

ARK PATLAMASI NASIL HESAPLANIR?

Ark patlamasına karşı korunmada kilit nokta, çalışanın maruz kalacağı ark patlama enerjisinin ve güvenli çalışma mesafesinin bilinmesidir. Bu değerler hesaplanmadan alınacak önlemler, yeterli koruma seviyesine sahip olmayabilir ve çalışanın ciddi yaralanmasına veya ölümüne yol açabilir.

Ark patlaması hesaplamalarında NFPA 70E dökümanında belirtilen formüller kullanılmaktadır. Bu formüllerin kaynakları, hesaplama sınırlamaları ve parametreleri aşağıdaki tablodaki gibidir.

Metrik Endüstriyel olarak siz değerli müşterilerimize ark patlama hesaplamaları konusunda TÜRKAK onaylı analizlerimizle yardımcı olmaktan memnuniyet duyarız.

KISIM	KAYNAK	SINIRLAMALAR/PARAMETRELER
D.1	Lee, "Diğer Elektrik Tehlikeleri: Ark Patlama Yanıkları"	Açık havada ark için olay enerjisini ve ark flaş sınırını hesaplar; 600 V üzerinde tutarlıdır ve voltaj arttıkça tutarlı sonuçlar verir
D.2	Doughty ve diğ. "600 V Güç Dağıtım Sistemlerinde Elektrik Ark Tehlikesini Daha İyi Yönetmek İçin Olay Enerjisi Tahmini"	600 V ve altındaki sistemlerde üç fazlı ark için olay enerjisini hesaplar; 16 kA ve 50 kA arasındaki kısa devre akımlarına uygulanır
D.3	IEEE 1584, Ark Patlama Hesaplama Kılavuzu	Şunlar için olay enerjisini ve ark flaş sınırını hesaplar: 208 V ila 15 kV; üç faz; 50 Hz ila 60 Hz; 700 A ila 106,000 A kısa devre akımı; ve 13 mm ila 152 mm arası iletken boşluklar
D.4*	Doan, "DC sistemlerde Ark Patlama Hesaplamaları"	1000 V dc değerine kadar olan dc sistemler için olay enerjisini hesaplar

*Doan, "DC Sistemlerinde Ark Patlama Hesaplama" detayları için lütfen bize danışın.

D.1 Ralph Lee Hesaplama Metodu

D.1.1 Ark Patlama Sınır Mesafesinin Hesaplanması için Temel Denklemler

Ark patlama sınır mesafesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$I_{sc} = \{[MVA_{Baz} \times 10^6] \div [1.732 \times V]\} \times \{100 \div \%Z\}$$

$$MVA_{bf} = 1.732 \times V \times I_{sc} \times 10^{-6} \times 0.707^2$$

$$D_c = [2.65 \times MVA_{bf} \times t]^{1/2}$$

$$D_c = [53 \times MVA \times t]^{1/2}$$

D_c = Feet cinsinden kişinin ark kaynağından iyileşebilir yara alarak kurtulabileceği mesafe (Cilt sıcaklığı 80°C'nin altında kalır)

MVA_{bf} = Bolted kısa devre MVA değeri

MVA = Transformatörün MVA değeri. 0.75MVA'dan düşük transformatörler için 1.25 ile çarpılmalıdır.

t = Saniye cinsinden ark patlama süresi

D.1.2 Ark Patlaması Tehlikesi Analizi için 600 V'den Büyük Olay Enerjisinin Hesaplanması.

Aşağıdaki denklem, 600 V üstü sistemlerde açık havada üç fazlı bir ark tarafından üretilen olay enerjisini tahmin etmek için kullanılabilir. Hesaplamaları yapmak için gereken parametreler;

- 1) Ekipmandaki en yüksek trifaze kısa devre akım değeri
- 2) Maksimum kısa devre akımında toplam koruyucu cihaz kesme süresi (Muhtemel ark yerinin yukarısında)
- 3) Ark kaynağına olan çalışma mesafesi
- 4) İki faz arasındaki voltaj gerilimi

$$E = \frac{793 \times F \times V \times t_A}{D^2}$$

E = Olay enerjisi, cal/cm²

F = En yüksek kısa devre akımı, kA

V = İki faz arası voltaj gerilimi, kV

t_A = Ark süresi, sn.

D = Ark kaynağına olan mesafe, inç

D.2 Doughty Neal Hesaplama Metodu

D.2.1 Açığa Çıkan Olay Enerjisinin Hesaplanması

Aşağıdaki denklemler, 600 V ve altındaki sistemlerde üç fazlı bir yay tarafından üretilen olay enerjisini tahmin etmek için kullanılabilir. Bu denklemlerin sonuçları her durumda en kötü durumu temsil etmeyeabilir. Denklemlerin yalnızca denklemler altında gösterilen değişkenlerin tanımlarında belirtilen sınırlamalar dahilinde kullanılması esastır. Denklemler sadece nitelikli mühendislik gözetimi altında kullanılmalıdır. Hesaplamaları yapmak için gereken parametreler;

- 1) Maksimum bolted kısa devre akımı, ekipmanda mevcut üç fazlı kısa devre akımı ve arkın kendi kendine süreceği minimum hata seviyesi. (Hesaplamalar, maksimum değer kullanılarak ve ardından arkın kendi kendine sürdüğü en düşük hata seviyesinde yapılmalıdır. 480 volt sistemler için, endüstrideki kendi kendine süren minimum seviyenin maksimum kısa devre akımının %38'i olduğu kabul edilmektedir. En yüksek olay enerjisine maruz kalma, aşırı akım aygıtının açılması saniyeler veya dakikalar alabileceği bu düşük seviyelerde ortaya çıkabilir.)
- 2) Toplam koruyucu cihazın, maksimum kısa devre akımında ve arkın dayanacağı minimum hata seviyesinde (muhtemel ark yerinin yukarısında) kesme süresi.
- 3) Ark kaynağına olan çalışma mesafesi

Tipik çalışma mesafeleri şu şekildedir;

- 1) Düşük ger.(600V ve altı) Kontrol veya Dağıtım Panoları-455mm (18 inç)
- 2) Düşük gerilim (600 V ve altı) Şalt Panosu - 610mm (24 inç)
- 3) Orta gerilim (600 V üzeri) Şalt Panosu - 910mm (36 inç)

D.2.1.1 Açık Havada Olay Enerjisi Hesaplanması

Açık havadaki ark patlama olay enerjisi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$E_{MA} = 5271 D_A^{-1.9593} t_A \begin{bmatrix} 0.0016 F^2 \\ -0.0076 F \\ +0.8938 \end{bmatrix}$$

E_{MA} = Maksimum olay enerjisi, cal/cm²

D_A = Ark elektrotlarına olan mesafe, inç (18 inçden büyük mesafeler için)

t_A = Ark süresi, sn.

F = Kısa devre akımı, kA (16 kA ve 50 kA aralığı için)

D.2.1.2 Kapalı Kutuda Olay Enerjisi Hesaplanması

Bir kübik kutudaki ark için tahmini olay enerjisi (her bir taraftı 20 inç, bir yüzü açık) aşağıdaki denklemde verilmiştir. Bu denklem, şalt içinden, motor kontrol merkezlerinden veya diğer elektrikli ekipman muhafazalarından çıkan ark flaşlarına uygulanabilir.

$$E_{MB} = 1038.7 D_B^{-1.4738} t_A \begin{bmatrix} 0.0093 F^2 \\ -0.3453 F \\ +5.9675 \end{bmatrix}$$

E_{MB} = Maksimum 20 inç kübik kutu olay enerjisi, cal/cm²

D_B = Ark elektrotlarına olan mesafe, inç (18 inçden büyük mesafeler için)

t_A =Ark süresi, sn.

F = Kısa devre akımı, kA (16 kA ve 50 kA aralığı için)

D.3 IEEE 1584 Hesaplama Metodu

D.3.1 Sistem Limitleri

Olay enerjisini hesaplamak için bir denklem, ham verinin istatistiksel bir analizi ile birlikte bir eğri uydurma algoritması kullanılarak ampirik olarak türetilir. Aşağıdaki limitlere sahip sistemler için kullanılabilir:

- 0.208 kV ila 15 kV, Trifaze
- 50 Hz - 60 Hz
- 700 A - 106.000 A arası mevcut kısa devre akımı
- 13 mm ila 152 mm arası iletken boşluklar

D.3.2 Ark Oluşma Akımı

Arkın oluşabileceği trifaze ark akımının hesaplanmasında 1 kV altı ve 1 kV ve yukarısı sistemler için iki ayrı formül kullanılmaktadır.

1 kV altında gerilime sahip uygulamalar için aşağıdaki formül kullanılmaktadır;

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V \\ + 0.000526 G + 0.5588 V \left(\lg I_{bf} \right) \\ - 0.00304 G \left(\lg I_{bf} \right)$$

I_a = Ark oluşma akımı, kA

K = Açık hava için= -0.153, Kapalı kutu için = -0.097

I_{bf} = Bolted kısa devre akımı (Simetrik rms), kA

V = Sistem Voltaj değeri, kV

G = İletken boşluğu, mm (Tablo 3.1)

1 kV altında gerilime sahip uygulamalar için aşağıdaki formül kullanılmaktadır;

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \lg I_{bf}$$

Bu formül, hem açık hava için hem kapalı kutu için kullanılabilir.

Tablo 3.1 Ekipman ve Gerilim Sınıfları için Faktörler

Voltaj (kV)	Ekipman	İletken Boşluğu (mm)	Üstel Mesafe Faktörü, x
0.208-1	Açık Hava	10-40	2.000
	Şalt Panosu	32	1.473
	Kont. & Dağ. Panelleri	25	1.641
	Kablolar	13	2.000
> 1-5	Açık Hava	102	2.000
	Şalt Panosu	13-102	0.973
	Kablolar	13	2.000
> 5-15	Açık Hava	13-153	2.000
	Şalt Panosu	153	0.973
	Kablolar	13	2.000

D.3.3 Çalışma Mesafesindeki Olay Enerjisi - Ampirik Olarak Türetilen Denklem

Ampirik olarak türetilen denklemi kullanarak olay enerjisini belirlemek için normalleştirilmiş olay enerjisinin log10'unu belirleyin. Aşağıdaki denklem, 0.2 saniyelik bir ark süresi ve kişiye olası ark noktasından 610 mm mesafe için normalleştirilmiş verilere dayanmaktadır:

$$\lg E_n = k_1 + k_2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G$$

E_n = Olay enerjisi, zaman ve mesafe için normalleştirilmiş, J/cm²

k_1 = -0.792 Açık hava ark patlamaları için,

= -0.555 Kapalı kutu ark patlamaları için.

k_2 = 0 Topraksız ve yüksek dirençli topraklanmış sistemler

= -0.113 Topraklanmış sistemler

G = İletken boşluğu (Tablo 3.1)

$$E_n = 10^{\lg E_n}, \quad E = 4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

E = Olay enerjisi, J/cm²

C_f = 1.0, 1 kV üzeri gerilimler için,

= 1.5, 1 kV ve aşağısı gerilimler için,

E_n = Normalleştirilmiş Olay enerjisi

t = Ark süresi, saniye

x = Üstel mesafe faktörü (Tablo 3.1)

D = Çalışma mesafesi, mm

D.3.4 Çalışma Mesafesindeki Olay Enerjisi - Teorik Olarak Türetilen Denklem

Aşağıdaki teorik olarak türetilmiş denklem, voltajın 15 kV'un üzerinde olduğu veya boşluğun aralığın dışında olduğu durumlarda uygulanabilir:

$$E = 2.142 \times 10^6 V_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

E = Olay enerjisi, J/cm²

V = Sistem gerilimi

I_{bf} = Trifaze bolted kısa devre akımı

t = Ark süresi, saniye

D = Çalışma mesafesi, mm

15 kV üzeri gerilimlerde, ark arıza akımı ve bolted kısa devre akımı eşit kabul edilir.

D.3.5 Ark Patlama Sınırı

Ark flaş sınırı, bir kişinin ikinci derece yanık alması muhtemel olan mesafedir. İkinci derece yanık riskinin, cildin 5.0 J/cm² - 1.2 cal/cm² enerjiye maruz kaldığında başladığı varsayılır.

Ampirik türetilen denklem;

$$D_B = \left[4.184 C_f E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

Teorik türetilen denklem;

$$D_B = \sqrt{2.142 \times 10^6 V_{bf} \left(\frac{t}{E_B} \right)}$$

D_B = Ark patlama sınırının Ark noktasından uzaklığı, mm

C_f = 1.0, 1 kV üzeri gerilimler için,

= 1.5, 1 kV ve aşağısı gerilimler için,

E_n = Normalleştirilmiş Olay enerjisi

t = Ark süresi, saniye

x = Üstel mesafe faktörü (Tablo 3.1)

E_B = Ark patlama sınırındaki olay enerjisi, J/cm² (Normalde 5 J/cm²'dir)

V = Sistem Voltajı, kV

I_{bf} = Trifaze bolted kısa devre akımı

Dağıtım Merkezleri için Örnek Hesaplama

Risk Kategorisi	Voltaj Değeri (kV)	Trifaze Akım (kA)	Kesici Açma Süresi (ms)	Çalışma Uzaklığı (İnç)	Olay Enerjisi cal/cm ²
KATEGORİ 4	31,5	12,706	300	36	73,47
	31,5	11,985	250	36	57,75
KATEGORİ 3	31,5	12,88	150	36	37,24
	31,5	5,646	300	36	32,65
KATEGORİ 2	31,5	7,505	150	36	21,70
	31,5	5,844	150	36	16,90
KATEGORİ 1	31,5	4,60	150	36	13,30
	0,4	18,811	100	36	2,41
KATEGORİ 1	0,4	3,15	100	36	1,62

Örnek hesaplamada görüldüğü üzere, aynı voltaj değerine sahip 7 farklı bölgede meydana gelebilecek ark patlaması sırasında açığa çıkacak enerjiler arasında anlamlı farklar mevcuttur.