



## **B2.04 Çalışma Grubu**

### **Teknik Raporu**

DOĞAL KİRLENMİŞ SİLİKON İZOLATÖRLERDE KİRLİLİK  
ÖLÇÜMÜ, KİMYASAL TESTLER VE ELEKTRİKSEL  
TESTLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ

**Rapor No: 2019-01**

Ocak 2019

## Üyeler

Mete UZAR (Başkan),

Prof.Dr. Murat ŞEN, Yrd.Doç.Dr. Suat İLHAN,

Dr. Davut AKSÜT, Dr. Ahmet KAŞIKÇI,

Mehmet TÜRKYURT, Ercüment ÖZDEMİRCİ,

Özger ÖRSÇEKİÇ, Serdar AKGÜN,

Yalçın KILIÇ, Gökhan YILMAZ,

Özhan ALADAĞ, Orhan DEMİRHAN

### **Telif Hakkı © 2019**

*Bu Teknik Rapora ait tüm haklar CIGRE Türkiye Ulusal Komitesi'ne aittir. Bu yayının herhangi bir üçüncü tarafın herhangi bir biçimde veya herhangi bir yöntemle çoğaltması veya sunması kesinlikle yasaktır. Sadece CIGRE Türkiye Üyesi şirketlerin kendi çalışanları ile sınırlandırılmış olmaları koşuluyla kendi intranetlerinde veya diğer şirket ağlarında yayımlamaları izin verilir. Bu yayının hiçbir bölümü CIGRE Türkiye Ulusal Komitesi'nden izin alınmaksızın çoğaltılamaz veya kullanılamaz.*

### **Sorumluluk Reddi**

*CIGRE Türkiye Ulusal Komitesi, bu yayının içeriği hakkında herhangi bir garanti veya güvence vermemekte ve bilgilerin doğruluğu veya kapsamı konusunda herhangi bir sorumluluk kabul etmemektedir.*

## İçindekiler Tablosu

|   |    |
|---|----|
| İçindekiler Tablosu.....  | 3  |
| Özet .....  | 5  |
| 1. IEC 60815-1 STANDARTINA GÖRE KİRLİLİK ÖLÇÜMLERİ .....  | 7  |
| 1.1 ESDD ve NSDD Hesaplaması .....  | 7  |
| 1.2 Kirlenme Düzeyi Belirleme Prosedürü .....   | 9  |
| Tablo 1; IEC/TS 60815-1:2008'e Göre ESDD Ve NSDD'ye Bağlı Olarak Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi..... | 10 |
| 1.3 Referans Spesifik Krepaj Uzunluğu (RUSCD) Hesaplama Prosedürü.....                                | 10 |
| 1.4 Kirlilik Sonuçları: .....   | 11 |
| Tablo 2; Kirlilik Test Sonuçları .....  | 12 |
| 2. İZOLATÖRÜN SİLİKON DIŞ KAPLAMASI İÇİN YAPILAN KİMYASAL TESTLER .....                               | 13 |
| 2.1 FTIR Testi (İnfrared Spektroskopisi) .....  | 13 |
| Tablo 3; FTIR Spektrumu Değerlendirme Sonuç Tablosu ((AC=O)/ (ACH3) .....                             | 17 |
| 2.2 TGA Testi (Termogravimetrik Analiz) .....   | 18 |
| Tablo 4; İzolatörlerin toplu TGA değerleri.....   | 19 |
| 2.3 Hidrofobisite Ölçümü .....  | 20 |
| 2.3.1 Temas Açısı Testleri .....  | 21 |
| Tablo 5; Numune izolatörlerin toplu temas açısı ölçüleri .....  | 24 |
| 2.3.2 STRI Sınıflandırma Rehberine Göre Hidrofobisitenin Bulunması .....                              | 25 |
| 2.4 DSC Testi (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) .....   | 29 |
| Tablo 6; Numunelerin Polimer Yapılarına göre Camsı Geçiş Sıcaklığı .....                              | 30 |
| 2.5 Çapraz Bağ Yoğunluğu Testi (XLD).....   | 31 |
| Tablo 7; Silikon izolatör numunelerinin $M_c$ ve XLD değerleri.....                                   | 32 |
| 2.6 SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop) .....   | 35 |

|   |    |
|---|----|
| 3.İZOLATÖRÜN SİLİKON DIŞ KAPLAMASI İÇİN YAPILAN KİMYASAL TESTLER .....              | 41 |
| 3.1 DSC Analizleri.....   | 41 |
| Tablo 8; Numune Silikon İzolatör Rodlarının Tg(Camsı Geçiş Sıcaklık) Değerleri..... | 43 |
| 3.2 SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop) .....                               | 44 |
| 3.3 Enerji Dağılım X-Işını (EDX) Spektrumları .....                                 | 46 |
| Tablo 9; Rod Kimyasal Bileşimi EDX Cihazı ile Ölçüm Sonuçları .....                 | 47 |
| 3.4 Kimyasal Test Değerlendirme Sonuçları.....                                      | 47 |
| 4. ELEKTRİKSEL TESTLER .....  | 48 |
| Tablo 10; 2013-2018 yılları arası numune alınan hatların arıza açma sayıları .....  | 52 |
| Tablo 11; Elektriksel Test Uygulanan İzolatörlerin Tasarım Değerleri .....          | 53 |
| Tablo 12; Elektriksel Test Sonuçları.....   | 54 |
| 4.1 Elektriksel Test Sonuçları ve Öneriler.....                                     | 55 |
| KAYNAKÇA .....  | 58 |

## Özet

Türkiye İletim Sisteminde kullanılan silikon izolatörlerin saha performanslarının tespit edilmesi ve ömür tayini yapılabilmesi için 154 kV ve 400 kV silikon izolatörlerde CIGRE TB 595 “Fingerprinting of Polymeric Insulating Materials for outdoor use” çalışması referans alınarak işletmeden çıkarılan toplam 33 adet izolatöre Görsel Kontrol, Kimyasal Testler, Ömür tayin Testleri, Kirlilik testleri, Elektriksel Testler yapılmıştır.

Numune seçiminde ilgili hattın arıza istatistikleri, coğrafi çeşitlilik ve izolatör kullanım süreleri dikkate alınmıştır.

Görsel İnceleme; Görsel incelemede silikon izolatörlere ait tüm boyutlar ölçülmüştür. Yine bu izolatörlerin yüzey pürüzlülüğü ve kirlilik durumu gözle kontrol edilmiştir. Gözle yapılan kontrollerde izolatörlerin kirlilik performansları birlikte değerlendirildiğinde, benzer koşullar altında izolatör tasarımının kirlilik performansında belirleyici etken olduğu görülmüştür.

Özellikle küçük etek profiline sahip izolatörlerde izolatör etekleri arasındaki mesafe kısa tutulan izolatörlerin kirlilik yönünden oldukça kötü durumda olduğu görülmüştür. Bunun gerekçesi de net olarak kirlenen izolatörlerin mevsimsel dönemlerdeki yağış ve rüzgar etkisine rağmen yeteri kadar temizlenememesi olarak değerlendirilmiştir.

Kimyasal Testler; Kimyasal Testler için hem silikon izolatör gövdesinden hem de rod kısmından numune alınmıştır. Bu ürünler hammadde ve üretim yöntemleri (LSR ve HTV) dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Silikon Silikon Gövde için;

- FTIR Testi (Infrared Spektroskopisi)
- TGA Testi (Thermogravimetric Analiz)
- Hidrofobisite Ölçümü
- DSC Testi (Differansiyel Taramalı Kalorimetre)

Rod için;

- DSC Testi (Differansiyel Taramalı Kalorimetre)
- Enerji Dağılım X-Işını (EDX) Spektrumu

testleri yapılarak silikon ve rod malzemelerinin kimyasal içerikleri kontrol edilmiştir. Yapılan kontrollerde LSR silikon izolatörlerde benzer kimyasal içerik gözlemlenmiş olmasına rağmen, HTV silikon izolatörlerde hem üretim kaynaklı hem de hammadde tedarik sürecindeki değişikliklerden dolayı farklılıklar görülmüştür.

Kimyasal içerik testleri ile SEM görüntüleri birlikte değerlendirildiğinde, dolgu miktarı fazla olan silikon izolatörlerde benzer çalışma koşulları altında yüzey pürüzlülüğünün daha fazla arttığı görülmüştür. Bu yüzden silikon izolatörlerin yaşlanma performansları için dolgu miktarlarında belli bir kısıt kullanılması gerekmektedir.

Ömür Tayini Testi; Ömür Tayini için Çapraz Bağ Yoğunluğu Testi (XLD) ve SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop) ölçümleri üzerinden değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

XLD test sonuçlarında kullanılmamış silikon izolatörlerin başlangıç çapraz bağ yoğunluğu bilinmediğinden elde edilen sonuçların ömür tayininde tek başına kullanılması yanıltıcı sonuçlar verebilecektir. Bu yüzden XLD sonuçları silikon izolatörlerin ömür tayininde tek başına değerlendirme kriteri olamaz. XLD sonuçları ve SEM görüntüleri birlikte değerlendirildiğinde çalışma koşulları (hem çevresel hem de elektriksel) izolatör performansının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

Sonuçlarda farklı derecede bozulma seviyeleri görülmüş olmasına rağmen bu silikon izolatörlerin kullanılmasında engel bir durum görülmemiştir.

Kirlilik Ölçüm Testleri; Kirlilik ölçümlerinde IEC/TS 60815-1:2008 teknik spesifikasyonuna göre kirlenme düzeyleri belirlenmiş ve ardından DD IEC/TS 60815-3:2008 teknik spesifikasyonuna göre bu kirlenme düzeylerine karşı düşen birleştirilmiş spesifik krepaj uzunlukları belirlenmiştir.

Fakat yapılan ölçümler tek bir mevsimsel döneme denk geldiği için bölgesel kirlilik düzeyinin tespitinde kullanılmamalıdır. Bölgesel kirlilik tespiti için farklı mevsimsel dönemlere ait numunelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Elektriksel Testler; Elektriksel Performans testlerinde hem silikon izolatör performansı hem de hırdavat takımları ile birlikte silikon izolatörlerin takım performansı kontrol edilmiştir. 154 kV Silikon İzolatörler için; Kuruda Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi ve Yaşta Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyi

400 kV Silikon İzolatörler için; Kuruda Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi, Yaşta Anahtarlama Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi ve Yaşta Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyleri her iki durum içinde tekrarlanmıştır.

Yapılan elektriksel testler sonucun da silikon izolatörler elektriksel tip testlerde başarı ile geçmiştir. Fakat mevcut silikon izolatörlerin orijinal hırdavatları kullanılarak takım halinde yapılan elektriksel testlerden 154 kV izolatörlerin büyük bir çoğunluğu elektriksel testleri geçememiştir.

Yapılan inceleme de 154 kV sistem için çoğunlukla kullanılan 120 mm ark mesafesinin yetersiz olması nedeniyle tüm takımlarda atlama olurken, 128 ve 135 mm ark mesafesine sahip izolatör takımlarında atlama olmamıştır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu testlerde herhangi bir düzeltme katsayısı kullanılmamıştır. Bu yüzden gerçek saha performansları için uluslararası sertifikasyonlarda belirtilen düzeltme katsayılarına göre minimum faz-toprak mesafelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Orijinal hırdavat takımları kullanılarak takım halinde yapılan elektriksel testlerden 420 kV hatların büyük bir çoğunluğu elektriksel testleri geçmiştir. (sadece bir izolator 15 adet yaşta anahtarlama darbe dayanım testinden 3'ü başarısız olduğundan IEC test prosedürüne göre testi geçememiştir.) Yine bu izolatorler içinde izolasyon koordinasyon mantığıyla faz-toprak mesafelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Türkiye'de 154 kV ve 400 kV iletim sisteminde kullanılan silikon izolatorler üzerinde CIGRE TB 595 kriterlerine bağlı kalınarak testler yapılmıştır. Bu testlerde silikon izolatorlerde ciddi bir yaşlanma bulgusuna rastlanmamıştır.

Fakat daha yoğun yüzeysel aşınma oluşan silikon izolatorlerde dolgu miktarlarının yüksek olduğu ve bu nedenle çevresel faktörlerden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Test edilen izolatorlerin elektriksel performansları da oldukça iyi durumdadır.

Elektriksel performans tespiti için izolatorlerin hırdavat takımları ile birlikte test edilmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca silikon izolatorlerin kirlilik performansında izolator tasarımının ana belirleyici kriter olduğu teyit edilmiştir.

HTV silikon izolatorlerin kimyasal içerik olarak belli bir standartta üretilemedikleri bunda hem üretim tekniği hem de maliyet faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür. Yaşlanma testlerinin geçerli olabilmesi için testlerden önce kimyasal içerik doğrulaması yapılması gerekmektedir.

## 1. IEC 60815-1 STANDARTINA GÖRE KİRLİLİK ÖLÇÜMLERİ

### 1.1 ESDD ve NSDD Hesaplaması

Silikon izolator numuneleri için ESDD ve NSDD değerleri IEC/TS 60815-1:2008'e göre yapılan ölçmelere dayanarak belirlenmiştir. Kir düzeyi gözle değerlendirildiği için, hatayı azaltmak amacıyla, her izolator için iki farklı bölgeden numune alınması yoluna gidilmiştir.



Şekil 1; ESDD ve NSDD hesapları için alınan numune örneği.

ESDD değeri aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$ESDD = S_a \cdot \frac{V}{A}$$

$$S_a = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,03} \quad \sigma_{20} = \sigma_{\theta} (1 - b(\theta - 20))$$

$$b = -3,200 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^3 + 1,032 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 8,272 \cdot 10^{-4} \cdot \theta + 3,544 \cdot 10^{-2}$$

Bu eşitliklerde;

$ESDD$  : Eşdeğer tuz birikme yoğunluğu ( $mg/cm^2$ )

$S_a$  : Tuzluluk oranı ( $kg/m^3$ )

$V$  : Deiyonize suyun hacmi ( $cm^3$ )

$A$  : Kir toplanan izolator yüzeyinin alanı ( $cm^2$ )

$\sigma_{\theta}$  :  $\theta$  °C'deki hacimsel iletkenlik (S/m)

$\sigma_{20}$  : 20 °C'deki hacimsel iletkenlik (S/m)

$\vartheta$  : Çözeltinin sıcaklık (°C)

$b$  : Sıcaklığa bağlı bir faktör.

Hesaplamalarda,  $V = 100 cm^3$  hacminde deiyonize su kullanılmış olup, kir toplanan izolator yüzey alanı  $A = 4 cm \times 3 cm = 12 cm^2$  olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, izolator eteğinin üst bölgesinden ve alt bölgesinden olmak üzere iki bölgeden kirlilik numuneleri alınmıştır. Tablo 2'de verilen değerler, 2 farklı kısımdan alınan numunelere ait ölçümlerin aritmetik ortalamasıdır. Kir toplanan izolator yüzeyi ve çözeltinin iletkenliğinin ölçülmesi Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2; Kir toplanan izolator yüzeyi



Şekil 3; Kir içeren çözeltinin iletkenlik ölçümü.

NSDD değeri aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$NSDD = 1000 \cdot (W_f - W_i) / A$$

Burada;

$NSDD$ : Çözülmemiş kir birikme yoğunluğu ( $mg/cm^2$ )

$W_f$ : Kir ve filtre kağıdının toplam kuru durumdaki ağırlığı (g)

$W_i$ : Filtre kağıdının başlangıçta kuru durumdaki ağırlığı (g)

$A$ : Kir toplanan izolator yüzeyinin alanı ( $cm^2$ )

Ölçümlerde, grade GF/A 1,6  $\mu m$  filtre kağıtları kullanılmış olup ağırlık ölçümleri 1 mg hassasiyetli hassas terazi ile yapılmıştır.





Şekil 4; Test için kullanılan 1 mg hassasiyetli hassas terazi

## 1.2 Kirlenme Düzeyi Belirleme Prosedürü

Bu çalışmada yapılan kirlilik ölçümlerinin temel amacı, ölçülen kirlilik değerleri ile kullanılan izolatörlerin krepaj değerlerinin karşılaştırılmasıdır.

Türkiye elektrik iletim şebekesinin 33 farklı bölgesinden temin edilen silikon izolatörlerin, en kirli 2 noktasından (etek altı ve etek üzerinden) Şekil 1 'deki gibi örnekler alınarak; IEC/TS 60815-1:2008 teknik spesifikasyonuna göre kirlenme düzeyleri belirlenmiş ve ardından DD IEC/TS 60815-3:2008 teknik spesifikasyonuna göre bu kirlenme düzeylerine karşılık gelen birleştirilmiş spesifik krepaj uzunlukları belirlenmiştir.

Temin edilen izolatörlerin nakli sırasında Cigre 691'de belirtilen hususlar çerçevesinde hareket edilmiştir.

Kirlenme düzeylerinin ve spesifik krepaj uzunluklarının belirlenmesine ilişkin ayrıntılar aşağıda anlatılmıştır.

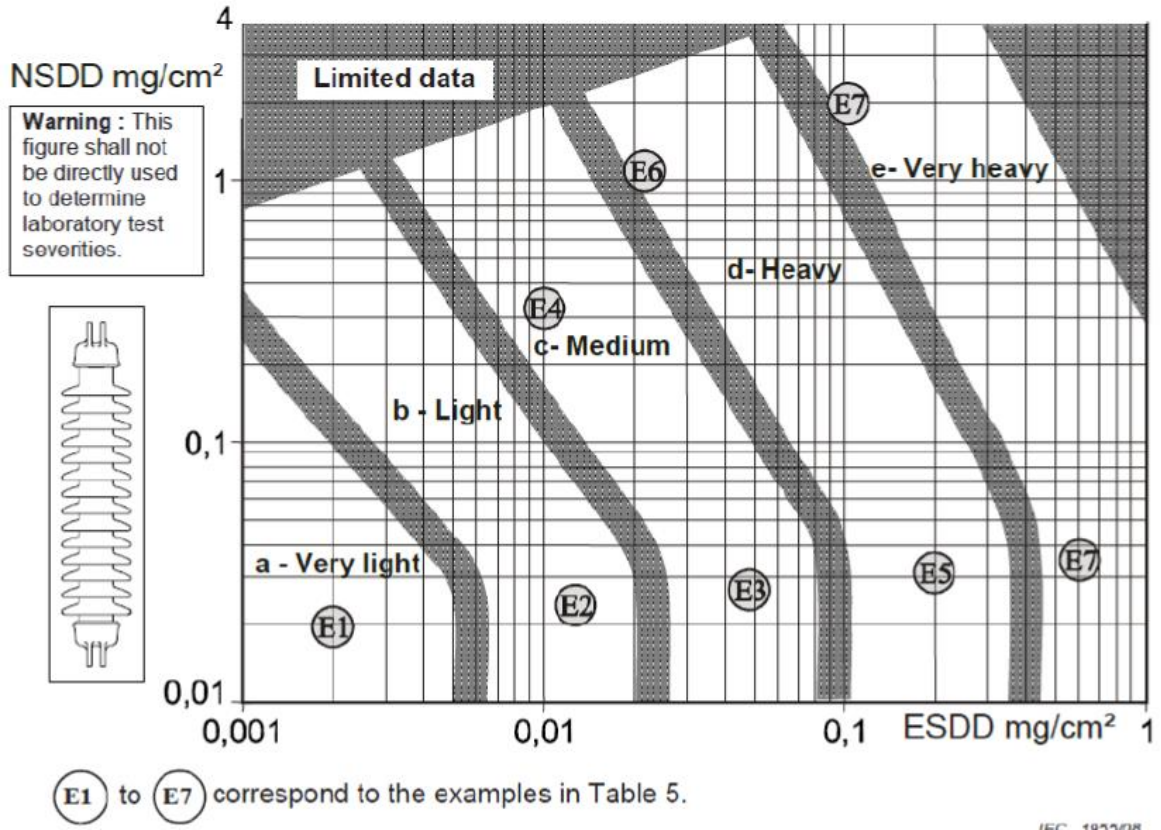
Yukarıda belirtildiği gibi, ESDD ve NSDD değerleri belirlendikten sonra, IEC/TS 60815-1:2008'te verilen Tablo 1 yardımı ile kirlilik düzeyi belirlenmiştir.

Bu sınıflamada kir düzeyleri Tablo 1'de verilen;

- Çok az
- Az
- Orta
- Fazla
- Çok fazla

olarak belirlenen 5 sınıfta değerlendirilmiş olup; ara bölgelere düşen değerler için bir üst kirlilik bölgesi kapsamına alınmıştır.

Tablo 1; IEC/TS 60815-1:2008'e Göre ESDD Ve NSDD'ye Bağlı Olarak Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi.



### 1.3 Referans Spesifik Krepaj Uzunluğu (RUSCD) Hesaplama Prosedürü

IEC/TS 60815-1'e göre, bir izolatörün referans spesifik krepaj uzunluğu (reference unified specific creepage distance-RUSCD), toplam krepaj mesafesinin, izolatör uçlarındaki maksimum gerilimin r.m.s. değerine oranı olarak tanımlanmaktadır.

Bu değer kullanım yerleri ve izolatör boyutlarına göre bazı katsayılarla revize edilmesi ile spesifik krepaj uzunlukları belirlenir.

Referans spesifik krepaj uzunlukları, kirlenme düzeylerinin fonksiyonu olarak, IEC/TS 60815-3, Tablo 1'den yararlanarak belirlenmiştir.

## 1.4 Kirlilik Sonuçları:

Bilinen en yaygın kirlilik bölgeleri çöl bölgeleri, sanayi bölgeleri, aşırı yağış alan nemli bölgeler, kıyılara yakın bölgeler, hava sirkülasyonunun zayıf olduğu topoğrafyalar, tarımsal sulama ve ilaçlamanın yapıldığı az yağış alan bölgeler söylenebilir. Türkiye coğrafik yapı olarak tüm bu özel kirlilik bölgelerine sahiptir. Numune seçim kriterlerinde bu hususlara da ayrıca önem verilmiştir.



Şekil 5; Kirlilik Ölçümü İçin Numune Alınan Noktalar

Kirlilik düzeyini etkileyen en temel faktör izolatorlerin kullanım koşullarıdır. Kullanım koşullarını belirleyen çevresel ve meteorolojik etkenler haricinde de kirlilik oluşumunu ve seviyesini değiştiren farklı parametreler mevcuttur.

Bu bakış açısıyla değerlendirildiğinde kirlilik oluşumunu ve seviyesini değiştiren başlıca parametre izolator tasarımlarıdır. Benzer koşullar altında kullanılan silikon izolatorlerde etek çapı ve etekler arası mesafe azaldıkça kirlilik miktarında belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Yine kirlilik düzeyi ile ilgili olarak çalışma koşullarından bağımsız olarak pürüzlülük, sertlik ve etek eğimi de kirlilik düzeyini etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu çalışmanın sonuç kısmında temel kirlilik bölgeleri için tavsiye edilen izolator tasarımlarına da değinilecektir.

Kirlilik ölçümleri sonucunda az ve çok az kir düzeyine sahip izolator yoktur. Etek üst yüzeyinden alınan numunelerdeki kirlilik oranı etek alt yüzeyinden alınan numunelerdeki kirlilik oranından daha düşüktür. İzolator alt eteklerindeki (faz tarafı) kirlilik oranı üst taraftaki eteklerin kirlilik oranından fazladır. 170 kV izolatorlerden 6 adedi ve 380 kV izolatorlerden 1 adedi çok kirli düzeyde olup, bu izolatorlerin geldiği bölgelerde, periyodik ölçümlerle belirlenen kir düzeylerinin doğruluğu kanıtlandıktan sonra; uygun profilde, yüksek spesifik krepaj uzunluklu izolatorlerin kullanılması gerekmektedir.

Tablo 2; Kirlilik Test Sonuçları

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time<br>in system<br>(month) | Çalışma Koşulları (working conditions)  | Kirlilik (Pollution)   |   |  |   | in the<br>present            |
|-------------------------------|--|---|--|---|--|---|------------------------------|
|                               |  |   | ESDD<br>(equivalent salt<br>deposit density)<br>mg/cm <sup>3</sup> | NSDD (Non-<br>soluble Deposit<br>Density)<br>mg/cm <sup>3</sup> | Kirlilik<br>Düzeyi<br>(pollution<br>level) | RUSCD mm/kV<br>((reference<br>unified specific<br>creepage<br>distance) | creepage<br>value<br>(mm/KV) |
| 1                             | 54   | windy and rainy winter, hot summer  | 0,030  | 0,145   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 2                             | 36   | snowy winter, foggy and windy; hot summers, to citycenter distance 2km                    | 0,013  | 0,168   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 3                             | 58   | rainy, dirty air, no settlements near, near quarry  | 0,063  | 0,355   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 4                             | 65   | rainy winter, near the industrial area distance 3km                                       | 0,035  | 1,543   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 5                             | 93   | a little pollution, near citycenter, near coal extraction and thermal power plant         | 0,025  | 0,313   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 6                             | 66   | very rainy, none pollution, far settlements, inside forest                                | 0,038  | 0,395   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 7                             | 35   | to citycenter distance 2km , overhead, no known source of pollution, water supply         | 0,105  | 0,875   | very heavy                                 | 53,7/31   | 25                           |
| 8                             | 113  | 500 m from small ponds, dusty and moist as a result of soil spread                        | 0,100  | 0,228   | heavy                                      | 43,3/25   | 27                           |
| 9                             | 23   | Black Sea climate, agricultural pollution, dust, rural settlement                         | 0,028  | 0,330   | heavy                                      | 43,3/25   | 29,62                        |
| 10                            | 115  | Dusty cement factory near   | 0,108  | 1,125   | very heavy                                 | 53,7/31   | 25                           |
| 11                            | 103  | Extreme windy, forested, very rainy   | 0,028  | 0,668   | heavy                                      | 43,3/25   | 27                           |
| 12                            | 71   | Altitude 1836, snow and ice in winter, spring-fall rainy and foggy                        | 0,013  | 0,083   | heavy                                      | 43,3/25   | 27                           |
| 13                            | 62   | Rainy in winters, dry summers, dry areas  | 0,16   | 0,77  | very heavy                                 | 53,7/31   | 25                           |
| 14                            | 35   | Altitude 1400-1600, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | 0,015  | 0,250   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 15                            | 35   | rainy, 4km from the center of town, 5km from the quarry                                   | 0,013  | 0,250   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 16                            | 35   | Bucak OSB and near city center have industrial pollution                                  | 0,043  | 0,375   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 17                            |  | Nemli ve yağışlı tarımsal arazi   | 0,03   | 0,625   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 18                            |  | Rakım 1857, yerleşim uzak, 6 ay şiddetli kar ve foggy                                     | 0,03   | 0,375   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 19                            |  | Near the airport and highway  | 0,015  | 0,185   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 20                            |  | Terrestrial climate, close geography have moist ponds                                     | 0,04   | 0,123   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |
| 21                            | 90   | Extreme windy, forested, very rainy   |  |   |  |   | 25                           |
| 22                            | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    |  |   |  |   | 25                           |
| 23                            | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    |  |   |  |   | 25                           |
| 24                            | 96   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | 0,055  | 0,125   | heavy                                      | 43,3/25   | 26                           |
| 25                            | 153  | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | 0,08   | 0,585   | heavy                                      | 43,3/25   | 18                           |
| 26                            | 46   | Residential area, wet and wetland   | 0,04   | 0,210   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 27                            | 92   | 500 m from the highway and in the plain   | 0,02   | 0,080   | medium                                     | 34,7/20   | 26                           |
| 28                            | 42   | Near marble quarry and settlement   | 0,035  | 0,250   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 29                            | 12   | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm |  |   |  |   | 25                           |
| 30                            | -  | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      |  |   |  |   | 26                           |
| 31                            | 53   | Altitude 1600-1800, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | 0,065  | 0,835   | very heavy                                 | 53,7/31   | 25                           |
| 32                            | 15   | Arid zone, earth truck route, 5 km away from the settlement, close to the quarry          | 0,125  | 0,415   | heavy                                      | 43,3/25   | 25                           |
| 33                            | -  | Altitude 1684, residential remote, 6 months snowy   | 0,03   | 0,125   | medium                                     | 34,7/20   | 25                           |

Öncelikle Tablo 2’de verilen ESDD ve NSDD değerlerinin beklentilerin altında olduğunu söylemek gerekmektedir. Bunun en temel nedenlerinden birisi numune toplama işleminin bahar dönemine denk gelmesi ve gerek suda çözünen kirlilik türlerinin, gerekse kuru kir katmanı formundaki kirliliklerin yağışlar etkisi ile azalmış olmasıdır. Temin edilen hemen hemen tüm numunelerde yağlı kirlilik katmanı dışında çok az yüzeysel tortu kirliliği olduğu görülmüştür. Bu kirliliğinde, silikon izolatör yapısında bulunan silika yağının doğal kirlilikle etkileşimi sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Yapılan 28 ölçüm sonucunda krepaj değeri olarak 5 izolatörün mevcut kirlilik düzeyinin altında krepaj değerine sahip olduğu görülmüştür.

## 2. İZOLATÖRÜN SİLİKON DIŞ KAPLAMASI İÇİN YAPILAN KİMYASAL TESTLER

Türkiye İletim Sisteminin farklı bölgelerinden toplanan 170 kV ve 420 kV’luk silikon izolatörlerin dış kaplamasının yapımında kullanılan silikon polimerinin malzeme özelliklerini incelenmesi amacıyla aşağıdaki testler yapılmıştır.

Silikon Kaplama için;

- i) FTIR Testi (Infrared Spektroskopisi)
- ii) TGA Testi (Thermogravimetric Analiz)
- iii) Hidrofobisite Ölçümü
- iv) DSC Testi (Differansiyel Taramalı Kalorimetre)
- v) Çapraz Bağ Yoğunluğu Testi (XLD)
- vi) SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop)

Rod için;

- i) DSC Testi (Differansiyel Taramalı Kalorimetre)
- ii) SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop)
- iii) Enerji Dağılım X-Işını (EDX) Spektrumu

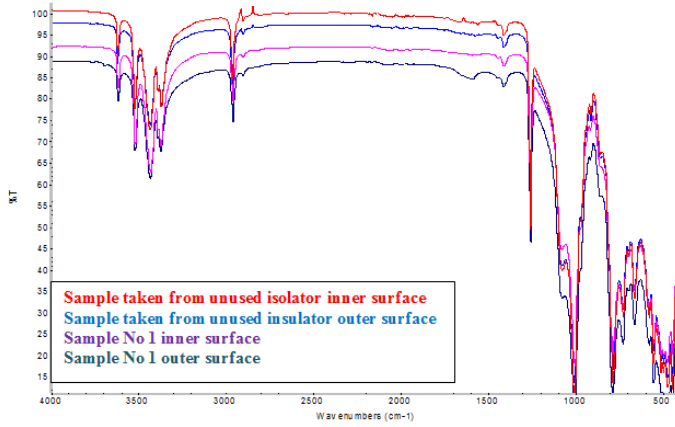
### 2.1 FTIR Testi (İnfrared Spektroskopisi)

Silikon izolatörler yapımında kullanılan silikon elastomerin kullanım sonrasında yapısal olarak bir bozulmaya uğrayıp uğramadığını kontrol etmek amacıyla örneklerin FTIR spektrumları alındı. Alınan numune yüzeylerindeki toz tabakası temizlendikten sonra yaprağın yüzeyinden (spektrumlarda dış yüzey olarak isimlendirilmiştir) ve yaprağın yaklaşık 1-2 mm altından, (spektrumlarda iç yüzey olarak isimlendirilmiştir) Perkin -Elmer Spectrum 2 model FTIR spektrometresi ve ATR ünitesi kullanılarak analizler yapılmıştır.(Şekil 6)

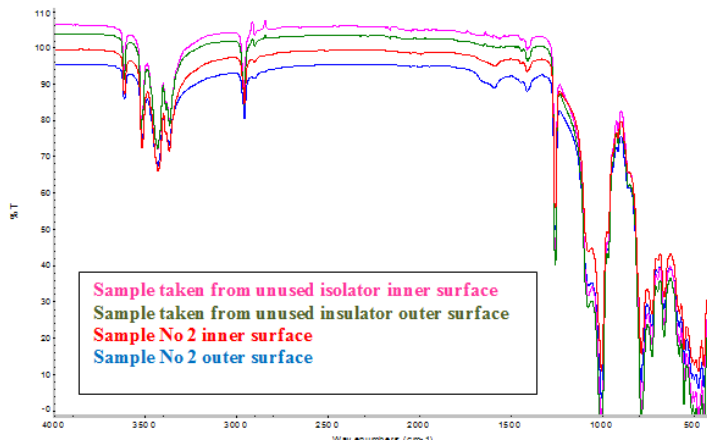


Şekil 6; Perkin -Elmer Spectrum 2 model FTIR spektrometresi

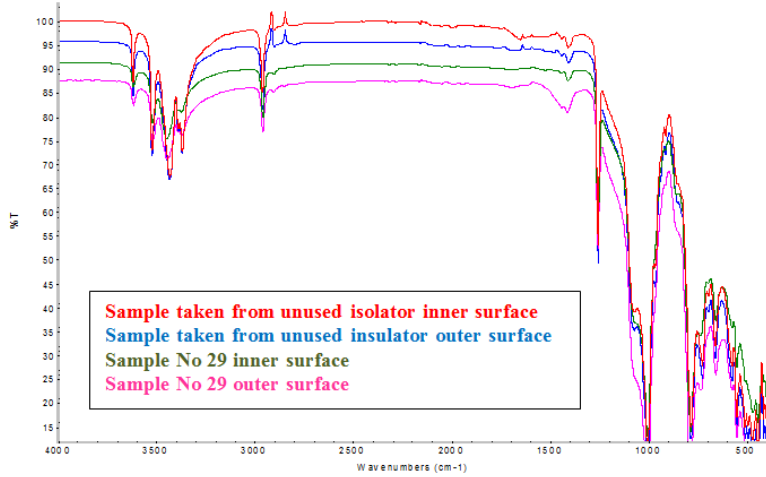
Kullanılmamış izolatörlere ait numunelerde herhangi bir karbonil oluşumunun ve oksidasyonun olup olmadığını kontrol etmek amacıyla, kullanılmamış HTV örneği sahadan temin edilen 1,2 ve 29 no'lu örneklerin spektrumları ile karşılaştırıldı. Karşılaştırma Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Karşılaştırma yapılan numuneler aynı üretici firmanın ürünleridir. Bu karşılaştırmanın amacı kullanım süresi ile karbonil oluşumunun ve oksidasyon varlığının tespittir.



Şekil 7;Comparison of the FTIR spectra of the outer surface and the inner part of the unused sample from the HTV(same manufacturer) with the FTIR spectra of the sample No. 1 from the 170 kV Kütahya OSB-Altıntaş high-voltage line

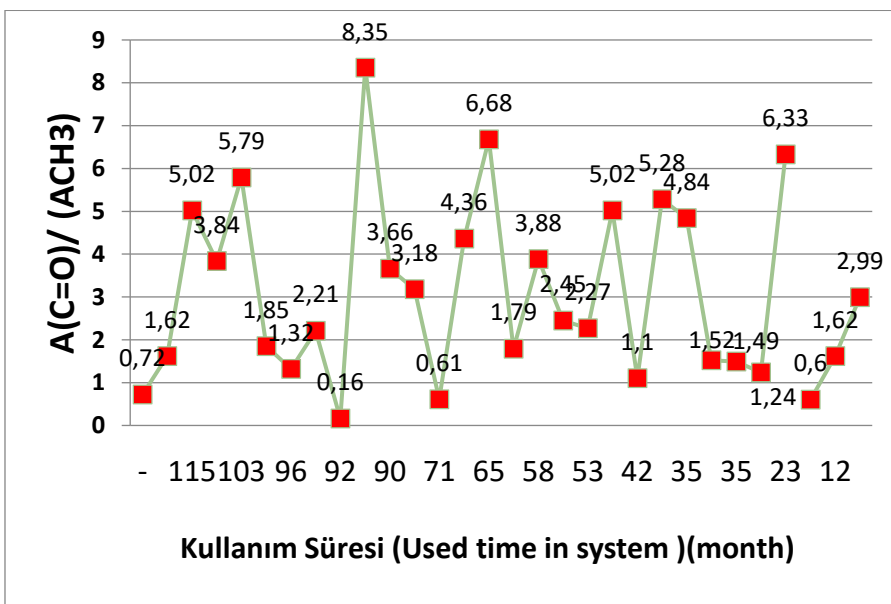


Şekil 8;Comparison of the FTIR spectra of the outer surface and the inner part of the unused sample from the HTV(same manufacturer) with the FTIR spectra of the sample No. 2 from the 170 kV Mut Res - Karaman high-voltage line

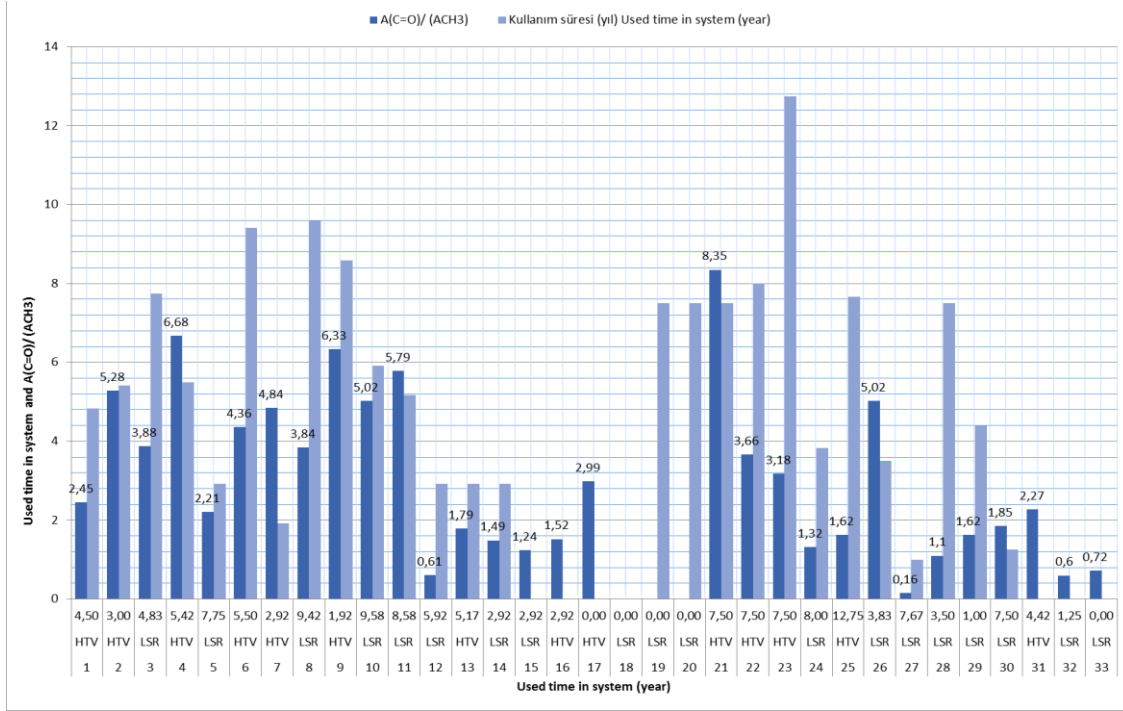


Şekil 9; Comparison of the FTIR spectra of the outer surface and the inner part of the unused sample from the HTV (same manufacturer) with the FTIR spectra of the sample No. 29 from the 420kV Viranşehir 2-Kızıltepe 2 high-voltage line

Polimerik malzemelerin oksijen varlığında bozunması durumunda FTIR spektrumlarında gözlenen en önemli değişim  $1720 \text{ cm}^{-1}$  de gözlenen ve kimyasal olarak aldehit, keton ve karboksilik asit fonksiyonel gruplarında bulunan karbonil oluşumudur. Ancak FTIR spektrumlarında gözlenen pik şiddetleri ve alanları madde miktarına bağlı olarak değiştiği için normalize edilmesi gerekmektedir. Elde edilen spektrumların normalize edilmesi için  $1740\text{-}1720 \text{ cm}^{-1}$  de gözlenen C=O, karbonil pik alanı ( $A_{\text{C=O}}$ )  $1444\text{-}1414 \text{ cm}^{-1}$  de gözlenen Si-CH<sub>3</sub>, ( $A_{\text{CH}_3}$ ) silisyum-metil titreşim bandının pik alanına oranlanmıştır. Spektrumlar FTIR spektrumlarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen pik alanları ve bunların oranı ( $A_{\text{C=O}}/A_{\text{CH}_3}$ ) Tablo 3'de verilmiştir. Pik alanlarının kullanım süresi ile değişimi Grafik 1'de verilmiştir.



Grafik 1;  $A_{\text{C=O}}/A_{\text{CH}_3}$  bant oranlarının izolatörün kullanım süresi ile değişimi



Grifik 2;A(C=O)/(ACH3) bant oranlarının izolatorün kullanım süresi ve polimer türü ile değişimi

Yapılan değerlendirmeler sonucunda her örneğin dış yüzeyindeki bozunmanın (oksidasyonun) iç yüzeydeki bozunmadan daha fazla olduğu görülmüştür. Dış yüzeyin  $AC=O/A_{CH3}$  alan değerlerinin daha büyük olması bunu kanıtlamaktadır. En yüksek  $AC=O/A_{CH3}$  değeri (8,35) yani en yüksek bozunma Berke HES- Misis EİH den alınan 21 no'lu örnekte gözlenmiştir. Bunu Varsak-Akorsa EİH den alınan 4 no'lu örnek ve Karasu-Kaynarca EİH dan alınan 9 no'lu örnek izlemiştir. Bozunma sonucunda  $A(C=O)/(A_{CH3})$  oluşumu (8,35- 4,36) üst sıralarda olan örneklerin bölge bilgisine bakıldığında ortak özelliğin bu bölgelerin kıyı kirliliğine sahip bölgeler olmasıdır.

Bu sonuç nemli ve kıyı kirliliği olan ortamlarda bulunan izolatorlerin kurak bölgelerde bulunan izolatorlere göre daha fazla bozunma olasılığına sahip olduğunu göstermiştir. En düşük oranda bozunmanın Yalnızardıç-Mahmutlar EİH hattından alınan 12 no'lu örnekte  $A(C=O)/(A_{CH3})=0,61$  ve Tortum-Erzurum 3-EİH hattı 27 no'lu örnekte  $A(C=O)/(A_{CH3})=0,16$  görülmüştür. En düşük oranda bozunmanın olduğu bölgelerin rakımlarının yüksek olması bozunmayı sağlayan oksijen oranının ve ESDD değerinin daha az olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca HTV silikon izolatorlerin dolgu miktarı arttıkça bozulmanın daha fazla arttığı görülmüştür. Sadece bir numunede dolgu miktarı düşük, kirlilik düzeyi düşük ve kullanım süresi kısa olmasına rağmen çok yüksek bozulma görülmüştür. Bu numunenin farklı üretici firmadan tedarik edilmesinden dolayı üretim esnasında yapılan bir hatadan kaynaklı çabuk bozulmanın oluşabileceği düşünülebilir. FTIR spektrumlarından çıkarılacak en temel sonuç izolator kullanım süresi ile kimyasal bozulma arasındaki bağlantıda tek parametrenin kullanım süresi olmadığı tespitidir. Bu da silikon izolatorler için tasarım, kimyasal içerik ve kullanım koşullarının ömür tayini için daha kritik olduğunu göstermektedir.



**Tablo 3; FTIR Spektrumu Değerlendirme Sonuç Tablosu ((AC=O)/ (ACH3))**

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time in<br>system<br>(month) | Silikon<br>Malzeme<br>Yapısı<br>(material<br>properties) | % Dolgu<br>(filler %) | A <sub>C=O</sub><br>C=O, karbonil<br>grup | A <sub>CH3</sub><br>Si-CH3<br>silisyum-metil | A <sub>(C=O)/</sub><br>(A <sub>CH3</sub> ) | Kirlilik (Pollution)  |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------|---|--|--|---|
|                               |                                     |  |  |                       |   |  |  | RUSCD mm/kV<br>((reference unified<br>specific creepage<br>distance)) |
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 54   | +/HTV  | 65,27                 | 249,1                                     | 101,6  | 2,45                                       | 34,7/20   |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 36   | +/HTV  | 65,27                 | 430,2                                     | 81,4   | 5,28                                       | 34,7/20   |
| 3                             | IŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 58   | -/LSR  | 82,30                 | 279,2                                     | 71,96  | 3,88                                       | 43,3/25   |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 65   | +/HTV  | 62,87                 | 481,8                                     | 72,2   | 6,68                                       | 43,3/25   |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 93   | -/LSR  | 78,1                  | 156,3                                     | 70,8   | 2,21                                       | 43,3/25   |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 66   | +/HTV  | 65,35                 | 280,5                                     | 64,4   | 4,36                                       | 43,3/25   |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 35   | +/HTV  | 57,93                 | 346,4                                     | 71,6   | 4,84                                       | 53,7/31   |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 113  | -/LSR  | 79,31                 | 341,8                                     | 68,1   | 3,84                                       | 43,3/25   |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 23   | +/HTV  | 59,16                 | 463,4                                     | 73,2   | 6,33                                       | 43,3/25   |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 115  | -/LSR  | 65,25                 | 341,7                                     | 68,1   | 5,02                                       | 53,7/31   |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYULHİSAR HES EİH        | 103  | -/LSR  | 65,25                 | 470,3                                     | 81,3   | 5,79                                       | 43,3/25   |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 71   | -/LSR  | 80,38                 | 43,8                                      | 72,3   | 0,61                                       | 43,3/25   |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇİRCİR EİH           | 62   | +/HTV  | 61,25                 | 104,2                                     | 58,1   | 1,79                                       | 53,7/31   |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 35   | -/LSR  | 83,4                  | 102,4                                     | 68,7   | 1,49                                       | 34,7/20   |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 35   | -/LSR  | 79,4                  | 151,08                                    | 122,01                                       | 1,24                                       | 34,7/20   |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 35   | +/HTV  | 66,97                 | 122,21                                    | 80,55  | 1,52                                       | 43,3/25   |
| 17                            | Enez-Keşan                          |  | +/HTV  | 64,1                  | 189,65                                    | 63,37  | 2,99                                       | 43,3/25   |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   |  | -/LSR  |                       |   |  |  | 43,3/25   |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    |  | -/LSR  |                       |   |  |  | 34,7/20   |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 |  | -/LSR  |                       |   |  |  | 34,7/20   |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 90   | +/HTV  | 67,09                 | 737                                       | 88,2   | 8,35                                       |   |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 90   | +/HTV  | 61,83                 | 245,8                                     | 67,2   | 3,66                                       |   |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 90   | +/HTV  | 64,59                 | 184,4                                     | 58   | 3,18                                       |   |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge     | 96   | -/LSR  | 79,46                 | 94,3                                      | 71,6   | 1,32                                       | 43,3/25   |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 153  | +/HTV  | 54,15                 | 105,1                                     | 64,8   | 1,62                                       | 43,3/25   |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 46   | -/LSR  | 78,42                 | 325,3                                     | 64,8   | 5,02                                       | 43,3/25   |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 92   | -/LSR  | 78,1                  | 10,2                                      | 65,1   | 0,16                                       | 34,7/20   |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 42   | -/LSR  | 83,21                 | 74,8                                      | 68,2   | 1,1  | 43,3/25   |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 12   | -/LSR  | 83,25                 | 105,1                                     | 64,8   | 1,62                                       |   |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge    | 90   | -/LSR  | 79,78                 | 130,2                                     | 70,4   | 1,85                                       |   |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 53   | +/HTV  | 61,47                 | 154,5                                     | 68   | 2,27                                       | 53,7/31   |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 15   | -/LSR  | 80,7                  | 71,82                                     | 119,75                                       | 0,6  | 43,3/25   |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | -  | -/LSR  | 80,1                  | 80,01                                     | 110,91                                       | 0,72                                       | 34,7/20   |

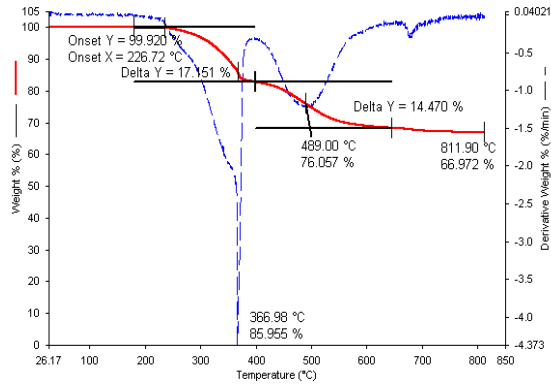
## 2.2 TGA Testi (Termogravimetrik Analiz)

İzolatörlerin dış kaplaması olan silikon kompozit malzeme içinde kullanılan silikonun termal kararlılık seviyesi, uçucu madde varlığı, dolgu türü ve dolgu miktarının belirlenmesi amacıyla silikon izolaör numuneleri üzerinde, aşağıda resmi verilen Pelkin-Elmer Pyris II TGA cihazı ile termogravimetrik analizler yapılmıştır (Şekil 10). İzolatörün iç kısmından alınan yaklaşık 15 mg ağırlığında örneklerle çalışılmıştır. Geleneksel TGA yöntemine uygun olarak; örnek önce azot atmosferinde 10 °C/dak ısıtma hızı ile 650 °C kadar ısıtılmış, daha sonra oksijen atmosferine geçilerek 800°C'ye kadar ısıtmaya devam edilmiştir. 800°C'de geriye kalan ağırlıktan % metal oksit miktarı belirlenmiştir.

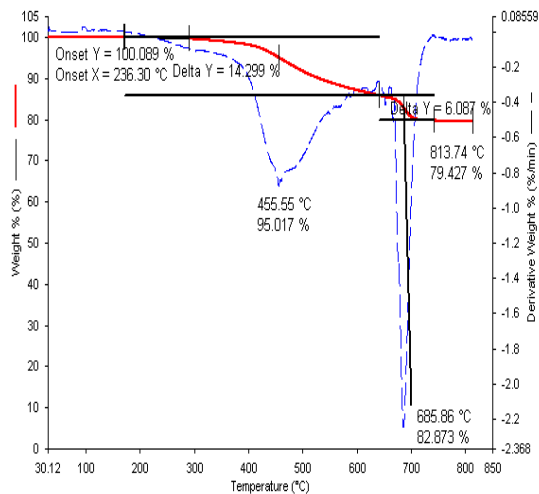


Şekil 10;Pelkin-Elmer Pyris II TGA cihazı

İzolatörlerin TGA eğrilerine ait örneklerden Şekil 11 ve Şekil 12 de birer örnek gösterilmiştir.



Şekil 11;Bucak-Aşçım EİH 'den alınan 29 no'lu HTV numunenin TGA eğrisi.



Şekil 12;Vezirköprü-Boyabat EİH 'den alınan 28 no'lu LSR numunenin TGA eğrisi

Tablo 4; İzolatörlerin toplu TGA değerleri

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time in<br>system<br>(month) | Silikon<br>Malzeme<br>Yapısı<br>(material<br>properties) | % Dolgu<br>(filler %) |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------|
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 54   | +/HTV  | 65,27                 |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 36   | +/HTV  | 65,27                 |
| 3                             | IŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 58   | -/LSR  | 82,30                 |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 65   | +/HTV  | 62,87                 |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 93   | -/LSR  | 78,1                  |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 66   | +/HTV  | 65,35                 |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 35   | +/HTV  | 57,93                 |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 113  | -/LSR  | 79,31                 |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 23   | +/HTV  | 59,16                 |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 115  | -/LSR  | 65,25                 |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYULHİSAR HES EİH        | 103  | -/LSR  | 65,25                 |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 71   | -/LSR  | 80,38                 |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH           | 62   | +/HTV  | 61,25                 |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 35   | -/LSR  | 83,4                  |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 35   | -/LSR  | 79,4                  |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 35   | +/HTV  | 66,97                 |
| 17                            | Enez-Keşan                          |  | +/HTV  | 64,1                  |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   |  | -/LSR  |                       |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    |  | -/LSR  |                       |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 |  | -/LSR  |                       |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 90   | +/HTV  | 67,09                 |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 90   | +/HTV  | 61,83                 |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 90   | +/HTV  | 64,59                 |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge     | 96   | -/LSR  | 79,46                 |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 153  | +/HTV  | 54,15                 |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 46   | -/LSR  | 78,42                 |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 92   | -/LSR  | 78,1                  |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 42   | -/LSR  | 83,21                 |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 12   | -/LSR  | 83,25                 |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge    | 90   | -/LSR  | 79,78                 |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 53   | +/HTV  | 61,47                 |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 15   | -/LSR  | 80,7                  |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | -  | -/LSR  | 80,1                  |

TGA sonuçları belirli sıcaklık aralıklarındaki ağırlık kayıpları, uçucular ve dolguların miktarını içeren numune kompozisyonuna ilişkin bulgu sağlamaktadır, ayrıca malzemenin termal kararlılığını göstermektedir.

Bu yöntemde sıcaklığa göre kaybedilen ağırlığın yüzdesi kaydedilerek % 'de dolgu miktarları tespit edilmiştir. Silikon polimerin TGA eğrilerindeki kalıntı, inorganik kalıntının teorik miktarının tümünü temsil etmemektedir. Polisiloksanlardaki ağırlığın %60'ı oranındaki Si içeriğinin, silika (SiO<sub>2</sub>) kalıntısı olarak kalması beklenirdi, ancak siloksan zincirinin tam olarak kırılmamasından dolayı, makul bir miktar düşük moleküllü siloksan olarak buharlaştığı unutulmamalıdır. (ör. D3, D4 döngüleri vb.).

Üretim sırasında silikonun akışkanlığını düşük olarak muhafaza etmek için, LSR silikonları genellikle ATH dolgu içermez, sadece güçlendirici silika dolgu içerir. Bu nedenle, PDMS polimer miktarı, ATH dolgulu silikon kauçuğa göre daha fazladır.

PDMS polimerinin yaklaşık 280°C'de başlayıp giderek artarak pirolize uğradığını ve %70 oranında bir kalıntı bıraktığını göstermektedir. LSR'deki bu inorganik kalıntı SiO<sub>2</sub>'den oluşmuştur. HTV'deki inorganik kalıntı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub>'den oluşmaktadır.

### 2.3 Hidrofobisite Ölçümü

Hidrofobisite ölçümü ile ilgili olarak CIGRE TB 481'de belirtilen "... izolatorlerin çıkarılmasından sonra en kısa sürede hidrofobiklik sınıfı ölçümleri yapılmalıdır.

İzolatorlerin çıkartılması (enerjisiz hale getirilmesi) ve test arasındaki zaman not edilmelidir " kuralı bu çalışma da uygulanamamıştır.

Alınan numunelerin sayıca fazla olması ve farklı bölgelerden temin edilmeye çalışılmasından dolayı gerekli koordinasyon sağlanamamıştır. Bu yüzden izolatorlerin demonte edilme tarihinden yaklaşık 4-5 ay gecikmeli ölçümler yapılabilmektedir.

Doğal olarak hidrofobik transfer mekanizması bu uzun zaman periyodunda silikon yüzeyin yeniden hidrofobik özelliğini geri kazanmasına yetmiştir.

İzolatorlerin yapımında dış kaplama olarak kullanılan silikonun hidrofobisitesini hesaplamak ve malzemenin hidrofobik mi yoksa hidrofilik mi olduğuna karar verebilmek amacıyla 2 ayrı test yapılmıştır.

Bu testler;

- i) Temas açısı tekniği ile açı belirlenmesi
- ii) Su püskürtme ile HC 1-7 sınıflandırmasına göre damla görüntüsüne bakılmasıdır.

Her bir yöntemle yapılan analizler aşağıda açıklanmıştır.

### 2.3.1 Temas Açısı Testleri

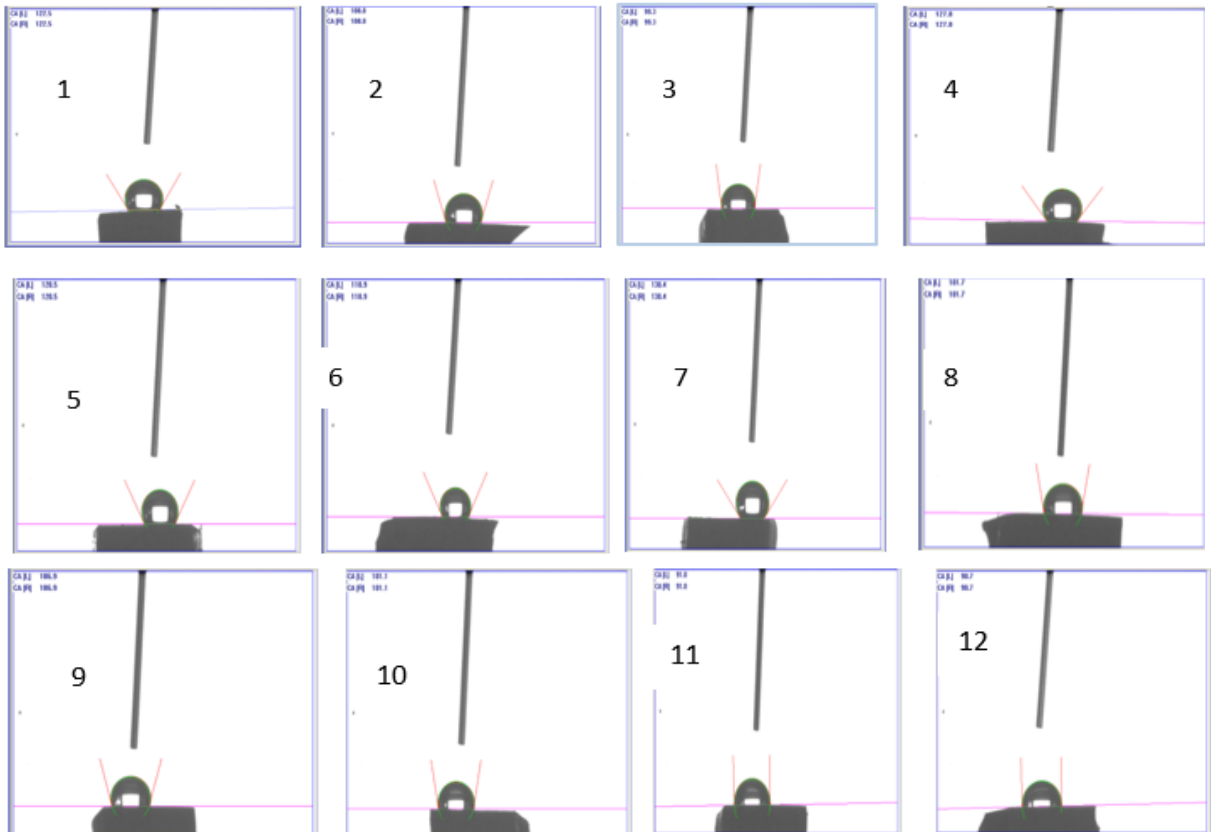
Temas açısı tekniği ile hidrofobisitenin belirlenmesinde aşağıda resmi verilen Kruss D100 marka temas açısı cihazı kullanılarak (**Şekil 13**) su damlasının silikon malzeme üzerindeki açısı değeri ölçülmüştür.

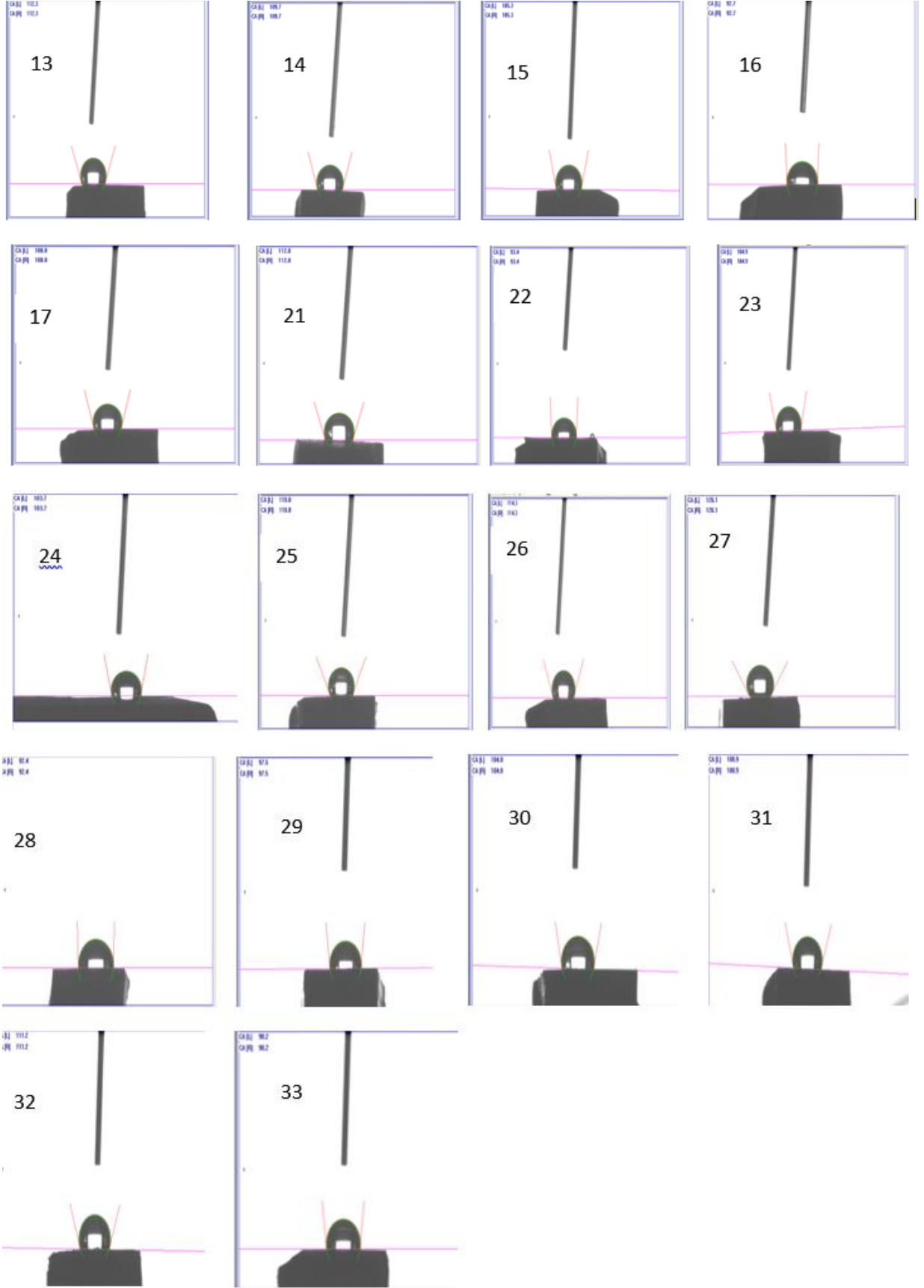


Şekil 13;Hidrofobisite ölçümünde kullanılan Kruss DS100 Temas Açısı Cihazı

Bilindiği gibi temas açısı ıslatma karakteristiğinin bir ölçüsüdür ve  $90^\circ$  den daha az temas açısına sahip olan bir yüzeye hidrofilik veya ıslanmış yüzey, temas açısı  $90^\circ$  veya daha yüksek olan bir yüzeye ise hidrofobik veya ıslanmamış yüzey denir.

Şekil 4 de bazı izolatörlerin temas açısı cihazı ile açısı değerlerinin elde edilmesi sırasında alınan damla görüntüleri verilmiştir. Bütün numuneler için en az 8-10 ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçümler sonunda her bir örnek için elde edilen ortalama değerler Tablo 5 de verilmiştir.





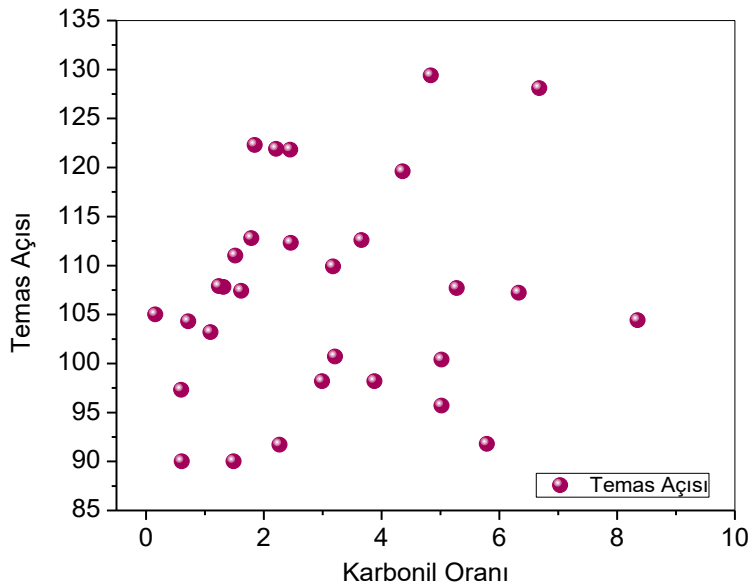
Şekil 14;Örnek olması açısından bazı izolatörlerin temas açısı cihazı ile açısı değerlerinin elde edilmesi sırasında alınan damla görüntüleri.

Tablo 5 ve Şekil 14 den görüldüğü gibi 11, 12, 14, 31 no'lu örnekler için su değme temas açısı değeri 90 dereceye çok yakın iken diğer tüm örnekler için su değme açısı 90 derecenin üzerindedir. Tüm örnekler için açı değerinin 90 derece ve üzerinde olması örneklerin tamamının hidrofobik olduğunu göstermektedir.

Yukarıda açıklandığı gibi 90 dereceye yakın olan örnekler hidrofobiklikten hidrofiliğe geçiş sınırında örneklerdir.

Bu örneklerin 11 no'lu örneğin aşırı rüzgarlı, ormanlık, çok yağışlı bölgeden gelmesi 12 no'lu örneğin Rakım 1836, kışın kar ve buz, bahar-güz yağmurlu ve sisli bölgeden gelmiş olması nedeniyle yağışlı bölgelerde bulunan örnekler için hidrofilik yapıya geçişin hızlandığı sonucuna varılmıştır.

Bor -Toroslardan alınan 14 no'lu örneğin ve Yeşilhisar-Turfanbeyli'den alınan 31 no'lu örneklerin kuru tarım arazisi olmakla birlikte rakım değerlerinin yüksek olması ve karasal iklim olması nedeniyle, sıcak soğuk geçişleri sebebiyle hidrofobikliğin zaman içinde azalmış olabilir. Suyun izolator yüzeyine temas açısı değerinin yaşlanma sonunda ortaya çıkan karbonil oranı ( $A_{(C=O)}/(A_{CH_3})$ ) ile değişimi incelemek amacıyla Grafik 3 çizilmiştir.



**Grafik 3;Suyun izolator yüzeyine temas açısı değerinin yaşlanma sonunda ortaya çıkan karbonil oranı ( $A_{(C=O)}/(A_{CH_3})$ ) ile değişimi.**

Genel beklenti karbonil oranının artmasıyla açı değerinin azalması yönündedir, ancak bu ilişki görülmemiştir. Örneğin karbonil oranı 1,5 olan bir örnek için hem 90 derece 105-115 derece aralığında açı değeri elde edilmiştir.

Temas açısının değerleri örneğin yüzeyi temizlenmeden alındığı için doğrudan silikonun bozunması ile orantılı olmadığı silikon yüzeyindeki kirliliğe bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hidrofobikliğin değişimi için öncelikle bölgenin ve silikonun yüzeyindeki kirlilik ile hidrofobisite arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 5; Numune izolatörlerin toplu temas açısı ölçüleri

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time<br>in system<br>(month) | Çalışma Koşulları (working conditions)  | Silikon<br>Malzeme<br>Yapısı<br>(material<br>properties) | % Dolgu<br>(filler %) | Temas Açısı<br>(contact angle) |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|---|--|-----------------------|--------------------------------|
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 54   | windy and rainy winter, hot summer  | +/HTV  | 65.27                 | 121.8                          |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 36   | snowy winter, foggy and windy; hot summers, to citycenter distance 2km                    | +/HTV  | 65.27                 | 107.7                          |
| 3                             | İŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 58   | rainy, dirty air, no settlements near, near quarry  | -/LSR  | 82.30                 | 98.2                           |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 65   | rainy winter, near the industrial area distance 3km                                       | +/HTV  | 62.87                 | 128.1                          |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 93   | a little pollution, near citycenter, near coal extraction and thermal power plant         | -/LSR  | 78.1                  | 121.9                          |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 66   | very rainy, none pollution, far settlements, inside forest                                | +/HTV  | 65.35                 | 119.6                          |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 35   | to citycenter distance 2km, overhead, no known source of pollution water supply           | +/HTV  | 57.93                 | 129.4                          |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 113  | 500 m from small ponds, dusty and moist as a result of soil spread                        | -/LSR  | 79.31                 | 100.7                          |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 23   | Black Sea climate, agricultural pollution, dust, rural settlement                         | +/HTV  | 59.16                 | 107.2                          |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 115  | Dusty cement factory near   | -/LSR  | 80.832                | 100.4                          |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYULHİSAR HES EİH        | 103  | Extreme windy, forested, very rainy   | -/LSR  | 76.66                 | 91.8                           |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 71   | Altitude 1836, snow and ice in winter, spring-fall rainy and foggy                        | -/LSR  | 80.38                 | 90                             |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇİRÇİR EİH           | 62   | Rainy in winters, dry summers, dry areas  | +/HTV  | 61.25                 | 112.8                          |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 35   | Altitude 1400-1600, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | -/LSR  | 83.4                  | 90                             |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 35   | rainy, 4km from the center of town, 5km from the quarry                                   | -/LSR  | 79.4                  | 107.9                          |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 35   | Bucak OSB and near city center have industrial pollution                                  | +/HTV  | 66.97                 | 111                            |
| 17                            | Enez-Keşan                          |  | Nemli ve yağışlı tarımsal arazi   | +/HTV  | 64.1                  | 98.2                           |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   |  | Rakım 1857, yerleşim uzak, 6 ay şiddetli kar ve foggy                                     | -/LSR  |                       |                                |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    |  | Near the airport and highway  | -/LSR  |                       |                                |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 |  | Terrestrial climate, close geography have moist ponds                                     | -/LSR  |                       |                                |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 90   | Extreme windy, forested, very rainy   | +/HTV  | 67.09                 | 104.4                          |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 61.83                 | 112.6                          |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 64.59                 | 109.9                          |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 96   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 79.46                 | 107.8                          |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 153  | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | +/HTV  | 54.15                 | 112.3                          |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 46   | Residential area, wet and wetland   | -/LSR  | 78.42                 | 95.7                           |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 92   | 500 m from the highway and in the plain   | -/LSR  | 78.1                  | 105                            |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 42   | Near marble quarry and settlement   | -/LSR  | 83.21                 | 103.2                          |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 12   | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | -/LSR  | 83.25                 | 107.4                          |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge)   | 90   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 79.78                 | 122.3                          |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 53   | Altitude 1600-1800, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | +/HTV  | 61.47                 | 91.7                           |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 15   | Arid zone, earth truck route, 5 km away from the settlement close to the quarry           | -/LSR  | 80.7                  | 97.3                           |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | -  | Altitude 1684, residential remote, 6 months snowy   | -/LSR  | 80.1                  | 104.3                          |



### 2.3.2 STRI Sınıflandırma Rehberine Göre Hidrofobisitenin Bulunması

STRI sınıflandırma rehberine göre hidrofobisitenin bulunması, elle dış ortamdaki yalıtım yüzeylerinin hidrofobik özelliklerinin ortak bir ölçüsünü elde etmek için basit bir prosedürdür.

Pratik amaçlar için, yalıtkan bir yüzeyin su iticiliğinin derecesi STRI sınıflandırma rehberine göre yedi hidrofobik sınıfta (HC) incelenir. HC1 en su itici sınıf iken HC7 tamamen hidrofilik yüzeyleri ifade eder. Ara sınıflar, damlacıkların çoğunluğunun geriye doğru açıları ve ıslak alanların boyutu ile tanımlanır. Bu sınıflandırmaya göre damla şekilleri aşağıda verilmiştir.

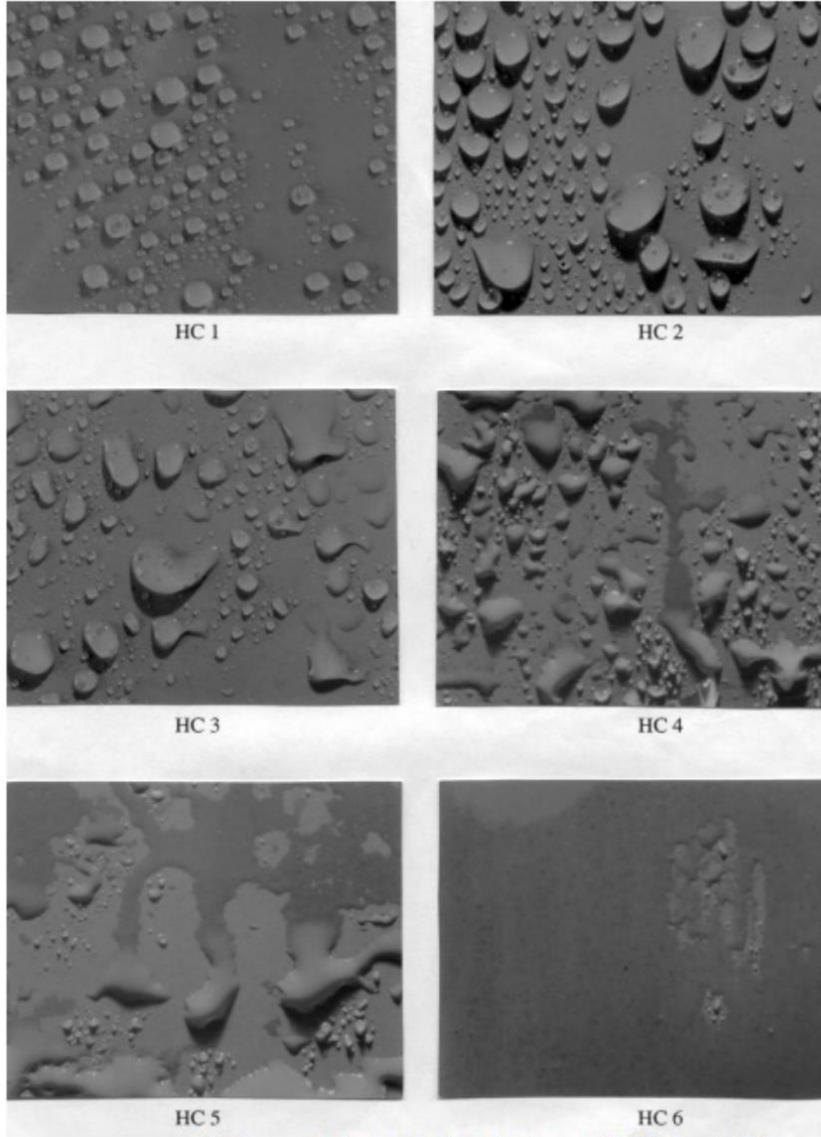


Fig 3 Typical examples of surfaces with HC from 1 to 6 (natural size).

Şekil 15;STRI sınıflandırma rehberine göre yedi hidrofobik sınıf için suyun silikon yüzeyindeki görüntüsü.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda örneklerin damla görüntülerinin Şekil 15 de verilen standart HC1 ve HC2 damla görüntüleri ile aynı olduğu yani örneklerin hidrofobik olduğu sonucunda varılmıştır. Farklı gölgelerden temin edilen izolatörlerin su püskürtme tekniği kullanılarak elde edilen suyun yüzeydeki görüntüsünü gösteren fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



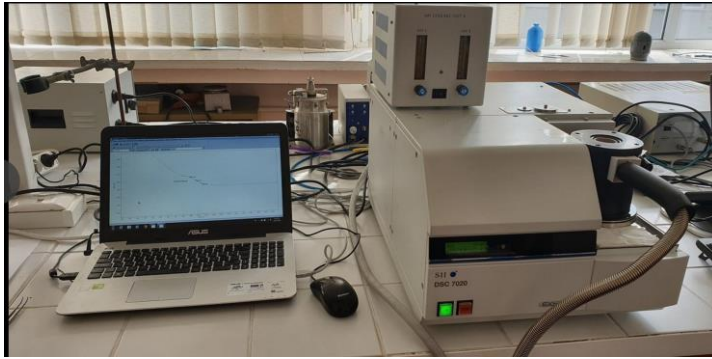






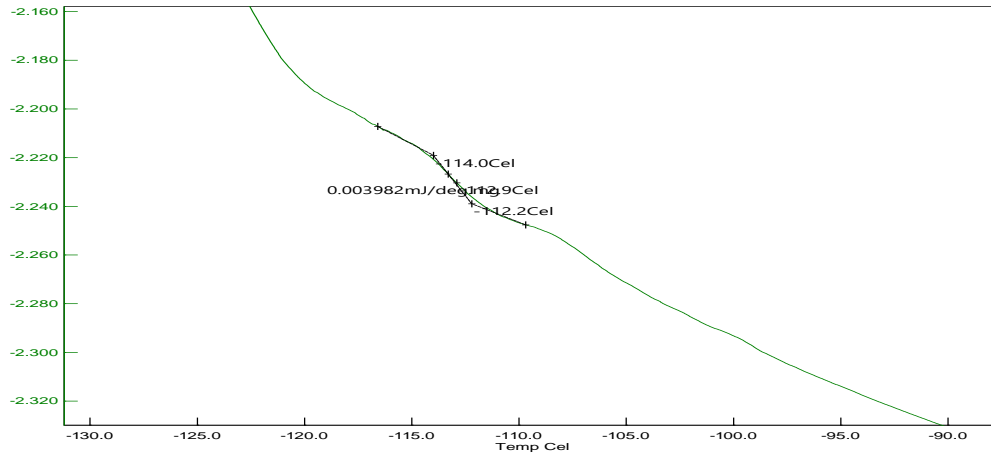
## 2.4 DSC Testi (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)

Kompozit silikon izolatörlerin yapımında dış kaplamada kullanılan silikon elastomerinin camsı geçiş sıcaklığının ( $T_g$ ) belirlenmesi amacıyla izolatörün yüzeyindeki kirlilik temizlendikten sonra yaklaşık 3-5 mg ağırlığında numunelerden -150 ile -10 C aralığında DSC termogramları alınmıştır. DSC ile  $T_g$  belirlenmesinde aşağıda resmi verilen Seiko Marka (**Şekil 16**) ve Mettler Marka Diferansiyel Taramalı Kalorimetre kullanılmıştır. Soğutma için sıvı azot kullanılmıştır.



Şekil 16;  $T_g$  belirlenmesi çalışmalarında kullanılan Seiko marka DSC cihazı

Elde edilen DSC termogramlarından biri Şekil 17 de verilmiştir. DSC termogramlarının değerlendirilmesi sonucunda izolatörün silikon elastomerinin yapımında kullanılan reçine için elde edilen Camsı Geçiş Sıcaklıkları ( $T_g$ ) Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 17; Karasu-Kaynarca EİH'den alınan 9 no'lu HTV numunenin DSC eğrisi.

Tablo 6; Numunelerin Polimer Yapılarına göre Camsı Geçiş Sıcaklığı

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | GERİLİM | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time<br>in system<br>(month) | Çalışma Koşulları (working conditions)  | Silikon<br>Malzeme<br>Yapısı<br>(material<br>properties) | % Dolgu<br>(filler %) | Temas Açısı<br>(contact angle) | Camsı Geçiş<br>Sıcaklığı (T <sub>g</sub> )<br>(°C) (The glass<br>transition point) |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------|--|---|--|-----------------------|--------------------------------|--|
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 170 kV  | 54   | windy and rainy winter, hot summer  | +/HTV  | 65.27                 | 121.8                          | -92.5  |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 170 kV  | 36   | snowy winter, foggy and windy; hot summers, to citycenter distance 2km                    | +/HTV  | 65.27                 | 107.7                          | -112.4   |
| 3                             | İŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 170 kV  | 58   | rainy, dirty air, no settlements near, near quarry  | -/LSR  | 82.30                 | 98.2                           | -110.6   |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 170 kV  | 65   | rainy winter, near the industrial area distance 3km                                       | +/HTV  | 62.87                 | 128.1                          | -112.2   |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 170 kV  | 93   | a little pollution, near citycenter, near coal extraction and thermal power plant         | -/LSR  | 78.1                  | 121.9                          | -112.9   |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 170 kV  | 66   | very rainy, none pollution, far settlements, inside forest                                | +/HTV  | 65.35                 | 119.6                          | -112.9   |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 170 kV  | 35   | to citycenter distance 2km , overhead, no known source of pollution, water supply         | +/HTV  | 57.93                 | 129.4                          | -101.6   |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 170 kV  | 113  | 500 m from small ponds, dusty and moist as a result of soil spread                        | -/LSR  | 79.31                 | 100.7                          | -106.7   |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 170 kV  | 23   | Black Sea climate, agricultural pollution, dust, rural settlement                         | +/HTV  | 59.16                 | 107.2                          | -112.9   |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 170 kV  | 115  | Dusty cement factory near   | -/LSR  | 80.832                | 100.4                          | -99.9  |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYLHİSAR HES EİH         | 170 kV  | 103  | Extreme windy, forested, very rainy   | -/LSR  | 76.66                 | 91.8                           | -93  |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 170 kV  | 71   | Altitude 1836, snow and ice in winter, spring-fall rainy and foggy                        | -/LSR  | 80.38                 | 90                             | -84.3  |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH           | 170 kV  | 62   | Rainy in winters, dry summers, dry areas  | +/HTV  | 61.25                 | 112.8                          | -90.5  |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 170 kV  | 35   | Altitude 1400-1600, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | -/LSR  | 83.4                  | 90                             | -103.6   |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 170 kV  | 35   | rainy, 4km from the center of town, 5km from the quarry                                   | -/LSR  | 79.4                  | 107.9                          | -92.3  |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 170 kV  | 35   | Bucak OSB and near city center have industrial pollution                                  | +/HTV  | 66.97                 | 111                            | -100.4   |
| 17                            | Enez-Keşan                          | 170 kV  |  | Nemli ve yağışlı tarımsal arazi   | +/HTV  | 64.1                  | 98.2                           | -89.7  |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   | 170 kV  |  | Rakım 1857, yerleşim uzak, 6 ay şiddetli kar ve foggy                                     | -/LSR  |                       |                                |  |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    | 170 kV  |  | Near the airport and highway  | -/LSR  |                       |                                |  |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 | 170 kV  |  | Terrestrial climate, close geography have moist ponds                                     | -/LSR  |                       |                                |  |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 170 kV  | 90   | Extreme windy, forested, very rainy   | +/HTV  | 67.09                 | 104.4                          | -91.2  |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 170 kV  | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 61.83                 | 112.6                          | -94.7  |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 170 kV  | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 64.59                 | 109.9                          | -84.9  |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 420 kV  | 96   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 79.46                 | 107.8                          | -78.9  |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV  | 153  | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | +/HTV  | 54.15                 | 112.3                          | -90.2  |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 420 kV  | 46   | Residential area, wet and wetland   | -/LSR  | 78.42                 | 95.7                           | -95.5  |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 420 kV  | 92   | 500 m from the highway and in the plain   | -/LSR  | 78.1                  | 105                            | -86.3  |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 420 kV  | 42   | Near marble quarry and settlement   | -/LSR  | 83.21                 | 103.2                          | -87.1  |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV  | 12   | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | -/LSR  | 83.25                 | 107.4                          | -94.4  |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge)   | 420 kV  | 90   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 79.78                 | 122.3                          | -84.6  |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 420 kV  | 53   | Altitude 1600-1800, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | +/HTV  | 61.47                 | 91.7                           | -99.3  |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 420 kV  | 15   | Arid zone, earth truck route, 5 km away from the settlement, close to the quarry          | -/LSR  | 80.7                  | 97.3                           | -86.4  |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | 420 kV  | -  | Altitude 1684, residential remote, 6 months snowy   | -/LSR  | 80.1                  | 104.3                          | -95.1  |

$T_g$  değerleri -90 ile -110 C aralığında değişmektedir. Tek bir örnekte -84.3 °C değeri elde edilmiştir. Şu ana kadar Türkiye’de elde edilmiş en düşük sıcaklık değeri -46,4 °C dir. Bu sıcaklık 9 Ocak 1990 tarihinde Van Çaldıran’da elde edilmiştir. Analiz edilen kullanılmış tüm izolatorlerin  $T_g$  değerleri bu değer çok altında olduğu için kullanım sırasında düşük sıcaklıklarda sertleşerek çatlama gibi bir probleminin olması mümkün değildir.

## 2.5 Çapraz Bağ Yoğunluğu Testi (XLD)

Kullanılmamış izolatorlerin çapraz bağ yoğunluğu fazladır. Çeşitli çevresel ve elektriksel olaylar sonucunda çapraz bağlar koparak daha düşük yoğunluklu zincirler oluştururlar. Numunelerimiz üzerinde yaşlanma tespiti için silikon elastomerin çapraz bağ yoğunluğunun belirlenmesi için örnekler Şekil 18’ de verilen Bruker mq20 Puls-NMR spektrometresi ile analiz edilmiştir. Çapraz bağlar arasındaki molekül ağırlığının ( $M_c$ ) bulunmasında Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) puls programı kullanılmıştır. Elde edilen sönüm eğrilerinden 1 no’lu örneğe ait olan eğri Şekil 19’da verilmiştir.

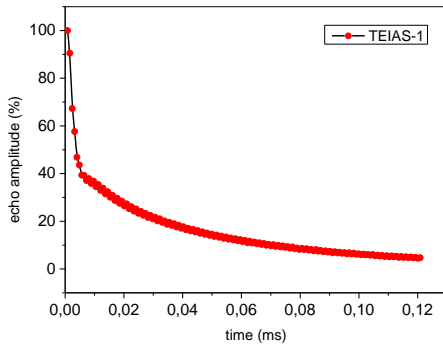


Şekil 18;Pulse-NMR cihazı

Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) puls programı kullanılarak elde edilen yukarıdaki eğriler aşağıdaki 1 no’lu eşitliğe göre analiz edilmiş ve fitting (doğrusal uydurum) işlemi sonucunda  $D_{res}$  (dipolar coupling) değeri elde edilmiştir.  $D_{res}$  değeri örneğin çapraz bağ yoğunluğu ve çapraz bağlar arasındaki molekül ağırlığı ile ilgilidir. Örnekler için çapraz bağlararası ortalama molekül ağırlığı ( $M_c$ ) eşitlik 2 ile hesaplanmıştır. Örneklerin çapraz bağ yoğunlukları ise örnek yoğunluklarının  $M_c$  değerlerine oranı ile hesaplanmış sonuçlar Tablo 7 de ve örnek numarasına bağlı olarak değişimi Grafik 4 de verilmiştir.

$$M(t) = A_0 * \exp(-9/40 D_{res2} * t_2) + A_1 * \exp(-t/T_{2a}) + A_2 * \exp(-t/T_{2b}) \dots \dots \dots (1)$$

$$1/M_c = (D_{res} / 2 * \pi) / 617 \text{ Hz} \dots \dots \dots (2)$$



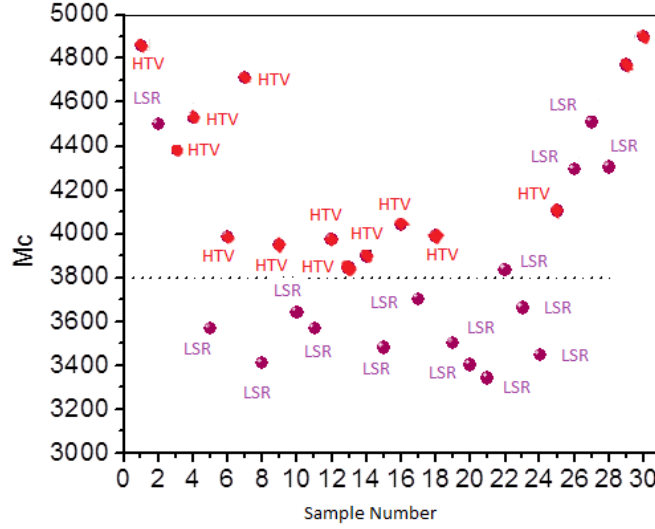
Şekil 19;Kütahya OSB-Altıntaş EİH’den alınan 1 no’lu HTV izolatorün dış yüzeyinin puls NMR sönüm eğrisi

**Tablo 7; Silikon izolatör numunelerinin M<sub>c</sub> ve XLD değerleri**

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | Kullanım<br>süresi (Ay)<br>Used time in<br>system<br>(month) | Çalışma Koşulları (working conditions)  | Silikon<br>Malzeme<br>Yapısı<br>(material<br>properties) | XLD   |                       |                                |  |
|-------------------------------|-------------------------------------|--|---|--|-------|-----------------------|--------------------------------|--|
|                               |                                     |  |   |  | Dres  | M <sub>c</sub> gr/mol | Yoğunluk<br>g/mol<br>(density) | Çağraz Bağ<br>Yoğunluğu<br>(mol/cm <sup>3</sup> )x10 <sup>-4</sup> |
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 54   | windy and rainy winter, hot summer  | +/HTV  | 798   | 4856                  | 1,4797                         | 3,047  |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 36   | snowy winter, foggy and windy; hot summers, to citycenter distance 2km                    | +/HTV  | 861   | 4500                  | 1,5363                         | 3,414  |
| 3                             | İŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 58   | rainy, dirty air, no settlements near, near quarry  | -/LSR  | 883   | 4388                  | 1,148                          | 2,616  |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 65   | rainy winter, near the industrial area distance 3km                                       | +/HTV  | 855   | 4532                  | 1,562                          | 3,447  |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 93   | a little pollution, near citycenter, near coal extraction and thermal power plant         | -/LSR  | 1086  | 3568                  | 1,104                          | 3,094  |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 66   | very rainy, none pollution, far settlements, inside forest                                | +/HTV  | 972   | 3986                  | 1,5437                         | 3,873  |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 35   | to citycenter distance 2km , overhead, no known source of pollution. water supply         | +/HTV  | 822   | 4714                  | 1,5287                         | 3,243  |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 113  | 500 m from small ponds, dusty and moist as a result of soil spread                        | -/LSR  | 1136  | 3410                  | 1,105                          | 3,24   |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 23   | Black Sea climate, agricultural pollution, dust, rural settlement                         | +/HTV  | 981   | 3950                  | 1,4947                         | 3,784  |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 115  | Dusty cement factory near   | -/LSR  | 1064  | 3642                  | 1,1013                         | 3,024  |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYULHIŞAR HES EİH        | 103  | Extreme windy, forested, very rainy   | -/LSR  | 1086  | 3568                  | 1,1097                         | 3,11   |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 71   | Altitude 1836, snow and ice in winter, spring-fall rainy and foggy                        | -/LSR  | 1113  | 3481                  | 1,1377                         | 3,268  |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH           | 62   | Rainy in winters, dry summers, dry areas  | +/HTV  | 958   | 4044                  | 1,5087                         | 3,731  |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 35   | Altitude 1400-1600, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | -/LSR  | 1124  | 3447                  | 1,1823                         | 3,43   |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 35   | rainy, 4km from the center of town, 5km from the quarry                                   | -/LSR  | 900   | 4305                  | 1,0987                         | 2,552  |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 35   | Bucak OSB and near city center have industrial pollution                                  | +/HTV  | 812,2 | 4770                  | 1,5173                         | 3,181  |
| 17                            | Enez-Keşan                          |  | Nemli ve yağışlı tarımsal arazi   | +/HTV  | 790,6 | 4901                  | 1,5013                         | 3,063  |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   |  | Rakım 1857, yerleşim uzak, 6 ay şiddetli kar ve foggy                                     | -/LSR  |       |                       |                                |  |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    |  | Near the airport and highway  | -/LSR  |       |                       |                                |  |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 |  | Terrestrial climate, close geography have moist ponds                                     | -/LSR  |       |                       |                                |  |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 90   | Extreme windy, forested, very rainy   | +/HTV  | 975   | 3974                  | 1,56                           | 3,926  |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 1008  | 3844                  | 1,5503                         | 4,033  |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 90   | Mediterranean sea coastal, salty and humid weather conditions, agricultural irrigation    | +/HTV  | 994   | 3898                  | 1,533                          | 3,933  |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 96   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 1046  | 3704                  | 1,0923                         | 2,949  |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 153  | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | +/HTV  | 971   | 3990                  | 1,5153                         | 3,798  |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 46   | Residential area, wet and wetland   | -/LSR  | 1106  | 3503                  | 1,1427                         | 3,262  |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 92   | 500 m from the highway and in the plain   | -/LSR  | 1139  | 3402                  | 1,1453                         | 3,367  |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 42   | Near marble quarry and settlement   | -/LSR  | 1159  | 3343                  | 1,1533                         | 3,45   |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 12   | Far from the arid region, close to the sprayed field, under the influence of desert storm | -/LSR  | 1010  | 3836                  | 1,152                          | 3,003  |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge)   | 90   | Arid zone, soil truck route, 5 km away from the settlement, near the material quarry      | -/LSR  | 1058  | 3662                  | 1,1063                         | 3,021  |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 53   | Altitude 1600-1800, dry farm land and terrain, terrestrial climate                        | +/HTV  | 944   | 4104                  | 1,5297                         | 3,727  |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 15   | Arid zone, earth truck route, 5 km away from the settlement, close to the quarry          | -/LSR  | 902,5 | 4293                  | 1,1533                         | 2,687  |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | -  | Altitude 1684, residential remote, 6 months snowy   | -/LSR  | 859,2 | 4510                  | 1,1097                         | 2,46   |

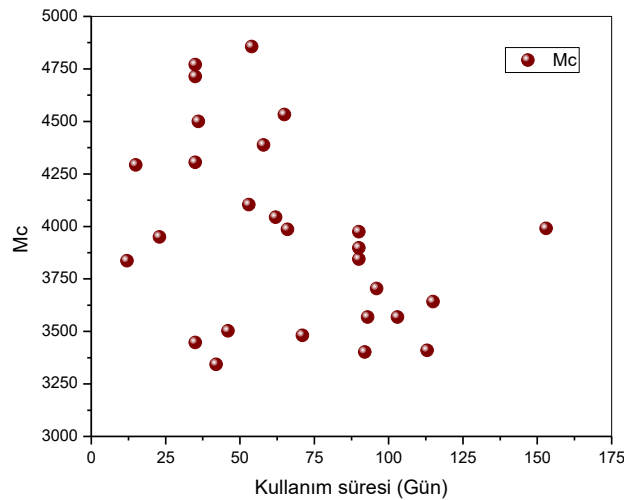


$M_c$  değeri çapraz bağ yoğunluğu ile ters orantılıdır.  $M_c$  değeri ne kadar düşükse polimer zincirindeki çapraz bağ yoğunluğu o kadar fazladır. Ve bozunma o derece de azdır. Grafik 4’de görüldüğü gibi LSR örneklerinin çapraz bağlar arasındaki Molekül ağırlığının ( $M_c$ ) 3800 g/mol bandının altındadır. HTV izolatörlerde kullanılan silikonun  $M_c$  değeri 3800 g/mol’den fazladır. Fakat LSR üretimi yapan bir firmanın 15,32 ve 33 no’lu örneklerinde  $M_c$  değeri 3800 g/mol den daha yüksek bulunmuştur. Örneklerin  $M_c$  değerinin yüksek olması zincir kesilmesi yani bozunma sonucunda olabileceği gibi örneklerin üretici firmalar tarafından farklı proseslerde farklı pişirici sistemleri kullanılarak hazırlanmasından da kaynaklanabilir.



**Grafik 4;  $M_c$  değerlerinin karşılaştırılması**

$M_c$  değerinin daha yüksek çıkmasının sebebinin kullanım süresine bağlı olarak değişim gösterip göstermediğini incelemek amacıyla kullanım süresine karşı  $M_c$  değeri grafiğe geçirilmiştir



**Grafik 5; Kullanım süresine göre  $M_c$  değişim grafiği**

Grafik 5’den görüldüğü gibi üretici firmadan bağımsız olarak kullanım süresi ile  $M_c$  arasında doğrusal bir ilişki görülmemiştir.  $M_c$  değeri eğer tüm örneklerin yoğunlukları aynı olması

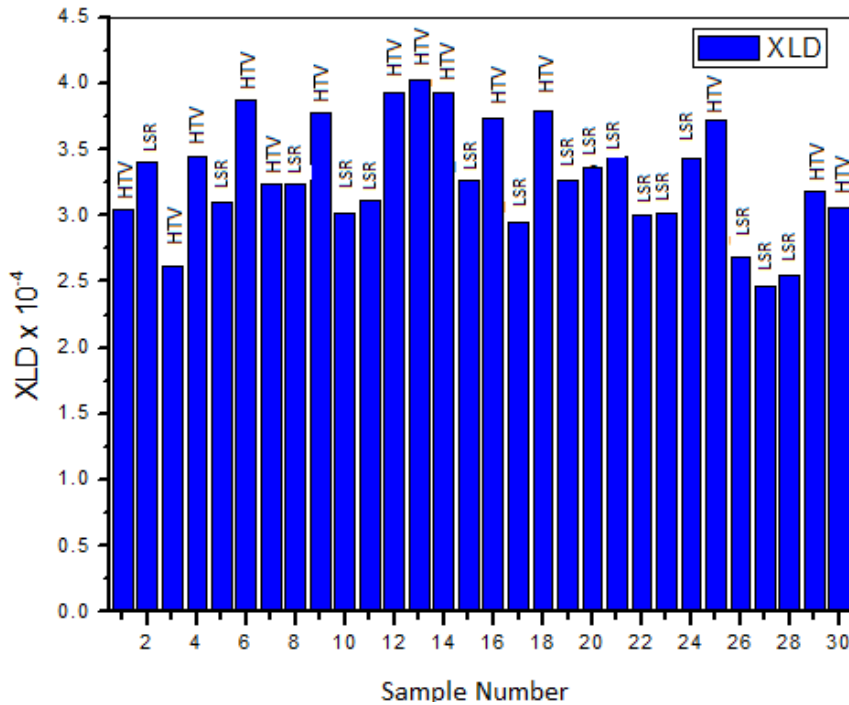
durumunda doğrudan karşılaştırılabilecek bir büyüklüktür. Örneklerin yoğunlukları tayin edildiğinde (**Tablo 7**) yoğunlukların birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Bu nedenle yoğunluk parametresinden bağımsız olarak örneklerin doğrudan çapraz bağ yoğunlukları (XLD) karşılaştırılmıştır.

$M_c$  değeri ile XLD arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

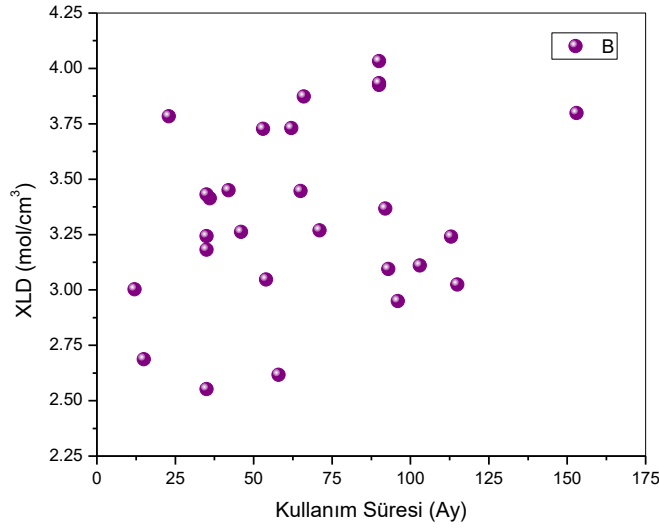
$$\text{Çapraz Bağ Yoğunluğu (XLD)} = \rho/M_c$$

Örnek numarası ile XLD 'nin değişimi Tablo 7 ve Grafik 6'da verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi örneklerin XLD değeri  $3 \times 10^{-4}$  ile  $4 \times 10^{-4}$  aralığında değişim göstermiştir. Üretici firmaya bağlı olarak XLD 'nin değişiminde bir ilişki kurulamamıştır. XLD değeri ile kullanım süresi arasında da bir ilişki kurulamamıştır.



**Grafik 6; XLD değerlerinin karşılaştırılması**

Çapraz bağ yoğunluğu üzerinden yapılacak bir incelemeyle izolatörün kullanma ve kalan ömrü ile ilgili bir fikir sahibi olunabilir. Bizim yaptığımız çalışmada incelenen numuneler için aynı firma tarafından üretilmiş olmasına rağmen birçok üründe malzeme yoğunlukları ile çapraz bağ yoğunluklarının farklı olması nedeni ile kullanım süresine bağlı olarak ömür tayini yapılamamıştır. Normal şartlarda aynı üretici tarafından aynı standartlarla üretilen ürünlerde benzer değerlerin olması gerekirdi. Bu da üreticilerin farklı oranlarda hammadde kullanmaları ile ilişkilendirilmiştir. FTIR spektumu sonuçları ile karşılaştırıldığında da bir ortak nokta tespit edilememiştir.

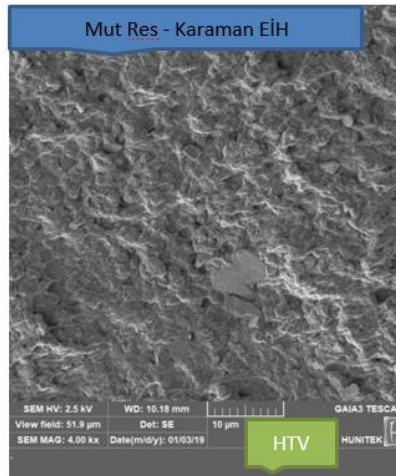
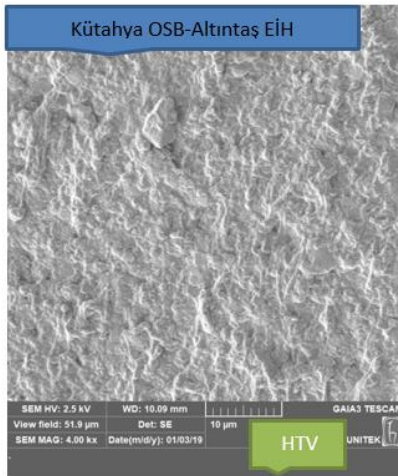


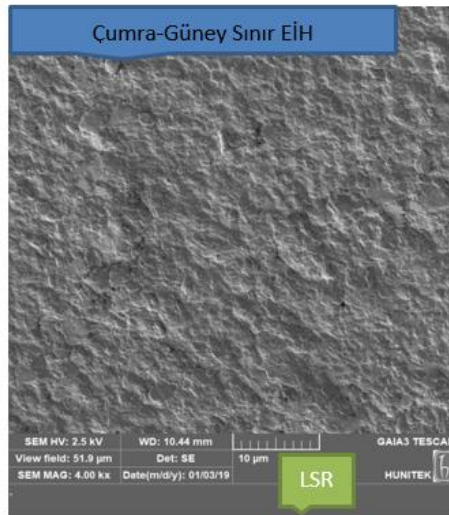
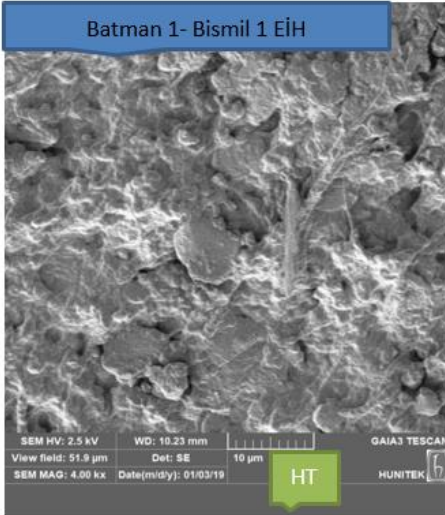
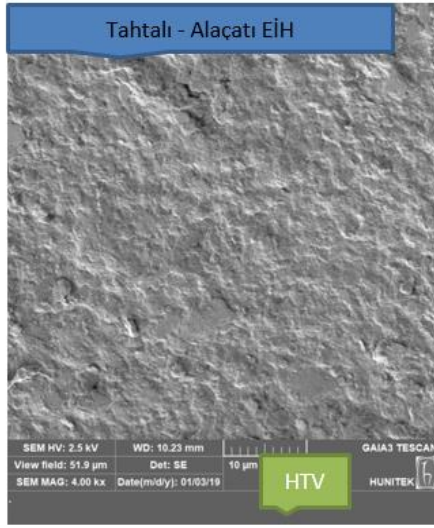
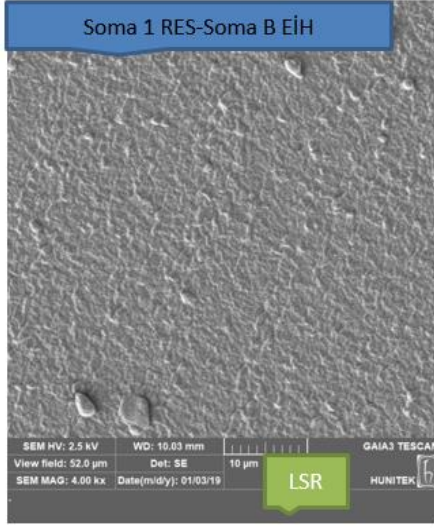
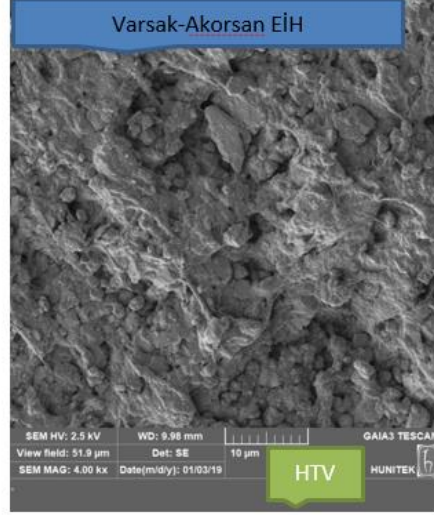
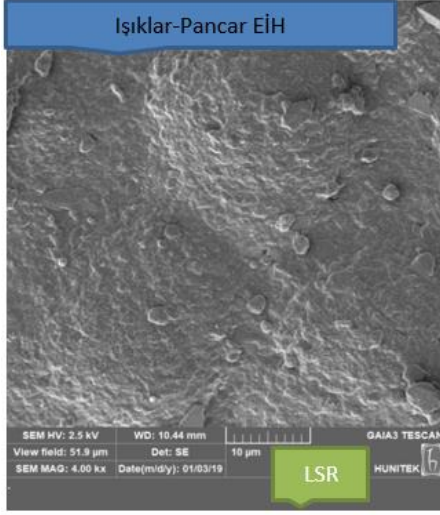
**Grafik 7; XLD değerinin kullanım süresine göre değişimi**

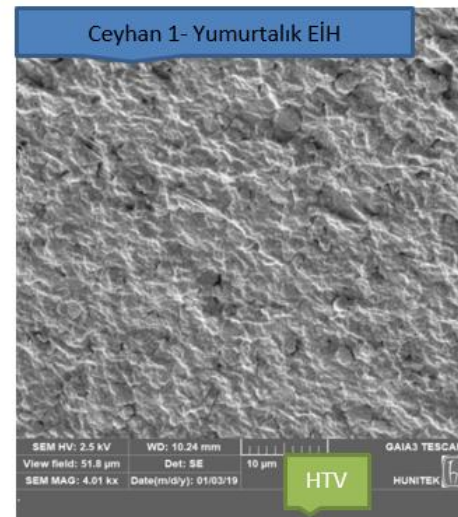
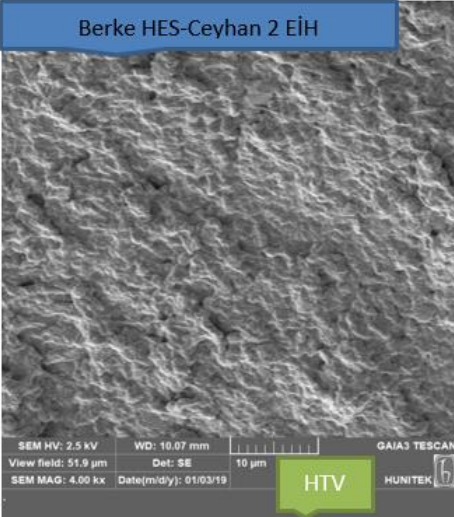
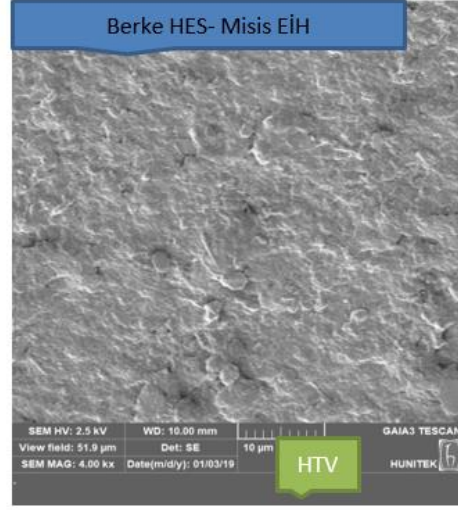
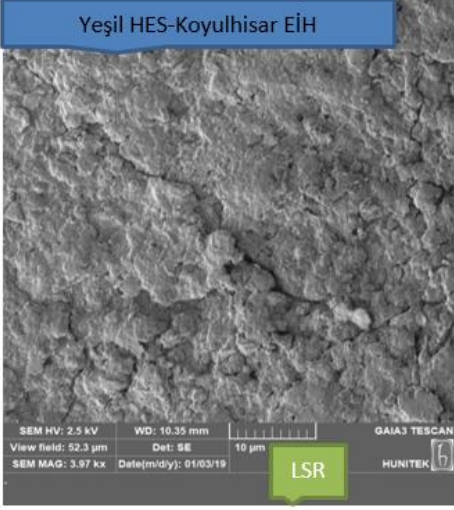
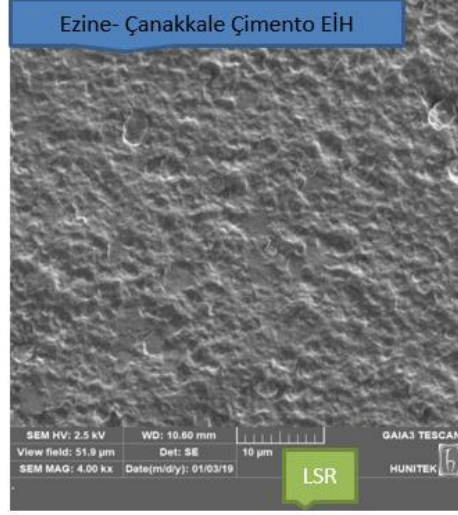
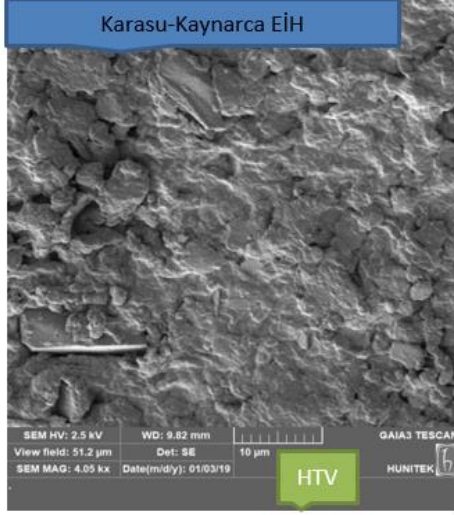
Örneğin bir LSR firmasının 35 ay kullanılmış bir örnek  $3,727 \times 10^{-4}$  mol/cm<sup>3</sup> XLD değerine sahip iken yine 35 ay kullanılmış başka bir örneğin XLD değeri  $2,552 \times 10^{-4}$  mol/cm<sup>3</sup> dür. Üreten firma aynı, kullanım süresi aynı olmasına rağmen XLD değerinin farklı olması firmanın kendi içinde farklı XLD lerde üretim yapmasından veya kullanıldığı bölgenin iklim koşullarından kaynaklanan bir bozunma sonucunda XLD değerinin değişmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

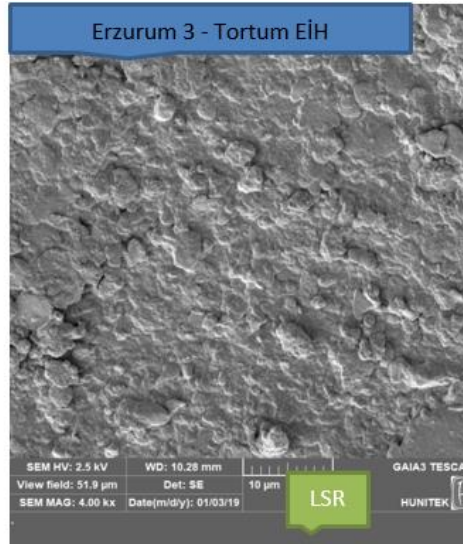
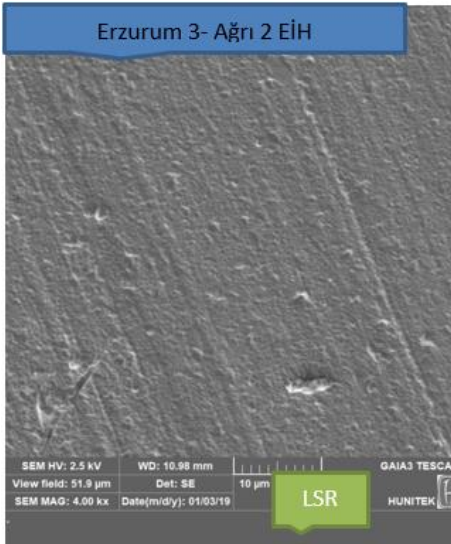
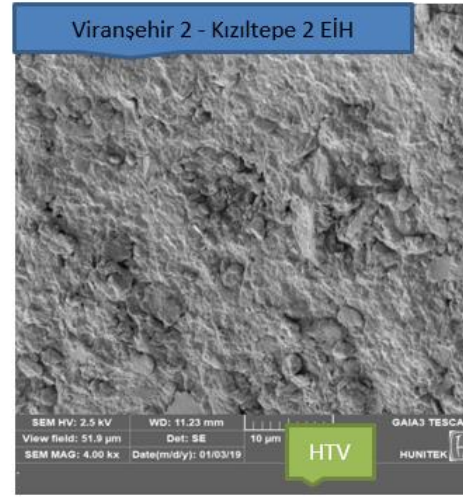
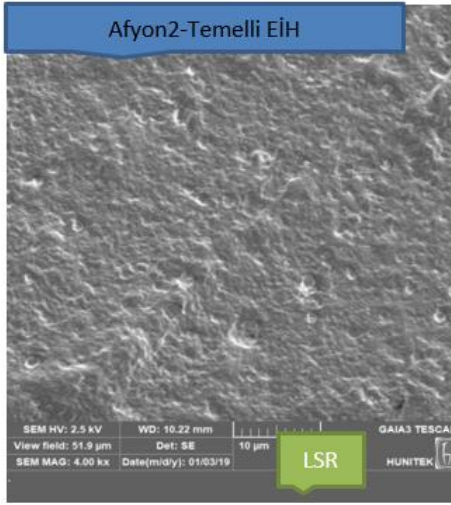
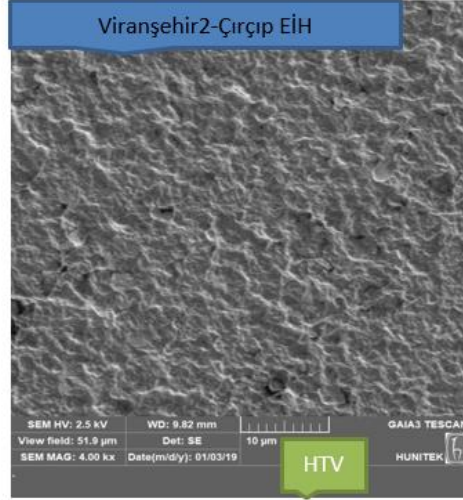
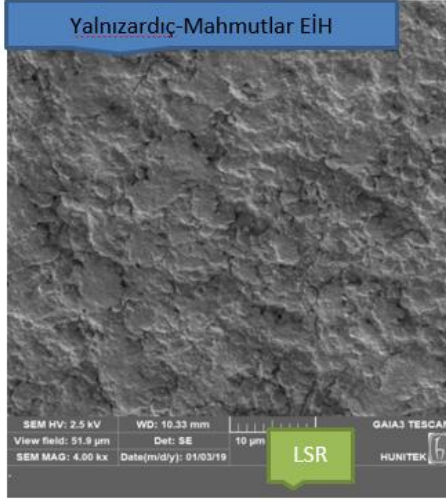
## 2.6 SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop)

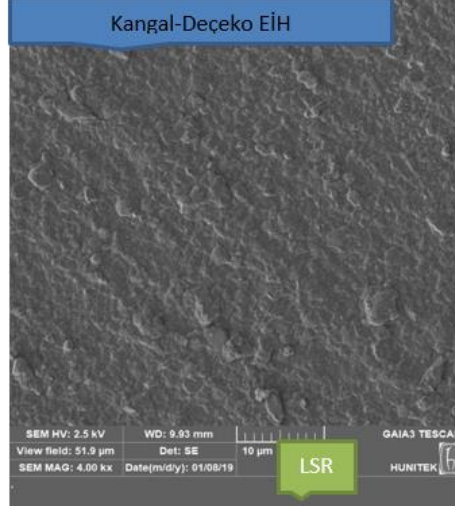
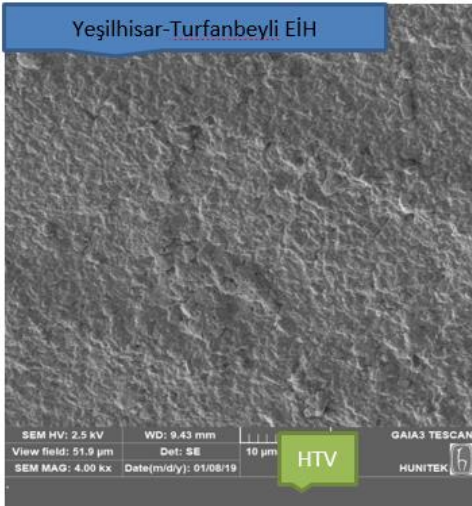
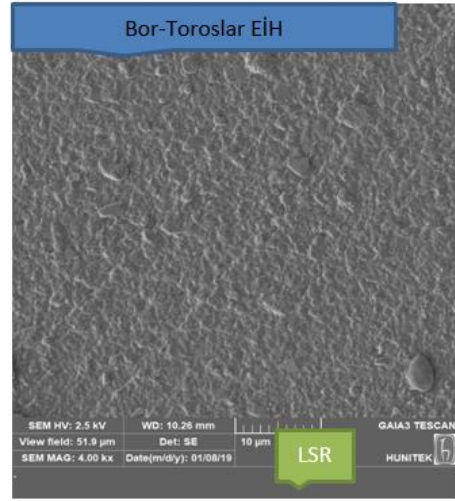
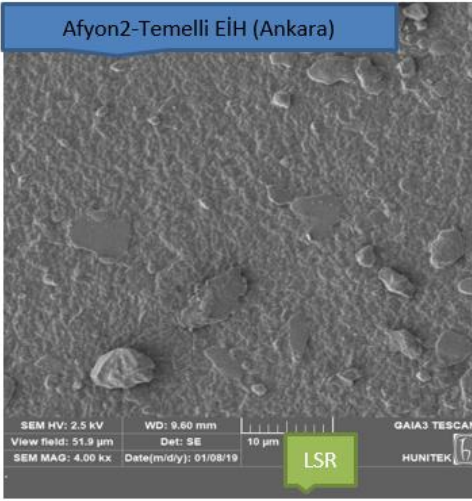
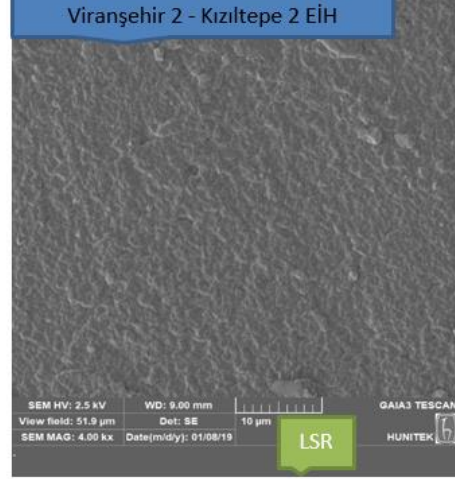
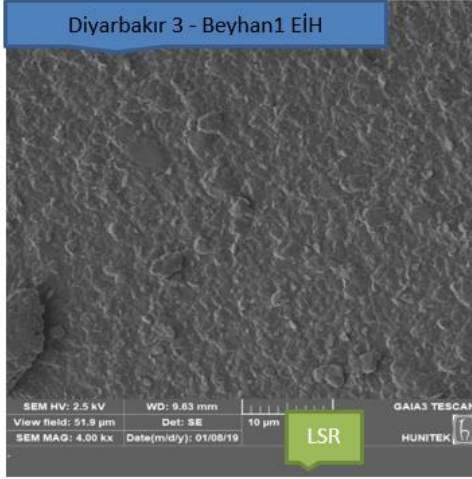
Silikon izolatörlerin yüzeyi kullanım koşullarına bağlı olarak aşınır. Yüzeyde meydana gelen aşınma sonucunda yüzey pürüzlülük katsayısı artar ve böylece pürüzlü yüzeyin yaşlanma hızı artacaktır. Ayrıca pürüzlü yüzeylerde kir oluşumu ve korona etkisi ile alan dağılımı değişecektir. SEM görüntüleri **FIB-SEM** cihazı ile alınmıştır. SEM

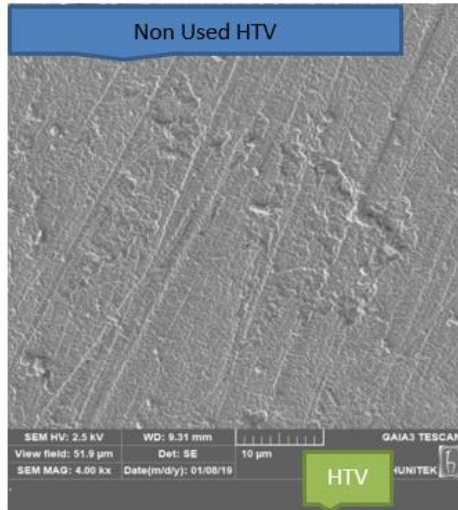
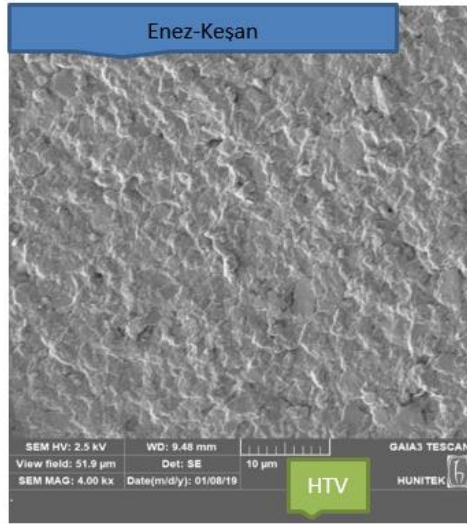
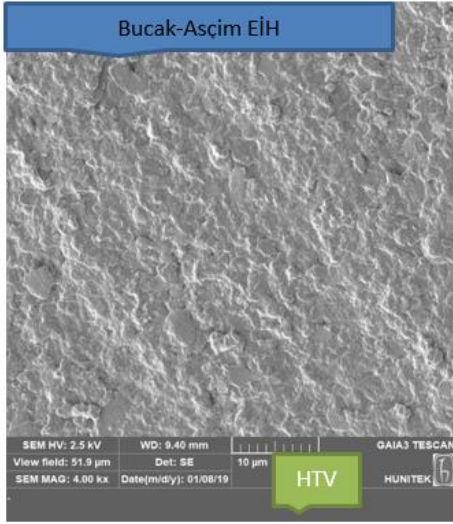
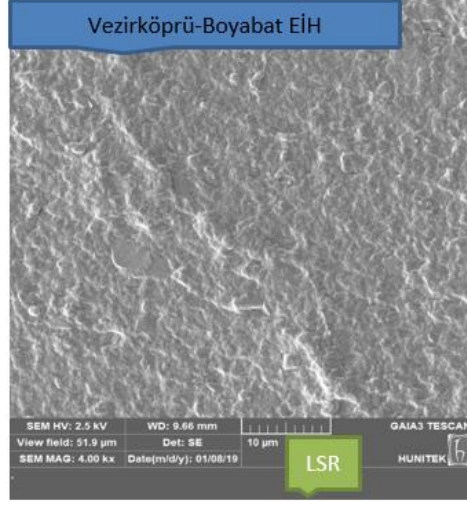
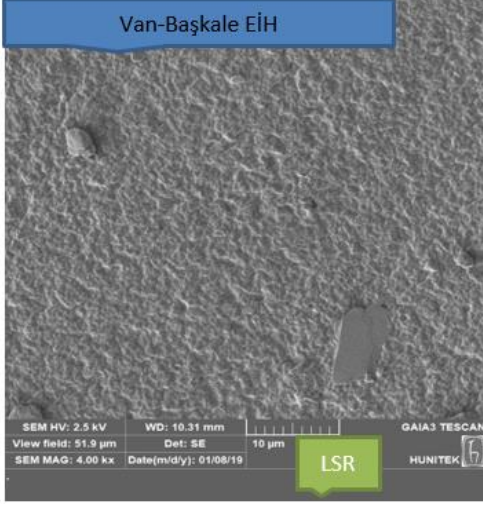














Tüm numunelerde Taramalı Elektron Mikroskop görüntüleri 51,9 µm, 104 µm, 208 µm, 415 µm, 830 µm boyutlu olarak elde edilmiştir. Görüntü boyutu küçüldükçe daha fazla ayrıntı elde edilebilmektedir. En ideal görüntü boyutunun 51,9 µm olduğu görülmüştür.

Taramalı Elektron Mikroskop görüntülerinden elde edilen sonuca göre 51,9 µm görüntü alanındaki HTV ürünlerin yüzey pürüzlülük görüntüleri LSR ürünlere göre daha pürüzlüdür. Bu pürüzlülük kullanım yılına ve kullanım koşullarına göre değişmektedir.

31 no'lu görüntü kullanılmamış HTV ürüne ait yüzey görüntüsüdür. HTV silikon ürünlerin yüksek oranda mikro boyutlu dolgu maddelerine sahip olması, karışım prosesinde hamur silikon ana malzeme kullanılması nedeniyle fiziksel bütünlüğü gerçekleştirmek LSR'lere göre daha zordur.

Ayrıca yüksek dolgu maddesi ihtiva den HTV silikon yüzeyler daha sert olduğundan dolayı yüzeysel pürüzlülüğün zaman içerisinde arttığı görülmüştür.

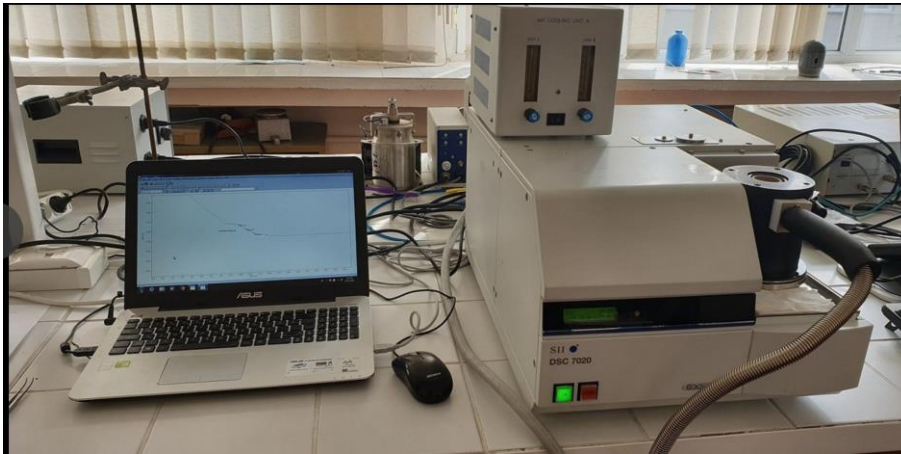
### 3.İZOLATÖRÜN SİLİKON DIŞ KAPLAMASI İÇİN YAPILAN KİMYASAL TESTLER

#### 3.1 DSC Analizleri

Farklı bölgelerden temin edilen izolatörlerin silikonu soyulmuş ve rod kısmından kazıma yöntemi ile örnek toplanmıştır. Rod'un yapımında kullanılan epoksi reçinenin Camsı Geçiş Sıcaklığını (Tg) belirlemek için örneklerin DSC ile incelenmiştir.

Rodun camsı geçiş sıcaklığı elektriksel ark oluşumu sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıkta katı formda bulunan rodun yumuşayarak eriyik hale geçme sıcaklığı olup, izolatörün mekanik performansı açısından çok önemlidir.

DSC termogramları 30 °C ile 200 °C aralığında kaydedilmiştir. DSC çalışmalarında Şekil 20 de resmi verilen Seiko Marka Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ve Şekil 21 de verilen Pelkin Elmer marka DSC cihazları kullanılmıştır.

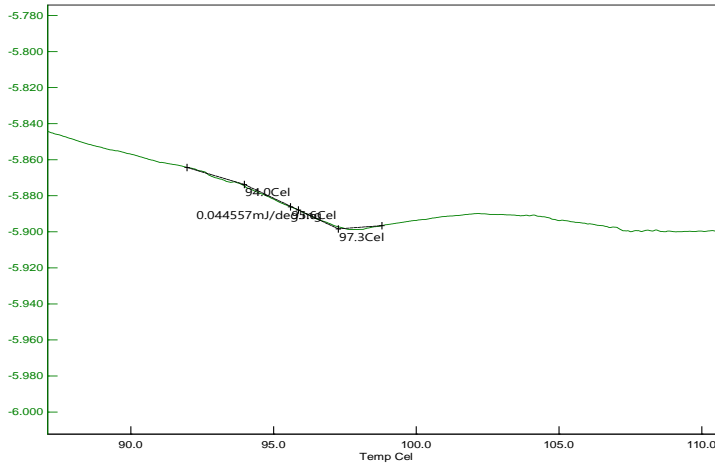


Şekil 20;Tg belirlenmesi çalışmalarında kullanılan Seiko marka DSC cihazı

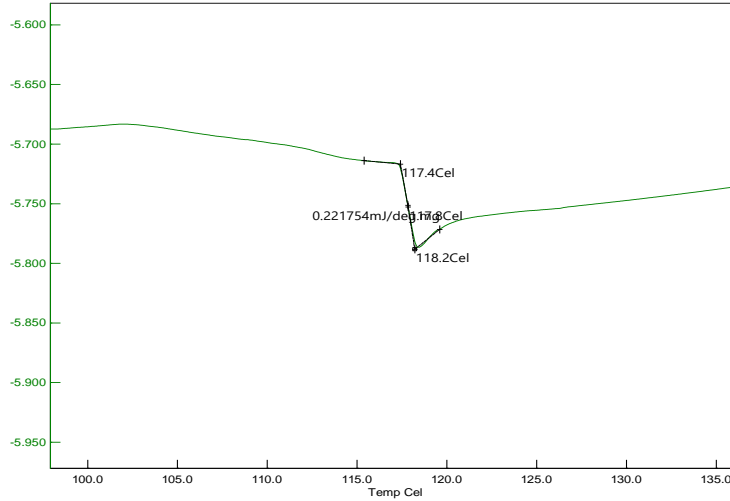
Elde edilen DSC termogramlardan 1 ve 2 no'lu numunelerin ait roduna ait olanlar Şekil 22 – Şekil 23 de verilmiştir.



Şekil 21;T<sub>g</sub> belirlenmesi çalışmalarında kullanılan Pelkin Elmer marka DSC cihazı



Şekil 22;Kütahya OSB-Altıntaş EİH'den alınan 1 no'lu izolatörün rod'unda kullanılan reçinenin DSC termogramı



Şekil 23;Mut Res - Karaman EİH'den alınan 2 no'lu izolatörün rod'unda kullanılan reçinenin DSC termogramı

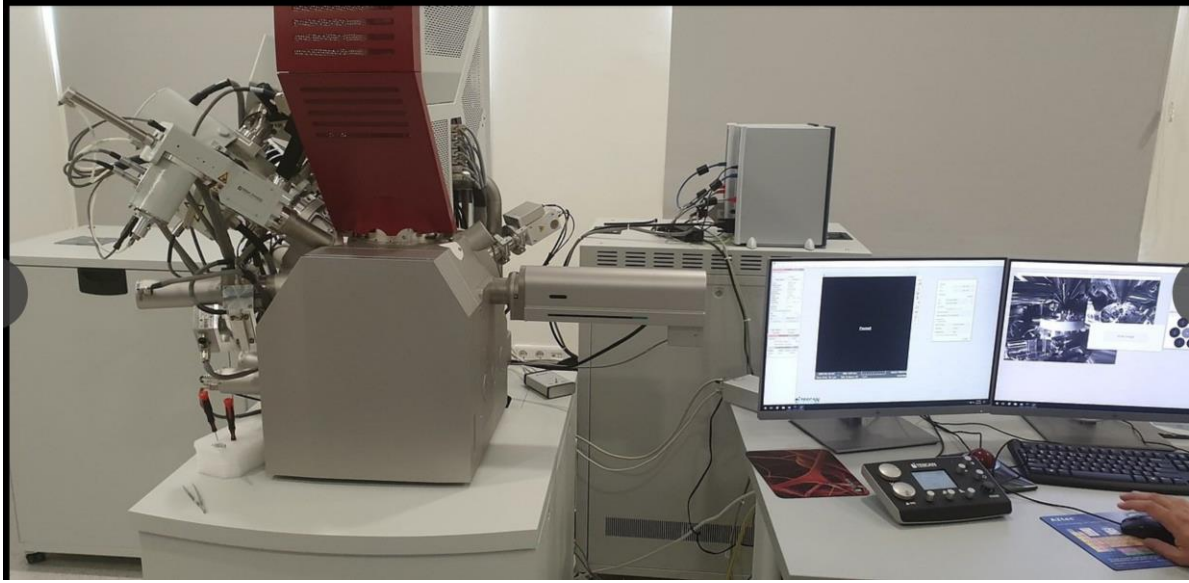
DSC termogramlarının değerlendirilmesi sonucunda rod'un yapımında kullanılan reçine için elde edilen Camsı Geçiş Sıcaklıkları ( $T_g$ ) Tablo 2.1.1'de verilmiştir. Tablo incelenecek olursa örneklerin rod'unun yapımında kullanılan reçinenin  $T_g$  değerinin 95-117 °C aralığında değiştiği görülmüştür.

Tablo 8; Numune Silikon İzolatör Rodlarının Tg(Camsı Geçiş Sıcaklık) Değerleri

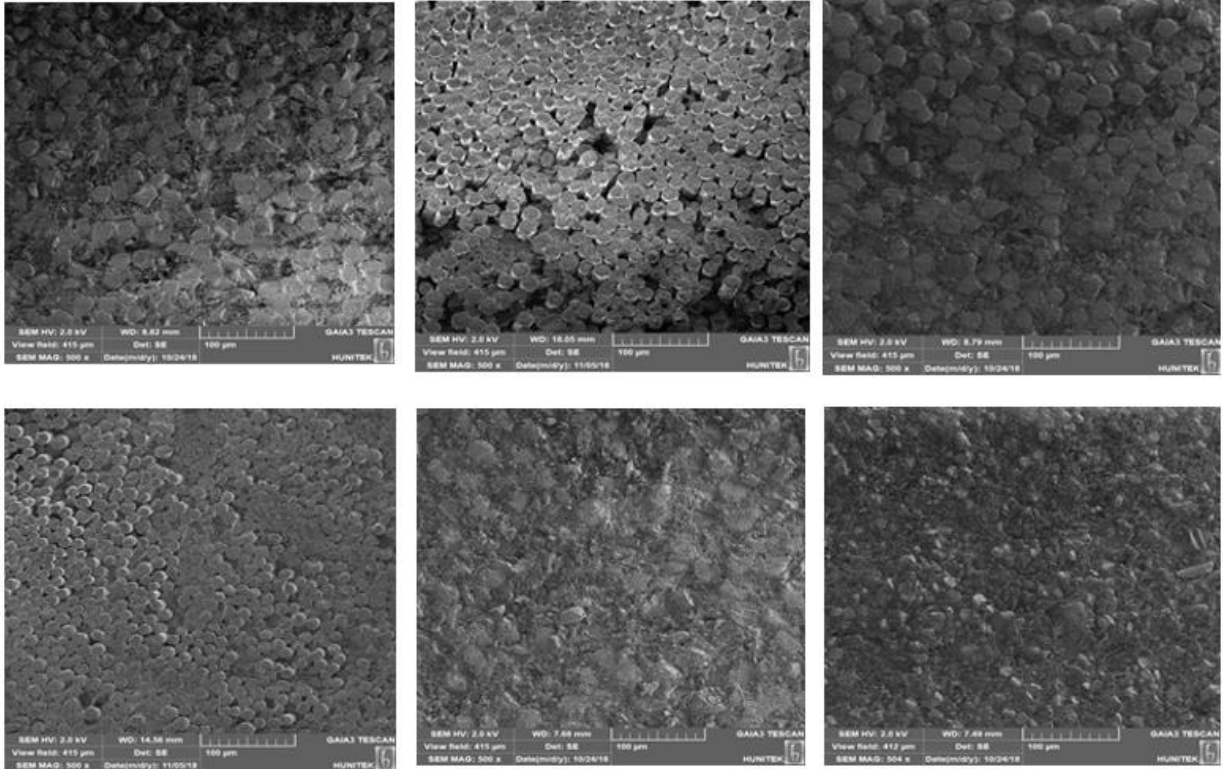
| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | ROD   |                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
|                               |                                     | Camsı Geçiş Sıcaklığı<br>(T <sub>g</sub> ) (°C) (The glass<br>transition point) | Bor içeriği<br>(boron<br>amount) |
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 95,6  | -                                |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 117,8   | -                                |
| 3                             | IŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 116,4   | -                                |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 106,6   | -                                |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 117,8   | -                                |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 108,4   | -                                |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 114   | -                                |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 108,1   | -                                |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 116,2   | -                                |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 115   | -                                |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYULHISAR HES EİH        | 110,4   | -                                |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 105,6   | -                                |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH           | 104,9   | -                                |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 100,6   | -                                |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              |   | -                                |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        |   | -                                |
| 17                            | Enez-Keşan                          |   | -                                |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   |   | -                                |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    |   | -                                |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 |   | -                                |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 112,3   |                                  |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 105   |                                  |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 107,5   |                                  |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 106,7   |                                  |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 110,4   |                                  |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 99,8  |                                  |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 95,2  |                                  |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 100,6   |                                  |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 100,4   |                                  |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölgesi) | 100   |                                  |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 100,9   |                                  |
| 32                            | Kangal-Deçekö EİH                   |   |                                  |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     |   |                                  |

### 3.2 SEM Görüntüsü (Taramalı Elektron Mikroskop)

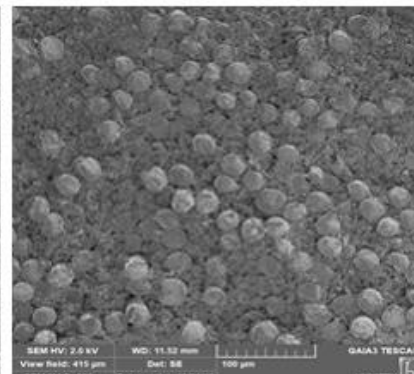
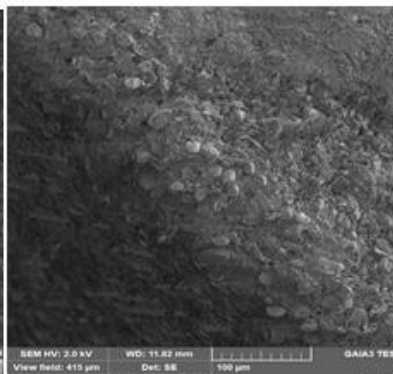
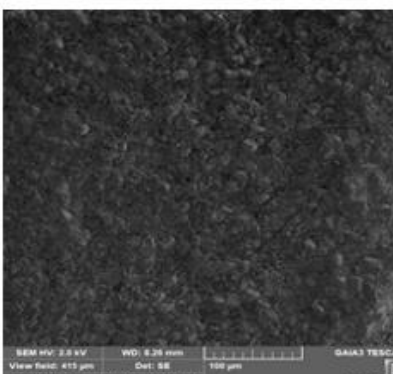
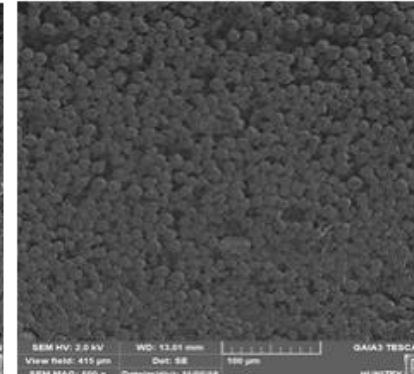
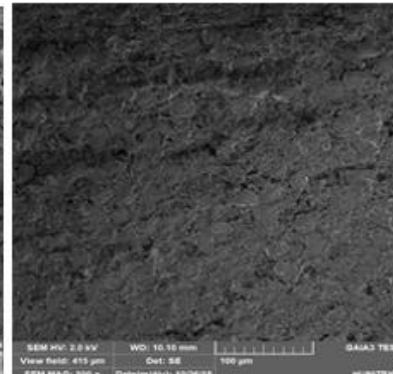
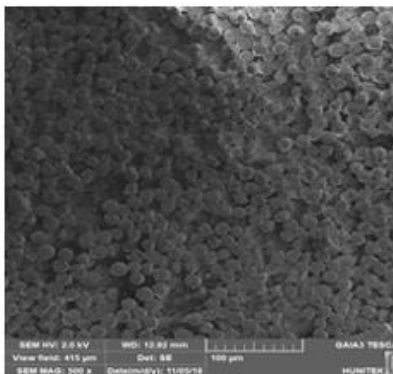
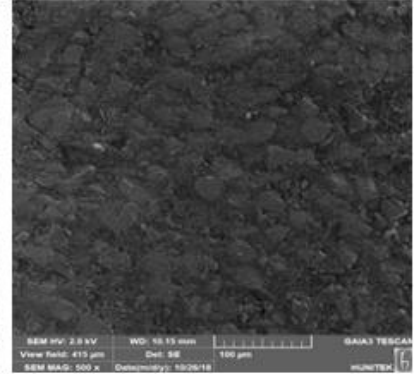
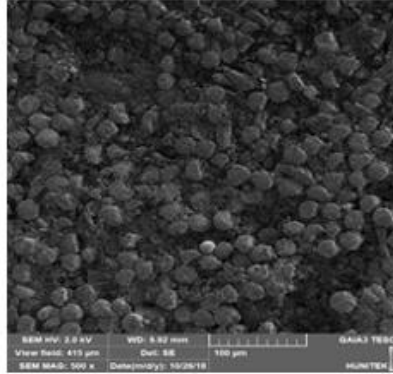
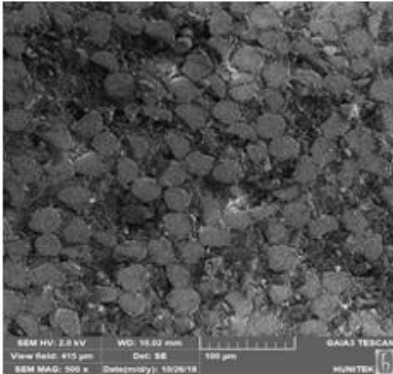
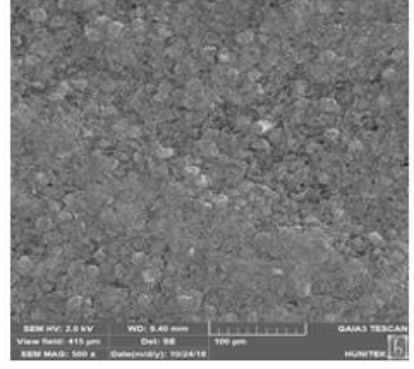
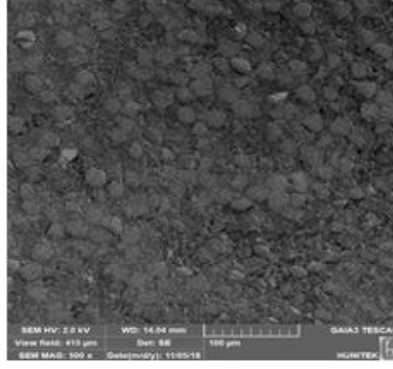
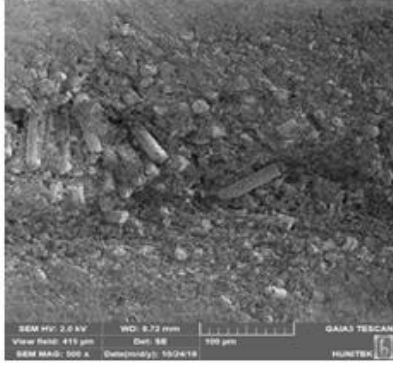
Silikon izolatörlerin rod kısmı cam elyaf ile katkılanmış reçineden oluşmaktadır. Reçinenin cam elyaf içindeki dağılımını ve cam elyafların yönlenmesini kontrol etmek amacıyla rod'dan çıkartılan disklerin **Şekil 24**'de görüntüsü verilen **FIB-SEM** cihazı ile görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri **Şekil 2.2.2-Şekil 2.2.26**'da verilmiştir. Şekillerden de açıkça görüldüğü gibi **tüm örneklerde reçinenin cam elyaflar arasında homojen olarak dağıldığı** tespit edilmiştir.

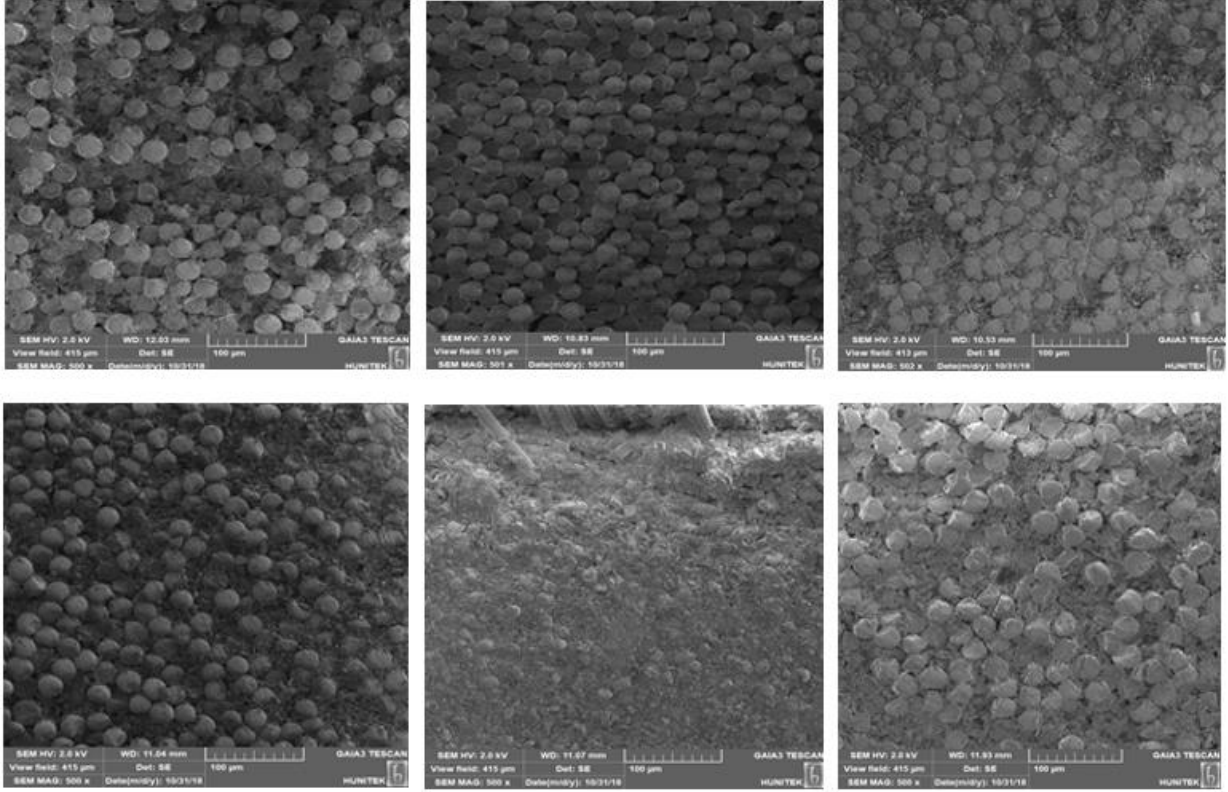


Şekil 24;SEM ve EDX çalışmalarında kullanılan FIB -SEM Cihazı



ÇĞ B2.04 DOĞAL KİRLENMİŞ SİLİKON İZOLATÖRLERDE KİRLİLİK ÖLÇÜMÜ, KİMYASAL TESTLER VE ELEKTRİKSEL TESTLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ





Şekil 25; Numune rodlara ait SEM görüntüleri

### 3.3 Enerji Dağılım X-Işını (EDX) Spektrumları

Örneklerin rod kısmında kullanılan cam elyafın element analizi yapılarak bor içerip içermediği de FIB-SEM sistemine bağlı bir EDX cihazı ile kontrol edilmiştir.

Bu görüntülerin değerlendirilmesi sonucunda her bir örneğin içinde bulunan metallerin içeriklerine ait bilgiler **Tablo 9**'de verilmiştir.

Rodların içerisinde kullanılan cam elyafın içerisindeki metallerin cinsi ve miktarı örnekten örneğe bazı farklar içerirse de hiçbir örnekte bor elementine rastlanılmamıştır.

**Tablo 9; Rod Kimyasal Bileşimi EDX Cihazı ile Ölçüm Sonuçları**

| Örnek No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | O    | C    | Si   | Al  | Ca   | Mg  | Fe  | Na  | Ni  | S/K  | Cl/Zn |
|--------------------------------|-------------------------------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| 1                              | Kütahya OSB-Altıntaş EİH            | 66,4 | 19,8 | 8,9  | 2,8 | 1,3  | 0,8 | 0,1 | -   | -   | -    | -     |
| 2                              | Mut Res - Karaman EİH               | 63,1 | 16,6 | 12,1 | 3,4 | 3,3  | 0,9 | 0,3 | -   | 0,4 | -    | -     |
| 3                              | Işıklar-Pancar EİH                  | 70,5 | 24,9 | 2,7  | 0,9 | -    | 0,3 | -   | 0,5 | 0,1 | -    | 0,2   |
| 4                              | Varsak-Akorsa EİH                   | 66,9 | 20,9 | 7,2  | 2,3 | 2,8  | -   | -   | -   | -   | -    | -     |
| 5                              | Soma 1 RES-Soma B EİH               | 63,8 | 16,9 | 12,3 | 3,4 | 2,5  | 1,1 | -   | -   | -   | -    | -     |
| 6                              | Tahtalı - Alaçatı EİH               | 69,8 | 24,2 | 3,2  | 0,8 | 1,8  | -   | -   | -   | -   | 0,2  | -     |
| 7                              | Batman 1- Bismil 1 EİH              | 57,3 | 10,6 | 18,6 | 4,6 | 7,6  | 1,3 | -   | -   | -   | -    | -     |
| 8                              | Çumra-Güney Sınır EİH               | 58   | 11,9 | 16,4 | 4,1 | 7,4  | 1,1 | 0,6 | 0,4 | -   | -    | -     |
| 9                              | Karasu-Kaynarca EİH                 | 66,9 | 21   | 6,8  | 2   | 2,5  | 0,5 | -   | 0,2 | -   | -    | -     |
| 10                             | Ezine- Ç. Çimento EİH               | 68,1 | 24,3 | 0,6  | -   | 7    | -   | -   | -   | -   | -    | -     |
| 11                             | Yeşil HES-Koyulhisar EİH            | 68,6 | 23,1 | 4,2  | 1,3 | 0,6  | 0,4 | -   | 1,3 | -   | -    | 0,5   |
| 12                             | Berke HES- Misis EİH                | 61,3 | 14,7 | 13,9 | 4   | 5,1  | 1   | -   | -   | -   | -    | -     |
| 13                             | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 70,4 | 24,8 | 2,8  | 0,7 | 0,2  | 0,3 | 0,1 | -   | -   | -    | /0,6  |
| 14                             | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 62   | 14,5 | 15,5 | 4,7 | 1,3  | 1,3 | -   | -   | 0,8 | -    | -     |
| 15                             | Yalınzardıç-Mahmutlar EİH           | 70,6 | 25,8 | 0,7  | 0,4 | 0,5  | -   | 0,8 | -   | 1,1 | -    | -     |
| 16                             | Viranşehir2-Çırçır EİH              | 68,1 | 22,4 | 5,3  | 1,3 | 1,4  | 0,5 | -   | -   | -   | -    | /1,0  |
| 17                             | Afyon2-Temelli EİH                  | 61,9 | 14,4 | 15,6 | 5,3 | -    | 0,8 | 0,7 | -   | 0,2 | /1,0 | -     |
| 18                             | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 56,8 | 10,5 | 17,3 | 4,4 | 9,3  | 1,2 | -   | 0,4 | -   | -    | -     |
| 19                             | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 63,1 | 16,7 | 10,7 | 4,1 | 2,9  | 2,6 | -   | -   | -   | -    | -     |
| 20                             | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 66,6 | 20,1 | 6,9  | 2   | 2,4  | 0,5 | -   | -   | -   | 1,5/ | -     |
| 21                             | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 61,5 | 15,4 | 12,5 | 3,5 | 6,2  | 0,9 | -   | -   | -   | -    | -     |
| 22                             | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 69,4 | 23,6 | 3,6  | 1,6 | 0,9  | 0,9 | -   | -   | -   | -    | -     |
| 23                             | Temelli EİH (Ankara bölgeden)       | 63,9 | 17,4 | 11,7 | 2,5 | 3,6  | 1   | -   | -   | -   | -    | -     |
| 24                             | Bor-Toroslar EİH                    | 56,3 | 9,3  | 18,2 | 6,8 | 4,8  | 4,1 | 0,4 | -   | 0,1 | -    | -     |
| 25                             | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 54,5 | 8,7  | 19,3 | 4,1 | 12,1 | 1,4 | -   | -   | -   | -    | -     |

### 3.4 Kimyasal Test Değerlendirme Sonuçları

- Silikon kompozit izolatörlerin dış kılıfı olarak kullanılan silikon elastomerin doğal ortamda kullanım süresi ile bir miktar yaşlanma gösterdiği, yapının kısmen oksitlendiği ancak bu yaşlanmanın malzemenin kimyasal yapısını tamamıyla bozacak oranda olmadığı tespit edilmiştir.
- Bozunmanın daha çok nemli, yağış alan ve sulak bölgelerde olduğu tespit edilmiştir.
- Silikon kompozit izolatörleri üreticilerinin izolatörlerin üretimi sırasında üretim yöntemine bağlı olarak farklı oranlarda dolgu malzemesi kullandıkları tespit edilmiştir.
- Tüm silikon izolatörün hidrofobik karakterde olduğu bulunmuştur.
- Aşırı rüzgarlı, ormanlık, çok yağışlı bölgelerde kullanılan örneklerin hidrofobitesinin hidrofobik yapıdan hidrofilik yapıya doğru kaydığı tespit edilmiştir.
- Tüm izolatörlerin camsı geçiş sıcaklığının -90 ile -110 °C aralığında olduğu şu ana kadar Türkiye’de elde edilmiş en düşük sıcaklıktan (-46,4) yaklaşık 2,0-2,5 kat daha düşük olduğu için örneklerin herhangi bir çatlama olmadan kullanılabilceği sonucuna verilmiştir.
- Örneklerin çapraz bağ yoğunluğunun(XLD) kullanım süresi ile azalması veya artması yönünde bir ilişki kurulamamıştır. Aynı firma tarafından üretilen ve aynı sürede kullanılmış bir örneğin XLD değeri birbirinden farklı değerler alabilmektedir. Bunun sebebi bölgesel farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi firmanın farklı XLD de örnek üretmesinden de kaynaklanabilir.

- Silikon kompozit izolatörlerin rod'unun yapımında kullanılan cam elyaf ile katkılanmış reçinenin çamsı geçiş sıcaklığının 97-117 °C aralığında olduğu bulunmuştur.
- Cam elyafların reçine içinde homojen bir dağılım gösterdiği SEM görüntüleri ile tespit edilmiştir.
- EDX analizleri sonucunda tüm üreticilerin rod'larında bor elementinin olmadığı tespit edilmiştir.

#### 4. ELEKTRİKSEL TESTLER

Türkiye elektrik iletim şebekesinin çeşitli bölgelerindeki hava hatlarından alınan 170 kV ve 420 kV kompozit (silikon) izolatör takımları çeşitli yalıtım deneylerine tabi tutulmuş; elde edilen sonuçlar, izolatör boyutları, formları ve hırdavat takımları da dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 26; 170 kV Elektriksel Test Düzeneği

Deney yapılan izolatör takımlarına ait bilgiler, yapılan deneyler, montaj bilgileri, ayrıntılı deney sonuçları elde edilmiştir.

Deney yapılan takımlarda kullanılan izolatörlerin etek konfigürasyonları, ark uzunlukları ve muhtemelen krepaj uzunlukları farklıdır. Etek yapısı açısından üç farklı tür söz konusudur: Eşdeğer çaplı etekler, büyük/küçük şeklinde iki farklı çapta etekler ve büyük/orta/küçük şeklinde

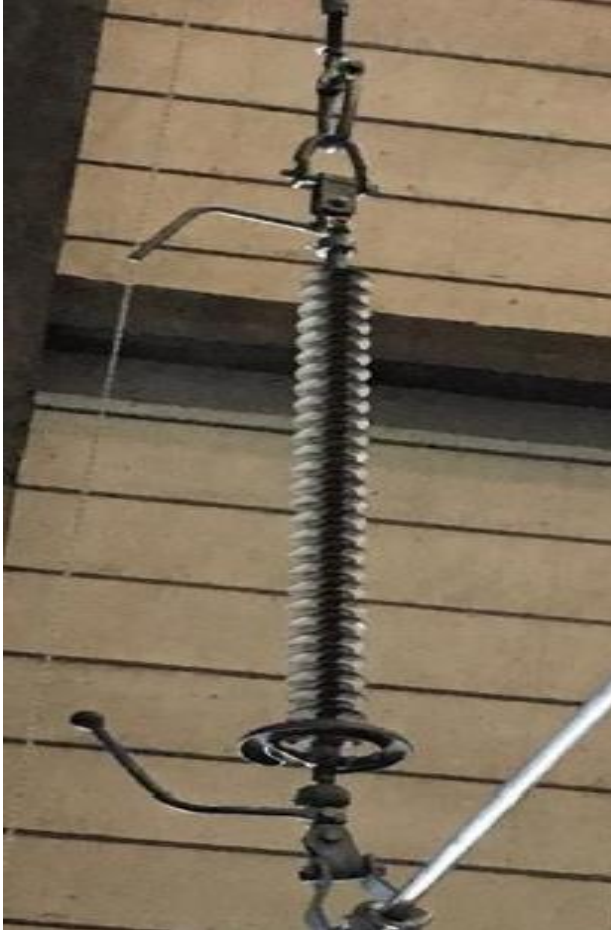


üç farklı çapta etekleri olan izolatörler vardır. İzolatör ark uzunlukları çoğu takımda 150 cm civarında iken, bazı hatlarda daha uzun izolatörler kullanılmıştır (Ezine-Ç.Çimento hattında kullanılan izolatörün boyu 168 cm'dir.)

- Setlerde kullanılan korona halkaları ve halkaların yerleştirildiği konumlar farklıdır. Çoğu hatta 20-22 cm çaplı, döküm korona halkaları kullanılırken, bazı hatlarda 30-31 cm çaplı alüminyum korona halkası kullanılmıştır.

- Ark boynuzları ve toprak tarafında iki ark boynuzu kullanılmakta olup, hat tarafında ucu topuz şeklinde yuvarlatılmış, toprak tarafında ise genellikle ucu yuvarlatılmamış ark boynuzu kullanılmaktadır.

Boşalma olayları açısından daha büyük önemi olan hat tarafı ark boynuzunun konumu (korona halkasına göre yüksekliği ve uzaklığı) standart değildir. Korona halkasının, elektrik alan dağılımını düzleştirme ve sürekli çalışma durumunda oluşacak korona kayıplarını azaltma işlevi, uygun olmayan ark boynuzu kullanımı ile kısıtlanmaktadır.



- Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi deneylerinde, ark boynuzları takılı iken, ark boynuzları arası uzaklıkları 128 cm ve daha fazla olan 4 takımda (Çumra-Güneysınır, Ezine-Çanakkale Çimento, Yeşil HES-Koyulhisar HES, Trakya) hiç atlama olmamış, diğer takımlarda en az bir atlama oluşmuştur. Tüm atlamalar ark boynuzları arasında gerçekleşmiştir.

Uygulanan 30 darbenin tümünde atlama olan bir takım yoktur. Atlama süreleri de 10 µs mertebesinde. Bu sonuçlar bize ark boynuzları arası uzaklığın uygun değerde olmadığını göstermektedir. Bu boynuzların, izolatör yüzeyi boyunca atlama oluşmasını engellemek için kullanıldığı dikkate alınır, yalıtım koordinasyonu gereği, 154 kV sistemin yıldırım darbe dayanım düzeyi olan 750 kV'da tüm darbelerde ark boynuzları arasında atlama olması gerekirdi.

Şekil 27; 170 kV Tek Askı İzolatör Takımı

- Sınırlı sayıda deney yapılan ark boynuzu olmayan düzenlerde, sadece 2 tanesinde (Mut RES-Karaman ve Batman-Bismil) birer kez atlama olmuştur. Bu sonuçlar bize, deneye gelen izolatörlerin, bu gerilim düzeyi için yeterli boya sahip oluklarını göstermektedir.

- Deneme amaçlı olarak, Tahtalı-Alaçatı hattı tek askı takımı için, sadece toprak tarafında ark boynuzu kullanılan (hat tarafında ark boynuzu kullanılmayan) düzende yapılan deneyler; iki taraflı ark boynuzu kullanılan durumla benzer ve fakat daha düşük atlama olasılığı verdiğini göstermiştir. Atlamalar, üst ark boynuzu ile korona halkası arasında oluşmuştur.



Şekil 28; 420 kV, V Askı İzolatö Takımı için Test Düzeneği

- Ark boynuzu takılıken gerçekleştirilen yaşta şebeke frekanslı dayanım gerilimi deneylerinde, darbe gerilimi deneyine dayanan Yeşil HES-Koyulhisar takımında izolatör yüzeyinde atlama olmuştur.

Diğer takımların çoğunda ark boynuzları arasında atlama olmuş, bir kısmı ise dayanmışlardır. Tahtalı-Alaçatı hattı tek askı takımı için, sadece toprak tarafında ark boynuzu kullanılan konfigürasyona set dayanmıştır. Bu deneyler açısından, yukarıda belirtilen izolatör yüzeyi atlaması dışında kritik durum yoktur.

Enerji iletim hatlarında, potansiyel /elektrik alan dağılımının dengelenmesi ve korona kayıplarının azaltılması için korona halkaları; aşırı gerilim halinde izolator yüzeyi boyunca yüzeysel boşalma olmaması için ark boynuzları kullanılır. Bu iki hırdavatın, halka-halka, ark boynuzu-halka, halka-halka-ark boynuzu şeklinde farklı birleşimlerinin kullanıldığı durumlar vardır.

Fakat her durumda, yukarıda belirtilen iki işlevin de yerine getirilmesi gerekir. Bu da ancak, söz konusu hırdavatların uygun boyutlandırılması ve uygun konuma yerleştirilmesi ile mümkündür. Tarafımıza iletilen takımlar için bu koşulların sağlanmadığı görülmektedir.



Şekil 29; 420 kV I Askı Takımı için Test Düzenegi

Bu amaçla 154 kV enerji iletim hattı sistemimizin olası tüm askı ve gergi setleri için, bu proje kapsamında yapılan deneyler ve ek olarak KORONA/RIV deneyleri ile hırdavat geometrisi ve konumu konusunda bir çalışma yapılması gereklidir. Deneysel çalışmalar ek olarak, her hat için, işletmede yaşanan geçici açmaların sayısı ve kaynağı da dikkate alınması gerekir.

**Tablo 9; 2013-2018 yılları arası numune alınan hatların arıza açma sayıları**

| NO<br>(Sample<br>number) | GELDİĞİ YER (Used Location)       | Gerilim<br>(voltage) | Hat Uzunluğu<br>(line lenght)<br>km | 2013<br>number of<br>of fault | 2014<br>number of<br>of fault | 2015<br>number of<br>of fault | 2016<br>number of<br>of fault | 2017<br>number of<br>of fault | 2018 number<br>of fault (to<br>21.12.2018) |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| 1                        | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH          | 170 kV               | 47,126                              | 0                             | 2                             | 5                             | 1                             | 3                             | 6  |
| 2                        | MUT RES-KARAMAN EİH               | 170 kV               | 37,384                              | -                             | -                             | 13                            | 2                             | 3                             | 5  |
| 3                        | IŞIKLAR-PANCAR OSB EİH            | 170 kV               | 28,875                              | 0                             | 0                             | 0                             | 0                             | 0                             | 1  |
| 4                        | VARSAK-AKORSAN EİH                | 170 kV               | 17,141                              | 5                             | 4                             | 2                             | 0                             | 3                             | 4  |
| 5                        | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH         | 170 kV               | 21,437                              | 0                             | 1                             | 0                             | 0                             | 1                             | 1  |
| 6                        | TAHTALI- ALAÇATI EİH              | 170 kV               | 69,000                              | 5                             | 7                             | 1                             | 2                             | 4                             | 6  |
| 7                        | BATMAN 1-BİSMİL EİH               | 170 kV               | 49,522                              | 9                             | 1                             | 4                             | 9                             | 18                            | 17   |
| 8                        | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH              | 170 kV               | 30,036                              | 5                             | 7                             | 9                             | 8                             | 15                            | 4  |
| 9                        | KARASU-KAYNARCA EİH               | 170 kV               | 47,551                              | -                             | -                             | 10                            | 0                             | 4                             | 9  |
| 10                       | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH       | 170 kV               | 14,39                               | 0                             | 1                             | 3                             | 1                             | 0                             | 4  |
| 11                       | YEŞİL HES-KOYLHİSAR HES EİH       | 170 kV               | 16                                  | 2                             | 1                             | 7                             | 1                             | 7                             | 26   |
| 12                       | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH         | 170 kV               | 39,66                               | 0                             | 28                            | 11                            | 8                             | 13                            | 18   |
| 13                       | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH         | 170 kV               | 30                                  | 1                             | 4                             | 4                             | 5                             | 0                             | 6  |
| 14                       | BOR-TOROSLAR EİH                  | 170 kV               | 55,613                              | 4                             | 0                             | 2                             | 3                             | 4                             | 3  |
| 15                       | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH            | 170 kV               | 74,248                              | 4                             | 8                             | 7                             | 4                             | 9                             | 12   |
| 16                       | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH      | 170 kV               | 25,996                              | 1                             | 0                             | 1                             | 1                             | 0                             | 2  |
| 17                       | Enez-Keşan                        | 170 kV               | 47,255                              | 4                             | 8                             | 18                            | 2                             | 2                             | 0  |
| 18                       | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                 | 170 kV               | 105,804                             | -                             | -                             | -                             | -                             | -                             | 16   |
| 19                       | BURDUR-KEÇİBORLU                  | 170 kV               | 34,89                               | 0                             | 7                             | 7                             | 3                             | 0                             | 0  |
| 20                       | K. KAPASİTÖR-AVANOS               | 170 kV               | 73,999                              | 2                             | 6                             | 9                             | 5                             | 11                            | 8  |
| 21                       | Berke HES- Misis EİH              | 170 kV               | 85,711                              | 30                            | 14                            | 18                            | 1                             | 25                            | 3  |
| 22                       | Berke HES-Ceyhan 2 EİH            | 170 kV               | 68,765                              | 22                            | 18                            | 21                            | 7                             | 24                            | 1  |
| 23                       | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH          | 170 kV               | 26,652                              | 0                             | 2                             | 2                             | 0                             | 7                             | 4  |
| 24                       | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)  | 420 kV               | 213,688                             | 22                            | 34                            | 77                            | 31                            | 12                            | 13   |
| 25                       | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH    | 420 kV               | 71                                  | 1                             | 1                             | 3                             | 3                             | 6                             | 13   |
| 26                       | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH             | 420 kV               | 183,057                             | 5                             | 4                             | 50                            | 39                            | 34                            | 27   |
| 27                       | Tortum -Erzurum 3-EİH             | 420 kV               | 110                                 | -                             | -                             | 13                            | 22                            | 21                            | 11   |
| 28                       | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH        | 420 kV               | 99,95                               | -                             | 0                             | 15                            | 8                             | 16                            | 23   |
| 29                       | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH    | 420 kV               | 71                                  | 1                             | 1                             | 3                             | 3                             | 6                             | 13   |
| 30                       | Afyon2-Temelli EİH (Ankara böl. g | 420 kV               | 213,688                             | 22                            | 34                            | 77                            | 31                            | 12                            | 13   |
| 31                       | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH        | 420 kV               | 111                                 | -                             | 6                             | 6                             | 10                            | 10                            | 5  |
| 32                       | Kangal-Deçeko EİH                 | 420 kV               | 61,115                              | 8                             | 83                            | 18                            | 9                             | 3                             | 14   |
| 33                       | Van-Başkale EİH                   | 420 kV               | 104,4                               | 18                            | 28                            | 11                            | 16                            | 8                             | 19   |

**Tablo 10; Elektriksel Test Uygulanan İzolatörlerin Tasarım Değerleri**

| Sıra No<br>(Sample<br>Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | GERİLİM<br>(Voltage<br>Level) | DESİGN PARAMETERS |                              |        |        |              |                     |                     |                      |                      |                              |                            |                           |                                   |       |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|--------|--------|--------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------|
|                               |                                     |                               | Shed profile      | creepage<br>value<br>(mm/KV) | s (mm) | p (mm) | s/p<br>value | P <sub>1</sub> (mm) | P <sub>2</sub> (mm) | Ds <sub>1</sub> (mm) | Ds <sub>2</sub> (mm) | creepage<br>distance<br>(mm) | arcing<br>distance<br>(mm) | total<br>distance<br>(mm) | coated<br>rod<br>diameter<br>(mm) |       |
| 1                             | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,7   | 1,17         |                     |                     |                      | 101,66               |                              | 4284                       | 1314                      | 1467                              | 24,26 |
| 2                             | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,23  | 38,7   | 1,17         | 38,19               | 23,195              | 100,48               | 70,49                | 4280                         | 1314                       | 1465                      | 24,10                             |       |
| 3                             | İŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,38  | 49,1   | 0,70         | 49,1                | 49,1                | 119,80               | 119,80               | 4248                         | 1330                       | 1494                      | 22,73                             |       |
| 4                             | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,15  | 38,47  | 1,17         | 43,9/37,78          | 28,25/22,94         | 112,2/99,97          | 80,9/70,28           | 4305                         | 1274                       | 1466                      | 24,40                             |       |
| 5                             | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,9   | 48,84  | 0,71         | 49,06               | 49,06               | 120,37               | 120,37               | 4260                         | 1323                       | 1495                      | 23,16                             |       |
| 6                             | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 45,36  | 38,7   | 1,17         | 38,7                | 23,41               | 101,8                | 71,22                | 4283                         | 1313                       | 1465                      | 24,4                              |       |
| 7                             | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,65  | 38,65  | 1,18         |                     |                     | 100,18               | 70,43                | 4285                         | 1315                       | 1468                      | 24,04                             |       |
| 8                             | ÇUMRA-GÜNEYİNİR EİH                 | 170 kV                        | Large- narrow     | 27                           | 71     | 58,17  | 1,22         | 58,17               | 40,82               | 144,75               | 109,72               | 4540                         | 1335                       | 1570                      | 27,62                             |       |
| 9                             | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 170 kV                        | Large- narrow     | 29,62                        | 56     | 56     | 1,00         | 56                  | 39,4                | 138                  | 105                  | 5035                         | 1362                       | 1461                      | 27,38                             |       |
| 10                            | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,8   | 49,06  | 0,71         | 49,06               | 49,06               | 120,6                | 120,6                | 4265                         | 1320                       | 1491                      | 23,94                             |       |
| 11                            | YEŞİL HES-KOYLHİSAR HES EİH         | 170 kV                        | Large- narrow     | 27                           | 70,94  | 58,1   | 1,22         | 58,1                | 40,02               | 149,56               | 109,75               | 4535                         | 1332                       | 1575                      | 27,73                             |       |
| 12                            | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 170 kV                        | Large- narrow     | 27                           | 70     | 58,11  | 1,20         | 58,11               | 41,11               | 148,44               | 109,82               | 4580                         | 1350                       | 1481                      | 27,3                              |       |
| 13                            | VİRANŞEHİR 2 - ÇIRÇIR EİH           | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,46  | 1,17         | 43,90/38,46         | 28,31/23,30         | 112,17/99,69         | 80,99/70,24          | 4285                         | 1275                       | 1466                      | 24,36                             |       |
| 14                            | BOR-TOROSLAR EİH                    | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,8   | 48,66  | 0,77         | 48,66               | 48,66               | 119,8                | 119,8                | 4265                         | 1335                       | 1493                      | 23,87                             |       |
| 15                            | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,9   | 48,66  | 0,77         | 48,66               | 48,66               | 119,8                | 119,8                | 4265                         | 1335                       | 1493                      | 24,00                             |       |
| 16                            | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,65  | 38,65  | 1,18         |                     |                     | 100,18               | 70,43                | 4285                         | 1315                       | 1468                      | 24,04                             |       |
| 17                            | Enez-Keşan                          | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,46  | 1,17         | 43,90/38,46         | 28,31/23,30         | 112,17/99,69         | 80,99/70,24          | 4285                         | 1275                       | 1466                      | 24,36                             |       |
| 18                            | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,9   | 48,66  | 0,77         | 48,66               | 48,66               | 119,8                | 119,8                | 4265                         | 1335                       | 1493                      | 24,00                             |       |
| 19                            | BURDUR-KEÇİBORLU                    | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,9   | 48,66  | 0,77         | 48,66               | 48,66               | 119,8                | 119,8                | 4265                         | 1335                       | 1493                      | 24,00                             |       |
| 20                            | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 | 170 kV                        | straight type     | 25                           | 34,9   | 48,66  | 0,77         | 48,66               | 48,66               | 119,8                | 119,8                | 4265                         | 1335                       | 1493                      | 24,00                             |       |
| 21                            | Berke HES- Misis EİH                | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,46  | 1,17         | 43,90/38,46         | 28,31/23,30         | 112,17/99,69         | 80,99/70,24          | 4285                         | 1275                       | 1466                      | 24,36                             |       |
| 22                            | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,46  | 1,17         | 43,90/38,46         | 28,31/23,30         | 112,17/99,69         | 80,99/70,24          | 4285                         | 1275                       | 1466                      | 24,36                             |       |
| 23                            | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 170 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45,16  | 38,46  | 1,17         | 43,90/38,46         | 28,31/23,30         | 112,17/99,69         | 80,99/70,24          | 4285                         | 1275                       | 1466                      | 24,36                             |       |
| 24                            | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 420 kV                        | Large- narrow     | 26                           | 70     | 57,95  | 1,21         | 57,95               | 40,94               | 145                  | 110,21               | 11022                        | 3135                       | 3368                      | 27,1                              |       |
| 25                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV                        | Large- narrow     | 18                           | 117,83 | 72,77  | 1,62         | 72,77               | 72,77               | 178                  | 178                  | 7590                         | 3110                       | 3410                      | 30                                |       |
| 26                            | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 420 kV                        | straight type     | 25                           | 35     | 49,00  | 0,71         | 49,00               | 49,00               | 128,45               | 128,45               | 10700                        | 3166                       | 3414                      | 32,2                              |       |
| 27                            | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 420 kV                        | Large- narrow     | 26                           | 70     | 57,13  | 1,23         | 56,13               | 41                  | 144,31               | 109,15               | 11020                        | 3131                       | 3367                      | 27                                |       |
| 28                            | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 420 kV                        | straight type     | 25                           | 35     | 49,00  | 0,71         | 49,00               | 49,00               | 128,45               | 128,45               | 10700                        | 3166                       | 3414                      | 32,2                              |       |
| 29                            | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV                        | straight type     | 25                           | 35     | 49,00  | 0,71         | 49,00               | 49,00               | 128,45               | 128,45               | 10700                        | 3166                       | 3414                      | 32,2                              |       |
| 30                            | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge)   | 420 kV                        | Large- narrow     | 26                           | 70     | 57,95  | 1,21         | 57,95               | 40,94               | 145                  | 110,21               | 11022                        | 3135                       | 3368                      | 27,1                              |       |
| 31                            | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 420 kV                        | Large- narrow     | 25                           | 45     | 48     | 0,94         | 48                  | 38                  | 123/104              | 90/74                | 10570                        | 3040                       | 3400                      | 28                                |       |
| 32                            | Kangal-Deçeko EİH                   | 420 kV                        | straight type     | 25                           | 35     | 49,00  | 0,71         | 49,00               | 49,00               | 128,45               | 128,45               | 10700                        | 3166                       | 3414                      | 32,2                              |       |
| 33                            | Van-Başkale EİH                     | 420 kV                        | straight type     | 25                           | 35     | 49,00  | 0,71         | 49,00               | 49,00               | 128,45               | 128,45               | 10700                        | 3166                       | 3414                      | 32,2                              |       |

Tablo 11; Elektriksel Test Sonuçları

| Sıra No<br>(Sample Number) | KULLANILDIĞI HAT<br>(USED LOCATION) | GERİLİM<br>(Voltage Level) | Kullanım süresi (Ay)<br>Used time in system (month) | Ark Boynuzları Arası Mesafe<br>(distance between arcing horns) (cm) | Pozitif Darbe Dayanım<br>(Positive Lightning) | Negatif Darbe Dayanım<br>(Negative Lightning) | Yaşta Şebeke Frekansı AC Dayanım<br>(frequency impact resistance (wet)) | Silicone Design Parameters |                      |                     |                          |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|----------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|
|                            |                                     |                            |   |   |   |   |   | creepage distance (mm)     | arcing distance (mm) | total distance (mm) | coated rod diameter (mm) |
| 1                          | KÜTAHYA OSB-ALTUNTAŞ EİH            | 170 kV                     | 54  | 123.0   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4284                       | 1314                 | 1467                | 24,26                    |
| 2                          | MUT RES-KARAMAN EİH                 | 170 kV                     | 36  | 119.5   | negative                                      | positive                                      | negative  | 4280                       | 1314                 | 1465                | 24,10                    |
| 3                          | IŞIKLAR-PANCAR OSB EİH              | 170 kV                     | 58  | 124.0   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4248                       | 1330                 | 1494                | 22,73                    |
| 4                          | VARSAK-AKORSAN EİH                  | 170 kV                     | 65  | 129.0   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4305                       | 1274                 | 1466                | 24,40                    |
| 5                          | SOMA 1 RES-SOMA B TES EİH           | 170 kV                     | 93  | 123.0   | positive                                      | positive                                      | negative  | 4260                       | 1323                 | 1495                | 23,16                    |
| 6                          | TAHTALI- ALAÇATI EİH                | 170 kV                     | 66  | 119.0   | negative                                      | negative                                      | negative  | 4283                       | 1313                 | 1465                | 24,4                     |
| 7                          | BATMAN 1-BİSMİL EİH                 | 170 kV                     | 35  | 118.5   | negative                                      | positive                                      | negative  | 4285                       | 1315                 | 1468                | 24,04                    |
| 8                          | ÇUMRA-GÜNEYSINIR EİH                | 170 kV                     | 113   | 128.0   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4540                       | 1335                 | 1570                | 27,62                    |
| 9                          | KARASU-KAYNARCA EİH                 | 170 kV                     | 23  | 119.0   | negative                                      | negative                                      | negative  | 5035                       | 1362                 | 1461                | 27,38                    |
| 10                         | EZİNE-ÇANAKKALE ÇİMENTO EİH         | 170 kV                     | 115   | 142.5   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4265                       | 1320                 | 1491                | 23,94                    |
| 11                         | YEŞİL HES-KOYLUHISAR HES EİH        | 170 kV                     | 103   | 130.5 ve 132.5  | positive                                      | positive                                      | negative  | 4535                       | 1332                 | 1575                | 27,73                    |
| 12                         | YALNIZARDIÇ-MAHMUTLAR EİH           | 170 kV                     | 71  | 123.0   | avatsız atlama                                | positive                                      | negative  | 4580                       | 1350                 | 1481                | 27,3                     |
| 13                         | VİRANŞEHİR 2 - ÇIÇIR EİH            | 170 kV                     | 62  | 119.0   | negative                                      | negative                                      | positive  | 4285                       | 1275                 | 1466                | 24,36                    |
| 14                         | BOR-TOROSLAR EİH                    | 170 kV                     | 35  | 121.5   | negative                                      | positive                                      | positive  | 4265                       | 1335                 | 1493                | 23,87                    |
| 15                         | VEZİRKÖPRÜ-BOYABAT EİH              | 170 kV                     | 35  | 120.5   | positive                                      | positive                                      | negative  | 4265                       | 1335                 | 1493                | 24,00                    |
| 16                         | (Burdur-Aksa) Brş.-Bucak EİH        | 170 kV                     | 35  | 118.5   | negative                                      | positive                                      | negative  | 4285                       | 1315                 | 1468                | 24,04                    |
| 17                         | Enez-Keşan                          | 170 kV                     |   | 135   | positive                                      | positive                                      | positive  | 4285                       | 1275                 | 1466                | 24,36                    |
| 18                         | BAŞKALE-YÜKSEKOVA                   | 170 kV                     |   | 118.0   | negative                                      | positive                                      | negative  | 4265                       | 1335                 | 1493                | 24,00                    |
| 19                         | BURDUR-KEÇİBORLU                    | 170 kV                     |   | 119.5   | positive                                      | positive                                      | negative  | 4265                       | 1335                 | 1493                | 24,00                    |
| 20                         | K. KAPASİTÖR-AVANOS                 | 170 kV                     |   | 118.0   | negative                                      | positive                                      | negative  | 4265                       | 1335                 | 1493                | 24,00                    |
| 21                         | Berke HES- Misis EİH                | 170 kV                     | 90  |   |   |   |   | 4285                       | 1275                 | 1466                | 24,36                    |
| 22                         | Berke HES-Ceyhan 2 EİH              | 170 kV                     | 90  |   |   |   |   | 4285                       | 1275                 | 1466                | 24,36                    |
| 23                         | Ceyhan 1- Yumurtalık EİH            | 170 kV                     | 90  |   |   |   |   | 4285                       | 1275                 | 1466                | 24,36                    |
| 24                         | Afyon2-Temelli EİH (Afyon Bölge)    | 420 kV                     | 96  | 280   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 11022                      | 3135                 | 3368                | 27,1                     |
| 25                         | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV                     | 153   | 303   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 7590                       | 3110                 | 3410                | 30                       |
| 26                         | Erzurum 3- Ağrı 2 EİH               | 420 kV                     | 46  | 326   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 10700                      | 3166                 | 3414                | 32,2                     |
| 27                         | Tortum -Erzurum 3-EİH               | 420 kV                     | 92  | 290   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | KURU ANAHTARLAMA DAATLADI                     | positive  | 11020                      | 3131                 | 3367                | 27                       |
| 28                         | Diyarbakır 3 - Beyhan1 EİH          | 420 kV                     | 42  | 298   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 10700                      | 3166                 | 3414                | 32,2                     |
| 29                         | Viranşehir 2 - Kızıltepe 2 EİH      | 420 kV                     | 12  | 303   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 10700                      | 3166                 | 3414                | 32,2                     |
| 30                         | Afyon2-Temelli EİH (Ankara bölge)   | 420 kV                     | 90  | 280   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 11022                      | 3135                 | 3368                | 27,1                     |
| 31                         | Yeşilhisar-Turfanbeyli EİH          | 420 kV                     | 53  |   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 10570                      | 3040                 | 3400                | 28                       |
| 32                         | Kangal-Deceko EİH                   | 420 kV                     | 15  | 321   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA DAATLADI                          | negative  | 10700                      | 3166                 | 3414                | 32,2                     |
| 33                         | Van-Başkale EİH                     | 420 kV                     | -   | 293   | YILDIRIM DARBE DE ATLAMA YOK                  | ANAHTARLAMA ATLAMA YOK                        | positive  | 10700                      | 3166                 | 3414                | 32,2                     |

## 4.1 Elektriksel Test Sonuçları ve Öneriler

- Deney yapılan takımlarda kullanılan izolatörlerin etek konfigürasyonları, ark uzunlukları ve muhtemelen krepaj uzunlukları farklıdır. Etek yapısı açısından iki farklı tür söz konusudur: Eşdeğer çaplı etekler ve büyük/küçük şeklinde iki farklı çapta etekleri olan izolatörler vardır. İzolatör ark uzunlukları genelde 310 cm civarında iken, bazı hatlarda 340 cm uzunluklu izolatörler kullanılmıştır.

- Setlerde kullanılan hat tarafı korona halkaları  $35.0 \pm 2$  cm olup, halkaların yerleştirildiği konumlar farklıdır. Toprak tarafında  $35.0 \pm 2$  cm halkalar kullanılmışsa da bir standart yoktur. Deneylerde, eşdeğer yapı olması açısından, laboratuvarda mevcut 35.0 cm çaplı halkalar kullanılmıştır.

- Gelen çoğu numune V-askı tipi olduğu için ark boynuzu yoktur. Olanlarda ise belirli bir standart yoktur; ark boynuzları ve/veya ark boynu-hat korona halkası arası uzaklıklar 280.0-326.0 cm arasındadır.

- Beklendiği üzere, atlamalar yaşta açma-kapama darbe dayanım gerilimi deneylerinde oluşmuştur. 1175 kV deney gerilimi uygulanan açma-kapama darbe dayanım gerilimi deneyinde bazı takımlarda az sayıda atlama oluşmuştur. Fakat, ark uzunlukları yüksek Kangal Deçeko I ve Kangal-Deçeko II jumper askı takımlarında atlama olması ilginçtir.

- 680 kV deney gerilimi ile yapılan yaşta şebeke frekanslı dayanım gerilimi deneylerinde, daha önce yaşta açma-kapama darbe dayanım gerilimi deneyinde de atlama olan Kangal-Deçoko I hattında, 5. Saniyede atlama olmuş; diğer takımlarda sorun çıkmamıştır.

- Tüm bu yalıtım deneylerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında; potansiyel (elektrik alan) dağılımının dengelenmesi ve korona kayıplarının azaltılması için kullanılan korona halkaları ve aşırı gerilim halinde izolatör yüzeyi boyunca yüzeysel boşalma olmaması için kullanılan ark boynuzları/korona halkaları/korona halkası/ark boynuzu çiftleri uyumlu ve standart değildir.

Bu iki hırdavatın, yukarıda belirtilen iki işlevin de yerine getirileceği şekilde uygun boyutlandırılması ve uygun konuma yerleştirilmesi gerekir. Bu amaçla, 400 kV enerji iletim hattı sistemimizin olası tüm askı ve gergi setleri için, bu proje kapsamında yapılan deneyler ve ek olarak KORONA/RIV deneyleri ile hırdavat geometrisi ve konumu konusunda bir çalışma yapılması gereklidir.

DeneySEL çalışmalar ek olarak, her hat için, işletmede yaşanan geçici açmaların sayısı ve kaynağı da dikkate alınması gerekir.

### **170 kV için;**

- Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Yaşta Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyi

Yıldırım Darbe gerilimi toplam 15 delinme gerilimi uygulanarak yapılmış olup, bunlardan 3 ve üzeri atlama meydana gelmesi durumunda negatif 3 atlamanın altındaki değerlerde pozitif olarak gösterilmiştir. Uygulanan 20 adet 170 kV silikon izolatör takımından 14'ü negatif 6 âdeti pozitif olarak değerlendirilmiştir. Yıldırım Darbe Gerilimi Testinde hiç atlama olmayan 170 kV izolatör takımı sayısı; toplam 20 takımdan sadece 4 adettir.

Yaşta Şebeke Frekansı AC Dayanımı testinden ise toplam 20 adet 170 kV İzolatör zincir takımından 12'si negatif 8 adeti pozitif olarak değerlendirilmiştir.

170 kV izolatör takımına uygulanan tüm testlerde hiç atlama olmayan izolatör takımı sayısı; toplam 20 takımın sadece 3 tanesidir.

Fakat hırdavatlardaki ark boynuzu ve korona halkalarının sökülmesi ile yapılan testlerde sadece 2 adet izolatörde yüzeysel atlama gerçekleşmiştir. Bunlar 2 numaralı numune Mut RES-Karaman EİH ve 7 numaralı numune Batman 1-Bismil EİH'dir.

Ark boynuzu takılıyken gerçekleştirilen yaşta şebeke frekanslı dayanım gerilimi deneylerinde, yıldırım darbe gerilimi deneyine dayanan 11 numaralı numune Yeşil HES-Koyulhisar EİH takımında izolatör yüzeyinde atlama olmuştur. Bu numunenin Hidrofobisite testinde temas açısı 91,8 çıkmış idi. Arıza sayısına bakıldığında da 2018 yılı içerisinde 26 geçici arıza açması yaşandığı görülmektedir.

Atlamaların temel kaynağı hırdavat takımları olup, mevcut faz-toprak mesafeleri oldukça yetersizdir. Atlama olmayan hırdavat takımlarında ark mesafesi 128 mm ve üzeri olanlardır. Hırdavat kaynaklı atlamaların yaşanmaması için ark boynuzları veya korona halkaları arasındaki mesafenin 170 kV sistem için 136 mm olması tavsiye edilir.

Ayrıca 170 kV sistem için izolatör ark mesafesinden daha fazla istifade etmek için kullanılacak ark boynuzları ve korona halkaları yeniden elektrik alanı düzenleyecek ve izolatör ark mesafesini koruyacak şekilde yeniden tasarlanması gerekmektedir.

### **420 kV için;**

- Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Yaşta Anahtarlama Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Yaşta Şebeke Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyi



Tüm izolatörler Yıldırım Dayanım Gerilimi Testinde başarılı olmuştur.

Yaşta Anahtarlama Darbe gerilimi testinde de toplam 10 numunenin 2 si testi geçemedi. 27 numaralı numune 420 kV Tortum- Erzurum 3 EİH(yaşta izolatör yüzeyinden atladı) ve 32 numaralı numune 420 kV Kangal –Deçeko EİH’ndan gelen izolatörlerdir.

680 kV gerilim seviyesinde yapılan Yaşta Şebeke Frekansı AC Dayanımı testinden 1 izolatör takımı hariç tüm izolatörler atlama olmadan uygulama gerilimine dayanmıştır. Sadece 32 numaralı 420 kV Kangal-Deçeko EİH’dan alınan numune testi geçemedi.

420 kV silikon izolatörlerin genel manada 170 kV izolatör takımlarından daha iyi performans göstermeleri faz toprak mesafelerinin 280 mm ve üzerinde olmasıdır.

Tüm bu yalıtım deneylerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında; potansiyel (elektrik alan) dağılımının dengelenmesi ve korona kayıplarının azaltılması için kullanılan korona halkaları ve aşırı gerilim halinde izolatör yüzeyi boyunca yüzeysel boşalma olmaması için kullanılan ark boynuzları/korona halkaları/korona halkası/ark boynuzu çiftleri uyumlu ve standart değildir. Bu iki hırdavatın, yukarıda belirtilen iki işlevin de yerine getirileceği şekilde uygun boyutlandırılması ve uygun konuma yerleştirilmesi gerekir. Bu amaçla, 400 kV enerji iletim hattı sistemimizin olası tüm askı ve gergi setleri için, bu proje kapsamında yapılan deneyler ve ek olarak KORONA/RIV deneyleri ile hırdavat geometrisi ve konumu konusunda bir çalışma yapılması gereklidir. Deneysel çalışmalar ek olarak, her hat için, işletmede yaşanan geçici açmaların sayısı ve kaynağı da dikkate alınması gerekir.

Türkiye İletim Sisteminde kullanılan silikon izolatörlerin kirlilik, yaşlanma, elektriksel ve kimyasal içeriklerin tespiti ile ilgili yapılan çalışmada HTV Silikon izolatörlerin kimyasal kompozisyonunda değişiklikler olduğu kullanılan dolgu miktarındaki artışın izolatör performansında olumsuz etkiler yarattığı görülmüştür. Ağırlıkça %60 ve üzeri dolgu malzemesi içeren silikon izolatörlerde kullanım yerine ve süresine bağlı olarak daha hızlı yaşlanma belirtileri olduğu gözlemlenmiştir. Bunda kullanılan dolgu miktarı ve üst sertlik derecesinin etkili olduğu görülmüştür.

HTV Silikon izolatörlerde kullanılan ağırlıkça dolgu miktarının ve üst seviye sertlik değerinin belirlenmesi HTV silikon izolatörlerin yaşlanma performansında olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. LSR Silikon izolatörlerde kimyasal içerik olarak belli bir stabilite yakalanmış olup, işletme de yaşlandırılmış izolatörlerin sertlik derecelerinde olumsuz bir durum gözlemlenmemiştir. Hırdavat takımları ile yapılan elektriksel tip testlerde ise hemen hemen tüm izolatörler testlerden başarı ile çıkmıştır. Fakat hırdavat takımı ile yapılan tip testlerde meydana gelen elektriksel atlamaların hırdavat yapıları ve faz-toprak mesafeleri ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Silikon izolatörlerin kimyasal özellikleri yanında tasarım kriterlerinin de birinci öncelikli olarak değerlendirilmesi önemlidir. Küçük etek çaplı ve yüksek krepajlı silikon izolatörlerin kirlilik performansları da çok düşüktür. Rüzgâr etkisi ile gerçekleşen toz taşınımının nem ile birleşerek oluşturduğu kalıcı katmanı yine rüzgâr ve yağış etkisi ile temizlenememektedir. Bu durum büyük etek çaplı silikon izolatörlerde ise tam tersidir. Yoğun kirli bölge olmasına rağmen büyük etek çaplı silikon izolatörlerde kir birikimi daha az

gözlemlenmiştir. Bunda rüzgâr ve yağış etkisinin temizlik sürecini hızlandırdığı düşünülmektedir. Silikon izolatör tasarımında IEC 60815-3 uluslararası standartı kriterleri ile uyumlu gözlemler oluşmuştur. Kirlilik performansı yanında yoğun yağış, kar ve buz birikimi gibi çevresel etkilerden korunmak için de büyük etek çapları arasındaki mesafenin net olarak belirlenmesi gerektiği yapılan çalışmalarla da teyit edilmiştir.

## KAYNAKÇA

- IEC/TS 60815-1:2008 Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems
- IEC/TS 60815-3:2008 “Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems
- CIGRE TB 481 “Guide for the Assessment of Composite Insulators in the Laboratory after their Removal from Service
- CIGRE TB 691 “Doğal Ve Yapay Kirletilmiş İzolatörlerin Kirlilik Testleri”
- CIGRE TB 595 “Fingerprinting of Polymeric Insulating Materials for outdoor use”
- IEC 61006:2004” Electrical insulating materials - Methods of test for the determination of the glass transition temperature”