

SF₆ AIS, GIS ve MTS DURUM DEĞERLENDİRME ANALİZİ

Çalışma Grubu

B3.25

TEMMUZ 2017



SF₆ AIS, GIS ve MTS DURUM DEĞERLENDİRME ANALİZİ

Çalışma Grubu

B3.25

Üyeler

Eamonn Duggan, Convener (IE), Ian Ring, Secretary (IE), Dieter Fuchsle (DE), Falko Meyer (CH), Peter Sieber (DE), Dagmar Kopejtkova (CZ), Roland Kurte (DE), Lutz- Rüdiger Jänicke (DE), Peter Glaubitz (DE), Toshiyuki Saida (JP), Neil Kane (UK), Edgar Dullni (DE), Daniel Mutter (CH), Marie-Claude Lessard (CA), Bob Hardy (US), Thomas Schwarze (DE)

Telif Hakkı © 2013

"Bu çeviri CIGRE Türkiye NC ile CIGRE International arasında imzalanan sözleşmeye göre yayımlanmaktadır."

Çeviren Cihan AKSAKAL
TEİAŞ 4. Bölge Müdürlüğü

Feragat Bildirimi

"CIGRE, bu yayının içeriği ile ilgili hiçbir garanti ve güvence vermez; ayrıca bu yayının doğruluğu veya eksikliği konusunda herhangi bir sorumluluk kabul etmez. Tüm örtülü garantiler ve koşullar, yasalar tarafından izin verilen azami ölçüde hariç tutulur".



ÖNSÖZ

Bu çeviri yüksek gerilimli elektrik ekipmanlarında Dünya’da çok yaygın şekilde kullanılan SF₆ gazı ile ilgili ülkemizde yapılan çalışmalarda bilgi ve tecrübelerin arttırılmasına yönelik hazırlanmıştır.

CIGRE B3.25 çalışma grubunun hazırlamış olduğu 2014 yılı raporunda saha ihtiyaçlarına cevap vermek için oldukça geniş kapsamlı kaynak oluşturulduğu değerlendirilerek sahada aktif olarak SF₆ ile ilgili operasyonel çalışan meslektaşlarımızın faydalanabilmesi adına hazırlanmıştır.

TEİAŞ bünyesinde sayısı hızla artan GIS şalt sahaları ile birlikte özellikle yüksek gerilim kesicilerinde yapılan montaj, demontaj, bakım, onarım, arıza ve yenileme gibi faaliyetlerde işletme güvenliği için son derece kritik bir öneme sahip olan SF₆ ’nın durum değerlendirilmesine yönelik hazırlanan bu rapor gerek ölçüm metotları gerekse de sonuçların yorumlanması açısından faydalı olacaktır.

Deneyimler, yüksek gerilimli gaz izoleli şalt sahalarının başlangıçta öngörülenden oldukça uzun ömürlü olabileceğini göstermiştir. Bu sebeple ekipmanların durum değerlendirmesi ve sonuçların doğru yorumlanması sistem güvenliği için giderek daha da önem kazanmaktadır.

Uygun müdahale, kalıcı bir arızayı önlemek ve aynı zamanda teçhizatın gereksiz kontrollerinden (kesinti vs..) kaçınmak için doğru anı seçmektir. SF₆ analizleri Kurumumuzda da önemli miktarda yapılmasına rağmen, sonuçların yorumlanmasında standart bulunmamaktadır ve personelin bilgi ve tecrübesine göre değişkenlik göstermektedir.

İletim sistemindeki emre amadelik ve işletme güvenliği kriterlerinin önemli faktörlerinden biri olan SF₆ durum değerlendirmesi ile ilgili bu çalışmanın faydalı olmasını temenni ederim.

Cihan AKSAKAL
TEİAŞ 4. Bölge Müdürlüğü

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| ÖNSÖZ | 2 |
| İÇİNDEKİLER..... | 3 |
| 1. AMAÇ..... | 10 |
| 2. ÖZET | 11 |
| 3. TANIMLAR | 12 |
| 4. STANDARTLAR VE KILAVUZLAR | 13 |
| 4.1 IEC 60376 - YENİ SF ₆ GAZI..... | 13 |
| 4.2 IEC 60480 - KULLANILMIŞ SF ₆ GAZI..... | 14 |
| 4.3 CIGRE SF ₆ GERİ DÖNÜŞÜM KILAVUZU..... | 15 |
| 5. TANIMLAR | 16 |
| 5.1 DIŞ KAYNAKLAR | 16 |
| 5.1.1 Gaz İşlemleri | 16 |
| 5.1.2 Su..... | 17 |
| 5.1.2.1 Havada Açığa Çıkan Nem..... | 17 |
| 5.1.2.2 Yalıtkanlardaki Nem | 17 |
| 5.1.2.3 Filtrelerdeki Nem..... | 17 |
| 5.1.3 Toz ve Metal Parçacıklar..... | 17 |
| 5.2 İÇ KAYNAKLAR | 18 |
| 5.3 AKADEMİK ARAŞTIRMA..... | 18 |
| 5.3.1 Boudéne, Cluet, Keib and Wind..... | 18 |
| 5.3.2 Belmadani, Derdouri, Casanovas, Casanovas, Grob and Mathieu | 18 |
| 5.3.3 Heise, Kurte, Fischer and Klockow..... | 18 |
| 5.3.4 Piemontesi..... | 19 |
| 5.4 Bozunma Ürünlerinin Oluşumu..... | 19 |
| 5.4.1 Elektrik Deşarjlarıyla oluşan SF ₆ Bozunmuş Ürünler | 19 |
| 5.4.1.1 Anahtarlama Sırasında Bozunma Ürünlerinin Patlaması | 19 |
| 5.4.1.2 Korona Deşarjları ile Oluşan Bozunma Ürünlerinin Seyri | 20 |
| 5.4.2 Bozunma Ürünleri Reaksiyonları | 20 |
| 5.4.2.1 SOF ₂ ve SO ₂ | 22 |
| 5.4.2.2 HF..... | 22 |
| 5.4.2.3 CF ₄ | 23 |
| 5.4.2.4 Metal Florürler | 24 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.4.2.5 | Diğer Kirletici Maddeler..... | 24 |
| 5.5 | KİRLETİCİ MADDELERİN KONTROLÜ | 24 |
| 6. | GAZ ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ..... | 26 |
| 6.1 | EKİPMAN DİZAYNI ETKİSİ..... | 26 |
| 6.1.1 | Şalt..... | 26 |
| 6.2 | GAZ ANALİZİNİN AMAÇLARI | 26 |
| 6.2.1 | Servise Alınmadan Önce..... | 26 |
| 6.2.2 | Servisteyken | 27 |
| 6.2.2.1 | Periyodik olarak (bakım düzeninin bir parçası olarak) | 27 |
| 6.2.2.2 | Hata İncelemesi (bir olaydan sonra)..... | 27 |
| 6.2.2.3 | Enerji kesili iken..... | 27 |
| 6.3 | EN UYGUN YERİNDE ÖLÇÜMLER | 27 |
| 6.3.1. | Sahada Ölçüm Prosedürleri..... | 28 |
| 6.3.1.1 | Güvenlik Önlemleri..... | 28 |
| 6.3.1.2 | Ölçüm Prosedürü..... | 28 |
| 6.3.1.3 | Dedektör Tüpler | 28 |
| 6.3.1.4 | Taşınabilir Analizörler | 28 |
| 6.4 | SAHA TESTLERİ..... | 30 |
| 7. | GAZ KALİTESİ..... | 31 |
| 7.1 | ANORMAL KOŞULLARIN BELİRLENMESİ VE ANALİZİ | 31 |
| 7.1.1 | Anahtarlama Ekipmanı İçermeyen Gaz Bölmeleri..... | 33 |
| 7.1.2 | Anahtarlama Ekipmanı İçeren Gaz Bölmeleri..... | 33 |
| 8. | OPERATÖRLERİN GAZ ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ..... | 35 |
| 8.1 | KAMU KURULUŞLARI ANKETİ | 35 |
| 9. | ÖRNEK ÇALIŞMALAR..... | 38 |
| 9.1 | YÜKSEK GERİLİM EKİPMANLARININ GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ | 38 |
| 9.1.1 | Uluslararası Anketler | 38 |
| 9.1.2 | SF ₆ Teşhisi | 38 |
| 9.1.3 | GIS Hata Oranları..... | 40 |
| 9.2 | ÖZEL DURUM ÇALIŞMALARI | 41 |
| 9.2.1 | Arıza Sonrası Gaz Analizi..... | 41 |
| 9.2.1.1 | 420 kV GIS Ayırıcı Bölmesi Arızası..... | 41 |
| 9.2.1.2 | 420 kV GIS Kesici Arızası | 41 |
| 9.2.1.3 | SF ₆ ile doldurulmuş ÇYG Gerilim Transformatörü | 42 |

| | | |
|---------|---|----|
| 9.2.2 | Rutin Gaz Analizi..... | 42 |
| 9.2.2.1 | SF ₆ ile doldurulmuş ÇYG Akım Transformatörü..... | 42 |
| 9.2.2.2 | ÇYG Kesici | 42 |
| 9.2.3 | Saha Deneyleri..... | 43 |
| 10. | SONUÇLAR..... | 44 |
| 11. | KAYNAKLAR | 46 |
| | EKLER | 47 |
| A. | SF ₆ DOLDURULMUŞ EKİPMAN TEDARİK EDİLİRKEN ARANAN BİLGİLER | 48 |
| B. | ARAÇLAR VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ..... | 49 |
| B.1. | GİRİŞ | 49 |
| B.2. | SF ₆ İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ | 50 |
| B.2.1. | Ses Hızı..... | 50 |
| B.2.2. | Yoğuşma Prensibi | 50 |
| B.2.3. | Termal İletkenlik Dedektörü..... | 50 |
| B.3. | NEM ÖLÇÜM CİHAZLARI..... | 50 |
| B.3.1. | Soğutulmuş Ayna Teknolojisi..... | 50 |
| B.3.2. | Kapasitif Nem Sensörleri | 52 |
| B321 | Polimer | 52 |
| B322 | Alüminyum Oksit | 52 |
| B.4. | SF ₆ KİRLİTİCİLERİNİN VE AYRIŞMA ÜRÜNLERİNİN ÖLÇÜLMESİ..... | 53 |
| B.4.1. | Dedektör Tüpler | 53 |
| B.4.2. | Elektrokimyasal Ölçüm Hücresi (SO ₂ and HF)..... | 54 |
| B.4.3. | Gaz kromatografisi | 54 |
| B431 | Isıl İletkenlik Algılama | 54 |
| B432 | Alev İyonizasyon Algılama | 56 |
| B433 | Sahada Gaz Kromatografisi | 56 |
| B.4.4. | Kızılötesi Spektroskopi..... | 56 |
| B441 | Fourier Dönüşümü -IR | 56 |
| B442 | Yayılmamış IR..... | 57 |
| B.5. | ÇOKLU ÖLÇÜM CİHAZLARI..... | 58 |
| | Referanslar | 58 |
| C. | GAZ YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ..... | 59 |
| C.1. | GİRİŞ | 59 |
| C.2. | SF ₆ GAZI | 59 |

| | | |
|--------|---|----|
| C.3. | SF ₆ GAZ YOĞUNLUK ALETLERİ VS. BASINÇ ÖLÇERLER | 59 |
| C.3.1. | Sıcaklık Telafisinin Genel Prensibi | 60 |
| C.3.2. | Gaz Yoğunluğunun Gösterilmesi | 60 |
| C.3.3. | Doğrudan Ölçüm için Elektronik Yoğunluk Aletleri - Yoğunluk Sensörü | 60 |
| C.3.4. | Dolaylı Ölçüm için Elektronik Yoğunluk Aletleri - Sıcaklık Dengeli Basınç Sensörü | 61 |
| C.3.5. | Doğrudan Ölçüm için Mekanik Göstergeler - Referans Odası | 61 |
| C.3.6. | Dolaylı Ölçümler için Mekanik Ekipmanlar – Sıcaklık Kompanzeli Basınç Göstergeleri | 62 |
| D. | DİFÜZYON VE KİNETİK | 63 |
| D.1. | AYRIŞMA ÜRÜNLERİNİN SF ₆ GAZI İÇİNDE TAŞINMASI..... | 63 |
| D.2. | DUVAR YÜZEYLERİ ÜZERİNDE SF ₆ BOZUNMA ÜRÜNLERİNİN REAKSİYON KİNETİĞİ | 64 |
| D.2.1. | Doymamış Yüzey Sınırı..... | 64 |
| D.2.2. | Doymuş Yüzey Sınırı | 65 |
| D.3. | BOZUNMA ÜRÜNLERİ VE NEMİN FİLTRELER VASITASIYLA BERTARAF EDİLMESİ..... | 66 |
| D.3.1. | Bozunma Ürünlerinin Ayrılması..... | 67 |
| D.3.2. | Sürekli Bozunma Ürünleri Akışı | 68 |
| | Referanslar | 68 |
| E. | FİLTRE MALZEMELERİ KARAKTERİSTİKLERİ..... | 69 |
| | Referanslar | 72 |
| F. | SF ₆ 'DAKİ SU..... | 73 |
| F.1. | SU | 73 |
| F.2. | BOZUNMA ÜRÜNÜ OLARAK SU..... | 73 |
| F.3. | TANIMLAR | 73 |
| F.3.1. | Nem | 73 |
| F.3.2. | Rutubet..... | 74 |
| F.4. | BASINÇ VE SICAKLIK ETKENLERİ..... | 75 |
| F.4.1. | Basınç Etkeni..... | 75 |
| F.4.2. | Sıcaklığa Bağlı Basınç Bağımlılığı | 75 |
| F.4.3. | Sıcaklık Etkeni | 76 |
| F.4.4. | IEC SF ₆ Basınç ve Sıcaklık Özellikleri..... | 76 |
| F.4.5. | Çeşitli Gaz Karışımlarında ppm _w Cinsinden Su İçeriği | 76 |
| F.5. | BİRİMLERİN BELİRLENMESİ..... | 77 |
| F.5.1. | Çiy veya Donma Noktası | 77 |
| F.5.2. | Hacim/Ağırlık Oranı ile Hacim/Ağırlık Fraksiyonu | 77 |
| F.6. | HESAPLAMALAR VE DÖNÜŞÜMLER..... | 78 |

| | | |
|-----------|---|----|
| F.6.1. | Semboller, Birimler ve Değerler | 78 |
| F.6.2. | Temel Formüller | 79 |
| F.6.2.1. | Suya Göre Doymuş Buhar Basıncı..... | 79 |
| F.6.2.2. | Buza Göre Doymuş Buhar Basıncı | 79 |
| F.6.2.3. | Çiy Noktası Sıcaklığı | 79 |
| F.6.2.4. | Donma Noktası Sıcaklığı | 80 |
| F.6.2.5. | Bağıl Nem (WMO Tanımı)..... | 80 |
| F.6.2.6. | Bağıl Nem (Teknik Tanım)..... | 81 |
| F.6.2.7. | Hacim Oranı, Hacim İtibariyle Milyonda Partikül Miktarı..... | 81 |
| F.6.2.8. | Ağırlık Oranı, Ağırlık İtibariyle Milyonda Partikül Miktarı..... | 82 |
| F.6.2.9. | Hacim Fraksiyonu, Hacimde Milyonda Partikül Miktarı | 82 |
| F.6.2.10. | Ağırlık Fraksiyonu, Ağırlık Olarak Milyonda Partikül Miktarı..... | 83 |
| F.6.3. | Nem Çevrimleri..... | 83 |
| F.6.3.1. | ppm _v ve ppm _w dönüşümleri | 83 |
| F.6.3.2. | Donma/Çiy Noktası Basıncı Düzeltmeleri..... | 83 |
| G. | GAZ İZOLELİ TRANSFORMATÖR VE REAKTÖRLER..... | 87 |
| G.1. | GİRİŞ | 87 |
| G.2. | GAZ İZOLELİ TRANSFORMATÖRLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ..... | 87 |
| G.2.1. | İletken İzolasyonu..... | 87 |
| G.2.2. | Yükte Kademe Değiştirici..... | 88 |
| G.3. | GAZ İZOLELİ TRAFOLAR VE REAKTÖRLER – KİRLETİCİLER | 88 |
| G.3.1. | Giriş..... | 88 |
| G.3.2. | CO ₂ / CO Konsantrasyon Seviyesinin Analizi..... | 88 |
| G.3.3. | SF ₆ Bozunan Ürünler..... | 88 |
| | Referanslar | 88 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 1 - Tanımlar..... | 12 |
| Tablo 2 - Maksimum kabul edilebilir kirlilik seviyeleri (detaylar IEC 60376'da mevcut)..... | 13 |
| Tablo 3 - Maksimum kabul edilebilir kirlilik seviyeleri (detaylar IEC 60376'da mevcut)..... | 14 |
| Tablo 4 - SF ₆ yabancı maddeleri (Cigre Broşür 234 tablo 1 den tekrar oluşturulmuştur.) | 15 |
| Tablo 5 - SF ₆ gaz numunesi ile ilgili uygulamaların karşılaştırılması..... | 37 |
| Tablo 6 - Testlerin uygulanması - voltaj sınıflarındaki yanıt sayısı (% olarak, sadece pozitif cevaplar). 38 | |
| Tablo 7 - SF ₆ kalitesi kontrol periyotları – gerilim sınıflarına göre cevaplar | 39 |
| Tablo 8 - SF ₆ Kalite Ölçümleri | 40 |
| Tablo 9 - GIS YG kısımlarda dielektrik major arıza verisi | 40 |
| Tablo 10 - Üretim yılına göre GIS YG dielektrik büyük arıza frekansı (% 95 doğruluk oranı) | 41 |
| Tablo 11 - Ölçüm ve analiz yöntemlerinin listesi..... | 49 |
| Tablo 12 - Tipik GC-TCD method açıklaması..... | 55 |
| Tablo 13 - Gaz yoğunluk ölçümü - elektronik veya mekanik cihaz..... | 60 |
| Tablo 14 - Çeşitli Gazlar için Ağırlıkça Hacim Oranı | 77 |
| Tablo 15 - Hacim Oranı..... | 78 |
| Tablo 16 - Ağırlık Oranı..... | 78 |
| Tablo 17 - Semboller, Birimler ve Değerler | 78 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1 - Sıcak plazma reaksiyonlarının (sol taraf) ve soğuk duvar reaksiyonlarının (sağ taraf) şematiği | 21 |
| Şekil 2 - SF ₆ gaz analizinde ayrışma ürünlerini belirlemede karar verme süreci..... | 32 |
| Şekil 3 - SF ₆ gaz analizinde nem içeriğini belirlemek için karar verme süreci | 33 |
| Şekil 4 - SF ₆ içerik analizi için karar verme süreci | 33 |
| Şekil 5 - Çiy Noktası Aynası..... | 51 |
| Şekil 6 - Polimer Sensör Yapısı..... | 52 |
| Şekil 7 - Alüminyum Oksit Sensörler..... | 53 |
| Şekil 8 - Dedektör Tüp ve Örnek Yerleşim | 53 |
| Şekil 9 - SF ₆ gaz izolasyon örneğinde SF ₆ ve CF ₄ | 55 |
| Şekil 10 - SF ₆ gaz izolasyon numunesindeki kirlenici olarak havanın (N ₂ ve O ₂) analizi | 56 |
| Şekil 11 - SF ₆ gaz izolasyon numunesindeki ana ayrışma ürünleri analizi | 56 |
| Şekil 12 - SF ₆ 'nın bir deşarj örneğinin orta kızılötesi spektrumundan çıkarılması ve ayrışma ürünlerinin gösterilmesi | 57 |
| Şekil 13 - SF ₆ Özellikleri – Basınç/Sıcaklık | 59 |
| Şekil 14 - Yoğunluk sensörü..... | 60 |
| Şekil 15 - Referans hazne..... | 61 |
| Şekil 16 - Mekanik Basınç Göstergesi | 62 |
| Şekil 17 - Ayrışım ürünlerinin bir emici yüzeye difüzyonunu tanımlayan model | 66 |
| Şekil 18 - Faujasitin örgü yapısı [1] | 69 |
| Şekil 19 - Moleküler elek 13X ve aktive edilmiş alüminyum oksit için oda sıcaklığında ölçülen H ₂ O ve SO ₂ adsorpsiyon izotermi | 71 |
| Şekil 20 - GIT Prensip Şeması..... | 87 |
| Şekil 21 - GIT Sargı Yapısı..... | 87 |

1. AMAÇ

Fiziksel ve kimyasal özelliklerin olağanüstü kombinasyonu nedeniyle, SF₆ elektrik iletim ve dağıtım ekipmanları için vazgeçilmez bir yalıtım malzemesi haline gelmiştir. Fonksiyonel üstünlüğü eski izolasyon ve anahtarlama teknolojisinin büyük ölçüde değişmesini sağlamıştır. Özellikle, yüksek gerilim devre kesicileri ve gaz izoleli şalt sistemleri anahtarlama ve izolasyon malzemesi olarak neredeyse tamamen SF₆'ya dayalıdır.

Buna rağmen, kirlenici maddeler gazın dielektrik ve ark söndürme özelliklerini olumsuz olarak etkileyeceğinden, ekipmanın fonksiyonel amacına uygun çalıştığından emin olmak için gaz kirlenici maddelerden uzak ortamlarda muhafaza edilmelidir. Gazın farklı kaynaklardan çıkan kirlenici maddeler içerdiği iyi bilinmektedir. Bu kirlenici maddeler ilk gaz dolusunda, gazın ekipmanın iç yüzeyinden desorbe oluşuyla ya da elektriksel olaylar olan kısmi deşarj veya arklar yoluyla meydana çıkabilir. Bu nedenle, gazın yabancı maddeleri yüksek seviyede ihtiva etmemesini sağlamak önemli bir husustur.

Ayrıca, SF₆ bozunma mekanizmasının anlaşılmasından ve ayrışma ürünlerinin analizinden (ya da onların zamanla evrimleşmelerinden) elektriksel deşarj türünü tanımlamanın mümkün olabileceği ve ekipmanın durumunun tahmin edilebileceği önerilmiştir. Ancak bu bilgilerle donandıktan sonra mantıklı bakım çalışmaları planlamak mümkün olabilir.

Bu kitapçığın amacı personele gaz analizinin kullanımı hakkında rehberlik yapmaktır, ya da daha açık konuşmak gerekirse, gaz analizi sonuçlarının nasıl yorumlanacağı ve yüksek gerilim ekipmanının durumunun nasıl değerlendirileceği konusunda bilgi vermektir. Bir başka amaç da ekipmanın dielektrik performansı üzerinde azalan etkilere sahip olmayan ayrışma ürünlerinin izin verilen maksimum seviyelerini belirlemektir.

İlk niyet SF₆/N₂ ve SF₆/CF₄ gaz karışımları hakkında bilgi vermek olsa da, bu çalışmanın kapsamında, sonuç olarak konu hakkında sınırlı bilgiye sahip olunması nedeniyle çalışma reddedilmiştir. Buna rağmen, bu teknik kitapçıkta belirtilen temel analiz işlemleri gaz karışımlarının analizi için de geçerlidir.

Bu broşürün hazırlanması sırasında SF₆ izoleli transformatörler ve reaktörlerin içinde üretilen kirleniciler ve hata durumları için ilk inceleme gerçekleştirilmiştir. Buna rağmen, arıza durumları şaltda bulunanlara göre önemli ölçüde farklı olduğundan, bu analizin farklı ve detaylı bir çalışma aktivitesi ve ayrı bir broşür olduğuna karar verilmiştir. Yine de EK G.'de bazı ön bilgiler bulunmaktadır.

2. ÖZET

Kitapçık, SF₆ gazı türleri ve kirletici kaynaklar hakkında mevcut anlayışı, gaz hacmi içindeki davranışını, kontrol edilip edilemeyeceğini ve nasıl ortadan kaldırılacağını incelemektedir. Kirletici maddelerin nasıl üretildiği incelendiğinde içinde primer, sekonder ve hatta tersiyer reaksiyonlarında bulunduğu birçok parametre olduğu açıktır. SF₆ ayrışma ürünlerinin oluşum oranları; deşarj türü, dâhil olan enerji miktarı, gaz basıncı, elektrot maddesi, nem ve oksijen gibi yabancı maddelerin varlığı, emicilerin varlığı ve olay ile analiz arasındaki süre gibi birçok parametreye bağlıdır.

Ayrıca rapor piyasada mevcut olan son taşınabilir çoklu analizler ve bu enstrümanlarla yapılan mini deneylerden elde edilen veriler hakkında bilgi sunar. Ayrıca gaz analizi için bir dizi vaka çalışmaları ve bunların iç arızaların bulunmasını nasıl desteklediğini de içerir.

Gazın dielektrik performansını azaltmadan ayrışma ürünlerinin izin verilen seviyesi için bir limit belirlemek çok karmaşıktır ve pratikte imkânsız olduğu kanıtlanmıştır. Buna rağmen anahtarlama elemanı içermeyen bir GIS bölümünde ayrışma ürünleri olmamalıdır. Bu nedenle, var olduğu tespit edildiğinde müdahale gerektirir. Anahtarlama elemanı içeren bölümler normal anahtarlama ve ark ve kıvılcımdan kaynaklanan ayrışma ürünlerini ihtiva edebilir. Kontrollü laboratuvar ortamları dışındaki gaz analizleri, ayrışma ürünlerinin kaynaklarının farklılığını ayıramaz. Analizin diğer formları izlenecek yol hakkında karar vermeden önce incelemede ilerlemek için kullanılmalıdır.

Bu incelemenin ana sonuçlarından biri kullanımı kolay olan, örneklenen gazın en kritik özelliklerini yani SF₆ ve nem içeriğini ve ayrışma ürünlerinin değerlendirilmesini sağlayacak özellikleri ölçmek için kullanılabilir taşınabilir çoklu analizörlerin bulunmasıdır. Bu ekipmanların kullanımı atmosfere SF₆ gazının yayılmasına neden olmaz, aksine kompartmana ya da özel bir tüpe SF₆ gazı geri pompalanır.

3. TANIMLAR

| | |
|--------------------------------------|--|
| Konsantrasyon: | Ana gaz kütle payı ya da hacim olarak ölçülmüş olan ve yüzde ya da kütle veya hacime bağlı bir şekilde milyonda miktar olarak belirtilen gazdaki madde seviyesi |
| Atıklar: | Montaj, gaz işlemleri ve elektriksel ekipmanın işletilmesi sırasında SF ₆ içerisinde oluşan yabancı maddeler |
| Ayrışma Ürünleri: | Bölme içerisindeki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan atıklardır. SF ₆ gazının çözünmesiyle oluşan kirlenici maddeler ile SF ₆ parçaları ile diğer gazların ya da bölmedeki katıların reaksiyonu sonucu ayrılan maddelerdir. Bunlar sırasıyla bozunma ürünleri ve bozunma yan ürünleri olarak adlandırılırlar. Ancak, sadece bu dökümanda, kolaylık açısından tek terim olarak "ayrışma ürünleri" kullanılmıştır. |
| Çiy noktası ve donma noktası: | Gazın içinde buharlaşan suyun yoğunlaşmaya başladığı ya da katı halde bulunduğu sıcaklıktır. Tarihsel olarak bu terimler karıştırılmıştır ve daha detaylı olarak Ek F.'te tartışılmıştır. |
| Hata: | Ekipman parçasının, bir aksamının ekipman temel fonksiyonlarından bir veya birden fazlasını kaybetmesine neden olan olaydır. Ekipmanın hemen ya da 30 dakika içinde servisten çıkarılmasına neden olur. |
| Arıza: | Şaltın hatasından kaynaklanan şalttaki iç arka eşdeğerdir. (dielektrik problem, kesinti vb.). |
| Nem: | Gaz formundaki su buharı |
| Kirlilik: | Gaz üretim sürecinden kaynaklanan, gazdaki yabancı maddeler |
| Rutubet: | Yüzey üzerindeki veya katı yapının içindeki su |

Tablo 1 - Tanımlar

4. STANDARTLAR VE KILAVUZLAR

IEC hem yeni hem de ikinci el gazların elektrik ekipmanlarında kullanımı için standartları sağlar.

4.1 IEC 60376 - YENİ SF₆ GAZI

IEC 60376 – Elektrik Ekipmanlarında kullanılacak SF₆ gazının teknik sınıfının belirlenmesi [1] ve yeni gaz için izin verilen kirlilik düzeyini belirtir. Bazı ayrıntılar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

| İçerik | Şartname | Analitik yöntemler (sadece belirtmek için, ayrıntılı değil) | Hassasiyet |
|-----------------------------|------------|---|--------------|
| Hava | 2 g/kg | Kızılötesi Emilme yöntemi | 35 mg/kg |
| | | Gaz kromatografisi yöntemi | 3 – 10 mg/kg |
| | | Yoğunluk yöntemi | 10 mg/kg |
| CF ₄ | 2400 mg/kg | Gaz kromatografisi yöntemi | 9 mg/kg |
| H ₂ O | 25 mg/kg | Gravimetrik yöntem | 0.5 mg/kg |
| | | Elektrolitik yöntem | 2 – 15 mg/kg |
| | | Çiy noktası yöntemi | 1 °C |
| Mineral Yağ | 10 mg/kg | Fotometrik yöntem | < 2 mg/kg |
| | | Gravimetrik yöntem | 0.5 mg/kg |
| HF cinsinden toplam asidite | 1 mg/kg | Titrasyon | 0.2 mg/kg |

Tablo 2 - Maksimum kabul edilebilir kirlilik seviyeleri (detaylar IEC 60376'da mevcut)

4.2 IEC 60480 - KULLANILMIŞ SF₆ GAZI

IEC 60480 – Elektrik Ekipmanlarından alınmış SF₆ gazı için kontrol ve düzeltme sınıflandırması ve yeniden kullanım şartnamesi [2] tekrar kullanılmış gaz için maksimum kirlilik seviyelerini belirtir. Aşağıdaki tablo standartlardan alınmıştır.

| Kirlilik | Anma mutlak basıncı | |
|-------------------------------------|--|-----------|
| | <200 kPa | >200 kPa |
| Hava ve/veya CF ₄ | 3 % hacim | 3 % hacim |
| H ₂ O | 95 mg/kg | 25 mg/kg |
| Mineral Yağ | 10 mg/kg | |
| Toplam reaktif gaz bozunma ürünleri | 50 µl/l toplam veya 12 µl/l for (SO ₂ +SO _F ₂) or 25 µl/l HF | |

Tablo 3 - Maksimum kabul edilebilir kirlilik seviyeleri (detaylar IEC 60376'da mevcut)

4.3 CIGRE SF₆ GERİ DÖNÜŞÜM KILAVUZU

CIGRE Kitapçığı 234 – SF₆ geri dönüşüm kılavuzu, elektrik güç ekipmanlarında SF₆ gazının tekrar kullanılışı ve nihai değerlendirme [3], performansı düşürmeyecek izin verilen yabancı maddeler için rehberlik eder. Aşağıdaki tablo broşürden alınmıştır.

| Kirletici Madde | Ana Köken | Bozucu Etkileri | Tolere edilebilen maksimum düzeyler | Yeniden kullanım için önerilen maksimum tolere edilebilir kirlilik seviyeleri | Pratik kirlilik algılama hassasiyeti |
|--|------------------------------------|---|---|--|--------------------------------------|
| Reaktif olmayan gazlar: | | | | | |
| Hava | Kullanma | Anahtarlama performansında düşüş | 3% hacim | 3% hacim toplam | < 1% hacim |
| CF ₄ | Anahtarlama | İzolasyon performansında düşüş | | | |
| Reaktif gazlar ve nem: | | | | | |
| SF ₄ , WF ₆ | Arklanma | Toksosite | 100 ppmv | 50 ppmv toplam ¹⁾ | ~ 10 ppmv toplam |
| SOF ₄ , SO ₂ F ₂ | Kısmi Boşalma | Korozyon ile yüzey yalıtımı | 2000 ppmv | | |
| SOF ₂ , SO ₂ , HF | Takip reaksiyonları | | | | |
| Rutubet | Yüzeyler ve polimerden desorbsiyon | Sıvı yoğunlaşması ile yüzey yalıtımı | pH ₂ O < 400Pa ²⁾ | pH ₂ O < 150 Pa (Td < -15 °C) 750 ppmv for p < 200 kPa ³⁾ 200 ppmv for p < 850 kPa ³⁾ | < 10 Pa ⁴⁾ |
| Yağ | Pompalar, yağlama, | Karbonizasyon ile yüzey yalıtımı | belirlenmemiş | 10 mg/m ³ , ⁵⁾ | < 1 mg/m ³ |
| Toz Karbon | Atlama, kısmi boşalma | Yalıtkan kısımlar ve gaz ile yüzey yalıtımı | belirlenmemiş | Gözenek boyutu < 1 µm olan toz filtresi ile temizlenmelidir. | |
| Toz/partiküller | Montaj, mekanik aşınma | | | | |
| Anahtarlama tozları: CuF ₂ , WO _x F _y | Ark ile erozyon | | | | |

Tablo 4 - SF₆ yabancı maddeleri (Cigre Broşür 234 tablo 1 den tekrar oluşturulmuştur.)

1) veya, eşdeğer 12 ppmv SO₂ + SOF

2) IEC 62271-1'e göre ve Td = -50C lik bir çiyleşme noktasına karşılık gelir. [Editör Yorumu: Tf = -5 ° C'nin donma noktası olarak daha doğru tanımlanmalıdır]

3) p < 850 kPa'lık yeniden kullanım basınç aralığı (olası tüm uygulamaları (hem YG hem OG yalıtım sistemleri hem de tüm devre kesiciler) kapsar), p < 200 kPa'lık düşük tekrar kullanım basınç aralığı düşük basınçlı yalıtım sistemlerini işaret eder (tipik olarak OG dağıtım sistemi)

4) Çiylenme noktasına karşılık Td = -45 ° C [Editöryel Yorum: Tf = -45 ° C'nin donma noktası olarak daha doğru tanımlanmalıdır]

5) 500 kPa'da saf SF₆'da 0.3 ppm_w'ye tekabül eder

5. TANIMLAR

5.1 DIŞ KAYNAKLAR

SF₆ içindeki diŐ yabancı maddeler, örneğin hava ya da nem birçok kaynaktan ortaya çıkabilir, Şöyle ki:

- Gaz işlemleri
- Sızıntı
- Yüzey ve dökme malzemelerindeki bozulma
- Emici maddelerdeki bozulma (filtreler)
- Harici maddeler (mühürleme yoluyla nüfuz, flanşlar ve muhafazalar)
- Komşu sınırların izolasyon ortamı kaçakları (e.g. buşingdeki yağ)

Bu kirletici maddelerin seviyeleri ağırlıklı olarak ekipman dizaynına, üretime, montaja, gaz işlemleri prosedürüne, izolatörün durumuna, gaz contalarına, flanşlara, muhafazalara, sınırlara, yüzeylerin temizliliğine ve emici materyallerin işlenmesine göre değişir.

Suyun varlığı önlenmelidir, eğer su yoğuşursa, izolatör ya da muhafaza yüzeyinde yalıtım performansının bozulmasına neden olan su damlacıkları ya da su filmi oluşturur. Bazı ayrışma ürünleriyle etkileşimi aşındırıcı olan hidroflorik asidin oluşmasına neden olur.

Bu sorunlar CIGRE Brochure 234 [3] ve IEC Technical Report 62271-303 [4] 'te detaylarıyla ele alınmış olsa da, bütünlük olması adına birkaç ek yorum aşağıda verilmiştir.

5.1.1 Gaz İşlemleri

Herhangi bir bölümü SF₆ ile doldurmadan önce, ilk olarak bölmenin havadan ve nemden arındırılmış olması önemlidir. Nem ve rutubet kolaylıkla, tipik olarak 24 saat veya daha kısa süre içinde, vakum altında çıkarılır. Ancak, izolatör ve destek buşingleri gibi dökme malzemelerden rutubeti gidermek çok zordur.

Dolum işlemine başlamadan önce, aşağıdakilere özellikle dikkat edilmelidir:

- Yağ içeren vakum pompalarının durumu; Eğer doğru koruma sağlanmazsa yağ, gaz bölmesine nüfuz edebilir.
- Birbirine bağlı bütün boru ve hortumların temizlik, tahliye ve sızdırmazlığı kontrol edilmelidir.
- Bütün yeni gaz tüpleri sertifikalandırılmış veya gaz kalite analizi yapılmış olmalıdır. Sadece onaylı gaz operasyon cihazları gaz dolusunda kullanılır ve tüm gaz hatları

toz ve metal parçalarının gaz bölmesine girmesini engellemek için filtre kullanılarak doldurulmalıdır.

5.1.2 Su

5.1.2.1 Havada Açığa Çıkan Nem

Havadaki nem O-ring ve contalar gibi sızdırmazların arasından bölmenin içine yayılabilir. Yayılma oranı bilindiğinde, bölmenin içindeki su buharının kısmi basıncı zamanın fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Normal koşullarda bu etki ihmal edilebilir.

5.1.2.2 Yalıtkanlardaki Nem

Yalıtkanların hacminde bulunan su, durumuna bağlı olarak yalıtkan malzemenin kütlesinin %0.1'i kadar olabilir ve eğer şalter bölmesine nüfuz ederse, yaklaşık 10 g su miktarına kolayca ulaşabilir. Böylece bir bölmedeki nem, izin verilen seviyenin (nominal doldurma basıncında -5 ° C'lik donma noktası) [11] üzerine çıkarılır. Yalıtım malzemesinde bulunan su buharını uzaklaştırmak için, adsorbe edici malzemeler (filtre) bölmelere yerleştirilir.

5.1.2.3 Filtrelerdeki Nem

Filtreler, moleküler elenmiş tip materyal veya aktive edilmiş alüminyumdur. Milimetre ebatlı sıkıştırılmış silindirik veya küresel yumak halinde bir torbada bulunur ve her kompartmana yerleştirilir. Absorbe malzemesinin kütlesi, cihazın ömrü boyunca üretilmesi beklenen su buharı miktarına dayalı olarak GIS üreticisi tarafından hesaplanır. Tipik olarak uygulanan absorbe edici malzemelerin ağırlığı 100 g'dan birkaç kg'a kadar değişir.

Bu absorbe edici yumak şeklindeki filtreler, kullanılmadan önce kapalı ambalajlarda veya torbalarda saklanır. Bu, ortamdaki nemin emici malzemeye nüfuz etmesini önler. Genellikle emici torbaların son kullanma tarihi vardır. Doğru şekilde kullanılmazsa, emici tanecikler su buharı ile doymuş hale gelebilir ve istenen etkiyi ortadan kaldırarak bölmeye nemi sokabilir. Yeni filtreleri takarken, bölmeye yerleştirilmeden önce kısa bir süre önce <15 dk. kaplarından alınmalıdırlar. Bölmenin kapanması ve boşaltılması derhal yapılmalıdır.

5.1.3 Toz ve Metal Parçacıklar

Dış toz ve metal parçacıkları kötü imalat veya kötü montaj süreçlerinden kaynaklanır. Yüksek gerilim ekipmanları metal parçacıklara belli bir seviyeye kadar dayansa da, bu parçacıklardan kaçınılmalıdır. Eğer parçacıklar dielektrik testler (örn: kısmi boşalma ölçümü) sırasında tespit edilirse ekipmana enerji verilmeden ekipman parçacıklardan arındırılmalıdır. Edinilen tecrübeler yerinde temizlemek için gaz bölmesinin açılmasının bölmedeki parçacıkları arttırdığını göstermektedir. Gaz dolumundan sonra partiküllerin, ekipmanın alt kısımlarına ulaşmasını beklemek iyi bir uygulama olacaktır.

5.2 İÇ KAYNAKLAR

Ekipmanın ömrü boyunca üretilen maddeler çeşitli iç kaynaklardan ortaya çıkabilir, şöyle ki:

- SF₆ gazının elektriksel boşalmalarla ve ekipman içindeki diğer materyallerle (kontak materyalleri ve kirlenici maddeler) etkileşimi sonucu ayrışması
- Toz ve metal parçacıklarının açığa çıkmasıyla sonuçlanan açma/kapamalar ile oluşan mekanik aşınma
- Bağlantı noktalarındaki malzeme bozulmaları

5.3 AKADEMİK ARAŞTIRMA

SF₆ içindeki çeşitli elektriksel deşarjlardan meydana gelen ayrışma ürünlerini konu alan çok sayıda akademik araştırma vardır. Bu araştırma farklı deşarjların etkisini, gaz içinde mevcut olan kirlenici maddeleri (nem ve hava) ve ayrışma ürünlerinin ürettiği materyalleri incelemiştir. Deneyler sıkı bir şekilde kontrol edilen ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum bir parametrenin bile değişiminin etkisini görebilmeyi sağlamaktadır.

Araştırmanın çeşitli bölümleri arasında uyum olsa da, bazı durumlarda uyumsuzluk belirlenmiştir ve bu durumlar tam olarak açıklanamamıştır. Bu çalışma genel olarak ayrışma ürünlerinin çok karmaşık olduğunu göstermektedir.

5.3.1 Boudéne, Cluet, Keib and Wind

İlk kapsamlı çalışmalar 1970 yılında Boudene et al tarafından yapıldı [12]. SF₆ ayrışma ürünlerinin toksik etkilerini incelemek bu erken çalışma için bir motivasyon kaynağıydı. Bir dizi elektrik ark deşarjları yapılarak açığa çıkan gaz formundaki ayrışma ürünleri gaz kromatografisi ve kızılötesi spektrometre yöntemi kullanılarak analiz edildi. Çalışmanın sonucunda, toksiklik seviyesinin düşük ve toksik gaz ayrışma ürünlerinin emicilerle yok edilebilir olduğu tespiti yapılmıştır.

5.3.2 Belmadani, Dourdour, Casanovas, Casanovas, Grob and Mathieu

Bu araştırmacılar farklı ortamlar altındaki SF₆ ayrışma ürünlerini inceleyen önemli çalışmalar yayımlamışlardır. Birçok çalışma farklı elektrik aktiviteleri, kısmi deşarj ve arklar üzerine yoğunlaşmıştır ve daha sonra elektrotların çeşitleri ve nemin gaza olan etkileri konularına genişlemiştir [7], [13] ve [14]. Çalışmaların çoğu 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında yayımlanmıştır.

5.3.3 Heise, Kurte, Fischer and Klockow

İlk yapılan bazı çalışmalar tekrarlanmıştır ve çalışmalar araştırmacılar tarafından genişletilmiştir. Ayrışma ürünlerinin analizi direkt ve orta düzeydeki ayrışma ürünlerinin tespitini yapabilen kızılötesi spektroskopisi kullanılarak yapılmıştır [15].

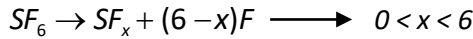
5.3.4 Piemontesi

Kızılötesi Fourier Dönüşümü spektrometresi monte edilmiş özel yapım paslanmaz çelik hücre içerisindeki ayrışma ürünlerinin yoğunluğu ölçülmüştür. Ayrışma ürünlerinin negatif noktadan düzlem korona ve kıvılcımlara doğru olan üretim oranı su ve oksijenin varlığından, hücre yüzeyinin cinsinden, yani paslanmaz çelik, alüminyum ve camdan önemli derecede etkilenmektedir. Bazı ayrışma ürünleri, CF₄, SO₂ ve SO₂F₂ gibi, oldukça uzun ömürlü olarak bulunmuş olmasına karşın, diğer ürünlerde, SF₄, SOF₂, SOF₄ ve HF gibi, hızla çürüme gözlenmiştir. Çürüme zamanı muhafazanın maddesine, su bulunup bulunmamasına ve suyun yüzey durumuna ve gaz fazındaki kirletici maddelerin olup olmasına göre değişir. Ayrıca, emici maddelerdeki verim, yani aktif alumina ve moleküler elek tip 13X, farklı ayrışma ürünleri için değerlendirilmiştir [6].

5.4 Bozunma Ürünlerinin Oluşumu

5.4.1 Elektrik Deşarjlarıyla oluşan SF₆ Bozunmuş Ürünler

Normal yük veya kısa devre akım anahtarlama sırasında, SF₆ molekülleri ark tarafından iyonize olur ve parçalanır. Moleküllerin büyük bir kısmı yeniden bir araya gelse de, bir kısmı bozunma ürünleri olarak tepki verir. Ark enerjisinin uyarma tipi ve şiddetine göre orta derecede ürün üretilir [3], [5].



Ark içinde üretilen bozunma ürünleri, elektriksel bağlantı maddeleri, alüminyum, bakır ve tungsten, ile tepkime verecektir. Bu tepkime sonucu metal floridler oluşur. Uç malzemedan (PTFE) veya diğer izolasyon malzemelerinden ortaya çıkabilecek karbonun varlığında ise, CF₄ oluşur. Ark kanalı içinde, parçalanan SF₆ gazı kirletici maddelerle, H₂O, N₂ ve O₂, ileri kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirebilir. Sonuç olarak bozunma ürünleri örneğin SO₂F₂ gibi genellikle oksijen içermiş olacaktır.

Deşarj kanalı sınırında veya ark olayından sonra, molekül ve iyonlar yeniden SF₆ oluşturur. Buna rağmen, bazı bozunma ürünleri, özellikle SF₄ and HF, gayet kararlıdır. SF₆ ortamındayken kararlı olsalar da oksijen ya da nem varlığında aşırı derecede reaktif hale gelirler. Bundan dolayı SF₄, su ile tepkimeye girerek bozunma ürünleri oluşturacaktır. Aynı şekilde, HF, metal oksitler ile tepkimeye girecek ve metal floridler oluşturacaktır.

5.4.1.1 Anahtarlama Sırasında Bozunma Ürünlerinin Patlaması

Anahtarlama sırasında bozulan ve iyonize olan SF₆ moleküllerinin sayısı, kesilen akım ve ark zamanıyla orantılıdır. Ölçümlerden, SF₆ içinde deşarjdan dolayı oluşan bozunma ürünlerini temsil eden, ark enerjisi ile SOF₂ arasında bir ilişki türetilmiştir (bkz. 5.1). Bozunma ürünlerinin üretim oranı, bir kesicinin ark ucundaki tüm SF₆ moleküllerinin ayrıştığı ve bunların bir kısmının da

ayırışma ürünlerinin içinde sonlandığı kabul edilerek belirlenebilir. Bir anahtarlama operasyonu ile oluşan bozunma moleküllerinin sayısının büyüklüğü şu şekilde hesaplanabilir:

$$N_0 = N_L \cdot r \cdot I \cdot U_{arc} \cdot t_{arc} \cdot n \quad (5.1)$$

| | |
|-----------|--|
| N_L | 100 kPa ve 20°C de 1 litredeki molekül sayısı $2.462 \times 10^{22}/l$ |
| r | ark enerjisine bağlı olarak ayırışma ürünlerinin oluşum hızı [l/kJ] |
| I | kesilen akım [kA] |
| U_{arc} | ark gerilimi (genellikle orta gerilim için 200V, yüksek gerilim için 800V) |
| t_{arc} | ark süresi, genellikle 0.015 s |
| n | kesme hücresindeki kutup sayısı |

IEC 62271-303'te, ayırışma ürünü olan SO_2F_2 'nin üretim hızı – genelde SF_4 sebebiyle oluşur - 3.7×10^{-3} l/kJ olarak verilmiştir [4]. Ark enerjisinin 95 kJ, akımın 31.6 kA olduğu tek faz bir kesme işlemi düşünüldüğünde, olay sonucunda 0.35 litre gaz bozunma ürünü veya 8.5×10^{21} molekül oluşur. Kesici içinde 0.3 m^3 hacme sahip ve 600 kPa basınçla doldurulmuş SF_6 bulunduğu ürünlerin konsantrasyonu 192 ppm_v olur. Yük akımı anahtarlama ise, ark akımı daha küçük olur ve sonuç olarak daha az seviyede bozunma ürünü ortaya çıkar.

5.4.1.2 Korona Deşarjları ile Oluşan Bozunma Ürünlerinin Seyri

Korona deşarjıyla saniye başına üretilen iyon sayısı, S , korona akımından şöyle bulunabilir:

$$S = \alpha \cdot \frac{I}{e} \quad (5.2)$$

Parametreler:

| | |
|----------|---|
| I | Korona akımı |
| e | electron yükü 1.6×10^{-19} |
| α | bozunma ürünleri için çarpım katsayısı (>1) |

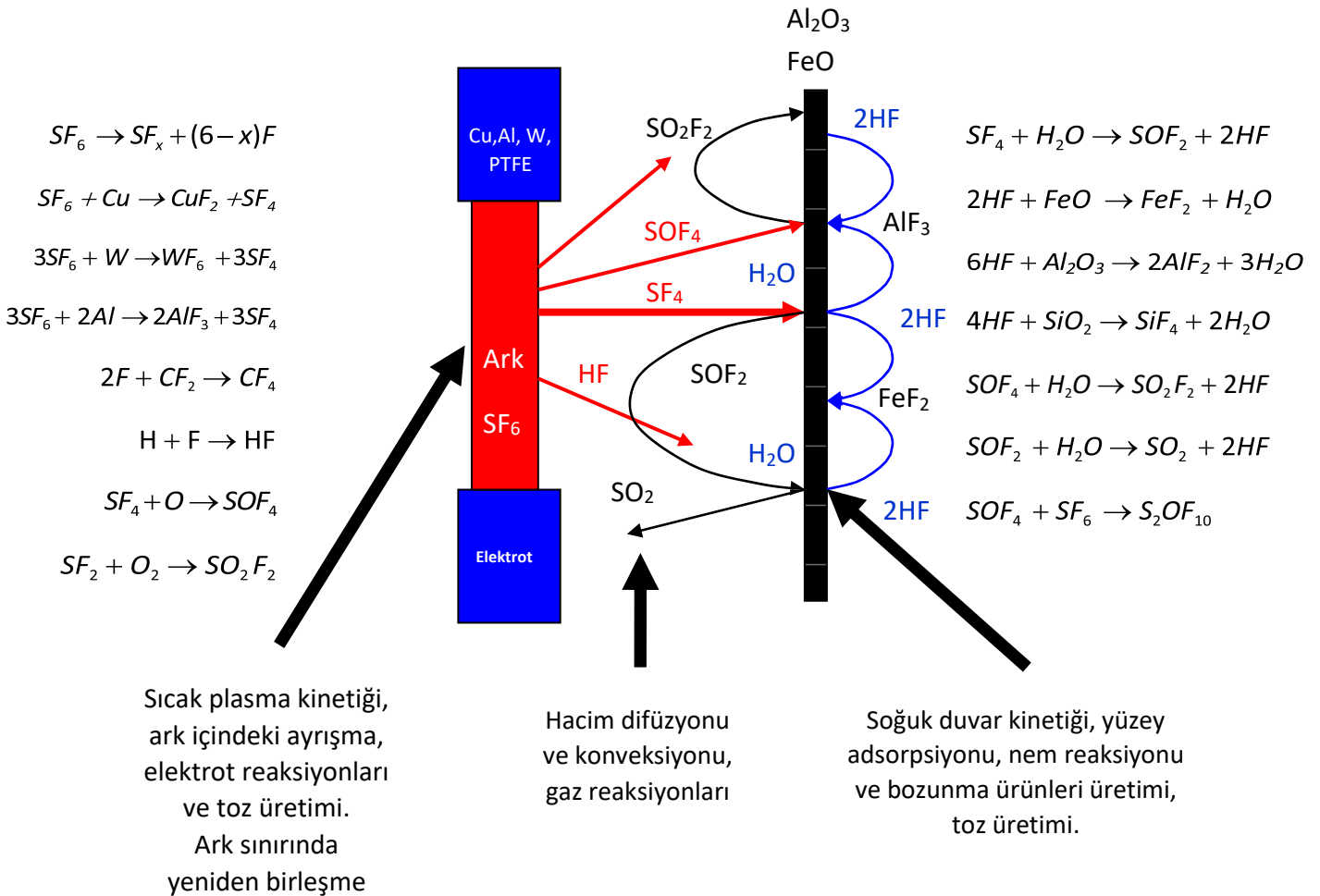
Eğer $\alpha=1$ ise bu durumda tipik olarak $6.25 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$ lik akıya sahip olan yüklü iyonlar ve buna eşdeğer akısı olan bozunma ürünleri oluşur. Tecrübelerden [5], deşarj enerjisi yerine yayılan yükler referans alındığında yaklaşık 50 $\mu\text{mol}/\text{C}$ luk bir oluşum hızı elde edilir. 10 μA lik sürekli bir korona akımı olduğu varsayıldığında $3 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ lik akısı olan bozunma ürünleri oluşur. Bu, bir elektronun beşten fazla SF_6 parçası ve ilişkili bozunma ürünleri oluşturabileceğini belirten 5.2 eşitliğine göre tutarlı bir tahmindir. Elektronların yüksek enerjili olmasından dolayı bu durum mantıklıdır. Eğer emici maddelerle bozunma ürünleri alınmamışsa, 0.3 m^3 hacme sahip ve SF_6 gazı 4 barlık basınçla doldurulmuş bir ortamda $3 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ lik bir akı oluşur ve bir hafta boyunca devam ederse toplamda 6 ppm_v konsantrasyonunda bozunma ürünleri oluşur.

5.4.2 Bozunma Ürünleri Reaksiyonları

SF_4 veya SF_2 'nin ark kanalı içindeki ya da korona deşarj bölgesindeki diğer gaz formlarında

bulunan kirleticilerle reaksiyonu H₂O veya O₂ moleküllerinin ya da kimyasal olarak hidrojen ya da oksijen ile bağlanmış maddelerin bulunmasından dolayı yüksektir. Ancak, genel gaz hacminde reaksiyon olasılığı düşüktür, çünkü tepkimeye giren maddeler gazın küçük bileşenleridir ve reaksiyonu tetiklemek için yeterli enerjiyle çarpışmaları gerekir.

Hacimdeki ana ulaşım sürecinin yavaş difüzyon tarafından değil konveksiyon ile sağlandığı varsayılır, böylece SF₄ kısa sürede (birkaç saat) kompartmanın duvarlarına ulaşır ve bunun sonucunda da arkın oluşumundan sonra yüzey reaksiyonu hızlıca başlar. Metalik duvarlar üzerinde, rutubet ile çarpışan SF₄ kolayca reaksiyona girmeye uygundur. Bir çok deneyde nem konsantrasyonunda yüzey reaksiyonlarının baskınlığı ile açıklanabilecek bir sıralama yapıldığında, SOF₂ konsantrasyonlarında küçük değişiklikler fark edilmiştir [6], [7]. 600 kPa'da SF₆ ile doldurulmuş 0,3 m³'lük hacimdeki 1 ppm_v'lik nemin bile tek bir H₂O molekülü ile 3 m²'lik bir alanı kaplayacak kadar yeterli su içerdiğini belirtmek gerekir (tek katman için yüzey yoğunluğu 1,5x10¹⁹ / m²). İzolasyon malzemelerinde ve metal yüzeyler üzerinde oksijen mevcuttur.



Şekil 1 - Sıcak plazma reaksiyonlarının (sol taraf) ve soğuk duvar reaksiyonlarının (sağ taraf) şematiği

Şekil 1 ana reaksiyon sürecini ve bu reaksiyonların nerelerde gerçekleştiğini gösterir. SF₄, elektrik deşarjı sonucu oluşan ana bozunma ürünü, ilk olarak iç duvar yüzeyinde H₂O ile tepkimeye girer

ve SOF_2 oluşur. Bu süreç hidroliz olarak adlandırılır. Açığa çıkan HF çoğunlukla yüzeyde kalır ve aniden yüzeydeki metal oksitlerle tepkimeye girer, bu yüzden diğer bozunma ürünlerine göre kısa süre ortamda kalır. Metal floridler yüzeyde toz gibi kalır. Bu reaksiyondan H_2O meydana gelir ve böylece SF_4 ile tepkimeye girebilecek hale gelir veya yavaş bir dönüşüm olan SOF_2 nin SO_2 'ye dönüşümünde kullanılır. [9]. Bu süreçlerde H_2O katalizör olarak kullanılır. [6].

Bozunma ürünlerinin tespit edilme olasılığı birçok fiziksel süreç sonunda belirlenebilir. Bu süreçler Ek D.' de tartışılmıştır. İlgili faktörler şunlardır:

- Ark veya deşarj enerjisinin bir fonksiyonu olarak bozunma ürünlerinin oluşum hızı
- Bozunma ürünlerinin ark veya deşarj bölgesinden bölmenin duvarına taşınma (difüzyon ya da konveksiyon) hızı
- Yüzeylerde üretilen bozunma ürünlerinin gazlarının karışımı (difüzyon ya da konveksiyon).
- Duvar yüzeylerinde bozunma ürünlerinin tepkime hızları
- Emici materyallerdeki bozunma ürünlerinin emici materyalin özelliğine ve bulunduğu yere göre değişen adsorpsiyon hızı

5.4.2.1 SOF_2 ve SO_2

SOF_2 ve SO_2 elektrik arkları, kıvılcıklar ya da elektrik deşarjlarından sonra oluşan, en çok tespit edilen iki bozunma ürünüdür. SOF_2 sadece deşarjdan dolayı oluşmaz, SF_4 ile H_2O nun yukarıda açıklanan $k = 1.8 \pm 0.9 \times 10^{-9} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ hızında duvarlar üzerinde sekonder tepkimelerinden dolayı da oluşur. SOF_2 nin hidrolizi sonucu bu gaz yine yüzeydeki su moleküllerinin varlığına bağlı olarak daha yavaş hızda ($k = 1.2 \pm 0.3 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$) SOF_2 gazına dönüşür. Bu reaksiyonların zamanları 10 ila 100 gün arasında değişir. Bu nedenle SO_2 konsantrasyonu bozunma ürünleri oluşturan olaylar sonucunda artabilir. Şu an, SOF_2 gazı taşınabilir cihazlarla verimli hassaslıkta tespit edilememektedir ve bozunma ürünlerinin tespiti ana olarak SO_2 'ye dayanmaktadır.

SOF_2 ve SO_2 ani bir şekilde zeolite 13X moleküler filtre gibi emiciler tarafından emilmektedir. Zeolite 13X içeren birkaç litrelik bir hacim incelendiğinde iki maddenin de 48 saat içinde yok olduğu gözlenmiştir, oysaki bu süre herhangi bir emici madde olmadığı zaman 100 günden fazla olmaktadır. Bundan dolayı, bu bozunma ürünlerinin tespiti emicilerin varlığı ve üretim ile ölçüm arasındaki zamana oldukça bağlıdır.

GIS ekipmanlarında bazen SO_2F_2 ve SOF_4 'te gözlemlenmiştir ama bunların konsantrasyonu SOF_2 'ye göre daha azdır. Bu bozunma ürünleri çok büyük ihtimalle direkt olarak ark veya deşarj kanalı içerisinde üretilmiş olur. Onların bolluğu doğrudan şalttaki nemin oranına bağlıdır [10].

5.4.2.2 HF

Hidrojenin H_2O olarak gazın içinde önemli miktarlarda bulunduğu durumlarda, ark deşarjının içinde flüorür ile hidrojen arasındaki direkt reaksiyon sonucu HF açığa çıkabilir. HF duvarlara difüzyon ya da konveksiyon yoluyla ulaşır ulaşmaz, HF, Al_2O_3 , FeO veya SiO_2 gibi yüzey oksitleriyle

ani bir şekilde tepkimeye girer. HF hızlıca, yüzeye toz biçiminde yapışan katı flüorüre dönüşür ve bundan dolayı hacim içinde yok olur. Bunlara ek olarak HF SF₄ gazının su molekülleriyle hidrolitik yüzey reaksiyonlarından ve SOF₂'nin nem ile sonraki ayrışmalarından da meydana gelir, bu tepkimelerde son kararlı yan ürün olarak SO₂ üretilir. Nem bu bozunmada gerekli önkoşuldur ve pratikte yüzeyde her zaman mevcut olduğu gözlenmiştir.

SF₄'ün yüksek yoğunlukta görüldüğü durumlarda, yani kısa devre akımından kısa bir süre sonra aslında HF de gözlemlenir. Yüksek yoğunlukta SF₄ (1000 ppm_v ve daha üstü), bir anahtarlama olayından sonra büyük bir alanda saatlerce hatta günlerce kalabilir. Eğer bu sırada gaz analizi yapılırsa HF tespit edilebilir, SF₄ yok edildiği gibi HF de yok edilir.

HF'nin göreceli olarak bolluğunun tespit edilmesi zordur, çünkü üç ayrışma ürününün SF₄, yani HF, SOF₂ ve SO₂'nin reaksiyon hızları/oluşum oranları çok benzer değildir. SF₄, HF ve SOF₂ ye ayrıştığında 1 parça SOF₂, 2 parça HF oluşmasına rağmen, her iki parçanın bir arada olduğu hacimde bu oran sağlanmaz.

SOF₂'nin su ile SO₂ ye dönüşümü HF'nin metal oksitlerle tepkimesinden daha yavaş olduğu için SOF₂ birikirken HF azalmaktadır. Bu yüzden SOF₂'nin HF'ye göre gazdaki konsantrasyonu daha fazla olacaktır. SOF₂'nin SO₂'ye dönüşümünden elde edilen HF, SF₄'ünküne göre sürecin daha yavaş olmasında dolayı daha da azdır.

5.4.2.3 CF₄

Çoğu SF₆ izoleli devre kesicileri ve yük anahtarlarında, akım kesimi ya da ayırımı için PTFE (politetrafloroetilen – teflon) den yapılmış kontaklar kullanılır. SF₆ arkı ile temas halinde PTFE ayrışma maddesi olarak CF₄ açığa çıkarır. (bkz. Şekil 1) Bu başlıklar soğuk gazın ve sıcak ark plazmasının akışını şekillendirir, gaz basıncını arttırırken arkın sıcaklığını azaltır ve ark sönümlenmesini kolaylaştırır. Her bir akım kesimi ile kontakların kalınlığı artar ve zamanla performansı bozulur. Bu nedenle kontak aşınmasını gösteren bir metot önemlidir ve CF₄'ün miktarını gözlemlemek de aynı önemdedir.

Birçok yayında [7], [8] CF₄ miktarının, ark enerjisiyle orantılı olduğu gösterilmiştir. Mutlak değerler, özel kontak geometrilerine göre değişmelerine rağmen, devre kesici dizaynında bulunmaktadır. Ekipmana yerleştirilen emici madde, hangi türden olursa olsun CF₄'ü ortadan kaldıramamaktadır. 13X filtre, CF₄'ü 47 günde etkisiz hale getirememiştir [7].

8.3 kA'e kadar yapılan ardışık akım kesmelerinde önemli miktarda CF₄ ölçülmüştür [7]. Yukarıda açıklandığı gibi bu üretim hızları, devre kesici dizayn prensibine ve kesilen akıma göre değişmektedir. Devre kesicisindeki bir hata normal durumlarda ölçülenden daha fazla CF₄ üretilmesine neden olur. Buna rağmen, bu artış önemli derecede bir artış olmayabilir. Tespit edilen CF₄ seviyeleri birikmiş ark enerjisiyle orantılıdır. Dizayn farklılıklarından dolayı, sadece üretici firma kontak aşınmalarıyla ilgili kıyaslama verilerini sağlayabilir. Kontak aşınması, ark zamanını arttırır ancak özellikle 72.5 kV üzerinde SF₆ gazlı kesicilerin hayatını kısıtlayan bir faktör

değildir.

Bir başka zorluk, yeni SF₆ gazı için izin verilen CF₄ kirliliği seviyesiyle ortaya çıkmaktadır. IEC 60376'ya göre [1], 4000 µl/l (2400 mg/kg ya da 100 kPa'da 830 ppm_v) seviyesine kadar izin verilmektedir. Ancak bunun ekipman performansı ile ilgisi minimumda kalmaktadır. Örneğin %50:50 SF₆/CF₄ gaz karışımı kullanıldığında ekipman çok düşük ortam sıcaklığında çalışmak zorundadır.

5.4.2.4 Metal Florürler

Katı ayrışma ürünleri (ana olarak metal florürler ve metal oksit florürler) direk olarak ark ile metal parçaların etkileşimi veya SF₆ bozunma ürünlerinin metal veya metal oksitlerle reaksiyonu sonucu oluşabilir. Ana bozunma ürünleri AlF₃, CuF₂ and WF₆'dır.

AlF₃ arkin alüminyum ile etkileşimi ya da HF ile Al₂O₃ ün iç yüzeyde reaksiyonu sonucu oluşur. Bu beyaz toz elektrik aktivitelerinden sonra genellikle bulunan katı üründür. CuF₂, (diğer beyaz toz) arkin bakır veya bakır içeren bölümlerle etkileşimi sonucu oluşur. WF₆ ark ile ana kontak maddesinin etkileşimi sonucu oluşur. Çok zehirlidir ve özel fiziksel özellikleri vardır. 17 °C üzerinde renksiz gaz, 2 °C ile 17 °C arasında soluk sarı renkli bir sıvı ve 2 °C altında da beyaz katı şeklindedir. WF₆ su ile ani bir şekilde tepkimeye girerek H₂WO₄ ve HF oluşturur.

Ark tarafından üretilen metal florürlerin miktarı kantitatif olarak belirlenemez. Metal florürler ve bunların ileri reaksiyon ürünleri yalıtıkandırlar ve dielektrik izolasyon seviyesini düşürmezler.

Temizleme işlemi için, bölme açılmalı ve kısmi olarak sökülmeli ve tüm yüzeyler dikkatlice temizlenmelidir. Metal florürler gaz analizleriyle tespit edilemezler.

5.4.2.5 Diğer Kirleticiler

Transformatör sargılarında da kullanılan epoksi izolatörler ya da selüloz izolasyon maddesi gibi polimerik materyallerin aşırı ısınması sonucu CO veya CO₂ üretilebilir. Buna benzer bir şekilde, polimer malzeme içeren korona deşarjlarında COS üretilebilir [10].

5.5 KİRLETİCİ MADDELERİN KONTROLÜ

Emici maddelerin kullanımı, kirleticiler maddelerin kontrolü için etkin bir yöntemdir. Moleküler elekler ya da aktif alumina 600 m²/g'a kadar gözenek ve boşluklardan yapılmış yüzeye sahiptirler. Bu iç boşluklar, birbirlerine kanallar vasıtasıyla bağlanırlar ve çapları emici maddenin moleküler yapısı tarafından belirlenir. Kanal kalınlıkları genellikle 0.3, 0.4, 0.5 or 1 nm'dir. Bu durum, daha küçük çaplı tüm moleküllerin kanallardan geçmesine ve tuzağa düşürülmesine izin vermek için yeterlidir. Büyük çaptaki moleküller ise geçirilmemiş olur. Küçük kanallı emici maddeler genellikle su buharının bertarafı için kullanılırken; büyük çaplılar ise nem gibi bozunma ürünlerinin temizlenmesinde kullanılır.

Emici madde doyuma ulaşana kadar bozunma ürünlerini ve kirletici maddeleri emmeye devam edecektir. Normalde ekipman ömrü devam ederken doyuma ulaşmamış olacak şekilde miktarı hesaplanır.

Emici maddeler ayrışma ürünlerini hacimden uzaklaştırmada çok etkilidirler. Bu durum, üretilen ürün miktarının sınırlı bilgisi ile birleştiğinde, ayrışma ürünlerinin konsantrasyonlarının sadece niteliksel olarak değerlendirilebileceği anlamına gelir. (Ek B.'de daha detaylı açıklanmıştır) Emicilerin ihmal edilmesi şalt için kötü bir durumdur, çünkü ayrışma ürünleri izole yüzeylerle reaksiyona girebilir ve dayanma gerilimini düşürebilir [1]. Emici maddelerle ilgili ek detaylar Ek E.'de mevcuttur.

6. GAZ ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ

6.1 EKİPMAN DİZAYNI ETKİSİ

Ekipmanın tipi ve dizaynı ayrışma ürünlerinin üretimi ve etkilerine etki eder, bundan dolayı şu faktörler analizlerde ve sonuçların yorumlanmasında göz önüne alınmalıdır.

6.1.1 Şalt

SF₆ 'nın kesici ortam ve/veya izolasyon maddesi olduğu durumlarda, bölümler üç gruba ayrılabilir:

- Yüksek ark enerjili şalt (devre kesiciler ve yük anahtarlayıcıları - AIS veya GIS)
- Düşük ark enerjili şalt (ayırıcılar ve toprak ayırıcılar - GIS)
- Anahtarlama arkları olmayan statik elemanlar (bara elemanları, CT's - VT's - GIS)

6.2 GAZ ANALİZİNİN AMAÇLARI

SF₆ analizleri ekipmanın yaşam döngüsünün her aşamasında yardımcı olabilir. Bunlar enerjilendirilmeden önce, çalışır durumdayken ve enerjisi kesilmişken.

SF₆ analizlerinin üç ana amacı vardır :

- Ekipman servise alınacağı zaman veya herhangi bir gaz işleminden sonra, gazın kalitesinin şartları sağladığından emin olmak
- Ekipman servisteyken hataları teşhis etmek
- Ekipman serviste değilken gazın uygun kullanıldığından emin olmak

Yukarıdaki bütün maddeler çok önemlidir, ancak ikinci madde, ekipmanın tatmin edici bir performans göstermesi için, iyileştirici tedbirlerin alınıp alınmayacağı veya ciddi hatalarının olup olmadığı konusunda karar vermede kritik rol oynar. Benzer olarak ekipmanın gereksiz açılmasını ve gereksiz kesintilerden ve maliyetten kaçınılmasını sağlar. Kamu kuruluşları bakım giderlerini düşürmeleri konusunda baskı altında oldukları için bunlar önemlidir. Durum Bazlı Bakım (DBB) optimum çözümler sağlar ve bu sebeple birçok kamu kuruluşu tarafından tercih edilen bakım stratejisi olarak benimsenmiştir.

6.2.1 Servise Alınmadan Önce

Ekipman kurulumu sırasında gaz analizi şu şekilde kullanılır:

- Ekipman servise alınmadan önce, ekipman içindeki gazın kalitesini ve durumunu doğrulamak için; tipik olarak SF₆ yüzdesi ve nem ölçülür.
- Normalde tekrar kullanılmış gazın sonuçları her zaman sınırların altında olsa da, SF₆ ayrışma ürünlerinin varlığına bakılır.

Ekipmanı doldurmadan önce, aynı ölçümler her tüpteki gaz için yapılabilir.

6.2.2 Servisteyken

6.2.2.1 Periyodik olarak (bakım düzeninin bir parçası olarak)

Ekipmanın servis ömrü boyunca SF₆ gaz analizi bakım düzeninin parçası olarak ele alınabilir. Tipik olarak SF₆ yüzdesi, ayrışma ürünleri ve nem ölçülmüş olur. İç ekipmanın tipine bağlı olarak (ark gören veya görmeyen) bu testler şu gibi potansiyel problemleri teşhis edebilir:

- Dielektrik aktiviteler (kısmi deşarj, korona).
- Kontak aşınması.
- Sıcak noktalar (yüksek kontak direnci).
- Standart olmayan anahtarlama koşulları (ağır anahtarlama işlemleri).
- Sızdırmazlık problemleri (nem, hava).
- Yanlış gaz işlemleri (nem, hava, yağ).

6.2.2.2 Hata İncelemesi (bir olaydan sonra)

Bir problemi veya şüphelenilen bir durumu takiben, SF₆ gaz analizi inceleme sürecinde şu şekilde kullanılır:

- İç ark bölgelerini tespit etmek
- Bozunma ürünlerinin seviyesini belirlemek ve bölmeyi açmadan önce gerekli gaz işlem prosedürünü belirlemek
- Diğer faktörler tarafından vurgulanan anormal davranışları incelemek, yani problemin gazın içinde olup olmadığına bakmak
- Diğer durum değerlendirme tekniklerinden elde edilen sonuçları ilişkilendirmek, örneğin kısmi deşarj ölçümleri

Hassas tespit ekipmanına zarar vermektan kaçınmak için bozunma ürünlerinin başlangıç ölçümleri basit tespit tüpleri ile yapılmalıdır.

6.2.2.3 Enerji kesili iken

SF₆ 'nın bir kısmını tahliye etmeden önce, kullanım/geri dönüşüm prosedürlerinin yeterli olup olmadığını belirlemek için gazın durumu kontrol edilmeli örneğin tahliye edilen gaz tekrar kullanılabilir mi veya geri dönüşüm için ayrılmış mı ya da geri dönüşüme gönderilebilir mi gibi.

6.3 EN UYGUN YERİNDE ÖLÇÜMLER

Taşınabilir gaz kromatografi araçlarıyla çok çeşitli SF₆ ayrışma ürünlerinin ölçümü yapılabilse de, bu araçların kullanımı zordur ve pratik değildir, bu yüzden durum bazlı bakım stratejisinin bir parçası değildir. Ancak son zamanlarda birkaç üretici firma, gazın üç veya dört parametresi hızlı ve kolay bir şekilde ölçülebilen çoklu analizörler geliştirdiler ve böylece gaz kromatografi araçlarının sorunlarının üstesinden gelmiş oldular. Geleneksel tespit edici tüpler ayrışma

ürünlerinin yüksek seviye taramalarında rol almaya devam etmektedirler.

Bir ekipmanın performansı açısından bakıldığında en kritik unsur SF₆ içeriği (SF₆ yoğunluğu ile birlikte), bundan sonra nem ve son olarak da ayrışma ürünleridir. Önceki bölümlerde tartışıldığı üzere, SOF₂ ve SO₂ elektrik deşarj aktivitelerinden sonra tespit edilen en bol maddelerdir. SF₆, SOF₂ 'nin hidrolizinden dolayı zamanla indirgenir ve kararlı ayrışma ürünü olarak SO₂ oluşturur. HF de bulunur fakat yüzey oksitleri ile reaksiyona girer ve katı metal florürler üretir ve gaz hacminde yok edilmiş olur.

SO₂ kararlı bir ayrışma ürünü olduğundan, ölçmek için en uygun ayrışma ürünüdür. Eğer uygun ölçüm kapasitesi mevcutsa HF de bu kısım altında ele alınabilir.

6.3.1. Sahada Ölçüm Prosedürleri

6.3.1.1 Güvenlik Önlemleri

Bir ölçüm yapmadan önce, gaz bölümü ile ölçüm cihazı arasında gaz sızdırmazlık bağlantısının yapıldığına dikkat etmek gerekir.

Eğer mümkünse gaz örneklemesinin servis dışına alınmış aparatlar üzerinde gerçekleştirilmesi önerilir. Eğer bu mümkün değilse enerjili ekipmandan örnek alınırken üretici firmadan temin edilmiş işletme kılavuzu kesinlikle incelenmelidir.

Sadece uygun şekilde eğitilmiş personel SF₆ gazını kullanmalıdır.

6.3.1.2 Ölçüm Prosedürü

Yerinde gaz analizleri iki ayrı ve farklı senaryo gerektirir. Birincisi bilinen veya şüphelenilen iç arızayı takip etmektir. Ölçümün amacı arızanın olduğu bölümü ya da fazı, kirlilik şiddetini ve bakım personeli tarafından alınması gereken önlemleri belirlemektir.

İkinci senaryo, ölçümlerin durum değerlendirmesinin bir parçası olarak gerçekleştirilmesidir. Bu senaryo daha yüksek seviyede ölçüm hassasiyeti gerektirir.

6.3.1.3 Dedektör Tüpler

Basit, kullanımı kolay olan dedektör tüpler, örneğin SO₂, HF ve SO₂F₂ gibi asidik bileşikler için, ayrışma ürünlerinin tespiti için kullanılırlar ve içerideki gazı bozunmuş bölümleri belirlemede kullanılabilirler. Bölmeden küçük miktarda gaz alınır ve ayrışma ürününün varlığına göre renk değiştiren bir tüp içerisinden geçirilir. Başlangıç olarak 1 – 25 ppm_v hassasiyetindeki tüplerin kullanılması önerilir ve bu aralık aşılsa 20 – 200 ppm_v hassasiyetindeki bir tüp kullanılabilir.

Belirli bir ayrışma ürününe duyarlı olan dedektör tüpler, diğerlerine duyarsızdırlar. Doğruluk aralığı 10 – 30% arasındadır.

6.3.1.4 Taşınabilir Analizörler

Yerinde ölçüm için birçok tekli ve çoklu ölçüm cihazları bulunmaktadır. Tipik olarak nem, SF₆

yüzdesi ve ayrışma ürünlerini ölçebilirler. Bazı cihazların CF_4 ölçme özelliği de vardır. Çoklu analiz cihazının avantajı, üç veya dört parametreyi aynı anda ölçebilme yeteneğinin olmasıdır ve bu da harcanan zaman ve gerekli çabayı ciddi miktarda azaltır. Çoğu modern cihaz ölçülen gazın bir kısmını tutar ve kalanını kompartmana geri basar. Genellikle, yüksek seviyede ayrışma ürünü bulunması durumunda ölçüm işlemi durduran güvenlik mekanizmaları da bulunmaktadır.

Her bir analizörün detaylı işletme kılavuzu bulunmalıdır. Kullanıcı kesinlikle kurallara uymak zorundadır.

Aşağıdaki prensip ve önerilere uyulmalıdır:

- Örneklenen gaz kapalı çevrim içerisinde bulunmalıdır, yani atmosfere açık olmamalıdır. Gazın geri dönüşümü gaz toplama cihazları ya da gazın test altındaki cihaza geri verilmesiyle kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Minimal gaz kayıpları için bu prosedürün takip edilmesi şiddetle önerilir.
- Ölçüm sonuçlarının yanlışlarından kaçınılmalıdır. Ölçüm için uygun bir hortum seçilmelidir. İdeal olarak, PTFE / PFA bükülmez (metal muhafazalı) hortum kullanılmalıdır. Lastik hortumlar higroskopik yapılarından ve geçirgenliklerinden dolayı kullanılmamalıdır.
- Ölçü cihazının hortumdaki gazı veya SF_6 -hava karışımını değil, bölmedeki gazı ölçtüğünden emin olmak için hortum ölçülen gaz ile doldurulmalıdır. Her iki ucunda da kendinden contalı rakorları olan hortumlarının kullanılması önerilir.
- Ölçü cihazını bağlarken, ölçüm manuel olarak mı başlayacak (giriş valfi açılarak) yoksa hortum bağlanır bağlanmaz cihaz görüntü aygıtı gibi çalışacak ve SF_6 kompartmandan cihaza doğru mu akacak durumlarını belirlemek önemlidir.
- Eğer yüksek yoğunlukta ayrışma ürünlerinin olduğundan şüphe edilirse, başka bir ölçüm cihazı kullanmadan önce bu durum hakkında kesin bir karar verilmelidir. İnce yüzey katmanlarının korozyonundan dolayı elektronik nem ölçüm cihazlarının polimer veya alüminyum oksit sensörleri ayrışma ürünleri tarafından kolaylıkla zedelenebilirler. Öte yandan çiy noktası ayna ölçüm cihazları, yüzeylerinde koruyucu kaplama olduğundan daha güçlüdür.
- Her kaydedilmiş örnek ortam sıcaklığı ve ölçüm basıncı bilgisini içermelidir.
- Ölçü sonuçları elektronik veya manuel olarak kaydedilmelidir. Bu içerikte, bölüm (kompartman/sistem), saat ve tarih belirterek ölçüm sonuçlarının izlenebilirliğini sağlamak önemlidir. Eğer veri elektronik olarak saklanmışsa, veri ölçüm cihazından indirilip uygun bir şekilde arşivlenmelidir.
- Kullanımda olan ölçü cihazına göre, sonuçlar ya otomatik olarak değerlendirilmeli (ve cihaz ekranında görüntülenmeli) ya da operatör SF_6 kalitesine ilişkin bir karar vermelidir. Otomatik veri değerlendirmesi yapan cihazlar için, cihazın özel sensörlerine ait eşik değerleri cihazdaki ayar menüsünden tanımlanabilir.
- Bir ölçümden sonra, özellikle ayrışma ürünlerinin belirlenmesinden sonra, tüm ölçü cihazlarının saf SF_6 , hava veya azot ile temizlenmesi önerilir.

- Eğer cihaz dzenli olarak tekrar kalibre ediliyorsa, üretici firmanın kalibrasyon periyoduna uyulmalıdır.

6.4 SAHA TESTLERİ

Önceki bölümlerin hazırlanmasında, bilgiler, yazarlar tarafından temsil edilen organizasyonların ölçüm deneyimlerinden alınmıştır. Buna ek olarak, kısa bir süre önce piyasaya sürülen gaz analizörlerinin performansını değerlendirmek ve en son test teknolojilerini anlamak için özel bir dizi saha testi gerçekleştirildi.

Saha testleri ayrıca iki laboratuvarda yapılan testleri içermektedir. Laboratuvar imkânları, sahada yapılan testlere göre daha gelişmiş olsa da, örnek almada ve örneği muhafaza etmede sorunlar bulunmaktadır. Bazı ayrışma ürünlerinin reaktif doğası da sorun oluşturmaktadır. Ayrıca laboratuvar testlerinde harcanan zaman ve maliyet konularında da pratik sorunlar vardır. SF₆ gazının laboratuvar testlerini normal durum değerlendirmesi altında değerlendirmek zordur.

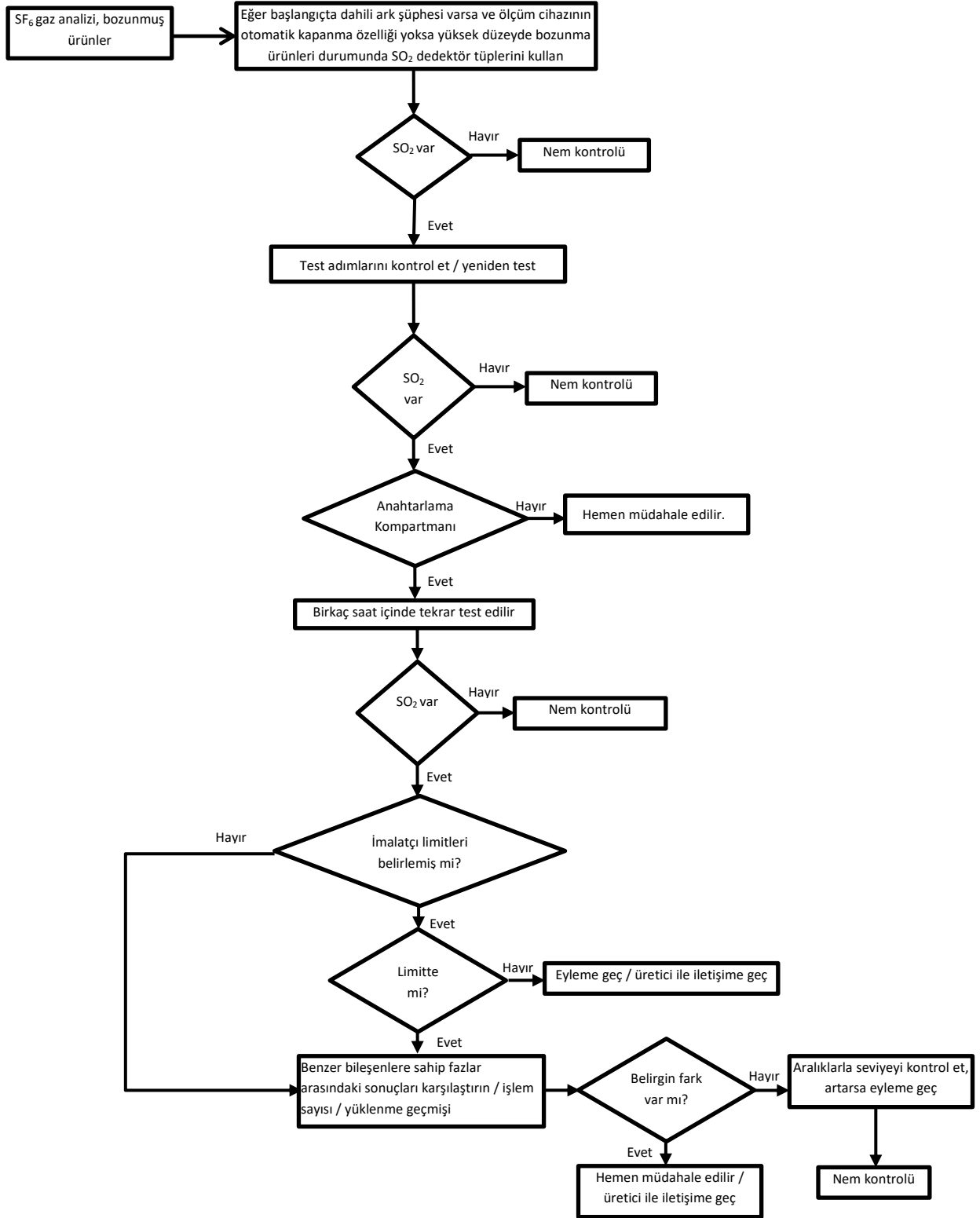
7. GAZ KALİTESİ

7.1 ANORMAL KOŞULLARIN BELİRLENMESİ VE ANALİZİ

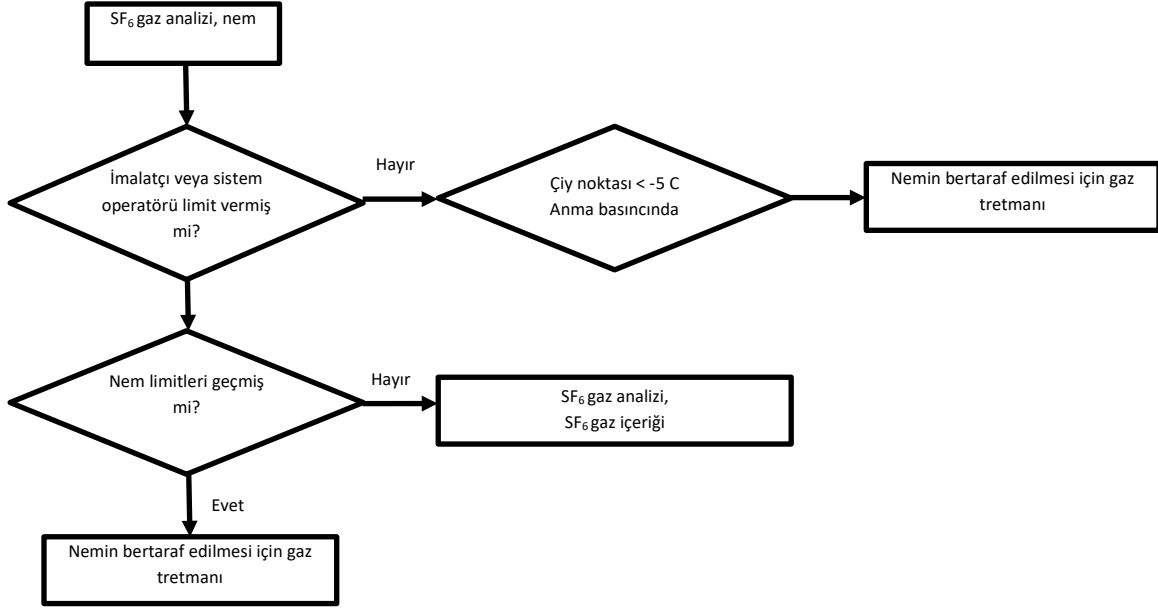
Gaz analizinin sonuçlarını değerlendirirken, ekipmanın fonksiyonunun farkında olmak ve kesme/anahtarlama fonksiyonu olan ve olmayan gaz bölmelerini ayırt etmek önemlidir.

Aşağıdaki akış diyagramı SF₆ ayrışma ürünleri analizi, nem ölçümü ve yüzde SF₆ içeriği aşamalarını belirtmektedir. Bazı kompartmanlarda yüksek seviyede ayrışma ürünleri bulunabileceği değerlendirilerek dikkatsizlik nedeniyle cihazlara hasar vermemek için akış diyagramının takip edilmesi önerilmektedir. Çoklu ölçü cihazları kullanıldığında, bütün parametreler aynı anda açık olarak ölçülmektedir.

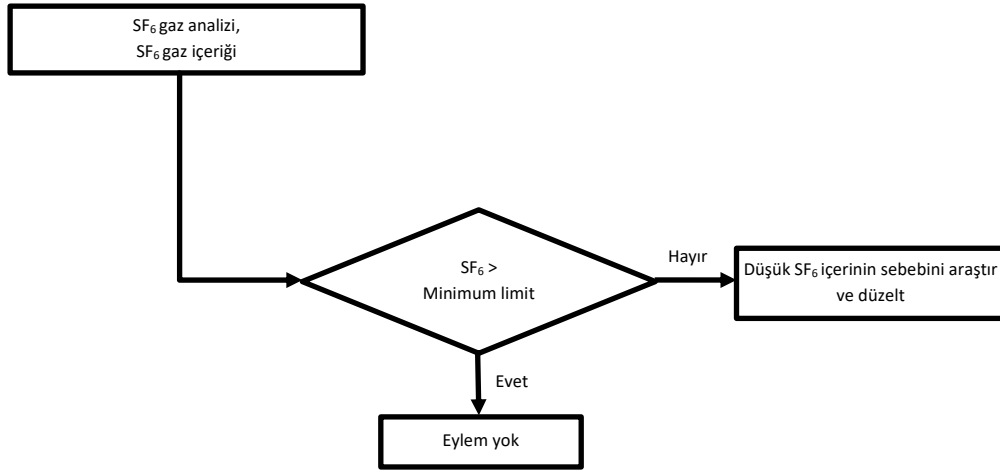
Aşağıdaki akış diyagramı analiz ve karar verme süreci için görsel bir izlenim vermektedir.



Şekil 2 - SF₆ gaz analizinde ayrışma ürünlerini belirlemede karar verme süreci



Şekil 3 - SF₆ gaz analizinde nem içeriğini belirlemek için karar verme süreci



Şekil 4 - SF₆ içerik analizi için karar verme süreci

Not: İzin verilen nem değeri farklı birimlerle ifade edilebilir. Birimler arasında nasıl dönüşüm yapılacağı Ek F.'te belirtilmiştir.

7.1.1 Anahtarlama Ekipmanı İçermeyen Gaz Bölmeleri

Yük anahtarlama elemanı bulunmayan bölmelerde, baralar, harici buşingler, ayırıcılar ve diğer toprak ayırıcıları, ölçü transformatörleri gibi, filtre bulunup bulunmadığından bağımsız olarak ayrışma ürünlerinin herhangi bir seviyede bulunması halinde endişe edilmelidir. Herhangi bir ölçüm değeri ayrışma ürünlerinin kaynağının belirlenmesi için daha fazla araştırma yapılmasına sebep olur.

7.1.2 Anahtarlama Ekipmanı İçeren Gaz Bölmeleri

Anahtarlama elemanı içeren bölümlerde, karar verme süreci, normalde anahtarlama işleminin

olmadığı bölmelere göre daha karmaşıktır. Ölçülen SF₆ değeri değerlendirilirken herhangi bir sonuç elde etmeden önce aşağıdaki hususların göz önüne alınması gereklidir:

- a) Gaz bölmesi içindeki emici maddenin varlığı ve cinsi: Emici malzeme sadece su çekiyorsa, dengeli SF₆ ayrışma ürünleri kalır ve gaz bölmesinde birikir.
- b) Anahtarlanan akım sayısı ve genişliği (örneğin normal anahtarlama operasyonlarındaki akımlar, arıza giderme, ayırıcı bara transfer akımı): Eğer tek faz otomatik kapama fonksiyonu varsa, kesici fazlarının geçmişi farklı olabilir.
- c) Anormal herhangi bir işletme durumu (örneğin asenkron anahtarlama ve anma parametrelerini aşan gerilimler).
- d) Ekipmanın ayrı fazları veya benzer ekipmanlar arasında, ayrışma ürünlerinin seviyelerinde farklılık olup olmadığı, üç fazlı ekipman, ya da enterkonnekte gaz bölümleri olması durumunda, fazlar arasında karşılaştırma yapmak mümkün değildir.
- e) Son anahtarlama işlemi ve analiz ya da gaz örnekleme arasındaki zaman farkı esnasında, SF₆ bozunma ürünlerini absorbe edebilen emicilerle doldurulmuş bölmelerde zamanla ayrışma ürünlerinin miktarı azalır. Eğer seviye düşmezse, bu, iç kısmi deşarj aktivitesinin (PD), aşırı ısınma problemlerinin veya emici maddenin fonksiyonlarının durduğunu veya doğru çalışmadığını işaret eder.
- f) PD ölçümleri, ana kontak statik direnç ölçümleri, kesici kontakları dinamik direnç ölçümleri, kesici yeniden tutuşma izlemesi gibi diğer tanı ölçüm sonuçları.

Değerlendirme bir süreç olduğundan dolayı, SF₆ ayrışma ürünleri için, tehlike durumu veya endişe uyandırması için mutlak bir sınır değer belirlemek mümkün değildir. Örnek olarak kesicilerin tip testleri sırasında, kesicinin performansını negatif olarak etkilemeyecek şekilde, büyük miktarda ayrışma ürünleri üretilir. Ancak, servis sırasında, haftalardır çalışmayan bir kesicinin içinde ya da diğer fazlar hariç bir fazda ayrışma ürünleri bulunabilir, bu durum endişe veren bir durumdur ve fazlaca araştırma gerektirir. Şüpheli bulunan herhangi bir durum için üretici firmayla iletişime geçilmesi önerilir.

8. OPERATÖRLERİN GAZ ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

8.1 KAMU KURULUŞLARI ANKETİ

Birkaç kamu kuruluşu, farklı türlerdeki ekipmanlardaki SF₆ gazının analizi ve gaz örnekleme konularındaki uygulamalarını değerlendirmek adına anketten geçirilmiştir. Aşağıdaki tablo sonuçları özetlemektedir. Sonuçların tablolaştırılmasını kolaylaştırmak için bazı detaylar kaldırılmıştır. Tablodaki bütün çiy noktası referanslarının, çiy noktası, donma noktası, ppm_v ve ppm_w değerlerini de içeren bütün nem ölçüm türlerini kapsaması amaçlanmıştır.

| | Devreye alma | Aylık / Devam eden | 1 yıl | 4/6 Yıl | 8/10 Yıl | 20 Yıl | 24/25 Yıl | İhtiyaca bağlı |
|----------------------------------|---|---------------------------------|--|--|---|--|---|---|
| Şirket 1 (GIS/MTS) | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | Gaz yoğunluk değerlerinin kaydı | Çiy noktası ölçümü (harici GIS) Gaz kaçağı tespit formu (kaçak şüphesi varsa) | | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | Kesicilerde / kesici kompartmanlarında filtre değişimi | Major bakım kapsamında SF ₆ gaz analizi | Özel / arıza inceleme |
| Şirket 2 (GIS/MTS) | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | Özel / arıza inceleme |
| Şirket 3 (GIS/MTS) | | Gaz yoğunluk değerlerinin kaydı | SF ₆ basınç/yoğunluk değerlerinin kaydı | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri (harici GIS) | Yoğunluk ölçerlerin testi % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | İstasyon durumunun incelenmesi kapsamında SF ₆ gaz analizi | |
| Şirket 4 (GIS/MTS/CB) | | | | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | | Kısa devre sonrası ayrışma ürünleri ölçümü |
| Şirket 5 (GIS/MTS/CB) | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | | 2-3 kısa devre sonrası % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünleri ölçümü |
| Şirket 5 (CT/VT) | % SF ₆ , çiy noktası ve SO ₂ / HF ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | 2-3 kısa devre sonrası % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünleri ölçümü |

| | Devreye alma | Aylık / Devam eden | 1 yıl | 4/6 Yıl | 8/10 Yıl | 20 Yıl | 24/25 Yıl | İhtiyaca bağlı |
|--------------------------------|--|--------------------|-------|--|---|--|--|-----------------------|
| Şirket 6 (GIS/MTS) | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | |
| Şirket 6 (CB/CT/VT) | % SF ₆ ve çiy noktası ölçümleri | | | | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | Özel / arıza inceleme |
| Şirket 7 (GIS) | % SF ₆ ve çiy noktası ölçümleri | | | Çiy noktası ölçümü | | | | Özel / arıza inceleme |
| Şirket 7 (CB) | % SF ₆ ve çiy noktası ölçümleri | | | | | | | Özel / arıza inceleme |
| Şirket 8 (CB) | | | | | % SF ₆ ölçümleri | | | |
| Şirket 8 (GIS) | | | | | Tüp ve taşınabilir analizörlerle % SF ₆ , çiy noktası ve ayrışma ürünlerinin ölçümleri | | | |

Tablo 5 - SF₆ gaz numunesi ile ilgili uygulamaların karşılaştırılması

Not: 4/6 ve 8/10 yıllık zaman aralıkları - en kısa zaman aralığı kritik kurulumlar için geçerlidir.

9. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

9.1 YÜKSEK GERİLİM EKİPMANLARININ GÜVENİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

9.1.1 Uluslararası Anketler

CIGRE yüksek gerilim ekipmanları güvenilirliği konusunda üyeleri arasında periyodik olarak uluslararası anketler düzenlemektedir. Bu anketler ekipman performansı, hata oranları ve çeşitleri, bakım politikaları ve ekipmana uygulanan prosedürleri inceler. Sonuçlar harmanlanır ve daha sonra geniş elektrik endüstrisi ile paylaşılır.

En son anket 2003 yılında başlatılmıştır ve 2004-2007 yılları arasında kapsamıştır. Anket için gerekli olan veriler 30 ülkedeki 80 kamu kuruluşundan toplanmıştır ve sonuçlar CIGRE broşürlerinde mevcuttur [15]. Anket, bu başlıkla da ilgili olan, gaz izoleli şalt için özel sorular içermektedir.

9.1.2 SF₆ Teşhisi

Anket GIS tanı testiyle ilgili sorular içermektedir, şöyle ki:

- Var olan GIS'leriniz için tanı testleri yapıyor musunuz? Eğer yapıyorsanız, hangilerini yapıyorsunuz?
- İleride kurulacak olan GIS'leriniz için tanı testleri belirlediniz mi? Belirlediyseniz, hangilerini belirlediniz?
- Sizce tanı testleri, dahili arızalardan kaçınılmasında etkili olmuş mudur?
- Hangi sıklıkla SF₆ gaz kalitesi kontrolü yaparsınız (nem, ayrışma ürünleri, %SF₆ içeriği)? ≤5 yıl, >5 ve ≤10 yıl, >10 yıl?

Altı belirlenmiş gerilim kademesi için a), b) ve c) şıklarının sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

| Voltaj sınıfı | Mevcut GIS'ler için analizleri belirliyor musunuz? | Gelecek GIS'ler için analizleri belirliyor musunuz?? | Analizlerin uygulanması dahili bir arızadan kaçınıyor mu? | |
|---------------|--|--|---|-------|
| | % (Tüm yanıtlarda evet oranı) | % (Tüm yanıtlarda evet oranı) | Evet yüzdesi tanı uygulamalarını destekliyor mu? | |
| 1 | 60 ≤ U < 100 kV | 100,0 | 66,7 | 26,7 |
| 2 | 100 ≤ U < 200 kV | 75,0 | 60,0 | 30,0 |
| 3 | 200 ≤ U < 300 kV | 87,5 | 62,5 | 12,5 |
| 4 | 300 ≤ U < 500 kV | 100,0 | 58,8 | 47,1 |
| 5 | 500 ≤ U < 700 kV | 100,0 | 72,7 | 27,3 |
| 6 | ≥ 700 kV | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| | Toplam | 91,3 | 63,8 | 30,0 |

Tablo 6 - Testlerin uygulanması - voltaj sınıflarındaki yanıt sayısı (% olarak, sadece pozitif cevaplar)

a) ve b) şıklarında ankete katılanlara, şu an uyguladıkları veya daha sonra uygulayacakları test çalışmalarını belirlemek için sorular soruldu. Şu testler tespit edildi: PD (özellikle sesle ilgili), primer direnç, zaman ölçümleri, kontak hareketi eğrisi, hız ve tahrik mekanizması (minimum besleme gerilimi ve minimum SF₆ basıncında), ayırıcı ve kesicilerin karakteristikleri, SF₆ gaz kalitesi (nem, SF₆ içeriği, ayrışma ürünleri içeriği ve yoğunluk), termal görüntü taraması (IR) ve muhafazanın X-ışını kontrolü. Şu an yapılan testlerle gelecekte yapılması planlanan testler arasında bir fark olmadığı görüldü.

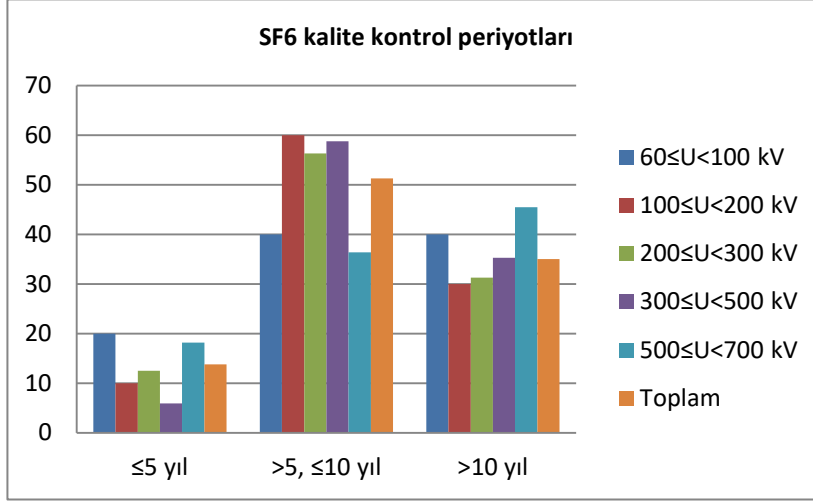
c) şıkkındaki soruya karşılık, ankete katılanların 30%'u (Sınıf 6 toplam kurulu GIS popülasyonununun 1%'ini temsil ettiği için hariç tutulmuştur) tanı testlerinin büyük hataları önlediğini belirtmiştir.

d) şıkkındaki soruda SF₆ kalitesi kontrolleri arasındaki zaman sorulmuştur. (nem, ayrışma ürünleri, % olarak SF₆ içeriği). Soruda üç seçenek verilmiştir: ≤5 yıl , >5 ve ≤10 yıl, >10 yıl. Cevaplar Tablo 7'de verilmiştir.

| Voltaj Sınıfları | | SF ₆ kalitesi kontrol periyotları (% olarak) | | |
|------------------|--------------|---|--------------|---------|
| | | ≤5 yıl | >5 - ≤10 yıl | >10 yıl |
| 1 | 60≤U<100 kV | 20,0 | 40,0 | 40,0 |
| 2 | 100≤U<200 kV | 10,0 | 60,0 | 30,0 |
| 3 | 200≤U<300 kV | 12,5 | 56,3 | 31,3 |
| 4 | 300≤U<500 kV | 5,9 | 58,8 | 35,3 |
| 5 | 500≤U<700 kV | 18,2 | 36,4 | 45,5 |
| 6 | ≥700 kV | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| Toplam | | 13,8 | 51,3 | 35,0 |

Tablo 7 - SF₆ kalitesi kontrol periyotları – gerilim sınıflarına göre cevaplar

Aynı bilgiler grafiksel olarak aşağıda verilmiştir.



Tablo 8 - SF₆ Kalite Ölçümleri

Sınıf 5 kamu kuruluşlarının çoğu SF₆ kalite kontrollerini 5 ile 10 yıl aralığında yapmaktadır. (Toplamda 50%). Katılımcıların 14%'ü bu işlemi daha sık yapmaktadır. 35%'lik kısım 10 yıl veya daha fazla aralıklarla bu işlemi gerçekleştirmektedir. Sınıf 5'te en sık aralık en uzun olan aralık olarak tespit edilmiştir (cevapların 45%'i).

9.1.3 GIS Hata Oranları

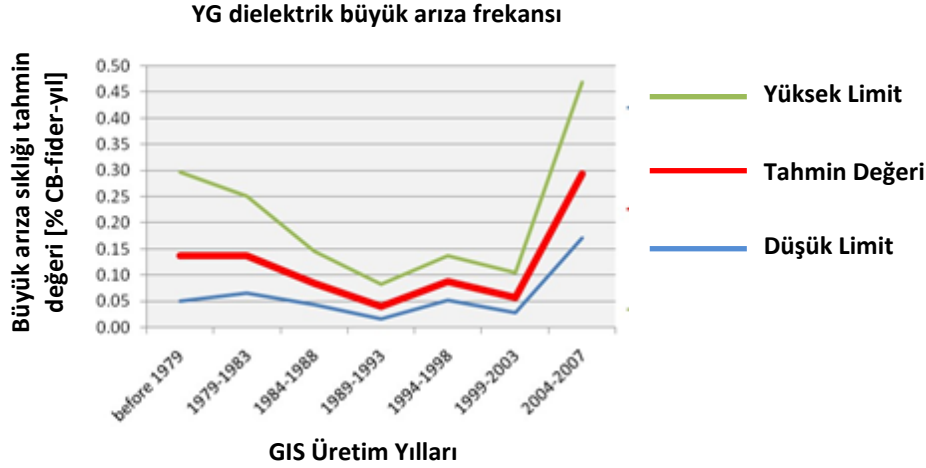
Bilgilerin bazıları dielektrik arıza ve arıza oranları ile ilgilidir. Anket dielektrik arıza ile ekipman yaşını ilişkilendirmek için yapılmıştır. Aşağıdaki tablo üretim yılları ile, GIS fiderlerindeki⁽¹⁾ için büyük arızaların⁽²⁾ sayısını göstermektedir.

1 - Bir kesici fideri bir devre kesici veya anahtarın, ayırıcılar, ölçü trafoları, hat ayırıcısı ve harici hat bağlantı ekipmanlarına (varsa) bağlı ana bara ve ana bara bölümüne (varsa) bağlı üç fazlı bir birleşimdir.

2- Büyük bir arıza, ekipmanın temel işlevlerinden birinin veya daha fazlasının durdurulmasına neden olan bir arızadır. Ekipmanın hemen veya 30 dakika içinde hemen servisten çıkarılması veya sökülmesini içerecektir

| Üretim Tarihi | Toplanan GIS servis tecrübesi [CB-fider-yıl] | Toplanan YG dielektrik büyük arıza sıklığı | Büyük arıza sıklığı tahmin değeri [% CB-fider-yıl] |
|---------------|--|--|--|
| 1979 öncesi | 4391 | 6 | 0,14 |
| 1979-1983 | 7314 | 10 | 0,14 |
| 1984-1988 | 14407 | 12 | 0,08 |
| 1989-1993 | 17610 | 7 | 0,04 |
| 1994-1998 | 21778 | 19 | 0,09 |
| 1999-2003 | 17644 | 10 | 0,06 |
| 2004-2007 | 5804 | 17 | 0,29 |
| Toplam | 88948 | 81 | 0,09 |

Tablo 9 - GIS YG kısımlarda dielektrik major arıza verisi



Tablo 10 - Üretim yılına göre GIS YG dielektrik büyük arıza frekansı (% 95 doğruluk oranı)

Veri ve grafik, başlangıç ve ömrün bitiş zamanlarında yüksek hata oranları ile küvet eğrisi şeklini gösterir. Bu bize test aralıklarının 3-5 yıl olması gerektiğini belirtir, ancak ömrün ortasında 8-10 yıla çıkarılabilir.

9.2 ÖZEL DURUM ÇALIŞMALARI

Bölüm 9.1 uluslararası bir ankette toplanan genel bilgileri verir. Ancak bu bölüm, arıza sonrası analizi ya da rutin testlerin bir parçası olarak kullanılan SF₆ analizlerini de incelemektedir. Aşağıdaki örnekler Çalışma Grubu üyeleri tarafından temin edilmiştir.

Ancak, küresel seviyede, SF₆ analizi sonuçlarının büyük bir kısmı hiçbir anormallik belirlemez. Anormallik tespit edilen yerlerde bu durum genellikle muhafazadaki nem probleminden kaynaklanır.

9.2.1 Arıza Sonrası Gaz Analizi

9.2.1.1 420 kV GIS Ayırıcı Bölmesi Arızası

SF₆ gaz analizi ark oluşuktan sonra arkın olduğu bölgeyi tespit etmek için kullanılmıştır. Çeşitli bölmelerde gaz örnekleme için dedektör tüpler kullanılmıştır. Hızlı bir şekilde arızanın ayırıcı bölümü içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Bölmedeki gaz tüpün renginin 2 - 3 saniye içinde değişmesine neden olmuştur. Daha sonraki çalışmalar arızanın destek izolatöründeki bir arızadan kaynaklandığını tespit etmiştir.

Gaz analizinin kullanımı arızalı bölgenin hızlıca bulunmasını ve onarım çalışmalarının hemen başlatılabilmesini sağlamıştır.

9.2.1.2 420 kV GIS Kesici Arızası

420 kV'luk bir kesici tek faz tekrar kapama ve üç faz kilitlemeye maruz kalmıştır. Daha sonra kesici manuel olarak tekrar kapatılmıştır ancak tekrar ani olarak açmıştır. Koruma, iç arıza

olduğunu belirlemiştir. Hat kontrolü herhangi bir problem belirleyemediğinden, arızanın GIS içerisinde olup olmadığına karar vermek için SF₆ gaz analizi işleme alınmıştır.

Analiz, arızanın kesici bölmesi içerisinde olduğunu belirlemiştir ancak ortak bir gaz sistemi olduğundan dolayı arızanın hangi fazda olduğu direk olarak belirlenememiştir. Koruma kayıtları kullanılarak, trip ve tekrar kapama yapan faz belirlenmiştir ve açılmıştır. Bölmenin sökülmesi üzerine, çeşitli parçalara önemli derecede hasar veren iç arkın izleri bulunmuştur. Arızanın kaynağı kötü monte edilen filtre muhafazası olarak tespit edilmiştir.

9.2.1.3 SF₆ ile doldurulmuş ÇYG Gerilim Transformatorü

Havai hattın görsel olarak incelenmesi toprak arızasının bölgesini tespit etmede başarısız olmuştur. Daha sonra ölçü transformatorlerine SF₆ gaz analizi uygulanmıştır ve iki gerilim transformatoründe yüksek derecede ayrışma ürünlerinin olduğu tespit edilmiştir; A fazı: 0 ppm_v, B fazı: 15 ppm_v ve C fazı: > 300ppm_v. İkinci olarak iki gerilim transformatorü açılmıştır ve B fazında kısmi deşarj işaretleri belirgin olarak görülmüştür, ayrıca C fazında da iç deşarj gerçekleştiği açık bir şekilde belirlenmiştir. Problemin doğal kaynağı olarak izole ara tutucunun üretiminde bir problem olduğu tespit edilmiştir.

9.2.2 Rutin Gaz Analizi

9.2.2.1 SF₆ ile doldurulmuş ÇYG Akım Transformatorü

SF₆ ile doldurulmuş akım transformatorünün gaz analizi rutin bakım faaliyetinin bir parçası olarak yapılmıştır. Bir fazın analizinde 200 ppm_v (Dedektör tüplerinin aralığı 0-200 ppm_v) miktarından daha fazla SF₆ bozunma ürünü tespit edilmiştir, diğer iki fazın sonuçlarında bu maddeler gözlenmemiştir. Akım transformatorünün açılması üzerine, içerisinde büyük miktarda metal tozları ile birlikte deşarj aktivitesi kanıtları bulunmuştur. Sorunun kaynağı inandırıcı olmamakla birlikte, parçalar arasındaki bağlantıların kötü yapılmış olduğunu göstermektedir. Akım transformatorü değiştirilmiştir. Gaz analizi problemi tespit ederek parçanın servisten kontrollü bir şekilde çıkarılmasını sağlamıştır.

9.2.2.2 ÇYG Kesici

Rutin gaz analizi sırasında, ÇYG kesicinin bir kutbunun diğerlerine göre daha fazla ayrışma ürünü, (40'a karşı 150 ppm_v) bulunmuştur. Kutbun açılması üzerine, ark kontaklarındaki erozyonla birlikte PTFE uçlar ve ark kontaklarındaki ark izleri görülmüştür. Üretici firmayla durum tartışıldıktan sonra, aşınmanın normal bir seviyede olduğu ve iyileştirici işlemlerin gerekli olmadığı sonucuna varılmıştır. Detaylı araştırmalar bu kutbun, tek faz tekrar kapama düzeninin bir parçası olarak diğerlerine göre daha sık işlem gördüğü tespit edilmiştir.

Bu örnekte ayrışma ürünleri normal anahtarlama davranışı sonucu açığa çıktığı için gaz analizi ekipmanın durumunu değerlendirmede faydalı olmamıştır.

9.2.3 Saha Deneyleri

Bu broşürün arka plan çalışmasının bir parçası dört çoklu analizörle yapılmış saha deneylerini içermektedir. Bu deneyler kapsamlı olmaktan çok uzak olsa da, mevcut olan elemanlar ve bunların pratik kullanımları hakkında bazı detaylar vermiştir. Bunların hepsi, SF₆ içeriği, nem ve bir ya da iki ayrışma ürününü ölçmüşlerdir.

Bu elemanlarla 50 civarında gaz bölmesi analiz edilmiştir. Bütün durumlarda SF₆ içeriği 97% ya da daha fazla çıkmış, az sayıda bölmede de yüksek seviyede nem bulunmuştur. (donma noktası -8 ile -12 °C arasında). Bu kısıtlı örnekleme kayda değer bir ayrışma ürünü miktarına rastlanmamıştır.

Ek olarak, iki bölmenin örnekleri iki ayrı laboratuvara gönderilmiştir. Biri FT-IR spektroskopi yöntemini kullanırken, ikincisi gaz kromatografisi yöntemini kullanmıştır. Bu laboratuvar testleri çoklu analizörler ile yerinde elde edilen sonuçları doğrulamıştır.

10. SONUÇLAR

Bu broşürün hazırlanma motivasyonu dünya elektrik ağında artan SF₆ izole ekipmanların durumunu değerlendirme isteği ile birlikte, operatörler arasında agresif şekilde ilerleyen test ve inceleme ihtiyacını azaltmaktır. İkincil olarak, SF₆ gazının atmosfere salım potansiyelinin yanı sıra bakım maliyetlerini de düşürecektir. Ekipmanlar son derece güvenilir olmasına rağmen bazen gaz yalıtımının bozulması ya da bileşenlerin hatalı işletilmesi durumları oluşabilir. Bu durumlardan önce gaz kompartmanında kısmi deşarj ve delinmeler gibi bazı elektriksel aktiviteler oluşabilir. Bu elektriksel aktiviteler, gaz analiziyle varlığı tespit edilebilen ve bunun sonucuyla aktivite tipi ve yoğunluğu hakkında bilgi edinilebilen SF₆ ayrışma ürünlerinin oluşumuyla sonuçlanır. Bu bilgiler dikkate alındığında, arklanma olasılığı ve alınabilecek uygun önlemler için değerlendirme yapılabilir. Bu sebeple SF₆ gaz analizi ekipmanının durumunu değerlendirmede personele faydalı bir seçenektir.

Broşürün öncelikli hedefi, personele gaz analizi kullanımında faydalı olması için rehberlik yapmaktır, ya da daha açık konuşmak gerekirse, gaz analizi sonuçlarının yüksek gerilim ekipmanının durumunu değerlendirirken nasıl yorumlanacağı hakkında bilgi vermektir. Bu değerlendirme, SF₆ içeriği ve nemi izleme konusundaki köklü uygulamalara bir katkı niteliğindedir. Bir başka amacı ise, ayrışma ürünlerinin göreceli miktarlarını karşılaştırarak, bir gaz bölmesinde meydana gelen veya meydana getiren elektriksel aktivitenin türünü tanımlamaktır. Son amaç ise, bölmenin dielektrik dayanımını azaltmadan ayrışma ürünlerinin tolere edilebilecek mutlak sınır değerlerini belirlemektir. Bu amaçlar, sahada pratik olarak yapılabilecekler ışığında, özel ve sınırlı durumlar için daha detaylı laboratuvar analizi seçeneğiyle çerçevelendirilmiştir.

Yağlı transformatörlerin durum değerlendirmesinde kullanılan bir unsur olan çözünmüş gaz analizi (DGA) ile bir analogi yapılabilir. SF₆ analizi ile eşdeğer bir süreç veya sistem geliştirilmesi önemli bir başarı olur ve uzun dönem hedefi olarak görülmelidir.

SF₆ içindeki çeşitli elektriksel deşarjlar sonucu meydana gelen bozunma ürünleri, daha çok laboratuvar bazlı araştırma konusu olmuştur. Bu incelemeler küçük hacimli gaz, tekrarlanabilir elektriksel aktivite kaynağı ve kromatografi, kızılötesi spektroskopi veya kütle spektrometresi ile gaz analiz sistemiyle direkt bağlantısı bulunan sıkı kontrol edilen ortamlarda ele alınmıştır. Bu araştırmalarla, bu koşullar altında, farklı elektrik deşarj türlerinden kaynaklanan bozunma ürünlerini ve oranlarını belirlemek mümkündür. Bununla birlikte SF₆ ayrışma ürünlerinin oluşum hızlarının; deşarj tipi, açığa çıkan enerji, gaz basıncı, elektrot malzemesi, nem ve oksijen gibi kirleticilerin varlığı, absorbe edicilerin varlığı, olay ve analiz arasındaki zaman ve analiz için kullanılan numune alma tekniği gibi birçok parametreye bağlı olduğunu tespit etmiştir. Bu da ekipmanının durumunu değerlendirmek için SF₆ analizinin kullanılmasıyla ilgili zorlukları vurgulamaktadır.

Bu makale çeşitli zorlukları vurgulayarak SF₆ ayrışma analizinin karmaşıklığını doğrulamıştır. Bozunma ürünlerinin izin verilen sınır değerlerini belirlemek hem kolay hem zordur.

- a) Anahtarlama yapmayan bölümler için çok basittir, hangi seviyede olursa olsun bozunma ürünlerinin bulunması şüpheli bir durumdur ve acil müdahale gerektirir.
- b) Anahtarlama yapan bölmelerde bu konu daha karmaşıktır. Bozunma ürünlerinin yüksek seviyeleri, cihazın performansını negatif olarak etkilemeden tolere edilebilse de, bozunma ürünlerinin kaynağının bulunması önemlidir. Anahtarlama işlemleri sonucunda açığa çıkıyorlarsa bu, şüphe duyulacak bir durum değildir, ancak, eğer bunlar kısmi deşarj veya delinmeler sonucu oluşuyorsa bu durum şüphelidir. Sonuç olarak, uygun müdahaleye karar vermeden önce, ileri araştırmalar yapmak gerekli olacaktır. Bölüm 7' deki akış diyagramı bu konuda rehberlik etmektedir.

Bu incelemenin önemli sonuçlarından biri, gazın kritik parametrelerinin ölçülebilmesi kullanımı kolay olan taşınabilir çoklu-analiz cihazlarının bulunmasıdır. En önemlisi ise ekipmanın doğru çalışması için önemli olan, SF₆ içeriğidir. Yoğunlaşmayı önlemek ve ayrışma ürünlerinin oluşumunu sınırlamak önem taşıdığı için ikinci sırada nem bulunur ve nihayetinde bozunma ürünlerinin değerlendirilmesi bir teşhis aracı olarak kullanılabilir.

11. KAYNAKLAR

- [1] IEC 60376, "Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment", 2nd Edition 2005.
- [2] IEC 60480, "Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use", 2nd Edition 2004.
- [3] CIGRE Brochure 234, "SF₆ Recycling Guide, Re-use of SF₆ Gas in Electrical Power Equipment and Final Disposal Revision 2003".
- [4] IEC 62271-303, "High-voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆)" Technical Report Ed. 1.0, 2008.
- [5] F. Y. Chu, "SF₆ decomposition in gas-insulated equipment", IEEE Trans. On Electrical Insulation, Vol.21, 1986.
- [6] M. Piemontesi, "Basic studies on SF₆ decomposition", dissertation ETH Zürich no. 12786, 1998.
- [7] B. Belmadani, J. Casanovas, A.M. Casanovas, R. Grob, J. Mathieu, "SF₆ decomposition under power arcs - Physical Aspects", IEEE Trans. On Electrical Insulation Vol 26, No. 6, pp 1163-1176 (1991).
- [8] I.Wylie, Ed Hall, "SF₆ gas analysis as a diagnostic technique for Teflon nozzle wear in circuit-breakers", Powertech Labs Inc. project report No. 15430-43-00, (2009).
- [9] R. J. Bruns, I. Sauer, "Gas-phase hydrolysis of SOF₂ and SOF₄", J. Chem. Phys. Vol. 85, pp. 4377 – 4380, 1986.
- [10] J. Tang, F. Liu, X. Zhang, Q. Meng, J. Zhou, "Partial discharge recognition through an analysis of SF₆ decomposition products part 1", IEEE Trans. On Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 19, no.1, pp. 29 – 36, 2012.
- [11] IEC 62271-101, "High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing", 2nd Edition 2012.
- [12] C. Boudéne, J-L. Cluet, G. Keib and G. Wind, "Identification and study of some properties of compounds resulting from the decomposition of SF₆ under the effect of electrical arcing in circuit-breakers", Revue Générale de l'Electricité, Special Issue, June 1974.
- [13] B. Belmadani, J. Casanovas, A.M. Casanovas, R. Grob, J. Mathieu, "SF₆ decomposition under power arcs - Chemical Aspects", IEEE Trans. On Electrical Insulation Vol 26, No. 6, pp. 1163-1176 (1991).
- [14] A. Derdouri, J. Casanovas, R. Grob and J. Mathieu, "Spark Decomposition of SF₆/H₂O Mixtures", IEEE Trans. On Electrical Insulation Vol 24, No. 6, pp. 1147- 1157, December 1989.
- [15] CIGRE Brochures 509 – 514, "Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment, Parts 1 – 6", 2012.
- [16] H.M. Heise, R. Kurte, P. Fischer, D. Klockow, "Gas analysis by infrared spectroscopy as a tool for electrical fault diagnostics in SF₆ insulated equipment", Fresenius Journal of Analytical Chemistry (1997) Volume 358, No 7: pages 793 – 799.

EKLER

A. SF₆ DOLDURULMUŞ EKİPMAN TEDARİK EDİLİRKEN ARANAN BİLGİLER

SF₆ doldurulmuş ekipman tedarik edilirken, işletme basıncı, minimum SF₆ içeriği, beklenen kaçak oranları ve alarm seviyeleri hakkında bilgi edinmek normaldir. Ancak servisteki gazın performansını daha iyi anlayabilmek için ek bilgiler edinmek uygundur.

| Parametre | Değer |
|---|---|
| Servisteyken maksimum izin verilen SF ₆ nemi (SF ₆ anma basıncında) | < °C donma noktası (sıcaklık belirtilecek) |
| Emici bulunuyor mu?, bulunuyorsa çeşidi | |
| Servisteyken maksimum izin verilen SF ₆ ayrışma ürünleri | SF ₆ ayrışma ürünleri < ppm _v |

B. ARAÇLAR VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ

B.1. GİRİŞ

Aşağıdaki bölümler SF₆, nem ve ayrışma ürünleri için mevcut olan ölçüm teknikleri hakkında bazı detaylar vermektedir. Daha fazla detay IEC 60480 [2] ve the CIGRE Broşür 234, SF₆ Geri dönüşüm Rehberi'nde bulunmaktadır [3].

Aşağıdaki tablo, farklı ölçüm/analiz yöntemlerini, ölçülebilen parametreleri, karmaşıklığı, gaz maddelerin analizi için gerekli olan doğruluk ve zamanı listeler.

| Ölçü Analizi/Yöntemi | Parametreler | Ölçümün Karmaşıklığı | Doğruluk | Gerekli Zaman |
|---|---|----------------------|---|---------------|
| Ses hızı ölçümü | Yüzde SF ₆ | Basit | Yüksek | 2-5 dakika |
| Yoğuşma Prensibi | Yüzde SF ₆ | Basit | Yüksek | 2-5 dakika |
| Termal iletkenlik dedektörü | Yüzde SF ₆ | Basit | Düşük | 2-5 dakika |
| Soğutulmuş Ayna | Nem | Basit | Yüksek | 10-15 dakika |
| Higroskopik polimer sensör | Nem | Basit | Orta | 5-10 dakika |
| Alüminyum oksit sensörü | Nem | Basit | Orta | 5-10 dakika |
| Dedektör tüpler | Yağ buharı Asidik bileşikler (SO ₂ , HF) | Basit | Düşük | 3 dakika |
| Elektrokimyasal Hücre | SO ₂ , HF | Basit | Orta | 2-5 dakika |
| Farklı dedektör (TCD, FID, ECD) laboratuvarlarında gaz kromatografisi | SF ₆ , O ₂ , N ₂ , CF ₄ , CO ₂ , COS, SO ₂ F ₂ , SOF ₂ , SO ₂ , | Yüksek | Yüksek (ppm _v düzeyinde) | 30 -60 dakika |
| Kızılötesi spektroskopi laboratuvarı | SF ₆ , H ₂ O, SO ₂ , HF, COS, SF ₄ , SO ₂ F ₂ , SOF ₂ , S ₂ F ₁₀ , SOF ₄ , SiF ₄ , CF ₄ , CO, CO ₂ | Yüksek | Yüksek (ppm _v den yüzde aralığına kadar) | 4 dakika |

Tablo 11 - Ölçüm ve analiz yöntemlerinin listesi

Aşağıdaki bölümler, bu broşürde yer alan deneylerde kullanılan yerinde ve laboratuvarında ölçüm teknikleri hakkında bilgi sağlamaktadır.

B.2. SF₆ İÇERİĞİ ÖLÇÜMÜ

Farklı ölçüm prensipleri vardır. Ses hızının ölçümü ve ölçüm ortamındaki termal iletkenlik alışıl gelmişlerdendir. Ancak son zamanlarda yoğuşma noktası ölçümü ile çalışan cihazlar bulunmaktadır.

B.2.1. Ses Hızı

Bu ölçüm prensibi, gazın farklı ses hızlarının ölçümlerinin değerlendirilmesiyle çalışır. Azottaki ses hızı normalde 337 m/s ve SF₆ için 130 m/s civarındadır. Ölçüm hücresinde ölçülen ses hızı sıcaklık kompozisyonludur ve karışımın sadece SF₆ ve azottan oluştuğu varsayılarak yüzde SF₆' ya dönüştürülür. Oksijendeki ses hızı, azot içindeki ses hızına benzer olduğu için sonuçlar SF₆/hava karışımı için geçerlidir. Bu tür cihazların doğruluğu +/-1 % SF₆ içeriğidir.

B.2.2. Yoğuşma Prensibi

SF₆ içerisindeki su buharını ölçmek için kullanılan, soğutulmuş ayna tarafından çalıştırılan aynı yoğuşma tekniği SF₆ gazının saflığını değerlendirmek için de kullanılabilir. Çünkü, belirli bir basınçta saf SF₆ gazının yoğuşma noktası SF₆ buhar basınç eğrisi üzerinde bilinen bir değerdir. %Hacim SF₆ , SF₆ kısmi basıncı ile ölçülen toplam basınç arasındaki farka dayalı olarak hesaplanabilir. Bu yöntem, direkt olarak bir gaz bölmesindeki gerçek SF₆ içeriğini tespit edebilen seçici bir ölçüm yöntemidir.

B.2.3. Termal İletkenlik Dedektörü

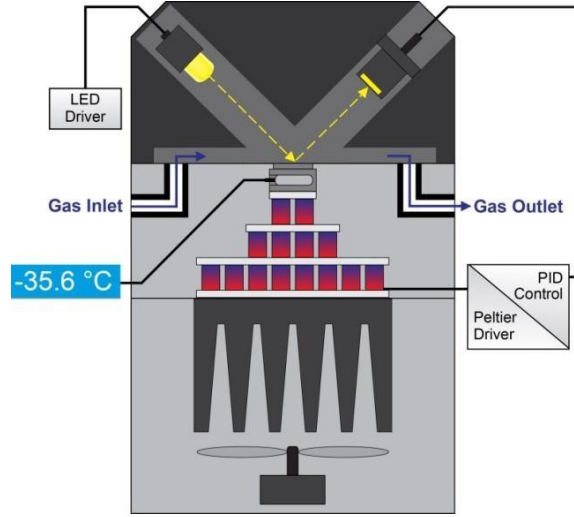
Termal iletkenlik dedektörleri (TCDs) sürekli olarak, ısıtılmalı filament yöntemini kullanarak SF₆ gazının termal iletkenliğini ölçmektedir. TCD'lerin doğruluğu ses hızına dayalı araçlarınkinden daha düşüktür.

B.3. NEM ÖLÇÜM CİHAZLARI

B.3.1. Soğutulmuş Ayna Teknolojisi

Soğutulmuş aynalı nem ölçerler aşağıdaki prensipleri kullanarak bir gazın çiy ya da donma noktasını ölçer. Işık, cilalı ayna yüzeyi üzerine ışıldar, termoelektrik ısı pompası tarafından kontrol edilen sıcaklık Peltier elementi olarak bilinir. Işığa duyarlı bir alıcı direkt yansımanın şiddetini ölçer. Ayna temiz ve duru olduğunda, yansıyan ışığın şiddeti en üst seviyededir. Bunun tersi şekilde, yüzeyinde su buharı yoğuşmuş olan soğuk bir ayna, ışığı saçar ve bu da ışığın direkt olarak yansımasını azaltır ve sinyal şiddetini azaltır. Bu alınan ışık sinyalini bir kapalı döngü kontrol sisteminde geri bildirim olarak kullanarak ayna, alınan ışığın yoğunluğu ile tespit edilen yoğunlaştırılmış katmanın kalınlığının sabit kaldığı sıcaklığa soğutulur. Yoğunlaşmada daha fazla net artış veya azalma olmaksızın, sabit kalınlığa sahip bir kondenser tabakası, ayna yüzeyinde akan gazla dinamik denge içindedir. Bu denge durumunda, gazın çiylenme veya donma noktası

sıcaklığı aynanın sıcaklığını ölçerek belirlenir. Ayna sıcaklığı, doymuş buhar basıncı fonksiyonları vasıtasıyla fiziksel olarak ilgili buhar basıncıyla bağlantılıdır.



Şekil 5 - Çiy Noktası Aynası

Kondensin sıvı halde olduğu biliniyorsa, hatta donma sıcaklığının altında ölçülen ayna sıcaklığı çiy noktası olarak alınır. Kondensin buz gibi katı bir formda olduğu biliniyorsa, ölçülen ayna sıcaklığı donma noktası olarak alınır. Bu uygulamadaki bir soğutulmuş aynanın ölçüm aralığı, SF₆'nın yoğunlaşma noktası olan ve 100 kPa'da yaklaşık -65 ° C'de sınırlandırılmıştır. Gazla doldurulan bir bölmedeki en düşük beklenen donma noktası genellikle 100 kPa'da -60 °C'nin üstündeki donma noktası yaklaşık 10 ppm_v'ye eşdeğer olduğu için bu bir problem oluşturmaz. Sistem basınçlarında ölçümler yapılırsa, SF₆ yoğunlaşma noktası daha yüksektir ve soğutulmuş bir ayna ile donma noktası sıcaklığının ölçülmesinde bir sınırlayıcı faktör haline gelebilir. Gelişmiş araçlar bu faktörleri dikkate alarak doğru endikasyonları sağlarlar. Yeni SF₆'yı doğrudan bir silindirden ölçerken, su içeriğinin bu sınırın altında olması muhtemeldir ve soğutulmuş aynanın ölçüm sonucu mutlak bir sayı yerine kalite göstergesi olabilir.

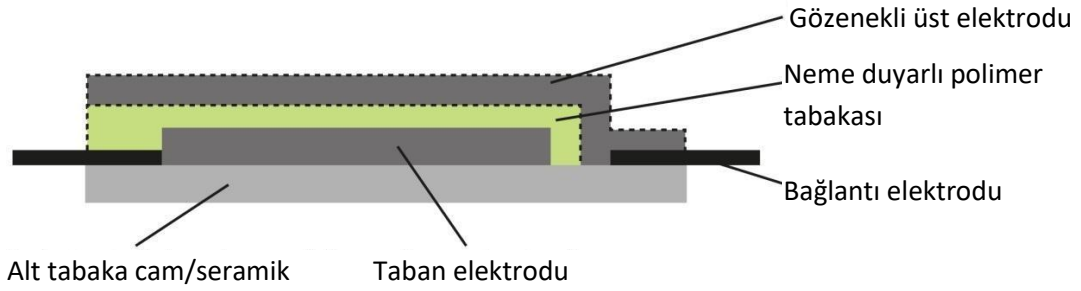
Tarihsel olarak, soğutmalı ayna higrometreleri, 0 °C'nin altındaki ayna sıcaklıklarında çalışırken çiy ve don arasındaki farkı bulamamaları nedeniyle sorunlar yaşıyorlardı. Gelişmiş soğutmalı ayna higrometreleri, tüm süper soğutulmuş su yoğunlaşmasını katı (buz veya dondurucu) hale getirerek çiy ve don ile ayırt etme kabiliyetine sahiptir. Bu durumda, yoğunlaştırılmış tabaka katı bir biçimde ve donma noktasında kalır, sıcaklık doğru ölçülür.

B.3.2. Kapasitif Nem Sensörleri

B321. Polimer

Bu sensörler bağıl nem oranına bağlı olarak sensörün kapasitesini değiştiren higroskopik bir polimer film kullanır. Kapasitif Polimer sensörleri kullanan aletler en çok kullanılan higrometrelerdir. Bu higrometreler genelde atmosfer basıncında nemi ölçer. Gaz bölmesine bağlı giriş örneklenmiştir. Cihaz tasarımına bağlı olarak, akış oranları otomatik olarak veya bir iğne valfinin elle ayarlanmasıyla korunur. Bir ölçüm başladığında, polimer sensörleri yüksek gösterge ile başlar ve ölçüm sırasında kurumuş olur. İstenilen eşik sınırının biraz altına düştüğünde ölçüm sonlandırılabilir ve istikrarlı bir gösterge beklemek için ek süre gerekmez.

Polimer sensörler bağıl nemi (RH) ölçer ve başka birimlerde gösterim için yeniden hesaplar. RH'den donma / çiylenme noktasına veya ppm'e dönüşme çok doğrusal olmayan bir işlev olduğundan, düşük nemde önemli bir çözünürlük kaybı vardır. Buna ek olarak sıcaklık bağımlılığı nedeniyle mutlak kararlı nemde (sabit buhar basıncı ve sabit donma/çiylenme noktası) sıcaklık artarsa RH değeri azalır. Yüksek sıcaklık ve düşük nem, RH ölçümünün çözünürlük problemini birleştirir. Bir polimer sensörünün tipik ölçüm aralığı, donma/çiylenme noktası ile sıcaklık arasında 80 K'lık bir maksimum sıcaklık farkı (ΔT) ile sınırlanır. 100 kPa standart mutlak basınçta; 20 °C'de -60 °C donma noktası (10 ppm_v) ve 40 °C'de -40 °C donma noktası (129 ppm_v) daha düşük bir sınırla sonuçlanır.



B322. Alüminyum Oksit

Alüminyum Oksit sensörleri, Kapasitif Polimer türü gibi çalışır. Sensör, su moleküllerinin su buharı içeriğiyle kapasiteyi değiştirerek gözenekli yapının içine ve dışına geçmesini sağlayan bir oksit katmanı (Al_2O_3) kullanır. Belirtilen okumalar stabilize olana kadar akış hızları korunur. Tipik gösterimler don/çiy noktası içindedir. Çoğu Alüminyum Oksit sensörleri, ölçümler esnasında ve kullanılmadığında bir kurutucu bölmesinde kuru tutulur. Bu da sensörlerin kuru bir gösterge ile başlaması ve ölçüm işlemi sırasında yüksek bir değere ulaşması anlamına gelir.

Amaç, belirli bir eşik sınırının altında tutmak olduğu, cihazın nihai kararlı değere ne zaman ulaştığını belirlemek zordur. Bazı Alüminyum Oksit algılayıcıları, donma noktası doğru terim

olmasına rağmen 0 °C'nin altında çiylenme noktasını belirtmektedir.



Şekil 7 - Alüminyum Oksit Sensörler

B.4. SF₆ KİRLETİCİLERİNİN VE AYRIŞMA ÜRÜNLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

B.4.1. Dedektör Tüpler

Bu ölçüm cihazları, kimyasal tepkimeye özel bir test tüpü içerisinde gerçekleştirilir ve reaksiyon renk değişikliği ile tanımlanır. Bu test tüpleri, SO₂, HF ve yağ buharı gibi farklı gazlar için mevcuttur. Tanımlanmış bir miktar ölçüm ortamı, test tüpü boyunca belirli bir süre beslenir. Test tüpü skalasının renksizleşmesi niceliksel olarak SF₆'nın gaz halindeki bozunma ürününü gösterir.

SO₂ için kalibre edilen borular, SO₂'nin reaksiyon süresini etkileyebilecek SOF₂ ve SO₂F₂ gibi diğer bozunma ürünlerine de hassastır. Bu nedenle, herhangi bir ölçüm, ayrışma ürününün bir tahminidir.



Şekil 8 - Dedektör Tüp ve Örnek Yerleşim

Gaz, deney borusundan akan bir toplama kabında veya esnek plastik poşetlerde toplanmalıdır. Çeşitli ölçüm aralıkları mevcuttur ve ölçüm süresi daha hassas aralıklar için birkaç saniyeden dakikaya değişir. Kalibrasyona gerek yoktur ancak test tüplerinin son kullanma tarihi dikkate alınmalıdır. Bir ölçüm için tipik olarak 1 - 2 litre gaz gerekir.

B.4.2. Elektrokimyasal Ölçüm Hücresi (SO₂ and HF)

Bir elektrokimyasal sensör, bir elektrot sistemine ve ölçülen maddeyi algılamak için kalibre edilmiş bir elektroliti temel alır. SO₂ veya HF, potansiyeli değiştiren elektrod ile reaksiyona girecek ve ppm_v konsantrasyonuna denk getirilebilecektir.

B.4.3. Gaz kromatografisi

Gaz kromatografisi, bozunum olmadan buharlaşabilen bileşiklerin ayrılması ve analizi için gaz karışımında kullanılan yaygın bir kromatografi yöntemidir. Yeni bir yalıtım gazının kalitesi ile, servisteki veya kullanılmış gazın kalitesini doğrulamak için kullanılabilir. Bir hareketli faz, genellikle helyum gibi inert bir gaz olan taşıyıcı gaz ve kolon olarak adlandırılan inert katı bir desteğin mikroskopik tabakası olan sabit bir fazdan oluşur. Farklı bileşik türünü analiz etmek için iki veya daha fazla kolona sahip olmak mümkündür. Her bir farklı bileşik, kolonu dolaştırmak için farklı bir zaman gerektirir. Sonuç bir kromatogramdır. Piklerin alanı, bileşen miktarı ile orantılıdır. Yüksek derecede hassasiyet elde etmek için ölçmeden önce, ölçmek istediğiniz her madde için ölçüm ekipmanları referans gazlarla birlikte kalibre ettirilmelidir.

Farklı dedektörlerle birleşmiş farklı sütunlar, SF₆, N₂, O₂, CF₄, HF ve yağ buharı ile istikrarlı bozunma ürünlerini analiz etmek için kullanılabilir [1].

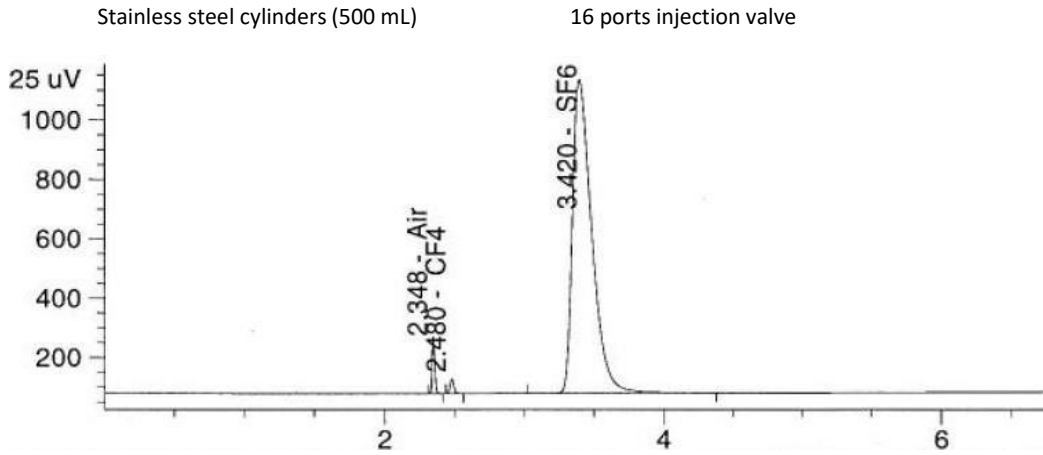
B431. Isıl İletkenlik Algılama

Termal iletkenlik detektörü, SF₆ ve SF₆'nın kararlı bozunma ürünlerini analiz etmek için en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yakın zamanda bir termal iletkenlik detektörü (GC-TCD) ile geliştirilen tipik bir yöntem Tablo 12'de sunulmuştur. Bu yöntem ile üretilen kromatogramlar sırasıyla Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulmaktadır.

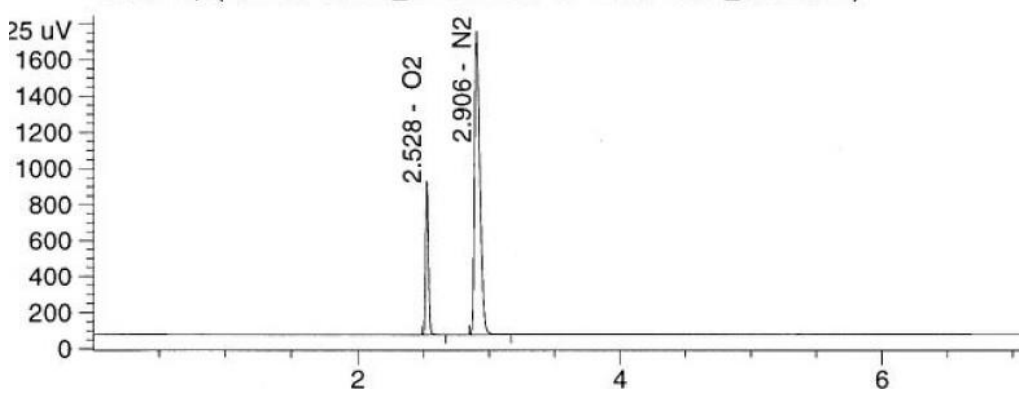
| | Bozucu madde | İzole Gaz | Ayrışan Ürünler |
|------------------------------|---|---|---|
| Analitik Durumlar | O ₂ , N ₂ | SF ₆ , CF ₄ | CF ₄ , SOF ₂ , SO ₂ F ₂ , SO ₂ , COS |
| Kolon | Restek Molesieve 5A 80/100 2 m x 1 mm | Restek Hayesep Q 100/200 2 m x 1 mm | Restek Hayesep Q 100/200 2 m x 1 mm |
| Enjeksiyon bloğu | | | |
| -Hacim | 50 µL | | 2000 µL |
| -Sıcaklık | 150 °C | | 150 °C |
| -Helyum Akışı (taşıma) | 30 mL/dk | | 15 mL/dk |
| Isıtma | 35 °C - 2 dk tutulur Isıtma 65 °C (10 °C/dk) 5 dk tutulur ısıtma 175 °C (25 °C/dk) 0.6 dk tutulur Toplam zaman : 10 dakika | | 35 °C - 12 dk tutulur Isıtma 155 °C (10 °C/dk) 0 dk tutulur Toplam zaman : 24 dakika |
| Dedektör (TCD) | | | |
| - Sıcaklık | 225 °C | | 225 °C |
| - Helyum Akışı (referans) | 45 mL/dk | | 30 mL/dk |
| - Helyum Akışı (makeup) | 2 mL/dk | | 2 mL/dk |

Tablo 12 - Tipik GC-TCD method açıklaması

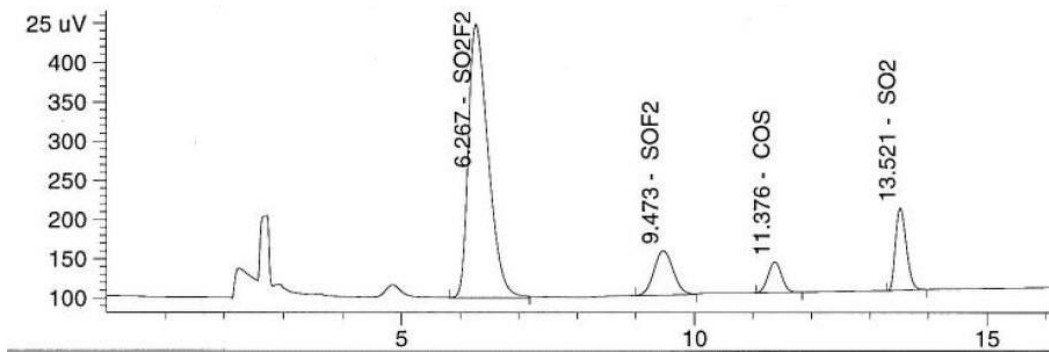
Tüm laboratuvar teknikleri, bir gaz örnekleme protokolünün kullanılmasını gerektirir. Genellikle pasifleştirilen veya PTFE kaplı, 500 ml kapasiteli paslanmaz çelik tüpler gereklidir [2].



Şekil 9 - SF₆ gaz izolasyon örneğinde SF₆ ve CF₄



Şekil 10 - SF₆ gaz izolasyon numunesindeki kirletici olarak havanın (N₂ ve O₂) analizi



Şekil 11 - SF₆ gaz izolasyon numunesindeki ana ayrışma ürünleri analizi

B432 Alev İyonizasyon Algılama

Bir alev iyonizasyon dedektörü (FID) ile birleştirilmiş bir gaz kromatografinin kullanılması, SF₆ 'daki yağ muhteviyatının belirlenmesine izin verebilir. C10 ila C50 petrol hidrokarbonlarının analizi için uygulanabilir tipik analitik koşullar, daha önce IEC 60480 standardında [2] sunulmuştur.

B433. Sahada Gaz Kromatografisi

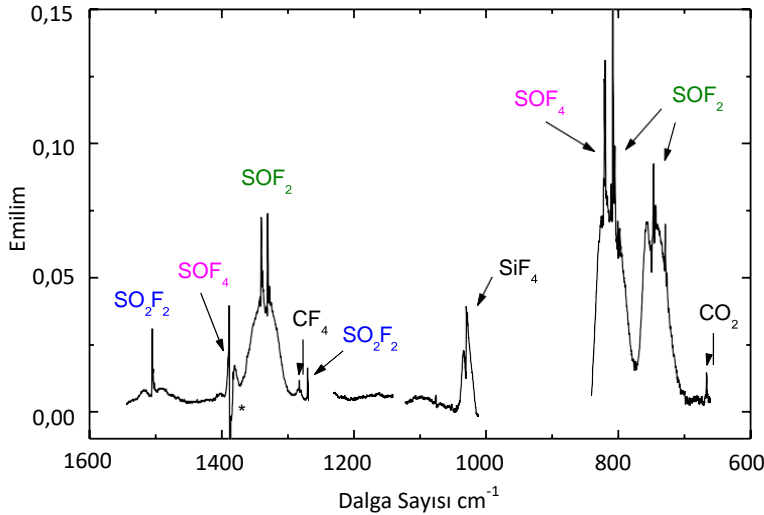
SF₆'da hava, CF₄, SO₂, SOF₂ ve SO₂F₂ düzeylerini tam olarak ölçebilen bir TCD'ye (termal iletkenlik detektörü) sahip taşınabilir Gaz Kromatografisini yerinde kullanmak da mümkündür. Bununla birlikte, bu araçların çalışması yüksek düzeyde beceri gerekmektedir ve bu nedenle uygulanabilir bir seçenek değildirler.

B.4.4. Kızılötesi Spektroskopi

B441. Fourier Dönüşümü -IR

Kızılötesi spektroskopi, yeni gazın, kullanılmış gazın ve kirlenmiş SF₆'nın temizleme ve geri dönüşüm sürecinin kalitesini doğrulamak için kullanılabilir. Kızılötesi spektroskopi, tüm ayrışma ürünleri için bir gaz karışımında kullanılan spektroskopinin yaygın bir türüdür; HF, SF₄, SOF₄, SiF₄ ve S₂F₁₀.

Vakum sistemine bağılı optik bir hücreden oluşur. Vakum sistemi örnek silindirini hazırlamak için de kullanılabilir. Sonuç, bir spektrumdur ve spektrumdaki kızılötesi ışığın absorpsiyonu, düşük ppm değerlerinden yüzdelere kadar bir bileşenin miktarı ile doğru orantılıdır. Bir numunenin ölçüm zamanı, kirliliklerin ve ana dekompozisyon ürünlerinin tam ölçümü normalde yaklaşık 4 dakikadır [3].



Şekil 12 - SF₆'nın bir deşarj örneğinin orta kızılötesi spektrumundan çıkarılması ve ayrışma ürünlerinin gösterilmesi

B442 Yayılmamış IR

Yayılmamış kızılötesi ışınli sensör (veya NDIR), genellikle bir gaz dedektörü olarak kullanılan bir spektroskopik cihazdır. Ana bileşenler bir kızılötesi kaynak, bir örnek odası veya ışık tüpü, bir dalga boyu filtresi ve bir kızılötesi dedektördür.

SF₆ gazı numune haznesine pompalanır ve gaz konsantrasyonu kızılötesi (IR) aralıktaki belirli bir dalga boyundaki absorpsiyonuyla elektro-optik olarak ölçülür. IR ışığı, numune odası içinden dedektöre doğru yönlendirilir. Dedektör, önünde seçilmiş gaz moleküllerinin emebileceği bir dalga boyu aralığı (yani SF₆ / H₂O) hariç tüm ışığı ortadan kaldıran optik filtrelerle sahiptir. Bu dalga boyu aralığında ışığı absorbe etmeyen diğer gaz molekülleri dedektöre ulaşan ışığın miktarını etkilemez.

Bu teknik, NDIR sensörlerinin yüksek seviyede seçicilik elde etmesini sağlar. Çakışan IR absorpsiyon paternleri bulunan gazlar arasındaki potansiyel çapraz etkileşim, optik bileşenlerin dikkatle seçilmesi, parazitlenen gazın ölçülmesi ve kompanze edilmesi parazitlenen gazın optik ya da fiziksel olarak filtrelenmesi gibi çeşitli yollarla en aza indirilebilir.

Yanıt süresi bakımından, bir NDIR sensörü tipik olarak saniyede bir veya daha fazla yeni okuma alır. Bununla birlikte, dijital filtreleme, veri işleme, sensörü boşaltmak için gerekli zaman ve temsili bir numune elde etmek için yeterli miktarda gaz akışı toplam ölçüm döngüsünü 3-5 dakikaya çıkarabilir.

NDIR sensörünün gerektirdiği gazın miktarı, temel olarak, numune haznesinin hacmine ve seçilen gazın akış oranına bağlıdır. Gaz akış hızı, numune haznesini birkaç kez temizlemek için yeterli olmalıdır.

B.5. ÇOKLU ÖLÇÜM CİHAZLARI

Çoklu ölçüm cihazları seri olarak birkaç sensörün bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve bunları aynı kutuya yerleştirir. Tipik olarak SF₆ içeriğini, nemi ve SO₂'yi veya HF'yi ölçerler. Genellikle SF₆ ayrışma ürünleri ölçülür ve yüksek konsantrasyon seviyelerinde cihaz otomatik olarak kapanır.

Tek bir aletin gerekli olması, ihtiyaç duyulan gazın miktarını ve ölçümlerin tamamlanması için gereken zamanı azaltma avantajına sahiptirler. Dahası üreticilerin çoğu, analiz tamamlandıktan sonra gaz numunelerini tekrar pompalanabilen sistemler sunarak SF₆'nın atmosfere salınması olasılığını ortadan kaldırırlar.

Referanslar

- [1] Lessard M.C., Larocque G., Vienneau M., private correspondence.
- [2] IEC 60480 “Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use”, 2nd Edition 2004.
- [3] R. Kurte, C. Beyer, · H. M. Heise, D. Klockow, “Application of infrared spectroscopy to monitoring gas insulated high-voltage equipment: electrode material- dependent SF₆ decomposition”, Anal Bioanal Chem (2002) 373 : 639–646.

C. GAZ YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

C.1. GİRİŞ

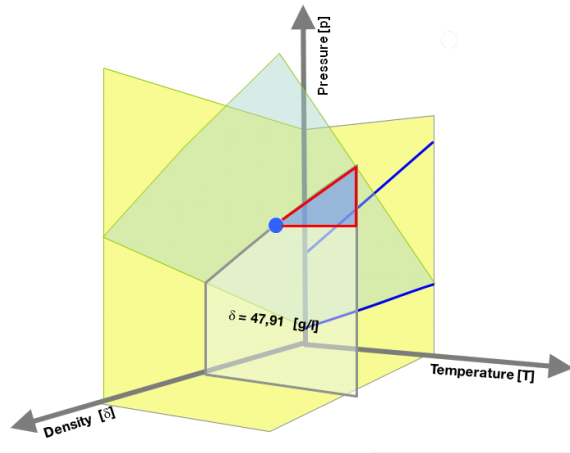
Elektrikli ekipmanın performansı kritik olarak gaz basıncına bağlıdır ve bu nedenle sürekli izlenmesinden önemlidir. Basınç sıcaklığa bağlı olduğu için, yoğunluk ölçülmesi gereken parametredir.

C.2. SF₆ GAZI

Basıncın, yoğunluğun ve sıcaklığın 3 boyutundaki SF₆ gazı özellikleri doğrudan doğruya orantılı değildir. SF₆ gerçek bir gazdır ve bu nedenle doğru bir davranış resmi elde etmek için karmaşık denklemlere ihtiyaç vardır. "İdeal gaz" denklemlerini kullanarak basitleştirme, için bazı önemli faktörleri ihmal etmek gerekir.

SF₆ yoğunluğu doğrudan elektronik yoğunluk sensörleri veya referans hazneleri ile veya dolaylı olarak sıcaklık kompanzasyonlu basınç göstergeleri veya sensörler ile ölçülebilir. Dolaylı ölçüm her zaman basınç ölçümünün yanında doğru sıcaklık bilgisini gerektirir.

SF₆ yoğunluğu direk veya dolaylı metotla izlenen hacim ile belirlenirken, 1 °C'lik fark, 20 °C'de 3 kPa SF₆ basıncında sapmaya neden olabilir.



Şekil 13 - SF₆ Özellikleri – Basınç/Sıcaklık

C.3. SF₆ GAZ YOĞUNLUK ALETLERİ VS. BASINÇ ÖLÇERLER

Basınç ve sıcaklık, 24 saat veya 12 ay boyunca zamanla değişebilir. Basınç cihazda otomatik olarak kompanze edilmezse, yoğunluğun doğru bir şekilde okunması için ilgili ölçüm sıcaklıkları kullanılarak daha sonra hesaplanmalıdır.

C.3.1. Sıcaklık Telafisinin Genel Prensibi

Bir gaz yoğunluk aleti, ortam (basınç) bağlantısı, elektronik veya mekanik parçalar içeren bir algılama elemanı, elektrik bağlantısı ve iç elemanları çevresel etkilere karşı korumak için bir kutudan oluşur.

| | Dolaylı ölçüm (Basınç Yoluyla) | Direk ölçüm |
|------------------|--|--|
| Elektronik Cihaz | Elektronik basınç sensörü sinyali ve sıcaklık sensörü sinyali birleştirilir. Bir mikroişlemci yoğunluğu hesaplar. | SF ₆ 'da kuvarz ayar çatal frekansları vakumda birbiriyle karşılaştırılır. Frekans farkı, gaz yoğunluğuna eşittir. |
| Mekanik cihaz | Bir basınç göstergesi (Bourdon tüpü veya körük tipi) mekanik sıcaklık kompanzasyonu ile donatılmıştır. Kompanzasyon, alarm yoğunluğu seviyesindeki durum için kalibre edilmiştir | Alarm seviyesi yoğunluğuna göre SF ₆ ile doldurulan bir referans odacığı, sistemdeki gerçek SF ₆ yoğunluğu ile mekanik olarak karşılaştırılmıştır. |

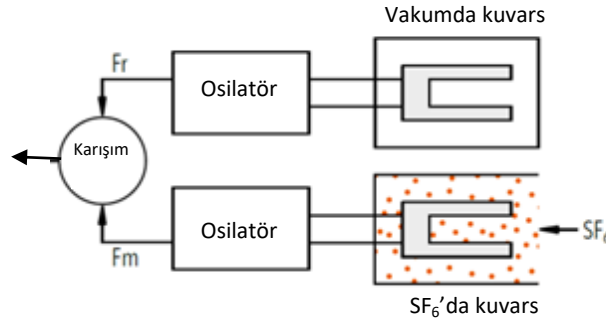
Tablo 13 - Gaz yoğunluk ölçümü - elektronik veya mekanik cihaz

C.3.2. Gaz Yoğunluğunun Gösterilmesi

Elektronik cihazların nadiren herhangi bir göstergesi veya ekranı vardır, yoğunluk sinyali bir ana makine kontrolöründe işlenir. Mekanik aygıtlar ise 20 °C'de normalleştirilmiş basıncı gösteren bir gösterge veya basit bir üç renkli gösterge içerebilir (yeşil = OK, Sarı = düşük, kırmızı = kritik). Rahat okunması için yoğunluk göstergesi gaz borusu bağlantısı ile genellikle gaz tankının uzak tarafına monte edilir. Bu kurulum, iyi termal temas ile ölçme cihazlarının doğrudan SF₆ bölmelerine direk bağlanmasından daha fazla sıcaklık kompanzasyonu sorununa neden olur.

C.3.3. Doğrudan Ölçüm için Elektronik Yoğunluk Aletleri - Yoğunluk Sensörü

Bir kuvars osilatörünün vakum altındaki sabit rezonans frekansı, numune gazında bulunan özdeş bir kuvarsın rezonans frekansı ile karşılaştırılır. Rezonans frekansındaki fark, numune gazının yoğunluğu ile orantılıdır. Bu fark bir analog veya dijital çıkış sinyaline işlenir.



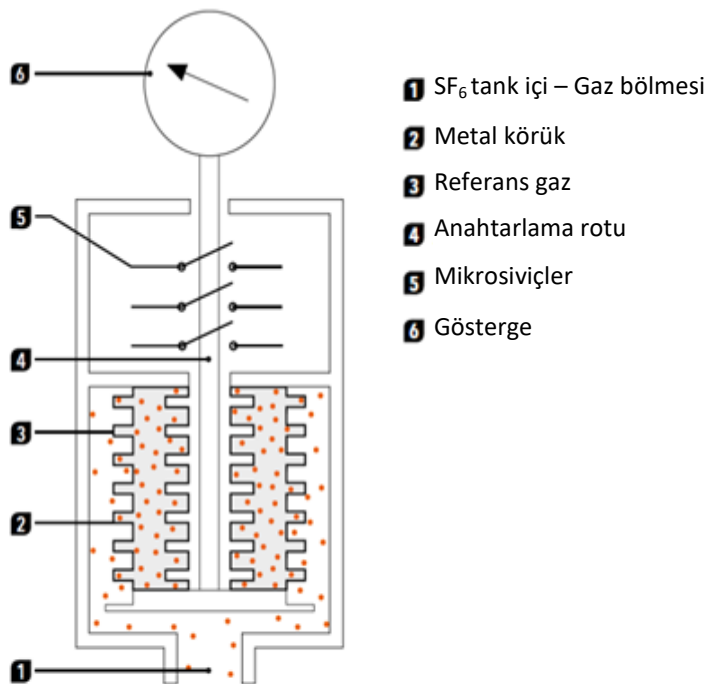
Şekil 14 - Yoğunluk sensörü

C.3.4. Dolaylı Ölçüm için Elektronik Yoğunluk Aletleri - Sıcaklık Dengeli Basınç Sensörü

Dolaylı ölçüm gazı yoğunluk vericileri teknik olarak basınç ölçüm yapısına dayanır. Elektronik bir basınç algılayıcısı, sıcaklık dengeleme amaçlı bir sıcaklık algılayıcısı ve sinyalleri işlemek için elektronik aygıtlardan oluşur. Yoğunluk çıkış sinyali verici içinde yerel olarak ölçülen basınç ve sıcaklık temelinde üretilir.

C.3.5. Doğrudan Ölçüm için Mekanik Göstergeler - Referans Odası

SF₆ bölmelerinin gaz yoğunluğu, bir körük sistemi vasıtasıyla monitördeki bir referans gaz odasındaki gaz yoğunluğu ile karşılaştırılır. Gazın yoğunluğu değişirse, körük sistemi bir veya daha fazla mikro anahtar etkinleştirir. Gaz sıcaklığı ve dolayısıyla basıncı değişirse, referans odasında da aynı basınç farkı oluşur. Sıcaklığa bağlı basınç değişiklikleri nedeniyle yanlış alarm tetiklenmez. Dört adete kadar galvanik olarak izole edilmiş mikro anahtarlar farklı alarm sinyallerini etkinleştirir. SF₆ göstergesi, 20 ° C'de gaz basıncı olarak SF₆ gaz yoğunluğunu okumayı sağlar. (Şekil - 15)



Şekil 15 - Referans hazne

C.3.6. Dolaylı Ölçümler için Mekanik Ekipmanlar – Sıcaklık Kompanzeli Basınç Göstergeleri

Bourdon boru prensibine dayanan mekanik basınç göstergesi, sıcaklık dengelemesi için bir bimetal kol ile donatılmıştır. Optimum doğruluk için alarm yoğunluğu bimetal kol ile kalibre edilmiştir.



Şekil 16 - Mekanik Basınç Göstergesi

D. DİFÜZYON VE KİNETİK

D.1. AYRIŞMA ÜRÜNLERİNİN SF₆ GAZI İÇİNDE TAŞINMASI

Belirli bir yerde ayrışma ürünü üretildikten sonra (devre kesicinin kontaklarında veya yüksek bir elektrik alana maruz kalan bir izolatör üzerinde) tüm bölmeye etki edecektir. Başka bir yerde algılanması gereken süre bölmedeki koşullara ve algılayıcının konumuna bağlıdır. Gaz tamamen dinlenmişse, yalnızca gaz difüzyonu aktiftir, bu da oldukça yavaş bir taşıma sürecidir. SF₆'nın yüksek basıncı nedeniyle, maddenin "rasgele yürüyüş" yolu çok kısa, yani 10 nm aralığındadır. Sonuç olarak, tipik şalter bölmelerinde maddenin difüzyonu saatler hatta günler alabilir. Ayrışma yan ürün konsantrasyonu çok düzensiz olacaktır.

Difüzyon konsantrasyon veya basınç gradyentleri ve dağılım katsayısı (D) ile orantılı olarak belirlenir ve bu dağılım D ortalama serbest yola λ ve gazın ortalama ısı hızı V_{th} 'e bağlıdır ve gaz basıncı ve sıcaklık fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$D = 0,376 \frac{(RT)^{3/2}}{p\sigma\sqrt{\mu}} \quad (1)$$

| | |
|----------|---|
| D | Difüzyon katsayısı m ² /s |
| R | Evrensel gaz sabiti 8314.4 J/K/kmol |
| T | Sıcaklık K |
| p | Arka plan gaz basıncı N/m ² |
| σ | SF ₆ 'daki maddenin etkili çarpışma kesiti |
| μ | Gaz B'deki madde A'nın etkili kütle oranı: $\mu=MA/(MA+MB)$ |

Çarpışma kesiti σ , moleküllerin çapından saptanabilir; bu, SF₆ için 0.56 nm ve SO₂ için 0.36 nm'dir. Bu değerlerden 400 kPa SF₆'daki SOF₂ difüzyon ölçümleri ile teyit edilen $D = 0.018 \text{ cm}^2/\text{s}$ difüzyon katsayısı elde edilir. [1] 'de, 0.02 cm²/s değeri verilmiştir. Havadaki gazların 100 kPa'lık basınçta difüzyonu daha hızlı olurdu. Molekülün L mesafesini geçmesi için gereken süre t önemli bir ölçümdür. 0,3 m'lik bir mesafe varsayarsak, ortaya çıkan difüzyon süresi yaklaşık 11 saat olur.

$$t = \frac{\pi \cdot L^2}{4 \cdot D} \quad (2)$$

Öte yandan, iç iletkenler ile bölmenin dış duvarları arasındaki sıcaklık farklılıklarına ya da anahtarlama sürecinin kendisi tarafından zorlanmış gaz akışına bağlı olarak gazın yalnızca difüzyon değil aynı zamanda bazı taşınımının da aktif olması muhtemeldir. Gazın termal hızından çok daha düşük hızlar bile maddeleri etkin bir şekilde karıştırır. Bu nedenle, homojen bir dağılımın yalnızca difüzyona bağlı olandan çok daha kısa sürede (genellikle hacmin büyüklüğüne bağlı olarak birkaç saatlik bir sürede) gerçekleştiği varsayılabilir.

D.2. DUVAR YÜZEYLERİ ÜZERİNDE SF₆ BOZUNMA ÜRÜNLERİNİN REAKSİYON KİNETİĞİ

Yüzey reaksiyonlarının kinetiği; çarpan moleküllerin akısı, yapışma olasılığı, yüzeydeki anlık konsantrasyon ve yüzey üzerindeki reaktanların konsantrasyonu ile belirlenir [1]. Başlangıçta çarpan her molekül, yüzeyde özgürce bir yer ve reaksiyon ortağı bulacaktır. Moleküller maksimum tek bir yüzey tabakası haline geldiğinde diğer moleküllerin yapışma olasılığı sıfır olur ve artık yüzeyde serbestçe yer bulamazlar. Dolayısıyla bu sürecin iki uç noktasına doymamış ve doymuş yüzey sınırı denir [1]

D.2.1. Doymamış Yüzey Sınırı

Duvar yüzeyine çarpan moleküller hemen yüzeyde boş bir bölge ve reaksiyon partneri bulurlar. Tepki veren moleküllerin yüzey yoğunluğu (N^*), gelen moleküllerin akı yoğunluğu ile orantılıdır.

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = -k_{doymamış} \cdot A_{ads} \cdot \gamma \cdot \frac{1}{4} \cdot v \cdot n = -\delta_s \cdot n \cdot A_{ads} \quad (3)$$

- n yüzeyin önündeki bozunan ürün yoğunluğu m^{-3}
 A_{ads} Yüzey alanı m^2
 v Yüzeye çarpan bozunma ürünlerinin termal hızı
 γ Ayrışma ürünlerinin yüzeydeki yapışma olasılığı (0....1)
 δ_s Doymamış yüzey bozunma katsayısı [1]

V hacmindeki reaktan moleküllerin toplam sayısı (N^*) n ve V çarpımı ile verilir. Yani;

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{dn(t)}{dt} = -\delta_s \cdot \frac{A_{ads}}{V} \quad (4)$$

Bu denklem, başlangıç yoğunluğunun zamanla azalan bir çözümüne sahiptir. Bunun üstel çürüme zaman sabiti;

$$\tau_s = \left[\delta_s \cdot \frac{A_{ads}}{V} \right] \quad (5)$$

Özel olarak hazırlanmış paslanmaz çelik haznede, SF₄ için $1 - 5 \times 10^{-5}$ m/s ve SOF₄ için $2 - 10 \times 10^{-7}$ m/s arasında doymamış yüzey bozunma katsayıları elde edilmiştir. Denklem (5) 'e göre, daha

küçük bir katsayı, daha uzun bir yan-ürün çürüme süresini temsil eder. Başlangıç değerinin yarısına kadar bozulma, hazırlanmamış yüzey için 5 saatten az sürede başarılırken, kuru yüzeyde bu süre oldukça yükselir, yani bu da ayrışma ürünlerinin hidrolizinin diğer bir deyişle duvar yüzeyindeki su molekülleri ile reaksiyona girmesinin önemini kanıtlar. Hacim reaksiyonu normal olarak 2000 ppm_v'ye kadar olan yüksek su buharı konsantrasyonlarında bile bir rol oynamaz.

D.2.2. Doymuş Yüzey Sınırı

Öbür uçta, yüzey reaksiyonu en yavaş süreçtir, çünkü çarpıcı moleküller serbest bir bölge ve serbest bir reaksiyon ortağı bulmazlar. Bu durumda reaksiyon hızı, yüzeyin önündeki moleküllerin yoğunluğundan bağımsızdır [1]:

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = -k_{doymuş} \cdot N_{doymuş}^* \cdot A_{ads} = -C_{dec} \cdot A_{ads} \quad (6)$$

| | |
|----------------|------------------------------------|
| $k_{doymuş}$ | doymuş yüzey sabiti |
| $N_{doymuş}^*$ | Moleküllerin tüm yüzey yoğunluğu |
| C_{dec} | Doymuş yüzey bozunma katsayısı [1] |
| A_{ads} | Yüzey alanı (m ²) |

Yukarıdaki gibi (V) hacimdeki molekül yoğunluğunu dikkate alarak, bozunma ürün yoğunluğunun lineer bir bozulmasını sağlayan aşağıdaki denklem sonuçları elde edilir:

$$\frac{dn(t)}{dt} = -C_{dec} \cdot \frac{A_{ads}}{V} \quad (7)$$

Yine [1] 'de, özel olarak hazırlanmış paslanmaz çelik haznede bozunma ürünlerindeki değişim yavaş reaksiyona girdiği bilinen SOF₂ için ölçülmüş, lineer bir bozulma gözlenmiş ve 1-3 x 10¹³ m²/s doymuş yüzey katsayıları elde edilmiştir. İlk değer yarısına erişmesi yaklaşık 1000 saat sürmektedir. Cam kaplar alındığında, 2000 ppm_v'lik bir arka plan nem konsantrasyonu (donma noktası -12.8 °C ve çiylenme noktası -14.3 °C'ye denk gelen) olsa bile yoğunluğun hemen hemen azalmadığı gözlenmiştir. Bu deneyler ayrıca, SO₂ ve SO₂F₂ gibi uçucu gazlardaki artışın H₂O ile ikincil yüzey reaksiyonlarından meydana geldiğini göstermiştir. HF nadiren tespit edilir; çünkü yüzeylere bağlı olan metalik oksitlerle hızla reaksiyona girerek metal florürleri oluştururlar.

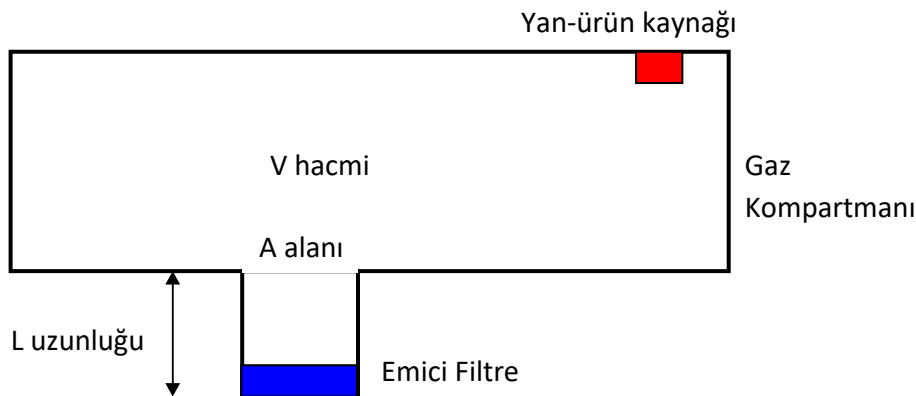
Bir GIS bölmesinin iç yüzeyinde adsorbe edilen moleküllerin tek katmanına tekabül eden hacimdeki yan-ürün moleküllerinin parçalanma yoğunluğunu hesaplamak oldukça ilginçtir. m² başına molekül sayısının en fazla 1.5 x 10¹⁹ olduğunu düşünürsek ve örneği 3 m² için tek bir tabaka halinde toplam 4.5 x 10¹⁹ toplamı alınır; bu, 600 kPa SF₆'da 1 ppm_v ayrışma ürün

konsantrasyonuna eşittir. 1 ppm_v, anahtarlama işlemlerinden sonra konsantrasyon için oldukça düşük bir değere sahip olduğu için, muhafaza yüzeyinin, bir anahtarlama işleminden kısa bir süre sonra bozunma ürünleri ile doymuş olması beklenebilir. Bozunma ürünlerinin sayısını uzun vadede düşük tutmak için, sadece su moleküllerini değil ayrışma ürünlerini emen filtreler şalter bölmelerine dahil edilmelidir.

D.3. BOZUNMA ÜRÜNLERİ VE NEMİN FİLTRELER VASITASIYLA BERTARAF EDİLMESİ

Çoğu gaz izole edilmiş elektrikli teçhizatıta, absorbe edici maddeler, örn. moleküler filtreler (bkz. Ek-E) şalt cihazının ömrü boyunca yalıtkanların neminden kaynaklanan nemin emilmesi için kullanılır. Bu absorbe edici materyallerin çoğunda ayrışma ürünleri de bulunur. Şalt sistemindeki kaçınılmaz sıcaklık farklılıkları nedeniyle (en azından eğer çalışıyorsa) konvektif gaz akışının bozunma ürünlerini gaz bölmesi içinde etkili bir şekilde kısa sürede karıştırdığı kabul edilebilir. Bu nedenle, ayrışma ürünleri ve nem arasındaki tüm yüzey reaksiyonları, kısa süreli ark kaynaklı bozunma ürünleri deşarjı veya sürekli devam eden korona deşarjının emisyonu sırasında gerçekleşir. SF₄ ve HF (ark veya sonraki reaksiyonlarla üretilen) aynı anda tespit edilir [2]. SO₂ normalde çok daha sonra oluşur, çünkü karşılık gelen reaksiyon süreci çok daha yavaştır.

Ancak, bölme içerisinde bulunan molekül filtreleri ile bozunma ürünlerinin uzaklaştırılması süreci, bozunma ürünlerinin filtrelerin olduğu bölüme ulaşmasına kadar hızlı gerçekleşmez. Moleküler elek, bölmenin nişlerine yerleştirildiğinde (örneğin sınır profiline içine), SF₆ gazı içinde daha yavaş taşınma olduğu değerlendirilmelidir. Bu yerler, konveksiyon akışlarından korunmakta ve bozunmuş maddeler sadece rasgele ilerleyerek yani difüzyon ile ulaşmaktadır. Son olarak, bozunma ürünlerinin filtrelerin içine taşınması gerekir, aksi takdirde yüzeydeki adsorpsiyon yeteneği kısa zamanda tükenecektir. Ayrışım ürünlerinin moleküler elek içine girme zamanı, absorbe edici gözenekler ve kanallardaki gaz moleküllerinin etkili yayılma yeteneğine bağlıdır (bkz. Ek E).



Şekil 17 - Ayrışım ürünlerinin bir emici yüzeye difüzyonunu tanımlayan model

Piemontesi [1] yukarıdaki şekilde tasvir edilen bir yaklaşımı kullanmıştır. Emici malzeme, moleküler elek toplakları ile doldurulmuş bir torbanın dış yüzeyine eşdeğer olabilen bir A-giriş alanı sağlayan ayrı bir kanal içine yerleştirilmiştir. Ayrışım ürünlerinin yoğunluğunun n , bu girişe kadar olan hacimde eşit olduğu ve emici yüzeyine çarpan tüm moleküllerin sıkıştığını varsayarsak, emiciye ulaşan ayrışma ürünlerinin akışı difüzyon ile ilk yaklaşımla hesaplanabilir. Kanalın uzunluğu L olan bir boyuttaki eşitlik:

$$j_x = -D \cdot \frac{\partial n}{\partial x} \approx -D \cdot A \cdot \frac{n}{L} \quad (8)$$

Yoğunluğun zamana bağlı artışı büyük gaz hacmindeki (V) molekülleri, yani adsorpsiyona bağlı kayıp, ayrışma ürünlerinin belirli bir S türü kaynağı göz önüne alınarak belirlenebilir.

$$\frac{dn(t)}{dt} = S - D \cdot \frac{A}{L \cdot V} \cdot n \quad (9)$$

Kısaltmalarla;

- V : GIS bölmesinin iç gaz hacmi m^3
- n : Bölme içindeki bozunma ürünlerinin yoğunluğu m^3 'de yoğunluğu
- D : Molekülün gazdaki m^2/s 'deki difüzyon katsayısı
- S : bozunma ürünlerinin kaynağından gelen akı s^{-1}
- A : Kanalın m^2 cinsinden girdiği alan
- L : Kanalın emiciye kadar olan uzunluğu m

Bu denklem analitik olarak aşağıdaki iki farklı başlangıç koşulunda çözülebilir ve moleküler elekte düşük ayrışma ürünleri bulunduğunu varsayımı yani doyumdan uzak hal için;

- Kaynak, kısa süreli ark bozunma ürünleri (bir anahtarlama sonucu üretilen)
- Kaynak, durağan, kesintisiz bir molekül akışı (korona deşarjıyla üretilen)

D.3.1. Bozunma Ürünlerinin Ayrılması

Denklem (9) 'un genel çözümü, N_0 moleküllerinin başlangıç koşuluyla $S = 0$ ile elde edilir. T parametresi şu şekilde tanımlanır:

$$\frac{1}{T} = D \cdot \frac{A}{L \cdot V} \quad (10)$$

Bir anahtarlama işleminde N_0 molekülleri salınan ayrışan ürünlerin toplam başlangıç sayısı biliniyorsa, birinci dereceden doğrusal diferansiyel denklemin çözümü vardır:

$$n(t) = \frac{N_0}{V} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right)$$

(11)

Bu çözüm, bozunma ürünlerinin başlangıç yoğunluğunun, eşitlik (10) ile belirlenen bir zaman sabiti ile üstel olarak azalmasını tanımlamaktadır. Eğer emici için emme kapasitesi doymuyorsa ve orijinal ayrılmanın yanı sıra GIS içerisinde bozunma ürünlerinin başka kaynağı yoksa, bir süre sonra yan ürün yoğunluğu sıfıra indirgenmelidir. Tipik değerler ($D = 2.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $L = 0.01 \text{ m}$, $A = 20 \text{ cm}^2$, $V = 0.3 \text{ m}^3$) 140 saatlik veya 6 gün zaman içinde sonuç verir. Emici doğrudan şalt cihazının içindeki taşınımı akılara maruz bırakılırsa, zaman daha da azalacaktır. Bir anahtarlama işlemi ile üretilen ayrışma ürünlerinin konsantrasyonu, bu süreçten sonra orijinal değerinin %36'sına düşecektir. 31 kA'lık akım kesme örneği alınırsa maksimum 192 ppm_v konsantrasyon hesaplanır, ilk konsantrasyon 6 gün sonra 70 ppm_v'ye, 12 gün sonra 25 ppm_v'e düşürülecektir.

D.3.2. Sürekli Bozunma Ürünleri Akışı

Kaynak terimi S , ayrışma ürünlerinin kesintisiz bir akışından oluştuğunda, denklem (9) 'da görülmektedir. Daha sonra, diferansiyel denklem, katsayı değişimi varyasyonlarının uygulanmasıyla genel çözümden hesaplanan belirli bir çözüme sahiptir. Sıfır başlangıçtaki yan ürün yoğunluğu için çözüm şu şekildedir:

$$n(t) = \frac{S}{V} \cdot \tau \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \quad (11)$$

Bozunma ürünlerinin yoğunluğu doygunluk yoğunluğuna (n_s) kadar artar ve bu da şu şekilde verilir:

$$n_s = \frac{S}{V} \cdot \tau = \frac{\alpha \cdot I \cdot L}{e \cdot D \cdot A} \quad (12)$$

Tipik Değerler $D = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $L = 0.01 \text{ m}$, $A = 20 \text{ cm}^2$, $V = 0.3 \text{ m}^3$ ve $10 \text{ } \mu\text{A}$ korona akımı, $7.8 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 'lik bozunma ürünlerinin doygunluk yoğunluğu $\alpha = 5$ varsayılarak sonuçlar 400 kPa SF₆ dolmuş basıncında 8 ppm_v doygunluk konsantrasyonuna eşdeğerdir ve bu, iki haftadan fazla sürede elde edilir.

Bu basit örnekler, ayrışma ürünlerinin konsantrasyonunun tespit edilmesinin (örn. planlı bir bakım esnasında) kaynağın türüne bakılmaksızın, bir süre sonra aynı konsantrasyona neden olabileceği için sorunun kökeni hakkında bilgi vermez. Bu nedenle analitik olmak için, geçiş öyküsü ve konsantrasyonun geçici gelişimi göz önüne alınmalıdır.

Referanslar

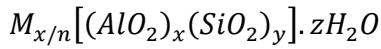
- [1] M. Piemontesi, "Basic studies on SF₆ decomposition", dissertation ETH Zürich no. 12786, 1998,.
- [2] B. Belmadani, J. Casanovas, A.M. Casanovas, R. Grob, J. Mathieu, "SF₆ decomposition under power arcs- physical aspects", IEEE Trans. On Electrical Insulation Vol 26, No. 6, pp 1163-1176 (1991).

E. FİLTRE MALZEMELERİ KARAKTERİSTİKLERİ

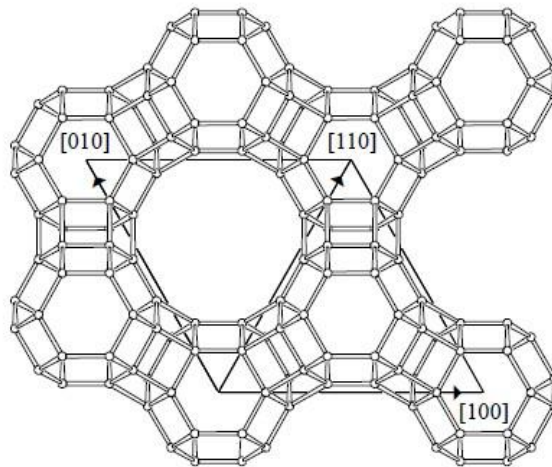
Üreticilerin nemi ve ayrışma ürünlerini absorbe etmesi için benimsenen iki yaklaşım vardır. Çoğu, hem nem hem de bozunma ürünlerini absorbe etmeye çalışırken diğerleri yalnızca nemin alınmasına odaklanır. İkinci yaklaşım, ekipmanın çok düşük ortam sıcaklıklarında çalışması gerektiği durumlarda kabul edildiğinden, bazı absorberlerde SF₆'nın emilimi dolun basıncını önemli ölçüde düşürebilir.

İki temel emici malzeme türü vardır: moleküler elekler ve aktive edilmiş alüminyum oksitler. Moleküler elekler molekülleri yakalama yeteneğine sahip mikrogözenekli katı maddelerdir. Belli bir boyuttaki moleküllerin gözeneklere girmesine ve absorbe edilmesine izin veren normal gözenek yapısı vardır. Tipik tanımlamalar 3A, 4A, 5A veya 13X'tir (gözenek boyutu sırasıyla 0.3, 0.4, 0.5 ve 1.0 nm'dir). İkinci tip filtre malzemesi aktifleştirilmiş alüminyum oksit, yani Al₂O₃'dür. Alüminyum hidroksidden üretilir ve çok gözenekli bir malzemedir. Gözenek boyutu, moleküler elekten daha geniş bir aralıktadır ve 0,4 ila 2,2 nm arasında olabilir.

Moleküler elekler zeolitler olarak adlandırılır ve prensipte aşağıdaki genel formüle göre farklı oksitlerden oluşurlar:



M, bir katyondur (örn., Na +) ve zeolitın bazı özelliklerini belirler. Karşılık gelen anyon oksit örgü yapısının bir tuza kıyasla bir parçasıdır. Gözenekler ve açıklıklar kafes yapısı tarafından oluşturulur ve çok boyutlu düz veya zikzak benzeri kanallar oluşturur. Al- ve Si- oksitlerin sayısının oranı, bir zeolitın su emici veya su itici davranmasına karar verir. Zeolitler doğal mineraller olarak bulunur, ancak çoğunlukla sentetik olarak üretilirler, bu da gözeneklerin ve kanalların boyutlarını seçme imkânı verir. Farklı özelliklere sahip yüzlerce zeolit bilinmektedir ve birçok uygulamada kullanılırlar.



Şekil 18 - Faujasitin örgü yapısı [1]

Moleküler elekler, dökme malzemedeki tüm gözeneklerin ve boşlukların yüzeyinden meydana gelen $600 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a kadar olağanüstü büyük bir iç yüzey içerir. Kanalların çapı, daha küçük çaplı tüm moleküllerin kanallardan geçmesini ve tuzağa düşürülmesini sağlamak için çok dar bir aralıkta ayarlanabilir. Daha büyük çaplı moleküller engellenir. Bu tür moleküler elekler örnek olarak karışık gazların saflaştırılması veya ayrılması için kullanılır.

0.27 nm 'lik bir molekül çapına sahip olan su 0.3 nm kanal boyutunda, örneğin 3A-Zeolit ile bir moleküler eleğe girebilir. SF_6 molekülleri 0.55 nm 'lik bir çapa sahiptir ve 0.3 veya 0.5 nm kanal boyutu ile yukarıda belirtilen tarzda bir moleküler elek içine giremeyecek, ancak 1 nm , yani 13X-zeolit içeren moleküler elek içine girebileceklerdir. Bu nedenle, çok düşük ortam sıcaklıklarında SF_6 gaz yoğunluğunun azaltılmasından kaçınmak gerektiğinde daha küçük boyutlu moleküler elekler seçilir. SF_6 'nın adsorpsiyonu ilk olarak ekipman $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda çalıştırıldığında gözlenmiştir. 0.36 nm 'lik bir molekül çapına sahip yan ürün SO_2 , 3A-zeolite giremez, ancak 0.4 nm 'den daha büyük gözenek boyutuna sahip olan her zeolitte absorbe olur. Diğer taraftan CF_4 , 5A-zeolit veya daha büyük eleklerde pek absorbe edilmemiş bir gaz olup, 0.47 nm çapı iyi sığabilir.

Aktive edilmiş alüminyum oksit filtreler SF_6 'yı düşük sıcaklıklarda, büyük ebatlı moleküler eleklerle benzer şekilde emer. Ekipmanın çok düşük ortam sıcaklıklarında çalışması gerektiği zaman kullanımı önlenmelidir.

Alümina ve zeolitler sadece su moleküllerini ve SF_6 'yı adsorbe etmekle kalmaz, aynı zamanda ark tarafından yaratılan bozunma ürünlerini de absorbe eder. Bölüm 5 Şekil 1'de verilen denklemlere göre, SF_4 , SOF_2 ve HF gibi kimyasal maddeler kimyasal olarak absorbe edilir yani emici materyal ile geri dönüşümsüz reaksiyona girer, buna karşın H_2O , SF_6 ve SO_2 gibi diğer maddeler fiziksel olarak soğurur. Kimyasal emilim, her zaman güçlü bir ekzotermik reaksiyona eşlik eder ve bu şekilde emici bile önemli derecede ısınabilir.

Emici malzeme içinde, absorbe edilen moleküller yüzey difüzyonuyla taşınır, hızı da gözenek molekül çapına ve bir molekülün gözenek yüzeyindeki kalış süresine bağlıdır. Kalma süresi adsorpsiyon enerjisi ve emici sıcaklığının oranı ile belirlenen üstel Boltzmann faktörü ile ters orantılıdır. Bir maddenin emici malzeme kütlesine nakil süresi, moleküler eleklerde ölçülen yayılma oranlarından hesaplanabilir. 4A-Zeolit'teki H_2O 'nun etkin yayılma hızı $30 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $4 - 7.55 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak saptanmıştır [2]. Bu, 1 mm 'lik bir filtre yumağı boyutu için neredeyse 3 saatlik bir taşıma süresine tekabül eder ve sonuç olarak daha büyük filtreler için daha uzun süreyle sonuçlanır. Kimyasal adsorbe edilen maddeler yüzeyde reaksiyona girdikleri yerde kalırlar. Emicinin dış yüzeyine giren gaz halindeki moleküllerin içeriye yani taze emici malzeme ile reaksiyona girebildikleri bölgeye nüfuz etmesi halinde emicinin görevini yerine getirmesi sağlanabilir. Yeni emici filtre için, adsorban yüzeyine ulaşan her madde sıkıştığından, nem ve SF_6 ayrışma ürünlerinin gaz hacminden hızla uzaklaştırıldığı varsayılabilir. Bu doymamış bir adsorbe edicinin durumunu açıklar. Öte yandan yüzey zaten moleküller tarafından kaplı ise, yeni gelen

moleküller özgür bir yer bulmaz ve yansıtılırlar. Bu davranış, yüzey kaplamasına bağlı olarak yapışma katsayısı ile tanımlanabilir. Yüzeğe ulaşan molekül akışının dengesi - gaz hacmindeki moleküllerin kısmi basıncı ile orantılıdır - ve yüzeyin kapsanması en basit durumda Langmuir izotermiyle belirlenir [4]:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = -k_{ads} \cdot p \cdot N(1 - \theta) + k_{des} \cdot N \cdot \theta \quad (1)$$

k_{ads} : Yapışkan katsayısını içeren adsorpsiyon katsayısı

k_{des} : Desorpsiyon katsayısı

p : m^{-3} hacim içindeki moleküllerin kısmi basıncı

N : Müsaade edilen maksimum adsorpsiyon sahası sayısı (normalde $1.5 \times 10^{19} m^{-2}$)

θ : Göreceli yüzey kapsamı

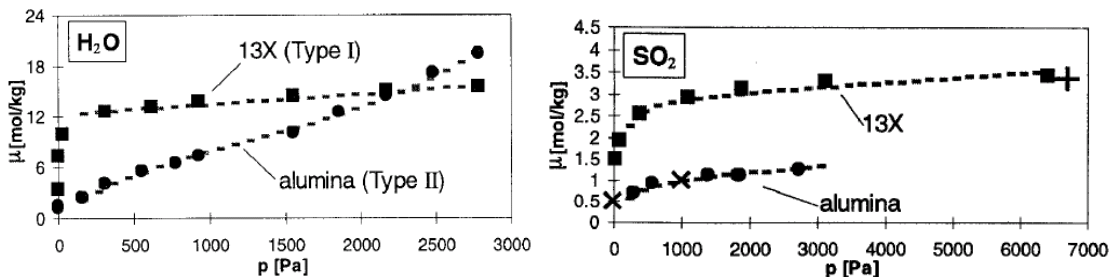
Denge halinde, zaman türevi sıfıra eşittir ve Langmuir izotermi verir:

$$\theta = \frac{Kp}{1 + Kp}$$

$$K = k_{ads}/k_{des} \quad (2)$$

Bu gibi izotermiler çoğunlukla gaz hacmindeki neme ve emicideki nem dengesine uygulanır, ancak diğer herhangi bir gaz için de geçerlidir. İzotermiler, düşük kısmi basınçta lineer olarak artan bir kapsama alanını veya adsorbe edici içeriği ve yüksek kısmi basınçlarda kapsama alanını veya emicinin doygunluğunu gösterir. Kesinlikle bu adsorbe edici denge, bölmedeki bu moleküllerin başka bağımsız bir kaynağı olmadığında kurulabilir. Bu durumda, denklem (1) yan ürün üretimi ve adsorpsiyona bağlı bir kayıp durumu nedeniyle bir kaynak terimi içeren kısmi basınç p için bir eşitlik ile birlikte çözülmelidir.

Ayrıca basit Langmuir izotermi, sadece tek tabaka molekülün bir yüzey üzerinde oluşabileceği durumlarda geçerlidir. Diğer durumlarda moleküller elekler, gaz gözenekler içinde sıvılaşmaya başladığında, ya bir doygunluk seviyesine ulaşarak ya da hiçbir sınıra erişmeden, yüksek basınçlarda birbirinin üstünde çeşitli tabakalar oluşabilir. H_2O ve SO_2 için adsorpsiyon izotermi, zeolit 13X ve aktive edilmiş Al_2O_3 için ölçülmüştür [5].



Şekil 19 - Moleküler elek 13X ve aktive edilmiş alüminyum oksit için oda sıcaklığında ölçülen H_2O ve SO_2 adsorpsiyon izotermi

13X-Zeolit için emicinin doygunluğu, yaklaşık 100 Pa'lık kısmi basınçlı durağan haldeki H₂O'dan elde edilir. Bu değer, SF₆ için 400 kPa'lık bir doldurma basıncında 250 ppm_v'lik su buharı miktarına eşdeğerdir. İzotermler sıcaklık ile değişir, zira adsorpsiyon ve desorpsiyon prosesleri sıcaklığa bağlıdır.

Genel olarak, adsorpsiyon kabiliyeti, tüm fiziksel olarak soğurulmuş gazlar için daha yüksek sıcaklık ile azaltılır. Bunun bir sonucu, doymuş bir adsorbe edici daha yüksek sıcaklıklarda gazı ortama salar. Bu, 300 ila 400 °C'de emilen edilen suyun alınması ve emici kurutulması için kullanılır. 13X-zeolitin veya alüminyum oksitin nemli havada bir şalt bölmesine yerleştirilmeden önce sırasıyla doymuşluğun yaklaşık % 20'sine eşdeğer olan 2.2 mol/kg ve 1.2 mol/kg'a kolayca erişebileceği gösterilmiştir. [5] Bu etkinin olumsuz bir sonucu, su doymuş bir adsorber tarafından yaz aylarında bölmeye bırakılıp ve kış boyunca adsorbe olabilir.

SO₂ gibi bozunma ürünlerindeki adsorpsiyon kabiliyeti, aynı adsorbe edici malzemedeki diğer maddelerin emilmesine bağlıdır. Örneğin moleküler elek yoğun olarak zaten nemle dolarken, SO₂ için adsorpsiyon kapasitesi% 25 ila% 40 oranında azalabilir [5]. SF₆'nın paralel adsorpsiyonu, zeolitlerin ve aktifleştirilmiş alüminanın performansını pek düşürmese de, önemli miktarda SF₄ veya SOF₂'nin kimyasal adsorpsiyon kabiliyeti büyük oranda %50-70 azaltmaktadır[5]. Bu nedenle, beklenen nem ve bozunma ürünlerinin miktarı, adsorbe edici malzemenin doygunluk sınırının çok altında olacak şekilde, bir bölmeye yeterli miktarda adsorbe edici malzeme koymak esastır. Normalde, gaz izolasyonlu ekipman içindeki adsorbe edici malzemenin kütlesi, ekipmanın ömrü boyunca bu sınırın olmadığı şekilde boyutlandırılır.

Referanslar

- [1] Database of International Zeolite Association
- [2] D. Bobok, E. Besedova, Petroleum and Coal, "Effective diffusivities of water vapours and heptane vapours in particles of molecular sieves 4A and 5A", Vol.45, 19-24, 2003,
- [3] Yi Hua Ma, C. Mancel, "Diffusion studies of CO₂, NO, NO₂, and SO₂ on molecular sieve Zeolites by gas chromatography", AIChE Journal, Vol.18, 1148-1153, 1972,
- [4] P.W.Atkins, "Physical Chemistry", Chapter 294th edition, Oxford Univ. Press, 1990,
- [5] M. Piemontesi, L. Niemeyer, "Sorption of SF₆ and SF₆ decomposition products by activated alumina and molecular sieve 13X", IEEE int. symposium on electrical insulation, Montreal, Canada, pp. 828-838, 1996.

F. SF₆'DAKİ SU

F.1. SU

Su, H₂O kimyasal formülü olan maddedir. Bir su molekülü bir oksijen ve iki hidrojen atomu içerir. Sıkça kullanılan "Su" terimi, sıvı fazdaki H₂O'ya karşılık gelir; ancak kimyasal olarak katı halde buz ve gaz halindeki buhar da sudur. Atmosferdeki su aslında en etkili sera gazlarından biridir, ancak su olmadan, gezegende yaşanabilir bir çevreye sahip olunamayacağını da biliyoruz.

F.2. BOZUNMA ÜRÜNÜ OLARAK SU

SF₆ yalıtımlı ekipmanında herhangi bir bakım programı için nem ölçümü ve nem kontrolü gereklidir. Yüksek nem seviyeleri, yalıtıcıların veya muhafaza gövdesinin yüzeyinde suyun sıvı fazına yoğunlaşmasına ve yalıtım performansının bozulmasına neden olabilir. Su buharı yoğunlaşmamasını sağlamak için, gazın maksimum donma noktası sıcaklığı -5 °C'nin altında tutulur. Yoğuşma olursa, su buz şeklinde olacak ve yalıtım performansını daha az etkileyecektir.

İkinci bir husus SOF₂'nin H₂O ile reaksiyona girmesiyle HF ve SO₂'nin üretilmesidir. HF genellikle metal fluorür üretmek için muhafazanın metal oksitleri ile hızlı bir şekilde etkileşime girer ve korozyon olduğu için izolasyonların bozulmasına da neden olabilir.

Çoğu kullanıcı, bu iki potansiyel problemi önlemek amacıyla, SF₆ yalıtımlı ekipmanlardaki nemi periyodik olarak ölçmektedirler. Bununla birlikte, mühendisler nem ölçümlerini gerçekleştirirken sonuçların yorumlanmasında güçlüklerle karşılaşmaktadırlar.

SF₆'da nem ölçümü sorunu değerlendirildiğinde, SF₆ gazı içerisinde buhar fazında bulunabileceği, muhafazanın yüzeyine adsorbe edildiği ve epoksi izolasyonlar gibi polimerik malzemeler içinde emildiği sonuçlarına ulaşılmaktadır. Nem ölçümü, yalnızca SF₆ gazı içindeki su buharı miktarını tespit eder ve sistem içindeki toplam su içeriğini belirleyemez. Adsorpsiyon ve desorpsiyon, SF₆ ile dolu bölmedeki su moleküllerinin dağılımını etkileyen sıcaklığa bağlı süreçlerdir ve nem ölçümlerinde değişiklikler meydana getirirler. Kış serinliği içinde alınan nem ölçümleri yaz sıcaklığında alınan nem ölçümlerinden daha düşük olma eğilimindedir. Daha yüksek sıcaklıklarda, yüzeylerde ve dökme malzeme içindeki nem, su buharı olarak SF₆ gazına bırakılır.

F.3. TANIMLAR

F.3.1. Nem

Nem, suyun moleküler formunda yüzeyde veya katıların iç yapısında bağlıdır.

- Yüzeyde tutulan nem, katıların yüzeylerine yapışan ve biriken moleküler formdaki sudur.
- Emilen nem, moleküler formdaki suya nüfuz eden sudur. Suyun nüfuz derecesi malzemenin yapısına ve türüne bağlıdır.

F.3.2. Rutubet

Nem, bir gaz karışımında, gaz fazındaki (su buharı) sudur. Nemi ifade etmek için çeşitli terimler kullanılır.

- Su buharı kısmi basıncı, su buharının toplam basınca katkıda bulunduğu basınçtır veya genelde Pascal (Pa) cinsinden ifade edilen su buharı tarafından uygulanan kısmi basıncı ifade eder.
- Suya karşı doymuş buhar basıncı, belirli bir sıcaklıkta sıvı suya göre var olabilecek maksimum su buharı kısmi basıncıdır. Su buharı kısmi basıncını doyum buhar basıncının ötesinde arttırmaya yönelik herhangi bir girişim, sıvı suyun yoğunlaşmasına neden olur. Doymunluk buhar basıncı genellikle Pascal (Pa) cinsinden ifade edilir.
- Çiylenme noktası, su buharını sıvı halde yoğunlaşturmaya başlamak için bir gazın soğutulması gereken sıcaklıktır. Çiylenme noktası basınca bağlıdır ve ilgili basınç ile belirtilmelidir. Donma noktası doğru terim olmasına rağmen, teknik olarak doğru olmadığı halde, 0 °C'nin altında çiylenme noktasını kullanmak yaygın bir uygulamadır. Çiylenme noktası aşırı soğutulmuş sıvı formunda 0 °C'nin altında mevcut olabilir ve eşdeğer donma noktası sıcaklığından farklıdır. Aynı buhar basıncı için aşırı soğutulmuş sıvının çiylenme noktası, donma noktası (°C cinsinden ifade edildiğinde) değerinin yaklaşık %10 kadar altındadır. Örneğin, 38 Pa'lık bir buhar basıncı -33 °C'lik bir çiylenme noktasına ve -30 °C'lik bir donma noktasına karşılık gelir. İkisini birbirinden ayırmak önemlidir.
- Donma noktası, su buharının buz formunda birikmesini başlatmak için bir gazın soğutulması gereken sıcaklıktır. Donma noktası basınca bağlıdır ve ilgili basınç ile belirtilmelidir. Donma noktası sadece 0 °C'nin altında bulunur.
- Bağıl nem, belirli bir sıcaklıktaki su buharı kısmi basıncı ve doyma buhar basıncı arasındaki orandır ve % RH olarak ifade edilmiştir.
- Hacim oranı, su buharı hacminin nemli gazın toplam hacmine oranıdır ve genellikle hacimde milyonda partikül miktarı ppm_v cinsinden veya sayısal eşdeğeri µl/l olarak ifade edilir. ppm_v'nin basınca bağımlılığı yoktur, aynı zamanda gaz türünden veya karışımından da bağımsızdır.
- Ağırlık oranı, su buharı kütlelerinin, nemli gazın toplam kütlelerine oranıdır ve genellikle ağırlıkça milyonda partikül miktarı ppm_w cinsinden veya sayısal eşdeğeri mg/kg olarak ifade edilir. ppm_w'nin basınca bağımlılığı yoktur, ancak bileşen türünün moleküler ağırlığı üzerinden gaz türüne ve karışımına bağlıdır.
- Hacim fraksiyonu, su buharı hacminin kuru gaz hacmine olan fraksiyonudur ve genellikle hacimde milyonda partikül miktarı ppm_v cinsinden veya sayısal olarak

eşdeğeri $\mu\text{l/l}$ olarak ifade edilir. ppm_v 'nin basınca bağımlılığı yoktur. Aynı zamanda gaz türünün veya karışımından da bağımsızdır.

- Ağırlık fraksiyonu, kuru buhar kütesine su buharı kütesinin fraksiyonudur ve genellikle ağırlıkça milyonda ppm olarak yani ppm_w veya sayısal eşdeğeri mg/kg olarak ifade edilir. ppm_w 'nin basınca bağımlılığı yoktur, ancak bileşenlerin moleküler ağırlığı üzerinden gaz türüne ve karışımına bağlıdır.
- Molekül ağırlığı, belirli bir maddenin bir molünün kütesidir. g/mol olarak ifade edilir.

F.4. BASINÇ VE SICAKLIK ETKENLERİ

F.4.1. Basınç Etkeni

Donma/çiylenme noktası basınca bağlıdır ve belli bir basınçta donma/çiyleşme noktasından başka bir basınçta eşdeğer donma/çiylenme noktasına dönüştürülebilir. Doğru sonuçları elde etmek için aşağıdakilere dikkat edilmelidir.

Donma/çiy noktası sıcaklığı karşılık gelen basınç olmadan herhangi bir şey ifade etmez. Genellikle donma/çiylenme noktası, gaz bölmesi basıncına veya atmosferik/standart basınca (100 kPa) göre değişir. Basınç sensörü olmayan, ancak ppm_v veya ppm_w endikasyonlu higrometreler genellikle 100 kPa mutlak standart basınçta ölçüm yapıldığı varsayımıyla donma/çiylenme noktasını bu birimlere çevirirler. Yüksekliğe ve hava ile ilgili diğer değişkenlere bağlı olarak atmosferik basınç mutlaka 100 kPa olmayabilir.

Tarihsel olarak, hesaplama yeteneği eksikliği nedeniyle çiylenme noktası, SF_6 dolu ekipmanlarda nemlilik verilerini raporlamak için doğrudan ölçüm ve fiili standart olarak kullanılmıştır. Ancak dahili bilgi işlem özelliğine sahip daha yeni teknolojiler, basınca bağlı donma/çiylenme noktasından basınçtan bağımsız ppm 'e otomatik dönüşüm sağlamaktadırlar. Nem değerlerinin basınca bağlı değişimlerinden kaçınmak için veri raporlamasında donma/çiylenme noktası yerine ppm kullanımı düşünülmelidir.

SF_6 alanında coğrafi ve tarihsel nedenlerden dolayı çeşitli basınç birimleri kullanılmaktadır. Bar ve psi gibi uluslararası birim sistemine dahil olmayan bazı birimler hala kullanılmaktadır. Bazı basınç ölçümleri göreceli (gösterge) basıncına atıfta bulunmaktadır. Basınç için uluslararası onaylanmış sistem birimi Pascal'dır ($\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Basınç birimi kilo Pascal (kPa) mutlak, yüksek gerilim uygulamalarında standart birimdir ve basınca ve basınca bağlı nem ölçüm sonuçlarının denkliğini sağlamak için kullanımı önerilmektedir.

F.4.2. Sıcaklığa Bağlı Basınç Bağımlılığı

Donma noktası/çiylenme noktası tanıma göre sıcaklığa bağlı olmasa da, kapalı bir hazne içindeki toplam basınç ve su buharı kısmi basıncı sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça veya azaldığında, toplam basınç ve su buharı kısmi basıncı orantılı olarak artar veya azalır, bu nedenle basınç

değişimi nedeniyle donma/çiylenme noktasında bir değişiklik olur. Bu etki yalnızca bölme basıncında yapılan donma/çiylenme noktası ölçümleri için geçerlidir. Bununla birlikte, bu etki sıcaklığa bağlı adsorpsiyon, absorpsiyon ve desorpsiyon etkilerine kıyasla önemsizdir.

F.4.3. Sıcaklık Etkeni

Nem ölçümü, emilen ve yüzeyde tutunan nem yerine SF₆'daki su buharı içeriğini belirler. Bu nedenle, sonuçlar sistemdeki toplam su içeriğinin yalnızca bir bölümünü göstermektedir. Nem ölçümleri kışın yapıldığında, sonuçlar her zaman yazdan düşüktür. Bu mevsimsel değişim, elektrik mühendislerine kafa karıştırıcı olabilecek düzensiz ölçüm izlenimi yaratabilir. Eğer iyi anlaşılıyorsa, kaydedilen değerlerin bu değişkenliği, genel gaz veya nem ölçüm programında güven kaybına neden olabilir. Sıcaklığın etkisi ayrıca, ölçümlerin sistemdeki maksimum nem değerlerini elde etmek için yaz aylarında yapılması gerektiğini ifade eder. Bu durum, 20 °C'ye normalleştirme işlemlerindeki kanıtlanmış zorluklar sebebiyle diğer dökümanlarda da tavsiye edildiği gibi sistem operatörleri arasında yaygın bir uygulamadır. Gaz bölmelerindeki nem oranının sıcaklığa bağlı değişimi, su buharı açısından gaz özelliklerinin bir fonksiyonu değil, gaz kompartmanı içindeki malzemelerden nem emilimi/soğurulması ve salınması etkisi anlamına gelir.

Nem verilerini 20 ° C'ye normalleştirmek için deneysel fonksiyonlar türetmek ve bu etkiyi ölçmek için çalışmalar yapılmıştır. Ancak deneysel fonksiyonlar gaz bölmelerinin tasarımı, yapı malzemeleri ve o günkü durumuna bağımlı olduğu için evrensel nitelikte bir fonksiyon tanımlanması oldukça karmaşık ve tartışmalıdır.

F.4.4. IEC SF₆ Basınç ve Sıcaklık Özellikleri

IEC 60376 (yeni SF₆ için) ve IEC 60480 (kullanılmış SF₆ için) standartlarında, kabul edilebilir maksimum safsızlık seviyeleri tanımlanmıştır. Bu maksimum nem seviyeleri, 100 kPa basınç ve 20 °C sıcaklık değerlerine göre referans edilmiştir. Referans basınç ile donma/çiylenme noktasının basınca bağımlılığı düzgün bir şekilde hesaplanır. Ancak, 20 °C için verilen karakteristikler, verileri o sıcaklığa dönüştürmenin bir gereği olarak yanlış anlaşılmaktadır. Bazı imalatçılar ve kamu şirketleri tarafından 20 °C'ye dönüştürme uygulanırken, evrensel bir yöntem tanımlanmamıştır.

F.4.5. Çeşitli Gaz Karışımlarında ppm_w Cinsinden Su İçeriği

ppm_w cinsinden ifade edilen nem değerleri taşıyıcı gazın molekül ağırlığına bağlıdır. Ağırlık olarak milyonda partikül miktarı genellikle belirli bir gaz karışımındaki su buharı veya gaz karışımları gibi ikili karışımlara ilişkin kullanılır. Taşıyıcı gaz karışımı değişirse farklı moleküler ağırlık dikkate alınmalıdır. Tüm gaz yalıtımlı tesisatlar saf SF₆ ile doldurulmaz. Örneğin, Gaz İzoleli Hatlar (GIL) SF₆ tipik olarak %50 ila %90 Azot (N₂) ile karıştırılır. Düşük sıcaklık uygulamalarında SF₆, gazda sıvılaşmayı önlemek için %20'ye kadar CF₄ (karbondetraflorür) ile karıştırılır. Gaz bölmelerini boşaltmak için azot veya kuru hava kullanılır. Bu örneklerde, taşıyıcı gazın moleküler ağırlığına

göre ölçülen ppm_w, saf SF₆'daki ppm_w'ye göre büyük ölçüde farklı olacaktır.

Tablo 14, doğru molekül ağırlığı uygulandığında farklı gazların ve gaz karışımlarının ppm_w değerlerini göstermektedir. Tüm veri raporlaması için her zaman ppm_w yerine ppm_v'yi kullanmanız önerilir.

| Gaz Bileşimi | Molekül Ağırlığı | Donma Noktası °C 100 kPa'da | ppm _v | ppm _w |
|--|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| 100% SF ₆ | 146.05 | -42 | 100 | 12.34 |
| 95% SF ₆ ve 5% Hava | 140.18 | -42 | 100 | 12.86 |
| 50% SF ₆ ve 50% Azot | 87.02 | -42 | 100 | 20.71 |
| 10% SF ₆ ve 90% Azot | 39.80 | -42 | 100 | 45.28 |
| 90% SF ₆ ve 10% CF ₄ | 140.25 | -42 | 100 | 12.85 |
| 100% Hava | 28.97 | -42 | 100 | 62.21 |
| 100% Azot | 28.01 | -42 | 100 | 64.33 |
| 100% CF ₄ | 88.01 | -42 | 100 | 20.48 |

Tablo 14 - Çeşitli Gazlar için Ağırlıkça Hacim Oranı

F.5. BİRİMLERİN BELİRLENMESİ

F.5.1. Çiy veya Donma Noktası

Tarihsel olarak, çiy ve don noktası arasında hiçbir ayırım yapılmamıştır. Donma noktası doğru terim olmasına rağmen çiylenme noktası 0 °C'nin altındaki değerler için kullanılmıştır. Bu nedenle, standart ve talimatlarda (IEC, CIGRÉ ve IEEE) tanımlanan 0 °C'nin altındaki çiy noktası değerleri daima donma noktası olarak yorumlanmalıdır. Belirsizlikleri önlemek için doğru terimin kullanımı şiddetle tavsiye edilir.

F.5.2. Hacim/Ağırlık Oranı ile Hacim/Ağırlık Fraksiyonu

Çoğu kez, ppm_v ve ppm_w ifadelerinin katı formda adlandırılan bir hacim/kütle oranını mı yoksa sıvı formda ifade olarak adlandırılan bir hacim/kütle fraksiyonunu mu kastettiği belirsizdir. Hacim/kütle fraksiyonunda toplam hacim, su buharı giderildiğinde bu hacimdeki kuru gazdan kalacak hacim yerine bölen olarak kullanılır. Bu değeri hesaplamak için birbiriyle yarışan iki yöntem olsa da, sayısal fark, SF₆ için Tablo 15 ve Tablo 16'da gösterildiği gibi belli aralık içinde göz ardı edilebilir.

| Hacim Oranı ppm _v | Hacim Fraksiyonu ppm _v | Donma/Çiylenme Noktası °C 100 kPa'da |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 10000 | 9900 | 6.8 |
| 1000 | 999.0 | -20 |
| 100 | 99.99 | -42 |
| 10 | 9.999 | -60 |

Tablo 15 - Hacim Oranı

| Ağırlık Oranı ppm _w | Ağırlık Fraksiyonu ppm _w | Donma/Çiylenme Noktası °C 100 kPa'da |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1000 | 999.0 | 3.7 |
| 100 | 99.99 | -23 |
| 10 | 9.999 | -44 |
| 1 | 0.9999 | -62 |

Tablo 16 - Ağırlık Oranı

F.6. HESAPLAMALAR VE DÖNÜŞÜMLER

Değişik parametrelerle çeşitliliği sağlayan birtakım ölçüm araçları mevcuttur. Buna ek olarak, üreticiler kabul edilebilir sınırlarını farklı birimler halinde belirtmektedirler. Ölçülen ve raporlanan parametreler arasındaki denkliği sağlamak için bu değişken birimler ve değerler arasındaki formüller ve dönüşümler sunulmuştur.

F.6.1. Semboller, Birimler ve Değerler

| Açıklama | Sembol | Birimler | Değer |
|---|---------|----------|--------|
| Toplam Basınç | p | Pa, kPa | - |
| Standart Basınç | p | kPa | 100 |
| Sıcaklık | t, T | °C, K | - |
| Su Buharı Kısmi Basıncı | e | Pa | - |
| Suya Göre Doymuş Buhar Basıncı | e_w | Pa | - |
| Buza Göre Doymuş Buhar Basıncı | e_i | Pa | - |
| Çiylenme Sıcaklığı | t_d | °C | - |
| Donma Sıcaklığı | t_f | °C | - |
| Bağıl Nem | RH | % | - |
| Hacim Oranı, Hacim İtibariyle Milyonda Partikül | ppm_v | µl/l | - |
| Ağırlık Oranı, Ağırlık İtibariyle Milyonda Partikül | ppm_w | mg/kg | - |
| Taşıyıcı Gaz Moleküler Ağırlığı (SF ₆) | M_g | g/mol | 145.06 |
| Su Buharı Moleküler Ağırlığı (H ₂ O) | M_v | g/mol | 18.02 |

Tablo 17 - Semboller, Birimler ve Değerler

F.6.2. Temel Formüller

F.6.2.1. Suyu Göre Doymuş Buhar Basıncı

Belirli bir sıcaklıktaki suya göre doymuş buhar basıncını ifade etmek için birçok farklı denklem vardır. Bu denklemlerin karmaşıklığı çeşitli derecelerde değişir. Bazıları çok sayıda parametreye sahiptir ve analitik olarak geri döndürülebilirler. Çoğu teknik uygulama için, Magnus tarafından daha karmaşık bir yaklaşım verilmektedir. Bu formül, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak suya göre doymuş buhar basıncını sağlar ve buhar basıncının bir fonksiyonu olarak çiy noktası sıcaklığını sağlamak için tersine çevrilebilir. Bu formül, -45 ... +50 °C aralığında su ve aşırı soğutulmuş su için geçerlidir.

$$e_w = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{17,62 \cdot t}{243,12 + t}\right) \quad (1)$$

e_w suya göre doymuşluk buhar basıncı Pa cinsinden
 t sıcaklık °C cinsinden

F.6.2.2. Buza Göre Doymuş Buhar Basıncı

Belirli bir sıcaklıktaki buza göre doymuş buhar basıncını ifade etmek için birçok farklı denklem vardır. Bu denklemlerin karmaşıklığı çeşitli derecelerde değişir. Bazıları çok sayıda parametreye sahiptir ve analitik olarak geri döndürülebilirler. Çoğu teknik uygulama için, Magnus tarafından daha karmaşık bir yaklaşım verilmektedir. Bu formül, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak buza göre doymuş buhar basıncını sağlar ve buhar basıncının bir fonksiyonu olarak çiy noktası sıcaklığını sağlamak için tersine çevrilebilir. Bu formül, -65 ... 0 °C aralığında buz için geçerlidir.

$$e_i = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot t}{272,62 + t}\right) \quad (2)$$

e_i buza göre doymuşluk buhar basıncı Pa cinsinden
 t sıcaklık °C cinsinden

F.6.2.3. Çiy Noktası Sıcaklığı

Suya göre doymuş buhar basıncı için Magnus formülü, denklem 1, bilinen bir buhar basıncı göz önüne alındığında, çiy noktası sıcaklığını hesaplamak için ters çevrilebilir. Denklem, -45 ... +50 °C sıcaklık aralığında geçerli olan aşağıdaki formları alır.

$$t_d = 243,12 \cdot \frac{\ln\left(\frac{e}{611,2}\right)}{17,62 - \ln\left(\frac{e}{611,2}\right)} \quad (3)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden
 t_d çiy noktası sıcaklığı °C cinsinden

Çiy noktası sıcaklığındaki (t_d) buhar basıncını (e) hesaplamak için 1 eşitliğindeki t sıcaklığı çiy noktası sıcaklığı t_d ile değiştirilir.

$$e = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{17,62 \cdot t_d}{243,12 + t_d}\right) \quad (4)$$

F.624. Donma Noktası Sıcaklığı

Doymuş buhar basıncı denklemini (2)'ye göre magnus formülü bilinen bir buhar basıncında donma noktası sıcaklığını hesaplamak için ters çevrilebilir. Denklem, -65 ... 0 ° C sıcaklık aralığında geçerli olan aşağıdaki formları alır.

$$t_f = 272,62 \cdot \frac{\ln\left(\frac{e}{611,2}\right)}{22,46 - \ln\left(\frac{e}{611,2}\right)} \quad (5)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden
 t_f donma noktası sıcaklığı °C cinsinden

Donma noktası sıcaklığındaki (t_f) buhar basıncını (e) hesaplamak için 1 eşitliğindeki t sıcaklığı donma noktası sıcaklığı t_f ile değiştirilir.

$$e = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot t_f}{272,62 + t_f}\right) \quad (6)$$

F.625. Bağıl Nem (WMO Tanımı)

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tanımlanan bağıl nem, belirli bir sıcaklıkta (doymuş buhar basıncı) hatta 0 °C altında bile var olabilen suya göre buhar basıncının maksimum buhar basıncına oranı olarak tanımlanır Denklem şu şekilde verilir:

$$RH = \frac{e}{e_w} \cdot 100 \quad (7)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden
 e_w bilinen bir t sıcaklığında suya göre doymuş buhar basıncı

Bağıl nemden buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = \frac{RH \cdot e_w}{100} \quad (8)$$

F.626. Bağıl Nem (Teknik Tanım)

Bağıl nem, mevcut buhar basıncının belirli bir sıcaklıkta var olabilen maksimum buhar basıncına oranı (doymuş buhar basıncı) olarak tanımlanır. Sıcaklık 0 °C'nin üzerinde olduğunda teknik ve WMO tanımları arasında bir fark yoktur. WMO'nun aksine, 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, paydada buza göre doymuş buhar basıncı değeri kullanılır. Denklem şu şekilde verilir:

$$RH = \frac{e}{e_w} \cdot 100 \quad t \geq 0 \text{ için} \quad (9)$$

$$RH = \frac{e}{e_i} \cdot 100 \quad t < 0 \text{ için} \quad (10)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden

e_w 0 °C'nin üzerinde t sıcaklığında suya göre doymuş buhar basıncı

e_i 0 °C'nin altında t sıcaklığında buza göre doymuş buhar basıncı

Bağıl nemden buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = \frac{RH \cdot e_{w,i}}{100} \quad (11)$$

F.627. Hacim Oranı, Hacim İtibariyle Milyonda Partikül Miktarı

Hacim oranı, su molekülleri sayısının taşıyıcı gazın molekül sayısına (SF_6) oranı olarak tanımlanır. Çoğunlukla hacim olarak milyonda partikül miktarı olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$ppm_v = \frac{e}{p - v} \cdot 10^6 \quad (12)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden

p e buhar basıncının ölçüldüğü toplam basınç

ppm_v ve (p) toplam basınçtan e buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = \frac{ppm_v \cdot p}{ppm_v + 10^6} \quad (13)$$

F.628 Ağırlık Oranı, Ağırlık İtibariyle Milyonda Partikül Miktarı

Ağırlık oranı, su kütlesinin taşıyıcı gaz molekül sayısına (SF_6) oranı olarak tanımlanır. Çoğunlukla ağırlık olarak milyonda partikül miktarı olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$ppm_w = \frac{M_v}{M_g} \cdot \frac{e}{p - e} \cdot 10^6 \quad (14)$$

- e buhar basıncı Pa cinsinden
 p e buhar basıncının ölçüldüğü toplam basınç
 M_v suyun moleküler ağırlığı (H_2O) 18,02
 M_g SF_6 'nın moleküler ağırlığı (SF_6) 146,05

Su ve SF_6 moleküler ağırlıkları kullanılarak oluşan yeni denklem:

$$ppm_w = \frac{18,02}{146,05} \cdot \frac{e}{p - e} \cdot 10^6 = 0,123 \cdot \frac{e}{p - e} \cdot 10^6 \quad (15)$$

ppm_w ve (p) toplam basınçtan e buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = 8,1 \cdot \frac{ppm_w \cdot p}{ppm_w + 10^6} \quad (16)$$

F.629 Hacim Fraksiyonu, Hacimde Milyonda Partikül Miktarı

Hacim fraksiyonu su molekül sayısının toplam molekül sayısına oranı olarak tanımlanır. Çoğunlukla hacimde milyonda partikül miktarı (ppm_v) olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$ppm_v = \frac{e}{p} \cdot 10^6 \quad (17)$$

- e buhar basıncı Pa cinsinden
 p e buhar basıncının ölçüldüğü toplam basınç

ppm_v ve (p) toplam basınçtan e buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = \frac{ppm_v \cdot p}{10^6} \quad (18)$$

F.62.10. Ağırlık Fraksiyonu, Ağırlık Olarak Milyonda Partikül Miktarı

Ağırlık fraksiyonu su kütlesinin toplam gaz kütlesine oranı olarak tanımlanır. Çoğunlukla ağırlık olarak milyonda partikül miktarı (ppm_w) olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemle verilir:

$$ppm_w = \frac{M_v}{M_g} \cdot \frac{e}{p} \cdot 10^6 \quad (19)$$

e buhar basıncı Pa cinsinden

p e buhar basıncının ölçüldüğü toplam basınç

M_v suyun moleküler ağırlığı (H_2O) 18,02

M_g SF_6 'nın moleküler ağırlığı (SF_6) 146,05

Su ve SF_6 moleküler ağırlıkları kullanılarak oluşan yeni denklem:

$$ppm_w = \frac{18,02}{146,05} \cdot \frac{e}{p} \cdot 10^6 = 0,123 \cdot \frac{e}{p} \cdot 10^6 \quad (20)$$

ppm_w ve (p) toplam basınçtan e buhar basıncını hesaplamak için denklem terse çevrilirse:

$$e = 8,1 \cdot \frac{ppm_w \cdot p}{10^6} \quad (21)$$

F.6.3. Nem Çevrimleri

F.63.1 ppm_v ve ppm_w dönüşümleri

En basit dönüşüm ppm_v ve ppm_w arasındadır. Bu dönüşümler su miktarı 146,05 g/mol moleküler ağırlığı olan saf SF_6 içindeki su miktarı ölçüldüyse şu şekilde yapılır;

$$ppm_v = 8,1 \cdot ppm_w \quad (22)$$

$$ppm_w = 0,123 \cdot ppm_v \quad (23)$$

F.63.2 Donma/Çiy Noktası Basınç Düzeltmeleri

Donma/çiylenme noktası basınca bağlı bir değerdir ve genellikle standart basınçta (100 kPa) veya

sistem basıncında (örneğin 450 kPa) ölçülür. Donma/çiylenme noktasını bir basınçtan diğerine dönüştürmek için aşağıdaki prosedürü kullanılır.

(p₁) basıncındaki donma noktasını (p₂) basıncındaki eşdeğer donma noktasına dönüştürmede;

6 numaralı denklemden, toplam basınç (p₁)'e göre buhar basıncını (e₁) hesaplamak için donma noktası sıcaklığı (t₁) kullanılır

$$e_1 = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot t_1}{272,62 + t_1}\right) \quad (24)$$

(e₁) buhar basıncını (p₂) toplam basınca göre (e₂) buhar basıncına çevirmek için;

$$e_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot e_1 \quad (25)$$

Denklemler 5 ve (e₂) buhar basıncı ile, (p₂) basıncına göre (t₂) donma sıcaklığı hesaplanır;

$$t_2 = 272,62 \cdot \frac{\ln\left(\frac{e_2}{611,2}\right)}{22,46 - \ln\left(\frac{e_2}{611,2}\right)} \quad (26)$$

Bu prosedürler takip edilerek 100kPa ve -20 °C'deki ölçülen donma noktası sıcaklığı, 450 kPa değerindeki sistem basıncına göre hesaplanırsa;

$$t_1 = -20 \text{ °C}$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 450 \text{ kPa}$$

$$e_1 = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot (-20)}{272,62 + (-20)}\right) = 103,26 \quad (27)$$

$$e_2 = \frac{450}{100} \cdot 103,26 = 464,67 \quad (28)$$

$$t_2 = 272,62 \cdot \frac{\ln\left(\frac{464,67}{611,2}\right)}{22,46 - \ln\left(\frac{464,67}{611,2}\right)} = -3,3 \text{ °C} \quad (26)$$

Donma noktası sistem basıncı (p₂)'ye göre yani 450 kPa'ya göre -3,3 °C olarak hesaplanmıştır.

(p) basıncına göre donma noktasını (t_f) (ppm_v)'ye dönüştürmede;

13 numaralı denklemden, toplam basınç (p)'ye göre buhar basıncını (e_1) hesaplamak için (ppm_v) kullanılır;

$$e_i = \frac{ppm_v \cdot p}{ppm_v + 10^6} \quad (30)$$

Denklem 5 ve (e_i) buhar basıncı ile, (p) basıncına göre (t_f) donma sıcaklığı hesaplanır;

$$t_f = 272,62 \cdot \frac{\ln\left(\frac{e_i}{611,2}\right)}{22,46 - \ln\left(\frac{e_i}{611,2}\right)} \quad (31)$$

Bu prosedürler takip edilerek 100 ppm_v 100 kPa değerindeki sistem basıncı kullanılarak eşdeğer donma noktasına dönüştürülürse;

$$ppm_v = 150$$

$$p = 100 \text{ kPa} = 100000 \text{ Pa}$$

$$e_i = \frac{150 \cdot 100000}{150 + 10^6} = 14,998 \quad (32)$$

$$t_f = 272,62 \cdot \frac{\ln\left(\frac{14,998}{611,2}\right)}{22,46 - \ln\left(\frac{14,998}{611,2}\right)} = -38,6 \text{ °C} \quad (33)$$

Donma noktası standart basıncı (p)'ye göre 100 kPa ve 150 ppm_v'ye göre -38,6 °C'dir.

Denklem 6 ve (t_f) donma sıcaklığı ile, ölçülen (p) basıncına göre (e) buhar basıncı hesaplanır;

$$e = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot t_f}{272,62 + t_f}\right) \quad (34)$$

Denklem 12 ile buhar basıncı (e) ve ölçüm basıncı (p)'ye göre (ppm_v) hesaplanır;

$$ppm_v = \frac{e}{p - e} \cdot 10^6 \quad (35)$$

Bu prosedür takip edilerek p standart basıncı 100 kPa'da ölçülen -40 °C donma sıcaklığı eşdeğer hacim oranı ppm_v'ye dönüştürülürse;

$$t_f = -40 \text{ °C}$$

$$p = 100 \text{ kPa} = 100000 \text{ Pa}$$

$$e = 611,2 \cdot \exp\left(\frac{22,46 \cdot (-40)}{272,62 + (-40)}\right) = 12,850 \quad (36)$$

$$ppm_v = \frac{12,850}{100000 - 12,850} \cdot 10^6 = 128,5 \quad (37)$$

100 kPa'da ölçülen -40 °C donma sıcaklığı eşdeğer hacim oranı 128,5 ppm_v hesaplanmıştır.

G. GAZ İZOLELİ TRANSFORMATÖR VE REAKTÖRLER

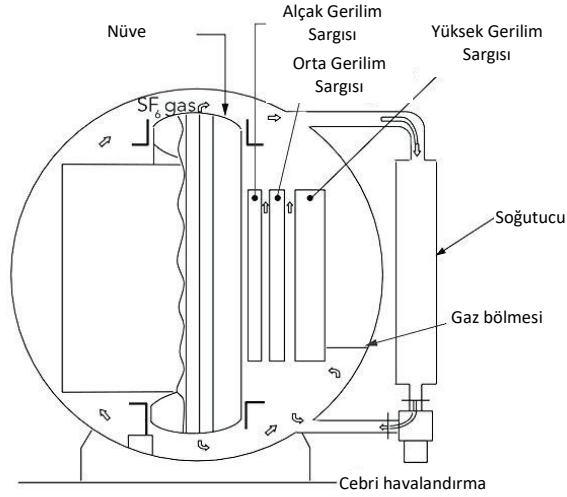
G.1. GİRİŞ

Gaz yalıtımlı transformatörler (GIT) ve reaktörler (GIR) sınırlı bir uygulama alanına sahipken, trafo merkezlerini geniş kentsel alanlarda kurma gereksinimi uygulamalarda artışa neden olmaktadır. Daha büyük kapasiteli gaz izoleli transformatörler 330 kV'da 400 MVA seviyesine erişmişlerdir.

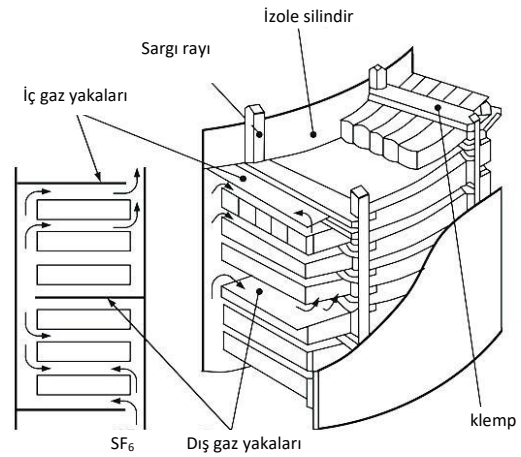
G.2. GAZ İZOLELİ TRANSFORMATÖRLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Birkaç GIT türü olmasına rağmen en yaygın olanlar gaz soğutmalı ve gaz yalıtımlı tiplerdir. Gaz basıncı 100 MVA'nın altında 0,12 MPa ve daha büyük üniteler için 0,43 MPa olmak üzere birim boyutuyla artar. Yalıtım ve soğutma kapasitesini artırmak için daha yüksek basınç gereklidir.

Şekil - 20 ve Şekil - 21, yüksek basınç GIT'sinin bir örneğini göstermektedir. Çekirdeğin yapısı ve sarım, geleneksel yağlı dalgıç transformatörlerde kullanılan benzer basit bir yapıdadır. Sargılar ve çekirdek soğutulur ve yüksek basınçlı SF₆ gazı ile izole edilir. Deponun alt tarafından alınan SF₆ gazı, sargıyı ve çekirdeği soğutur, deponun üst kısmında toplanır, radyatöre geri döndürülür ve soğutulur. Transformatör disk tipi bir sarıma sahiptir ve iç gaz, gaz yakaları tarafından yönlendirilen bir zikzak yoluna akar.



Şekil 20 - GIT Prensip Şeması



Şekil 21 - GIT Sargı Yapısı

SF₆ gazı soğutma kapasitesi yalıtım yağınınkinden daha düşüktür ve bu nedenle gerekli soğutmayı sağlamak için büyük miktarda SF₆ gazı dolaştırılmalıdır.

G.2.1. İletken İzolasyonu

Yağ izoleli transformatörlerdeki yalıtım kağıtları yerine iletken yalıtımı için plastik filmler veya

aramid kağıdı kullanılır. En tipik film, polietilen tereftalat (PET) 'dir. Film, yüksek mekanik ve dielektrik mukavemete sahiptir, aynı zamanda yüksek termal direnç sıcaklığına sahiptir.

G.2.2. Yükte Kademe Değiştirici

Seçici anahtarının ark kontakları için vakumlu şalterler kullanılır. Ayrışma ürünlerinin oluşmasını önlemek için SF₆'lı ortamda kesme işleminden kaçınılmaktadır.

G.3. GAZ İZOLELİ TRAFOLAR VE REAKTÖRLER – KİRLETİCİLER

G.3.1. Giriş

Ünite içindeki anormallikleri tanımlamak için GIT ve GIR'lerin başlangıcından beri gaz analizi kullanılmıştır. Ünite içerisinde herhangi bir anahtarlama olmadığından, tespit edilebilir SF₆ ayrışma ürünleri seviyesi endişe vericidir. Bu analiz, bazı bozunma ürünlerinin oranına atıfta bulunarak anormal durumun belirlenebildiği aşamaya geçmiştir.

G.3.2. CO₂ / CO Konsantrasyon Seviyesinin Analizi

Bileşenler CO₂ ve CO (Karbondiyoksit ve Karbonmonoksit), GIT'lerde selüloz malzemeden üretilir ve oranlarının ölçülmesi faydalı bir arıza tanımlama tekniğidir. Katı izolatörlerin eskimesiyle oluşan CO₂ miktarı, CO'kinden daha fazladır; bu nedenle, oranları izlemek, katı yalıtım malzemelerinde aşırı ısınma olup olmadığını gösterecektir. Tipik olarak, CO₂ / CO oranı 6'dan büyükse, aşırı ısınmayı gösterir. Bununla birlikte, emici varlığı CO₂'nin CO'dan daha çabuk emilmesi nedeniyle dikkate alınmalıdır.

G.3.3. SF₆ Bozunan Ürünler

Yeni gaz için belirlenen değerin üzerinde herhangi bir bozunma ürünü seviyesi endişe kaynağıdır ve daha fazla araştırılması gerekir.

ETRA [1] tarafından yapılan araştırmalar, SOF₂, SO₂F₂ ve SO₂ oranlarını karşılaştırarak elektrik deşarjlarını ve aşırı ısınmayı ayırt etmenin mümkün olduğunu belirtmiştir. SOF₂ veya SO₂F₂ miktarları SO₂'den çok daha büyükse, bu durum elektrik boşalmalarını gösterirken, SO₂ miktarı SOF₂ veya SO₂F₂'den daha büyükse, aşırı ısınmanın göstergesidir.

Referanslar

[1] Electric Technology Research Association of Japan, Report Vol. 54 — No.5.