

Yüksek Gerilim Güç Sistemlerinde Ark Patlamalarının Modellenmesi ve Analizi *Modelling and Analysis of Arc Flash in High Voltage Power Systems*

Senih Erken¹, Özcan Kalenderli¹

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi
erkense@itu.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, IEEE 1584 standardı esas alınarak yüksek gerilim (YG) şebekeleri anahtarlama tesislerinde ortaya çıkabilecek ark patlaması enerji düzeyi hesaplamaları yapılmıştır. Neplan güç sistemi analiz yazılım programı ile oluşturulan örnek şebeke modeli üzerinde farklı arıza parametreleri kullanılarak ark patlaması analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlara göre personel güvenliğinin sağlanması amacıyla ark patlaması tehlike etiketleri, güvensiz çalışma bölgeleri ve NFPA 70E standardına bağlı olarak kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımlar (KKD'ler) belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: ark enerjisi, ark patlaması, ark patlamaları, güç sistemi analizi, IEEE 1584, NFPA 70E

Abstract

The occurrence of an electrical fault at the switchgears negatively affects the continuity of the electrical energy and leads to an inability of the end user to deliver the electrical energy in a healthy manner. One of the most devastating faults that cause electrical interruptions in power systems is arc failure in high voltage (HV) switchgears. In this study, arc flash energy level calculations were made in high voltage (HV) switching facilities based on IEEE 1584 standard. Arc flash analysis has been carried out using different fault parameters on the sample network model created with Neplan power system analysis software program. After the arc flash energy level is determined, arc flash hazard labels, unsafe working areas and personal protective equipment (PPE) which must be used in accordance with NFPA 70E standard have been identified.

Keywords: arc flash energy level, arc flash, power system analysis, IEEE 1584, NFPA 70E

1. Giriş

Elektriksel ark olayı ilk olarak İngiliz bilim adamı Sir Humphry Davy tarafından 1801 yılında keşfedilmiştir. Davy'e göre elektriksel ark genel olarak yüksek akım ve düşük gerilim ile karakterize edilmektedir [1]. IEEE

1584-2002 [2] standardında tanımlanan ark patlaması tehlikesi, bir elektrik ark arızasının neden olduğu enerjinin boşalması ile ilişkili olan tehlikeli bir durumu ifade etmektedir.

Ark genellikle elektrik akımı taşıyan iki elektrot arasındaki yalıtımın bozulmasıyla başlamaktadır. Bu sırada güçlü bir elektrik alan oluşur ve elektrotlar arasında elektron geçişleri başlar. Elektriksel ağaçlanmalar ile devam eden aşama sonucunda yalıtkan delinir ve elektriksel ark meydana gelir [3].

Güç sistemi şebekelerinin en önemli parçalarından birisi anahtarlama tesisleridir. Bu tesislerde meydana gelebilecek arızalar elektrik enerjisi tedarik sürekliliğini olumsuz etkilemekte ve son kullanıcılara elektriğin sağlıklı bir şekilde ulaşmamasına neden olmaktadır. Güç sistemlerinde kesintilere neden olan en yıkıcı arızalardan biri yüksek gerilim (YG) anahtarlama tesislerinde meydana gelen ark patlamalarıdır. Ark patlaması sırasında yoğun ısı ve ışık formunda büyük miktarda kontrol edilemeyen enerji ortaya çıkmaktadır. Ark patlaması, anahtarlama tesislerinde bulunan ekipmanlara zarar vermekte, elektrik kesintilerine yol açmakta ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca personeller için ciddi yanık tehlikesi (ölüme kadar giden) ve diğer birçok güvenlik tehlikesi oluşturmaktadır.



Şekil 1. Elektriksel ark olayı

Elektriksel ekipmanlardaki istenmeyen ark patlaması olayı aşağıdaki riskleri taşımaktadır [4]:

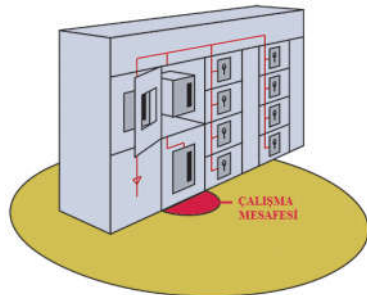
- 20.000 °K sıcaklığa kadar (güneş yüzey sıcaklığının yaklaşık 4 katı) ulaşabilen ısı enerjisi ile belirli uzaklıktaki personel üzerinde yanık oluşma riski ve ekipman üzerinde olumsuz etki,
- Metalin buharlaşması ve gaz hacminin hızlı bir şekilde artması sebebiyle oluşan basınç dalgasının kaplamalar ve çerçeveler üzerinde oluşturacağı bozucu kuvvet sonucu yerinden fırlayan parçalar sebebiyle yaralanma,
- Yüksek ses düzeyi yüzünden işitme kaybı (140 dB'e kadar ulaşabilen ses düzeyi).

Bu çalışmada, YG şebekeleri anahtarlama tesislerinde ortaya çıkabilecek ark patlaması enerji düzeyi hesaplamaları, IEEE 1584 standardı baz alınarak yapılmıştır. Güç sistemi analizi yapabilen Neplan paket yazılım programı kullanılarak oluşturulan örnek şebeke modeli üzerinde farklı arıza parametreleri kullanılarak ark patlaması analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlara göre personel güvenliğinin sağlanması amacıyla ark patlaması tehlike etiketleri, güvensiz çalışma bölgeleri ve NFPA 70E standardına bağlı olarak kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımlar (KKD'ler) belirlenmiştir.

2. Ark Patlaması Hesaplama Metodolojisi

Ark patlaması analizlerinin gerçekleştirilmesi için temelde iki hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler IEEE 1584:2002 ve NFPA 70E [5] standartları kapsamında belirtilmektedir. İlgili standartlarda geçen, ark patlaması hesabı ve kişisel koruyucu donanımların belirlenmesi için kilit önem taşıyan bazı terimler şu şekildedir:

- **Çalışma Mesafesi (Working Distance):** Çalışma mesafesi, personel ile ark patlaması olayının gerçekleştiği yüzey arasındaki mesafedir. Gerilim düzeyi arttıkça artan bu mesafe NFPA 70E dokümanında alçak gerilim panoları için 45,72 cm (18 inç), yüksek gerilim anahtarlama ekipmanları için 91,44 cm (36 inç) olarak tanımlanmıştır. Şekil 2'de personelin kol mesafesinde enerjili ekipmana ulaşabileceği mesafe tanımlanmaktadır.



Şekil 2. Ark patlaması çalışma mesafesi

- **Ark Patlaması Enerjisi (Incident Energy):** Ark patlaması enerjisi, ark patlamasının olduğu noktadan bir çalışma mesafesi kadar uzaklıktaki yüzeye aktarılan birim alan başına enerjidir. Ark patlaması enerjisinin birimi cal/cm^2 'dir. İnsan derisinde ikinci derece yanık oluşturabilecek ark patlaması enerjisi sınırı $1,2 \text{ cal/cm}^2$ olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1'de ark patlaması enerjisinin potansiyel zarar düzeyi gösterilmektedir.

Tablo 1. Ark patlaması enerjisi ve zarar düzeyi

Ark Patlaması Enerjisi [cal/cm^2]	Yanık Derecesi
1,2	Çıplak deride 2. derece yanık
4	Pamuk giysinin tutuşması
8	Çıplak deride 3. derece yanık

- **Kişisel Koruyucu Donanımlar - KKD (Personal Protective Equipment - PPE):** Kişisel koruyucu donanım, personelin olası ark patlaması tehlikelerinden korunması için kullanması gereken giysi, eldiven, yüz koruması ve gözlükleri tanımlamaktadır. Ark patlaması korumasının temel amacı vücut, kafa ve göğüs üzerinde oluşup ölüme sebebiyet verebilecek yanıklara engel olmaktır. Kol ve bacaklar ise diğer bölgelere oranla daha düşük ölüm potansiyeline sahip oldukları için ikincil bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Tablo 2'de NFPA 70E standardında belirtilen kişisel koruyucu donanım seviyelerini göstermektedir.

Tablo 2. NFPA 70E kişisel koruyucu donanım kategorileri

Kategori	Ark Patlaması Enerjisi [cal/cm^2]	Giysi
0	1,2	Erimeyen sıradan pamuk malzemeler
1	4	Aleve dayanıklı gömlek ve pantolon
2	8	Pamuklu iç çamaşırı, aleve dayanıklı gömlek ve pantolon
3	25	Pamuklu iç çamaşırı, aleve dayanıklı gömlek, pantolon ve tulum
4	40	Pamuklu iç çamaşırı, aleve dayanıklı gömlek, pantolon ve çift katmanlı mont ve pantolon

NFPA 70E, ark patlaması sınırının, ark patlaması kategorisinin ve KKD'lerin belirlenmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. NFPA 70E standardı baz alınarak yapılan ark patlaması enerji düzeyi hesaplamaları, kısa devre akımının 16 kA ile 50 kA arasında olduğu durumlarda daha doğru sonuçlar vermektedir.

IEEE 1584 standardı ile NFPA 70E'ye göre daha geniş kapsamdaki kısa devre akım seviyelerinde (0,7 kA ile 106 kA arasında) de ark patlaması enerji düzeyi hesaplamaları yapılabilmektedir. IEEE 1584 standardında hesaplamaların yapılabileceği sistem aralığı 0,208 – 15 kV olarak tanımlanmaktadır. 15 kV ve üstü gerilimlere sahip sistemlerde ise Lee [6] yönteminin indirgenmiş denklemleri kullanılmaktadır.

IEEE 1584 standardında ark patlaması hesaplamaları 2 temel aşamaya dayanmaktadır. İlk aşamada, koruyucu ekipmanların işletim sürelerinin bulunabilmesi için ark akımının (I_a) hesaplanması gerekmektedir. İkinci aşamada ise güvenli çalışma mesafesi ve gerekli KKD'lerin belirlenebilmesi için normalize ani enerji yoğunluğunun (E_n) ve açığa çıkan enerjinin (E) hesaplanması gerekmektedir. 15 kV ve üstündeki sistemlerde ark akımı ile 3 faz kısa devre akımı eşit kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak 15 kV ve üzerindeki sistemlerde açığa çıkan ark patlaması enerjisi (E) (1) numaralı denklem ile bulunmaktadır:

$$E = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_{bf} \times \left(\frac{t}{D^2}\right) \quad (1)$$

Burada;

- E : Ark enerjisi [J/cm²]
 I_{bf} : 3 faz arıza kısa devre akımı (simetrik RMS) [kA]
 V : Sistem gerilimi [kV]
 t : Ark süresi [s]
 D : Olası ark noktasından kişiye olan uzaklık [mm]

IEEE 1584 ve NFPA 70E standardında yer alan özellikler karşılaştırıldığında; kısa devre akım seviyesi daha geniş aralıklarda olan sistemlerde ark patlaması enerjisi hesaplamaları için daha doğru sonuçlar veren IEEE 1584 ile analizlerin yapılması uygun görülmüştür. Ark patlaması hesaplama metodolojisi belirlendikten sonra enerji düzeyi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

3. Ark Patlaması Enerji Düzeyi Hesaplamaları

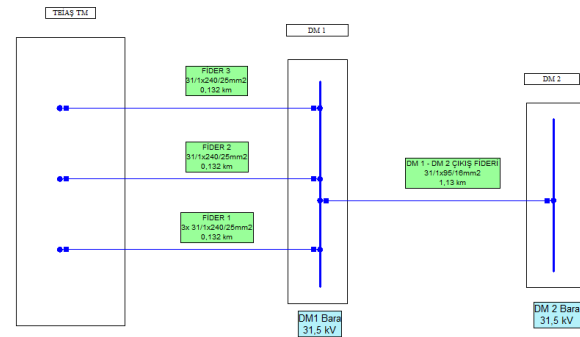
Ark patlaması enerji düzeyi hesaplamalarında kısa devre akımının büyüklüğü en önemli parametrelerden biridir. Yüksek gerilim (YG) dağıtım şebekesinde çıkabilecek olası ark patlaması enerjisinin hesaplanması ve enerji düzeyinin en kötü durumda hangi seviyelerde olduğunun belirlenmesi için kısa devre akımı yüksek olan bir TEİAŞ merkezi seçilmesi planlanmıştır. Bu anlamda,

TEİAŞ puant (yaz) yük şartlarında transformatör merkezleri yüksek gerilim baralarının üç faz kısa devre akımları tablosundan kısa devre akımı 16,2 kA olan transformatör merkezinin (TM'nin) seçilmesi uygun görülmüştür.

Belirlenen fider üzerinde ark patlaması analizlerinin yapılması için tek hat şeması hazırlanmıştır. Tek hat şeması üzerinden hatlarda, dağıtım merkezi (DM) içindeki baralarda ve ekipmanlarda çıkabilecek arızalar göz önünde bulundurularak kısa devre analizi gerçekleştirilmiştir. Kısa devre akımına bağlı olarak ark akımı belirlenmiştir. Sahadaki rölelerin ayar değerlerine bağlı olarak ark süresi hesaplanmıştır. (1) numaralı denklemi kullanarak hesap yapan Neplan yazılım programı ile meydana gelecek ark enerjisi hesaplanmıştır. Açığa çıkan ark enerjisine bağlı olarak çalışma yapacak işçinin kullanması gereken KKD düzeyi belirlenmiştir. Son olarak güvensiz çalışma bölgeleri ve ark patlaması tehlike etiketleri belirlenmiştir.

3.1. Sistem Tek Hat Şemasının Hazırlanması

Kısa devre ve ark patlaması analizleri tek hat şemaları üzerinden kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Şekil 3'te ark patlaması analizinin gerçekleştirileceği TEİAŞ TM çıkışından DM 2'ye kadar olan pilot şebeke tek hat şeması Neplan modeli gösterilmektedir.



Şekil 3. Pilot şebeke tek hat şeması Neplan modeli

TEİAŞ TM'den 3x1x240/25 mm² kesitli kablolarla çıkan Fider-1, Fider-2 ve Fider-3 çıkışları 0,132 km uzaklıktaki DM 1'i enerjilendirmektedir. Yaklaşık 1,13 km uzaklıktaki DM 2 ise DM 1'den çıkan 3x1x95/16 mm² kesitli kablo ile enerjilendirilmektedir.

Pilot şebekede TEİAŞ TM'nin içerisinde 3 adet, 154/31,5 kV gerilim düzeyinde ve 100 MVA gücünde güç transformatörü bulunmaktadır. DM 1 dağıtım merkezinin 3 adet giriş ve 5 adet çıkış hücresi bulunmaktadır. İçerisinde 31,5/0,4 kV, 400 kVA dağıtım transformatörü yer almaktadır. Bunlara ek olarak kapasitörlerin bağlı olduğu çıkış hücresi bulunmaktadır. DM 2 dağıtım merkezinin yapısı gösterilmektedir. DM 1 dağıtım merkezi, tek bara yapısındaki DM 2'yi enerjilendirmektedir. DM 2 dağıtım merkezinin 4 adet çıkışı bulunmaktadır ve içerisinde 31,5/0,4 kV, 630 kVA dağıtım transformatörü yer almaktadır. DM 1 ve DM

2'nin içerisinde bulunan kesicilerin anma akımları (I_r) 630 A ve kısa devre dayanımları (I_k'') 16 kA'dır. Benzer şekilde ayırıcıların anma akımları (I_r) 630 A ve kısa devre dayanımları (I_k'') 16 kA'dır.

3.2. Kısa Devre Analizi

Ark patlaması analiz hesaplamalarında sadece 3 faz arızalar göz önünde bulundurulmaktadır. Hesaplamaların sadece 3 faz arızalarda yapılmasının nedenlerinden bazıları şunlardır:

- 3 faz arızalar genellikle en kötü durumu belirtmektedir. Ayrıca yüksek kısa devre enerjisi ortaya çıkarmaktadır.
- Faz – toprak arasında başlayan ark arızası havanın iyonize olmasıyla birlikte fazlar arasında yoğunlaşarak 3 faz arızasına dönüşebilmektedir.

TEİAŞ TM barasında, fider çıkışlarında, DM baralarında ve çıkışlarında ve hat sonunda kısa devre arızaları oluşturularak kısa devre akımları belirlenmiştir. Belirlenen arıza noktaları için yapılan kısa devre analizinin sonucunda 3 faz arıza akım ve güç değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. 3 faz arıza akımları ve güçleri

Arıza Noktası	I_k'' [kA]	S_k'' [MVA]
TEİAŞ TM Bara 2	14,168	772,993
TEİAŞ TM Fider Çıkışları	14,163	772,810
DM 1 Bara	14,091	768,797
DM 1 – DM 2 Çıkışı	14,089	768,691
DM 2 Bara	12,025	656,107
DM 2 – Çıkış 1	12,024	656,015
Çıkış 1 – Hat Sonu Bara	7,437	406,749

Tablo 3'te görüldüğü üzere, TEİAŞ TM barasında meydana gelebilecek arıza sırasında 14,168 kA arıza akımı ortaya çıkarken; DM 1 barasında 14,091 kA ve DM 2 barasında 12,025 kA arıza akımı oluşmaktadır.

3.3. Ark Akımının Belirlenmesi

15 kV'nin üstündeki sistemlerde ark akımı (I_a) 3 faz arıza akımına eşit olmaktadır. Pilot şebekede gerilim düzeyi 15 kV'un üzerinde olduğundan (31,5 kV) oluşacak ark akımı kısa devre analizi ile bulunan 3 faz arıza akımına eşit alınmıştır. Yazılım programıyla yapılan analizlerde de ark akımının 3 faz arıza akımına eşit olduğu görülmüştür. Tablo 4'te arıza noktalarına göre belirlenen ark akımları belirtilmektedir.

Tablo 4. Arıza noktalarına göre ark akımları

Arıza Noktası	I_a [kA]
TEİAŞ TM Bara 2	14,168
TEİAŞ TM Fider Çıkışları	14,163
DM 1 Bara	14,091
DM 1 – DM 2 Çıkışı	14,089
DM 2 Bara	12,025
DM 2 – Çıkış 1	12,024
Çıkış 1 – Hat Sonu Bara	7,437

3.4. Ark Akımının Belirlenmesi

Ark patlaması sırasında ortaya çıkacak ark enerjisi; ark akımı ve ark süresiyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Ark süresinin belirlenmesi için sahadaki koruma ekipmanlarının (röle, kesici gibi) ayar değerlerinin ve açma sürelerinin bilinmesi gerekmektedir.

Tablo 5. DM 1 için röle bilgileri

TEİAŞ TM	DM 1		Aşırı Akım	
	ATO	Röle	$I >>$	tç
TEİAŞ TM	600/5 A	Röle 1 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,30 Eğ.
DM 1 DM 2 ÇIKIŞI	400/5 A	Röle 2 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,25 Eğ.
DM 1 ÇIKIŞ 2	600/5 A	Röle 3 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,25 Eğ.
DM 1 ÇIKIŞ 3	600/5 A	Röle 4 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,25 Eğ.
DM 1 ÇIKIŞ 4	600/5 A	Röle 5 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,25 Eğ.
DM 1 ÇIKIŞ 5	300/5 A	Röle 6 Normal Ters	0,0*Iç 0,00 s	0,25 Eğ.

Tablo 5'te DM 1 için röle ayar değerleri verilmiştir. Mevcut rölelerin normal ters karakteristik eğrisine sahip oldukları görülmektedir.

DM 1'in içerisinde yer alan aşırı akım koruma röleleri ayar değerleri pilot bölge modelinde tanımlanmıştır. DM 2 için de benzer şekilde röle ayar değerleri Neplan yazılım programında tanımlanmış, bara ve çıkışlarda 3 faz kısa devre arızası oluşturularak ark patlaması analizi yapılmış ve ark süreleri belirlenmiştir. Ayrıca pilot şebeke için kesici açma süreleri 60 ms olarak tanımlanmıştır.

Belirlenen arıza noktaları üzerinde ark patlaması analizi yapılarak rölelerin sinyal süreleri ve kesicilerin açma süresine bağlı olarak ark süreleri Tablo 6'daki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 6. Arıza noktalarına bağlı olarak hesaplanan ark süreleri

Arıza Noktası	Ark Süresi [s]
TEİAŞ TM Fider Çıkışları	0,708
DM 1 Bara	1,060
DM 1 – DM 2 Çıkışı	0,535
DM 2 Bara	0,557
DM 2 – Çıkış 1	0,426
Çıkış 1 – Hat Sonu Bara	0,150

3.5. Açığa Çıkan Enerjinin Belirlenmesi

Ark akımı ve ark süresi belirlendikten sonra açığa çıkacak olan ark enerjisi hesaplanmıştır. Baralar ve hat çıkışları üzerinde oluşacak ark enerjisi ark akımına, ark süresine, olası ark noktasından kişiye olan uzaklık (kol mesafesi olan 460 mm'den başlayarak artmaktadır) ve ekipmanın cinsine göre hesaplanmıştır. Tablo 7, çalışma mesafelerine bağlı olarak arıza noktasında açığa çıkan enerji miktarını göstermektedir.

Tablo 7. Röle ayar değerleri ile çalışma mesafesine bağlı olarak arıza noktalarında açığa çıkan ark enerjisi

Arıza Noktası	U_n [kV]	I_a [kA]	Ark süresi [s]	Çalışma Mesafesi [mm]	Açığa Çıkan Enerji [cal/cm ²]
TEİAŞ Fider Çıkışları	31,5	14,163	0,708	460	763,723
	31,5	14,163	0,708	610	434,302
	31,5	14,163	0,708	760	279,785
	31,5	14,163	0,708	910	195,150
DM 1 Bara	31,5	14,091	1,060	460	1137,856
	31,5	14,091	1,060	610	647,058
	31,5	14,091	1,060	760	416,846
	31,5	14,091	1,060	910	290,750
DM 1 – DM 2 Çıkışı	31,5	14,089	0,535	460	574,142
	31,5	14,089	0,535	610	326,494
	31,5	14,089	0,535	760	210,333
	31,5	14,089	0,535	910	146,708
DM 2 Bara	31,5	12,025	0,557	460	510,346
	31,5	12,025	0,557	610	290,215
	31,5	12,025	0,557	760	186,962
	31,5	12,025	0,557	910	130,406
DM 2 – Çıkış 1	31,5	12,024	0,426	460	390,437
	31,5	12,024	0,426	610	222,028
	31,5	12,024	0,426	760	143,034
	31,5	12,024	0,426	910	99,766
Hat Sonu Bara	31,5	7,437	0,150	460	84,959
	31,5	7,437	0,150	610	48,313
	31,5	7,437	0,150	760	31,124
	31,5	7,437	0,150	910	21,709

TEİAŞ TM kısa devre gücünün çok yüksek olması sebebiyle çıkış fiderlerinin üzerinde çıkacak bir arızada açığa çıkacak olan ark enerjisi yaklaşık 764 cal/cm² olmaktadır. DM 1'in barasında çıkacak bir arızada açığa çıkacak olan ark enerjisi yaklaşık 1138 cal/cm² olmaktadır. Çalışma mesafesi 910 mm'lerde (stanka gibi ekipmanların kullanılması) iken bile maruz kalınacak ark enerjisi 290 cal/cm² düzeyinde olmaktadır.

3.6. Kişisel Koruyucu Donanımların Belirlenmesi

Ark patlaması analizlerinde açığa çıkan ark enerjisi hesaplandıktan sonra çalışmayı yapacak personelin kullanması gereken kişisel koruyucu donanımların (KKD) düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Seçilen pilot bölge üzerinde yapılan ark patlaması analizi sonucunda mevcut durumda ortaya çıkacak enerji düzeyine göre kullanılması gereken kişisel koruyucu donanım düzeyi belirlenmiştir. Mevcut durumda açığa çıkan ark enerjisi çok yüksek değerlerde olduğu için DM 1 ve DM 2 için herhangi bir KKD kategorisi belirlenmemiştir. Bu DM'lerin içerisine enerjili iken herhangi bir şekilde girilmesinin mümkün olmadığı görülmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde sadece Çıkış 1'in hat sonundaki barasında 760 mm çalışma mesafesinde 4. kategori KKD ve 910 mm çalışma mesafesinde 3. kategori KKD kullanılarak mevcut baraya enerjili durumdayken yaklaşılabilirliği söylenebilmektedir.

3.7. Güvensiz Çalışma Bölgelerinin Belirlenmesi

Güvensiz çalışma mesafesi, yetkin (kalifiye) veya yetkin olmayan herhangi bir personelin KKD olmadan enerjili çalışma noktasına yaklaşabileceği maksimum mesafedir. Bu mesafe ekipmanın gerilim düzeyi ile birlikte mevcut arıza akımı, koruma ekipmanının devreye girip arızayı temizleme süresi gibi farklı parametrelere de bağlıdır.

Ark patlaması analizleri sonucunda güvensiz çalışma bölgeleri (ark patlaması koruma sınırı) belirlenmiştir ve Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Açığa çıkan enerjiye bağlı olarak belirlenen ark patlaması koruma sınırı

Arıza Noktası	Açığa Çıkan Enerji [cal/cm ²]	Ark Patlaması Koruma Sınırı [cm]
TEİAŞ TM Fider Çıkışları	763,723	1163,273
DM 1 Bara	1137,856	1419,899
DM 2 Bara	510,346	950,925
Çıkış 1 – Hat Sonu Bara	84,959	387,989

Tablo 8 incelendiğinde, yetkin veya yetkin olmayan herhangi bir personelin KKD olmadan DM 1 barasına yaklaşık 14 m uzakta durması gerektiği görülmektedir. Hat sonu barasına ise yaklaşık 4 m uzaklıkta durulması gerekmektedir.

3.8. Ark Patlaması Tehlike Etiketlerinin Belirlenmesi

Ark patlaması hesaplamalarının bir çıktısı olarak “Tehlike Uyarı” işaretleri belirlenmektedir. Sahada çalışacak personelin ark patlaması tehlike etiketlerini dikkate alarak uygun kişisel koruyucu donanımları (KKD) giymesi gerekmektedir. KKD düzeyi belirlenemeyen dağıtım merkezlerine enerji altında iken yaklaşılması gerekmektedir.

Şekil 4’te DM 1 için oluşturulan örnek tehlike etiketi görülmektedir.



Şekil 4. DM 1 için örnek tehlike etiketi

4. Sonuçlar

Yüksek gerilim elektrik dağıtım şebekesinde çıkabilecek ark patlaması enerjisi için en kötü durumda enerji düzeyinin hangi seviyelerde olduğunu belirleyebilmek için kısa devre akımı yüksek olan bir TEİAŞ merkezi seçilmesi planlanmıştır. Ark patlaması analizleri kapsamında TEİAŞ TM’den seçilen pilot bölgede yapılan ark patlaması analizi sonuçları incelendiğinde; mevcut koruma koordinasyonu ile açığa çıkan enerji miktarının çok yüksek olduğu belirlenmiştir. DM 1’in barasında çıkacak bir arızada açığa çıkacak olan ark enerjisi yaklaşık 1138 cal/cm² olurken, DM 2’nin barasında meydana gelecek bir arızada açığa çıkacak olan ark enerjisi 510 cal/cm² civarında olmaktadır. Mevcut ekipman ve röle ayar değerleriyle DM 1 ve DM 2’nin içerisine enerjili durumda herhangi bir şekilde girilmemesi gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar ve analizler sonucunda ark patlaması olayının can ve mal güvenliği açısından çok

tehlikeli sonuçlar doğurabileceği görülmüştür. Bu kapsamda ark patlaması analizlerinin bütün TEİAŞ TM’lerde ve dağıtım merkezlerinde gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu sayede personel, uygun KKD ekipmanlarını giyebilecek ve röle ayar değerleri ile de şebeke ekipmanlarına minimum zarar gelmesi sağlanabilecektir. Ayrıca merkezlere ark patlaması uyarıları etiketlerinin yerleştirilmesi gerek personeller gerekse diğer varlıklar için önem arz etmektedir.

Ark patlaması enerjisini azaltmak için alçak gerilim kesici tasarımı [7] ve termik manyetik şalter ile seri akım sınırlayıcı sigorta [8], özellikle modüler DM’ler için optik röle [9] uygulaması, ark dirençli anahtarlama ekipmanlar [10], sağlıklı röle koordinasyonu, koruma ekipmanı ayarlarının geçici operasyon moduna getirilmesi, dirençli topraklama sistemleri ve sistemi çok hızlı bir şekilde topraklayan aktif ark söndürücü sistemler [11] önerilmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] The Columbia Electronic Encyclopedia (2001). 6th edition, Columbia University Press.
- [2] IEEE 1584 (2002). IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations.
- [3] Lang, M., Neal, T. (n.d.). *Arc Flash Basics: Testing Update*. Retrieved February 28, 2017, from http://www.plantservices.com/assets/knowledge_centers/ferraz_shawmut/assets/wp_arc_flash_basics_testing_update.pdf
- [4] Brown, B. (n.d.). *Section 12: Arc Flash Hazard Considerations*. Retrieved January 14, 2016, from http://static.schneiderelectric.us/assets/consultingenineer/appguidedocs/section12_0307.pdf
- [5] NFPA 70E (2004). *Standard for Electrical Safety in the Workplace*.
- [6] Ralph, H. L. (1982). The Other Electrical Hazard - Electric Arc Blast Burns. *Paper IPSD 81-55 Industry Application Society Annual Meeting, Philadelphia, PA*.
- [7] Brown, W. A., Shapiro, R. (2006). A Comparison of Arc-Flash Incident Energy Reduction Techniques Using Low-Voltage Power Circuit Breakers, *IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*.
- [8] Parsons, A. C. (2004). Arc-flash Energy Calculations for Circuit Breakers and Fuses, *TX: Square D/Schneider Electric Engineering Services, Austin*.
- [9] Das, J. C. (2012). Arc Flash Hazard Analysis and Mitigation. *Wiley-IEEE Press, 644 pages*.
- [10] IEEE Std. c37.20.7 (2007). IEEE Guide for Testing Metal-Enclosed Switchgear Rated up to 38 kV for Internal Arcing Faults.
- [11] Ultra-Fast Earthing Switch, ABB AG, Calor Emag Medium Voltage Products.