölçmek için ceketin iç tabakasına, dış sıcaklığını ölçmek için ceketin dış kısmına entegre edilmiştir. Şekil 2.42’de gösterilen sensörler; biri kol diğeri sol omuz arkası olmak üzere 2 LED ekrana bağlanmıştır. Ceketin dışındaki sıcaklık; 250°C’ ye ulaştığında, dış LED halkası yavaş yanmaya başlamakta; 350°C’ de hızlı hızlı yanıp sönmektedir. Giysi içindeki sıcaklık 50°C ’ye ulaştığında yavaş, 69°C ’ye ulaştığında da yine hızlı hızlı yanıp sönmektedir (www.viking-fire.com/pdf_download/VIKING_NFPA.pdf).



Şekil 2.42 İtfaiyeci için akıllı bir giysi tasarımı

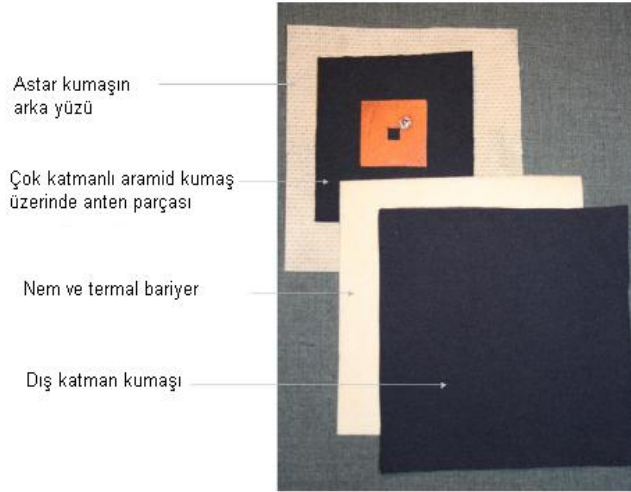
Tasarlanan diğer bir akıllı ceket yapısında ise; 6 adet silikon kaplama ısı sensörü ceketin göğüs, sırt ve kol kısımlarına yerleştirilmiştir. Sensörlerin kumaş tabakalarına yerleştirildiği konum Şekil 2.43'te görülmektedir. Mikroişlemci, ceket iç sıcaklığı 100 °F 'a ulaşana kadar her on saniyede bir, ulaştıktan sonra saniyede bir değerlendirme yapmakta ve görüntülemektedir. Ayrıca ceket iç sıcaklığı 150 °F sıcaklığa yaklaştığında, alarm sistemi devreye girmektedir (Gahide, 1999).



Şekil 2.43 Akıllı ceket yapısı

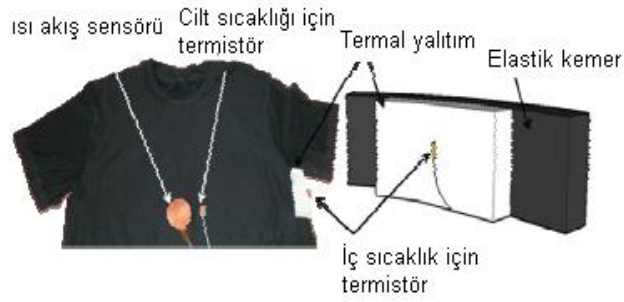
Hertleer, Langenhove, Rogier ve Vallozzi (2007) yaptıkları çalışmada; itfaiyeci vücudundan algılanan hayati sinyalleri bir baz istasyonuna iletmesi amacıyla tekstil malzeme esaslı bir anten geliştirmişlerdir. Şekil 2.44'te görüldüğü gibi, Aramid

kumaş üzerine entegre edilen anten parçası; iç astar ve termal astar kumaşlarının arasına yerleştirilmiştir. Oluşturulan bu antenin itfaiyeci ceketinde en az kırışacak olan omuz veya üst kol kısmına yerleştirilmesi uygun bulunmuştur. Ceketin kıvrıldığı ve kırıştığı durumda bile bu anten; itfaiyeci ve baz istasyonu arasındaki bağlantıyı sağlayabilmektedir.



Şekil 2.44 İtfaiyeci giysisinin kumaş katmanları arasındaki anten yerleşimi

Oliveira, Gehin, Delhomme, Dittmar ve McAdams (2009); yaptıkları çalışmada itfaiyeci sağlığını yangın söndürme çalışmasında güvence altına almak için, itfaiyeciye ve çevresine ait termal parametreleri ölçmeyi amaçlamışlardır. Bunun için ısı akış sensörleri ve sıcaklık sensörleri giysiye entegre edilmiştir. Şekil 2.45'te görüldüğü gibi itfaiyeci ceketinin içine giyilen bir tişörtün iç yüzeyine ciltle temas edecek bir ısı akış sensörü ve bir termistör yerleştirilmiştir. Tişörtteki sensörlerin üzerlerine de bir elastik kemer bağlanarak ciltle temasları etkinleştirilmiştir. İtfaiyeci ceketinin iç kısmına göğüs hizasındaki cep içine bir ısı akış sensörü entegre edilmiş; dışarıdan gelen ısı akış miktarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Ayrıca dış sıcaklığı ölçmek amacıyla, itfaiyeci ceketinin dış katmanının altına bir termistör yerleştirilmiştir. İç sıcaklığı ölçmek ve görüntülemek için de yalıtılmış bir termistör vücut eksenine yerleştirilmiştir. Ayrıca, bir yangın ortamı yaratılarak; itfaiyeciler üzerindeki bu prototipten alınan termal parametreler test edilmiştir.



Şekil 2.45 Tişört üzerindeki sensör yerleşimi

Caldani, Pacelli, Gamboni, Luprano ve Paradiso (2008), araştırmalarında bir Avrupa projesi ürünü olan Proetex hakkında bilgi vermişlerdir. Proetex, emniyet çalışanlarının vücudunun hayati sinyallerini algılamak amacıyla geliştirilmiş iki katmanlı bir giysi yapısıdır. İç giyside kalp hızı solunum, vücut sıcaklığı, oksimetre, dehidratasyon ölçümleri ve dış giyside GPS konumlanma, ortam sıcaklığı, hareket ölçümleri ve de itfaiyeci giysileri için ısı akışı ölçümü yapılmaktadır. Ölçümleri sağlayan tüm bu sensörler bir tekstil yüzeyine entegre edilerek giysilere uygulanmıştır. Şekil 2.46'da Proetex prototipi görülmektedir.



Şekil 2.46 Proetex prototipi

Song (2007), çalışmasında giysi termal performansını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir mankenin vücut yüzeyi ile giydirilen tek katmanlı kumaş yapısına sahip koruyucu giysiler arasındaki hava boşluğu tabakasının dağılımını ölçmek için

üç boyutlu bir vücut tarama sistemi kullanmıştır. Kumaş malzemesinin ve giysinin bedeninin; giysi-cilt arasındaki hava boşluğu tabakasına etkisini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda cilt yanıklarının giysi-cilt arasındaki en küçük hava boşluğu alanlarında meydana geldiği görülmüştür. Havanın en iyi termal yalıtım malzemesi olduğu esas alınarak, uygulanan sayısal modelleme ile bu hava boşluğunun optimum kalınlığının 7-8 mm. olduğu öngörülmüştür. Ayrıca çeşitli bedenlerdeki Kevlar/PBI ve Nomex IIIA esaslı koruyucu giysilerin analizinde, test mankeninin omuz, diz ve sırt bölgelerinde giysinin bedene daha yakın olduğu ve en fazla hava boşluğunun ise bacak bölgesinde olduğu görülmüştür. Aynı bedenlerdeki PBI/Kevlar esaslı giysinin, Nomex IIIA esaslı giysi yapısına göre cilt yüzeyiyle arasındaki ortalama hava boşluğunun daha fazla olduğu belirlenmiştir; bunun sebebi ise PBI/Kevlar kumaşının sertliğidir.

Son yıllarda yapılan diğer bir çalışmada, altı farklı itfaiyeci ceketinin performansı termal manken üzerinde test edilmiştir. İtfaiyecilerin tehlikeli durumlarının yerini tutan 5-10 kW/m² sabit bir ısı akışı sağlamak için ceketler, radyan ısı akışına maruz bırakılmıştır. Gövdenin üst kısımlarında yüksek yanık yaraları görülmüştür; bunun sebebi cilt ve giysi arasında biriken hava tabakasının yetersizliğidir. Özellikle deri ceket daha ağır olduğu için; hava izolasyonu çok az çıkmıştır. Ayrıca nem buharını ölçen testler esnasında, tüm ceketler ağırlıklarının bir kısmını kaybetmiştir. En çok ağırlık kaybeden; deri ceket olmuştur (Rossi ve Bolli, 2000).

Li, Barker ve Deaton (2007), yaptıkları çalışmada bir terleyen manken test sistemi ile itfaiyeci giysilerinin malzeme bileşenlerinin ve tasarım özelliklerinin giysi-çevre ısı transferi üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Buna göre; giysi ağırlığı ve kalınlığı, yangın söndürme koşullarında itfaiyecinin metabolik ısı üretimini arttırmaktadır; vücut ve çevre arasındaki ısı değişimini kısıtlamaktadır. Ayrıca; boyun, el ve ayak bilekleri bölgelerinin giysi ile tamamen kapalı yani korumalı olduğu durumlarda, dış ortama karşı termal yalıtım önemli derecede artmış; nem geçirgenlik özelliği çoğu giyside azalmıştır. Bu nedenle; bu bölgelerin tamamen kapalı olduğu giysilerde malzeme boyunca vücuttan dışarıya nem geçişi gereklidir, çünkü vücuttaki fazla ısının ter ve nem olarak atılabilmesi gerekir.

2.14 Çalışmanın Amacı

Koruyucu giysiler, estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade fonksiyonel veya performans özellikleri için kullanılan tekstil esaslı ürünlerdir. Koruyucu giysilerin koruma fonksiyonlarına göre sınıflandırma alanı çok geniştir. Kimyasal koruma, mekanik etkilerden koruma, radyasyon koruması, biyolojik koruma, elektrikten koruma, termal koruma, alevden koruma gibi birçok alt sınıfa ayrılmaktadır.

Termal ortama en çok maruz kalan meslek grubu itfaiye görevlileridir. Bu nedenle itfaiyecilerin çok iyi ısı ve alev koruması sağlayan, kesilmeye ve aşınmaya dayanıklı termal koruyucu giysiler kullanmaları gerekmektedir.

İnsan vücudu besin (yakıt) ve oksijen kullanarak mekanik iş ve düşük sıcaklıkta ısı oluşturan termodinamik bir sistemdir. İç sıcaklığını ortalama $37\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, deri yüzey sıcaklığını ise $31,5 - 33,5^{\circ}\text{C}$ 'de tutmak zorundadır. Bu amaçla vücutta metabolik aktivitelerle üretilen enerji ile vücuttan ısı kayıplarının birbirini dengelemesi gerekmektedir. Fiziksel aktivite esnasında vücut tarafından üretilen fazla vücut ısısı, terin buharlaşmasıyla kaybedilmektedir.

Son yıllarda üretilen itfaiyeci giysileri ısı ve alev karşı etkin koruma sağlayan, dışarıdan su geçirmez ve teri dışarıya atmaya yardımcı özelliktedirler. Ancak, itfaiyeciler uzun süre veya tekrarlı bir şekilde yüksek ısıya maruz kaldıklarında, giysileri yanmasa bile vücutlarında yanık yaraları oluşabilmektedir. Ortam sıcaklığının belli bir noktaya yükseldiği durumda ısı dengeyi sağlayabilmek için itfaiyecinin terlemesi hızlanmaktadır. Buhar ile olan ısı kaybı yani terleme genellikle itfaiyeciyi soğuk tutmaya yardımcı olmaktadır. Ancak, itfaiyeci çok yüksek sıcaklıkta terleme anında kendini iyi hissettiğinden, yangın ortamından gereken zamanda uzaklaşması gerektiğini fark etmeyebilmektedir. Islak giysi, kuru giysiden daha büyük ısı transfer oranı gösterdiği için de dışarıya atılamayan fazla ter buharı yanıklara sebep olmaktadır. Ayrıca yangın söndürmede kullanılan hortum suyu ısı ile buhara dönüşmekte ve koruyucu giysinin geçirgen kısımlarından geçerek cildi yakabilmektedir.

Elektronik tekstillerin gelişmesiyle birlikte ECG, vücut sıcaklığı, solunum hızı gibi hayati vücut sinyallerinin günümüzde bir tekstil ürününe entegre olmuş algılayıcılar sayesinde kontrol edilmesi ve görüntülenmesi sağlanmaktadır. Bu sayede kişinin sağlığının korunması, acil durumlarda müdahale edilebilmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, itfaiyecinin yanık yaraları almadan çevre sıcaklığında ve cilt sıcaklığında meydana gelebilecek kritik değişimleri öngören, dumanlı bir ortamda görünürlüğünü arttıran akıllı bir itfaiyeci ceketini tasarlanmıştır. Bu amaçla sensörler ve bağlantı elemanları kullanılarak bir elektronik devre altyapısı oluşturulmuş ve itfaiyeci ceketine entegre edilmiştir.

Geliştirilen akıllı ceketin itfaiyecinin yangın ortamında sağlık durumunu kontrol etmesi ve koruması hedeflenmiştir. Araştırma kapsamında ceketin belirli noktalarına sıcaklık sensörleri, dokunma algı düğmeleri, LED şeritler ve bir ışık sensörü yerleştirilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

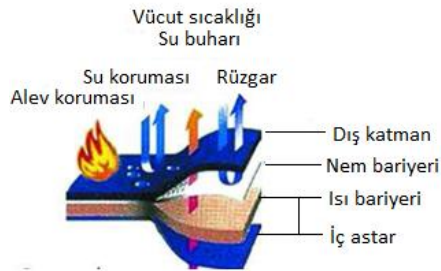
3.1.1 İtfaiyeci Ceketi

Çalışmada kullanılan itfaiyeci ceketi, Türkiye'deki birçok itfaiye müdürlüğüne ihale yoluyla yangın elbisesi üretimi ve satışı yapan Kıvanç Kimya San. Ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Şekil 3. 1'de Türkiye'de kullanılmakta olan itfaiyeci ceketi görülmektedir.



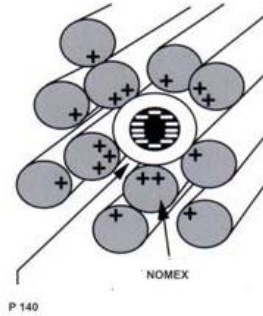
Şekil 3.1 Prototipte kullanılan itfaiyeci giysisi

Ceket, firmanın Protek Firestar adı altında ürettiği ve İstanbul İtfaiyesinde kullanılmakta olan itfaiyeci ceket-pantolon takımının bir parçasıdır. Bu ceket (Firestar) Şekil 3.2'de görüldüğü gibi üç katmandan oluşmaktadır.



Şekil 3.2 İtfaiyeci giysisindeki çok katman yapısı

Firestar itfaiyeci ceketi yapısının dış katmanı su ve yağ iticilik kazandırılmış, antistatik Nomex Outershell Tough (Nomex Delta T: %77 Nomex + %23 Kevlar) esaslı ripstop yapısındaki dokuma kumaştan üretilmiştir. Bu kumaş yapısının en önemli özelliği kesilmelere karşı dayanıklı olmasıdır. Orta kumaş katmanı olan nem bariyeri; poliüretan membrana lamine edilmiş alev almaz dokusuz yüzey kumaştan oluşmuştur. Isı bariyeri iki katlı alev almaz dokusuz yüzey kumaş ve buna kapitone edilmiş Nomex Comfort iç astardan meydana gelmektedir. Nomex Comfort çok iyi antistatik özelliğe sahiptir. Bunun nedeni Comfort iplik yapısında Nomex liflerinin orta kısmında P140 Karbon lifinin bulunmasıdır. P140 Karbon lifi statik elektriklenmeyi engellemektedir. Şekil 3.3' te Nomex Comfort ipliğın yapısı görölmektedir.



Şekil 3.3 Nomex Comfort
ipliğın yapısı

Cekette kullanılan dikiş iplikleri %100 Nomex'tir..

İtfaiyeci ceketi S (Small) bedendir, ceketin ön kısmında ısıya dayanıklı metal fermuar ve fermuarı örten, ısıya dayanıklı pat bulunmaktadır. Fermuarın üstü geniş bir cırt bantla kapatılmaktadır. Ceket yakası yukarıya kaldırıldığında boynu etkili bir şekilde korumaktadır. Ceketin ön alt kısmında iki büyük cep, sağ üst kısımda telsiz cebi ve itfaiyecinin isim etiketinin yerleştirildiği ek bir kumaş bulunmaktadır. Ayrıca sıvıların ve yakıcı parçaların kol uçlarından içeriye girmesini engelleyen ve başparmağa geçebilen bir bileklik tasarlanmıştır.

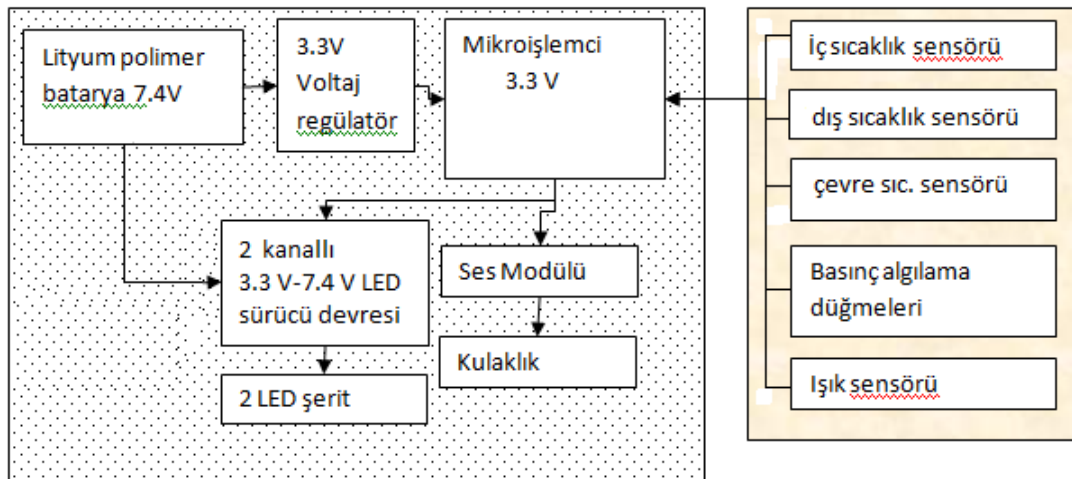
3.1.2 İtfaiyeci Ceketi Prototipi Elektronik Donanımı

Yangın söndürme operasyonlarında çok yüksek sıcaklıktaki ortamlarda buldukları için itfaiyecilerin sağlığı risk altındadır. İtfaiyeci sağlığını korumak ve termal riskleri minimuma indirebilmek amacıyla, bu çalışmada akıllı bir itfaiyeci ceketi prototipi geliştirilmiştir.

Prototipteki elektronik bağlantılar Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün yardımlarıyla gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen cekette kullanılan iç sıcaklık sensörü, çevre sıcaklık sensörü, dış sıcaklık sensörü, kuvvet algılama düğmeleri ve ışık sensöründen alınan verilerin mikroişlemcide işlenerek; sistemin algılanan kritik değerlerde LED aydınlatması ile görsel olarak ve ses modülü ile işitsel olarak uyarı vermesi amaçlanmıştır.

Elektronik donanımın blok şematığı Şekil 3.4 'te görülmektedir.

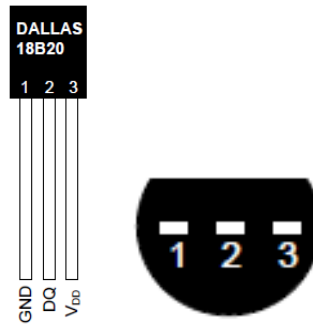


Şekil 3.4 Elektronik donanımın blok şeması

3.1.3 Kullanılan Devre Bileşenleri

3.1.3.1. Cilt Sıcaklık Sensörü

Bu çalışmada cilt sıcaklık sensörü olarak Dallas/Maxim firması tarafından geliştirilmiş yüksek doğrusalığa sahip, sayısal çıkış üreten bir sıcaklık algılayıcısı olan DS18B20 kullanılmıştır. Şekil 3.5'te DS18B20'nin önden ve alttan görünüşleri verilmektedir.



Şekil 3.5 DS18B20'nin önden ve alttan görünüşleri

DS18B20 sıcaklık sensörü “one wire” yani tek telli bir mikroişlemci arabirimine sahiptir. Sayısal çıkış verebildiği için analog/sayısal dönüştürücü kullanımına gerek kalmamaktadır. DS18B20, -55 ile +125 °C arasındaki sıcaklık değerlerini ölçebilmektedir.

3.1.3.2 Dış Sıcaklık Sensörü

Dış sıcaklık sensörü olarak kızılötesi sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Sensör, hedeften yayılan kızılötesi ışınımı temassız bir şekilde tespit etmekte ve bu enerjiyi yükselticiler sayesinde yükselterek voltaja çevirmektedir. Bu voltaj değeri dijital sayıya dönüştürülüp mikroişlemci ile sayısal olarak tespit edilerek çıkış sinyali verilmektedir.

Çalışmada kullanılan kızılötesi sıcaklık sensörü, Melexis firması tarafından geliştirilen MLX90614'tür; Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Kızılötesi sıcaklık sensörü

MLX90614 küçük boyutta, uygun fiyatlı ve kolay entegre olabilir özelliğindedir. Ayrıca güç tasarruf moduna sahiptir.

3.1.3.3 Çevre Sıcaklığı Sensörü

Çevre sıcaklığı sensörü olarak rezistif sıcaklık algılayıcısı (RTD-Resistive Temperature Detector) kullanılmıştır.

RTD'ler; saf metallerin elektrik dirençlerinin sıcaklık ile doğrusal değişim prensibine göre çalışan dönüştürücülerdir. Genellikle Nikel (Ni) ve bakır (Cu) içermektedirler, fakat geniş çalışma sıcaklık aralığı olmasından, doğruluğundan dolayı platinyum (Pt) RTD'ler daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca 0.0025°C çözünürlüğe sahiptirler.

RTD'ler 0°C 'deki direnç değerleri ve kullanılan elemente göre adlandırılmaktadır (PT100, PT1000...). Bu çalışmada PT1000 sıcaklık algılayıcısı kullanılmıştır.

PT1000 -50°C ve $+550^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. 2×10 mm boyutunda, ince film şeklindedir ve $\pm 0.05\%$ doğruluğa sahiptir.

Şekil 3.7'de PT1000'ler görülmektedir.



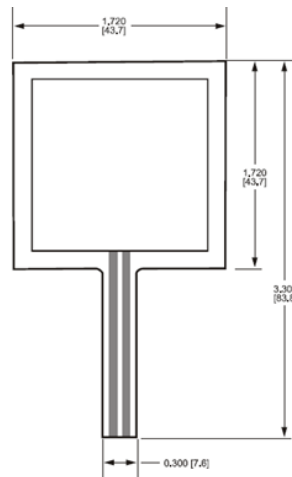
Şekil 3.7 PT1000

3.1.3.4 Kuvvet Algılama Düğmesi (Force Sensing Resistor)

Kuvvet algılama rezistörleri (FSR); yüzeye uygulanan kuvvetin artışıyla dirençte azalma meydana getiren bir polimer film tabakasıdır.

Bu çalışmada Interlink Electronics firması tarafından geliştirilmiş olan Part No. 406 (1.5" Square) kuvvet algılama düğmesi kullanılmıştır. 38,1mm x 38,1mm alana sahiptir ve 0,46 mm kalınlığındadır. Gürültü ve titreşimden etkilenmemektedir. Ağırlık hassaslığı 100 g ile 10 kg arasında, basınç hassaslığı ise 0,1 kg/cm² ile 10 kg/cm² arasındadır.

Kullanılan kuvvet algılama düğmesi Şekil 3.8'de görülmektedir.

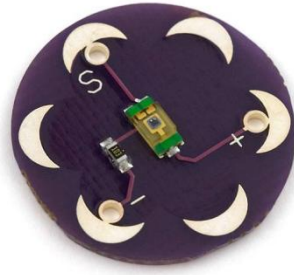


Şekil 3.8 Kuvvet algılama düğmesi

3.1.3.5 Işıık Sensörü

Bu çalışmada ışıık sensörü olarak DEV-08464 kullanılmıştır. Sensör algılanan ışıık miktarına bağlı olarak 0-5V aralığında analog çıkış vermektedir. Gün ışığına maruz kaldığında sensör 5V, sensörün yüzeyi tam karanlık ortamda 0V ıkış vermektedir. Kapalı alan aydınlatmasında sensör 1-2V arasında değer vermektedir.

Sensörün apı 20 mm, inceliği 0,8 mm'dir. Şekil 3.9'da kullanılan ışıık sensörü görülmektedir.



Şekil 3.9 Işıık sensörü

3.1.3.6 Silikonlu LED Şeritler

Çalışmada su geçirmez özellikte olan kırmızı LED Şeritler kullanılmıştır. Bu LED Şeritler çok esnek ve bükülebilir zelliktendir. İstenen boyutta kesilerek kolayca bağlantı yapılabilir. Kırmızı, Beyaz, Mavi, Sarı, Gün ışığı, Yeşil veya üç renk seçenekleri mevcuttur. Şekil 3.10'da silikon kaplı LED Şeritler görülmektedir.



Şekil 3.10 Silikonlu esnek LED Şeritler

3.1.3.7 Ses Modülü

Ses modülü, önceden bilgisayarda kaydedilmiş uyarı mesajlarının yüklendiği ve sadece dosya numarası ile çağrılarak çalınması sağlanan bir modüldür.

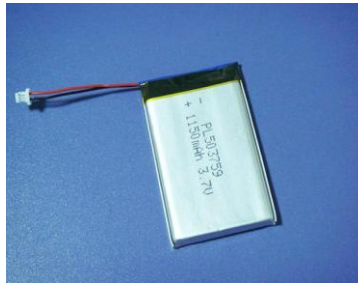
Bu çalışmada 4D Systems firması tarafından geliştirilen SOMO-14D Embedded Audio-Sound Module kullanılmıştır. Şekil 3.11’de ses modülü görülmektedir.



Şekil 3.11 SOMO-14D Ses modülü

3.1.3.8 Güç Kaynağı

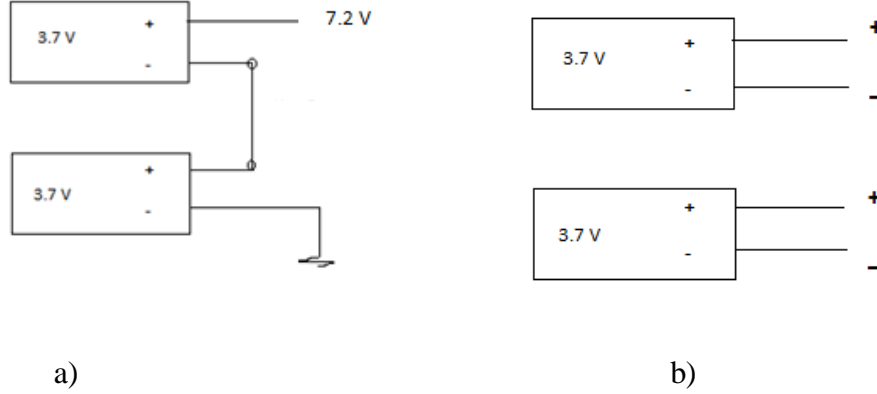
Devre tasarımında yeterli enerji miktarını sağlayacak sayıda ve uygun nitelikte şarj edilebilir pil kullanılmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, giysiye entegre edilecek bir devreye bağlanacağı için pilin küçük ve hafif olması gerekmektedir. Bu nedenle güçlü ve hafif özellikteki iki adet 3,7 Volt tek hücre Polimer Lityum İyon pil kullanılmıştır. Şekilde 3.12 ‘de örnek bir Polimer Lityum İyon pil görülmektedir.



Şekil 3.12 Polimer lityum iyon pil

Kullanılan 3.7 Volt değerindeki piller devreye bağlı iken birer uçları (birinin + ucu diğerinin - ucu) birbirine bağlanarak seri konumda 7.4 V elde etmeyi sağlamaktadır. İtfaiyecinin bir iş günü boyunca pillerin yeterli gelebilmesi için şarj etmek gereklidir. 3.7 V pil hücreleri seyyar bir şarj ünitesinden ayrı ayrı şarj

edilebilmektedir. Şekil 3.13'te devreye bağlı çalışır durumdaki ve şarja hazır durumdaki piller görülmektedir.



Şekil 3.13 a) Seri bağlı 7.4 V elde etmek için bağlantı şeması
b)Pillerin ayrı ayrı şarjı için bağlantı şeması

Pillerin şarj olması gerektiği durumda, ana ünite ve kablolar konektör ile birbirinden ayrılabilir. Böylece piller de elbiseden ayrılmıştır ve şarj aletine bağlanabilir.

3.1.3.9 Yazılım

Prototip itfaiyeci ceketindeki sensörlerin çalışması amacıyla bir deneme yazılımı gerçekleştirilmiştir. Buna göre, ilk olarak kullanılan programın kurulum (setup) kısmında iç sıcaklık sensörü ve dış sıcaklık sensörü hazırlanmaktadır. Daha sonra analog kanallar çalışma durumuna getirilmektedir. Dokunma algı düğmelerine bakılmaktadır ve konumları okunmaktadır. Bir sonraki adımda sırasıyla dış sıcaklık sensörü ve ışık sensöründen alınan analog sinyaller sayısal veriye dönüştürülmektedir. İç sıcaklık sensörü ve kızılötesi sıcaklık sensörü okunduktan sonra elde edilen sayısal veriler seri kanaldan bilgisayara iletilmektedir.

Sonraki aşamada sensörler ile ölçüm sırasında belirlenmiş referans değerleri ile karşılaştırma yapılmaktadır.

3.2 Yöntem

Akıllı itfaiyeci ceketine elektronik bileşenlerin bağlanması aşamasında; el dikişi, makine dikişi, lehimleme, jack bağlantısı, el matkabıyla delme gibi yöntemler kullanılmıştır.

Tüm sensörlerin kablo bağlantıları lehimleme işlemiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14'te bir lehim makinesi (havya seti) görülmektedir.



Şekil 3.14 Lehim makinesi

LED şeritlerin ceket üzerinde sabitliğini sağlamak amacıyla her iki kol çevresine dörder adet küçük birit hazırlanarak el dikişi ile dikilmiştir.

Brother DB2-B736 düz dikiş makinesinde hazırlanan küçük dış katman kumaşlar; sıcaklığa dayanıklılıklarını arttırmak için kuvvet algılama düğmelerinin bulunduğu noktalara el dikişiyle sabitlenmiştir.

Çevre sıcaklığı sensörü, ceketin ön yüzeyine el dikişi ile monte edilmiştir.

Işık sensörü için en uygun yerleşim noktası olarak, ışığı en iyi algılayabileceği omuza yakın ceket yüzeyi seçilmiştir. Kablo bağlantısı yapıldıktan sonra sensör yüzeyinde el matkabıyla delikler açılmış; bu deliklerden ceket yüzeyine dikilmiştir.

Kulaklık kablosunun elektronik devre kablolarına takılabilmesi için bir jack kullanılmıştır. Şekil 3.15'te bir jack görülmektedir.



Şekil 3.15 Jack

Akıllı ceket yapısına yapılan ek dikişlerde 70 numara, %100 Nomex dikiş ipliği kullanılmıştır.

BÖLÜM DÖRT

ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Bu bölümde çalışmada geliştirilen akıllı itfaiyeci ceketinin tasarımı, sensör ve diğer elektronik bileşenlerin ceket yapısına entegrasyonu ve çalışma sistemi anlatılmıştır.

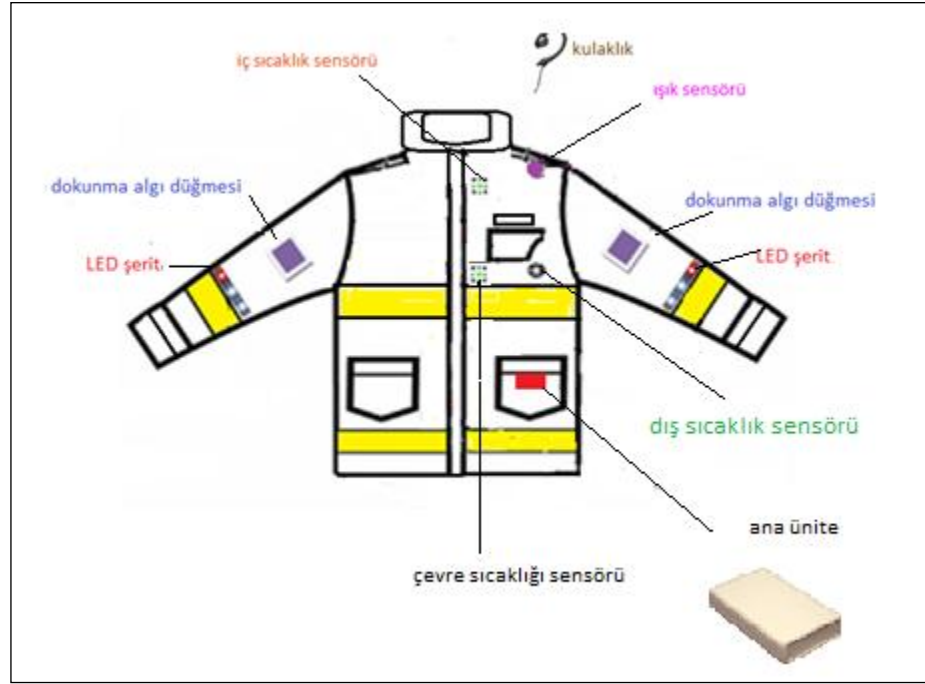
4.1 Akıllı İtfaiyeci Ceket Tasarımı

Bu çalışmada tasarlanıp prototipi üretilen itfaiyeci ceketinde amaç; sıcaklık sensörleriyle itfaiyecinin cilt sıcaklığı ve çevre sıcaklığının kontrolünün sağlanması, ışık sensörüyle dumandan vs. kaynaklanan ışiksiz veya az ışıklı ortamda kişinin görünürlüğünün artırılmasıdır. Ayrıca giysiye eklenen bir kulaklık yardımıyla itfaiyecinin cilt ve çevre sıcaklığı hakkında işitsel olarak bilgilendirilmesi de mümkün olmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kullanılacak elektronik bileşenlerin ve bağlantı elemanlarının mümkün olduğunca küçük boyutta seçilmesine önem verilmiştir. İtfaiyeci ceketinin eklenen elektronik parçalarla daha da ağır olması istenmemektedir. Ayrıca ergonomik açıdan küçük boyutlu devre elemanları hareket kabiliyeti konusunda problem yaratmamaktadır.

Akıllı itfaiyeci giysisinin tasarımında kullanılmış olan elektronik parçalar şunlardır:

- 1 adet iç sıcaklık sensörü
- 1 adet dış sıcaklık (kızılötesi) sensörü
- 1 adet çevre sıcaklığı sensörü
- 1 adet ışık sensörü
- 2 adet dokunma algılama düğmesi
- Aktif elemanlar: 2 parça LED şerit (kırmızı renkte) ve 1 adet kulaklık
- 1 ana ünite kutusu (güç kaynağı ve mikroişlemci)
- Şerit kablo
- Konektör

Şekil 4.1 'de mevcut itfaiyeci giysisi üzerine monte edilen elektronik bileşenler görülmektedir.



Şekil 4.1 İtfaiyeci ceketi tasarımı

Ana ünite ceketin sağ tarafındaki alt cep içerisine yerleştirildiği için; sensörlerin ve bağlantılarının çoğu, çalışma kolaylığı bakımından ceketin sağ bölümünde gerçekleştirilmiştir. Sağ alt cep içerisinden bir yarık açılmıştır ve ana üniteden çıkan şerit kablolar bu yarık içerisinden dış katman kumaşı altına geçirilmiştir. Tüm kablolar planlanmış olan yollardan sensör noktalarına dağıtılmıştır.

4.2 Sensörlerin Yerleşimi

İç sıcaklık sensörü, cilt sıcaklığı ölçümünde kullanılacağı için yerleşimi ciltle temas edecek şekilde tasarlanmıştır. Bir kablo ucuna bağlanan iç sıcaklık sensörü, ceketin yaka kısmına yakın bir noktadan kablo ile itfaiyecinin iç çamaşırı ile cildi arasına sarkıtılarak cilt sıcaklığını ölçmektedir.

Ayrıca çalışmada, itfaiyecinin bulunduğu ortamın sıcaklığının ölçümü de hedeflenmiştir. Çevre sıcaklığı sensörünün yerleşimi için, ceketin ön yüzeyi tüm elektronik ekipmanların ön yüzeyde bulunması bakımından uygun görülmüştür.

Yangın söndürme çalışması esnasında, itfaiyecinin yangın ortamına ne kadar mesafede yaklaşması gerektiğini öğrenebilmesi amacıyla, bir dış sıcaklık sensörü (kızılötesi sıcaklık sensörü) kullanılmıştır. Bu sensör, kişinin yaklaşmak istediği noktaya doğru tutularak o noktanın sıcaklığını ölçmeye yaramaktadır. Sensör maksimum 5 metre uzaklıkta olan bir cismin veya bir noktanın sıcaklığını ölçebilmektedir. İtfaiyecinin karşısındaki yangın noktasının sıcaklığını ölçebilmesi için, dış sıcaklık sensörü, bir kalem ucuna bağlanmıştır. Sensör kullanılmadığı zaman sağ üst cebe takılabilmektedir. Ölçüm yapılacağı zaman ise ucunda sensör bulunan kalem, cepten çıkartılarak karşıda herhangi bir noktaya doğrultularak o noktanın sıcaklığını ölçebilmektedir. Bu nedenle bu sensörün bağlandığı kalemin sağ üstteki telsiz cebine takılması düşünülmüştür.

Ortamın ışık yoğunluğunu algılamak amacıyla cekete bir ışık sensörü entegre edilmiştir. Işık sensörü, itfaiyecinin bulunduğu ortamın özellikle dumanlı veya karanlık olduğu durumlarda ışık yoğunluğunu algılayarak, geliştirilen programla LED lambaların yeterli şiddette yanmasını sağlamaktadır. Ortam ışık yoğunluğunun en doğru şekilde ceketin omuz kısmında algılanabileceği düşünülmüş ve omuz üzerine dış katman kumaşı yüzeyine yerleştirilmiştir.

Ceket üzerindeki sıcaklık sensörlerinden algılanan kritik sıcaklıkların, uyarı sesi olarak itfaiyeciye iletilmesi sağlanmıştır. Uyarı ses seviyesini ayarlamak için de ceket kollarına kuvvet algılama düğmeleri yerleştirilmiştir. İtfaiyeci bu düğmelere dokunarak ses seviyesini ayarlayabilecektir.

4.3 Aktif Elemanların Yerleşimi

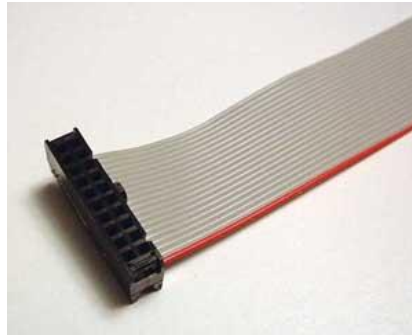
Şerit formundaki LED lambalar ince biritlerle itfaiyeci ceketinin kol çevresine reflektif şeritlerin yanına yerleştirilerek bağlanmıştır. Sıcaklık sensörlerinden algılanan kritik değerlere göre ve ışık sensörü tarafından algılanan ışık yoğunluğuna göre LED lambaların farklı frekanslarda yanması sağlanmıştır. Böylece, dış ortama görsel uyarı iletimi gerçekleştirilmiştir.

Cilt sıcaklığı ve çevre sıcaklığı kritik sıcaklıklara yaklaştığında bir kulaklık ile itfaiyeciye işitsel uyarı verilmesi de mümkündür. Kulaklık kablosunun dış katman yüzeyine çıktığı nokta, tıpkı dış sıcaklık sensöründe olduğu gibi telsiz cebinin içindedir. Kulaklık kullanım dışı olduğunda cep içerisine yerleştirilebilmektedir.

Kulaklıktan itfaiyeciye iletilen uyarı ses seviyesini ayarlamak için, ceketin kol kısmına dokunma algı düğmeleri yerleştirilmiştir. Bunların ısıya dayanıklılıklarını sağlayabilmek amacıyla ceket dış katman kumaşı olan Nomex Comfort'tan bu düğmeleri örtecek şekilde birer birer dikilmiştir.

4.4 Elektronik Devre Bağlantısı

Sensörlerin ve diğer elektronik parçaların ceket üzerine yerleştirileceği noktalar belirlendikten sonra, sensör ve parçaların bağlantı uç sayıları hesap edilmiştir. Toplam sensör uç sayısını karşılayacak adette kablo içeren 'Ribbon Cable' , yani şerit kablo kullanılmıştır. Şekil 4.2'de örnek bir şerit kablo görülmektedir.



Şekil 4.2 Dişi konektörlü bir şerit kablo

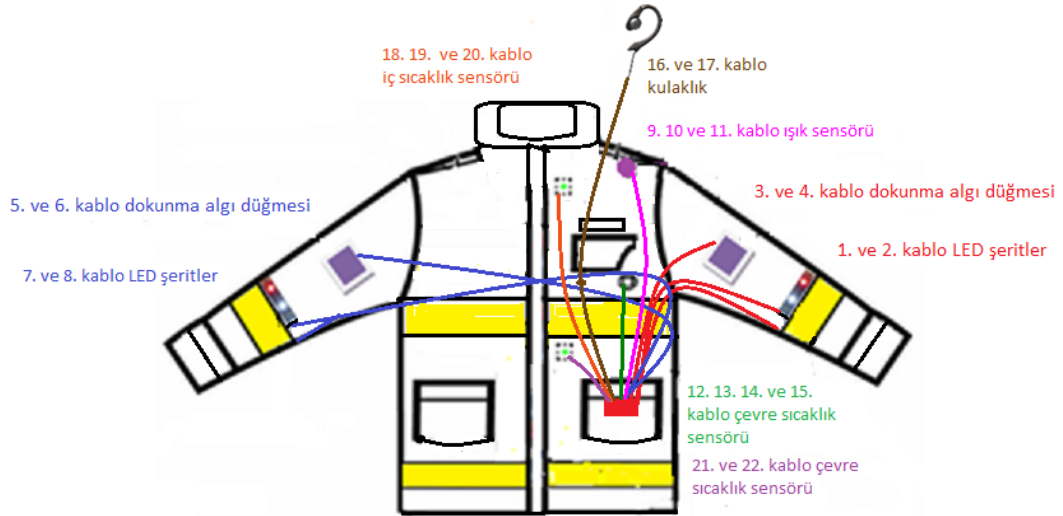
Şerit kablonun bir ucuna ana üniteye bağlantı yapacak olan dişi konektör takılmıştır. Şerit kablonun en sağındaki kablo, referans olarak yani birinci kablo olarak ele alınmıştır ve her bir elektronik parçaya gidecek kablo adedi ve sırası belirlenmiştir.

Her bir elektronik bileşenin bağlantı uç sayıları ve şerit kablodan ayrılarak gidecekleri parçalara dağıtılmalarının kolay olması için verilen numara sıraları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Elektronik parçalar ve uç sayıları

	Elektronik parçalar	Kablo uçları	Uç sayısı
1	LED şerit (sol)	1, 2	2
2	Dokunma algı düğmesi (sol)	3, 4	2
3	Dokunma algı düğmesi (sağ)	5, 6	2
4	LED şerit (sağ)	7, 8	2
5	Işık sensörü	9, 10, 11	3
6	Dış sıcaklık sensörü	12, 13, 14, 15	4
7	Kulaklık	16, 17	2
8	İç sıcaklık sensörü	18, 19, 20	3
9	Çevre sıcaklık sensörü	21, 22,	2

Ceket içerisinde sensör yerleşim noktalarına kablo iletim yolları Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3 Sensör yerleşim noktalarına kablo iletim yolları

4.5 Ceket-Elektronik Bileşen Entegrasyonu

Elektronik bileşenler cekete entegre edilmeden önce mikroişlemci ve pillerin yerleştirileceği bir ana ünite kutusu belirlenmiştir. Şekil 4.4’te açık durumdaki bir ana ünite kutusu görülmektedir.



Şekil 4.4. Açık durumdaki bir ana ünite kutusu

Elektronik parçaların ceket üzerinde yerleşim yeri, her bir sensöre gidecek kablo sayısı ve sırası öngörüldükten sonra; dış katman kumaşında sensörlerin bulunacağı noktalarda ufak delikler açılmıştır.

Cep içerisinden açılan bir kesikten şerit kabloların nem bariyeri ile dış katman kumaşı arasından geçmesi sağlanmıştır. Açılan bu kesikten şerit kabloların sıra numarasına göre ayrılarak dağılımı yapılmıştır. Şekil 4.5 ‘te şerit kablo dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.5 Şerit kabloların dağılımı

Şerit kabloda bulunan sağdan 1. ve 2. sıradaki kablolar LED şeritlere bağlanması amacıyla; itfaiyeci ceketinin dış katman kumaşında sağ kol üzerinde açılan iki adet delikten ceket yüzeyine çıkartılmıştır.

3. ve 4. kablolar sağ üst kol üzerine yerleştirilecek olan dokunma algı düğmelerinin bağlantı noktalarından açılan deliklerden ceket yüzeyine çıkartılmıştır. Şekil 4.6'da sağ kol üzerindeki dokunma algı düğmelerine kablo iletimi görülmektedir.



Şekil 4.6 Sağ dokunma algı düğmelerine kablo iletimi

5. ve 6. kablolar sol üst kol üzerine yerleştirilecek olan dokunma algı düğmelerinin bağlantı noktalarından açılan deliklerden ceket yüzeyine çıkartılmıştır. Şekil 4.7'de sol kol üzerindeki dokunma algı düğmelerine kablo iletimi görülmektedir.



Şekil 4.7 Sol dokunma algı düğmelerine kablo iletimi

7. ve 8. Kablolar LED şeritlere bağlanması amacıyla; itfaiyeci ceketinin sol kolu üzerinde dış katman kumaşında açılan iki adet delikten ceket yüzeyine çıkartılmıştır. Şekil 4.8’de sol LED şeritlere kablo iletimi görülmektedir.



Şekil 4.8 Sol LED şeritlere kablo iletimi

Işık sensörüne bağlanması amacıyla; sağ omuza yakın bir noktada dış katman kumaşında açılan bir delikten 9. 10. ve 11. sıradaki üç kablo birden ceket yüzeyine çıkartılmıştır.

Dış sıcaklık sensörünün entegre edileceği noktaya da 12. 13.14. ve 15. olmak üzere sıradaki dörtlü kablo birden yollanmıştır ve o noktada açılan delikten dört kablo birden ceket yüzeyine çıkartılmıştır.

Kulaklık bağlantısı için 16. ve 17. kablolar, ve çevre sıcaklığı sensörü için 21. ve 22. kablolar aynı işlemlerden geçirilmiştir.

Şekil 4.9’da ışık sensörü, çevre sıcaklık sensörü, dış sıcaklık sensörü ve kulaklık yerleşim noktalarına iletilen kablolar görülmektedir.



Şekil 4.9 ışık sensörü, çevre sıcaklık sensörü, dış sıcaklık sensörü ve kulaklık yerleşim noktalarına iletilen kablolar

İç sıcaklık sensörü bağlantısı için 18. 19. ve 20. kablolar ceketin yaka kısmına yakın açılan bir noktadan iç yüzeye çıkartılmıştır. Şekil 4.10'da iç sıcaklık sensörünün bağlandığı kablo çıkışı görülmektedir.



Şekil 4.10 İç sıcaklık sensörünün bağlandığı kablo

LED şeritlerin sabit durabilmesi ve dokunma algı düğmelerinin sıcaklıktan korunabilmesi için birer birer hazırlanarak ceket yüzeyine dikilmiştir.

Sensörlerin bağlanacak olduğu noktalarda ceket yüzeyine çıkarılan kablo uçları her bir sensörün ayaklarına lehim ile bağlanmıştır.

Işık sensörünün yüzeyine el matkabı ile delikler açılmış ve bu deliklerden cekete dikilmesi sağlanmıştır.

Çevre sıcaklığı sensörü el dikişi ile ceket dış katmanına sabitlenmiştir. Çevre sıcaklığı sensörünün kumaşa bağlantısı Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11 Çevre sıcaklığı sensörünün cekete dikilmesi

Kulaklık için devreden gelen iki adet kablo jack denilen bir sokete bağlanmıştır. Böylece itfaiyeci kullanım durumuna göre, kulaklığın kablosunu jack’a takıp çıkarabilecektir. Şekil 4.12’de kulaklık soketi (jack) görülmektedir.



Şekil 4.12 Kulaklık soketi (jack)

Dış sıcaklık sensörü bir kalem ucuna yerleştirilmiş ve ardından kablolarla lehimlenmiştir. Dış sıcaklık sensörü Şekil 4.13’te görülmektedir.



Şekil 4.13 Dış sıcaklık sensörünün kaleme bağlantısı

Tüm elektronik bileşenlerin yazılımı tamamlandıktan sonra, mikroişlemci ve pillerin bulunduğu bir ana ünite kutusu hazırlanmıştır. Bu ana ünitenin ucuna yerleştirilen bir konektör sayesinde ceket cebindeki şerit kablo ile bağlantı sağlanmıştır ve devre tamamlanmıştır.

4.6 Akıllı İtfaiyeci Ceketinin Test Edilmesi

Geliştirilen Akıllı İtfaiyeci Ceketi' nin çalışması kapsamında elektronik bileşenler tarafından algılanan parametrelerin kritik değerleri belirlenmiştir. Buna göre; iç sıcaklık sensörünün itfaiyecinin cilt sıcaklığı olarak ölçtüğü 44 ° C değeri, kritik değer olarak seçilmiştir. Çünkü 44 ° C' den sonra insan cildinde acı hissedilmeye başlamaktadır. Çevre sıcaklığı sensörü için de dış katman kumaşlarının ısıya dayanım gösterebildiği sıcaklık ortalaması olarak kritik değer 200 °C olarak belirlenmiştir.

Işık sensörü ortamdaki ışık yoğunluğu belli bir değer altına düştüğünde, LED lambalar LED 1 durumuna geçmektedir. Bu durumda LED'ler saniyede bir yanmaktadır. Işık yoğunluğu belirlenen değer üzerinde olduğunda ise LED 0 durumu devreye girmektedir ve LED'ler deaktive olmaktadır.

Çevre sıcaklığı sensörü 200°C'yi aşan bir değer algıladığında, LED 2 durumu devreye girmektedir. LED'ler saniyede beş kez yanıp sönerek uyarı vermektedir ve itfaiyecinin o ortamdaki uzaklaşması gerekmektedir.

İç sıcaklık sensörü 44°C'yi aşan bir değer algıladığında ise LED 3 durumu devreye girmektedir. Bu durumda da LED lambalar saniyede 10 kez yani daha sık yanıp sönmekte ve cildin acı hissetme durumuna geçtiğini bildirmektedir.

Her bir sensör saniyede bir kez veri okumaktadır. Ancak bu süre ayarlanarak değiştirilebilmektedir.

Sensörlerin algılamış olduğu kritik değerler; her bir LED uyarı süresiyle paralel bir şekilde, ses modülü sayesinde kulaklıktan itfaiyeciye ses olarak aktarılmaktadır.

Çevre sıcaklığı 200 ° C'yi geçtiğinde kulaklıktan 'ÇEVRE SICAKLIĞI KRİTİK'; cilt sıcaklığı 44 ° C'yi geçtiğinde 'İÇ SICAKLIK KRİTİK'; ortam karanlık olduğunda da 'IŞIK ŞİDDETİ DÜŞÜK' uyarıları kulaklıktan kişiye iletilmektedir.

İtfaiyeci yangın ortamında kulaklıktan gelen uyarıyı doğru duyabilmek için ceketin kollarında bulunan kuvvet algılama düğmelerine dokunarak ses seviyesini ayarlayabilmektedir.

Test esnasında LED lambaları aktive edilmiş durumdaki akıllı ceket yapısı Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Test edilen akıllı ceket

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

İtfaiyeci elbiseleri; ısıya, alev ve eriyen metallerin sıçramalarına karşı koruma amaçlı imal edilen termal koruyucu giysilerdir. Isıya, alev dayanıklı lif ve karışımlarından, çok katmanlı bir kumaş yapısı oluşturularak üretilmektedirler. Genellikle dış katman, nem bariyeri ve termal astar olmak üzere üç katmandan oluşmaktadırlar.

İtfaiyecilerin çalışma anındaki tehlike ve riskleri azaltabilmek için, giydikleri mesleki giysilerin çok iyi termal performans sağlamaları önemlidir. Bu giysilerin maksimum hareket kabiliyeti, optimum güvenlik, optimum koruma, temel fonksiyonları sürdürme, hafiflik ve fiyat uygunluğu gibi özellikleri sağlamaları gerekmektedir.

İtfaiyeci giysilerinde doğru malzeme seçimi ancak gerekli ve uygun özellikteki kumaşların çok katlı bir yapıda kullanılması ile mümkündür. Kumaşların katmanları arasında biriken durgun hava ısı yalıtımı sağladığı için çok katlı giysi yapısı kullanılmaktadır. Nefes alabilir nem bariyeri; su itici, güç tutuşur, darbeye dayanıklı dış kaplama, ter emici ve teri dışarıya atabilen iç astar yüzeyi gibi.

Koruyucu giysilerde konfor ve rahat hareket kabiliyeti ancak iyi bir giysi tasarımıyla sağlanabilir. Bu da kumaş ağırlığını arttırmadan gerekli noktalara (dirsek, dizkapağı, koltukaltı) kumaş eklenmesi ile mümkün olmaktadır. Genellikle giysi yapısı bu bölgeler dikkate alınarak tasarlanmakta ve kalıpları hazırlanmaktadır.

Doğru malzeme seçimi ve uygun tasarım uygulaması çoğu kez itfaiyecinin sağlığı için yeterli olmamaktadır. Termal koruyucu giysi yanmadığı halde itfaiyecilerin vücudunda ter buharından kaynaklanan yanık yaraları oluşabilmekte ya da vücut sıcaklığının hızla yükselmesinden dolayı birçok rahatsızlıklar ortaya çıkabilmektedir. Son yıllarda; tekstil ve elektronik bilimlerinin ortak çalışmalarıyla, giysi

katmanlarına yerleştirilen sıcaklık, nem, ECG, CO₂, CO gibi elektronik algılama sistemleriyle itfaiyecinin sağlık kontrolünün yapılması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye’de kullanılmakta olan bir itfaiyeci ceketine sensörler ve aktif elemanlar entegre edilerek, akıllı bir tekstil ürünü tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. Kullanılan sıcaklık sensörleri sayesinde itfaiyecinin iç sıcaklığının ve çevre sıcaklığının kontrol edilmesi mümkün olmaktadır. Işık sensörü ise LED lambalarla bağlantılı bir şekilde programlanarak dumanlı ortamda itfaiyecinin görünürlüğünü arttırmaktadır. Ayrıca, cilt ve çevre sıcaklığının kritik olduğu durumlarda itfaiyeciye sesli olarak uyarı verilmektedir. Kullanılan kulaklık ile bildirim otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Kulaklıktan gelen uyarının ses seviyesini itfaiyeci, ceketin kolları üzerine yerleştirilen düğmelere basarak ayarlayabilmektedir.

Çalışmada cekete entegre edilen sensörlerin mümkün olan en hassas ölçümü yapması ve boyut olarak çok küçük olmasına özen gösterilmiştir. Sensör-kablo bağlantıları dışında herhangi bir lehim ve yapıştırma işlemi uygulanmaması için kablo sayısı geniş tutulmuştur ve bu kablolar direkt sensörlere bağlanabilmiştir. Çalışmada ana ünite sağ alt cep içerisine yerleştirilmiş ve bir konektör ile şerit kabloya bağlanmıştır. Cep içerisinden bir kesik açılarak şerit kablo dış katmana altına geçirilmiş nem bariyeri üzerinden sensör noktalarına iletilmiştir. Ardından kablo uçları sensörlerin ayaklarına lehimlenmiştir. Kabloların bağlantıları çok pratiktir. Ancak; prototip üretiminde yapılması gereken bazı iyileştirmeler mevcuttur:

- Kabloların sensörlere bağlanması için çıkış yapacağı noktalara delik açıldığında kumaşta sökülme gibi deformasyonlar olmaması için, deliğin boyutuna uygun bir kuş gözü takılması ileriki çalışmalarda planlanmaktadır.
- Akıllı İtfaiyeci ceketinin seri üretime uygun hale getirilebilmesi için; kablo uzunluklarının önceden belirlenmesi ve dış katman kumaşının diğer iki katmana birleştirilmesinden önce yerleştirilmesi uygun olacaktır.

- Çalışmada kullanılan hazır itfaiyeci ceketinde göğüs üzerinde tek bir cep bulunmaktadır. Telsiz cebi olarak kullanılan bu cebi işgal etmemek amacıyla, sol göğüs üzerine de ilave bir cep takılabilir.
- Cilt sıcaklığının daha doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi için sensörlerin sayısı arttırılabilir ve vücudun farklı bölgelerine yerleştirilebilir.
- İleriki çalışmalarda geliştirilmiş olan prototip üzerindeki sensörlerin ısı ve suya dayanıklılığı test edilebilecektir.
- Ayrıca itfaiyeci giysilerinin, itfaiyecilerin vücut ölçüleri dikkate alınarak farklı beden numaralarında üretilmeleri ile giysi-vücut uyumunu arttırabilmek mümkün olabilecektir.
- İtfaiyecinin yanık yaralarını engellemek amacıyla, çalışmada kullanılan itfaiyeci ceketinin dirsek kısımlarına ek olarak, aşınma ve ısıya dayanıklı kumaşlar dikilebilir.
- İtfaiyeci kendini iyi hissetmediği zamanlarda, herhangi bir sorunla karşılaştığında veya çalışma anında çevresindeki ekip arkadaşı ile iletişim kurabilmek için, bir sinyal yollamak isteyebilir. Bu amaçla LED şeritlerin, itfaiyecinin kendi iradesiyle yanıp sönmeye bir sinyal niteliği taşıyacaktır. İleriki çalışmalarda kişinin kendi durumu hakkında dışarıya acil bildirim göndermek istediğinde dokunma düğmelerine dokunarak LED'leri aktive etmesi sağlanacaktır.
- Pillerin gücünü en çok kullanan elektronik devre elemanı LED lambalardır. LED lambaların optimize edilmesi ileriki çalışmalarda planlanmaktadır.
- Ayrıca gelecek çalışmalarda; itfaiyecinin bulunduğu ortamın CO gazı miktarını ölçmek için itfaiyeci giysisine bir sensör entegre edilmesi

düşünülmektedir. Böylece itfaiyeci ölümlerine en çok sebep olan CO zehirlenmeleri önlenebilecektir.

- Diğer bir çalışmada ise; ana ünite içine yerleştirilecek bir oryantasyon sensörü sayesinde baygın durumdaki bir itfaiyecinin pozisyonunun ekip arkadaşlarına bildirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bajaj, P. (2000). Heat and flame protection. A. R. Harrocks ve S. C. Anand (Ed.). *Handbook of technical textiles* içinde (223-263). Woodhead Publishing Limited: England.
- Baykal, Y. *Vücut ısısının düzenlenmesi*. (b.t). 2010, <http://www.gata.edu.tr/dahilibilimler/ichastaliklari/files/dersler/11.pdf>.
- Bryne, C. (2000). Technical textiles market-an overview. Harrocks, A. R. ve Anand S. C. (Ed.). *Handbook of technical textiles* içinde (1-23). Woodhead Publishing Limited: England.
- Caldani, L., Pacelli, M., Gamboni, P., G., Luprano, J., Paradiso, R. (2008). *Through wearable systems*. (2010), <http://www.phealth2008.com/Events/papers/D3.pdf>.
- Crosstech*. (b.t.). 2010. <http://globefiresuits.com/globe/materials/moisture-barrier/moisture-barrier-materials.aspx>.
- Cireli, A. (2000). Isıya ve Alev Dayanıklı Koruyucu Giysiler, *Tekstil ve Teknik*, 181-187.
- Ellison, A. D., Groch, T. M., Higgins, B. A., Verrochi, M. T. (2006). *Thermal manikin testing of fire fighter ensembles*. Worcester Polytechnic Institute.
- FireO alev almazlık solüsyonu tanıtım kitapçığı*, (2007). 2010, http://innotra.org/fireo/Fire-O_TR.pdf.
- Gahide, S. (1999). *Smart Garment For Firefighters*. 2010, <http://www.trizjournal.com/archives/1999/06/d/index.htm>.

Giovanni, A. D. (2006). Clothing: As complex as any other PPE. *Technology Today*, 126-128, www.fireengineering.com.

GORE-TEX, (b.t.). 2010, <http://www.gore-tex.com/remote/Satellite/home>.

Günerhan, H., Erkek, M. (2006). *Isı transferi dersi özet bilgiler*. Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Güvenlik bölümü ürünleri, (b.t.), 2010, <http://www.kivancgroup.com/Itfaiye.html>.

Hasenmeier, P. (2008). The history of firefighter personal protective equipment. 2010. http://www.fireengineering.com/index/articles/generic-article-tools-template/_saveArticle/articles/fire-engineering/featured-content/2008/06/the-history-of-firefighter-personal-protective-equipment.html.

Havenith, G. 2002. Interaction of clothing and thermoregulation. *Exog Dermatol*, 1, 221-230.

Hertleer, C., Langenhove, L. V., Rogier, H., Vallozzi, L. (2007). *A Textile Antenna For Fire Fighter Garments*. 2010, www.proetex.org/.../2007%20AUTEX%20Paper%20Carla%20Hertleer.pdf.

Holmes, D. A. (2000). Waterproof breathable fabrics. A. R. Harrocks ve S. C. Anand (Ed.). *Handbook of technical textiles* içinde (282-315). Woodhead Publishing Limited: England.

Holmes, D. A. (2000). Textiles for survival A. R. Harrocks ve S. C. Anand (Ed.). *Handbook of technical textiles* içinde (461-489). Woodhead Publishing Limited: England.

Intelligent Clothing, (b.t). 2010,

http://www.vikingfire.com/pdf_download /VIKING_TST.pdf.

İtfaiyeci Elbiseleri, (b.t.). 2010,

<http://www.dostteknoloji.com.tr/content/view/104/140/>.

İtfaiyeci Kaskı FXE, (b.t.). 2010,

<http://www.isciguvenligi.com/default.asp?git=8&urun=59>.

Kalın, M. B. (2008). *Tekstil yüzeylerinin yanmaya karşı dirençlerinin arttırılması*.

Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Karter, M. J., Molis, J. L. (2009). *U.S. Firefighter Injuries – 2008*. NFPA Fire Analysis and Research, USA.

Kayan, S. (2004). *Tekstil materyallerinin yanma mekanizması ve limit oksijen indeks değerleri*. 2010,

http://www.uzaktanegitimplatformu.com/UEP/uep_ylisans/ey2/ey2_download/TekstilMateryallerininLOIDegerleri.pdf.

Kaynaklı, Ö., Yiğit, A. (2003). İnsan vücudu için ısı dengesi ve ısı konfor şartları.

Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Fen ve Müh. Dergisi, 5 (2), 9-12.

Keiser, C. (2007). *Steam burns Moisture mnagement in firefighter protective clothing*. Degree of doctor of sciences, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.

Kimya teknolojisi, (2009). 2010,

http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/524KI0100.pdf.

Kremens, R. L., Faulring, J., Philips, D. (2005). *A Compact Device to Monitor and*

Report Firefighter Health, Location and Status. 2010,
http://www.iawfonline.org/summit/.../2005_posters/Kremens%20et%20al.pdf.

Kutlu, B. (2002). *Isiya dayanıklı ve ısıdan koruyucu giysilerin termal analizi ve performans özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Lawson, J. R. (1998). *Thermal Performance And Limitations Of Bunker Gear*. 2010,
<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire98/PDF/f98066.pdf>.

Li, J., Barker, R. L., Deaton, A. S. (2007). Evaluating the effects of material component and design feature on heat transfer in firefighter turnout clothing by a sweating manikin. *Textile Research Journal*, 77, 59–66. 2010, SAGE Publications.

Mäkinen, H. (2005). Firefighters' protective clothing. R. A. Scott, (Ed.). *Textiles for protection*. içinde (622-643). New York Washington: CRC Press.

Nomex elyaflar, (b.t.). 2010,
<http://www.dpp-europe.com/-Elyaflar,2251-html?lang=tr>.

Neden Kevlar?, (b.t.). 2010, <http://www.dpp-europe.com/more,4536.html?lang=tr>.

Oliveira, A., Gehin, C., Delhomme, G., Dittmar, A., McAdams, E. (2009). Thermal parameters measurement on fire fighter during intense fire exposition. *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, USA, 4128-4131. 2010, IEEE Xplore.

Öner, Z. (1997). Yanık. İ. Sayek, (Ed.). *Temel Cerrahi (2)* içinde (463-472). Ankara: Güneş Kitabevi.

Öngel, K., Mergen, H. (2009). Isıl konfor parametrelerinin insan vücudundaki

etkilerine yönelik literatür taraması. *S.D.Ü. Tıp Fak. Derg.* 16(1)/ 21-25.

Protective clothing for firefighters from Tempex Austria,

<http://www.tempex.at/en/pdf/feuerwehr/einsatzbekleidung.pdf>.

Rabbitts, A., RN, MS, Alden, N. E., RN, MPH, Scalabrino, M., Yurt, R.W., MD, FACS. (2005). Outpatient firefighter burn injuries: A 3-year review. *Journal of Burn Care & Rehabilitation*, 26 (4), 348-351.

Rossi. R. (2003). Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46 (10), 1017-1033.

Rossi, R. M., Bolli, W. P. (2000). Assessment of radiant heat protection of *protective* firefighters' jackets with a manikin. Nelson ve Henry, (Ed.), *Performance of clothing:Issues and priorities for the 21. Century* (7) içinde (212-223). West Conshohocken: ASTM.

Song, G. (2005). Modelling thermal burn injury protection. R. A. Scott, (Ed.). *Textiles for protection*. içinde (261-289). New York Wahington: CRC Press.

Song, G. (2007). Clothing air gap layers and thermal protective performance in single layer garment. *Journal of Industrial Textiles*, 36, (3) 193-205. 2010. SAGE Publications.

Stull, J. O. (2000). The effect of moisture on firefighter protective clothing thermal insulation: A rewview of industry research. C. N. Nelson ve N. W. Henry, (Ed.), *Performance of protective clothing:Issues and priorities for the 21. Century* (7) içinde (557-576). West Conshohocken: ASTM.

Thermo-Man Test, (b.t). 2010, <http://www.dpp-europe.com/-THERMO-MAN-R,2263.html?lang=tr>., Mayıs 2010.

- Toksoy, M. *Isıl konfor*. 2010, http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/17184bcb70dcf39_ek.pdf?dergi=150.
- Torvi, D., Hadjisophocleous G. (1997). Research needs in protective clothing for fire fighters. *National Research Conseil*. Canada.
- TS EN 340 : 2007. (2007). Koruyucu giyecekler - Genel özellikler.
- TS EN 469 : 2007. (2007). İtfaiyeciler İçin Koruyucu Giyecekler – Yangınla Mücadelede Kullanılan Koruyucu Giyecekler İçin Performans Kuralları.
- Veghte, J. H., (1986). Functional integration of firefighters' protective clothing. *Performance Of Protective Clothing ASTM STP 900*, 487-396. 2009, ASTM.
- Yangına dair her şey* (b.t.). 2010, <http://www.ahmetsertkan.com/#uds-search-results>.
- Yangına müdahale ekipmanları*, (b.t.). 2010, <http://www.durmanyangin.com/tr/e3.htm>.
- Yangın - temel kavramlar*, 2010, <http://www.izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1154690680.pdf>.
- Yangın yerindeki tehlikeler*, (b.t.). 2010, <http://iys.inonu.edu.tr/index.php?web=sivilsavunma&mw=125>.
- Yangınla mücadele malzemeleri*.(b.t.) 2009. <http://www.ilerisavunma.com/tr/yangin/index.htm>.
- Yıkama ve bakım*. (b.t.). 2010. <http://www.dpp-europe.com/-Yikama-ve-Bakim-.html?lang=tr>.
- Zhou, W., Reddy, N., Yang, Y. (2005). Overview of protective clothing. R. A. Scott, (Ed.). *Textiles for protection*. içinde (1-30). New York Wahington: CRC Press.