

# AZ YAĞLI, VAKUM VE SF<sub>6</sub> ORTA GERİLİM KESİCİLERİNİN ŞALTERLEME PRENSİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMALARI

Süleyman KASIRGA  
Fachhochschule Düsseldorf/B. Almanya  
Elektrik Bölümü.

## 1. GİRİŞ

Birkaç yıl öncesine kadar Avrupa'da özellikle Federal Almanya'da orta gerilim salt tesislerinde çoğunlukla az yağlı ve havalı kesiciler kullanılmaktaydı. Havalı kesiciler ağır şartların bulunduğu tesisler (Mesela; ark ocağı), az yağlı kesiciler ise enerji dağıtım tesisleri için öngörülmekteydi. Günümüzde Federal Almanya'daki orta gerilim tesislerinde bulunan kesicilerin % 80'i az yağlı kesicilerdir. Ülkemizde bu oran % 90'dır.

Az yağlı kesicilerle edinilmiş olumlu işletme tecrübelerinden dolayı, geçmişte ark söndürme ortamına göre SF<sub>5</sub> gazlı veya vakum kesicilere gerek duyulmamıştır. Bu prensiplere göre çalışan kesiciler 15 yıldan fazla bir zamandan beri birçok yabancı ülkede -ve hatta bu tip kesicileri ilk defa geliştiren ülkelerde dahi imal ve piyasaya arz edilmelerine rağmen işletmelere oldukça az sayıda girebilmişlerdir. Ancak şebekelelerinde yeteri kadar az yağlı kesicileri sahip olamamış ve bunun yerine tam yağlı kesiciler kullanmış Japonya, ABD ve İngiltere gibi ülkelerde SF<sub>6</sub> ve vakum kesiciler diğer ülkelere oranla son yıllarda daha fazla kullanılmışlardır.

Gelişmekte olan her ülkede olduğu gibi, ülkemizde de enerji nakil hatları normalin üzerinde uzayıp aynı hat üzerindeki branşmanlar çoğalmakta ve hatların kesme kapasiteleri artmaktadır. Bu durum başlangıçta doğru olarak seçilmiş kesicilerin çok sık salterleme yaparak

bakım periyotlarının kısalmasına neden olmuştur. Bu nedenle ülkemizde enerji üretim ve dağıtımını üstlenmiş kuruluşlar haklı olarak daha az bakım gerektiren kesici tipi aramak zorunda kalmışlardır.

Gelişmiş Avrupa ülkelerinde ise, personel masraflarının fazla olması, benzer kuruluşları enerji dağıtım tesislerini mümkün olduğu kadar daha az personelle işletmeye yöneltmiş ve nedeni farklı olmakla beraber bu kuruluşları ülkemizde olduğu gibi bir arayış içine sokmuştur. Son yıllarda SF<sub>6</sub> ve vakum kesicilerinin az yağlı kesicilere oranla daha az bakım gerektirdiklerinden bahsedilmesi, bu tip kesicilerin tesis kurucularının ilgilerini üzerinde toplamasına neden olmuştur. Bunun başka bir nedeni de değerlendirmelerde yalnız eski tip az yağlı kesicilerin dikkate alınmasıdır. Ayrıca az yağlı kesici imalatçıları eski yönetmeliklere göre emniyet katsayılarını çok büyük tutup, işletme ve bakım talimatlarında bakım periyotlarını gereğinden fazla kısa öngörmek zorunda kalmışlardır. Halbuki son yıllarda az yağlı kesicilerde diğerleri gibi geliştirilmiş, bakım periyotları uzamış ve salterleme kapasiteleri artmıştır.

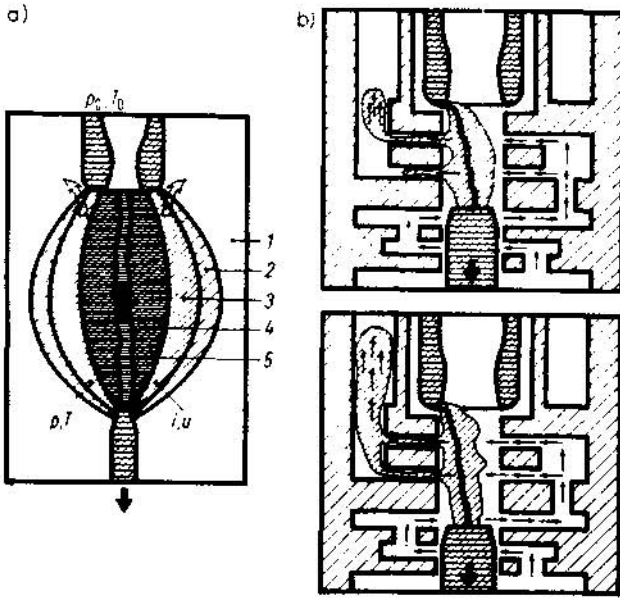
Bu yazının amacı her üçkesici tipini karşılaştırmaktır. Ancak sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için, eski tip az yağlı kesiciler değil, modern az yağlı kesicilerle yine modern SF<sub>5</sub> ve vakum kesiciler karşılaştırılacaktır.

## 2. ARK SÖNDÜRME PRENSİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMA

### 2.1 Akımın yağda kesilmesi (Şekil 1)

Hareketli kontağın, sabit kontakdan ayrılmasından sonra akım önce metal buharının meydana getirdiği köprü üzerinden akmaya devam eder. Bu arada oluşan yüksek sıcaklık etraftaki yağın ayrışmasına neden olur. Yüksek basınçlı bir gaz kitlesi meydana gelir. Bu kabarcıklı gaz kitlesi, dışarıdan içeriye doğru yağ yağ buharı, kızgın yağ buharı, asitlen gazı ve hidrojen atom ve moleküllerinden oluşur. Bu gazlara kontaklardan ayrılmış metal iyonları da karışmıştır. Akım gaz kitlesinin merkezinden, sıcaklığı 10 000 K olan ark üzerinden geçer. Ark yoğun ısıdan dolayı iyonize olmuş hidrojen atomlarından meydana gelen yaklaşık eşit sayıda iyon ve elektronlardan oluşan bir plazmadır. Bu ark plazması bir iletendir. Yağ normal şartlarda çok düşük bir ısı geçirgenliğine sahip olmasına rağmen, hidrojen gazının ısı geçirgenliği çok yüksektir (Mesela havadan 20 kat daha fazla). Yağın ayrışmasıyla meydana gelen hidrojen, ark söndürme hücreindeki arkın yanından geçerek, normal şartlardaki basınç dengeleme hücrelerine gider ve ısı iletimini sağlar.

Alternatif akımın kesilmesi şu şekilde olur : Akım sıfıra ulaşması sırasında, akım tarafından arkta oluşturulan ısı gücü (ark gerilimi ile akımın çarpılmasıyla hesaplanır) de sıfıra ulaşır. Eğer ark merkezinden dışarıya doğru yeterli ısı iletimi olmuşsa, arkın çevresin-

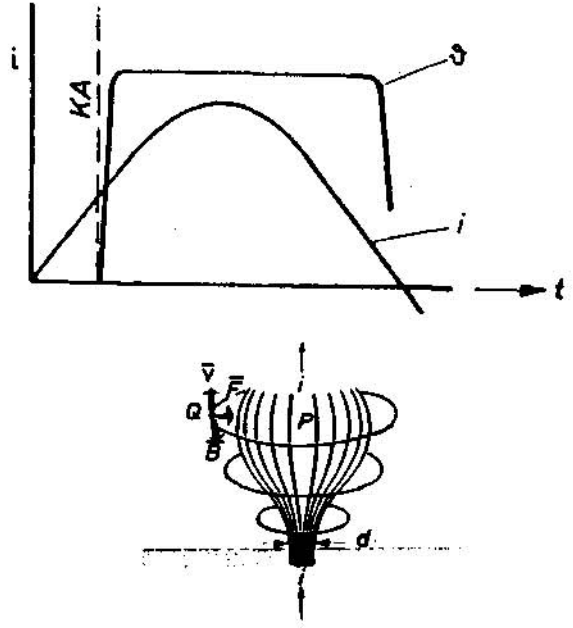


Şekil 1. Az yağlı kesicide arkın sönme olayı

a) Transformatör yağında ark  
b) Ark plazmasının ark tarafından oluşturulan yağ-gaz akımı ile koparılması.

- 1 Yağ
- 2 Yaş yağ buharı
- 3 Kızgın yağ buharı
- 4 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>.H (1000-5000K)
- 5 Ark (H, H<sup>+</sup>, e<sup>-</sup>, Cu, Cu<sup>+</sup>), yaklaşık 10 000 K

deki sıcaklık düşer ve ark da iletkenliğini yitirir. Ark sönmüştür. Fakat akımın sıfırdan geçme zamanı çok kısadır. Bu kısa zaman içinde yeterli ısının dışarı iletilmesi gerekir. Arkın geçirgenliğini yeteri kadar düşürecek ark enerjisi dışarıya iletilemezse, akım sıfırdan başlayarak aksi yönde tekrar yükselerek ark plazmasının gelecek yarım periyot içinde de ısınmasına neden olur. Buna arkın termik olarak yeniden ateşlenmesi denir, ikinci şart, artık iletken olmayan ama sıcaklığını koruyan gazların delinme geriliminin yükseltilmesidir. Böylece kontaklar arasında akımın kesilmesinden sonra meydana gelecek tranzient toparlanma gerilimi ile ayırma aralığında tekrar atlama olmaz ve arkın tekrar ateşlenmesi önlenmiş olur. Ayırma aralığının delinme gerilimi burada bulunan gazın yoğunluğu ve dolayısıyla basınç ile doğru, sıcaklık ile ters orantılı olarak artar. Bunun için gaz yoğunluğunun akım sıfırdan geçerken belirli bir değere ulaşması gerekir. Burada basıncın muhafazası mümkün değildir. Çünkü dışarıya doğru bir gaz akımı olması ve sıcaklığın düşürülmesi gerekir. Gaz yoğunluğu arkın ürettiği gaz miktarı ile doğru, gazım meydana geldiği hücrenin hacmi ile ters orantılıdır. Bu hacim ilk önce hareketli kontakların boşalttığı hacim ve yağ ile ark söndürme hücrelerinin elastikiyetleri ile sınırlıdır. Oluşan gaz basınç dengelene hücrelerine giderken etrafındaki yağı iterek

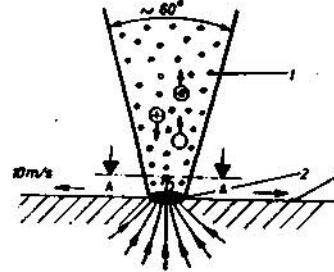


Vakumda yayılmakta olan münferit ark,  
pinch efekt:  $i$  akımının  $Q$  yükünü etkileyen  $p$  kuvveti:

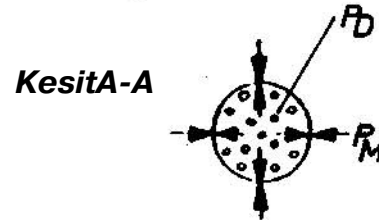
$$\vec{F} = Q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\text{endüksiyon } |5| < \frac{i}{2\pi/0}$$

$r_0$ : ark radyüsü



Arkın tuttuğu yitirdiği ark çapı  $d$ : 100  $\mu\text{m}$   
Akım yoğunluğu:  $10^7 \text{ KA/cm}^2$   
% : Katot malietindn oluşmuş buhar boana  $P_n$  Manyetik basınç



Şekil 2. Vakumda ark

- 1 Metal buharı
  - 2 Arkın yandığı nokta
  - 3 Kontak yüzeyi
- KA Kontakın ayrıldığı an

hacmini genişletir. Ark söndürme hücresi öyle dizayn edilmelidirki gazın bir bölümünün dışarı atılmasıyla azalan gaz yoğunluğunun dengelenmesi sağlanabilir. Burada gaz arkın yanından geçmelidir. Bu da ancak gaz akımının ark'a dikey olarak akıtılması ile mümkündür.

## 2.2 Akımın vakumdan kesilmesi (Şekil 2)

Sabit kantağın hareketli kontakta ayrılmasıyla kontaklar arasında bir metal buharı arkı oluşur. Bu ark elektrik odları arasındaki deşarjın kontak malzemesinin ouharında olmasından meydana gelir. Metal buharı elektrodta arkın tutuştuğu yerden 60° lik bir açı ile hızla yayılır. Bu arada metal zerreciklerinin hızı yaklaşık olarak 10000 m/s'dir. Gazlı bir ortamda (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>) meydana gelen ark bir model olarak düşünülecek olursa, konsantre olmuş bir plazma sütunu olarak ele alınabilir. Bu konsantre olmuş plazma sütunu negatif bir karakteristiğe ( $\frac{du}{dt} < 0$ ) sahip olduğundan, birçok

düzensiz istikrarlı paralel arklardan değil yaklaşık tek bir arktan oluşur.

Bu konsantre olmuş ark elektrodalarda arkın meydana geldiği yerlerde çok fazla bir enerji yoğunluğuna neden olur.

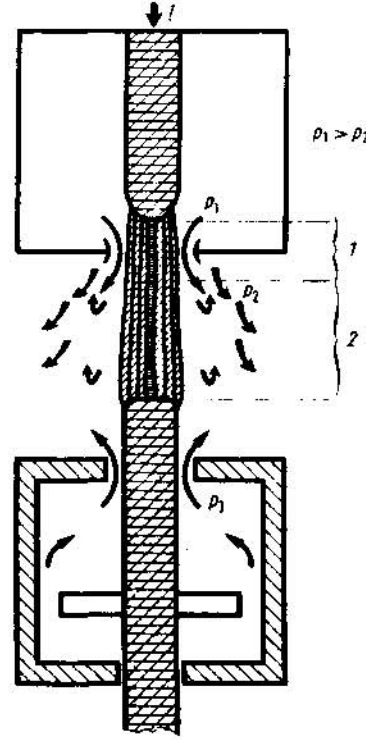
Vakumdaki ark ise bunun aksine geniş bir akım sahada bile sabit ve pozitif bir karakteristiğe sahiptir. Yayılma bölgesi olarak adlandırılan ve basit bir plaka şeklindeki kontakta 10 kA lik bir akımı kısa süre geçirebilen yerde, birbirini iten ve üzerinden yaklaşık 100 er A lik akımları geçiren birçok paralel ark vardır. Bu münferit arklar birbirlerini ittiklerinden her biri 10 m/s lik bir hızla katodun dış yüzeyinde ileri geri hareket ederler. Bu dağınık ark kontak yüzeyinde çok az ve eşit dağılımlı bir yanmaya neden olur. Bu özellik vakum hücresinin uzun ömürlü olmasını sağlar. Bu paralel arkların devamı uygun kontak formları ile veya hücrenin dışına yerleştirilmiş bobinlerle sağlanır. Akım elektrod (kontak) malzemesinin buharından oluşan ark plazmasının üzerinden geçeceğinden, burada kontak malzemesinin seçimine dikkat etmek gerekir. Bu küçük akımlar için de geçerlidir. Çünkü malzemedan dolayı arkın karakteristiği negatif ve dolayısıyla ark istikrarsız olur ki, bu da yukarıda belirtildiği gibi istenmeyen bir olaydır.

Akımın sifıra ulaşmasından sonra, metal buharı çok çabuk kondense olur. Büyük bir kısmı tekrar kantağa döner ve böylece kontak malzemesinin azalması minimumuma inerek kantağın ömrü uzar.

## 2.3 Akımın kükürthexafluorid (SF<sub>6</sub>) gazından kesilmesi (Şekil 3)

Hareketli kantağın sabit kontakta ayrılmasıyla hücredeki memenin önünde oluşan ark plazması etrafındaki SF<sub>6</sub> gazını ısıtır. Böylece sabit kantağın bulunduğu hücredeki P<sub>1</sub> basıncını meydana getirir. Plazmanın etrafındaki gazın daha çabuk ısıtılabilmesi, seri

olarak bağlanmış silindirik şeklindeki bir bobinden sağlanır. Bu bobinin meydana getirdiği manyetik alan ark plazmasının rotasyonunu ve daha fazla gazın ısınmasını sağlar. Bunun başka bir yararı da kontak malzemesinin eriyerek azalmasını minimuma indirilmesidir.



Şekil 3. Kendinden püskürtmeli SF<sub>5</sub> kesicisinin çalışma prensibi.

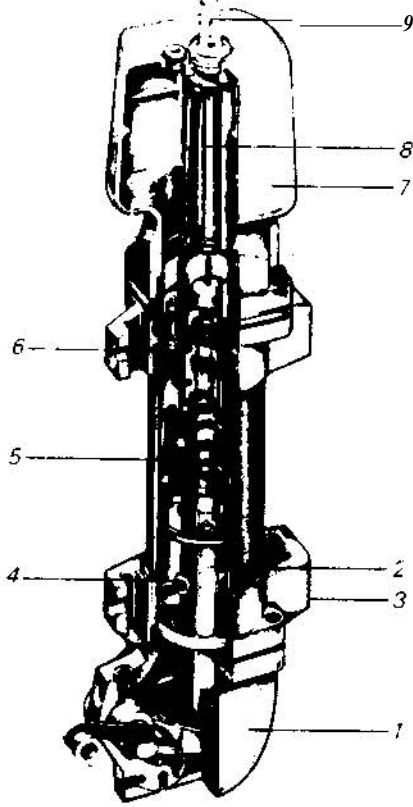
Uygun basınç oranının (P<sub>1</sub>/P<sub>2</sub>) seçilmesi ile gazın P<sub>1</sub> den P<sub>2</sub> ye ses hızı ile geçmesi sağlanır. Gaz ilk önce memeden düzensiz bir akımla ve daha sonra genişlerken yine ses hızında serbest püskürtmeye geçer. Arkın alt kısmında meydana gelen girdap, kızgın ark plazması ile oldukça soğuk olan çevredeki SF<sub>6</sub> gazının karışmasını sağlar. Çevrede yeterli soğuk gaz bulunması ve SF<sub>6</sub> gazının düşük sıcaklıklarda dahi ısıyı iyi iletmesi akım sifıra ulaştığında ark plazmasının elektrikli geçirgenliğinin çok çabuk düşmesine neden olur. SF<sub>6</sub> gazının elektro negatif özelliği, yani elektronların gaz molekülüne bağlı kalması ayırma aralığının dielektrik olarak sağlamlaşıp yalıtılmasını sağlar. Küçük akımlarda P<sub>1</sub>/P<sub>2</sub> oranı büyük akımlara oranla daha küçüktür. Bunun için küçük akımların kesilmesinde ark söndürme etkisini artıracak bir kompresyon silindire ihtiyacı vardır.

## 3. KONSTRÜTİF YAPILARI BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRMA

### 3.1 Az yağlı kesici (Şekil 4)

Az yağlı kesici kutbu aşağıdan yukarı doğru, hareketli çubuk kantağa (2) hareket iletiminin sağlandığı bi-

yel hücresi (1), akımı hareketli kontakdan dış bağlantı civatasına (3) ileten makara kontak (4), bütün bunların üzerinde bulunan ark söndürme hücrelerinden (5) ve sabit kontak (6) oluşur. En üstte basınç dengeleme hücresi (7), yağ filtresi (8) ve yağ göstergesi düzeni vardır. Sabit kontak lale şeklindedir.

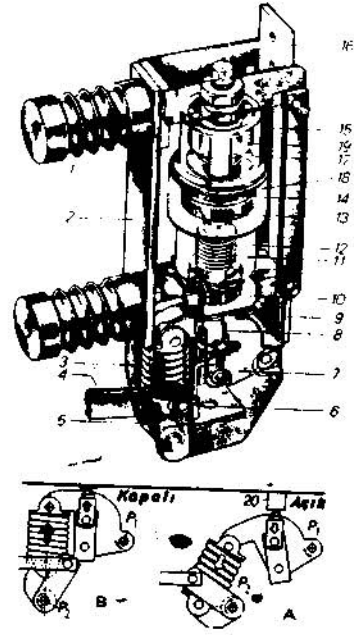


Şekil 4. Az yağlı kesici kutbu (Sachsenwerk MC tipi)

- 1 Biyel hücresi
- 2 Hareketli çubuk kontak
- 3 Dış bağlantı civatası
- 4 Makara kontak
- 5 Ark söndürme hücresi
- 6 Sabit kontak
- 7 Basınç dengeleme hücresi
- 8 Yağ filtresi
- 9 Yağ göstergesi düzeni

### 3.2 Vakum kesici (Şekil 5)

Vakum kesici kutbunda da kontağa hareket iletiminin sağlandığı bir biyel hücresi vardır. Biyel hücrelerinde kesici kapalı iken gerekli kontak basıncını üreten yaylar (3) bulunur. Akım hareketli kontak (13) alt bağlantı terminaline (9) halka şeklindeki kontak (10) üzerinden geçer. Bundan sonra içinde çanak şeklindeki kontaklar (13, 14), keramik izolasyon (17), kondense kabı (18), koruyucu ekran silindiri (19) ve metal körük (12) bulunan vakum hücresi vardır. Mekanik yükü 3 yalıtkan çubuk (2, 15) taşır. Kutbun alt kısmından çıkarılmış çubuk (6) kontakların durumunu kontrol etmeye yarar.



Şekil 5. Vakum kesici kutbu (Sachsenwerk VA tipi)

- 1 Mesnet izolatörü
- 2 1 nci yalıtkan destek
- 3 Kontak yayı
- 4 Hareket çubuğu
- 5 Çalıştırma kolu
- 6 Kontak kontrol düzeni
- 7 Tahvil kolu
- 8 Kol
- 9 Alt bağlantı terminali
- 10 Halka kontak
- 11 Vakum hücresi
- 12 Metal körük
- 13 Hareketli kontak
- 14 Sabit kontak
- 15 2 nci ve 3 ncü yalıtkan destek
- 16 Üst bağlantı terminali
- 17 Yalıtkan keramik
- 18 Kondense kabı
- 19 Ekran silindiri
- 20 Hücrenin hareket çubuğu
- P-, 22 Hücredeki mafsallar
- A Kontak yayı boşta
- B Kontak yayı ve açma kolu ölü noktada

### 3.3 SF<sub>6</sub> kesici (Şekil 6)

SF<sub>6</sub> kesicisinde de diğerlerinde olduğu gibi kutbun alt bölümünü biyel hücresi oluşturur. Biyel hücrelerine hareketli parçalardan dolayı gaz şamasını önlemek için uygun salmastralar yerleştirilmiştir. Akım yolu şalterleme borusu (4), kompresyon pistonu (10), yalıtkan meme (5), sabit anakontaktan (2) ve ark söndürme hücrelerinden oluşur.



Şekil 6. SF<sub>6</sub> kesici kutbu (BBC, HC tipi)

- 1 Bağlantı parçası
- 2 Kontak
- 3 Yardımcı kontak
- 4 Şalterleme borusu
- 5 Yalıtkan meme
- 6 Gaz üfleme hücresi
- 7 Hareket iletme çubuğu
- 8 Döndürme mili
- 9 Conta
- 10 Tahrik kolu
- 11 Kompresyon silindiri
- 12 Biyel hücresi

#### 4. ELEKTRİK DEĞERLER

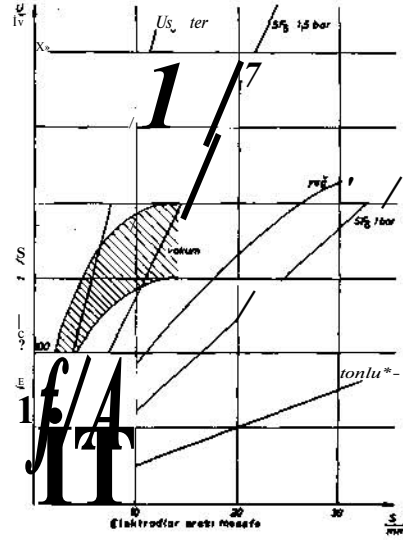
##### 4.1 Boşta çalışma karakteristiği

Bu tanımdan yaklaşık akımsız şalterlemelerde

Delinme gerilimi = f (kontaklar arası mesafe)

fonksiyonu anlaşılır. Vakumda küçük elektrod mesafelerinde oldukça yüksek bir delinme gerilimi vardır. Bu vakum kesicilere açma sırasında kontaklar arasında meydana gelen çok yüksek trazit toparlanma gerilimlerine de dayanma özelliğini kazandırır. Bu özelliğinden dolayı vakum kesiciler kapasitif akımların şalterlenmesinde de güvenle kullanılabilirler.

Açma sırasında ayırma aralığının gerilim dayanımı çok hızlı olduğundan küçük indüktif akımların kesilmesinde devrede aşırı gerilimler doğacağından vakum kesicilerin bu özelliği devreyi olumsuz olarak etkiler.



Şekil 7. Gerilim dayanımı 1,2/50

Yağda ve SF<sub>5</sub> gazında aynı dederdeki delinme gerilimi, elektrotlar arası mesafe artırmakla sağlanır. Burada şunu da belirtmek gerekir ki SF<sub>6</sub> gazı ancak sıkıştırıldığında yağın delinme gerilimine ulaşabilir.

##### 4.2 Ark zamanı

SF<sub>6</sub> kesicisinde olduğu gibi az yağlı kesicide de görülüyor ki, arkin ürettiği gaz akımı ile, mekanik olarak sağlanmış gaz akımı kombinasyonu ile ark zamanı kısaltılabilmektedir. Her iki ark söndürme prensibinde de, küçük indüktif akımların kesilmesinde aşırı gerilim faktörü küçük değerlerde kalır ve böylece şalterleme yapılan devrenin elemanlarının (Transformatör, Motor vs.) izolasyonuna zarar verilmemiştir olur.

Vakum kesicide ark kendisi tarafından üretilmiş bir gaz akımı ile sönmeyip, tamamen akım şiddetinden bağımsız olarak sönmektedir.

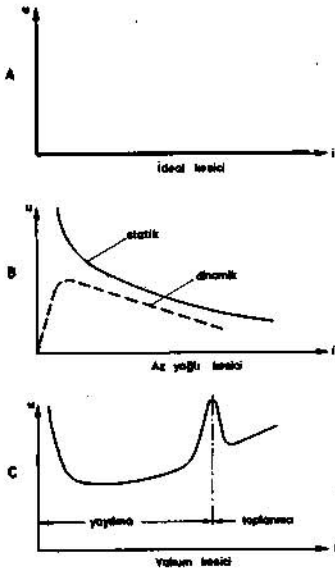
##### 4.3 Ark gerilimi, ark enerjisi

Şekil 8'deki A diyagramında ideal bir kesici arkının akım-gerilim karakteristiği görülmektedir. Az yağlı ve SF<sub>6</sub> kesici arkının akım-gerilim karakteristiği B diyagramında gösterilmiştir. Yağ ve SF<sub>5</sub> gazındaki arklarda gerilim düşerken akım yükselmektedir. Bu karakteristik akımın her yarı dalgasında tekrarlanacaktır.

Ark plasması belirli bir termik ataletle sahip olduğundan, geçirgenliğinin zamana göre değişimi (d/dt) zamana göre akımın değişimini (di/dt) takip edemez. Bundan dolayı akımın sifıra ulaşmasından sonra bir ard akım oluşur (arkın dinamik karakteristiği).

Vakum kesicilerde ise durum çok daha başkadır. Burada arkin geçirgenliği soğutma ile değişmediğinden akımı takip ederek gecikmeden sifıra ulaşır. Vakumdaki arkin başka bir özelliği de gerilimin akımla

beraber artmasıdır. Elektriki yük taşıyıcısı olarak, gazın artan akımla birlikte sıcaklığı da artırır ve böylelikle yoğun bir iyonizasyon sağlanır. Yoğun iyonizasyon gazın geçirgenliğini artırır. Bunu çok küçük olan ark geriliminden anlamak mümkündür. Vakumda ise elektriki yük taşıyıcıları kontak malzemesinden ayrılırlar. Yani artan akımla beraber elektriki yük taşıyıcılarının ayırma enerjisi de artar ki, bu da daha yüksek bir ark geriliminin oluşması demektir. Elektriki yük taşıyıcılarının diffuziyondan birleşmeye geçmesi sırasında, gerilimde karakteristik bir tepe gerilimi oluşur ki, bu da gerilimin yükselmesine katkıda bulunur. (Şekil 8 diyagram C)



Şekil 8. Ark karakteristik eğrileri

Genel olarak vakum kesicilerde ark geriliminin ortalama değeri az yağlı ve SF<sub>6</sub> kesicilere oranla çok daha düşüktür. Bu bağıntı yaklaşık olarak ark uzunluğu için de geçerlidir. Buradan arkın sönmeye sırasında vakum kutbunda dönüşen enerji, diğerlerine oranla 8-16 defa daha azdır. Bu vakum kesiciler için olumlu bir özelliktir. Çünkü bu özellik kesiciye daha fazla akümüle akımları şalterleyebilme yeteneğini kazandırır. Vakum kesicilerde ark zamanı 16 kA e kadar akım değerlerinde diğerlerinin % 70'i dir.

#### 4.4 Akımın kopması (Chopping)

Küçük endüktif akımların (Mesela dalga direnci VL/C küçük olan kompenzasyon bobinleri, motorlar ve transformatörler) kesilmesinde ark direncinin birdenbire çok yüksek değerlere ulaşarak akımın zamanından önce sifira ulaşmasına akımın kopması (Chopping) denir. Bu olay L—den dolayı transformatör veya te-

disin izolasyonunu tahrip edebilecek kadar yüksek gerilimlerin oluşmasına neden olur. Her üç ark söndürme prensibinde de akım zamanından önce sifira ulaşır, yani kopar. Ancak az yağlı ve SF<sub>6</sub> kesicilerde uygun dizayn ile ayırma aralığına sevk edilecek gaz akımı ile

ayırma aralığının yalıtkanlığı ayarlanabilir ve dolayısıyla akımın da tabii olarak sıfır noktasına ulaşabilmesi sağlanır. Vakum kesicilerde ise bu mümkün değildir. Bölüm 2.2'de belirtildiği gibi vakum kesicilerde arkın istikrarsızlığı kontak malzemesinden de etkilenmektedir. Burada kontak malzemesinin ergime derecesi (i<sup>2</sup>v) ile ısı geçirgenliğinin (X) etkisi çok önemlidir. i<sup>2</sup>\*X 'değerleri küçük olan kontak malzemeleri ile daha küçük kopma akımları sağlamak mümkündür. Doğal olarak bu tip kontak malzemelerinin kaynama, düşük elektriki geçirgenlik gibi olumsuz yanları da vardır. Ancak böyle durumlarda en optimal kombinasyonu seçmek gerekir. Bu malzeme modern vakum kesicilerde sinterlenmiş Cr-Cu malzemesidir. Bu malzeme ile kopma akımı birkaç amperle sınırlanabildiği gibi kontak kaynaması önlenmiş ve iyi bir elektriki geçirgenlik sağlanmış olur.

Modern vakum kesicilerde kopma akımları küçük değerlerde sınırlanmış olmakla beraber, şalterleme yapılan şebeke elemanlarına zarar verebilecek yüksek gerilimlerin sınırlanabilmek için yük tarafına parafudurlar öngörmek gerekir. Günümüzde bu amaçla çinko oksit parafudurlar kullanılmaktadır.

#### 5. ÇEVRENİN ETKİLENMESİ

Günümüzde yatırım malları seçilirken yalnız tekno ekonomik açıdan değil, aynı zamanda çevre temizliği bakımından da irdelenmektedir. Şekil 9'daki tabloda her üç prensibin çevreyi etkileyen yanları karşılaştırılmıştır.

Öz-UM>r	Az yağ.	Vakum	SF <sub>6</sub>
Ark söndürme ortamı	yana	öt >	değil
Yon>*="			
Teneffüs edilecek havayı kHetmei	yok	y<*	wr
Röntgen ıffilanntn yayılma*	yok	var	yok
*rıza hallerinde patlama tehlikesi	var	yok	var
Solterleme M-asmda toksin veya tadrğan arbkıann oluşması	yok	yok	var
Şalterleme sırasında kutupla oluşan gürültü	yok	yok	yok
Şalterim* sırasında fabrik mtkanizmasında olman gürültü	90dB(A)	90dB(A)	»OK«)
Şalterleme sırasında gaz yayılma»	var	yok	yok
IN*630 A'de ısı kayıp deleri	100 W	50 W	100 W
Bakvın ptrsontti Kin özel koruma donabmı	gerek yok	gerek yok	gerek var

Not =  
Pozitif kriterler

Şekil 9. Az yağlı, vakum ve SF<sub>6</sub> kesicilerinin çevreyi etkileyen özellikleri

Az yağlı kesicilerde ark söndürme ortamında kullanılan transformatör yağının yamalılığı ve dolayısıyla kolay ateş almayan karbon hidrojen bileşimleri araştırılmaktadır.

Vakum kesici ise zararlı röntgen ışınları yaymaktadır. Katottan ayrılan elektronlar yüksek bir enerji ile anot-

taki atomlara çarparlar. Elektronların, anottaki atomların elektron tabakasına girmeleri buradaki elektriki yükün ve Coulomb alanının dengesini bozarlar. Bu olay yön değiştirici kuvvetlerin doğmasına neden olur ki, bu da frenleyici bir etki oluşturur. Böylece Maxwell teorisine göre elektro manyetik ışınlar yayılır. Bu frenleme ışın tayfında Röntgen ışınları vardır. Uygun malzeme seçimi ve ekranlama ile Röntgen ışınlarının hücrenin dışına yayılması ile önlenir. ANSI normunun (American National Standard Institution) C37.85 nolu yönetmeliğine göre her vakum kesicinin Röntgen ışınları yaymadığı rutin testlerle saptanması ve test protokollerinin resmi makamlara ibraz edilmesi gerekmektedir. Röntgen ışınlarını önleyici önlemlerin ve buna ilişkin testlerin her imalatçı tarafından öngörülmesini düşünmek oldukça güçtür. SF<sub>6</sub> kesicilerde ise, özellikle şalterleme sırasında oluşan SF<sub>5</sub> gazının ayrışmalarına değinmek gerekir ki bu da bakım sırasında ciddi önlemlerin alınmasını gerektirir. Ark sırasında SF<sub>5</sub> gazı aşağıdaki gibi ayrışır;



Bunun yanısıra daha başka SF<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub> bileşimleri de oluşur. Kontakten ayrılmış ve buharlaşmış metal zerrecikleri, beyaz-gri renkte "metalfuorid" tozları olarak kutbun iç cidarına dağılır. Şalterleme sırasında ayrışan SF<sub>6</sub> gazı rutubet ile daha fazla sorun yaratır. Şöyle ki;

$F_2 + H_2 \rightarrow 2HF$  Hidrofluork asidi ile



oluştururlar. Sülfürik asit daha çok SF<sub>5</sub> gazındaki kısmi deşarj ile meydana gelir. Normal şartlarda zehirli olmayan ve havadan ağır olan SF<sub>5</sub> gazı bakım sırasında tesisin alt bölümüne, varsa bodrum katına yada-

Özellikler	Az yağlı	Vakum	SF <sub>6</sub>
Kesici devrede iken ark söndürme ortamının kontrolü	kolay ve ekonomik	mümkün değil	mümkün
Kesici kutbu sökülmeden kontak aşınmasının kontrolü	mümkün değil	mümkün	mümkün değil
Kutupların dış darbelerle karşı mekanik duyarlılığı	duyarlı değil	duyarlı	duyarlı
Kontak oksidasyonu	var	yok	var
Bakım kolaylığı	çok kolay	kutupta mümkün değil	çok kulfetli
Mevcut işletme tecrübesi b.:kimi	çok	yok	yok
Ark söndürme malzemesinin temin ve ambarlanmasının kolaylığı	kolay ve ekonomik	yok	kulfetli
Yetişmiş personele ihtiyaç	gerekli	gerekli	çok gerekli
Nakil ve ambarlama zorluğu	sorun yok	sorunlu	sorunlu

Şekil 10. Az yağlı, vakum ve SF<sub>6</sub> kesicilerinin bakım ve işletme açısından karşılaştırılmaları

rak buralardaki oksijenin (havanın) yerini alarak canlılar için tehlikeli olabilecek koşullar yaratabilirler. Şalterleme sırasında "metalfuoridler" nefes yollarında tedavisi zor veya imkansız tahribatlara neden olurlar. İnsan sağlığı için son derece zararlı olan bu zehirli metalfuoridlerin bakım sırasında özel bir elektrik süpürgesi ile toplanıp, atılmadan önce % 3'lük bir soda çözeltisi ile nötröle edildikten sonra imha edilmesi gerekir. Bütün bunlar yapılırken personelin koruyucu elbise, maske, eldiven vs. ile donatılması gerekir.

Görüldüğü gibi hiçbir şalterleme prensibi tam olarak problemsiz değildir.

## 6. BAKIM VE İŞLETME

Kesici devrede iken ve fiderlerin enerjisiz kalmasına gerek kalmadan az yağlı kesicilerde, yağın miktarını ve durumunu bir seviye göstergesi ile, SF<sub>6</sub> kesicilerde ise gaz basıncını sıcaklığa göre kompenze edilmiş bir manometre ile kontrol etmek mümkündür. Vakum kesicilerde ekonomik sınırlar içinde kalabilen bir kontrol cihazı mevcut değildir. Vakumetrelerin kutuplara montajı kesici kutbunun fiyatını birkaç kat artırır. Sağlıklı bir vakum kontrolü gerilim veya akım ölçmekle sağlanabilir. Akım ancak dışarıdan manyetik alan uygulanarak *nA* düzeyinde ölçülebilir. Bu metodun olumsuz bir yanı da ölçü için vakum hücresinin sökülmesidir. Uluslararası düzeyde imalatçılar gerilim ölçme metodunu uygun bulmaktadırlar. Bunun için klasik test cihazları öngörülmektedir. Kesici kutuplarındaki aşınan parçaların değiştirilemeyip, bunun yerine kutbun tamamen değiştirilmesi gereği vakum kesicilerinin başka bir olumsuz yanındır. Vakum kesici kutupları metal ve keramik elemanların birleşmesiyle oluştuğu için dışarıdan gelebilecek mekanik darbelerle diğer kesicilerin aynı elemanlarına oranla daha fazla zarar görürler. Dışarıdan gelen herhangi bir mekanik darbe ile kutuptaki vakumun kaybolması ya hiç fark edilmiş işletme arızalarının çoğunlukla kutupların daha önce mekanik darbe ile zedelenmesinden kaynaklandığı kullanıcılar tarafından ileri sürülmektedir.

Vakum kesiciler yalnız olumsuz yönleriyle değil, olumlu yönleriyle de incelenmelidir. Vakum kesici kutuplarında hava dolayısıyla oksijen bulunmadığından, kontakların oksitlenmesi söz konusu değildir. Vakum kesicilerde ark herhangi bir ek mekanizmaya gerek kalmadan söner. Bu nominal açma akımı sınırları içinde bütün akımlar ve geçici olaylar için geçerlidir. Vakum kesici kutbunun çok az bir ark enerjisine sahip olması ve metal buharlarının tekrar kondense oluşu bu tip kesicilerin başka bir olumlu yanındır.

Şekil 11'de bir bakım periyodu içinde yapılabilecek şalterleme sayılarını karşılaştırdığımızda her üç tipin de çok sayıda şalterleme yapabileceği görülür. Tablo da ayrıca tahrik mekanizmasının mekanik ömrü standartlarda verilen 1000 veya 3000 şalterlemenin ve hatta 11. Working Group'un ileride IEC'de yer almasını önerdiği sayının çok üstünde olduğu görülür.

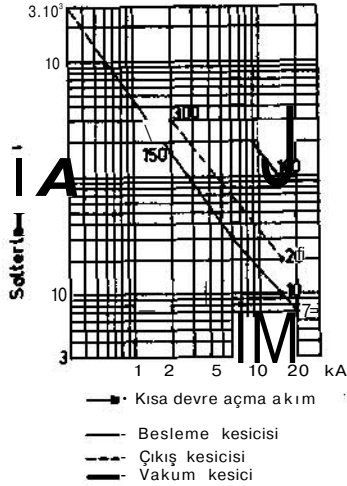
SatUrtme durumu	Az yağlı	Vakum	S*
Akimsız	W 000	10 000	10 000
Nominal akımda	3 000	10 000	S 000
Açma akımının V. 20 sinde	100	2000	200
Açma akımının %. 100 Unda	20	100	50

Şekil 11. Bir bakım periyodu içinde izin verilen şalterleme sayıları

Ayrıca tabloda vakum kesicilerin çeşitli akım değerlerinde bakım gerektirmeden yapabildiği şalterleme sayısının değerlerine oranla çok fazla olduğu görülür.

## 7. HER ÜÇ KESİCİ TİPİNİN ÇEŞİTLİ YÖNLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Son yıllarda yapılan az yağlı kesicilere ilişkin araştırma ve geliştirmelerle bu tip kesicilerde çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Mesela şekil 12'deki diyagrama göre normal şartlar altında çalışan bir modern az yağlı kesicinin bakım gerektirmeden 10 yıl işletmede görevini yapabileceği ortaya çıkmaktadır. Ancak pek çok kısa devre şalterlemesi yapılması gereken tesislerde bir bakım periyodu içinde yapabileceği şalterleme sayısı oldukça azdır.



Şekil 12. Az yağlı ve vakum kesicinin bir bakım periyodu içinde yapabileceği şalterleme sayısı  
Mekanik ömür bakımından da az yağlı kesiciler bir bakım periyodu içinde 10000 şalterleme yapabilmekte

veya oAkim periyodunun süresi 10 yıl olabilmektedir. Yine az yağlı kesicilerin geliştirilmesi sonucu bu tip kesicilerin ve dolayısıyla daha ekonomik imalatı mümkün olmuş maliyetleri de diğerlerine oranla daha da düşürülebilmektedir. Bu gelişmelerle az yağlı kesicileri kullananlar için önemli olan işletme emniyeti de sağlanmıştır.

Az yağlı kesicilerin şalterlemeye hazır olduklarını yağ göstergesi düzeninden anlamak mümkündür. Her şalterlemede yağın çok az da olsa bir kısmı ayrışmadan dolayı azaldığından yağ düzeyinden kesicinin daha kaç şalterleme yapabileceğini anlamak da mümkündür. Ayrıca az yağlı kesiciler boşta çalışan kabloları ve enerji nakil hatlarını, arkın tekrar tutuşmasına meydan vermeden ve küçük endüktif akımları izin verilmeden yüksek tranzient toparlanma gerilimlerini oluşturmadan şalterleyebilmektedirler.

Az yağlı kesicilerin olumsuz yanı ark söndürme ortamında transformator yağının kullanılmasıdır ki bu da kesici açma sırasında fonksiyonunu yerine getiremediği zaman bazen çok tehlikeli patlama ve yangınlara neden olabilmektedir. Bu yanma olayına daha çok eski tip az yağlı kesicilerde rastlanmaktadır. Az yağlı kesicilerin olumsuz başka bir yanı da çok sayıda kısa devre arızası olan fiderlerde daha sık bakıma ihtiyaç göstermeleridir.

SFg kesicileri az yağlı kesicilere oranla bir bakım periyodu içinde 2-3 defa daha fazla şalterleme yapabilirler. Ancak bakımın çok daha zor olması, personelin daha iyi eğitilmesi gereği, bakım sırasında birçok özel cihazların gerekmesi bu tip kesicilerin olumsuz yanındır. SF5 kesici kutuplarından birinin herhangi bir nedenden dolayı patlayarak zehirli şalterleme artıklarının (metalfuroid tozları) tesise yayılması çok tehlikeli bir durum yaratır ki bundan dolayı birçok Avrupa ülkesinde tercih edilmemektedir. Ayrıca bu ülkelerdeki işyeri sağlığına ilişkin sıkı yönetmeliklerde işletmecilerin dikkate almaları gereken önemli bir husustur.

Vakum kesicilerde bir bakım periyodu içinde yapılabilen şalterleme sayısı o kadar yüksektir ki, normal işletme şartlarında (özel durumlar hariç) bu sayıya tesisin ömrü boyunca ulaşamaz. Şalterleme sırasında kesici kutbu fonksiyonunu yerine getiremeyip tahrip olduğu zaman diğer tiplerde olduğu gibi etrafına zarar vermez.

Vakum kesicilerin küçük değerlerdeki ark enerjisi ayırma aralığındaki iyonizasyonun çok çabuk sona ermesine ve akımın zamanından önce sifira ulaşarak kopmasına neden olur ki bu da 100 A in üzerindeki akımlarda yüksek gerilimlerin oluşmasına neden olur. Vakum kesicilerin bu özelliği şebekelerde önlem alınsa bile olumsuz bir özelliktir.

## 8. TEKNOEKONOMİK KARŞILAŞTIRMA

Az yağlı kesicinin bakımında yalnız kontaklar ve ark söndürme hücresi gözden geçirilerek yağı değiştirilir.



Eskimiş yağ kolayca imha edilebilir. Bakım çok basit olduğundan en fazla 3 saat içinde yapılabilir. Personel bunun için kolayca eğitilebildiği gibi özel cihaz ve önlemlere gerek yoktur.

SF6 kesicisinin bakımı için önce kesici kutupları yerinden sökülüp, kutuplardaki gaz özel bir cihaz ile alındıktan sonra, kutup açılarak içindeki metal floroidler toplanıp daha önce de belirtildiği gibi % 3'lük bir soda eriyiği ile nötröle edildikten sonra imha edilir. Kontaklar ve ark söndürme hücreleri kontrol edildikten sonra kutup kapatılarak 1 torr'luk vakumda bekletilerek sızdırmazlığı kontrol edilir. Bundan sonra gaz doldurularak rutubet ve gaz kaçağı kontrol edilir. Kutuplar yerlerine monte edilerek kesici işletmeye hazır duruma getirilir. Bütün bu işler için gerekli zaman en az iki gündür. Bu bize aynı şartlarda çalışan SF5 kesicilerinin bakımı için gerekli bakım ekibinin, az yağlı kesicilerin bakımı için gerekli bakım ekibine göre artırılması gerektiğini gösterir. Ayrıca SFg kesici bakım personelinin çok iyi eğitilmesi de gerekmektedir. Az yağlı ve vakum kesiciler bakım sırasında özel cihaz ve gereçleri gerektirmedikleri halde SF5 kesicilerinin bakımında gaz boşaltma cihazı, 1 torr'luk vakumu sağlayacak vakum pompası, gaz doldurma ve rutubet ölçme cihazı gibi daha birçok bakım ve kontrol cihazlarına ihtiyaç vardır. Bakımı yapılan kesici fiderleri bakım sırasında enerjisiz kalamayacağına göre yedeklenmeleri gerekir ki, buradan da SF5 kesici yedek sayısının az yağlı kesici yedek sayısına oranla artırılması gerektiği ortaya çıkar. Bütün bu belirtilenlerin ötesinde, SFg kesicisi imal edilen ülkelerde kesiciler bakım için fabrikasına gönderilmektedir. (Mesela Fransa'da). İmalatçılar dış ülkelere fabrikaya gönderilemeyen kesicilerin de sağlıklı bir bakımının ancak kendi elemanları tarafından yerinde yapılabileceğini öne sürmektedirler. Bunun için gelişmemiş Afrika ülkelerinde bakım kolonileri kurarak sattıkları kesicilere ek olarak bir de hizmet satmaktadırlar. Bu Türkiye şartlarında çok zor bir husustur. Şekil 11'deki tabloda verilen bir bakım periyodu içinde yapılabilecek şal terleme sayıları tekrar incelendiğinde ve her iki tipin bakımı için harcanan zaman, özel cihaz ve donatım için yapılacak yatırımlar dikkate alındığında başlangıçta az yağlı kesiciden daha üstün görünen SF5 kesicisinin pek üstün olmadığı ortaya çıkar.

Vakum kesiciler ise daha uzun bakım periyoduna sahip olmasına rağmen, çok kısa devre arızası şalterlere ömrü bitmiş kutupların bakımı yapılamayıp ancak yenisi ile değiştirildiğinden atılması gerekir. Kutuplar tipine göre kesici fiyatının % 60-70'ini kapsamaktadır. Vakum .kutununun yurt içi imkanlarla imalatı mümkün olamayacağından devamlı olarak dışa bağımlı kalıp, döviz karşılığı ithal edilen kısmı ömrü bitince atılacaktır.

Vakum ve SFg kesiciler mekanik darbeye karşı daha duyarlı olduklarından taşınması ve ambarlanması sırasında gerekli özen gösterilmediğinde meydana gelecek

zarar ve ziyan veya buna ilişkin alınacak önlemler için yapılacak ek yatırımlar da dikkate alınmalıdır. SFg ve vakum kesicileri geliştirip ilk defa piyasaya arz edilen ülkelerde dahi yeterli işletme tecrübesi birikimi mevcut değildir. Bunun için bu tip kesicilerin ileride daha ne gibi problemler doğuracağını şimdiden kestirmek mümkün değildir.

Şu anda SFg ve vakum kesici fiyatları, nakliye, sigorta ve gümrük masrafları dikkate alındığında aynı nominal değerlerdeki az yağlı kesici fiyatlarının en az iki katıdır. Ancak SFg ve vakum kesicilerin ileride yurt içi imkanlarla imalatı gerçekleşse bile yine de fiyatları çok özel malzemeler gerektiğinden az yağlı kesicilerin 1,5 katı olacaktır.

Az yağlı kesicilerin seçiminde, kullanılacakları yerde beklenen kısa devre açma akımının birkaç katı daha fazla nominal kısa devre açma akımına sahip bir az yağlı kesici seçmek suretiyle, bir bakım periyodu içinde şalterleme sayısını artırmak mümkündür. Böyle bir seçim yapıldığında yine de ekonomik sınırlar içinde kalınabilir. Üstelik döviz kaybı da önlenmiş olur.

1978 yılından bu yana Türkiye'de % 100 yerli az yağlı kesici imalatı yapılmaktadır. Bu imalatla birlikte yan sanayide gelişmiştir. Bu gün Türkiye'de çok özel proseslerle az yağlı kesici kontakları, kutup tüpü ve ark söndürme hücreleri gibi önemli kesici parçalarını imal eden bir yan sanayi vardır. Halbuki SFg kesici imalatı için böyle bir yan sanayi mevcut değildir. Böyle bir yan sanayinin oluşması büyük yatırım ve teknolojiyi gerektirmektedir.

Vakum kesicilerde ise; dünyada ancak birkaç firma vakum hücre teknolojisine sahiptir. Hatta bazı firmalar bu teknolojiye sahip olmadıklarından ve modern az yağlı kesicileri de geliştiremediklerinden SFg kesici imalatını, kendi teknolojik imkanları açısından daha uygun bulmuşlardır. Bunun için vakum hücrelerin yurt içi imkanlarla imalatını çok uzun bir sürede düşünmek gerekir.

## 9. SONUÇ

Bu yazının amacı en iyi kesici prensibini seçmek değildir. Zaten bu da mümkün değildir. Çünkü her Uç tipin de diğerlerine üstün yanları vardır. Ancak işletmeciler daha az bakım gerektiren kesici tipini ararken teknik açıdan olduğu kadar ekonomik açıdan da titizlikle incelemelidirler. Burada ihmal edilmemesi gereken bir husus da çevre temizliği ve işçi sağlığıdır. Bu konuda gelişmiş ülkelerdeki tecrübe birikimlerinden yararlanmak mümkündür.

## KAYNAKLAR

1. Kari StegmüUer "Schaltprinzipien der Mittelspannungs-Leistungsschalter ölarm-Vakuum-SFg"
2. Helmut Kindler "Über den Einsatz und die Eigenschaften von Vakuum-Leistungsschaltlem in Mittelspannungsnetzen. Vergleich mit den anderen Schalterbauformen"