

DC SİSTEMLERDE İSG ÇALIŞMA TABLOSU

Aydın KEÇECİ
Elektrik Mühendisi
A sınıfı İSG uzmanı
47. Dönem İSG Komisyonu
Başkanı

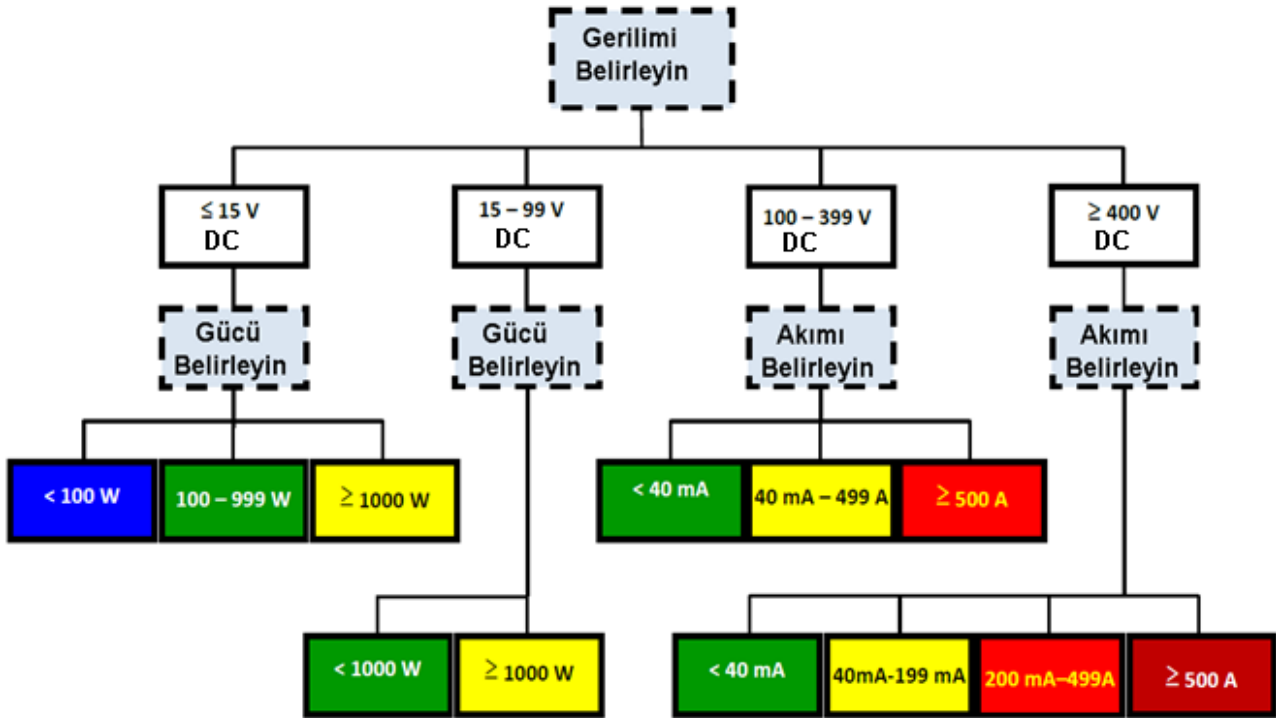
Hikmet Nurhan Parlak
Elektrik Mühendisi
İş Güvenliği Uzmanı (A)
47. Dönem İSG Komisyon
Başkan Yardımcısı

Kamil Bahçeci
Elektrik Elektronik
Mühendisi
47. Dönem İSG Komisyonu
Üyesi

TS EN 50110-1 (2013) Standardı 3.6.1 maddesi ELV'yi tarif ederken, "120V DC gerilimin altı" olarak tanımlamaktadır. Bu gerilimin üzerindeki gerilimleri tehlikeli olarak kabul etmektedir. NFPA70E 2018 yılından sonra ABD'de 100V DC üzeri tehlikeli gerilimi 50V DC olarak değiştirmiştir. DGUV 203-077 sayfa 8 (2021) baskısında 50V AC/DC üzerini tehlikeli olarak tanımladığını görüyoruz. Hazır olun yakında IEC resmi olarak yayımlayacaktır.

İnsan vücudundan geçen gerilim değil akım yaralanmaya neden olur ve bir nesnenin geçen akımın miktarı nesnenin direncine bağlıdır. İnsan vücudunun direnci 500Ω - $2k \Omega$ (ohm) arasında değişir. İç organlarda (örneğin böbreklerde) bu direncin 250Ω değerine kadar düştüğü görülmektedir. Akım kalpten geçerken fibrilasyona sebep verebilmektedir. 60VDC enerji verilen canlı bir parçaya temas eden bir kişi terli iken vücut direnci 500Ω olması halinde kalpten geçecek akım $120mA$ ($I=60/500=120mA$) olacaktır. Bu akım seviyesi ister AC ister DC olsun ciddi yaralanmalara hatta ölümlere neden olabilir.

Çalışanların 50 ila 100 volt DC arasında çalışan canlı parçalarla temasa geçtiğinde ciddi yaralanmaların meydana geldiği belgelenmiş vakalar vardır. Hatta 12 Volt akünün kutup başlarını sıkarken anahtarın kısa devre yapması nedeniyle, parmağındaki altın yüzüğü derin bir yara bırakan birçok kişi olduğu bilinmektedir. DC gerilimin insan üzerindeki etkileri AC'den farklıdır. Bu konuları ayrı makalelerde inceleyeceğiz. AC ile DC ark flaşı karşılaştırırken, DC'nin sıfır geçiş noktası olmadığından akımın kesilmesinde zorluk oluşturmaktadır.



Şekil 1: DOE 2013 Güvenlik Kitabından Alınmıştır. (DOE Departman of Energy USA)

DC Gerilim	Mode	İki Kişi	Tecrübe seviyesi	Çalışma Kontrolü	Kıyafet
<15V <100W	Hepsi	Tek başına	3.2.5 veya 3.2.6	Yok	Gerek Yok
≤100V ≤1kW veya > 100V <40mA	Hepsi	Tek başına	3.2.5 veya 3.2.6	Yok	Gerek Yok
≤ 15V ve > 1KW	Hepsi	Tek başına	3.2.5 veya 3.2.6	Yok	Min KKD
15V - 100V ve > 1KW	Hepsi	Tek başına	3.2.5 veya 3.2.6	Yok	Min KKD
100V - 400V 40mA -500A	0	Tek başına	3.2.5 Yarı Tecrübeli	LOTO	Çarpılmaya Karşı KKD
	1	Tek başına		LOTO	
	2	Gözlemci		Barikat	
	3	Denetçi		Canlı çalışma kuralları	
> 400 V 40 -200mA	0	Tek başına	3.2.5 Yarı Tecrübeli	LOTO	Çarpılmaya Karşı KKD
	1	Tek başına		LOTO	
	2	Gözlemci		Barikat	
	3	Denetçi		Canlı çalışma kuralları	
100V - 400V >500A	0	Tek başına	3.2.5	LOTO	Min KKD
	1	Gözlemci		LOTO	
	2	Denetçi		Barikat	
	3	Denetçi		Canlı çalışma kuralları	
> 400V 200 mA -500A	0	Tek başına	3.2.4	LOTO	Çarpılma ve Ark KKD
	1	Gözlemci		LOTO	
	2	Denetçi		Barikat	
	3	Denetçi		Canlı çalışma kuralları	
>400V >500A	0	Tek başına	3.2.4	LOTO	Min KKD
	1	Denetçi		LOTO	
	2	Denetçi		Barikat	
	3	Denetçi		Canlı çalışma kuralları	

Tablo 1: DOE 2013 Güvenlik Kitabından Alınmıştır. (DOE Departman of Energy USA)

1. Mod 0 çalışmada yalnız çalışacak kişi işi yaparken tehlikeli enerjiyi kontrol etmek için kişisel bir kilitleme cihazını yerleştirme konusunda EKED eğitimi alması zorunludur.
2. Mod 2 ölçüm yapma, test yapma, ayar yapma gibi işlemlerde canlı çalışma eğitimi alınması zorunludur. Ark tehlikesi ve çarpılma tehlikesi olabilir. Tesisin gücüne bağlıdır. Yüksek voltaj, yüksek akım ve yüksek güç içerebilir.
3. Mod 3 canlı çalışmadır. Bu çalışma şekline (Mod 3) kesinlikle sakının.
4. Ölçü aletinin probu canlı çıplak noktaya temas ettikten sonra probun ucu çıplak noktaya sürtülerek oynatılmamalıdır.
5. Burada 3.2.4 ile aynı zamanda 3.2.3 ve 3.2.2 veya meslekten ve tecrübeli ise 3.2.1'de çalışabilir. (Bu kişiler TS EN 50110-1 3.2 maddede bahsedilen kişilerdir.)

Tehlike yoktur.	İdari ve Mühendislik kontrollerine gerek yoktur.
Tehlike çok azdır.	Mühendislik veya idari kontrollere gerek vardır.
Tehlike vardır.Temas nedeni ile çarpılma sonucu ölüm veya yaralanma riski vardır.Ark tehlikesi vardır. Ark 1,2cal/cm ² nin altında olduğundan ölümcül değildir. Temas yanığı oluşur	Mühendislik ve idari kontrollere gereklidir.
Çok tehlikelidir. Yaklaşma ve temas nedeni ile yaralanma ve ölüm riski vardır. Çarpılma ve ark patlaması ölümcül sonuçlara neden olur. Saha çalışmalarında tecrübelipersonel ile yapılır.	Mühendislik ve idari kontroller gereklidir.
Çok büyük tehlike içerir. Risk seviyesi çok yüksektir. Ses,basınç,yüksek ısı,UV ışık,zehirli duman, şarapnel ektisi, IR... Gibi risklerin tamamını oluşturur.	Mühendislik ve idari kontroller anlık gereklidir.

Tablo 2: Renklerin Anlamı

<p>1 Min KKD < 100V DC > 1kW</p> 	<p>100 - 400V DC ve < 500A veya > 400V DC ve 40 - 200mA 2</p> <p>Çalışma gerilimi dikkate alınır. Class 0 eldiven, izole aletler kullanılır. Eldiven üzerine eldivenin korunması için deri bir eldiven giyilebilir.</p> 	<p>100-250V ve 7kA den küçük 250-600V ve 4kA den küçük ise 3</p> <p>Ark tehlikesi vardır. Ark flaş analizinde 6cal/cm² üzerinde ise balaklava giyeceksiniz. Ark flaş analiziniz yoksa giyeceksiniz. Tavsiyemiz 12cal/cm² kullanmanız. İzole eldiven Class 0 Üzerine ark koruması için eldiven. 7kA den büyük ise APC2</p> <p>Elektrikli bareti canlı çalışmada veya yakın çalışmada giyilir. Mod 0 çalışmada kep giyilir.</p> 
<p>> 400 V DC 200mA - 500A 4</p> <p>Ark tehlikesi vardır. Balaklava giyilmesi gerekir. 6cal/cm² üzeri balaklava zorunludur. Enerjiyi bilmiyorsanız balaklava giyinin. İzole eldiven Class 0 Üzerine ark koruması için eldiven. Elektrikli bareti canlı çalışmada veya yakın çalışmada giyilir. Mod 0 çalışmada kep giyilir.</p> 	<p>> 400V DC < 1500A 5</p> <p>Ark tehlikesi vardır. Hoods giyilmelidir. Ark enerji değeri 12cal/cm² üzerinde ise hoods giyecek değilde yüz siperliği Bilmiyorsanız Hoods İzole eldiven Class 0 Üzerine ark koruması için eldiven. Elektrikli bareti canlı çalışmada veya yakın çalışmada giyilir. Mod 0 çalışmada kep giyilir. APC 2 kıyafetin min cal 40Cal/cm² olacak</p> 	<p>> 1500V DC > 1500A ve >15kA 6</p> <p>Ark flaş analizi yapın. Çalışmaları uzaktan yapın. Enerji kesim sırasında min 6m uzakta durun. Canlı veya yakın çalışmayın. Enerjisiz çalışın.</p> 

Şekil 2: Yüzde 80 oranında sizi koruyacaktır. DC arka karşı giyilmesini tavsiye ediyoruz. Ics kısa devre değeri 15kA büyük olan sistemler için hesap yapılmasını öneriyoruz. 380V DC- 1000V DC arası eldivenleri Class 0 olarak kullanın.

DC Sistemlerde 3 tip hesaplama metodu NFPA 70E tarafından onaylanmaktadır.

- ✓ Maksimum güç metodu
- ✓ Stokes ve Oppenlander Metodu,
- ✓ Paukert Metodu

Maksimum Güç Metodu: $IE_{maxpower} = 0.005 * (V_{sys}^2 / R_{sys}) * (T_{arc} / D^2)$

Maalesef bu metot çok yüksek ark enerji hesabına sebep olmaktadır. Bu da gereksiz yüksek KKD'lerin kullanılmasına sebep vermektedir. Fakat bugün itibarıyla bir standart olmadığından NFPA tarafından kullanılması önerilmektedir. DGUV ise AC ile benzer formüller ile çalışma yapılmış ve onaylanmaktadır.

DC sistemlerde ark flaş analizi konusunda IEEE ve NFPA tarafından ortak bir çalışma yapılmaktadır. Henüz bu konuda bir standart hesaplama yöntemi yoktur. Yakın bir zamanda bu konuda bir hesaplama yöntemi beklenmektedir. NFPA 70E, 2012 yılında Doan ve Ammerman yöntemlerini, DC sistemlerin hesaplanmasında maksimum güç metodu altında yayınladı. Şimdilik bu metotlar kabul edilmiştir. DC Ark Flaş Analizi kritik görev tesisleri, elektrokimyasal tesisler, trafo merkezi akü grupları, fotovoltaiik tesisler, nükleer tesisler ve raylı ulaşım sistemleri dahil olmak üzere farklı tipteki doğru akım uygulamaları için gelen enerjinin hesaplanması için kullanılır.

DR Doan Metodu: Maksimum Güç Yöntemi NFPA70E (2015) D.5

$$I_{arc} = I_{cs} * 0,5$$

$$IE_{open} = 0,01 * V_{sys} * I_{arc} * (t/D^2)$$

$$IE_{box} = 3 * 0,01 * V_{sys} * I_{arc} * (t/D^2)$$

I_{arc} = ark akımı amper A

I_{cs} = Kısa devre akımı A

IE = Maksimum güç noktasında cal/cm² tahmini dc ark flaşı olay enerjisi

V_{sys} = Nominal gerilim (V)

T_{arc} = Açma süresi (sn)

D = Çalışan kişinin arka olan mesafesi (cm)

Bu metot 1000V DC'ye kadar olan sistemlerde kullanılır.

RF Ammerman Metodu

$$R_{arc} = [20 + (0.534 \times G)] \div (I_{DC\ arc} * 0.88)_{SEP}^{[P]}$$

$$R_{arc} = \text{ohm cinsinden arkın direnci}_{SEP}^{[P]}$$

$$G = \text{Milimetre cinsinden bara arası mesafe}_{SEP}^{[P]}$$

$$I_{DC\ ark} = \text{DC ark akım}$$

$$\text{DC ark akımı hesaplamasının en pratik yolu } I_{arc} = I_{cs} * 0.5$$

$$I_{cs} (DC) = V_{DC} \div (R_{akü} + R_{bara})_{SEP}^{[P]}$$

DC gerilimimiz örnek 256V olsun.

Akü grubunun iç direnci ise 0,01150

Baranın direnci ise 0,00194 olsun.

$$I_{cs} (DC) = 256V \div (0.01150\Omega + 0.00194\Omega) = 19.048A_{SEP}^{[P]}$$

DC ark akımının ilk tahmini olarak, $I_{DC\ ark}_{SEP}^{[P]}$

$$I_{DC\ ark} = 0,5 \times I_{cs} (DC)$$

Öyleyse: $_{SEP}^{[P]}$

$$I_{DC\ ark} = 0,5 \times 19048A_{SEP}^{[P]}$$

$$I_{DC\ ark} = 9524A_{SEP}^{[P]}$$

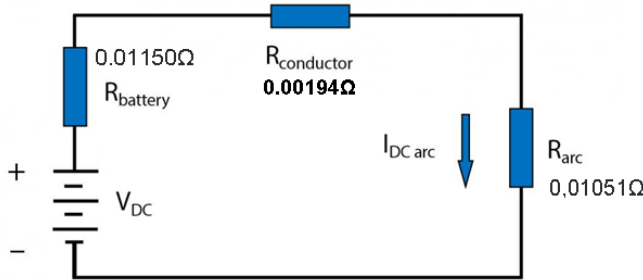
Ark akımını bulduk şimdi ark direncini bulacağız.

$$R_{arc} = [20 + (0.534 \times G)] \div (I_{arc\ dc}^{0.88})_{SEP}^{[P]} \Omega$$

G bara arası mesafeyi ölçüp mm cinsinden yerine koyun.

G=25mm olarak alalım

$$R_{arc} = 20 + (0.534 * 25) / (9.524^{.88}) = 0,01051 \Omega$$



Ohm kanunu ve DC ark flaş hesaplaması

Şema 1: Basit Devre Şeması

Hesaplama	$I_{DC\ ark2}$	R_{arc}
$I_{DC\ ark2} = V_{DC} \div (R_{akü} + R_{bara} + R_{arc})$	10.688,94	0,0095
$I_{DC\ ark2} = 256V \div (0,01150\Omega + 0,00194\Omega + 0,01051\Omega)$	11.160,51	0,00914
$I_{DC\ ark2} = 10,688.9A$	11.335,48	0,00902
Şimdi bu formülleri defalarca tekrarlayacağız taki bir noktadan sonra sayılar farkı kalmayacak	11.398,23	0,00898
$I_{DC\ ark2} = 11.432,5A$	11.420,46	0,00896
$R_{arc} = 0,00895 \Omega$	11.428,29	0,00896
$t_{arc} = \text{Açma süresi sn (IEEE 1584 bu konuda bilmiyorsanız maksimum 2sn alın der)}$	11.431,05	0,00895
$E_{arc} = \text{watt*saniye} = \text{Joule}$	11.432,02	0,00895
$P_{arc} = I_{DC\ ark}^2 \times R_{arc} = 11432^2 * 0,0089 = 11.733.433W$	11.432,37	0,00895
$E_{arc} = P_{arc} \times t_{arc}$	11.432,49	0,00895
$E_{arc} = 11,733,433 \times 0,3 = 352003 \text{ Joule}$	11.432,53	0,00895
D= Kişinin çıplak baradan olan uzaklığı AG de 457 mm alınır.	11.432,54	0,00895
$E_i = E_{arc} / 4 \times \pi * D^2 \quad (4 * 3,14 * (457)^2 = 2,623,143)$	11.432,55	0,00895
$E_i = 352003 / 2623143 = 0,13 \text{ Joule/mm}^2$	11.432,55	0,00895
$\text{Cal/cm}^2 = \text{Joule/mm}^2 * 23,9$	11.432,55	0,00895
$E = 0,13 * 23,9 = 3,21 \text{ cal/cm}^2$	11.432,55	0,00895

DC SİSTEMLERDE AMMERMAN METODU İLE ARK ENERJİ HESABI FORMÜLÜ									
V_{dc}	=	220	DC Volt						
I_{cs}	=	13.170	A	$I_{cs(DC)} = V_{DC} \div (R_{akü} + R_{bara}) =$	Kısa devre akımı	$I_{arc(dc)1} =$	7.039,93	$R_{arcdc1} =$	0,01372
I_{arc}	=	6.585	A	$I_{cs} * 0,5$	Arkakımı	$I_{arc(dc)2} =$	7.232,02	$R_{arcdc2} =$	0,01340
R_{arc}	=	0,01455	Ω	$R_{arc} = [20 + (0,534 \times G)] + (I^{0,88}_{DC\ arc})$	Ark Direnci	$I_{arc(dc)3} =$	7.309,18	$R_{arcdc3} =$	0,01327
G	=	25	mm		Bara arası mesafe	$I_{arc(dc)4} =$	7.339,54	$R_{arcdc4} =$	0,01322
$R_{akü}$	=	0,01500	Ω		Akünün iç direnci	$I_{arc(dc)5} =$	7.351,39	$R_{arcdc5} =$	0,01320
R_{bara}	=	0,00170	Ω		Baranın direnci	$I_{arc(dc)6} =$	7.356,00	$R_{arcdc6} =$	0,01320
$I_{arc(dc)}$	=	7.358,92	A	$I_{DC\ ark2} = V_{DC} \div (R_{akü} + R_{bara} + R_{arc})$	Nihayi Ark akımı	$I_{arc(dc)7} =$	7.357,79	$R_{arcdc7} =$	0,01319
R_{arc}	=	0,01319	Ω		Nihayi Ark direnci	$I_{arc(dc)8} =$	7.358,49	$R_{arcdc8} =$	0,01319
d	=	450	mm		Çalışanın baraya olan uzaklığı	$I_{arc(dc)9} =$	7.358,76	$R_{arcdc8} =$	0,01319
t_{arc}	=	0,50	sn		Açma süresi	$I_{arc(dc)10} =$	7.358,87	$R_{arcdc8} =$	0,01319
P_{arc}	=	714.379	watt	$P_{arc} = I_{DC\ ark}^2 \times R_{arc}$	Watt	$I_{arc(dc)11} =$	7.358,91	$R_{arcdc8} =$	0,01319
E_{arc}	=	357.189	Joule	$E_{arc} = P_{arc} \times t_{arc}$	Joule	$I_{arc(dc)12} =$	7.358,92	$R_{arcdc8} =$	0,01319
E_i	=	0,140	Joule/mm ²	$E_i = E_{arc} / 4 \times \pi \times d^2$	Joule /mm ²				
E_l	=	3,356	Cal/cm ²	$E_l \approx 23,9$	Cal /cm ²				

SARI OLAN HÜCRELERE VERİ GİRECEKSİNİZ

Tablo 3: DC Ark Flaş Hesaplaması

Buradan görüldüğü gibi APC1 kıyafet üst sınırındadır. Eğer bu değer 5 cal/cm² olsaydı APC2 giyilecekti. Bu konudaki makalelerimize ulaşabilirsiniz.

Bir başka örnek hazırlanmış bir makro program ile hesaplamının yapılması.

Aküler, DC Kaynaklar			
100VDC - 250V DC Arası			
I_{cs} Kısa devre Ka (DC)	IEC 61482-1-2	NFPA 70E (2021)	AFB
< 3,9kA	APC1	ARC2	90cm
4kA - 6,9kA Arası	APC1	ARC2	1,2m
7kA - 15kA Arası	APC2	ARC3	1,8m
250VDC - 600V DC Arası			
1,5kA	APC1	ARC2	90 cm
1,5 - 3kA	APC1	ARC2	1,2m
3kA- 7kA arası	APC2	ARC3	1,8m
7-10kA arası	Yasak	ARC4	2,5m

Tablo 4: NFPA 70E 2021: Tablo 130.7(C)(15)(b) DC sistemlerdeki ark tehlikesine karşı giyilmesi gereken KKD tablosu Açma süresi 2s, çalışanın canlı parçaya 45cm uzaklıkta olması koşuluyla hesaplanmıştır.

DC Gerilim için çarpılmaya karşı yaklaşma mesafeleri

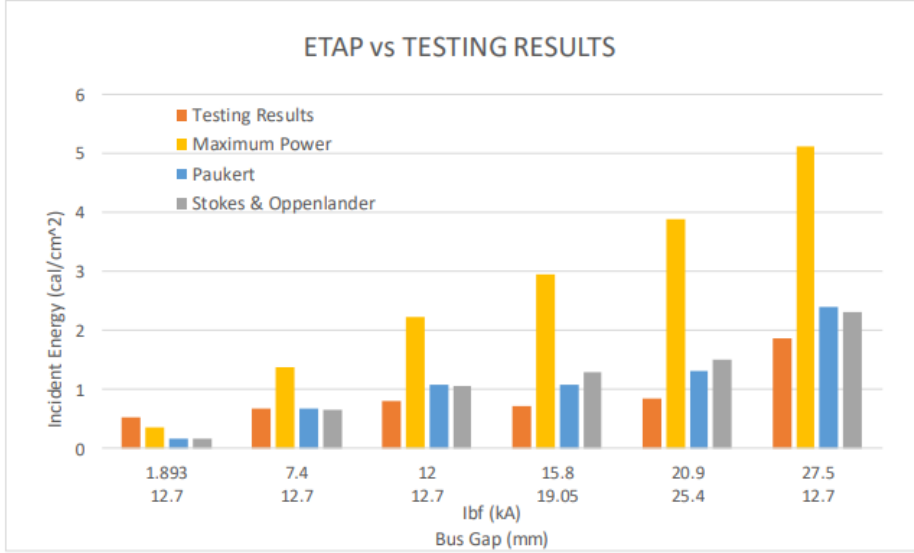
Nominal Gerilimi	Tehlikeli Bölge TS EN 50110	Yakın bölge KKD ile yaklaşılabilir NFPA 70E	2018 ABD NFPA 70E TS EN 50110	NFPA Maksimum yaklaşma seviyesi cm Limited Approach
DC Volt	D_L cm	Restricted	D_V cm	
<50	Dokunma	Yok	Yok	YOK
50-300	Dokunma	Dokunma	Dokunma	100 cm
300 - 1kV	Dokunma	30 cm	30 cm	100 cm
1-3kV	6 cm	50 cm	112 cm	150 cm
3 - 5kV	9 cm	50cm	112 cm	150 cm
6 kV	9 cm	70cm	112 cm	150 cm
10 kV	12 cm	80 cm	115 cm	150 cm
15 kV	16 cm	80 cm	116 cm	250 cm
20 kV	22 cm	80 cm	122 cm	250 cm
30 kV	32 cm	80 cm	132 cm	250 cm
36 kV	38 cm	80 cm	138 cm	250 cm
45 kV	48 cm	100 cm	148 cm	250 cm
60 kV	63 cm	100 cm	163 cm	250 cm
70 kV	75 cm	100 cm	175 cm	250 cm

Tablo 5: EN 50110-1 AC verileri DC de 70kV'a kadar olan değerler için de geçerlidir denilmektedir. Bu değerler çarpılma değerleridir. Ark değerleri değildir. Bu tabloda NFPA70E (2018) 130.4D.b değerleri baz alınmıştır. Restricted şartlı yaklaşım demektir (Ürüne bakmak, değer okumak, ölçüm yapma gibi kısa süreli giriş çıkış)

Bu hesaplama metotlarına Maksimum Güç Metodu denilmektedir. Bu metot 5kA kısa devre üzerlerinde aşırı yüksek değerler çıkmaktadır. Nerelerde kullanılır?

DC Bara	DC Batarya (AKÜ)	DC inverter
DC Kamu enerji sistemleri	Güneş panelleri	DC Motor
DC jeneratör	DC Doğrultucu	DC Kablo
DC Kesiciler	DC Sigortalar	DC yük

gibi yerlerde bu hesaplama metotları kullanılabilir.



Tablo 6: Etap firmasının yaptığı çalışmalarda maksimum güç metodu ile diğer metotların karşılaştırılması

Yukarıdaki formüllere baktığımızda en çok zorlanılan konu iç direncin hesaplanmasıdır. Örneğin DC bir motorun iç direncini üreticiden alırsınız ya da tahmini bir hesaplama yaparsınız. Tahmini hesaplamalar EMO İSG eğitimlerinde verilecektir.

DGUV'a göre DC Sistemlerde Ark Flaş Analizi Hesaplanması

DC Calculation		Parametreler	Sonuç
Şebeke parametreleri	Nominal Gerilim	U_{Nn}	400,0 V
	Faz arası açıklık	d	30 mm
	Kısa devre akımı	I_{kDC}	4,0 kA
Hesaplama	Zaman sabiti : $\tau = L/R$	τ	0,002 s
	Ark akımı	$I_{k,arc(t)} = \frac{U_{Nn}}{(34 + 0,532 \cdot d) + \frac{U_{Nn}}{I_{kDC}}} \cdot I_{k,arc(0)}^{0,88}$	$I_{k,arc} =$
Ark gerilimi	$U_{arc} = (34 + 0,532 \cdot d) \cdot I_{k,arc}^{0,12}$	$U_{arc} =$	129,0 V
Akım sınırlama faktörü	$k_B = I_{k,arc} / I_{kDC}$	$k_B =$	0,678
NH Sigorta karakteristik eğrisinden		t_k	1,000 s
Kısa devre gücü	$P_k = U_{Nn} \cdot I_{kDC}$	$P_k =$	1,6 MW
Ark gücü	$P_{arc} = U_{arc} \cdot I_{arc}$	$P_{arc} =$	0,3 MW
Normallaştırılmış Ark gücü	$k_p = P_{arc} / P_k$	$k_p =$	0,218
Ark enerjisi	$W_{arc} = P_{arc} \cdot t_k$	$W_{arc} =$	349,6 kJ
PPEaA için tkArc koruma sınıfı (Pano içi Testi parametrelerine göre)		$W_{arc, test_APC2}$	320,0 kJ
		$W_{arc, test_APC1}$	168,0 kJ
Sistem parametreleri	İletim faktörü	k_T	1,5
Çalışma prosedürü	Kaynaktan çalışana olan uzaklık	a	300 mm
Ark noktasındaki KKD'nın koruma seviyesi (Pano içi t'est parametrelerinin ark noktası değerleri)	$W_{arc, prot} = k_T \cdot (a/300 \text{ mm})^2 \cdot W_{arc, test}$	$W_{arc, prot_APC2} =$	480,0 kJ
		$W_{arc, prot_APC1} =$	252,0 kJ
	Açma süresi maksimum - Class APC 2	t_{k_APC2}	1,373 s
	Açma süresi maksimum - Class APC 1	t_{k_APC1}	0,721 s
	Ark noktasına olan min uzaklık - Class APC 2	a _{APC2}	256 mm
	Ark noktasına olan min uzaklık - Class APC 1	a _{APC1}	353 mm

Tablo 7: DGUV'a Göre DC Ark Hesaplama

Yaralanma olasılığı (0 = Pratik olarak imkansız, 2 = Olabilir, ancak pek olası değil, 4 = Olası değil, 7 = Nadiren, 10 = Ara sıra ila sık)

1) Ekipman tipi/durumu

Kabloların sıyrık olması , veya çıplak parçalara temas edilme ihtimali olması

2

2) Teknik olarak değerlendirme

Kullandığımız aletlerin yalıtkanlığı , Kullanılan aletlerin testleri (elektrik ve görsel) ve uygunluğu

2

3) Organizasyonel olarak değerlendirme

Ark patlamasını önlemek için yönetsel olarak alınan önlemler. Örneğin güvenli çalışma talimatları standarda uygun mu, Canlı çalışma yada enerjisiz çalışmadaki kurallar açıkça yazılmış ve denetlemeler var mı? gibi

2

4) Çalışanların değerlendirmesi

Çalışan personelin arkn önleyebilmesi için gerekli bilgi ve tecrübesi Elektrikte güvenli çalışma eğitimini almış mı kaç yıldır uyguluyor.

2

5) İstatistiksel etkileyen faktörler

Bu konu maalesef çok nadir firmalar tarafından uygulanıyor. Ark flaş analizi yapılması ve bu değere göre çalışan yerin değerlendirilmesi konusu

2

6) Ergonomik değerlendirme

Çalışma esnasında kişinin alacağı pozisyonlar, Canlı hatta yakın veya canlı hattaki çalışmalardaki durumu

2

Değerlendirme puanlarının toplamı:

12,0

Tablo 8: Yaralanma Olasılığı

	Açıklama	Olası şiddeti	Ark enerjisi / koruma seviyesi
1	Küçük Yaralanma	2.ci derece yanıktan daaha düşüktür. hafif kızamıklık gibi	$0 < W_{ARC} / W_{ARC PORT} < 1$
2	İyileşebilir yaralanma	2. derece yanık, Derinin su toplaması, şiddetli ağrı, tam iyileşme veya hafif yara izi	$1 < W_{ARC} / W_{ARC PORT} < 3$
3	Kalıcı iz bırakan yaralanma	3. derece yanık, Kalıcı hasar yapar. Derin deri yanıkları	$3 < W_{ARC} / W_{ARC PORT} < 10$
4	Ölümcül yaralanma	3. derece veya daha şiddetli cilt yanıkları kapsamlı, geri döndürülemez, ölümcül sonuçlar	$10 < W_{ARC} / W_{ARC PORT}$

Tablo 9: Olası Yaralanma Şiddetinin Belirlenmesi

		Yaralanma ihtimali	0 ...	10 ...	20 ...	31 ...	46 ...
			Pratikte mümkün değil	Akla yakın ama pek olası değil	Olası değil	Nadiren	Ara sıra / sık sık
Yaralanma şiddeti $W_{arc} / W_{arc, prot}$	0 - 0,99	Çok hafif		APC2			
	1 - 2,99	İyileşebilir yaralanma 2 ci derece					
	3 - 10	Kalıcı iz bırakma					
	10 dan büyük	Ölümcül					
APC1	1,4						
APC2	0,7						

Tablo 10: Oluşma Olasılığını Değerlendirme

Yukarıda yapılan risk analizi DGUV'dan alınmıştır. Bu konu çok detaylı olup elektrikte güvenli çalışma eğitimi almış elektrik mühendisleri tarafından yapılmalıdır.

DC sisteminin L/R zaman sabiti dikkate alınmalıdır. L/R bilinmiyorsa açma süresi 2 sn alınır. L/R oranında R çok büyük olursa, yüksek geçici voltajlar veya salınımlar meydana gelebilir. Bu da sistemin güvenilir çalışmasına veya modüler sistem güç kaynaklarında hasara yol açabilir. Endüktif devrelerde L/R oranında R büyük olursa zaman sabiti değeri küçülür. Isc akımının boşalma süresi de o kadar kısa olur. Bu da yüksek ve hızlı bir boşalım anlamına gelir ki insan maruz kaldığında sinir uçlarında tahribata sebep verir. Kapasitif devrelerde ise tam tersi R büyüdükçe boşalma süresi uzun süre alır. Bu konu patlayıcı ortamlarda son derece önemlidir. AG elektrik tesisatlarında kablolar arasında kapasite nedeni ile kaçak gerilim oluşabilir. Multimetre veya voltaj dedektörleri gibi ölçü aletleri bu kaçak gerilimi okuyamaz ve sıfır gösterebilir. Kaçak gerilim giderici (Stray Voltage Eliminator) kullanarak gerilimin olmadığı doğrulanmalıdır.

L=Henry=
ohm*saniye
R=Ohm
□=L/R. =Saniye

R*C=Ohm*farad= Ohm* kolomb/volt
Kolomb=Amper*saniye
Ohm= Volt/Amper
R*C= (Volt/amper)*((amper*saniye)/volt)
=saniye



Şekil 3: Kaçak Gerilim Giderici

<u>Standard</u>	<u>DC Voltage</u>	<u>Time Constant (L/R)</u>	<u>TEST CURRENT</u>
UL198L	60, 125, 160, 250, 300, 400, 500, 600	.01 second L/R = 1/2 (I) ^{0.3}	10kA or higher less than 10kA
MSHA & UL198M	300 or 600	16mS..... 8mS..... 6mS..... 2mS.....	10kA or higher 1kA to 9.99kA 100A to 999A Less than 100A

Tablo 11: DC Sigortalar İçin Belirlenen Zaman Sabiti. MSHA madenlerde (patlayıcı ortamlarda) kullanılan sigortaların test değerleridir. IEC 60947-2 standardı 15 msn olarak belirtmiştir.

DC sigortalar aşırı akıma maruz kalırsa devre endüktansında depolanan enerji ile birleşince sigortanın çekebileceğinden daha fazla akım olabilir ve sigortaları patlatır.

1000V DC üzerindeki işlerde ölçü cihazı olarak ıstanka tipi gerilim detektörleri kullanılmalıdır.

Çoğu kaynak işlerinde elektrik işçisi gerektirmezken, kaynak ekipmanı ile çalışan kişiler, kullanılan kaynak makinesinin elektrik çarpması tehlikelerinin farkında olmalıdır. Bu kişilerin DC tehlikeler konusunda eğitim almaları gerekir.

1000V DC'den büyük ve 40mA'den küçük olan işlerde personel için çarpılma tehlikesi düşüktür. Fakat patlayıcı ortamlarda (yanıcı atmosferlerin) veya karışımların bulunduğu yerlerde, bir kıvılcımdan dolayı tutuşma tehlikesi olabilir. Bu tip yerler aşağıdaki tehlikeleri ortaya çıkarabilir:

- ✓ Arızalar, yıldırım veya manevra işlemleri sırasında normal değerlerin üzerinde gerilim dalgalanmalarına neden olabilir.
- ✓ İç ekipmanlar veya harici ölçüm devreleri veya düşük gerilimli yardımcı kontrol devreleri aşırı gerilime neden olabilir.
- ✓ Uzun kablolarda depolanan enerji beklenmedik bir tehlike olabilir. Bu enerjinin uygun şekilde boşaltılmasını sağlamak için güvenlik talimatları mevcut olmalıdır (kaçak gerilim gidericiye bak).
- ✓ Gerilimin yüksek fakat akımın düşük olduğu sistemlerle temastan kaynaklanan irkilme veya istem dışı reaksiyonlar gibi ikincil tehlikeler düşmeye veya ekipmana sarılma sonucu kazalara neden olabilir.

>100V DC değerindeki DC sistemlerinde yalnızca tecrübeli elektrikçi (TS EN 50110-1(2013) 3.2.4) çalışabilir.

Elektrikte güvenli çalışmalar elektrik mühendisleri tarafından hazırlanıp işverene verilir. İşveren ile beraber çalışma prosedürleri ve güvenlik talimatları oluşturulur. İş güvenliği uzmanları meslekten (elektrik mühendisi veya elektronik mühendisi) olabilir. Fakat bu kişiler tecrübeli değil ise güvenlik talimatları ve prosedürleri oluşturmasını beklemeyin. İşveren, güvenli çalışma talimatları oluşturma görevini standartları bilen uzman yetkin elektrik mühendislerine hazırlatmak zorundadır. Elektrik mühendisleri ve işveren, çalışan personelin bu talimatlara uyduğunu denetlemekle görevlidir. İş güvenliği uzmanları denetleme yapabilmeleri için bu konuda eğitim almalıdırlar.

Kaynaklar

- Corey Steven Weimann “Analytical and Experimental Validation for DC Arc Flash Models”
- H. Cynthia Cline “Fuse Protection of DC system”
- Etap “DC Arc flash Analysis”
- NFPA70 E 2018 “Table 130.7 (C)(15)(b)”
- TS EN 50110-1(2013)
- DGUV 203-077 (2021)