

**Doruk TÜRKÜÇAR**

İST İşçi Sağlığı Teçhizatı San. Tic. Ltd. Şti.

İhracat Müdürü

İş Güvenliği Uzmanı

<https://www.ist.com.tr><https://linkedin.com/in/dorukturkucar>

## Elektrik Ark Tehlikeleri ve Elektrik Ark Patlamalarına Karşı Korunma

### Elektrik Ark Nedir?

Ark, kökeni gaz iyonizasyonundan gelir, farklı potansiyellerdeki elektrotlar farklı safha ilişkileri arasında iletken elektrik bağlantısıdır. Elektrik ark, teknik bir hata veya operatörün hatasından dolayı gerçekleşebilir. Düşük voltajlı alanlarda elektrik arkının tetiklenmesi için galvanik kontak gerekirken, yüksek voltajlı alanlarda canlı parçalara ilgili uzaklıktaki bir uygunsuzluk sebep olabilir.

Bir elektrik ark patlaması, birbirine değmeyen iki iletken arasında hava aracılığıyla meydana gelen ısı ve ışık formundaki çok kısa süreli enerji boşalmasıdır. ANSI-IEEE Std 100-1988 elektrik arkını şu şekilde tanımlamaktadır; Genelde ani olarak eksi uç etrafında gaz iyonizasyon potansiyeline kadar voltaj düşmesi nedeniyle, elektrik boşalmasının gaz içerisinden geçmesi elektrik arkı yeterli elektrik akımının hava içerisinden geçmesiyle oluşur. Hava iyi bir iletken değildir, akımın çoğu ark sonrası ortaya çıkan buhar (genelde bakır ve alüminyum buharı) ve havadaki iyonize partiküller üzerinden geçer. Çok yüksek sıcaklıktaki bu karışıma plazma denir.



### Elektrik Arkının Etkileri

Elektrik arkının güç ve yanma süresine bağlı olarak yüksek sıcaklıktan dolayı farklı fiziksel etkileri görülebilir. Elektrik ark enerjisi elektrik, termal, mekanik, foton veya ışık enerjisi gibi birden çok yolla boşalır. Mekanik enerjisi genelde patlama şeklinde ortaya çıkar. Birçok çeşitli faktör elektrik arkının yarattığı enerjiyi etkilemektedir (Bakınız; Elektrik Arkının Zararını Etkileyen Faktörler).

### Sıcaklık

Bir elektrik ark patlamasında 12.000°C sıcaklığa kadar ani bir sıcaklık artışı olabilir. Arkın merkezindeki materyal buharlaşır ve elektrotlar arasında iletken bir bağlantıya sebep olur. Yanan bir sigaranın ucunun içilmediğinde 580°C, içilirken 700°C ve güneşin yüzey sıcaklığının 6.000°C olması, ark patlamalarının ne derece tehlikeli olduğunu gözler önüne sermektedir. 20 cm çapında bir ark patlamasının 50 cm uzaklıktaki sıcaklık etkisi 1300°C olmaktadır.

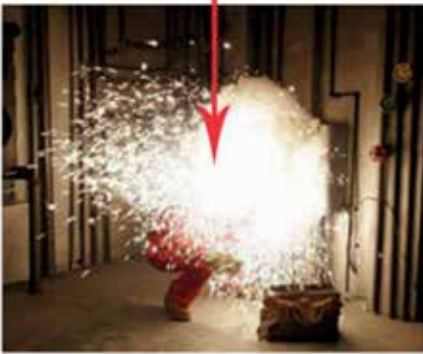
Ark patlaması esnasında yoğunlaştırılmış ısı artarken elektrotlar arasında bir plazma oluşur. Plazma, diğer tüm kimyasal bileşenlerin ayrılıp iyonlaşmasından dolayı ayrılır. Metalin buharlaşmasından sonra, çok yüksek bir ısı artışı oluşur ve patlayarak ilerleyen metal buhar ve sıçraması arkın merkezine doğru kütle genişlemesi gerçekleştirir. Soğumanın sonucu olarak soğumadan sonra siyah veya gri duman olarak bulunabilir. Buhar veya duman yeterli ısıya sahip olduklarından, yapışkan bir atık bırakırlar.

Amerika Elektrik Elektronik Enstitüsünün yaptığı deneysel çalışmalarından şu sonuç çıkmaktadır; Arkta kaynaklı ısı enerjisi insanı çok uzak mesafelerden bile öldürebilir veya yaralayabilir. Örneğin, 3,6 m mesafeden bile 2. derece yanıklara sebep

olabilir. 2. derece yanık, 1 saniyede cilt üzerinde meydana gelen  $1,2 \text{ cal/cm}^2$  ısı enerjisi artışına denmektedir (eşik değer). Elektrik arkının yoğunluğuna bağlı olarak ısı radyasyonu, etrafındaki yanıcı maddeleri de alevlendirebilir. Oluşabilecek erimiş metal sıçramaları yangın riskini arttırır. Ayrıca elektrik arkından kaynaklanan toksik aşınmaya maruz kalan tehlikeli bölgede çalışanlar deride ki yanmanın dışında ciddi akciğer hasarı da alabilirler.

Ark patlaması ölüme sebebiyet verecek derecede yanıklara sebep olur. Elektrik kazaları sebebiyle hastanelere başvuranların büyük çoğunluğunun maruz kaldığı kaza sebepleri elektrik çarpması veya elektrik şoku değil, bunların %80 'i elektrik ark kazalarıdır. Bu kazalar sonucu oluşan yüksek dereceli yanıkların ve ölümlerin çoğu ısı ve alev dayanıklı olmayan elbiselerin veya iç çamaşırlarının alev alması ve yanmaya devam etmesi sonucu meydana gelir.

## GAZLARIN VE BUHARLAŞAN METALLERİN PATLAYAN PLAZMASI



### YÜKSEK DERECELİ ARK BÜTÜN VÜCUT YANABİLİR

#### Mekanik

Elektrik arkının gelişimi sırasında diğer bir fiziksel reaksiyon ise 5-15 ms arasında  $0,3 \text{ MPa}$  'ya varan devasa bir basınç dalgasının oluşmasıdır. Bu 20-30 t/m<sup>2</sup> basınca denk gelir. 22 kA bir elektrik ark patlamasının 60 cm mesafedeki etkisi 225 kg olacaktır. Eğer kesintisiz basınç dalgası yayılması oluşmazsa, elektrik donanımını ve çevresindekileri yok etme riskine sahiptir. Kapılar ve kaplamalar patlayabilir, borular ve ekipmanlar parçalanabilir.

#### Ses

Elektrik ark patlaması ile 160 dB 'e varan ses basınç seviyesine ulaşılabilir. Bu da insanları sağır edebilecek bir seviyedir, işitme kaybı yaralanmaları bu sebeple olasıdır. Bir örnek vermek gerekirse 30 m mesafeden bir jet motorunun sesi 140 dB 'dir.

#### Işık

Gözlere oldukça zarar vermektedir, körlüğe kadar sebebiyet verebilir. Eğer ışık enerjisi çok yüksek ise ultraviyole yanıklar meydana getirir. Korunmak için gözlere bir patlama anında zarar vermeyecek koyuluğa sahip ve ilgili standartlara göre

sertifikalı elektrik ark vizörleri veya vizörün bulunduğu elektrik ark koruyucu başlıkları kullanılmalıdır.

Bir elektrik arkının ve buna eşlik eden ark patlamasının sonuçlarının ve bir orta gerilim hücreinde yaşanan ark patlaması sonrası hücrenin dış görünümünün aşağıda fotoğrafı verilmiştir. Çalışanlar, hücrenin kapaklarının kapalı olmasına güvenerek veya panelleri tamamen emniyete alınmış olsa bile elektrik arkı patlaması olaylarına karşı güvende olduklarını varsaymamalıdır. Özel olarak tasarlanmış elektrik ark patlamasına karşı koruyucu giysi olmadıkça, metal bir ekipman muhtemelen bir elektrik ark patlamasının patlayıcı kuvvetine dayanamayacaktır.



#### Elektrik Arkının Zararını Etkileyen Faktörler

##### Mesafe

Zararın büyüklüğü yaklaşık olarak elektrik arkına uzaklığın karesi ile orantılı olarak azalmaktadır. Bir başka deyişle uzaklığı 2 katına çıkarmak zararı 4 kat azaltmaktadır (Ortama göre değişiklik gösterebilir).

##### Sıcaklık

Arkın sıcaklığının 4. üssü ile vücut sıcaklığının 4. üssü arasındaki fark ile alınan enerji arasında oran bulunmaktadır.

##### Emiş Katsayısı

Vücuda gelen enerji ile vücudun aldığı enerji arasındaki orandır.

##### Zaman

Maruz kalınan zaman arttıkça alınan enerji de artmaktadır. Arka Maruz Kalan Vücut Bölgesi

Arka maruz kalan vücut bölgesi ne kadar büyükse emilen enerji de o kadar artar. Tehlike Enerji Düzeyinin Hesaplanması : kJ/m<sup>2</sup>, J/cm<sup>2</sup>, cal/cm<sup>2</sup> olarak belirtilir.

### Arkin İsalet Açısı

İsalet açısı ile alınan enerji orantılıdır. En fazla enerjiye 90 derecelik bir açıda isabet alınması durumunda maruz kalınır.



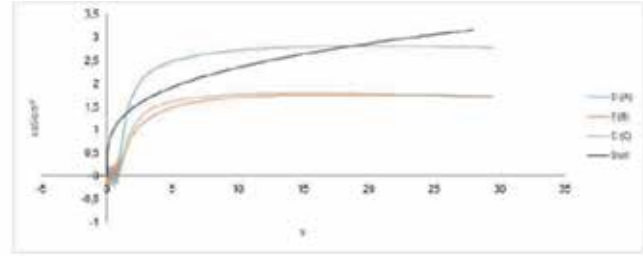
### Elektrik Arkından Korunmak İçin Standartlar

Elektrik arkına maruz kalan çalışanların ısı ve alev dayanıklı elbiselerinde kullanılacak malzeme ve koruyucu elbiselerinin test yöntemlerini belirlemek amacıyla IEC tarafından IEC 61482 1-2 standardı yayınlanmıştır. Bu standart ürünü belgeleme ve CE işaretini almak için zorunlu bir standarttır ve aşağıda açıklandığı gibi iki farklı test methodu içermektedir, kumaşın performans değerlerini ve elbisenin ergonomik özelliklerini kapsar.

#### IEC 61482 1-1 Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc - Part 1-1: Test methods - Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc (Açık Ark Testi):

Elbiseyi oluşturan kumaş katman sisteminin veya bitmiş son ürünün Ark Termal Performans Değerlerini (ATPV) ölçmek için yayınlanmış bir standarttır. 120 derecelik açılardan 3 farklı noktadan 8 kA'lık elektrik arkı 167 ms süresince numuneye uygulanır. Malzeme arkasında bulunan kalorimetre yardımı ile ısı artış değerleri kaydedilir. Bu değerler bir tablo üzerine aktarılır. Bir eğri çizilir (Stoll eğrisi). Stoll eğrisi, insan dokusunun ikinci derece yanık yaralanmalarının başlangıcını tahmin etmekte kullanılan termik enerji ve zaman eğrisidir.

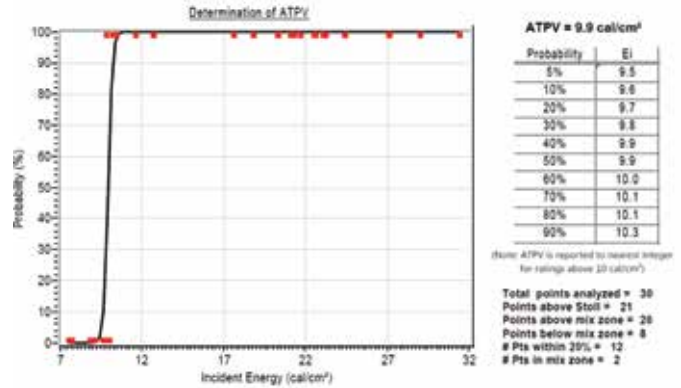
Numuneler 300 mm mesafeden 8 kA enerjiye maruz bırakılır. Test çerçevesinde tespit edilen ark termik performans değerinin (ATPV) aşılması halinde KKD'nin kullanıcıyı ikinci derece yanıktan koruyamayacağı termik enerji değeri cal/cm<sup>2</sup> cinsinden gösterilir. NFPA 70E standardına göre elde edilen bu ATPV değerleri değişik risk gruplarına (HRC) ayrılır (Bakınız: NFPA 70E'ye göre sınıflandırma tablosu).



E<sub>i</sub> (Incident Energy): Kaza/vaka enerjisidir. 2. derece yanığa neden olan enerji miktarıdır. Stoll eğrisine göre değerlendirilmesi yapılır. Stoll eğrisinde görüldüğü üzere E<sub>i</sub> eğrisi, Stoll eğrisinin altında kalmalıdır.

sensor response	PANEL A	PANEL B	PANEL C
E <sub>i</sub>	63,01 cal/cm <sup>2</sup>	59,84 cal/cm <sup>2</sup>	61,58 cal/cm <sup>2</sup>
SCD	0,58 cal/cm <sup>2</sup>	-0,42 cal/cm <sup>2</sup>	-0,26 cal/cm <sup>2</sup>
HAF	95,54 %	97,06 %	97,09 %

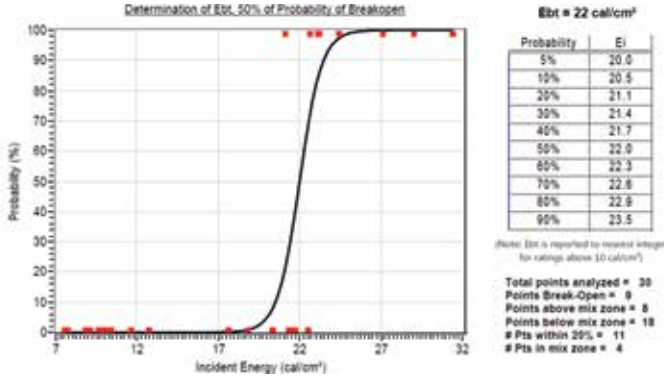
ATPV : (Arc Thermal Performance Value) Ark Termal Performans Değeridir. Kullanıcının %50 oranda 2. derece yanığa maruz kalmasını engelleyecek en yüksek termal kaza enerjisidir. İkinci derece yanık oluşmadan önce koruyucu elbisenin kumaşın dayanabileceği, yüzey alanı başına düşen maksimum olay termal enerjisini birim cinsinden ifade eder (cal/cm<sup>2</sup>).



ATPV, 2. derece yanık ihtimalinin, yanığa neden olan vaka enerjisine karşı (E<sub>i</sub>) grafiğe alınmasıyla bulunur. %50 oranda 2. derece yanığa neden olan enerji ATPV değerini verir. Tabloya göre test edilen koruyucu elbisenin ya da kumaşın ATPV'si 9.9 cal/cm<sup>2</sup> çıkmıştır. Tabloda aşağıdaki kırmızı noktalar yanık olmadığı durumlar (yanığın olma ihtimalinin %0 olduğu durumlar), yukarıdaki kırmızı noktalar %100 yanık olduğu durumlardır. Toplam analiz edilen nokta sayısı 30, stoll eğrisinin üstünde kalan nokta sayısı 21'dir. Stoll eğrisine göre 2. derece yanık olma ihtimali %50'ye tekabül eden kaza/vaka enerjisi 9.9 olmaktadır.

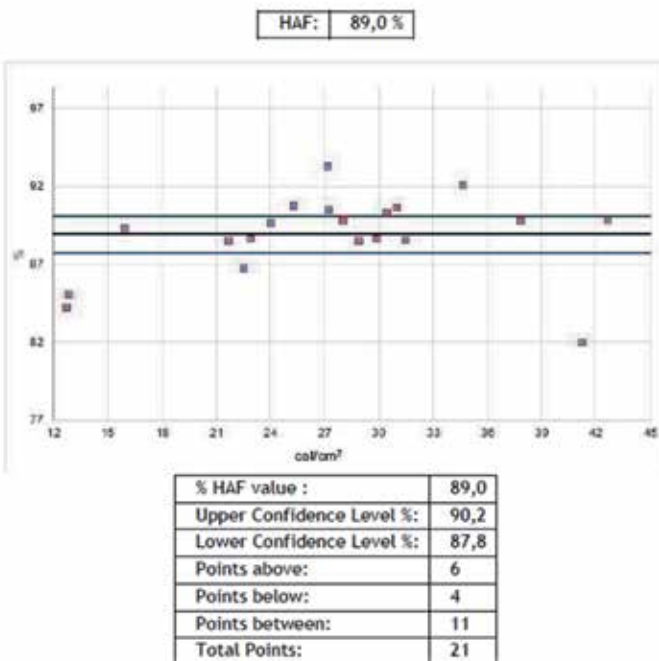
Ürünün ATPV değeri ne kadar yüksek ise, 2. derece yanık oluşması için gereken enerji o kadar fazla olacaktır. Yani materyalin vaka enerji dayanımı yüksek olacaktır. Bir başka deyişle, bir koruyucu elbisenin ATPV değeri cal/cm<sup>2</sup> cinsinden ne kadar yüksek ise koruma seviyesi de bir o kadar yüksektir. Yapılan bir işte hangi ATPV koruma seviyesine sahip olan koruyucu ekipmana ihtiyaç olduğu yapılacak risk değerlendirmesi ve analizler sonucunda belirlenmelidir.

**EBT** : (Energy Breakopen Threshold) Enerji Kırılma Eşiğidir, Cal/cm<sup>2</sup> cinsinden ifade edilir. Koruyucu elbisenin kumaşında maruz kalınan, %50 ihtimalle kumaşın kırılarak açılmasına sebebiyet veren en yüksek olay enerjisini temsil eder. Kumaşa kırılarak açılmasından dolayı meydana gelen delikler ısı ya da alevin içeri girmesine sebep olur. Açıklık, kumaşın herhangi bir yerinde en az 1,6 cm<sup>2</sup> olarak tanımlanmıştır. EBT, kumaşın bir yanık kaydetmediği anlamına gelir. Kumaş, sensörde yanık okumaya neden olan noktaya kadar fazla ısınmamıştır ve içinde sadece çok küçük bir delik vardır.



Şekilde görüldüğü gibi %50 ihtimalle kumaşa kırılma meydana getiren enerji miktarı (Ebt) 22 cal/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. **NOT:** Bir koruyucu elbisenin kumaşının ark koruma derecesi, ATPV veya EBT 'sine eşittir.

**HAF:** (Heat Attenuation Factor) Isı sönümleme faktörüdür. Bir başka deyişle, kumaşın ya da malzeme tarafından engellenen ısı enerjisini geri yansıtma yüzdesidir. Tüm bu testlerdeki elektrik ark atışlarındaki HAF' ların ortalaması alınır: Örneğin aşağıdaki tabloda 89% olarak tespit edilmiştir. Standart sapma aralığı, en büyük ve en küçük değerlere göre bulunur.



### IEC 61482 1-2 Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc - Part 1-2: Test methods - Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (Kutu Testi):

Elbisenin tamamı ve kumaş katman sistemi için standart kapsamında belirtilen düşük ve yüksek koruma sınıflarına gören güvenlik gereksinimlerini ve elektrik arkının oluştuğu ısıya karşı koruma sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi için yayınlanmıştır. Test numunesi üzerine 30 mm mesafeden 500 ms 'lik bir elektrik arki uygulanır. Koruyucu elbise ve/veya kumaş katman sistemin arkasına konulan kalorimetre yardımı ile ark sonrası meydana gelen ısı artışları bir grafik üzerine noktaların birleştirilmesi ile oluşan eğri çizilir.

Avrupa 'da yaygın olarak kullanılmaktadır, ark değeri daha önce bahsettiğimiz gibi ATPV olarak belirtilmez. Bunun yerine ürünler Class 1 veya Class 2 olarak sınıflandırılır. Numuneler 300 mm mesafeden, Class 1 (158 kJ) için 4 kA 'e, Class 2 (318 kJ) için 7 kA 'e 0.5 saniye boyunca maruz bırakılır. Bu kilojül değerleri laboratuvar ortamında oluşturulan elektrik ark flaşının şiddetini tanımlar. Kutu testinden başarıyla geçmiş bir KKD 'nin bu kilojül değerleri aşılmaması halinde ikinci derece yanıkları engelleyeceği kanıtlanır.

Test sonucunda, erimeye izin verilmez, yanma 5 sn veya daha az olmalıdır. Dış katmanda delik görülebilir ancak iç katmanda en fazla 0,5 cm için izin verilir. Isı iletim değerleri: Ölçülen bütün değerler Stoll eğrisinin altında kalması gerekir.



**GS-ET-29 (Supplementary requirements for the testing and certification of face shields for electrical Works):** Standart, ilk olarak 2010 yılında DGUV tarafından yayınlanan, elektrikçilerin kullandığı yüz siperleri için 400 V AC test parametrelili elektrik ark flaş kutu testidir; 500ms için 50 veya 60 Hz ve 2 sınıfa sahiptir:

Sınıf 1: 4 kA, 135kJ / m<sup>3</sup>

Sınıf 2: 7 kA, 423kJ / m<sup>3</sup>

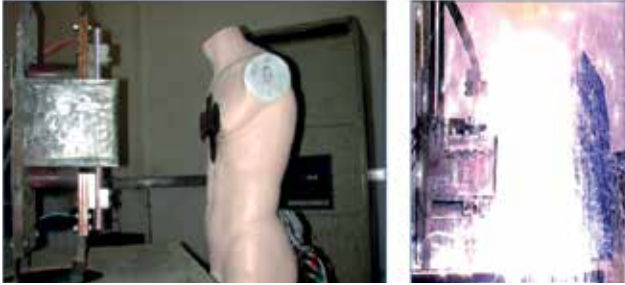
EN 166 standardına göre temel fark, her vizörün elektrik ark flaşı için test edilmesinin gerekmesidir. Test başlığının göz, ağız ve çene hizasında vizörün arkasındaki sıcaklık ölçülür ve kullanıcıların yaralanmaması için maksimum sıcaklıklar verilir. **NFPA 70E (Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces):** Amerikan standardı olan NFPA 70E'de kumaşın EBT'si veya ATPV'si önemli değildir. Önemli olan kumaşın destekleyebileceği cal/cm2'dir. NFPA 70E'ye göre HRC sınıflandırmaları aşağıdaki gibidir;

**Elektrik ark tehlikesi olan ortamlarda mutlaka standartlara**

TEHLİKE RİSK KATEGORİSİ	GEREKLİ OLAN MİNİMUM KKD KORUMA DEĞERİ (CAL/CM2)
HRC1	≥ 4
HRC2	≥ 8
HRC3	≥ 25
HRC4	≥ 40

**uygun koruyucu malzemeler kullanılması gerekir.**

**ASTM F1506 (Standard performance specification for flame resistant and arc rated textile materials for wearing apparel**



**for use by electrical workers exposed to momentary electric arc and related thermal hazards):** Bu standart, elektrik hizmeti çalışanları ve enerjili parçalar etrafında çalışan diğer personel tarafından giyilen koruyucu giysiler için performans gereksinimleri sağlar. Standart, termal olmayan gereksinimlere ek olarak, kumaşın alev geciktirici (FR) olmasını gerektirir. Burada FR, ASTM D6413 dikey alev testi kullanılarak ölçülür. Ark derecesi (arc rating), ASTM F1959-06ae1 ark termal performans testiyle ölçülen Ark Termal Performans Değeri (ATPV) veya Enerji Kırılma Eşiğidir (EBT).

**Elektrik Arklarına Karşı Koruyucu Giysiler**

Elektrik arkları çok odaklı durumlardır ve en kötü enerjinin bile yaklaşık boyutu genellikle iki açık insan eli boyutundadır. Elbiselerin ve iç çamaşırların tutuşmasının önlenmesi genellikle hayatta kalmayı sağlar. Yanıkların küçük bir yüzey alanıyla sınırlandırılması daha iyi sonuç alınmasını sağlar. Tüm yanıkların tamamının önlenmesi tabii ki en iyi seçenektir, ancak ölümcül olmayan irili ufaklı yanıklarla hayatta kalarak bir kazadan kurtulmak da oldukça önemlidir. Bunun için mutlaka koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır.

Asetat, naylon, polyester, ipek veya bunların karışımından üretilmiş giysilerin, tehlikeli iş yerlerinde kesinlikle giyilmesi gerekir. Yanma ve alevlenme riski bulunan ortamlarda alev dayanıklı kumaşlardan üretilmiş elbiselerin ve/veya iç giysilerin kullanılması gerekir. Yanması geciktirilmiş kumaşlar ikiye ayrılırlar.



**Kimyasal işlem ile yanmazlık kazandırılmış apreli kumaşlar (FR Fabric Treatments)**

Pamuklu, pamuk/ polyester karışımı, pamuk/poliamid karışımı gibi alev alması çeşitli kimyasal işlemlerle geciktirilmiş kumaşlar belirli bir yıkamaya kadar alev geciktiricilik özelliklerini kaybetmezler. Üreticilerin talimatlarına uygun olarak yıkama yapıldığında uygulanan işleme göre değişkenlik göstererek 30-50-100-150 yıkamalara kadar alev dayanıklı kumaşlar bulunmaktadır.

**Kendiliğinden alev almaz kumaşlar (Inherently Flame Retardant)**

Metaaramid veya paraaramid, Viscose FR gibi çeşitli elyafardan üretilen kumaşlar kendiliğinden alev almaz özelliğe sahiptir. Defalarca yıkansa bile alev dayanıklılık özelliklerini asla kaybetmezler. Ancak apreli kumaşlara göre daha yüksek maliyetli teknik kumaşlardır.

İST İşçi Sağlığı Teçhizatı olarak ürettiğimiz tüm ELECTPRO® serisi elektrik ark flaşından koruyucu elbiselerimiz, en son (EU) 2016/425 KKD regülasyonuna uygun üretilmekte ve CE sertifikasına sahiptir ve ilgili IEC 61482 standardı testlerinden başarıyla geçmiştir.

En yeni ürünümüz, ELECTPRO® ULTRASOFT 900 Yüksek Enerjili Elektrik Ark Patlamalarından Koruyucu Operasyonel Elbisemiz kullanıcının vücudunu elektrik arkının ısı, basınç, erimiş parçacık gibi olumsuz etkilerine karşı korur. Koruyucu başlık, GS ET 29 Avrupa standardına göre sertifikalıdır ve CE işareti taşır. Yüz siperi gözü parlamalardan korumak için koyu renklidir. Koruyucu elbise; ceket, pantolon ve başlık olmak üzere üç parçadan oluşur ve tamamı çift katmanlıdır. IEC 61482-1-2 standardına göre Class 2 (7 kA) derecesinde performans gösterir. IEC 61482-1-1 standardına göre elbise ve katman sisteminin ATPV değeri 63 cal/cm2 'dir.

**Referanslar:**  
Electrical Safety Handbook by Dennis K. Neitzel, Mary Capelli-Schellpfeffer, Al Winfield  
IEEE Std 100-1988 Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms  
NFPA 921 Sections 14-1 and 14-9 through 14-12.2  
Electricity and Fire

