

ÇUBUK-DÜZLEM ELEKTROD SİSTEMİNDE SF₆/ARGON KARIŞIMLARININ DELİNME DAYANIMI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Mehmet Akif ŞENOL

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bahçelievler, Ankara

e-posta: makif58@yahoo.com

Anahtar sözcükler: SF₆/Argon Gaz Karışımları, Delinme Dayanımı, Çubuk-Düzlem Elektrod Sistemi, Gaz Yalıtımlı Yüksek Gerilim Cihazları

ABSTRACT

As it is known, the most widely used gas as an insulator in high voltage apparatus is the sulfur hexafluoride (SF₆). In recent years, due to the high cost of the SF₆, the insulating characteristics of its mixtures containing other widely available and cheap gases has started to be investigated by the scientists.

On the other hand, the Kyoto Protocol on climate change which was put into effect in 1997, mandates that the non-natural gas emissions should be reduced to certain levels with ultimate aim to limit the greenhouse gas emissions. Taking into account the world-wide production of SF₆ ranging in between 6000-8000 t/year and the fact that 4.5% of that amount is emitted to the atmosphere which further increases the total amount of SF₆ emissions by the year 2010 and beyond, necessary mitigation measures should be taken to prevent global heating caused by the emissions of non-natural SF₆.

This research work studies the variation of breakdown strength of the mixture which was formed by the addition of Argon in to SF₆ gas with its advantageous characteristics over other gases such as low arc inductance, good quality of conductivity, chemical stability in a non-homogenous electrical field under the conditions of high temperatures, partial pressure rates, alternating voltages. Throughout the experiments, fixed gap rod-plane electrode system were used.

Experimental results have shown that SF₆/Ar mixture which was formed by the addition of SF₆ in to Argon which is breakdown voltage is comparatively lower than that of SF₆, the mixture's breakdown strength sharply increased. At 50% SF₆+50%Ar mixture, the breakdown strength of the mixture has been detected to get close to that of SF₆. Specifically at %75SF₆+%25Ar, the breakdown strength of the mixture have been found to get closer to that of pure SF₆ even further.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın hızla arttığı dünyamızda, üretilen elektrik enerjisinin sınırlı

doğal kaynaklar ve ekonomik nedenlerle en az kayıpla tüketim merkezlerine ulaştırılması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında böylece, yüksek gerilimlerin kullanılma mecburiyeti doğmuştur. Fakat bu defa da yüksek gerilim cihazlarında kullanılan veya ortamda bulunan gaz, sıvı ve katı yalıtkan maddelerde elektriksel zorlanma nedeniyle yalıtım problemleri, akım kesme, ark söndürme gibi konular gündeme gelmiştir.

Yüksek gerilim cihazlarında yalıtkan olarak kullanılan gazlardan beklenen özellikler; yüksek elektriksel delinme dayanımı, değişik işletme sıcaklıklarında yüksek basınçlara çıkılabilmesine imkan vermek üzere sıvılaştırma sıcaklığının mümkün olduğunca düşük olması, gazın özgül ısısı, ısı iletkenlik katsayısı, viskozite katsayısı gibi faktörlere bağlı olan gazın soğutma ve ark söndürme yeteneği, boşalma olayları esnasında özelliklerini kaybetmeme, diğer gazlarla kimyasal reaksiyona girmeme, alevlenmeme, zehirli olmama vb.'dir.

SF₆ gazının, yüksek dielektrik dayanımı, kimyasal kararlılığı ve zehirli olmaması gibi özellikleri nedeniyle bir yalıtım gazı olması, ayrıca iyi ısı iletim yeteneği ve ark söndürme yeteneği nedeniyle akım kesme ortamı olarak kullanılabilmesi sonucunda; 1930'lu yıllarda yüksek gerilim cihazlarının prototiplerinde kullanılabileceğinin ispat edilmesi üzerine 1947 yılında sınırlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle 1970'li yıllardan itibaren başta kesiciler olmak üzere, metal mahfazalı modüler yük ayırıcıları (RMU: Ring Main Unit), Ülkemizde de birçok 154 kV'luk işletme gerilimli transformatör merkezlerinde uygulaması bulunan gaz yalıtımlı anahtarlama tesisleri (GIS: Gas Insulated Switchgear) olmak üzere, gerilim ve akım ölçü transformatörleri, yüksek gerilimli kablolar, gaz yalıtımlı enerji iletim hatlarında (GIL: Gas Insulated Lines) vb.'de kullanılmaya başlamıştır. Bu yalıtkanın halen 3-800 kV aralığında başarıyla kullanıla geldiği bilinmektedir. Ancak 1973 dünya petrol krizinden sonra bilim adamları ekonomik nedenlerle SF₆ gazından çok daha ucuz, kolay

elde edilebilen, ancak diğer gazlardan ayrıcalıklı özelliklere sahip gazlarla SF₆ gazını karıştırmak suretiyle optimum bir çözüme yöneldiler. Amaç, diğer gazların ve gaz karışımlarının boşalma davranışlarını daha iyi anlayabilmek ve optimum elektriksel özellikler ile daha ekonomik bir yalıtım sağlamaktır. Bu konuda halihazırda yapılan çalışmalar delinme mekanizmasını tam anlamıyla açıklığa kavuşturabilmiş değildir. Bu durum, bu konuda daha çok deney ve araştırma yapılmasını gerektirmektedir.

Öte yandan 1-10 Aralık 1997'de Japonya'da yapılan "KYOTO İklim Değişikliği Protokolü" dünyadaki sera etkisinin azaltılması için doğal olmayan gaz emisyonlarında azaltmaya gidilmesini öngörmektedir [1]. 6 gaz (CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFC-11: CCl₃F, CFC-12: CCl₂F₂) için yapılması istenilen kısıtlamalar içinde gerçi SF₆ gazı dahil edilmemiştir. Ancak SF₆ gazının doğal bir gaz olmadığı infrared emici özelliği nedeniyle sera etkisi yaptığı ve kuvvetli bir sera gazı olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle Uluslararası Elektrik Enerjisi Üreticileri ve Dağıtıcıları Birliği (UNIPED) bünyesinde bulunan ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun (IEC) Mayıs 1992'de Milano / İtalya'da yapılan Genel Kurulu'nda alınan karar gereği kurulan Avrupa Birliği Elektrik Şalt Cihazları Üreticileri Birliği Komisyonu (CAPIEL) tarafından hazırlanan Ocak 2000 tarihli raporda, dünyada yıllık SF₆ üretimi 6000-8000 ton/yıl olarak öngörülmekte, bunun %3'nün kaçak ve bakım esnasında atmosfere atıldığı, imalat esnasında da yıllık %1,5'lik kayıp olduğu, toplam yıllık kaybın, başka bir deyişle yıllık atmosfere atılan SF₆ gazının toplam yıllık üretiminin %4,5'i olduğu belirtilmekte olup; 2010 yılında Avrupa Birliği'nde toplam SF₆'nin tesis miktarının 5800-6600 ton (ortalama 6200 ton) olacağı ve ortalama kesici ömrünün 30 yıl olduğu dikkate alınarak, 1980 yılında tesis edilen kesicilerin 2010'da ortalama ekonomik ömürlerini dolduracağı, 2010 yılından itibaren dünyadaki SF₆ emisyonlarının artışı ve doğal olmayan bu gazın yarattığı global ısınma etkisini önlemek üzere gerekli tedbirlerin alınmasının zorunlu olduğu bildirilmektedir [2]. Bu tedbirler arasında SF₆ gazının yerine uygun gaz karışımlarının kullanılması ile SF₆ miktarını sınırlama, ekonomik dolmuş mevcut yüksek gerilim cihazlarındaki SF₆ gazının geri dönüşümünün disipline edilmesi vb. sayılabilir.

SF₆ gazının dünyamızdaki global ısı artışına sebebiyet veren kuvvetli bir sera gazı olmasının yanı sıra, başka olumsuz özellikleri de vardır. Örneğin, ark sonrası bozunma neticesinde yüksek derecede zehirli formlarının olması, korozif bileşenler içermesi, non-polar içeriklerinin olması, örneğin hava ve CF₄ gibi bileşenlerden kolaylıkla ayrılamaması, delinme dayanımının su buharına duyarlı olması, elektrod yüzey pürüzlülüğüne aşırı duyarlı olması, -50,8 0C'de sıvılaşması, kimyasal

hareketsizliğinden dolayı atmosferden kolayca dışarı atılamaması sayılabilir.

Argon (Ar) gazı kimyasal olarak kararlıdır. Üstelik arkın teşekkül ettiği sırada sıcaklığın 15.000 °K'e çıkabileceği dikkate alınarak yüksek sıcaklıklardaki iyi iletim kabiliyeti ve kararlılığını muhafaza etmesi; darbeleri büyük güçlerin kesilmesi esnasında küçük bir ark endüktansına sahip olması nedeniyle arkın tekrar teşekkül etmesine engelleyici bir etki yapması; arıza, bakım veya yeniden gaz doldurma gibi işlemlerde meydana gelebilecek atmosfere gaz kaçağı halinde sera etkisi yapmaması; düşük sıvılaşma sıcaklığı, diğer gazlarla temasta kimyasal ilgisizliği, SF₆ gazına göre 10 kat ucuz olması ve zehirli olmaması gibi avantajları mevcuttur. SF₆ gazı ile karşılaştırıldığında, argon gazının en önemli dezavantajı dielektrik dayanımının küçük (atmosferik basınçta SF₆'nin delinme dayanımı 89 kV/cm, argonun delinme dayanımı ~4,8 ila 5,2 kV/cm) olmasıdır. Bu yüzden SF₆ ile diğer gazların dielektriksel davranışları araştırılırken, SF₆ ile argon gazını karıştırmak ve böylece argon gazının yukarıda belirtilen iyi özelliklerini göz ardı etmeden argonun dielektrik dayanımını artırma konusuna iyi bir çözüm olabilir. SF₆/Ar gaz karışımlarının elektriksel özellikleri hakkında literatürde çok az bilgi vardır. Bu çalışma böyle bir araştırmaya yöneliktir.

Bu çalışmada, argon gazının muhtelif oranlarda SF₆ gazı ile karıştırılmasıyla elde edilen karışımların delinme dayanımının incelenmesi ve yüksek gerilim cihazlarında kullanımına katkılarının araştırılması amaçlanmıştır. Gaz yalıtkanlar, endüstriyel uygulamalarda çoğu kez düzgün olmayan elektrik alanına maruz kalırlar ve düzgün olmayan alandaki delinme mekanizmaları ve davranışları düzgün elektrik alanındakinden farklıdır. Bu nedenle bu çalışmada, çubuk-düzlem elektrod sistemi kullanılarak düzgün olmayan elektrik alanlarında, muhtelif oranlardaki SF₆/Ar gaz karışımlarının, alternatif gerilimdeki delinme dayanımları, basınç değiştirilmek suretiyle belirlenmiş, elde edilen deneysel sonuçlar, teorik sonuçlarla karşılaştırılarak SF₆/Ar gaz karışımları için uygulama aralıkları verilmiştir.

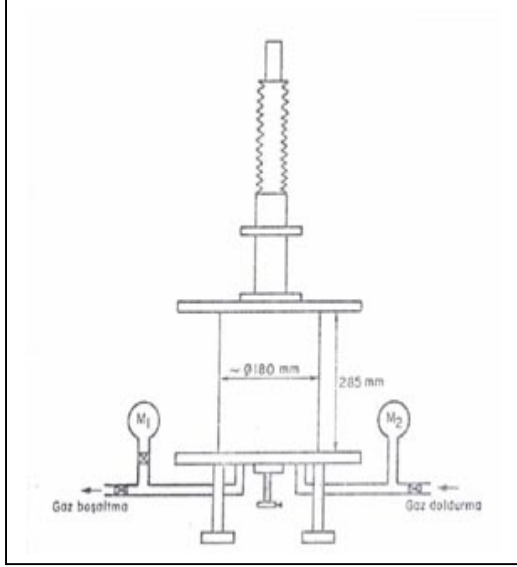
2. DENEY DÜZENEGİ

Muhtelif SF₆/Ar gaz karışımları, çubuk-düzlem elektrod sisteminde, delinme dayanımı açısından deneysel olarak incelenmiş olup, bu amaçla oluşturulan deney düzeneği iki ana bölümden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin mekanik bölümünü, elektrod sistemleri, basınç kabı, SF₆ ve argon gaz tankları, vakum pompası, vakummetre ve manometre ile deney basıncına dayanıklı hortum ve uygun seçilmiş vanalar oluşturulmaktadır. Deney düzeneğinin elektriksel bölümünü ise, gerilim kaynağı, elektriksel devre elemanları, basınç kabının içindeki üst elektrod ile

irtibatlandırılmış bir geçit izolatörü, ölçme devre elemanları, alet ve cihazları oluşturmaktadır.

Deneylerde kullanılan basınç kabı, yaklaşık 10 kg/cm² basınca dayanabilen, içi eloksal sert, parlak ve dolayısıyla pürüzsüz, silindirik bir yalıtkan malzemeye, alüminyum alt ve üst kapaklar yaptırılarak oluşturulmuştur.

Şekil 1'de basınç kabının şekil ve fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 1- Basınç kabı.

Deneylerde; çubuk - düzlem elektrod sistemi kullanılmıştır. Çubuk elektrodun uç kısmının eğrilik yarıçapı 1 mm olup; pirinç malzemeden yapılmıştır. Düzlem elektrod ise kenarları yuvarlatılmış 60 mm çapında pirinç malzemeden yapılmıştır. Elektrodlar arası açıklık a=20 mm seçilmiştir.

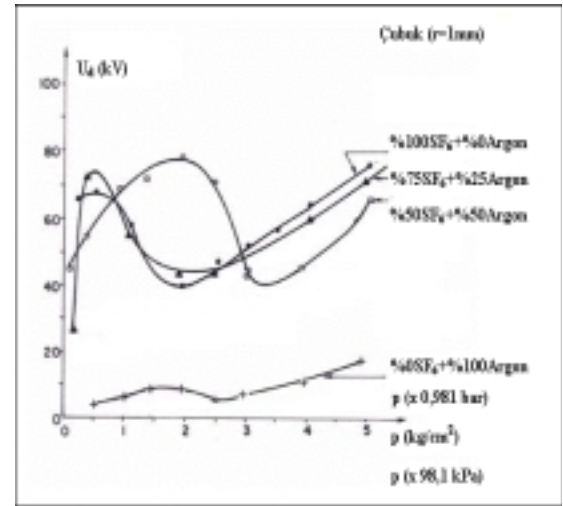
Primer gerilimi ayarlı ve 220 V ve sekonder gerilimi 200 kV, 20kVA, 50Hz olan bir deney transformatörünün sekonderinden elde edilen sinüsoidal gerilim, basınç kabının içindeki üst elektroda uygulanmıştır. Elektrodlar arası açıklığın delinmesi esnasında yüksek kısa devre akımlarının geçmesini ve elektrod yüzeylerinin aşınmasını önlemek amacıyla 25 MΩ luk bir direnç, transformatör sekonderi ile elektrod sistemi arasına bağlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce, elektrodlar temizlenerek parlatılmış, daha sonra etil alkol ile yıkanmıştır. Elektrod yüzeylerine yapışması muhtemel toz partikülleri basınçlı hava üflenerek uzaklaştırılmıştır. Elektrodlar basınç kabına yerleştirilip alt ve üst alüminyum kapaklar kapatılmıştır. Basınç kabının altında bulunan ve elektrodlar arası açıklık miktarını ayarlamaya yarayan vida ile elektrodlar arası açıklık bir dijital AVÖmetre ile sıfır yapılmış ve daha sonra 20 mm ye tespit edilmiştir. Bu işlemlerden sonra General Electric Co. Ltd. imalatı Genevac marka bir vakum pompası ile içerideki hava tamamen boşaltılmış ve

yaklaşık 1 pa lık vakumda 30 dakika vakum yapılmıştır. Daha sonra saf SF₆ gazı ve saf Argon gazı muhtelif karışım oranlarında basınç kabına uygulanmıştır. Bu oranlar kısmi basınç yüzdeleridir. Örnek olarak %80 Argon + %20 SF₆ oranında ve toplam basınç 5 kg/cm² olacak şekilde bir gaz karışımı elde etmek için öncelikle düşük kısmi basınçlı SF₆ gazı, 1 kg/cm² lik bir basınçta basınç kabına doldurulur. Daha sonra toplam kab basıncı 5 kg/cm² olacak şekilde Argon gazı ilave edilir. Deneylere öncelikle en küçük SF₆ oranı olan gaz karışımlarından başlanarak istikrarlı boşalma gerilimlerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

3. ÇUBUK-DÜZLEM ELEKTROD SİSTEMİNDE TEORİK VE DENEYSEL DELİNME GERİLİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Deney sonuçları özet olarak Şekil 2'de, deneysel olarak bulunan delinme gerilimi sonuçlarıyla teorik olarak hesaplanan değerler aynı eksen takımı üzerine mukayeseli olarak Şekil 3-4-5 'de çizilmiştir.



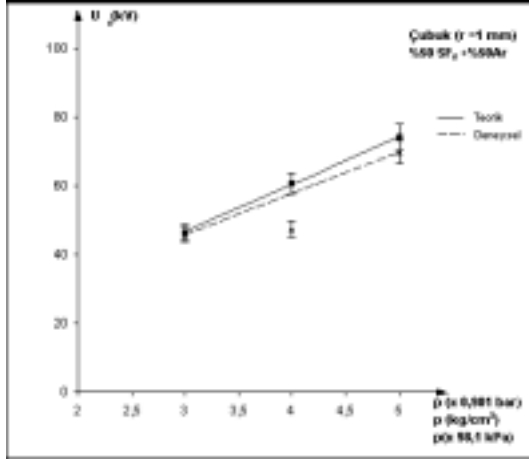
Şekil 2- Çubuk-düzlem elektrod sisteminde, SF₆/Argon gaz karışımları için, a.c.'de, U_d=f(p) eğrileri

Nema tarafından SF₆ ve SF₆/N₂ gaz karışımları için düzgün olmayan alanda verilen ve esas itibarıyla Malik ve arkadaşlarının teorik incelemelerinin sonuçlarına dayanan bağıntılarının kullanılmasında kararlı korona bölgesinin dışında direkt delinmenin meydana geldiği basınç aralığı dikkate alınmıştır.

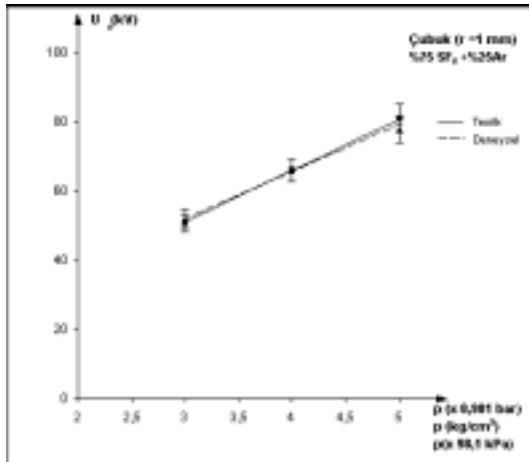
SF₆/Ar gaz karışımlarına ait teorik hesaplarda kullanılan bağıntı; U_{dm} = K(p.a)^a.N^b.η^c olup; K=502,40, a=0,915, b=0,21, c=0,85 indis katsayıları dikkate alınmıştır. Bağıntıda, N= 10 (%10 SF₆ +%90 Ar gaz karışımları için), N=50 (%50 SF₆ +%50 Ar gaz karışımları için), N=75

(%75 SF₆ +%25 Ar gaz karışımları için) alınmıştır. Hesaplamalarda, $\eta = 0,08$ olarak hesaplanmıştır.

SF₆ için $U_{dSF_6} = 1321(p.a)^{0,915} \eta^{0,85}$ bağıntısı kullanılmıştır.



Şekil 3- r=1 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrod sisteminde %50 SF₆ +%50 Ar gaz karışımında, alternatif gerilimde, deneysel ve teorik $U_d=f(p)$ eğrileri



Şekil 4- r=1 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrod sisteminde %75 SF₆ +%25 Ar gaz karışımında, alternatif gerilimde, deneysel ve teorik $U_d=f(p)$ eğrileri

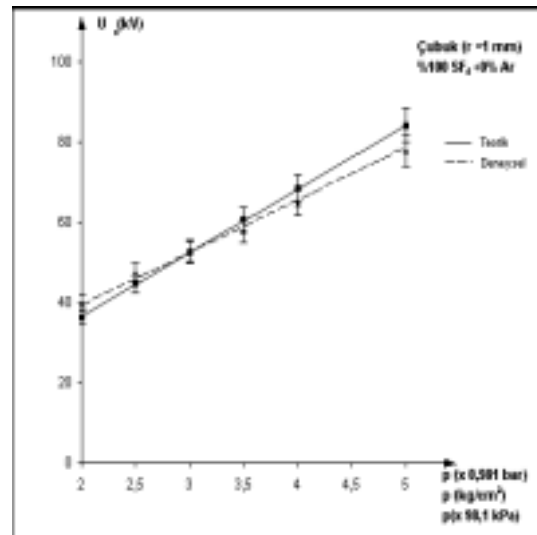
Deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar karşılaştırıldığında; deneyler ile teorik sonuçlar arasında bir uyum olduğu görülmüş ve Nema tarafından SF₆ ve SF₆/N₂ gaz karışımları için düzgün olmayan alanda verilen bağıntının kullanılan deney parametrelerinde, SF₆ /Ar gaz karışımları için de geçerli olduğu ve kullanılabilirliği; ayrıca Nema tarafından SF₆ için verilen denklemlerinin tarafımızdan yapılan ölçme sonuçları ile uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasındaki fark düzlem elektrodun çapının (D=60mm) olmasından dolayı alanın gerçek veriminin hesaplanan değerden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan Nema, N<10 ise %10'luk bir hatanın; N≥10 ise %5'lik bir hatanın beklenmesi gerektiğini de beyan etmiştir.

4. SF₆/ARGON KARIŞIMLARININ, YÜKSEK GERİLİM CİHAZLARINDA KULLANIMINA KATKI-LARI İLE İLGİLİ TARTIŞMA

Özellikle altmışlı yılların başından itibaren gerek konutlarda, gerekse ticari ve sanayi işyerlerinde büyük bir elektrik kullanım artışı gözlenmiştir. Bu talep artışı metropolitan alanlarda elektrik dağıtım sistemlerinin yeniden gözden geçirilmesine neden olmuştur. Böylece daha yüksek gerilimli enerji taşıma hatları ve yer altı kabloları ile bunlara ilişkin anahtarlama (şalt) merkezlerinin arazi gereksinimleri nedeniyle daha küçük boyutlarda yapılması, daha güvenilir ve kesintisiz elektrik arzı sağlanmasını sağlamak üzere yüksek gerilim cihazlarında uygun yalıtkan malzemelerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

Yüksek gerilim üreticileri 1950'li yıllarda çoğunlukla yalıtkan madde olarak transformatör yağı kullanmışlardır. Gerek atık yağların yağ çukurlarında biriktirilmesi esnasında toprağa olan sızmaların içme ve kullanma suyuna karışması ve suda yaşayan canlılar başta olmak üzere dolaylı olarak insanlara verdiği çevresel zararlar nedeniyle, gerekse her an yangın tehlikesine açık olması nedeniyle kesiciler ve diğer yüksek gerilim şalt cihazlarında kullanımından vazgeçilmiştir.



Şekil 5- r=1 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrod sisteminde %100 SF₆ gazında alternatif gerilimde, deneysel ve teorik $U_d=f(p)$ eğrileri

Yağın terk edilmesini müteakip yüksek gerilim şalt cihazlarında yalıtkan olarak 10 bar, kesme işlemlerinde 20 bar basınç aralıklarında basınçlı hava kullanılmaya başlanmıştır. Basınçlı havanın bir kompresör yardımıyla çok ucuz maliyetle elde edilmesi bir avantaj olarak görünmekle birlikte, yüksek gerilim şalt merkezlerinin güvenilirliğinin kompresörün çalışmasına bağlı olması, mekanik aşınma, yağlanma ve ve aşırı basınç nedeniyle sızdırmazlık problemleri dezavantajlarıdır.

Bu gelişmelerin yanı sıra yüksek vakumlu yüksek gerilim cihazları da üretilmeye başlanmıştır. Ancak bu teknoloji yalnızca orta gerilimlerde kullanılmaktadır. SF₆ gazlı kesicilerle karşılaştırıldığında, O.G. vakumlu kesicilerinin X-ışını ürettiği, sızdırmazlığında en küçük bir hata veya arıza olması durumunda dielektrik dayanımının hızla düşerek kullanılmaz duruma geldiği, vakumlu kesicilerin kapama ve açma yapması esnasında gerçekleşen çoklu yeniden ark tutuşmalarından doğan aşırı gerilimler nedeniyle bu etkiyi gidermek üzere üreticiler tarafından metal oksit parafudrların kullanılmasının tavsiye edildiği bilinen bir gerçektir. Endüstride bu nedenle vakum teknolojisi ile kesme işlemlerine sert kesme, SF₆ gazlı kesicilerdeki kesme işlemine yumuşak kesme denilmektedir. Öte yandan kapasitif yüklerin enerjilenmesinde vakumlu kesicide çoklu ön tutuşma ve buna bağlı geçici ön tutuşma olgusunun mevcudiyeti KEMA Laboratuvarlarından bir grup araştırmacı tarafından kanıtlanmış olup, Y.G.motorlarının açılıp kapanmasında da oluşan geçici gerilim problemi mevcuttur. Buna karşılık vakum teknolojisi kullanan kesicilerin, açma-kapama sayıları, kesiciyi oluşturan parçaların azlığı, iç ihtiyaç enerjisinin daha az oluşu gibi avantajları da mevcuttur.

SF₆ gazının, mükemmel dielektrik dayanımı, kimyasal kararlılığı ve zehirli olmaması gibi özellikleri nedeniyle bir yalıtım gazı olması, ayrıca iyi ısı iletim yeteneği ve ark söndürme yeteneği nedeniyle akım kesme ortamı olarak kullanılabilmesi sonucunda; 1930'lu yıllarda yüksek gerilim cihazlarının prototiplerinde kullanılabileceğinin ispat edilmesi üzerine 1950'li yıllarda sınaî olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle 1970'li yıllardan itibaren başta kesiciler olmak üzere, metal mahfazalı modüler anahtarlama hücreleri, Ülkemizde de birçok (154kV'luk işletme gerilimli) örnekleri bulunan gaz yalıtımlı transformatör merkezleri (GIS) olmak üzere, gerilim ve akım ölçü transformatörleri, yüksek gerilimli kablolar,tüplü enerji iletim hatlarında kullanılmaya başlamıştır. Bu yalıtkanın halen 3-800 kV aralığında (1982'de Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Johannesburg kentinde ESCOM elektrik Şirketi için BBC tarafından 800 kV'luk anahtarlama tesisi kuruldu.) başarıyla kullanıla geldiği bilinmektedir. Ancak 1973 dünya petrol

krizinden sonra bilim adamları ekonomik nedenlerle SF₆ gazından çok daha ucuz, kolay elde edilebilen, ancak diğer gazlardan ayrıcalıklı özelliklere sahip gazlarla SF₆ gazını karıştırmak suretiyle optimum bir çözüme yöneldiler. Bu konuda halihazırda yapılan çalışmalar delinme mekanizmasını tam anlamıyla açıklığa kavuşturabilmiş değildir. Bu durum, bu konuda daha çok deney ve araştırma yapılmasını gerektirmektedir.

Öte yandan 1-10 Aralık 1997'de Japonya'da yapılan "KYOTO İklim Değişikliği Protokolu" dünyadaki sera etkisinin azaltılması için doğal olmayan gaz emisyonlarında azaltmaya gidilmesini öngörmektedir. 6 gaz için yapılması istenilen kısıtlamalar içinde gerçi SF₆ gazı dahil edilmemiştir. Ancak Uluslar arası Elektrik Enerjisi Üreticileri ve Dağıtıcıları Birliği (UNIPEDA) bünyesinde bulunan ve Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu'nun (IEC) Mayıs 1992'de Milano/İtalya'da yapılan Genel Kurulu'nda alınan karar gereği kurulan Avrupa Birliği Elektrik Şalt Cihazları Üreticileri Birliği Komisyonu (CAPIEL) tarafından hazırlanan iki ayrı raporun ilkinde 1990 yılı verilerine göre dünyadaki SF₆ üretiminin yıllık 5000-8000 ton arasında olduğu, bunun 2000-4000 tonunun elektrik endüstrisinde kullanıldığı belirtilmektedir. CAPIEL'in Ocak 2000 tarihli raporunda, dünyada yıllık SF₆ üretimi 6000-8000 ton/yıl olarak öngörülmekte, 1995'de Avrupa'da 4100 ton SF₆ gazının kapalı şalt sistemlerinde tesis edildiği belirtilmekte, bunun %3'nün 150 tonunun kaçak ve bakım esnasında (%0,5'i kaçak ve %2,5'i nakliye) esnasında atmosfere atıldığı, imalat esnasında da yıllık %1,5' lik kayıp olduğu, toplam yıllık kaybın %4,5 olduğu belirtilmekte olup; 2010 yılında Avrupa Birliği'nde toplam SF₆'nin tesis miktarının 5800-6600 ton (ortalama 6200 ton) olacağı ve ortalama kesici ömrünün 30 yıl olduğu dikkate alınarak, yılında tesis edilen kesicilerin 2010'da ortalama ekonomik ömürlerini dolduracağı 2010 yılında dünyadaki SF₆ emisyonlarının artışı ve doğal olmayan bir gazın yarattığı global ısınma etkisini önlemek üzere gerekli tedbirlerin alınacağını bildirmektedir. Bu gelişmeler üzerine, ilgili standartlarda SF₆'nin depolanması ve geri dönüşümü zorunlu olarak prosedüre bağlanmıştır.

Elektrik enerjisine olan talebin artışı üstel bir fonksiyon olup, Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde bu artış daha da belirginleşmektedir. Ancak talep tahminlerini basitleştirmek ve dolayısıyla daha güvenilir verileri dikkate almak üzere elektrik güç artışı ile korelasyon içinde olan ve üstel bir eğri olması gereken SF₆ gazı talep eğrisinin lineer olduğu kabul edilecektir. Dünya yıllık SF₆ tüketiminin ortalama 7000 ton kabul edilmesi ve bunun %50-60'ı modüler hücre ve GIS'lerde olmak üzere %85'inin elektrik endüstrisinde kullanıldığı varsayımı ile 6000 ton SF₆ gazlı kullanılacağı sonucuna varılmaktadır.

Buna göre, elektrik sektöründe, 1990 yılı için 4000 ton, 2000 yılı için 6000 ton SF₆ gazı tüketildiği varsayımı ile, x yılları ve y ton olarak SF₆ gazı tüketimini göstermek üzere; SF₆ gazı tüketim doğrusu $y_{SF_6}=200x-394.000$ şeklinde değişmektedir. 2010 yılından itibaren mevcut SF₆ gazlı tesislerin değiştirilmesi de gündeme geleceğinden, o tarihten itibaren SF₆ gazı tüketim doğrusu $y_{SF_6}=400x-794.000$ şeklinde değişecektir.

Öte yandan, SF₆ gazı ile karşılaştırıldığında, argon gazının en önemli dezavantajı dielektrik dayanımının az olmasıdır.

Argon gazı da kimyasal olarak kararlıdır. Üstelik arkın teşekkül ettiği sırada sıcaklığın 15.000 °K'e çıkabileceği gerçeğinden hareketle yüksek sıcaklıklardaki iyi iletim kabiliyeti; darbeleri büyük güçlerin kesilmesi esnasında küçük bir ark endüktansına sahip olması nedeniyle arkın tekrar teşekkül etmesine engelleyici bir etki yapması; arıza, bakım veya yeniden gaz doldurma gibi işlemlerde meydana gelebilecek atmosfere gaz kaçağı halinde sera etkisi yapmaması; SF₆ gazına göre 10 kat ucuz olması ve zehirli olmaması gibi nedenlerle delinme dayanımı uygun bir SF₆/Argon karışımı kullanılması söz konusu olabilir. Deney sonuçları incelendiğinde, %50 SF₆+%50 Argon gaz karışımında delinme dayanımının SF₆'ya yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, alternatif gerilimde %75 SF₆+%25 Argon gaz karışımının delinme dayanımı da incelenmiş ve saf SF₆ gazının delinme dayanımına çok yakın olduğu sonucu dikkate alındığında, %75 SF₆+%25 Argon gaz karışımının kullanılmasının %50 SF₆+%50 Argon gaz karışımına göre daha güvenilir bir uygulama olacağı sonucuna varılmıştır. Şalt cihazlarında bu karışımın kullanılmasının söz konusu olması halinde; yalnızca 2002 yılında 200x2002-394.000 = 6.400 ton SF₆ gazı kullanılacak olup; 6.400x%25= 1.600 ton SF₆ tasarrufta bulunulabilir. Dünyada belli başlı üreticilerin SF₆ gazı fiyatları incelenmiş ve ortalama 20 USD/kg lık bir değeri olduğu anlaşılmıştır. Ülkemizde HABAŞ tarafından üretilen argon gazı ortalama birim fiyatı ise alım miktarına bağlı olarak 1,6-2 USD/kg'dır. Buna göre yalnızca 2002 yılında en az 1.600x (20-2) = 28.800.000 USD'lik bir tasarruf söz konusudur. Ayrıca %4,5 kayıp ve kaçak yolu ile atmosfere atılan SF₆ miktarından yaklaşık 72 ton tasarrufta bulunularak, dünyamızda yarattığı olumsuz sera etkisinin azaltılmasına da katkı sağlanabilir. 2010 yılında ise tahmini kullanılacak gaz miktarı SF₆

gazı miktarı 400x2010-794.000 = 10.000 ton olup; tahmini tasarruf miktarı 10.000x%25= 2.500 ton dur. Tahmini tasarruf miktarı 2010 yılı için 2.500 x (20-2) = 45.000.000 USD'dir. Gerekli önlem alınmadığı takdirde 2010 yılında atmosfere 112,5 t SF₆ atılması beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] The KYOTO Summit on Climate Change, (1997) : 1st to 10th Dec.; Japan.
- [2] CAPIEL/UNIPED, (2000) : Common Publication, MEIE 2000, Paris.
- [3] MARDİKYAN K., (1981) : Düzgün Olmayan Alanda SF₆' nın Delinme Dayanımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- [5] STEİNBİGLER H., (1969) : Anfangsfeldstaerken und Ausnützungsfaktoren rotationssymmetrischer Elektrodenanordnungen in Luft, PhD Thesis, Technische Hochschule, München.
- [6] QIU Y., (1986) : Simple Expression of Field Nonuniformity Factor for Hemispherically Capped Rod-Plane Gaps, IEEE Trans. Elect. Insul. Vol. EI-21 No:4, 673 - 675.
- [7] AZER A.A., COMSA A.P., (1973) : Influence of Field Nonuniformity on the Breakdown Characteristic of SF₆, IEEE Trans., EI.8., 136 - 142.
- [8] NAGATA M., YOKOI Y., MIYACHI I., (1977) : Electrical Breakdown Characteristics in High Temperature Gases, Elect. Eng. Japan, Vol.97, 1 - 6.
- [9] NEMA R.S., KULKARNI S.V., HUSAIN E., (1982) : Calculation of Sparking Potentials of SF₆ and SF₆ - Gas Mixtures in Uniform and Non-uniform Electric Fields, IEEE, Trans., EI-17, 70-75.
- [10] MAXWELL Laboratories Inc., (1982); Bulletin MLB, 2138 A.
- [11] KHECHEN W., LAGHARI J.R., (1989) : Breakdown Studies of SF₆ - Argon Gas Mixtures, IEEE Trans. E.I., Vol.24, 1141 - 1147.
- [12] SOLVAY FLUOR UND DERIVATE (2002) : Schwefelhexafluorid, Katalog, Hans Böckler-Allee 20 D-30173, Hannover.
- [13] HABAŞ (2002) : Özel Gazlar, - Argon Gazı ve diğerleri, Katalog, Bahriye Cad. No:199, Kasımpaşa, İstanbul.