

# Elektrikli Kapsüllerin Güvenli Olarak Ateşlenmesi İçin Bazı Detaylar

## *Details For Firing Electrical Detonators Safely*

Ümit Kılıç

(Nitrokimya Kimya San. Müh. Ürt. Paz. İnş. ve Tic. A.Ş.)

A. Timur Bağcaz

(MKE Kapsül Fabrikası Müdürlüğü)

**ÖZET** Tüm patlayıcı maddelerde olduğu gibi Elektrikli Kapsüllerinde kullanılması sırasında rutin gerekli güvenlik önlemlerini almak tek başına kazaları önleme konusunda yeterli olamamaktadır. Kullanılan ürünün teknik özelliklerini ve potansiyel tehlikelerini iyi anlamak daha güvenli bir çalışma ortamı yaratmaya katkı yapacaktır.

Bu bildiriye yaygın olarak kullanılan ve hala hatalı kullanımdan kaynaklı kazalara neden olan elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi ile ilgili bazı detaylara değinilmiş ve daha güvenli kullanımı için bilinmesi gerekli teknik bilgiler verilmiştir.

**ABSTRACT** Like all explosive materials routine safety regulations aren't enough to prevent accidents. Understanding their technical specifications and potential hazards will help us to create safer working conditions.

In this paper some useful technical knowledge and details for safe firing electrical detonators which are still used too much in the explosive market are covered.

## 1 GİRİŞ

Patlayıcı maddeleri güvenli bir şekilde ateşlemek için yapılan çalışmalar neticesinde 1800'lü yılların ikinci yarısından sonra ortaya çıkarılan elektrikli kapsüller hala yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk kullanımından bugüne kadar yapısında çeşitli değişiklikler yapılarak daha güvenli ve verimli hale getirilmesine rağmen günümüzde kullanım sırasında yapılan hatalar istenmeyen kazalara neden olmaktadır. Ülkemizde elektrikli kapsüllerin kullanımı sırasında meydana gelen ölümlü kaza sayısı azımsanmayacak düzeydedir ve bunların çoğu devrenin patlamaması üzerine kontrol sırasında oluşan kazalardır. Bu nedenle diğer patlayıcılarda olduğu gibi elektrikli kapsülleri iyi tanımak, potansiyel risklerini bilerek bilinçli hareket etmek bu

ürünlerin kullanımından kaynaklı kazaları en aza indirmeye katkı yapacaktır.

### 1.1 Elektrikli Kapsül Tipleri

Elektrikli kapsüllerin kullanımı sırasında kazara ateşlenmesinden kaynaklı kazalar nedeniyle zaman içerisinde duyarlılıkları azaltılarak değişik türlere ayrılmış ve bugün bu şekilde kullanıma sunulmaktadır. Kibritbaşı direnci değiştirilerek duyarlılıkları kontrol edilen elektrikli kapsüller genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

- I. Hassas (Sensitive) elektrikli kapsüller
- II. Duyarsız (insensitive) kapsüller ve
- III. Çok duyarsız (high insensitive) kapsüller.

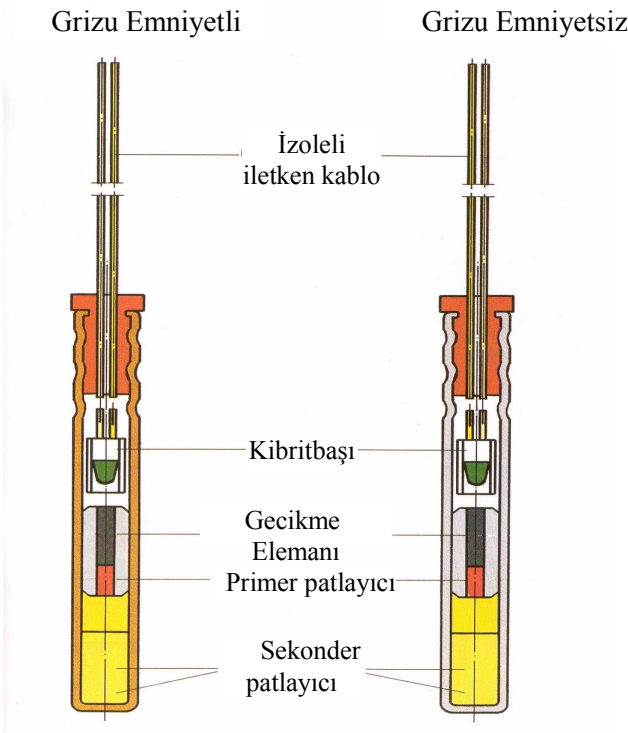
Bu sınıflamada I. Gruptaki kapsüller her türlü elektriksel tehlikeye açıktır. Oysa II. Gruptaki kapsüller belli değerlere kadar statik elektriğe dirençlidir. III. Gruptaki kapsüller ise elektriksel yüklü atmosferik

koşullarda, demiryollarının ya da yüksek gerilim hatlarının yakınlarında ve vericilerin yakınlarında kullanılırlar (kaynak no:12, Sayfa:7).

Bu sınıflama, değişik ülkelerdeki üreticilerin ürettiği elektrikli kapsüllere farklı isimler verilerek yapılmıştır. Örneğin Almanya'da hassas kapsül grubundaki kapsüllere A Tipi kapsül denirken Avusturyalı Schaffler firması da bu gruptaki kapsülleri A Tipi kapsüller olarak adlandırmıştır. Duyarsız kapsüller grubu Almanya'da U Tipi (unempfindlich) olarak bilinirken Schaffler firması bu grubu F Tipi (Fiduz) olarak sunmuştur. Çok duyarsız grup ise Almanya'da HU Tipi (hochunempfindlich) olarak bilinirken Scaffler firması bu grubu P Tipi (Polex) olarak isimlendirmiştir. (kaynak no:12, Sayfa:7)

## 2 ELEKTRİKLİ KAPSÜLLERİN YAPISI

Kaynaklarda basitçe anlatılan elektrikli kapsüllerin üretimi, çok zahmetli ve hassas bir konudur. Kullanılan yerin özelliği ve amaca göre gecikmeli, gecikmesiz, alüminyum kovanlı, bakır kovanlı vb. türleri olan olan bu ürünlerin tipik yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



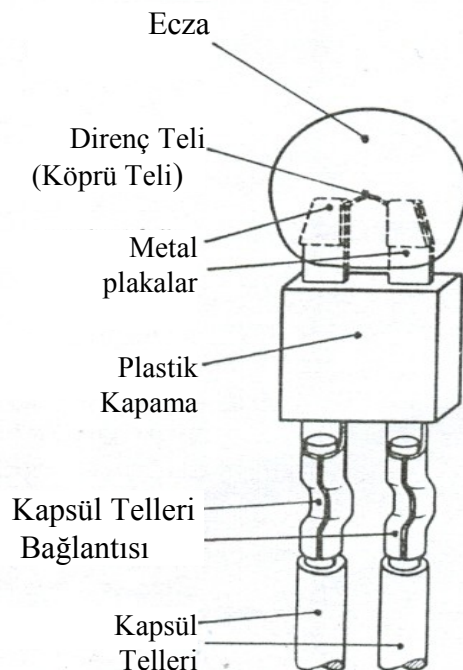
Şekil 1. Elektrikli Kapsüllerin Yapısı (9)

## 2.1 Kapsül Kovanı

Kapsüle ait tüm yapıyı içinde barındıran kovan alüminyum veya bakırdan yapılır. İkisinde işlevleri aynı olmasına karşın aralarındaki fark bakır kovanlı kapsüllerin grizulu, gazlı ocaklarda kullanılmasıdır. Bunun sebebi ise kapsülün ateşlenmesi sonrasında bakırın reaksiyona girmemesi ve çabuk soğumasıdır. Alüminyum ise patlatma endüstrisinde enerjiyi artıran bir yakıt olarak kullanılır. Dolayısıyla ateşlenme sonrası alüminyum kovan reaksiyonu devam ettirir ve sıcak akkor halini bir müddet daha korur. Örneğin, metanın patlayabilmesi için 650°C ısıya 10sn süre maruz kalması yeterlidir. (4). Dolayısıyla ateşlendikten sonra bakır kapsüller çabuk soğuyarak metana patlama fırsatı vermezken alüminyum kovanlı kapsüller bu riske açıktır.

## 2.2 Kibritbaşı

Elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi ile ilgili en önemli yapı olan kibritbaşı iki metal plaka ve bunları birbirine bağlayan krom-nikel köprü telin bir ecza ile kaplanması ile üretilmektedir. Ama bu iş görüldüğü kadar kolay değildir çünkü aradaki köprü telinin direnci kapsülün direnç grubunu tayin etmektedir. Kibritbaşının yapısı Şekil-2'de verilmiştir.

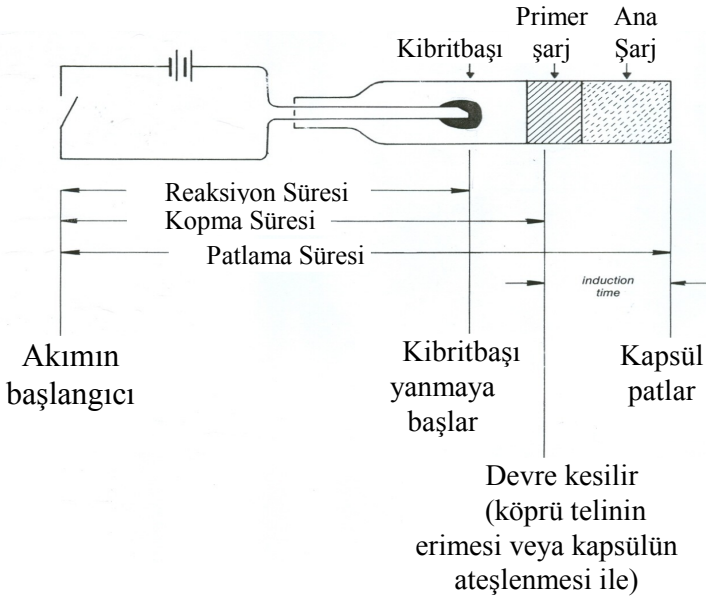


Şekil 2. Kibritbaşının Şekli (12)

### 3 ELEKTRİKLİ KAPSÜLLERİN ATEŞLENME SÜRELERİ

Elektrikli kapsüller, elektrik enerjisinin uygulanmasını takiben köprü telin ısınarak kendisini kaplayan eczayı ateşlemesi ve yanan eczanın da gecikme elemanını veya birincil şarjı ateşlemesi sonucu ana şarjın patlaması prensibine göre çalışırlar.

Yukarıdaki paragrafta anlatılan adımların aynı anda olamayacağı ve her bir adımın belirli süreye ihtiyaç duyacağı açıktır. Tüm bu süreler, kapsüllerin güvenli ateşlenmesi açısından önemli olup Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Elektrikli kapsüllerin ateşlenme süreleri (Kaynak no:5, sayfa:4)

#### 3.1 Reaksiyon Süresi (Reaction Time)

Enerjinin verilmesi ile kibritbaşının ateşlenmesi arasındaki zaman dilimini ifade eder. Kibritbaşındaki direnç telinin ısınarak kendini çevreleyen eczayı başlatabilmesi için belirli miktarda akımın belirli bir süre direnç telinden geçirilmesi gerekir. Sistemden geçen akımın belli bir ısı değerine ulaştığı köprü teli, enerji kotasını dolduran eczayı ateşler. Bu sırada ihtiyaç duyulan zaman dilimi genellikle birkaç milisaniyeye karşılık gelir. Dynamit Nobel firması, A-tipi kapsüller (1-2ohm kibritbaşı direncine sahiptirler) için bu süreyi 1A akım koşullarında 2ms olarak vermektedir. (kaynak no:3, Sayfa:13). Bu firma, aynı tip kapsülün reaksiyon süresinin, 3A akım koşullarında, 1ms civarına düştüğünü

bildirmektedir. Kapsüllerin reaksiyon süreleri üretim sapmalarından dolayı çok küçük değişiklikler gösterir. Sisteme uygulanan akım büyüdükçe bu süre azalmaktadır ama ark yapma riskine dikkat etmek gerekir.

#### 3.2 Kopma Süresi (Lag Time)

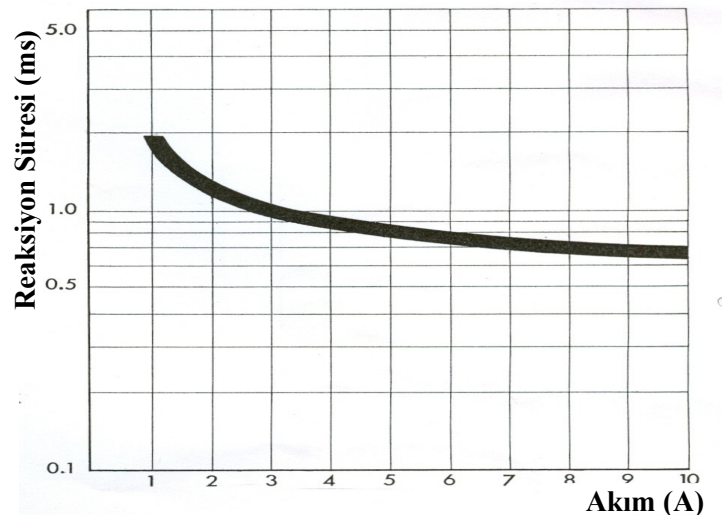
Akımın ilk uygulanmaya başlaması ile devrenin kesilmesi arasındaki zaman dilimini tanımlar. Devrenin kesilmesi birincil şarjın ateşlenmesi ya da köprü telinin erimesi ile meydana gelir.

#### 3.3 Patlama Süresi (Bursting Time)

Akımın ilk uygulanmaya başlaması ile kapsülün ateşlenmesi arasındaki zaman dilimini tanımlar. Bu süre hemen hemen lag time'a eşit ya da çok küçük bir süre fazla olabilir.

#### 3.4 Akım Şiddeti-Ateşlenme Süresi İlişkisi ve Önemi

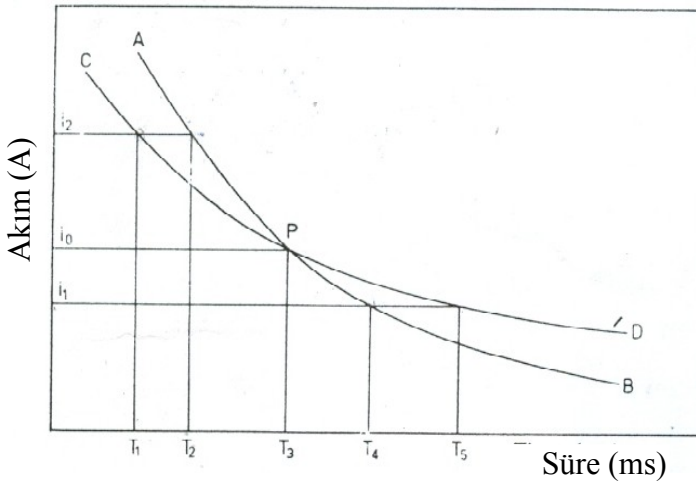
Elektrikli kapsüldeki kibritbaşını ateşleyecek yeterli ısı miktarını oluşturmak için belli bir şiddetteki akımın belli bir süre sistemde tutulmasının gerektiği yukarıda açıklanmıştır. Eğer bu akım değeri yüksek taraftaysa kibritbaşı daha çabuk ısınır ama düşük taraftaysa daha uzun süreye ihtiyaç duyar. Alman Dynamite Nobel firması bu ilişkiyi aşağıdaki grafikte vermiştir:



Şekil 4. Akım ve Reaksiyon süresi arasındaki ilişki (Kaynak no:3, sayfa:13)

Grafikte görüldüğü gibi A-Tipi kapsüller için reaksiyon süresi, 1-A akım uygulandığında 2-ms civarındadır. 3-A akım uygulandığında ise bu süre 1-ms civarına düşmektedir. Aradaki bu fark çok az görülebilir ancak fazla sayıdaki gecikmesiz elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi sürecinde önemli rol oynar. Eğer yetersiz akım uygulanırsa devredeki kapsüllerin bir bölümü erken ateşlenecek ve devreyi koparacaktır ki bu durumda henüz enerji kotasını dolduramamış olan kapsüller patlamayacaktır.

Herhangi bir elektrikli kapsül devresinde, güvenli bir ateşleme için en büyük reaksiyon süresi en küçük kopma süresinden büyük olmalıdır.(kaynak no:5, Sayfa:6). Bunun anlamı şudur; devredeki herhangi bir kapsülün ateşleme veya direnç telinin erimesi nedenleri ile devreyi kesmesinden önce sistemdeki tüm kapsüllerin eczalarını yakmış olmaları gerekir. Örneğin ICI firması ürettiği elektrikli kapsüllerin ateşlenme özelliklerini Şekil 5'deki grafikte vermektedir.

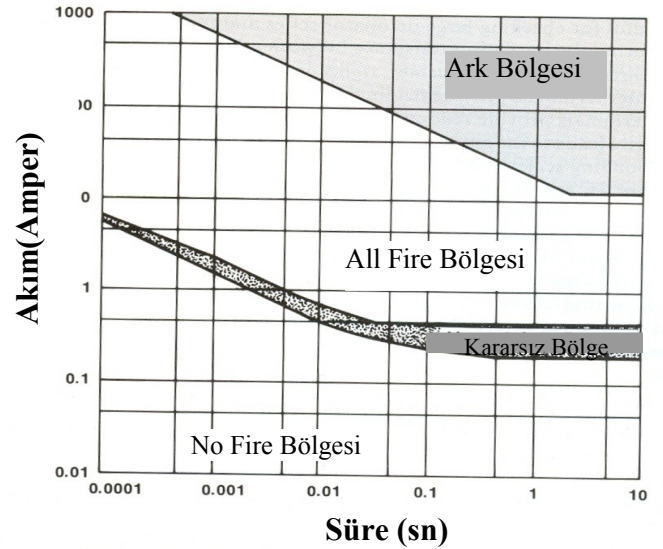


Şekil 5. ICI firmasının ürettiği elektrikli kapsüllerin ateşlenme karakteristiklerini gösterir grafik (Kaynak no:5, sayfa:7)

Bu grafikte APB eğrisi akım-minimum kopma süresi ilişkisi, CPD eğrisi ise akım-maksimum reaksiyon süresi arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. I-1 akım değerini dikate alacak olursak bu akım değerinde en hassas kapsül devreyi T-4 milisayine sonra

kesecektir. Oysa hassaslığı en az olan kapsül I-1 akım değerine en azından T-5 milisaniye ihtiyaç duyacaktır. Daha büyük bir akım değeri için, I-2, hassaslığı en az olan kapsülün reaksiyon süresi T-1, en hızlı ateşlenen kapsülün kopma süresi olan T-2'den daha küçüktür. Bunun anlamı, I-2 akım değerinde hassaslığı en fazla olan (en önce ateşlenen) kapsül kopma süresini doldurup devreyi kesmeden önce tüm kapsüller yeterli akım kotalarını doldurarak kibritbaşlarını yakmış olacaklardır ki bu durumda devredeki tüm kapsüller ateşlenmiş olacaktır. I-1 ve I-2 akım değerlerinin arasında bir yerde her iki eğrinin kesiştiği noktadaki akım değeri I-0, ilgili seri bağlı devrenin minimum akım değerine karşılık gelir. Pratikte bu değer aynı tip tek kapsülün minimum ateşlenme akım değerinden daima büyüktür. (kaynak no:5, Sayfa:7)

Explosives and Rock Blasting adlı kitapta verilmiş olan Atlas Powder Company firmasının ürettiği elektrikli kapsüller için akım ve ateşlenme süresi ilişkisini aşağıdaki grafikte görülmektedir:



Şekil 6. Atlas elektrikli kapsüllerin ateşlenme karakteristikleri (Kaynak no:1, sayfa:135)

Bu grafikte 4 bölge yer almaktadır.

1. **No Fire Bölgesi:** Bu bölgede, akım-süre ilişkisi kibritbaşını ateşleyecek enerjiyi geliştirememektedir.
2. **Kararsız Bölge:** Bu bölgede akım-süre kombinasyonu kibritbaşını ateşleyecek kadar enerjiyi üretebilir



de üretmeyebilirde. Kesin yargı konamaz.

3. **All Fire Bölgesi:** Bu bölgeye düşen akım-süre kombinasyonları kibritbaşını güvenli olarak ateşlerler. Elektrikli kapsüllerin kesin ateşleme akımı bu bölgede kalmalıdır.
4. **Ark Bölgesi:** Bu bölge, elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi sırasında hiç istenmeyen bir problem olan ark sorununa neden olabilecek akım-süre ilişkisini göstermektedir.

Yukarıda çeşitli firmaların kendi ürettiği kapsüller için vermiş olduğu ateşlenme süreleri-akım değerlerine ilişkin yorumları, tüm elektrikli kapsüller için genellemek yanlış olmaz.

#### 4 KAPSÜLLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE ANLAMLARI

Elektrikli kapsüller, yeterli miktarda ve sürede uygun akıma maruz kaldığında güvenli bir şekilde ateşlenirler. Bu değerler çeşitli kapsül tipleri için değişiktir. Tablo-1'de Alman Dynamit Nobel firmasının kapsüllerine ait ateşlenme enerjisi verileri görülmektedir. Bu değerlerden A-Tipi kapsüllere ait veriler, ülkemizdeki MKE Kapsül Fabrikası'nda üretilen elektrikli kapsüllerinki ile aynıdır.

Tablo 1. Kapsül tiplerine göre ateşlenme değerleri (Kaynak no:3, Sayfa:15)

Kapsül Tipi	Kibritbaşı Direnci (ohm)	No Fire (A)	All Fire (A)	Ateşlenme İmpulsı (mJ/ohm)
<b>A-Tipi</b> Hassas Kapsül	0,9-1,6	0,18	0,8	3
<b>U-Tipi</b> Duyarsız Kapsül	0,5-0,9	0,45	1,5	16
<b>HU-Tipi</b> Çok Duyarsız Kapsül	0,1-0,2	4	25	2500

#### 4.1 Kesin Ateşlenme Akım Değeri (All Fire)

Elektrikli kapsüller, belli bir şiddette akıma maruz kaldıklarında kesin patlarlar. Kesin Ateşlenme Akım değeri olarak bilinen bu değer A-Tipi kapsüller için 0,8-A'dir. Çeşitli kapsül tipleri için bu değer Tablo-1'de verilmiştir.

#### 4.2 Kesin Ateşlenmeme Akım Değeri (No Fire)

Ateşlenmenin kesinlikle olmayacağı akım değerini ifade eder. Ülkemizde kullanılan A-Tipi kapsüller için bu değer doğru akım için 300sn'ye kadar 0,18-A olup diğer kapsül tipleri için bu değer Tablo-1'de verilmiştir. Burada önemli nokta, bu değerinde belli bir süreyle sınırlı olduğudur.

#### 4.3 Ateşleme İmpulsı (Firing Impulse)

Ateşleme Enerjisi aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$E = V * I * t$$

E: Ateşleme Enerjisi (Joule veya watt-saniye)

V: Voltaj (Volt)

I: Akım (Amper)

t: Süre (Saniye)

Bununla birlikte Ateşleme Enerjisi kapsüllerin hassaslık derecesi konusunda bir fikir vermez. Çünkü ateşlenme enerjisinin büyük kısmı kapsül kabloları, uzatma kabloları, bağlantı kabloları tarafından tüketilir ve az bir kısmı kibritbaşını ateşlemek için kullanılır. Bu nedenle devre direncinin bir ohm'u başına gerekli ateşleme enerjisini ifade eden Ateşleme İmpulsı'nı belirlemek gerekir:

$$K = E/R = I^2 * t$$

K= Ateşleme İmpulsı (mJ/ohm veya mWs/ohm)

Ateşleme İmpulsı, elektrikli kapsüllerin hassaslığının göstergesidir. Düşük hassasiyete sahip kapsüller için yüksek ateşleme impulsı gereklidir. (kaynak no:12, Sayfa: 12-13)

#### **4.4 Kapsül Tiplerine Göre Ateşleme Akım Değerleri**

Yukarıdaki paragrafta açıklandığı gibi değişik tipteki elektrikli kapsüllerin ateşlenebilmesi için gerekli akım değeri de doğal olarak farklı olacaktır. Örneğin, Orta Avrupa'da en çok kullanılan 3 tip kapsülün ateşleme impuls değerleri yaklaşık 1:100:10000 oranına göre verilmiştir. (kaynak no:12, Sayfa:13). Tablo-1'de değişik elektrikli kapsül tiplerinin hangi akım değerine ihtiyaç duyacağı verilmiştir.

#### **4.5 Bu Değerler Neden önemlidir?**

Üreticiler tarafından kataloglarda verilen bu değerler ne yazık ki kullanıcılar tarafından yeterince dikkate alınmamakta ve ateşleyicinin keyfi kullanımı yeterli görülmektedir. Bu nedenle rastlanan atım kesmelerinin nedenleri yeterince anlaşılammakta ve en kolay olanı seçilerek suç doğrudan kapsüller üzerine yıkılmaktadır. Oysa yapılması gereken, elektrikli kapsüllerin, verilen değerlerdeki enerji miktarına önerilen süreler kadar maruz kalmalarını sağlamaktır. Bunu başarmak için doğru devre tasarımı ve uygun ateşleme kaynağı seçmek yeterlidir. Çeşitli üreticilerin tavsiyeleride göstermektedir ki her kapsül tipi için güvenli bir ateşlenme akım değeri vardır. Eğer enerji kaynağının sağladığı akım değeri bu değer altındaysa kapsüllerin bir kısmının patlamaması ve atım kesmesi riski ortaya çıkmakta, eğer çok üstündeyse aşırı enerjiden dolayı kapsülün hasar görmesi (ark) riski ortaya çıkmaktadır.

### **5 ATEŞLEME DEVRELERİ**

Elektrikli kapsüller genellikle seri, paralel ya da karışık (seri-paralel) bağlanır. Bir önceki bölümde anlatılan akım-süre ilişkisi seçilen

devre bağlantı yöntemi açısından önemlidir. Genellikle seri bağlantı kullanılmakla birlikte kapsül sayısının fazla olduğu durumlarda devre direncini düşürmek için paralel bağlama ya da karışık bağlama da kullanılır. Ne yazık ki bu bağlantı ateşleyicilerin insiyatifine bırakılmaktadır. Oysa bu bağlantı türlerinin hangi durumda ve hangi koşullarda yapılabileceği iyi değerlendirilmelidir.

#### **5.1 Enerji İletim Kabloları**

Enerji kaynağı tarafından sağlanan akımın devredeki kapsüllere ulaşması için iletim hatlarının iyi durumda ve açık kısımlarının izole edilmiş olması gereklidir. İyi durumda olmayan hat kabloları ve/veya yetersiz izolasyondan dolayı akım kaçığının olduğu durumlarda fiili devre direnci planlanandan daha fazla olacaktır. Bu durum kapsüllerin yetersiz akıma maruz kalmasına dolayısıyla devredeki kapsüllerin bir kısmının ya da tamamının patlamamasına neden olur. Kapsül telleri, bağlantı kablosu ve ateşleme kablosundan oluşan iletim hatlarının bakırdan olması önerilir çünkü alüminyum kablolar daha çabuk oksitlenir, direnci daha fazladır ve mekanik olarak bakır kadar esnek olmadığından daha çabuk kırılabilir. Aşağıda, bölüm 5.1.1'de ve 5.1.2'de bağlantı kablosu ve ateşleme hattı için öneriler verilmiştir (kaynak no:7, Sayfa:181):

##### **5.1.1 Bağlantı Kablosu**

İki deliği birbirine veya her seriyi kendi arasında bağladıktan sonra ateşleme kablosuna bağlamak için kullanılan bu kablonun 16-gauge (0,0123ohm/m)- 20-gauge (0,031ohm/m) arasında olması önerilir. Bağlantı kablosu genellikle atım sırasında hasar gördüğünden tekrar kullanılmamalıdır.

##### **5.1.2 Ateşleme Kablosu**

Ateşleme kablosu, bağlantısı yapılmış kapsül devresini manyetoya bağlamak için kullanılır. Bu kablonun 10-gauge (0,0003ohm/m)- 14-gauge (0,00077ohm/m)

arasında olması önerilir. Ateşleme kablosu tekrar kullanıldığı için, kullanılmadan önce fiziksel olarak gözden geçirilmeli ve uygun test cihazı ile kontrol edilmelidir.

## 5.2 Seri Bağlı Devreler

Nisbeten daha az sayıdaki kapsüllerin ateşlenmesi sırasında kullanılan seri bağlantı için en önemli parametre seçilen güç kaynağıdır. Ülkemizde yürürlükte olan 84/8428 sayılı tüzüğün 35.maddesinde devre direnci manyeto kapasitesinin yarısını geçemez hükmü mevcuttur. Seri bağlı devreler için yüksek voltaj, sınırlı akım ve akımın devrede kısa süre kalması gibi özelliklere sahip manyetolar idealdir. (kaynak no:5, Sayfa:12)

## 5.3 Seri-Paralel Bağlı Devreler

Kapsül sayısının fazla olduğu durumda birkaç seri bağlı devrenin kendi arasında paralel bağlanması ile oluşturulurlar. Ancak genellikle burada ihmal edilen nokta devre bölündükçe akımın da dirençle ters orantılı olarak bölüneceğidir. Akımın kavşak noktasında eşit olarak bölünmesi için her serinin direnç değerinin olabildiğince eşitlenmesi gereklidir. Bu konuda tolerans kimi kaynaklarda %5'i (kaynak no:5, Sayfa:14) kimisinde ise  $\pm 2\text{ohm}$ 'u aşmamalıdır. (kaynak no:1, Sayfa:95) Bu önemli durum dikkate alınmazsa direnci düşük olan seriden daha yüksek akım geçecek ve bu serideki kapsüller daha çabuk ateşlenecektir. Bu tip devrelerde, her bir kol için önerilen değer 1,5-A DC veya 2,5-A AC akım değerleridir.(11)

## 5.4 Paralel Bağlı Devreler

Bağlantısının basit olması sebebiyle şaft ve tünel patlatmalarında kullanılan paralel bağlanmış devrelerde akımın büyük olması ve sistemde 50ms gibi daha uzun süre kalması gerekir. Bu bağlantı yönteminde ölçülen direnç değeri enerji iletim hatlarının direncidir çünkü toplam kapsül direnci çok küçüktür. Ancak fazla kavşak noktasının varlığı nedeniyle sisteme verilen akım diğer

bağlantılara göre çok daha fazla bölünecektir.

## 5.5 TEST CİHAZLARI

Elektrikli kapsüller kullanılmadan önce uygun test cihazı ile kontrol edildikten sonra kullanılmalıdır. Ayrıca, devre bağlantıları bittikten sonra da bu kontrol yapılmalı ve devre ateşleme kablosuna bağlanmalıdır. Bu ölçüm işlerinde devre direncini de gösteren ohmmetrelerin kullanılması daha doğrudur. Çünkü sadece devrenin sürekliliğini gösteren cihazlar herhangi bir kısa devre veya akım kaçağı durumunu açığa çıkarmaya yardım edemezler. Bu nedenle devrenin direncini de gösteren ölçüm cihazlarını tercih etmek en doğru davranıştır. Bu ölçüm cihazları kapsülü ve/veya devreyi test ederken bir ölçüm akımı üretirler ki bu akım mA seviyelerindedir. MKE Kapsül Fabrikası Müdürlüğü'nün ürettiği ve ülkemizde kullanılan kapsüllerin No Fire değeri 0,18-A DC'dir ama bu değer 300-s'n'ye kadar emniyetlidir bu süre aşıldıktan sonra yine patlama riski vardır. MKE Kapsül Fabrikası Müdürlüğü, ürettiği kapsüller için ölçüm akımının 10-mA'i geçmemesini önermektedir.(9). Örneğin ülkemiz piyasasında kullanılan Hint malı bir elektrikli kapsül'ün kataloğunda No Fire: 0,20-A (50ms) yazmaktadır.(6). Dolayısıyla elektrikli kapsüller için ölçüm akımı, kapsüllerin No Fire değerinden çok daha küçük olmalıdır. Kimi üreticilerin cihazları 0,3-0,4mA ölçüm akımı üretirken bazıları 4-5mA ölçüm akımı üretirler. Emniyetli tarafta kalınması açısından ölçüm cihazı seçerken ölçüm akımı en düşük olanı seçmek gereklidir.

## 5.6 GÜÇ KAYNAĞI

Doğru şekilde test edilerek kullanılmış ve bağlantısı yapılmış bir devreyi ateşlemek için en güvenli yol kapasitörlü manyetoların kullanılmasıdır. Bununla birlikte hala bazı yer altı madenlerinde ve tünellerde doğrudan şebeke hattından ateşleme yapılmaktadır. Hangi enerji kaynağı kullanılırsa kullanılsın ondan beklenen birkaç milisaniye içerisinde

devredeki tüm kapsülleri ateşleyecek kadar enerji üretmesidir. (kaynak no:7,Sayfa:188)

### 5.6.1 Şebeke gerilimi ile ateşleme

Günümüzde bu tip ateşleme yöntemi giderek azalmışsa da hala bazı yeraltı madenlerinde ve tünellerde kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük riski gecikmeli kapsüllerin kullanıldığı durumda 10-A'den büyük akım göndererek ark riskini arttırmasıdır. (kaynak no:7, Sayfa:205) İstenen ateşleme değeri ise seri bağlı devreler için 1,5-A akım üretmesidir. Ark riski manyeto kullanılması ile ortadan kaldırılabılır çünkü manyetoların ürettiği akım genelde 4-5ms içerisinde 0'a yaklaşır. Dolayısıyla başlangıç akımı yüksek olsa da çok hızlı şekilde sıfırlanacağından ark yapma riski ortadan kalkar.

Şebeke gerilimi ile elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi bu nedenle güvenli bir yöntem değildir ve kullanılması tavsiye edilmez. Örneğin Almanya'da bu yöntem ile elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi yasaklanmıştır. (kaynak no:3, Sayfa:25)

### 5.6.2 Manyeto ile ateşleme

Ohm yasası güç kaynaklarından yapılan ateşleme koşulları için uygulanabilir ama kapasitörlü manyetoların kullanıldığı durumlarda hesaplamalar daha kompleks olmaktadır.

Kapasitörlü manyetolar enerjiyi kondansatörlerde depolayıp bir anda bırakırlar. Bu nedenle başlangıç akımı yüksek olmakla birlikte çok hızlı bir şekilde azalma eğilimindedir. Dolayısıyla sabit minimum akım konsepti kullanılamaz. Aşağıdaki prosedürle verilen hesaplama ile manyeto ile devreye sağlanan efektif akım hesaplanabilir. Hesaplamanın amacı, değişken akımı eşdeğer CD akımına dönüştürmektir ki bu eşdeğer akım 5ms içinde devreye aynı elektrik enerjisini sağlar. Eşdeğer akım efektif akım olarak bilinir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir(1.Kaynak-Sayfa: 95-96) :

- CD manyetodan sağlanacak toplam enerji, E

$$E = \frac{1}{2}CV^2$$

- 5ms içerisinde devreye sağlanan enerji,  $E_d$

$$E_d = E (1 - e^{-0,01/(R.C)})$$

- Devreye sağlanan enerji ile yaratılan efektif akım, I

$$I^2 = E_d / (0,005.R)$$

Burada;

- E : manyetoda depolanan enerji, Joule  
E<sub>d</sub> : manyeto tarafından 5ms içinde devreye sağlanan enerji, Joule  
C : manyetonun sığası, Farad  
V : manyeto üzerinde biriken yükün voltajı, Volt  
I : 5ms içindeki enerjiyi sağlayacak olan efektif akım, Amper  
R : Toplam direnç (devrenin direnci + manyetonun iç direnci)

Uygulamada güvenlik açısından güç kaynağı olarak manyeto kullanmak ve bunların bakımını yaparak iyi durumda tutmak daha güvenli bir çalışma ortamı yaratmaya katkı yapacaktır.

## 6 SIKÇA SORULAN BAZI SORULAR

### 6.1 Bağlantı Seri mi Olsun Yoksa Paralel mi?

Ülkemizde patlatma işlerinde genellikle seri bağlı devreler için uygun olan manyetolar kullanılmaktadır. Bu bölümde açıklamaya çalıştığımız durumu bir soru ile İngiltere'den ithal edilen ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan bir manyetonun üreticisine sorduk. Soru şu idi:

- Toplam 40 adet 2 ohm dirence sahip elektrikli kapsülü her biri 10-adet kapsülden oluşan 4 seri halinde paralel olarak bağlayalım ve hat kablolarının direnci de 5 ohm olsun. Normalde bu 40adet kapsül seri bağlanmış olsaydı bu manyeto bu kapsülleri çok rahat ateşleyebilirken bu şekilde bağlanmış devreyi güvenli olarak ateşleyebilir mi?



İngiliz malı bu manyetonun kataloğunda 615-ohm'luk bir devreyi 1,2A akım sağlayarak ateşleyebileceği yazmaktadır. (2) Dolayısıyla eğer bu kapsüller seri bağlanmış olsaydı toplam devre direnci 85 ohm (hat direnci dahil) olacaktı. Manyetonun 7ohm'luk kendi direncini de ilave edersek toplam 92 ohm'luk bir direnç elde edilecekti ki manyeto bu devreyi çok rahat ateşleyebilirdi ancak yukarıdaki gibi seri-paralel tipinde bağlanmış devre için üretici şu cevabı vermiştir:

- Sorunuzdaki devre pratikte hazırlanarak ateşlenmiş ve akım değeri ölçülmüştür. Akım grafiğinde başlangıç akımının 50A olduğu ancak 1ms sonra devrede akım kalmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu manyeto ile sözkonusu devrenin ateşlenemeyeceği görüşündeyiz. (8).

Manyeto üreticisinin cevabı anlatmak istediğimizi çok net şekilde özetlemektedir. Paralel bağlı devreler için daha fazla akımı daha fazla süre sistemde tutabilen güçlü manyetolar gerekir. Bu nedenle, eldeki ateşleme kaynağı dikkate alınmadan toplam devre direnci düşürmek adına paralel bağlantı yolunu seçmek atım kesme riskini arttıran bir davranıştır.

Ayrıca 84/8428 sayılı tüzüğün 27.maddesinin 3.paragrafında *“Beşten çok lağımın aynı zamanda ateşlenmesi, seri halinde, elektrikle yapılır.”* hükmü bulunmaktadır. Bununla birlikte, işin teknik boyutunu iyi anlayarak konu ile ilgili potansiyel riskleri bilmenin iş güvenliği açısından önemini tartışmaya gerek yoktur.

## 6.2 Farklı Üreticilerin Kapsülleri Aynı Seride Neden Kullanılmamalıdır?

Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibi elektrikli kapsüllerin en önemli elemanı kibritbaşı olup her üreticinin teknolojisi küçük de olsa farklılık gösterir. Dolayısıyla kibritbaşının yapısındaki bu fark kapsüllerin ateşlenme hassasiyetlerinin ve ateşlenme sürelerinin farklı olmasına yol açar. Bu nedenle farklı üreticilerin kapsülleri, aynı dirence sahip olsalar dahi aynı devrede kullanılmamalıdır.

## 6.3 Farklı Direnç Değerine Sahip Elektrikli Kapsülleri Aynı Seride Kullanabilirmiyiz?

Bu konu oldukça karışık olmakla birlikte en güvenli tarafta kalmak adına farklı dirence sahip kapsüller aynı seride kullanılmamalıdır diyebiliriz. Basitçe şöyle açıklanabilir:

Farklı dirence sahip kapsüllerden oluşan devrede akımın geçmesi ile birlikte direnci büyük olan daha erken ısınacak ve önce ateşlenerek devreyi kesecektir. Bu yargı gecikmesiz kapsüller için doğru olabilir ancak gecikmeli kapsüllerde devrenin kesilme süresi **Kopma Süresi (Lag Time)** ile açıklanmaya çalışılmıştır. Bu süre kapsülün ateşlenmesi ya da köprü telinin omik ısınma sonucu erimesiyle belirlenir. Bu konuda 1979 yılında Nobel's Explosive Company Limited'in Kapsül Araştırma Bölümü ile Norveç'den Dyno Industrier firması arasındaki yazışma tam bu konuyla ilgilidir:

Norveç patlayıcı pazarına daha güvenli olan U-Tipi kapsülleri sokmak isteyen firma ülkedeki satıcıların depolarında bulunan A-Tipi kapsüller ile yeni ürünlerin geçici bir dönem karışık kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu araştırma sırasında ülkede kullanılan manyetoların kapasiteleri dikkate alınarak bir dizi testler yapılmış ve sonuç olarak bu iki tip kapsülün kullanıldığı devreler için bir omaj sınırı tespit etmiştir. Değişik manyeto tipleri için belli bir omaj değeri önermiştir. Örneğin, 1200-Volt, 6-F kapasiteli manyeto ile en fazla 100-ohm'luk karışık devre patlatılabilir gibi öneriler oluşturulmuştur. (10).

## 6.4 Aynı Seride Gecikmesiz ve Gecikmeli Elektrikli Kapsüllerin Birlikte Kullanılması Uygun mudur?

Gecikmesiz elektrikli kapsüller daha erken ateşlenme eğilimindedir ve gecikme elemanları da olmadığı için kopma süreleri ateşlenme süreleri ile aynıdır. Herhangi bir kapsül devresinde aynı tip kapsüllerin kullanılması durumunda 1,5A'lık DC akım önerilirken, gecikmeli ve gecikmesiz

kapsüllerin birlikte kullanıldığı devreler için reaksiyon sürelerini azaltmak adına 2,0A DC akım önerilir. Bu nedenle üreticisi paratikte kullanımını onaylamadıkça, söz konusu kapsüllerin aynı atımda birlikte kullanılması önerilmemektedir. (Kaynak:7, S:203). Dolayısıyla kullanım amaçları da farklı olan bu kapsüllerin aynı seride birlikte kullanılmaları tavsiye edilmez.

### **6.5 Kapsüller ve Devre Test Edilirken Neden Sıradan Elektrikçi Ohm-Metresi Kullanılmamalıdır?**

Bölüm 5.5'de bu konuyu önemi anlatılmıştı. Özetle, piyasada bulunan elektrikçilerin kullandığı ölçüm cihazları elektrikli kapsülü patlatacak kadar akım üretebilmektedirler. Bu şekilde uvuz kaybıyla sonuçlanmış bir çok kaza rapor edilmiştir. Ayrıca, 84/8428 sayılı tüzüğün 37.maddesinin ilk paragrafında *“Ateşlemeden önce, bütün bağlantılar gözden geçirilir. İletkenlerin kısa devre yapıp yapmadıkları özel ölçme aygıtlarıyla denetlenir, bunun manyeto ve pille yapılması yasaktır”* hükmü bulunmaktadır.

### **6.6 Normal Şebeke Gerilimi İle Ateşlemenin Riski Nedir?**

Elektrikli kapsüllerin ateşlenebilmeleri için yeterli akıma belli süre maruz kalmaları gerektiği açıklanmıştı. Ülkemizde kimi tünel işlerinde ve Yer altı maden işletmelerinde ateşlemenin doğrudan şebeke gerilimi ile yapıldığı durumlar mevcuttur. Ne yazık ki şebeke gerilimi ile ateşleme hiçbir teknik düzenleme yapılmadan doğrudan bağlantı ile yapılmaktadır. Oysa bu konuda ileri ülkeler bunun için özel sistemler kurulduktan sonra buna izin vermektedir. İşin teknik boyutunda ise şebeke gerilimi (örn. 220-Volt) kapsül sayısının fazla olduğu durumlarda yeterli enerjiyi üretemeyebilir.

- Örneğin 150-adet 2ohm'luk seri bağlı kapsülün toplam direnci 300ohm eder. Bu durumda devreden geçen akım 0,73-A olur ki bu hesaplamalarda hat kablosu direnci ve akım kaçağı hesaba katılmamıştır. Bu 0,73-A akım değeri seri bağlı devreler için

önerilen 1,5-A değerinin yarısı civarındadır. Bu nedenle devrenin kesme riski mevcuttur.

- Terside durumda da örneğin tünellerde, galerilerde elektriksiz kapsülleri ateşleyen infilaklı fitili başlatmak için tek elektrikli kapsülü ateşlerken, eğer gecikmeli kapsül kullanılıyorsa Ark riski ortaya çıkar ki bu durumda kapsül patlamayabilir ya da süresinden çok daha uzun zaman sonra ateşlenebilir. Şöyle ki tek kapsülün direncini 2hm ve 300m'lik hat kablosunun direncini yaklaşık 10-ohm alırsak toplam direnç 12 ohm olur ve kapsüle verilen akım  $220/12=18$ -A olarak gerçekleşir. Bu değer Şekil-6'daki grafikte Ark riski taşıyan bölgeye düşer.

Bu nedenle ateşleme kaynağı olarak manyeto kullanmak daha güvenlidir. Manyetonun başlangıç akımı 40A-50A olabilir ancak bu değer 4-5ms içinde sifıra yaklaşır. Zaten elektrikli kapsüllerin reaksiyon süresi 2-ms civarında olduğu için ateşleme için bu süre yeterlidir.

### **6.7 Elektrikli Kapsüllerin Kontrolü Ne Zaman Yapılmalıdır?**

Elektrikli kapsüller kullanılmadan önce ve delik dolumu bittikten sonra sıkılama yapıldan önce kontrol edilmelidir. Sıkılama yapılmadan kontrol edilmesi önemlidir çünkü kapsül telleri ve/veya bağlantı kablosu dolum esnasında hasar görmüş olabilir ki sıkılama yapılmadan önce böyle bir sorun tespit edilirse deliğe yeni bir yemleyici doldurularak o delik kurtarılabilir. Ayrıca dolum işi bittikten sonra devre kontrolü yapılmalı ve ölçülen direnç değerinin hesaplanan ile uyumlu olup olmadığına bakılmalıdır. Son olarak ana hat her kullanımdan önce bir ucu kısa devre olarak bağlanarak diğer açık uçlarından ölçülerek test edilmelidir. Tüm bu ölçümlerin uygun patlatma ohm-metresi ile yapılması unutulmamalıdır.

## **7 SONUÇ**

Bu bildirin amacı, ülkemizde özellikle son 4-5 yıl içerisinde meydana gelen elektrikli

kapsüllerin hatalı kullanımı ile ilgili benzer kazaların yaşanmaması için bu ürünlerin ateşlenmesinde gözardı edilen ya da bilinmeyen konulara dikkat çekmektir. Çeşitli kaynaklar ve üreticilerin tavsiyeleri incelenerek bu konularla ilgili bir derleme yapılmış ve kullanıcılar için önemli detaylar verilmeye çalışılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Atlas Powder Company, 1987. *Explosives and Rock Blasting*, Dallas,Texas, Sayfalar ilgili yerlerde belirtilmiştir.
2. Arbra Instruments Limited, Mk 21 Exploder Ürün Kataloğu, İngiltere
3. Dynamit Nobel, *Firing Electrically*, Troisdorf, Germany, Sayfalar ilgili yerlerde belirtilmiştir
4. Erdil, M, Şubat 1998. Türkiye Yeraltı Kömür Madenleri Galeri İlerlemelerinde Delme Patlatma Sorunları, 3. *Delme Patlatma Sempozyumu*, s.159-164, Ankara
5. ICI Australia Operations Pty Ltd, Explosive Group, *Firing Electrically*, Australia, Sayfalar ilgili yerlerde belirtilmiştir
6. Indian Explosive Limited, Technical Data Sheet, Batı Bengal, Hindistan
7. International Society of Explosives Engineers, (17th ed.), 1998. *Blasters' Handbook*, Cleveland, Ohio, Sayfalar ilgili yerlerde belirtilmiştir
8. KILIÇ, Ü. 2003. *Elektrikli Kapsüllerin Ateşlenmesi*, Yayınlanmamış Notlar, Ankara
9. MKE Kapsülsan A.Ş., Ürün Kataloğu, Kayaş, Ankara
10. Nobel's Explosive Co. Ltd., 1979. *Dyno Industrier A.S., Oslo ile yazışmalar*, Stevenston, İngiltere
11. Orica, *Engineer Training Program-Package No:13 (Firing Electrically)*, Australia, 13.Sayfa
12. Schaffler&Co. GES.M.B.H, Revised Edition 1992, *Electric Shotfiring Practice, Guidance and Sugestions*, Vienna, Austria, Sayfalar ilgili yerlerde belirtilmiştir