



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**SİLİKON KAUCUĞUNUN CAM-SIR YÜZEYLERE ADEZYON
ARTTIRILMASINI SAĞLAYICI MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ VE
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ŞEHİTLİ

DANIŞMAN: PROF. DR. HÜSEYİN YILDIRIM

**YALOVA
NİSAN 2022**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

SİLİKON KAUCUĞUNUN CAM-SIR YÜZEYLERE ADEZYON
ARTTIRILMASINI SAĞLAYICI MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ VE
PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ŞEHİTLİ
185101010

DANIŞMAN: PROF. DR. HÜSEYİN YILDIRIM

YALOVA
NİSAN 2022

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “SİLİKON KAUCUĞUNUN CAM-SIR YÜZEYLERE ADEZYON ARTTIRILMASINI SAĞLAYICI MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Emre ŞEHİTLİ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Hüseyin YILDIRIM’a teşekkür ederim. Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için eşime ve aileme teşekkür ederim.

NİSAN – 2022

Emre ŞEHİTLİ





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. İzolatörlerin Tarihçesi	3
2.2. Yapı Malzemelerine Göre İzolatörler	4
2.3. İzolatörlerin Sınıflandırılması.....	9
2.3.1. Alçak gerilim hatlarında kullanılan izolatörler.....	9
2.3.2. Orta gerilim hatlarında kullanılan izolatörler	9
2.3.3. Yüksek ve çok yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler.....	11
2.4. Gerilim Hatlarında Kullanılan İzolatörlerin Genel Yapısı	12
2.5. İzolatörlerle İlgili Terimsel Açıklamalar	13
2.6. Porselen İzolatörler ve Kullanılan Hammaddeler	15
2.6.1. Killer	16
2.6.2. Quartz.....	17
2.6.3. Ergiticiler.....	18
2.6.4. Yardımcı malzemeler.....	19
2.7. Dielektrik Katsayısı.....	20
2.7.1. Dielektrik katsayısı ölçümü	22
2.8. Sıvı Silikon Kauçuk (LSR) Teknolojisi.....	24
3. MATERYAL VE METHOD	27
3.1. Teknik Porselen Üretimi	28
3.2. Sırlama Prosesi.....	31
3.3. Fırınlama Prosesi.....	32
3.4. Ara Yüzey Astar Uygulama	35
3.5. Silikon Kauçuk Kaplama.....	35



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
4.1. Sır Yoğunluğu Ölçümü	40
4.2. Sıcak Soğuk Daldırma Testi	40
4.3. Çekme Testi	41
4.4. Elektriksel Yalıtım Testi	42
4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi	43
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	52





SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

ϵ	: Epsilon
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece

KISALTMALAR

AG	: Alçak Gerilim
kN	: Kilo Newton
kV	: Kilovolt
KWh	: Kilowatt Saat
MW	: Megawatt
MVA	: Megavolt Amper
OG	: Orta Gerilim
SML	: Spesifik Mekanik Yük
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
VHD	: Porselen Mesnet İzolatör
YG	: Yüksek Gerilim

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çeşitli malzemelerin dielektrik katsayıları	24
Tablo 3.1. İzolatör türleri ve genel özellikleri	27
Tablo 3.2. Fırın sıcaklıklarına bağlı malzeme dönüşümleri.....	32
Tablo 3.3. Kaplama sayısına bağlı oluşan kaplama kalınlıkları.....	35
Tablo 4.1. TS-76 standardına göre izolatörden istenilen özellikler	38
Tablo 4.2. Tez çalışması için hazırlanan numuneler	40





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çeşitli uygulamalarda kullanılan izolatörler.....	5
Şekil 2.2. Zincir tipi cam izolatör.....	6
Şekil 2.3. Silikon izolatör	7
Şekil 2.4. Sırasıyla N-95, N-80, N-95/2 mesnet tipi izolatörler.....	9
Şekil 2.5. Porselen izolatör ve silikon izolatör	10
Şekil 2.6. Yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler	12
Şekil 2.7. Porselen izolatörlerin yapısı.....	13
Şekil 2.8. Delinmiş silikon izolatör.....	14
Şekil 2.9. Alkali feldspatlar ve pilajiyoklaz feldspatlar [33]	16
Şekil 2.10. Yalıtkan şeması ve kapasitans yardımıyla dielektrik katsayısı bulma formülü	23
Şekil 2.11. Sıvı silikon kauçuk (LSR) teknolojisi üretim şeması	25
Şekil 3.1. Porselen izolatör üretim akış şeması	28
Şekil 3.2. Quartz oranı ve dielektrik katsayısı ilişkisi	29
Şekil 3.3. Potasyum oranı ve dielektrik katsayısı ilişkisi.....	30
Şekil 3.4. Filtre pres makinası.....	31
Şekil 3.5. Sırlama prosesinden bir görüntü	31
Şekil 3.6. Sırasıyla kurutulmuş, sırlanmış ve pişirilmiş malzeme	32
Şekil 3.7. Porselen pişiriminde gerçekleşen değişmeler [56]	33
Şekil 3.8. Porselen izolatör üretiminde kullanılan doğalgazlı fırın.....	34
Şekil 3.9. Numune üretimi için kullanılan elektrikli fırın.....	34
Şekil 4.1. TS-76 standardına göre N-95 ölçüleri [54].....	36
Şekil 4.2. TS-76 standardına göre N-80 ölçüleri [54].....	37
Şekil 4.3. Sıcak soğuk daldırma havuzu.....	41
Şekil 4.4. Çekme testi makinası	42
Şekil 4.5. Elektrik atlaması (arc) görülen porselen izolatör.....	43



SİLİKON KAUÇUĞUNUN CAM-SIR YÜZEYLERE ADEZYON ARTTIRILMASINI SAĞLAYICI MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Dünyada seramik malzemelerin tarihi oldukça eskilere dayanmaktadır ve günümüzde hala üretimi ve kullanımı artarak devam etmektedir. Son günlerde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle herkes tarafından bilinen tabak, bardak, mobilya kulpları vb. ürünlerin yanı sıra birçok alanda teknik porselenler kullanılmaktadır. Örneğin elektriğin şehirlerarası taşınması veya birçok farklı alanda elektriğin izolasyonu için teknik porselenler (izolatörler) kullanılmaktadır. Fakat porselenlerin üretim yükü ağır olduğundan ve rigid malzemeler olarak farklı alanlara entegre olamadıklarından bu durum farklı ihtiyaçların doğmasına sebep olmaktadır. Bu tezin oluşma sebebi ise; ince cidarlı ya da etekli malzemelerin porselen malzemelerden üretilmesi zahmetli ve zor olduğundan izolatör sektöründe yalıtımı sağlayan silikon kauçuklarıyla bir kompozit olarak üretilmesini sağlamak adına çalışmalar yapılmıştır. Halihazırda izolatör sektöründe kullanılan teknik porselenler ile izolatör sektöründe kullanılmaya devam eden silikon kauçuklarının bir arada üretilmesi adına çalışmalar yapılmıştır. İzolasyonu sağlayacak izolatörün sert bir yapıda olması gereken gövde bölgesinde porselen malzeme kullanılarak etekli ve ince cidarlı bölgelerde porselenin kolay kırılması sebebiyle esnek bir malzeme olan silikon kauçuğunun kullanılması doğrultusunda işlemler yapılmıştır. Bu çalışmada, değinilen konu ise porselen yüzey üzerine silikon kauçuğunun istenilen teknik özellikleri sağlayacak şekilde kaplanmasını gerçekleştirmektir. Bu kapsamda iki farklı astar malzeme kullanılmış ve piyasa da kullanılan porselen izolatörlerin cam-sır yüzey kaplamalı ve cam-sır kaplama olmayan porselen izolatörler üzerine su bazlı ve solvent bazlı astar kullanılarak silikon kauçuklarının kaplanmasıyla malzemeler üretilmiştir. İzolatör sektöründe istenilen özellikler baz alınarak çekme testleri, elektrik yalıtım testleri ve sıcak soğuk daldırma testleri yapılarak karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzolatör, Yalıtım, Astar, Kaplama



DEVELOPING MATERIALS WHICH ENSURE ADHESION OF SILICONE RUBBER TO GLASS-GLAZING SURFACES AND DETERMINATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS

ABSTRACT

The history of ceramic materials in the world goes back to old times, and today its production and use continues to increase. They have a very common usage area today. Plates, glasses, furniture handles, etc., generally known to all. on the contrary, technical porcelains are used in many areas. For example, technical porcelains (insulators) are used for the intercity transportation of electricity or for the isolation of electricity in many different areas. However, porcelains are difficult to manufacture. As rigid materials, they cannot be integrated into different areas. This situation leads to different needs. In this thesis, studies have been carried out for the production of technical porcelains and silicone rubbers as a composite in the insulator sector.

The insulator body must be rigid. For this reason, its body is made of porcelain. Silicone rubber was used in areas where the insulator should be flexible. In summary, in this study, silicon rubber coating studies were carried out on the porcelain surface. Two different lining materials were used. Materials were produced by coating silicone rubbers using water-based and solvent-based primers on glass-glaze coated porcelain and porcelain without coating. It was characterized by tensile tests, electrical insulation tests and hot-cold dip tests.

Keywords: Insulator, Interface, Isolation, Coating



1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Hatta günümüzde ülkelerin üretim gücünü, sanayi kapasitesini belirleyen önemli bir faktör haline gelmiştir. Elektrik enerjisi herhangi bir ülkenin genelinde iletim ve dağıtım hizmetlerindeki kalite ve devamlılığa bağlı bulunmakta olup modernizasyonun simgesi haline gelmiştir [1,2].

Ülkemiz, TEİAŞ'ın verilerine göre 2021 yıl sonu itibariyle 108045,2 MW Türkiye toplam kurulu güce ulaşacağı öngörülmektedir. Ülkemizde elektrik enerjisinin kullanıcılarına sürekli ve güvenilir bir şekilde ulaştırılması adına birçok çalışmalar yapılmaktadır [2].

Enerji iletim hatlarında seramiklerin yeri önemli ölçüde büyüktür. Seramikler, dünyamızda uzun bir süredir üretilen, keşfi uzun yıllar öncesine dayanan malzemelerdir. Geçmişte yaşayan birçok medeniyetin farklı kullanım amaçlarıyla ürettikleri seramiklerin bazıları günümüze kadar ulaşmıştır. Hatta bazı teknikler günümüz teknolojisiyle hala anlaşılamamıştır. Seramikleri oluşturan malzemeler farklı madenler ve killerdir. Her türlü topraktan seramik üretilebilir fakat her toprağın içerdiği madenler seramiğin farklı özellikler sergilemesine sebep olmaktadır. Her türlü toprak içeriğine göre farklı pişirme derecelerine sahip olmakla birlikte bu durum üretilen seramiklerin çeşitli teknik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır. Günümüzde teknik porselen malzemeler birçok farklı maden ve kilin belirli oranlarda formülasyonu ile üretilmektedir [1].

Teknik porselenler günümüzde formülasyonlarına bağlı olarak zırh malzemesi, lazer başlıkları, izolasyon malzemeleri vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır [3].

İzolatörler; şehirlerarası elektrik hattı taşımacılığında yalıtkan olarak kullanılırlar. İletilen elektrik hattını topraktan yalıtım için de kullanılırlar. Yalıtım malzemesi olarak kullanıldığından, elektriksel dayanımı iyi olmalıdır. İç yüzeyinde herhangi bir boşluk veya gözeneklilik bulunmamalıdır [1,3]. Ayrıca mekaniksel dayanımları iyi olmalıdır. İletken yükünü ve hava şartları sebebiyle meydana gelen yükleri taşıyabilir düzeyde olmalıdır. Ayrıca yüzeyi üzerinde toz barındırmama özelliğine sahip olmalıdır.

Alçak, orta ve yüksek gerilim hatlarında kullanılacak gerilim hattına göre 1 kV'dan 420 kV'a kadar iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan yüksek performanslı izolatörler kullanılmaktadır. Ayrıca pin tipi, zincir tipi, çubuk tipi, mesnet tipi gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Yukarıda belirtilen teknik özellikleri sağlaması açısından çeşitli yapı malzemelerinden üretilmektedirler [4].

1.1. Tezin Amacı

İzolatörler kullanıldıkları bölgeye göre sıcaklık, yağmur, kar ve buzlanma gibi farklı hava koşullarında kullanılacağı için malzeme seçimi önem arz etmektedir. Farklı yapı malzemelerinin izolatörler için sağladığı özellikler incelendiğinde maliyet açısından en uygun yapı malzemesi porselen izolatörlerdir. Bu sebeple izolatör sektöründe çok fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte maliyet açısından pahalı fakat özel durumlar haricinde en yüksek dielektrik dayanıma sahip ve diğer özellikler açısından en tercih edilen yapı malzemesi de silikon kauçuk izolatörlerdir. Bu tezin amacı bu iki farklı yapı malzemesini bir arada kullanarak daha tercih edilebilir bir kompozit izolatör üretilebilirliğini test etmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İzolatörlerin Tarihçesi

Elektrik enerjisinin bulunmasıyla birlikte bu büyük buluşun birçok alanda kullanılması için iletilmesi ve dağıtılması gerekmektedir. İlk izolatörler çok iyi olmasa da bir dereceye kadar yalıtkan olan kuru tahtalardan yapıldı. Sonrasında yeterli olmayan bu sistem yerini elektriğin ilk öncüleri tarafından cama bıraktı. Cam izolatör kullanımı birçok ihtiyacı karşılayacak şekilde o zamanın şartlarında yeterliydi. Elektrik şebekesinden önce telgraf hatları kullanılmaya başlandı. Telgraf hatları için istenilen voltaj düşük olduğu için cam izolatörler telgraf hatları için etkili bir çözüm oldu. Yüksek voltajın istendiği 1870 yıllarına kadar elektrik enerjisi öncelikle telefon ve telgraf teknolojisinde kullanılıyordu. O zamanlar aralarında Thomas Edison'un da bulunduğu bazı insanlar ağaçların ve direklerin üzerine çakılmış çivilerin üzerine monte edilmiş cam şişeleri kullanarak sistemler kurdular [5].

Yüksek voltaj ihtiyacı doğduktan sonra tasarımsal olarak problemler oluşturmaya başladı. Cam izolatörler yüksek sıcaklıklara dayanamıyor ve çatlıyorlardı. Bu sebeple çözüm arayışında olan mühendisler 1880'lerin başında elektrik devrimi için porselen ürünler üretmek adına usta çömlekçilerin işe alınmasını sağladılar. Fakat mevcut porselen ürünlere geçmek sadece geçiçi bir çözümdü. Çünkü 1890'larda daha yüksek voltaj ihtiyacı ortaya çıktı. Kimyagerler ve Malzeme mühendisleri özel kaplamalara ve tasarımlara sahip daha yüksek performanslar sergileyen porselen izolatörlerin tasarlanmasına yardımcı oldular [6].

William Cermak, General Electric'te izolatörlerin geliştirilmesinde ve tasarlanmasında öncüydü. Art arda birçok farklı tasarımın geliştirilmesinde birçok rol oynayan William Cermak, ünlü "petticoated" yalıtkan tasarımını geliştirdi. Tasarımlarından biri 10.000 volttan fazla gerilime dayanan ilk tasarımdı. William Cermak ve daha nice mühendisin çalışmalarıyla porselen izolatörler günümüzdeki kullanımına kavuşmuştur [7]. 1963 yılında, yalıtım için ilk önce seramik olmayan malzemeler kullanıldı ve ilk polimer yalıtkanlar, seramiğin iyi performans göstermediği yerlerde performansı artırmak için geliştirildi [6,7].

1970'in sonlarında ve 1980'in başlarında, polimer izolatörler, esas olarak, kamu hizmetleri için yüksek bir maliyetle bazı yüksek kaliteli uygulamalar için özel tasarımlar olarak kullanıldı. Polimerik izolatörlerin, seramik ve cam izolatörlere göre birçok avantajı vardır: kirli ortamlarda iyi performans gösterirler, hafiftirler, dirençlidirler, kullanımı kolay ve bakım gerektirmez. Bu özellikler nedeniyle, dünya çapında popülerlik kazandılar ve günümüzün polimer izolatörlerine yol açan bir dizi üretim ve tasarım iyileştirmesini ateşlediler. Polimer, porselen veya cama kıyasla daha yüksek maliyetli olduğundan günümüzde porselen ve cam izolatörler halen üretilmeye devam etmektedir [8].

2.2. Yapı Malzemelerine Göre İzolatörler

İzolatörler yapıldıkları malzemenin cinsine göre aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- Porselen izolatörler
- Cam izolatörler
- Epoksi reçineli izolatörler
- Silikon izolatörler

Porselen esas itibarıyla kaolen, feldspat ve quartz'dan oluşan bir karışımın yüksek derecede fırınlanmasıyla elde edilen bir malzemedir ve halk arasında yaygın olan çömlek üretiminden farklı olarak çeşitli formülasyonların geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Camdan daha yüksek mukavemete sahiptir. Isı değişikliklerinden çok daha az etkilenir. Porselenden yapılan izolatörler, ortalama olarak %50 kaolen, %25 feldspat ve %25 quartz'dan meydana gelir. İzolatör imalatında kullanılan porselenin; her türlü yabancı maddelerden, çatlak, kabuklanma, hava kabarcığı, benek, leke ve benzeri kusurlara sahip olmayan saf, gözeneksiz, parlak, ince ve sıkı bir yapıda olması istenir. Aksi halde izolatörün dielektrik dayanıklılığı azalır [9].

Porselen izolatör imalatında, seramik çamuruna gerekli şekil verildikten sonra kurutmaya alınır. İzolatörün tespit yuvası ve pişirilmesi sırasında oturacağı yerler hariç olmak üzere, diğer bütün yüzeyleri püskürtme veya daldırma usulüne göre bir cam-sır tabakasıyla kaplanır. Bundan sonra izolatörler bir fırınlama işlemine tabi tutulurlar. Böylece sır tabakası izolatör gövdesine iyice kaynar ve cam gibi bir hal

alır. Bu sır tabakası izolatörün üzerinde oluşan kirliliklerin kolayca hava koşullarıyla temizlenmesini sağlamaktadır [10].

Sırlama prosesi; izolatöre, pürüzsüz, düzgün ve çatlakları olmayan cam gibi parlak ve kaygan koruyucu bir yüzey sağlar. Ayrıca rutubet emdirmeyecek bir özellik kazandırır. Bunların yanında sır tabakası, pisliklerin izolatör üzerinde tutunmasına ve dolayısıyla kaçak akımların meydana gelmesine engel olurlar. Ayrıca sır tabakasına, porselenden daha alçak bir uzama katsayısı verilerek soğumayı takiben bu tabakanın basınç altında kalması sağlanabilir. Bu ise, izolatörün çatlamasına engel olur ve çekim esnasında gerilmesi ile darbe mukavemetini artırır [11].



Şekil 2.1. Çeşitli uygulamalarda kullanılan izolatörler

Cam izolatörler ise enerji nakil hatlarında piyasa ismi ile K1 denilen zincir izolatörü olarak büyük bir uygulama sahası elde etmiştir. Cam izolatörler, mekanik kuvvetleri, özellikle mekanik ve ısı darbe mukavemetlerinin diğer izolatörlere göre düşük olmasına karşın, çok iyi yüzeysel özellikleri ve maliyet açısından uygun olmaları nedeniyle geniş bir kullanım sahası bulmuştur. İzolatörler; maruz kalacakları rüzgâr, yağmur, kar, sis duman ve toz gibi etkiler ile kirlendiğinde kendi kendine temizlenecek ve işletmede karşılaşılabilecek elektrik ve mekanik zorlamalara dayanabilecek tarzda imal edilmeleri gerekmektedir. Renkleri belirlenen şartnamelerine göre genel olarak beyaz, kahverengi ve bazen de siyahtır [10,11].

Yapım malzemesi, cam olan izolatörlerin dielektrik dayanımlarının (140 kV/cm) porselene göre daha fazla, maliyetlerinin ise daha ucuz olması, kullanım alanlarını artırmıştır. Saydam olduklarından kırık ve çatlakları kolayca görülebilir. Ortam ısisının değişmelerinde üzerlerinde nem toplamaları, atlamalara neden olur. Bu durum izolatörler için istenmeyen bir durumdur.

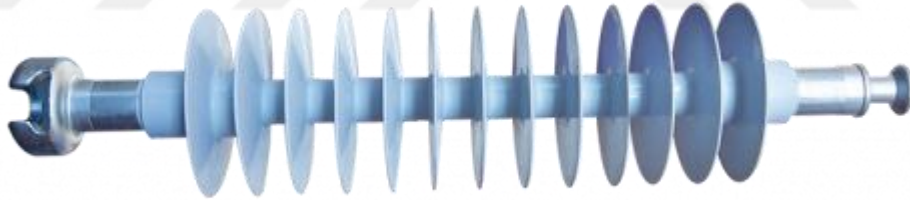


Şekil 2.2. Zincir tipi cam izolatör

Son yıllarda gelişen teknolojiye bağlı olarak izolatör yapılarında polimer malzemeye dayalı yapıların öne çıkmaya başladığı görülmektedir. Porselen ve cam izolatörün esnek olmayarak, her türlü darbe, basınç ve deprem karşısında kırılğan olması, tuzlanma, atmosferik ve sanayi kirlenmesine meyilli olması, ağırlığı dezavantajlarına karşılık polimer izolatörün yüksek elektrik yalıtımı değerlerine sahip olması, her türlü darbe ve basınca karşı esnekliği, su tutmama özelliği, her türlü kirlenmeden kolay kolay etkilenmemesi, bütün bunların yanında hafif olması ve nakliye kolaylığı gibi avantajları bulunmaktadır [12].

Polimer izolatörler içinde yine son yıllarda öne çıkan izolatör yapıları silikon izolatörlerdir. Silikon izolatörlerin, diğer adıyla kompozit izolatörlerin, cam ve porselen izolatörlere karşı birçok üstünlükleri olmakla birlikte pahalı olmaları dolayısıyla kullanım alanları azdır. Ancak gelişmiş güvenlik ortamı sağlaması sebebiyle yakın gelecekte daha geniş bir kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir. Silikon izolatörler diğer izolatörlere göre darbelere karşı dayanıklıdır, hafif olduğundan taşıma yükü daha azdır, gerilme gibi kuvvetlere karşı dayanımı ve esnekliği sayesinde gerilimi absorbe edebilmektedir [13].

Polimer malzeme hidrofobik bir yapıya sahip olduğundan üzerinde yağmur suyu, kar suyu tutunamadığından ark gibi önemli bir elektriksel olumsuzluk olmaz. Çatlama ve kırılma riski çok azdır. Çok soğuk ve çok sıcak havalarda bile özelliğini kaybetmez. Güneşin ultraviyole ışınlarından etkilenmez ve hatta ultraviyole ışınların etkisine göre kullanılacak coğrafyaya göre üretim formülasyonunda değişiklik yapılarak istenilen özellikler sağlanabilir. Ağırlık ve esneklik konularında kolaylık sağladığından kurulumu oldukça kolaydır [14,15].



Şekil 2.3. Silikon izolatör

İzolatörler farklı tipte çeşitli doğal kirlenmelere maruz kalırlar:

- **Çöl Kirlenmesi:** Gerekli incelemeler sonucunda çöl kirlenmesine sebep olan materyallerin çoğunun sülfat ve klor kaynaklı olduğu saptanmıştır. Yapılan incelemeler, %18 çözünabilir tuz, % 10 CaSO_4 , % 3 NaCl ve % 0.5 KCl karışımından oluştuğunu göstermiştir [16].

- **Endüstriyel Kirlenme:** Sanayi gibi endüstriyel kirlenmenin çok olduğu alanlarda kullanılan izolatörlerde oluşan kir tabakasının, çimento tozları, mermer tozları, çeşitli hafriyat tozları, fabrikaların pis kokulu gazları ve dumanların kimyasal bileşenlerinden oluştuğu tespit edilmiştir [17].

- **Deniz Kirlenmesi:** Denize yakın bölgelerde rüzgâr, deniz suyu damlacıklarını izolatör yüzeyine taşır. Yüksek iletkenlikli tuzlu su damlacıkları izolatör yüzeyini kaplayarak kuruduktan sonra izolatör yüzeyi ince bir tuz filmi ile kaplanır. Bu işlem birkaç saat içerisinde gerçekleşebilmektedir. İzolatör yüzeyindeki iyileşme süresi ise 8 ile 12 saat arasında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kirlenme periyotları arasında kısmi bir iyileşme beklenmektedir. Kirlenme periyotları rüzgârın yönüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Denizden karaya doğru esen rüzgarlar kirliliğe sebep olurlar. Karadan denize doğru esen rüzgarlar veya güneş ışığı ile desteklenen durgun şartlar, kuruma ve iyileşmeye neden olurlar [18].

İzolatörlerdeki yüzeysel kirlenmeler sebebiyle yüzeyden kapasitif-rezistif özellikli bir kaçak akım akması alan dağılımını bozar ve yüksek gerilim izolatörlerinde sık sık meydana gelen kısa devre olaylarına sebep olur. Genellikle istenmeyen enerji kesintileri ve ekonomik kayıplar meydana getirirler [19].

Kirlenme, yüksek gerilim izolatörlerinin çalışmasında ve özellikle tasarımında dikkate alınması gereken en önemli olaylardandır. Çevresel şartlar altında; yağmur, kar, rüzgâr, buzlanma, çığ, vb. gibi izolatör yüzeyinde nemlenme oluşturabilecek herhangi bir doğa olayı sonucu izolatör üzerinde biriken kirler oluşan bu nemi tutar. İstenmeyen bu durum izolatör üzerinde ıslak iletken bir film tabakasına dönüşür ve bir sızma akımı akmaya başlar. Sızma akımının kesilmesi, yüzeyde arklara sebep olan kuru bantların oluşumunu sağlar. Arklar ıslak yüzey boyunca aniden uzayarak tam bir atlamaya yol açabilir [20].

Kirli şartlar altında izolatör davranışını en iyi şekilde ölçmeyi sağlayacak çeşitli test yöntemlerinin geliştirilmesi için, birçok ülkede yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır ve günümüzde çalışmalar devamlılığını sürdürmektedir. İzolatör kirliliği test yöntemleri suni ve tabii olmak üzere ikiye ayrılabilir [19].

2.3. İzolatörlerin Sınıflandırılması

Kullanıldıkları hatların gerilimlerine göre izolatörler üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır;

- Alçak gerilim izolatörleri
- Orta gerilim izolatörleri
- Yüksek ve çok yüksek gerilim izolatörleri

2.3.1. Alçak gerilim hatlarında kullanılan izolatörler

AG şebeke hatlarında kullanılan porselen izolatörler 1000 V'a kadar nominal gerilime sahip olmaları istenmektedir. Ayrıca mesnet ve gergi olmak üzere iki esas sınıfa ayrılırlar. Mesnet izolatörler; içine geçirilen tespit demiri ile mesnedine tutturulan ve çan şeklinde porselen gövdesi bulunan bir veya birkaç siperi olan bir izolatör tipidir. İletken yuvası sayısına göre basit (tek), ikili ve üçlü gibi alt tiplere ayrılırlar. N-60, N-80 ve N-95 olmak üzere üç tipte yapılırlar. AG şebeke hatlarında genellikle N-80 ve N-95 tipinde olanlar kullanılır [21].



Şekil 2.4. Sırasıyla N-95, N-80, N-95/2 mesnet tipi izolatörler

2.3.2. Orta gerilim hatlarında kullanılan izolatörler

İşletme gerilimi 1000 ila 35000 V arasında olan enerji nakil hatları, branşman hatları ve bu gerilimlerden herhangi birisi ile yapılan dağıtım şebekelerine ait hatlar ve bu hatlarla ilgili bağlantı tesislerinde kullanılan, porselen izolatörlerdir.

OG hatlarında kullanılan izolatörler genel olarak mesnet ve zincir tipi olarak iki ana gruba ayrılırlar. İzolatör demiri aracılığı ile mesnedine oturtulan, gövdesi çan şeklinde olan ve bir veya birkaç siperi bulunan izolatörlerdir. Bu tip izolatörler tek parça halinde de yapılabilmektedir. Fakat farklı ihtiyaçlar doğrultusunda ve kurulum kolaylığı açısından tek parça haline getirilmiş iki veya daha fazla kısımdan da

yapılmış olabilirler. Yani bu tip izolatörler, kullanılma imkân ve şartlarına göre tek izolatör halinde kullanılan basit tipler şeklinde veya birkaç izolatörün birbiri ile tek parça haline getirilmek üzere yapıştırılabilmesini veya bağlanabilmesini mümkün kılan bir düzen ile tutturularak kullanılan birleşik tipler şeklinde de yapılabilirler. Bundan başka izolatörlerin çalıştırılacağı atmosfer şartlarına göre özel şekilde imal edilen tipler de mevcuttur [21,22].



Şekil 2.5. Porselen izolatör ve silikon izolatör

2.3.3. Yüksek ve çok yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler

Yüksek gerilim hatlarında, yüksekliği 60 metrelere kadar olabilen bazı hava iletim hatlarında ağırlık düşme tehlikesi gibi durumlar neticesinde gövdesini, benzeri başka izolatörün gövdesine, izolatör demirine veya kolonlara bağlayabilme düzeni bulunan izolatörler tercih edilebilmektedir. Bu tip izolatörlere zincir tipi izolatörler veya zincir izolatörü elemanları adı verilir. Bunlara zincir tipi denmesinin sebebi, mafsallı olarak birbirlerine bağlandıklarında bir nevi zincir meydana getirmeleridir [22].

OG'li hatlar ile YG hatlarında kullanılacak zincir izolatörü eleman sayısı ve tipi, hattın gerilimine ve kullanma maksadına göre değişir. Bu duruma göre, zincir izolatör elemanı, tek başına kullanılabileceği gibi 2, 3, 4, 5, 6 veya daha fazla sayıda zincir izolatörü elemanının uygun şekilde birleştirilerek kullanılması da mümkündür. Böyle birden fazla sayıda zincir izolatör elemanının mafsallı olarak birbirlerine bağlanması ile meydana getirilen diziye izolatör zinciri adı verilir [23].

İzolatör zincirlerini de kullanım amaçlarına göre ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan;

- a) Taşıyıcı olarak kullanılanlara da,
- b) Durdurucu olarak kullanılanlara da tek gergi tertibatlı takım adı verilir.

Her zincirde kullanılacak zincir izolatörü eleman sayısı ve tipi, hattın gerilimine ve zincirin kullanılacağı amaca göre belirlenir. Hatlardaki kuvvetlerin, bir izolatör zinciri tarafından karşılanamayacağı durumlarda, birbirine uygun şekilde paralel bağlanmış izolatör zincirleri kullanılır ve bunlara izolatör zincir takımı adı verilir [24].

İzolatör zincir takımı genellikle iki izolatör zincirinin uygun şekilde paralel bağlanmasıyla oluşturulur. Oluşturulan bu izolatör zincir takımlarını da kullanım amaçlarına göre ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan; taşıyıcı olarak kullanılanlara çift askı tertibatlı takım, durdurucu olarak kullanılanlara ise çift gergi tertibatlı takım adı verilir [25].

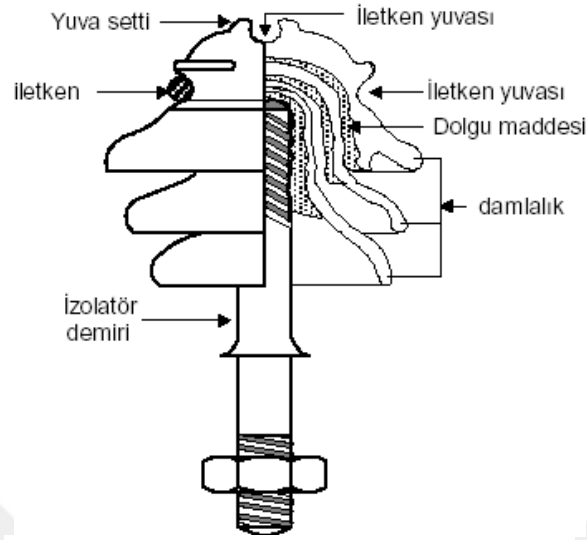


Şekil 2.6. Yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler

2.4. Gerilim Hatlarında Kullanılan İzolatörlerin Genel Yapısı

İzolatör başlıca beş kısımdan oluşur (Şekil 2.7):

- **Gövde:** İletkenin ve mesnet demirinin tutturulduğu kısımdır.
- **Tutturma yuvası:** İzolatör demirinin porselen izolatöre tutturulmasını sağlayan dişli bölgedir.
- **Siper veya etek (damlalık):** İzolatörün elektriksel direncini artırmak için gövdeye yapılmış bir veya birden fazla kanatlardır.
- **İletken yuvası:** İzolatöre bağlanacak olan iletkenlerin yerleştirilmesi için yapılmış yuvalardır.
- **Tutturma demiri (izolatör demiri):** Tutturma demiri bir aparatla veya direk üzerinde izolatöre tutturmaya yarayan demir aksamdır [26].



Şekil 2.7. Porselen izolatörlerin yapısı

Yüksek gerilim hatlarının tesisinde kullanılan iletkenlerin, direklere tutturulmasına yarayan ve iletkenleri hem taşımaya hem de toprak ile diğer iletkenlere karşı izole edilmesine yarayan şebeke malzemeleri olan izolatörler, elektriksel vasıfları yanında büyük mekaniksel yüklere de dayanması beklenmektedir. Bu sebeple izolatörler genel olarak porselenden veya camdan yapılsa da bazen özel kompozit malzemelerden de üretilmektedir [27].

2.5. İzolatörlerle İlgili Terimsel Açıklamalar

İzolatörlerin anlatımı sırasında kullanılacak bazı terimlerin basit açıklamaları, Türk Standartları Enstitüsü'nde yayımlanan “Elektroteknikte Kullanılan Terimler ve Tarifler- İzolatörler (TS 5007, 1987) standarttan alınarak aşağıda verilmiştir [28].

Ark: Elektriğin sürekli olarak sıvı veya gaz içerisinde atlayarak akmasıdır.

Atlama: Bir yalıtkanın üzerinden istenmeyecek şekilde elektriğin atlamasıdır. Bu atlamalar izolatörün işlevini yerine getiremediğini gösterir ve sisteme zarar verir.

Ark Atlama Gerilimi: Öncelikle atlama gerilimi kuru ve yaş şartlarda farklılık gösterir. Bir izolatörün engelleyemediği normal frekanslı elektrik geriliminin değerini gösterir.

Delinme: Bir izolatörün gözeneklilik vb. hatalardan kaynaklı cam, porselen, epoksi veya silikon malzeme üzerinden bir boşluk bularak elektriğin kendisine açtığı yoldur.



Şekil 2.8. Delinmiş silikon izolatör

Delinme Gerilimi: Belirli test koşullarında bir zincir izolatör ünitesi ya da bir mesnet izolatöründe delinmeyi meydana getiren gerilimdir.

Gövde: Dıştan elektrik hatlarının, içten mesnet demirinin tespit edildiği porselen izolatörün montaj ve çalışma sırasında mekanik ve elektriksel etkilere karşı dayanıklılığını sağlayan ve genel olarak izolatörün siper, tespit yuvası gibi kısımlarını içeren porselen ya da camdan parçadır.

İletken Yuvası: İzolatörün tepesinde ve yanlarında bulunur. İzolatöre bağlanacak iletkenlerin yerleştirilmesine yarayan yerdir.

Kırılma Yüğü: İzolatörün kullanılamaz derecede hasara uğramasını meydana getiren mekanik yüküdür.

Kuruda Darbe Gerilimi: Islaklık olmayan bir ortamda izolatörün elektriğe karşı dayandığı gerilimdir.

Siper: İzolatörler elektriğin yolunu uzatmak için etekli bir biçimde üretilmektedir. Bu etekler elektriğin atlamasını engellemek amaçlı tasarlanmıştır. Bu eteklere siper de denilmektedir.

Standart Atmosfer Şartları: Çevre sıcaklığı 20°C, barometrik basınç 760 mm cıva, rutubet %63 olma halidir [29].

Tespit Demiri: İzolatörün direk veya başka mesnede tespitine yarayan ve tespit yuvasına giren bir ucunda yivi veya kertikleri, diğer ucunda da direk veya başka mesnetlere tespitine yarayan düzeneği bulunan düz veya diğer şekilleri olan demirdir.

Tespit Yuvası: İzolatörlerin bağlantılarını sağlamak amacıyla tasarlanan bölümlerdir. İletim hattına izolatörlerin bağlanması amacıyla yapılan delik veya yivli kısımların tamamını kapsar.

2.6. Porselen İzolatörler ve Kullanılan Hammaddeler

Porselen izolatörler son yıllarda maliyeti ve kullanışlılığı açısından kullanımı artan seramik bir üründür. Uzun zamandır epoksi, silikon ve cam gibi alternatif yapı malzemelerinden ürünler geliştirilse de porselen izolatör pazarın çoğunluğunda varlığını sürdürmektedir. Estetik görünüşleri, kimyasallara direnci, elektrik yalıtımı, aşınmaya karşı direnci, eğme-çekme testlerindeki dayanımı gibi özellikler porselen izolatörlerin varlığını sürdürmesine yardımcı olmaktadır [30].

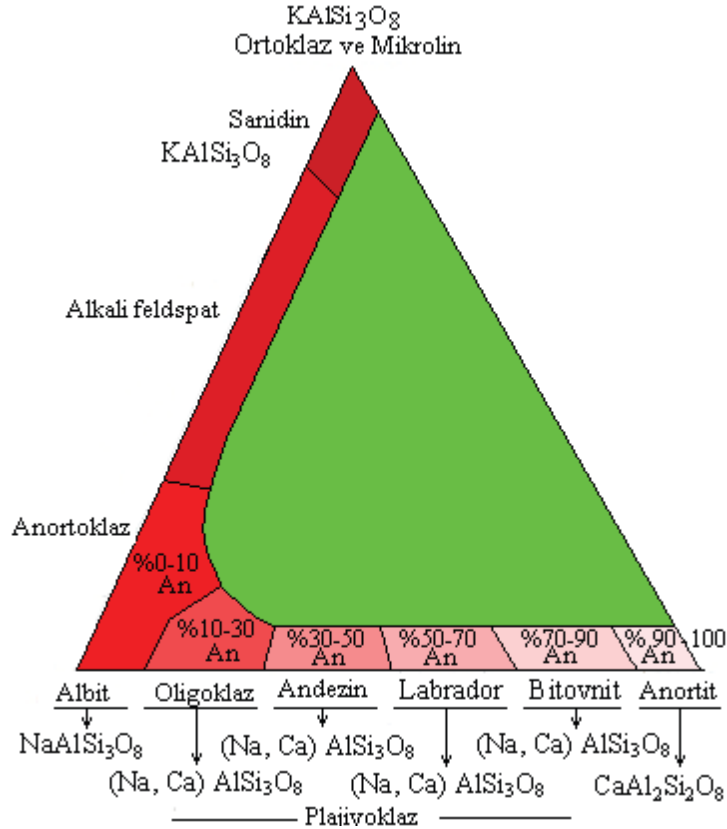
Diğer seramik ürünlerin yanı sıra elektrik yalıtımını sağlayan teknik porselenler bisküvi pişirimi yapılmadan tek pişirimle üretimini sonlandırmaktadır. Bu durum porselen izolatörlerin teknolojik karakteristiklerinde artan bir ivmeyle hızlı geliştirilmesini sağlamıştır [31].

Porselen izolatörlerin bünyeleri temel olarak %30-40 kil karışımı, %40-50 ergiticiler ve %10-15 oranında quartz-feldspat karışımından oluşmaktadır [32].

Genellikle kil bazlı hammaddeler illinitik, kaolinitik veya montmorillonitik kökenli mineraller içermektedir. Bunlar tane boyutu dağılımının ve mineral yapısının fonksiyonlarına bağlı olarak değişen seramik sektöründeki tabiriyle farklı plastikliğe sahiptirler. Formülasyondaki tüm bileşenler doğal bünye kirliliğini önlemek için düşük konsantrasyonlarda oksitlere (Fe_2O_3 ve TiO_2) sahip olmalıdırlar [32].

Yapılan incelemeler sonucu porselen bünyeler camsı faz birleşiminde; Na_2O - K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 (sodyum, potasyum, alümina ve silika) sisteminde cam oluşumunu taklit etmektedir. Bu birleşim sisteminde düşük sıcaklıklarda bazı fazların farklı sonuçlar vermesi ve buna dayanarak farklı pişirim sıcaklıkları, bisküvi üretim

dereceleri, sır boya renklerinde farklılıklar gibi çeşitlilik elde etmek mümkündür [32].



Şekil 2.9. Alkali feldspatlar ve plajiyoklaz feldspatlar [33].

2.6.1. Killer

Porselen izolator yapımında kullanılan killer su emme özelliğine sahip, preslemeye uygun ve pişme süresince küçülme gösteren yapıda olmalıdırlar. Porselen izolator üretiminde boyut küçülmeleri kullanılan killer sebebiyle gerçekleşmektedir. Bu sebeple istenilen standartlara uygun ürün elde etmek için bu küçülme oranı göz önünde bulundurulmalıdır. Kilin su emme özelliği ise kurutma aşamasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple su emme özelliği az olan killer tercih edilmelidir. Kilin su emme yetisini düşürmek için kil bünyesinde karbonat barındırılmalıdır [34]. Ayrıca killer porselen üretiminde ürüne şekil verme aşamasında ham mukavemeti ve plastikliği elde etmemize yardımcı olurlar ve içeriğindeki Fe_2O_3 , TiO_2 gibi bileşenler ürün piştikten sonra görsel açıdan ürün rengine etki ederler [30].

Kullanılan killer fiziksel özelliklerine, mineralojik katkılarına ve kimyasal bileşenlerine göre çeşitlilik gösterirler. Fakat genelleme yapılacak olursa yaygın

karakteristik özellikleri arasında tane boyutlarının ince olması, morfolojik yapılarının düzlemsel bir yapıda olması ve kristalin yapıda olmaları örnek verilebilir. Bunların yanı sıra tabakalar arası geçiş sağlayan alümina silikat tabakalarında elektriksel nötralizasyonun sabit tutulmasına yardımcı olması ve yumuşak bir yapıya sahip olması porselen bünyelerinde kullanımının tercih edilmesine neden olmuştur. Porselen izolatörlerde killer iki önemli amaç için kullanılmaktadır;

- a) Oyun hamuru kıvamındaki kil-su karışımı şekillenebilir bir yapıdadır ve kurutma ve pişirme aşamalarında mukavemet artışı gözlemlenir.
- b) Yüksek sıcaklıklarda izolatörlerin yoğunlukları ve mukavemetleri kil bileşenleri sayesinde artmaktadır.
- c) Kil bileşenleriyle elde edilen ürünler ısı işlem sonrası kil bileşenleri sayesinde aldıkları şekilleri muhafaza ederler [30].

Porselen izolatör üretiminde genel olarak illinitik ve kaolinitik killer kullanılmaktadır. Formülasyonda kullanılan kaolen; alkali yapıdaki feldspatların parçalanması ile meydana gelen alüminyum hidrosilikattır. Kaolen, yapısında genellikle organik maddeler veya yabancı maddeler bulundurmaz [31].

Madenlerin kaolenleşme aşaması fiziksel özellikleri ve bulunduğu ortama göre farklılık göstermektedir. Kaba tabirle ana kayacın bozunma işleminin yerinde gerçekleşmesiyle oluşan cevherleşmedir. İster kaolen yatağında ister kil yatağında ana mineralin kaolinit olması halinde çıkarılan maden kaolinit olarak sınıflandırılır.

Ancak kil yatağında oluşan kaolinit kayaçlar kil bünyesinde (zenginleşmiş kil) kullanılır. Genellikle bu tip oluşumlar potasyumca zengin olan kil yataklarında oluşmaktadır [30].

2.6.2. Quartz

Quartz porselen izolatör üretiminde yüksek sıcaklıklarda plastikliği azaltır ve küçülmeyi kısmen önler. Böylelikle ürünlerin boyutsal kararlılığına kısmen katkı sağlamaktadır. Hazırlık formülasyonunda ve yüksek sıcaklıklarda tam olarak çözünmez ama ergitici ve plastikleştirici bileşenlerin etkisiyle kısmen çözünmeleri gözlemlenebilir. Bu durum ürünlerin mekanik dayanımlarını arttırmada etkilidir [35]. Quartz pişmiş porselenlerin kemik yapısını oluşturur diyebiliriz. Silika, talk, şamot gibi bileşenler yüksek sıcaklıkta quartz içeriğinde bulunan Ca, Mg ve Si ile kimyasal

birleşimleri aktive ederek çeşitlilik oluşturlar [36]. Genellikle kullanılan dolgu maddeleri porselen üretiminde en kaba taneli malzemelerdir. Kurutma aşamasında kaba taneler çatlamaya karşı direnç gösterir ve pişirme aşamasında iskelet bir yapı oluşturur. Porselen üretiminde quartz en yaygın olarak kullanılan dolgu malzemesidir. Buna bağlı olarak quartz'ın tane boyutu ürün şekillendirilmesini, pişirmeden sonraki soğutma sürecini ve o esnadaki ürün üzerindeki dönüşümleri ve buna bağlı olarak mukavemet değerlerini etkilediğinden oldukça önemlidir [37]. Bazı porselen izolator formülasyonlarında silis bazlı maddeler kullanılmaktadır. Hazırlık aşamasında quartz kullanımının amacı SiO₂ ve alümina içeriğinin dengelenmesi ve böylelikle stokiometrik dengeyi elde etmektir. İzolator üretimindeki başlıca hedef kullanılan hammaddelerdeki muhtemel organik maddelerin gaz çıkışıyla atılmasını ve kurutma aşamasında ürün içeriğindeki suyun buharlaşarak dışarı atılmasını sağlayarak pişirme aşamasında aşırı küçülme ve deformasyona bağlı atık oluşumunun önüne geçmektir [38]. Quartz ısı işlem esnasında genleşme davranışında, yoğunluğunda ve kristal yapısındaki değişimlerle birçok dönüşüme maruz kalmaktadır. Quartz 573°C'de normal formundan yani α -quartz'tan, sonraki dönüşüm aşaması olan β -quartz'a dönüşür. Daha sonra 870°C'de α -tridimite ve tridimit 1470°C'de α -kristobalite dönüşür. Quartz morfolojik yapıları porselen bünyeler için çok önemlidir. Farklı dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişiklikleri olduğundan pişirme esnasında bu sıcaklık değerlerindeki ani dalgalanmalardan kaçınmak ve bu sıcaklık aşamalarını yavaş geçmek gerekir. Aksi halde çatlamalar kaçınılmazdır [39].

Quartz'ta meydana gelen dönüşümleri kontrol altında tutmak gerektiğinde ek olarak alümina dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Alüminanın camsı fazda çözünürlüğü düşük olduğu için quartz'a göre çözünme hızı oldukça düşüktür. Ancak quartz'a göre çok daha pahalıdır [31].

2.6.3. Ergiticiler

Ergitme işlemini sağlayan malzemeler kısaca formülasyondaki plastik bileşenlerin ergimesini sağlayarak eriyik fazı soğuma sürecinde cam haline dönüşmesini sağlarlar. Sektörde sırlanmış malzemeler olarak tabir edilen ürünün son parlak halini almasını sağlayan malzemelerdir. Ayrıca porselen bünyedeki gözenek miktarını ve pişme sıcaklığını da düşürürler. Ürünlerin mekanik özelliklerine az da olsa katkıları

vardır. Ergitici malzemeler porselen ürünlerin sinterleşme aşamalarını da kolaylaştırmaktadır. Pişirme esnasında sıvı faz oluşumu için kullanılmaktadırlar [40]. Ergitici bileşen olarak sıvı faz oluşumu için en yaygın kullanılan malzemeler; potasyum feldspat, sodyum feldspat ve kalsiyum feldspattır. Bu malzemelere katkı sağlaması açısından siyenit, talk, vollastonit, kalsit ve dolomit kullanılabilir [40,41]. Alkali alümina silikatlarda ergime süreci toprak alkali alümina silikatlardan daha kademelidir. Potasyum feldspat ($K(AlSi_3O_8)$) $\sim 1150^\circ C$ 'de, sodyum feldspat ($Na(AlSi_3O_8)$) $\sim 1118^\circ C$ 'de, kalsiyum feldspat ($Ca(Al_2Si_2O_8)$) ağırlıkça yüksek alümina ve düşük silika içeriğinden dolayı $\sim 1550^\circ C$ 'nin üzerinde ergimeye başlar. Birden çok alkali ya da toprak alkali oksit olması durumunda reaksiyon hızlanır ve düşük sıcaklıklarda ergime gerçekleşir [42].

Feldspatlar, porselen izolator üretiminde %20-55 oranında kullanılmaktadır. Potasyum veya sodyum feldspat seçimi ürünün pişirme sonrasındaki istenilen görünüme göre yapılmaktadır [31]. Genellikle izolator üretiminde potasyum feldspat kullanımı tercih edilmektedir.

Ergitici malzemeler arasında vollastonit ($CaSiO_3$) porselen izolator gibi tek pişirim yapılan ürünlerde kullanılabilir. Ürünün eğme mukavemetini iyileştirerek mekanik testlerde iyi sonuçlar alınmasını sağlar. Ayrıca fırın sıcaklıklarının faz dönüşümlerinde hızlı geçiş yapmasına imkân tanır. Beyaz çamur üreticileri için ürünlerini daha beyaz almalarını sağlar [43].

Talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) ise $1050^\circ C$ 'ye kadar herhangi bir değişime uğramaz daha yüksek sıcaklıklarda ise ergitici malzeme gibi davranış gösterir ve reaksiyonlara ortak olur. Bünye içerisinde küçük yüzdelerde bile (%3-5) şaşırtıcı seviyelerde katkı sağlayabilir. Ayrıca talk kullanılan formülasyonlar hızlı pişirim için de oldukça uygundur. Çünkü talk kullanımında diğer malzemelere göre daha az gaz çıkışı ve faz dönüşümleri olduğundan fırın çıkış hızını etkilemez. Hatta kullanımına göre pişirim sıcaklığını düşürebilir [42].

2.6.4. Yardımcı malzemeler

Formülasyonlarda kullanılan diğer malzemeler porselen çamurunu reolojik açıdan uygun yoğunluğa ve akışkanlığa getirmek için kullanılmaktadır. Yardımcı malzemeler üretim sürecini hızlandırır ve porselen üretiminin çamur formundaki

aşamalarında bünyeye belirli özellikler kazandıran ilavelerdir. Su, Sodyum-silikat, Sodyum tripolifosfat gibi malzemeler en yaygın kullanım örnekleridir. Bu tür katkı malzemeleri organik ve inorganik olabilirler. Porselen izolatör üretiminde kullanılan suyun içeriğinde bulunan Ca^{+2} , Mg^{+3} , Na^{+2} , K^{+} katyonlarının miktarları üretimi etkileyeceğinden kullanılan su sıklıkla kontrol edilmelidir [44].

2.7. Dielektrik Katsayısı

Dielektrik katsayısını anlamak için öncelikle dielektrik nedir onu açıklamamız gerekmektedir. Dielektrik basit bir ifadeyle üzerine elektrik alan uygulandığında polarize olan malzeme demektir. Bu polarizasyon sebebiyle pozitif yükler elektrik alanın yönünde negatif yükler ise tam tersi yönde hareket eder ve böylece uzun süre devam edebilen bir elektrostatik alan oluşumuna sebep olurlar. Böylelikle bu oluşumun var olmasına sebep olan malzemeler elektrik akımının geçişine karşı yüksek bir bariyer oluşturur [45].

Bir malzemenin dielektrik katsayısı (ϵ) malzeme üzerinde yük depolayabilme yeteneğini ölçmeye yarayan katsayı olarak da tanımlanabilir. Başka bir deyişle malzeme üzerinde elektrik alanın etkilerinin veya yalıtkan olan bir ortam tarafından nasıl etkilendiğinin ölçümüne dielektrik katsayısı diyebiliriz. Bir ortamın dielektrik katsayısı, bulunan ortamdaki birim yük başına elektrik akışının ne kadar gözlendiğidir. Kutuplaşma çabası fazla olduğundan dolayı bulunan ortamdaki birim yük başına düşen dielektrik katsayısı da büyük olur. Tabi bir elektrik akışının yoğun olduğu ortam için geçerli bir durumdur. Elektro manyetik dalgalar bulunan malzeme üzerinde maddesel-elektriksel alınganlık oluştururlar. Dielektrik katsayısı ile de doğrudan ilişkilidir. Fakat dielektrik katsayısı, dielektrik kuvvet ile karıştırılmamalıdır. Şöyle de söylenebilir; saf bir malzemenin iyonlaşmadan ve elektrik iletimine başlamadan önce sürdürebileceği maksimum elektrik alandır [45,46].

Bir malzeme, üzerine harici bir elektrik alan uygulandığında enerji depolayabiliyorsa, dielektrik olarak kabul edilir. Bir dielektrik malzeme, normalde dış alana eklenecek olan elektrotlardaki yükleri iptal ederek bir kapasitörün depolama kapasitesini artırır. Böylelikle dielektrik katsayısı, dielektrik malzemeli bir kapasitörün kapasitansının dielektrik malzeme içermeyen kapasitansına oranı ile ifade edilir [46].

Bir malzemenin dielektrik katsayısı şu şekilde ifade edilebilir;

$$k = \frac{C}{C_0} \quad (2.1)$$

Burada k gerçek dielektrik katsayısıdır. C ve C₀ sırasıyla dielektrikli ve dielektriiksiz kapasitandır.

Dielektrik malzemenin bir diğer önemli özelliği geçirgenliğidir. Bir malzemenin geçirgenliği (ϵ), malzemenin bir elektrik alanı tarafından polarize olma yeteneğinin veya polarize edilebilirliğinin bir ölçüsüdür.

Bir kapasitörün kapasitansı, aşağıdaki formüle göre dielektrik katmanın geçirgenliğine bağlıdır.

$$C = \epsilon \left(\frac{A}{d} \right) \quad (2.2)$$

Burada A kapasitörün alanını, d ise kapasitördeki iki iletken plakanın arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

Vakum dielektrik olarak kullanıldığında, kapasitans formülü aşağıdaki gibidir.

$$C_0 = \epsilon_0 \left(\frac{A}{d} \right) \quad (2.3)$$

(ϵ_0), vakumun geçirgenliğidir. Bu nedenle, bir malzemenin dielektrik katsayısı, aşağıdaki denkleme göre, geçirgenliğinin vakumun geçirgenliğine oranı olarak da ifade edilebilir.

$$k = \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right) \quad (2.4)$$

Bu nedenle; dielektrik katsayısı, malzemenin bağıl geçirgenliği olarak da bilinir ve boyutsuzdur. Vakumun dielektrik katsayısı 1'dir. Bir elektrik alanında tüm malzemeler vakumdan daha fazla polarize olur. Dolayısıyla herhangi bir malzemenin dielektrik katsayısı her zaman 1'den büyüktür [47].

2.7.1. Dielektrik katsayısı ölçümü

Dielektrik katsayısının ölçümü için birçok yöntem vardır. Aşağıda birkaçından bahsedeceğiz.

2.7.1.1. Ağ çözümleyicileri

Ağ çözümleyiciler iletilen sinyallerin malzemeye karşı yansımalarını ölçerek dielektrik katsayısının yaklaşık değerine ulaşmamızı sağlarlar. Sinyallerin frekansı aralıklarla artırılır ve alınan sinyallerin eğimi malzemenin dielektrik katsayısı ile ilişkili olan belirli aralıkta çizilmesi için tüm süreç tekrarlanarak bulunur [47].

2.7.1.2. Empedans analiz cihazları

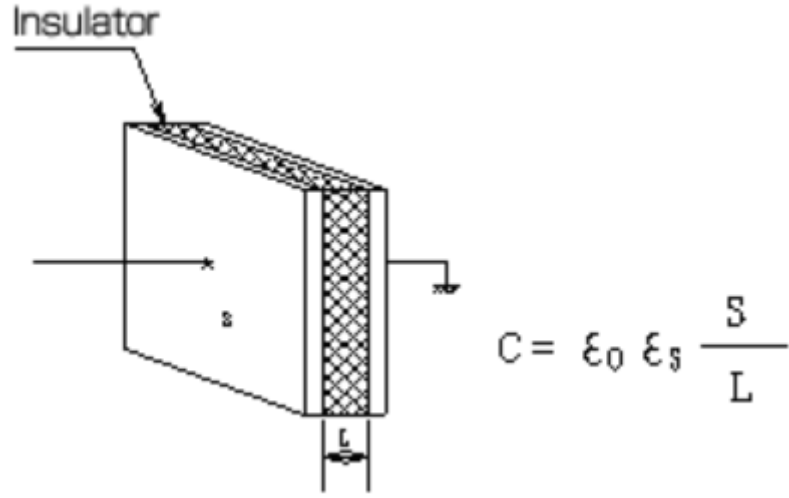
Bu cihazlar malzeme özelliklerini daha düşük frekanslarda ölçmek için kullanılır. Bu yöntemle, bir malzemenin voltajı, içinden akım geçtiğinde ölçülür ve izlenir. Malzemenin fiziksel boyutları, kapasitansı ve kayıp faktörü ölçülerek, dielektrik katsayısının değerleri türetilir [48].

2.7.1.3. Kapasitans

Kapasitans, elektrik enerjisini depolama kapasitesi olarak değerlendirilebilir. Kapasitans, bir yalıtkanla ayrılmış iki iletken tarafından depolanabilen elektrik yükünün ölçüsüdür. Kapasiteyi su depolama olarak düşünebiliriz. Belirli bir büyüklükteki bir tanka belirli bir su seviyesinde depolanan su miktarını hacim olarak ifade edebileceğimiz gibi, kapasitans da depolanan elektrik miktarını ifade eder.

Bir miktar hava ile ayrıldığı sürece iki iletken arasında her zaman kapasitans vardır.

Kapasitans miktarı, iki iletken arasındaki mesafe, şekilleri ve iki iletken arasındaki boşluğun yapısı ile belirlenir. Örneğin iki metal plakayı birbirine paralel yerleştirip elektrik uygularsanız iki plaka arasındaki boşlukta kapasitans olacaktır [49].



Şekil 2.10. Yalıtkan şeması ve kapasitans yardımıyla dielektrik katsayısı bulma formülü

Kapasitans C , plaka alanı S , plakalar arasındaki mesafe L ve iki plaka arasındaki dielektrik katsayısı ϵ ile belirlenir. ϵ_0 vakumun dielektrik katsayısıdır ve $8.854187817 \times 10^{-12}$ F/m'dir. Formülde ϵ_s ise yalıtkanın dielektrik katsayısıdır. S , L 'ye eşitse kapasitans C yalıtkanın dielektrik katsayısı ϵ_s ' ye göre değişir. Kapasitans ekipmanı, plaka mesafesi ve alanını sabit tutarak değişiklikleri yakalar. Böylece maddeleri algılar ve ölçer [48].

Tablo 2.1. Çeşitli malzemelerin dielektrik katsayıları

Malzeme	Dielektrik Katsayısı F/m	Malzeme	Dielektrik Katsayısı F/m
Vakum	1	Mika	4
Hava	1	Strafor	1.03
Cam	5-10	Porselen	4-8
Teflon	2.1	Kevlar	3-4.5
Quartz	5	Rubber	2
Selüloit	4	Rubber, Silikon	3.2
Çimento	2	Polipropilen	2.25-2.5
Silikon	11.8	Kâğıt	3-3.5
Elmas	5.87		

Tablo 1’den de yorumlanabileceği üzere izolator malzemeler dielektrik katsayısı yüksek olan porselen, cam, silikon gibi malzemelerden seçilmektedir [45,46].

Bu çalışmamızda dielektrik katsayısı yüksek fakat üretim aşaması zahmetli olan porselen malzemelerin dielektrik katsayısı daha yüksek ve üretim aşaması daha kolay olan silikon kauçukla kaplanmasıyla izolatorün özelliklerini daha da iyileştirmek üzerine çalışmalar yürüttük. Ülkemize katkı sağlamak adına faydalı sonuçlar elde etmeye çalıştık. Yapılan çalışmada silikon kauçuk kaplı seramik malzeme ile üretilen izolatorlerin dielektrik katsayısını ‘dielektrik katsayısı >10’ bulduk.

2.8. Sıvı Silikon Kauçuk (LSR) Teknolojisi

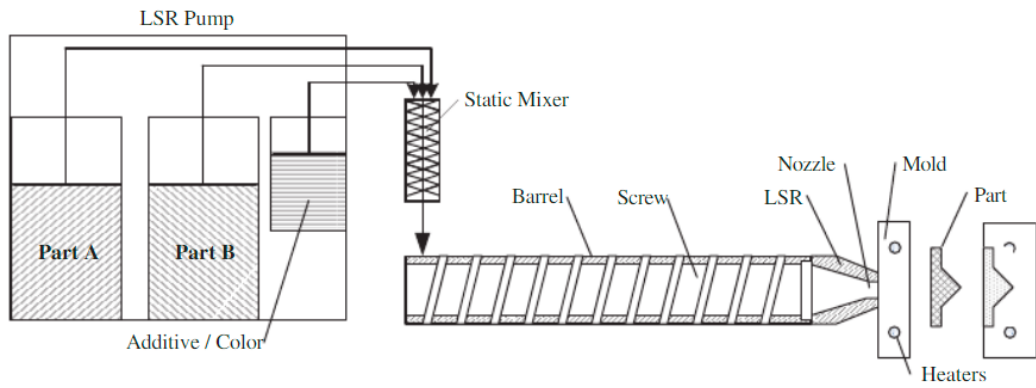
Günümüz izolator üreticileri, ürünleri için değişen ve daha zorlu gereksinimlerle karşı karşıyadır. Kullanıcılar bazı durumlarda daha sağlam ve uzun ömürlü malzemeler talep etmektedir. Kullanıcıların farklı tip ürünler istemeleri ve çeşitli gereksinimlere ihtiyaç duymaları bazı durumlarda ürünleri daha maliyetli hale getirmektedir. Ancak kullanıcılar aynı zamanda farklı özellikleri talep ederken maliyetlerin de uygun bir seviyede olmasını istemektedirler. Bu durumlarla

karşılaştan üreticiler farklı üretim yöntemleri arayışına girmektedirler. Sıvı silikon kauçuk (LSR) kalıplama üreticilere ve kullanıcılara farklı avantajlar sağlayabilir [50].

Silikon kauçuk yalnızca biyolojik olarak kararlı ve uygun fiziksel niteliklerle uyumlu olduğu için değil, aynı zamanda kalıplama da dahil olmak üzere birçok yolla işlenebildiği için izolatör üretimi için idealdir.

Sıvı hammadde soğuk yolluk sistemi ile sıcak kalıba enjekte edilir. Kalıptaki hammaddenin kurlenmesi saniyeler içerisinde gerçekleşir. Bu da hızlı döngüye ve büyük miktarlarda hızlı üretime olanak tanır [51].

Bu teknolojinin başlıca avantajlarından biri, tipik olarak birden çok ayrı elemanın bir araya getirilmesini gerektiren karmaşık geometrileri tek bir bileşen olarak üretme yeteneğidir. İzolatör açısından potansiyel elektrik sızıntısı yolları veya ark oluşmasını istemediğimiz boşluklar gibi tertibatlar ile ilişkili fonksiyonel riskler ortadan kalkar. LSR teknolojisi üreticilere somut faydalar sunarak performans artışı, üreticinin hatlarını otomatikleştirme fırsatı ve yanlış montajla ilişkili risklerin ortadan kalkmasına yardımcı olur. LSR teknolojisini üreticilerin uygulamalarına erken dahil etmeleri önemlidir. Böylece uygulamalar mevcut pazar için optimize edilebilir.



Şekil 2.11. Sıvı silikon kauçuk (LSR) teknolojisi üretim şeması

Yukarıdaki resimde iki beslemeli sıvı silikon kauçuk pompa sistemi, varil, vida ve kalıp kısaca LSR teknolojinin prosesi gösterilmiştir. Taşıma ve karıştırma işlemi sırasında içeri giren havayı çıkarmak veya azaltmak için gazdan arındırma işlemi

Genel olarak bakılacak olursa üretim yöntemi kolay olan sıvı silikon kauçuk yardımıyla ve ayrıca istenilen dielektrik katsayısını sağladığından izolatör üretimine önemli ölçüde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE METHOD

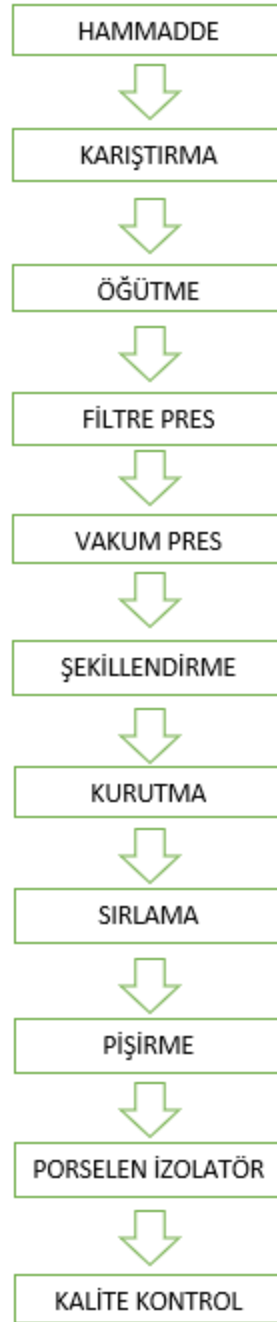
Bu çalışmada orta ve yüksek gerilim hatlarında kullanılan uzun ve çok etekli izolatörler baz alınarak bunların malzemeleri ve üretim yöntemlerini kolaylaştırma adına kompozit malzeme üretimi ele alınmıştır.

Tablo 3.1. İzolatör türleri ve genel özellikleri

Özellikler	İzolatör Türleri			
	Cam	Epoksi Reçineli	Porselen	Silikon
Dielektrik Dayanım	Yüksek (140 kV/cm)	Yüksek (70-90 kV/cm)	Orta (60-70 kV/cm)	Yüksek (150 kV/cm)
Mekanik Dayanım	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Maliyet	Ucuz	Pahalı	Ucuz	Pahalı
Ağırlık	Orta	Hafif	Ağır	Hafif
Üzerinde Kir Tutma	Fazla	Az	Az	Az
Kullanım Sıklığı	Az	Az	Çok	Orta
Kullanım Alanı	Askı-Gergi-Pin	Bara Mesneti	Askı-Gergi-Pin	Askı-Gergi-Pin

Tablodan yola çıkarak üretim yükü ağır olan uzun etekli AG ve OG porselen izolatörleri için çalışmalar yapılmıştır. Uzun ve etekli porselen izolatörlerinin üretiminde veya üretim sonrası eteklerde kırılma, çatlama gibi sebeplerle birçok kayıp meydana gelmektedir. Bu çalışma da gövde bölümü porselen izolatör, etekli bölümü silikon izolatör olacak şekilde kompozit malzeme üretimi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylelikle maliyet açısından da daha az silikon malzeme kullanılacağından daha uygun olması hedeflenmektedir [53].

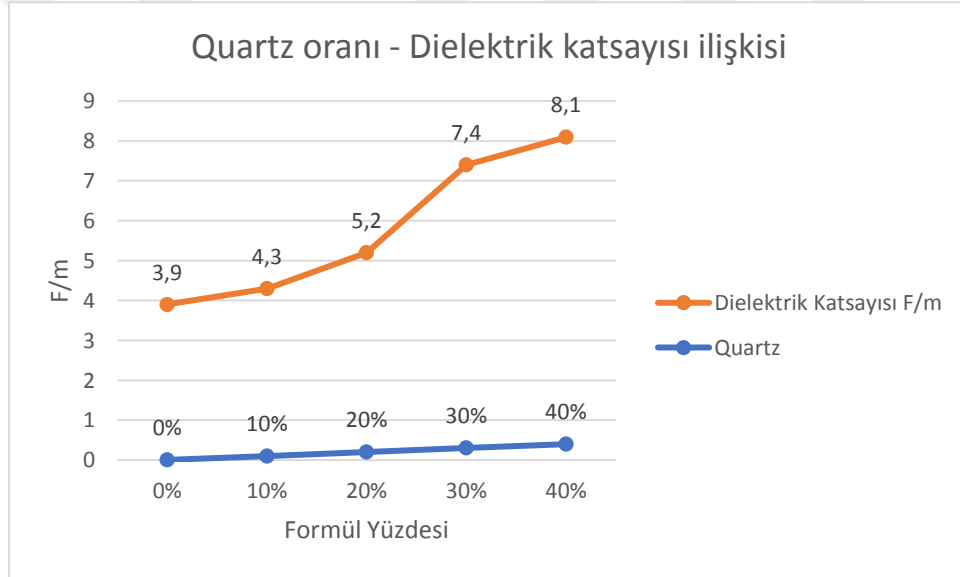
3.1. Teknik Porselen Üretimi



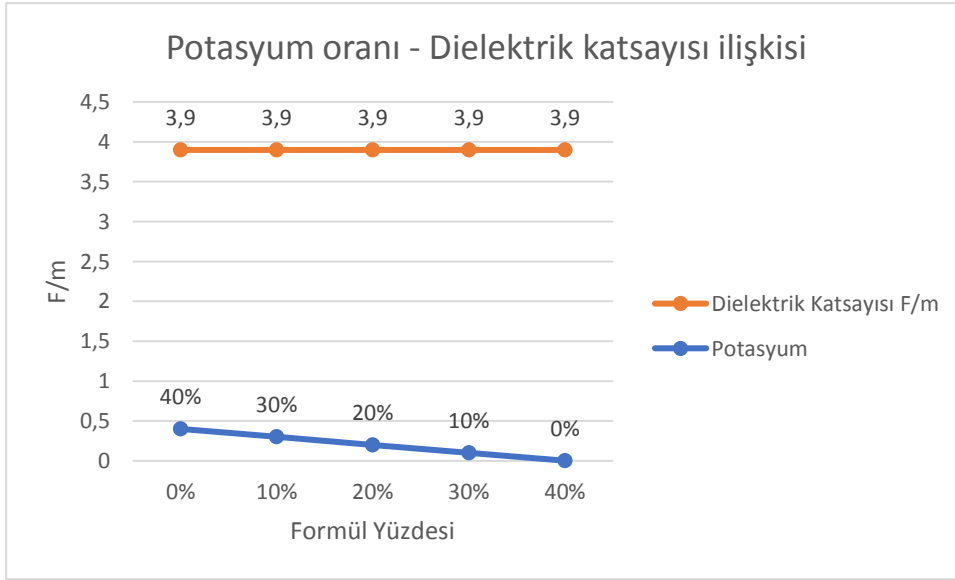
Şekil 3.1. Porselen izolatör üretim akış şeması

Öncelikle teknik porselen üretimi için formülasyon düzenlemesi yapıldı. AG ve OG hava hatlarına uygun olacak şekilde teknik porselen üretimi için Potasyum Feldspat ve Quartz oranları en az %40 olacak şekilde farklı ülkelerden getirilen malzemeye kattığı özelliklere göre ayrılan çeşitli killeri, kaolen, sodyum-potasyum feldspat ve birkaç malzeme ile bir karışım hazırlandı.

Bu çalışmada ayrıca quartz oranının dielektrik katsayısına etkisi olduğu görülmektedir. Quartz oranları değiştirilerek farklı formüller hazırlanmış ve böylelikle karşılaştırmaları yapılmıştır. Farklı quartz oranlarının izolatörün dielektrik katsayısına etkileri aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Quartz oranı ve dielektrik katsayısı ilişkisi



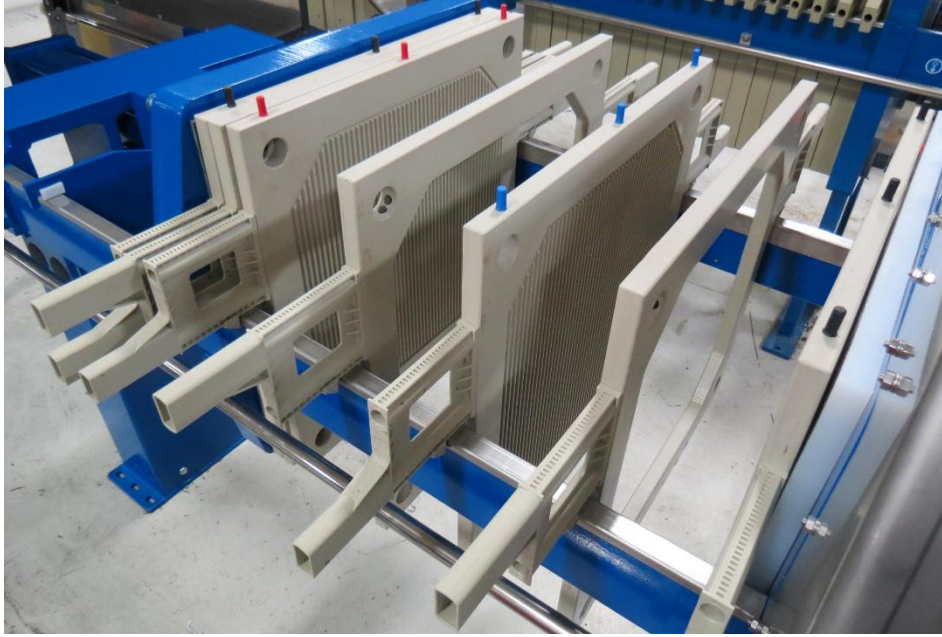
Şekil 3.3. Potasyum oranı ve dielektrik katsayısı ilişkisi

Ayrıca yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi potasyum oranının dielektrik katsayısına herhangi bir etkisi yoktur. Seramik izolatörlerin dielektrik katsayısına etki eden önemli faktörlerden birinin de seramik formülasyonu içerisindeki quartz olduğu görülmektedir [53].

Sonrasında oluşturulan karışım seramik çamur değirmenine beslendi. İçerisinde alimüna taşlar bulunan değirmende hazırlanan karışım yeterli miktarda su beslenerek 6 saat boyunca karıştırılarak sıvı çamur haline getirildi.

Öğünme işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan sıvı çamur çökmeyi engellemek adına bir karıştırma tankına alındı. Sıvı çamur, karıştırma tankından alınarak 100 µm üzeri materyallerin geçmesini engelleyecek olan sarsak eleğe aktarıldı. Sarsak elekten geçen sıvı çamur bir tankın içine boşaltıldı.

Bu tank içerisinden de hava diyaframlı pompa yardımıyla filtre prese dolduruldu. Filtre pres işleminde sıvı çamurun suyu süzülerek deri sertliğinde çamur kekler elde edildi. Sonrasında vakum pres makinasından geçirilerek havası alınan seramik çamuru kurumaya bırakıldı.



Şekil 3.4. Filtre pres makinası

3.2. Sırlama Prosesi

Kuruyan seramik malzemeler TS -76 standardına [54] göre beyaz veya kahverengi renklerinde olması istenen porselen izolatörler için hazırlanan kahverengi sır havuzuna getirildi. Daldırma yöntemiyle sırlama prosesi gerçekleştirildi.



Şekil 3.5. Sırlama prosesinden bir görüntü



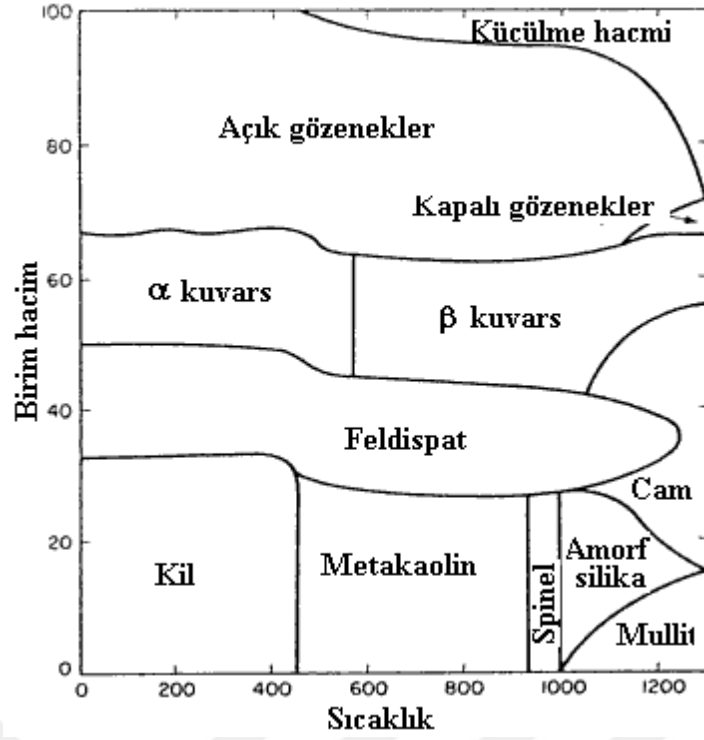
Şekil 3.6. Sırasıyla kurutulmuş, sırlanmış ve pişirilmiş malzeme

3.3. Fırınlama Prosesi

Tablo 3.2. Fırın sıcaklıklarına bağlı malzeme dönüşümleri

Sıcaklık Dönüşümleri ve Reaksiyonlar	Sıcaklık °C
Kuruma	100-150
İç tabaka nem atılımı	150-400
Organik Bileşenlerin Ayrılması	250-650
Sülfidlerin Ayrılması	400-700
Camsı Faz Geçiş Sıcaklığı	450-650
Kristal Su Ayrılması	450-700
α - β Quartz Dönüşümü	573-575
Kristalin Fazların Oluşumu	900-1200
Feldspatların Ergimesi	1050-1200
Sır Yüzeyinin Tabakalaşması	1150-1200
Soğuma	1200-0

Fırınlama işlemi, hazırlanan formülasyon göz önünde bulundurularak Tablo 3.2’de ki dönüşümler ve reaksiyonlara bağlı olarak gerçekleştirilir. Sıcaklık yükseliş hızları bu tabloya göre belirlenir. Quartz dönüşümleri ve feldspatların ergimesi bölümleri fırın içerisindeki malzemeler için oldukça önemlidir. Bu sebeple bu aralıkları dk. ’da 1-2°C’yi geçmeyecek şekilde ayarlamak gereklidir [55].



Şekil 3.7. Porselen pişiriminde gerçekleşen değişimler [56]

Sırlama işlemi sonrası tekrar kurumaya alınan malzemeler kuruma işlemi gerçekleştikten sonra fırın raflarına yerleştirildiler. Çubuk şeklindeki seramik malzemeler sırlı yüzeylerinin yüksek sıcaklıklara dayanıklı silisyum karbür plakalara temas etmemesi için gövdesinden delik açılarak yüksek sıcaklıklara dayanıklı rezistans telleri yardımıyla deliklerden askıya alınarak fırına dizildiler. Yaklaşık 24 saat süren fırınlama işlemi kontrollü şekilde seramik malzemelerin faz değişimlerine dikkat edilerek gerçekleştirildi. 1200°C'lere kadar çıkan fırın sıcaklığı seramik malzemelerin gözenekli yapı oluşmaması adına sıcaklığı malzemeye daha iyi iletmek için 1 saatten fazla bekletildi. Daha sonra piştiğine emin olunan seramik malzemeler daha parlak yüzey elde etmek adına fan yardımıyla hızlı soğutma ile fırından çıkartıldı. Sırlanan ve sırlanmadan pişirilen iki farklı model seramikten yeterli miktarda üretildi.



Şekil 3.8. Porselen izolatör üretiminde kullanılan doğalgazlı fırın



Şekil 3.9. Numune üretimi için kullanılan elektrikli fırın

3.4. Ara Yüzey Astar Uygulama

Üretilen seramikler direkt olarak silikon kauçuk kaplama işlemine tabi tutulduğunda ara yüzeyde silikon kauçuğunun seramik yüzeye yapışması mümkün olmadığından astar kullanımına karar verildi.

İki farklı çeşit astar kullanımı gerçekleştirildi. Astar seçimi elektrik yalıtımının sağlanmasına etki etmemesi hedeflenerek yapıldı. Su bazlı ve solvent bazlı iki farklı astar malzeme kullanılarak ara yüzey oluşturuldu.

Astar malzeme olarak;

- Su bazlı akrilik esaslı parlak yüzey astarı,
- Solvent bazlı poliüretan reçine esaslı yapıştırıcı bir astar kullanıldı.

Üretilen çubuk şeklindeki sır kaplı ve sır kaplamasız seramik malzemeler daldırma yöntemiyle astar uygulaması gerçekleştirildi. Sonrasında astar kaplanan malzemeler 8 saat boyunca astar kaplamanın yüzeye daha iyi tutunması için 25°C’de kurutma fırınında bekletildi.

Astar kaplama seramik üzerine daldırma yöntemiyle uygulanmıştır. Yapılan ölçümlerde astar kalınlıkları mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Astar kalınlıkları aşağıdaki Tablo 3.3’de gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Kaplama sayısına bağlı oluşan kaplama kalınlıkları

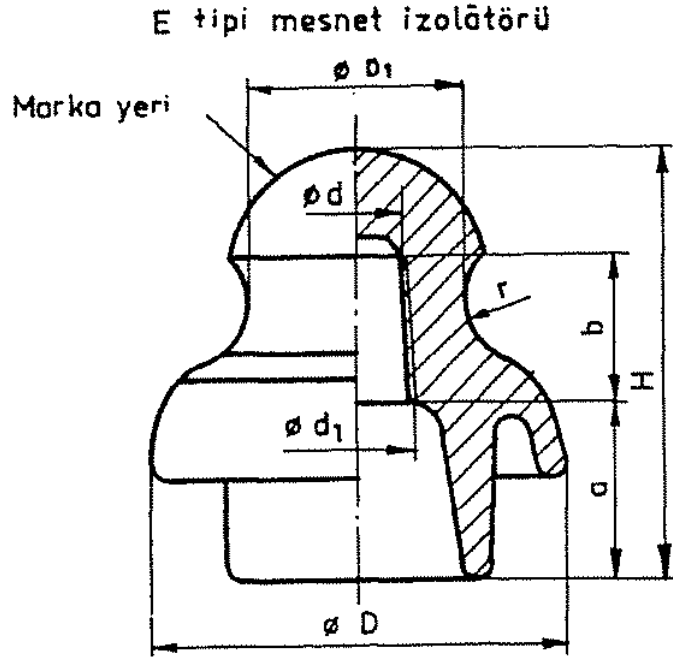
Kaplama sayısı	1	2	3
Astar kalınlıkları (mm)	0.2	0.5	0.75

3.5. Silikon Kauçuk Kaplama

Astar kaplanan malzemeler standart kompozit silikon kauçuk üretilen kalıp içerisine astar kaplamalı malzemelerin yerleştirilmesiyle 220°C’de kalıp içerisinde 8 saniye bekletilerek seramik malzemeler üzerine silikon kauçuğun kaplanması işlemi gerçekleştirildi.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde yapılan çalışmalar tamamen TS-76 standartına göre ayarlanmıştır. Üretilen numunelerin hepsi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilen boyutların toleransları içerisinde. Ayrıca Tablo 4.1’deki istenilen özellikler doğrultusunda hazırlanmışlardır.

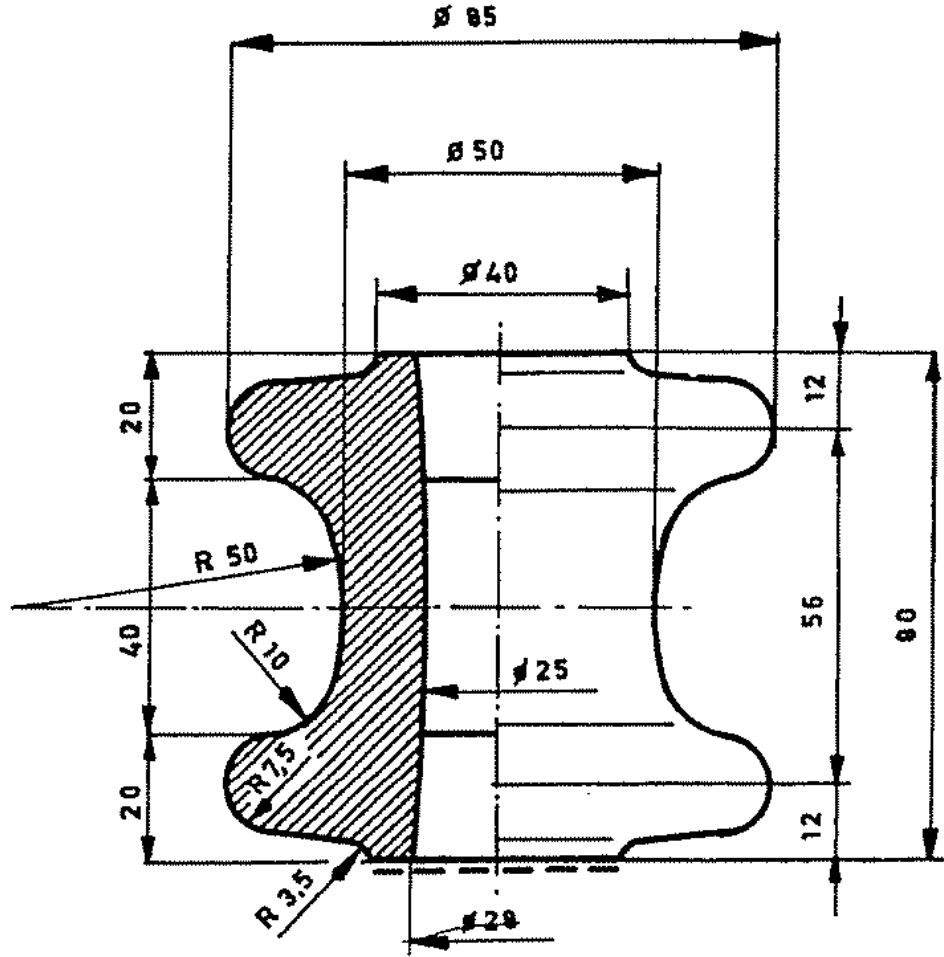


Basit E tipi ızalatörlerin boyutları

Kısa işareti	D	H	D_1	$d_{\min}$	$d_{1\min}$	a	b	r
E - 95	95	97	50	22	24	41	35	14
E - 80	80	87	42	19	21	38	30	9
E - 60	60	62	32	15	17	25	25	6

D ve d'ler çapları göstermektedir.

Şekil 4.1. TS-76 standardına göre N-95 ölçüleri [54]



Şekil 4.2. TS-76 standardına göre N-80 ölçüleri [54]

Tablo 4.1. TS-76 standardına göre izolatörden istenilen özellikler [54]

Özellikler	İlgili Standart	Standart Değerleri
Boyut ve Yüzey Düzgünlüğü	TS-76	Parlak, sağlam, ince, sıkı yapıda ve içeriğinde yabancı madde, çatlak, leke vb. kusurlar bulunmamalı
Sır	TS-76	Sır, izolatöre pürüzsüz, düzgün, ince ve çatlakları olmayan cam gibi parlak ve kaygan koruyucu bir yüzey sağlayan rutubet emdirmeyen özellikte olmalı
Renk	TS-76	İzolatörün görünen bölümleri düzgün sırlanmış olmalı ve ayrıca belirtilmemişse beyaz renkte olmalı
Yapılış	TS-76	İzolatörler, kirlendiklerinde rüzgâr, yağmur, kar gibi doğal etkenlerle kendi kendine temizlenebilecek, işletmede karşılaşacağı elektrik ve mekanik zorlamalara dayanabilecek şekilde biçimlendirilmiş olmalı
Boyutlar	TS-76	Porselen izolatörlerin biçim ve boyutları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.
Toleranslar	TS-76	İzolatörlerde uyulması gereken boyut toleransları $\pm (0,04\text{mm} + 1,5)$ mm’den çok olmamalıdır.

Tablo 4.1. (Devam) TS-76 standardına göre izolatörden istenilen özellikler

Yaş Ortamda Gerilme Dayanımı	TS-76	İzolatörün şiddeti dk. 'da $3 \pm \%10$ mm'ye eşit bir yağmur altında 10 kV dan aşağı olmayan 50 Hz. frekanslı bir gerilime 1 dk. boyunca maruz kalabilmesi beklenmektedir.
Sıcaklık Darbesi Deneyi	TS-76	İzolatörün sıcaklık farkı 70°C olan iki havuza önce soğuğa sonra sığağa olacak şekilde tümüyle daldırılarak 15'er dk. bekletilmesi sonucu herhangi bir çatlama meydana gelmemesi beklenmektedir.
Gözeneklilik Deneyi	TS-76	İzolatör kırıkları 1 gr fuksinin 100 gr metil alkoldeki çözeltisi içerisinde $15 \times 10^6 \text{N/m}^2$ basınç altında 6 saat bekletilir. Daha sonra izolatör kırıkları tekrar kırılarak porselen içerisine fuksinin sızması beklenmektedir.
Mekanik Dayanıklılık Deneyi	TS-76	İzolatörlerin deney düzeneğinde 1250 kg yük altında en az 1 dk. bekletildiğinde bu mukavemete dayanması beklenmektedir.

Tablo 4.1'de istenilen özellikler ve Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilen boyutlar göz önüne alınarak ve yukarıda detayları verilen TS-76 standardına uygun olarak Tablo 4.2'de gösterilen numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4.2. Tez çalışması için hazırlanan numuneler

Numune	Kil	Kaolen	Quartz	Feldspat	Sır Kaplama	Astar Kaplama	Elektriksel Dayanım	Çekme Dayanımı
1	%40	%20	%0	%40	X	X	Geçmedi	Çok İyi
2	%40	%20	%10	%30	X	X	Geçmedi	Çok İyi
3	%40	%20	%20	%20	X	X	Geçmedi	Çok İyi
4	%40	%20	%30	%10	X	X	Geçmedi	İyi
5	%40	%20	%40	%0	X	X	Geçmedi	Kötü
6	%40	%20	%0	%40	✓	X	Geçmedi	Çok İyi
7	%40	%20	%10	%30	✓	X	Geçmedi	Çok İyi
8	%40	%20	%20	%20	✓	X	Geçmedi	Çok İyi
9	%40	%20	%30	%10	✓	X	Geçmedi	İyi
10	%40	%20	%40	%0	✓	X	Geçmedi	Kötü
11	%40	%20	%0	%40	X	✓	Sınırdadır	Çok İyi
12	%40	%20	%10	%30	X	✓	Sınırdadır	Çok İyi
13	%40	%20	%20	%20	X	✓	Geçti	Çok İyi
14	%40	%20	%30	%10	X	✓	Geçti	İyi
15	%40	%20	%40	%0	X	✓	Geçti	Kötü
16	%40	%20	%0	%40	✓	✓	Sınırdadır	Çok İyi
17	%40	%20	%10	%30	✓	✓	Sınırdadır	Çok İyi
18	%40	%20	%20	%20	✓	✓	Sınırdadır	Çok İyi
19	%40	%20	%30	%10	✓	✓	Sınırdadır	İyi
20	%40	%20	%40	%0	✓	✓	Sınırdadır	Kötü
21	%40	%20	%25	%15	X	✓	Geçti	Çok İyi

* Çok İyi: 1300 kg'dan sonra kırılma görüldü. İyi: 1250-1300 kg aralığında kırılma görüldü.

4.1. Sır Yoğunluğu Ölçümü

Üretilen seramiklerin sırlanmasında kullanılan sır incelendi ve ölçümleri yapıldı. Kütle/hacim sonucunda elde edilen değer $1,43 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer üretim yapan fabrika test değerleri açısından oldukça idealdir. Fabrika tolerans değerlerini $1.42 \pm 3 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlemiştir.

4.2. Sıcak Soğuk Daldırma Testi

Üretilen teknik porselen malzemeler öncelikle 30°C su bulunan havuza atılıp bir dk. kadar bekletilir. Daha sonra düşük dereceli havuzdan çıkarılarak 100°C olan havuza atılır. Böylelikle malzemede şoklanma oluşup oluşmadığı birbirine iki farklı malzeme vurularak sesin tok gelmesi ya da tizleşmesi farkı yardımıyla kontrol edilir. Bu işlem 15 dk. arayla 15 dk. sıcak, 15 dk. soğuk havuzda bekletilerek 5 kez tekrarlanır. Yapılan sıcak soğuk daldırma işleminde üretilen malzemelerde herhangi bir problemle karşılaşmadı.



Şekil 4.3. Sıcak soğuk daldırma havuzu

4.3. Çekme Testi

Üretilen silikon kauçuk kaplamalı seramikler TS-76 test standardına göre 1250 kilogram yük altında mukavemet göstermesi beklenmektedir. Firma bünyesindeki test ekipmanlarına üretilen malzemeler gerekli aparatlar yardımıyla bağlanarak test edildi. İdeal formülasyondaki bütün numuneler 1250 kilogram yük altında mukavemete dayandığı tespit edildi. Test aşamalarında öncelikle istenilen yükün %70'i uygulanarak 1 dk. bekletildi. Daha sonra istenilen yükün %100'ü malzemeye uygulandı ve 1 dk. boyunca 1250 kg yük altında bekletildi. Yapılan testler sonucu Quartz oranı %40'ı geçen formülasyonların istenilen mukavemeti sağlayamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Çekme testi makinası

4.4. Elektriksel Yalıtım Testi

Elektriksel yalıtım testleri üretilen malzemeler test cihazına bağlanarak TS-76 standardına göre 10 kV yük altında test edilmiştir. Testler yaş ve kuru ortamlarda olmak üzere hava şartları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Kuru ortam şartlarına göre yapılan test sonucunda su ve solvent bazlı iki astar malzemedeki başarılı sonuç göstermiştir. Fakat yaşta dayanım testlerinde yapay yağmur altında yapılan testlerde su bazlı astar malzeme kabarma göstererek birkaç kez tekrar sonucunda elektrik atlaması gözlenmiştir. Sonuç olarak su bazlı astar malzemenin kullanılabilirlik açısından uygun olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmalara solvent bazlı astar malzeme kullanılarak devam edilmiştir.



Şekil 4.5. Elektrik atlaması (arc) görülen porselen izolatör

4.5. Sonuçların Değerlendirilmesi

Porselen izolatörlerin kaplanması ve elektrik yalıtkanlıklarını artırılması amacıyla yapılan formülasyon denemeleri sonucunda şu genel sonuçlar elde edilmiştir;

1. Quartz-Feldspat değişen oranlarına bağlı olarak en ideal elektriksel dayanım ve çekme dayanım değerleri elde edilmiştir.
2. Aynı zamanda elde edilen quartz-feldspat oranıyla camsı faz miktarı artırılarak yoğunlaşmanın sağlanması ve bu sayede ideal gözeneklilik elde edilmiştir.
3. Bu çalışmada, formülasyon değişiminin porselen izolatör üzerindeki değişimlerin elektriksel ve mekanik değerlere katkıları incelenmiştir. Çalışmada 21 farklı numune hazırlanmış ve gösterdikleri performanslar karşılaştırılmıştır. Numune tasarımı ile sonuca etki eden ana faktörler ve yan etkileşimlerin seviyelerinin belirlenmesi mümkün hale gelmiştir.
4. Porselen izolatörün çekme mukavemetini ve elektriksel dayanımını etkileyen faktörler sırasıyla; quartz-feldspat oranı ve kullanılan kimyasal astardır. Çekme mukavemetini sağlamak amacıyla feldspat oranının artırılması gerekmektedir. Quartz oranının artırılması da elektriksel dayanıma katkı sağlamaktadır. Kimyasal astarın düzgün bir şekilde izolatörün seramik ve

kauçuk arasında bağ yapması sağlanmalıdır. Aksi takdirde elektrik atlamaları görülmektedir ve izolatörün işlevini yerine getirememesi söz konusudur.

5. Astar uygulamasının süresinin ve kalınlığının porselen izolatörün kullanılabilirliği açısından herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan su bazlı astar malzemenin belirli bir zaman sonrasında nem kaparak izolatörün işlevini yerine getirmesine engel olduğu tespit edilmiştir.
6. LSR teknolojisinin seramik sektöründe özellikle izolatörler açısından kullanılabilirliği test edilmiştir. Bu çalışmada LSR teknolojisinin uygulanabilirliği kanıtlanmış ve sektör açısından geliştirilebilir seçeneklerin önü açılmıştır.
7. Ayrıca çekme testleri için gerekli olan mukavemet değerlerinin quartz haricinde kullanılan kil ve kaolen hammaddelerinin kullanımıyla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca pişirme sıcaklıklarının 1200°C’de 1 saatten fazla bekletilmesiyle elde edilen az gözeneklilik miktarının mukavemet değerlerine olumlu etkisi de tespit edilmiştir.
8. Bu çalışmada silikon kauçuk ve seramik izolatörlerin bir arada kullanılmasıyla dielektrik katsayısının 10 F/m’den büyük olduğu ve çekme, elektrik, fugsin, sıcak soğuk daldırma testlerinden geçerek kompozit bir malzemenin istenilen seviyelerde daha ekonomik üretilebileceği başarıyla sonuçlanmıştır.
9. Yapılan testler sonucunda bütün işlemler ele alındığında, solvent bazlı astarın sır kaplamasız olan seramik malzeme ile en iyi sonucu ortaya koyduğu görülmüştür ve sır kaplama yapılmadan yalıtımın daha ekonomik bir biçimde sağlanabileceği öngörülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] F. Boutaleb, N. Boutaleb, B. Bahlaouan, and S. Deblij, S. El Antri, “Effect of Phosphate Mine Tailings from Morocco on the Mechanical Properties of Ceramic Tiles,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 02, pp. 140–145, 2020.
- [2] M. Yılmaz. “İznikçinilerinde nanopigment kullanımı ve geleneksel pigmentlerle karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011,414695.
- [3] J. García-Martínez, T. M. Lancaster, and J. Y. Ying, “Synthesis and catalytic applications of self-assembled carbon nanofoams,” *Adv. Mater.*, vol. 20, no. 2, pp. 288–292, 2008.
- [4] Y. Aslan, S. Ahmet SİS, and M. Kubilay EKER, “POLİTEKNİK DERGİSİ JOURNAL of POLYTECHNIC Dağıtım sistemlerinde kullanılan sis tipi VHD-35 pin izolatörün sonlu elemanlar yöntemi temelli kısmi deşarj analizi Finite elements method based partial discharge analysis of fog type VHD-35 pin insulator used at distribution systems,”.
- [5] H. L. T. Sanujaya, “Optimizing a transmission system for a power generating tile for sidewalks.”
- [6] C. YILDIZ, “154 kV hava hattı silikon kauçuk izolatörlerde alternatif ve darbe gerilimlerinde elektrik alan dağılımının incelenmesi / Electric field analysis of 154 kV silicon-rubber line insulator for AC and lighting impulse voltages” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010,292429
- [7] “Oct 1939: Early history of electrical porcelain industry in the U. S.” <https://reference.insulators.info/publications/view/?id=6196> (accessed Apr. 13, 2022).
- [8] M. T. Gençoğlu and M. Cebeci, “The pollution flashover on high voltage insulators,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 11, pp. 1914–1921, 2008.
- [9] “(PDF) VARIOUS TYPES OF INSULATORS USED IN POWER SYSTEM FOR SAFE OPERATIONS OF THE TRANSMISSION LINES.” https://www.researchgate.net/publication/341526412_VARIOUS_TYPES_OF_INSULATORS_USED_IN_POWER_SYSTEM_FOR_SAFE_OPERATION_S_OF_THE_TRANSMISSION_LINES (accessed Apr. 13, 2022).
- [10] “CN106126766B - Model test-based method for optimizing stain resistance of long rod-shaped porcelain insulator - Google Patents.” <https://patents.google.com/patent/CN106126766B/en?q=porcelain+insulator+pollution&oq=porcelain+insulator+pollution> (accessed Apr. 13, 2022).
- [11] “CN211181793U - Ceramic insulator - Google Patents.” <https://patents.google.com/patent/CN211181793U/en?q=porcelain+glazing+mechanical&oq=porcelain+glazing+mechanical> (accessed Apr. 13, 2022).

- [12] B. V. Óskarsson and M. S. Riishuus, "The mode of emplacement of Neogene flood basalts in Eastern Iceland: Facies architecture and structure of the Hólmar and Grjótá olivine basalt groups," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 267, pp. 92–118, 2013.
- [13] "CN102070907B - Silicone rubber for composite insulator and preparation method thereof - Google Patents." <https://patents.google.com/patent/CN102070907B/en?q=silicone+insulator&oq=silicone+insulator> (accessed Apr. 13, 2022).
- [14] G. Qin, Z. Shen, Y. Yu, L. Fan, H. Cao, and C. Yin, "Effect of Silicone Rubber of a Waste Composite Insulator on Cement Mortar Properties," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 17, 2019.
- [15] O. Akalp, İ. Kaya, and S. B. Efe, "Yüksek gerilim teçhizatlarında dış etken kaynaklı arızaların analizi ve azaltılması," no. 242, pp. 51–62, 2016.
- [16] "(PDF) Effect of Sandstorms With Charged Particles on The Flashover and Breakdown of Transmission Lines." https://www.researchgate.net/publication/266884107_Effect_of_Sandstorms_With_Charged_Particles_on_The_Flashover_and_Breakdown_of_Transmission_Lines (accessed Apr. 13, 2022).
- [17] R. M. Arias Velásquez, "Insulation failure caused by special pollution around industrial environments," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 102, pp. 123–135, Aug. 2019.
- [18] M. Majid Hussain, S. Farokhi, S. G. McMeekin, and M. Farzaneh, "Contamination performance of high voltage outdoor insulators in harsh marine pollution environment," *IEEE Int. Pulsed Power Conf.*, vol. 2017-June, Feb. 2018, doi: 10.1109/PPC.2017.8291178.
- [19] S. Chakravorti and P. K. Mukherjee, "Power Frequency and Impulse Field Calculation around a HV Insulator with Uniform or Nonuniform Surface Pollution," *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 28, no. 1, pp. 43–53, 1993.
- [20] Y. Prof. Ahmet BUMELL - Free Download <https://silo.tips/download/yazan-y-prof-ahmet-bumell> (accessed Apr. 13, 2022).
- [21] "ELEKTRİK-ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ İZOLATÖRLER 522EE0128," 2011.
- [22] J. H. Lee, K. Y. Rhee, and S. J. Park, "The tensile and thermal properties of modified CNT-reinforced basalt/epoxy composites," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 26, pp. 6838–6843, 2010.
- [23] M. S. Ahmad and A. M. Zihlif, "Some magnetic and electrical properties of basalt rocks," *Mater. Lett.*, vol. 10, no. 4–5, pp. 207–214, 1990.
- [24] Elektrik Mühendisleri Odası (Turkey), "V. Aydınlatma Sempozyumu : bildiriler, 7-10 Mayıs 2009," p. 184, 2009.

- [25] M. Müh Mehmet TÜRKYURT, “YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK GERİLİM HATLARI İÇİN İZOLATÖR MALZEME ÜRETİMİ VE KALİTE KARAKTERİZASYONU FBE Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı Üretim Programında Hazırlanan YÜKSEK LİSANS TEZİ.”
- [26] M. T. Gençöglü, M. Cebeci, and H. Alış, “İzolatör Kaçak Akımlarının ve Yüzeysel Atlama Gerilimlerinin Çevresel Faktörlere Bağımlılığı,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Fen Bilim. Derg.*, vol. 22, no. 1, pp. 37–49, 2006.
- [27] “C04B 35 - Shaped ceramic products characterised by their composition; Ceramic compositions; Processing powders of inorganic compounds preparatory to the manufacturing of ceramic products - Patents Sitemap.” https://www.google.com/patents/sitemap/en/Sitemap/C04/C04B/C04B_35_57.html (accessed Apr. 13, 2022).
- [28] “StandardDetay1.” <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073087087107051097118068048055072087> (accessed Apr. 13, 2022).
- [29] R. U. S. A. Data, “(12) United States Patent,” vol. 2, no. 12, 2012.
- [30] Z. B. Öztürk and E. Eren, “Pomza İlaveli Duvar Karolarının Ultrasonik Karakterizasyonunun Faktöriyel Tasarım ile İncelenmesi,” *Nevşehir Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 2, no. 2, pp. 135–145, Jan. 2014.
- [31] “Journal of Scientific Reports-A » Makale » INVESTIGATION of the THICKNESS THINNING for THE PORCELAIN TILES and THEIR APPLICABILITY.” <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jsr-a/issue/67627/1030125> (accessed Apr. 13, 2022).
- [32] C. Zanelli, G. Baldi, M. Dondi, G. Ercolani, G. Guarini, and M. Raimondo, “Glass-ceramic frits for porcelain stoneware bodies: Effects on sintering, phase composition and technological properties,” *Ceram. Int.*, vol. 34, no. 3, pp. 455–465, Apr. 2008.
- [33] “FELDSPAT RAPORU » TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI ».” https://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=6158&tipi=5&sube=0 (accessed Apr. 13, 2022).
- [34] E. Ömer, K. Tüfekci, and E. Gürkan Kalkan, “Abstracts Book Full Texts Book,” 2018.
- [35] L. Sánchez-Muñoz, M. A. Rodríguez,) J Sanz, and) J B Carda, “CASTELLÓN (ESPAÑA) I+D+i PARA LAS BALDOSAS CERAMICAS DEL SIGLO XXI: COMPETENCIA, DIVERSIDAD Y FUNCIONALIDAD (1).”
- [36] Z. B. Ozturk and N. Ay, “Investigation of porosity of ceramic tiles by means of

- image analysis method,” *J. Ceram. Process. Res.*, vol. 15, no. 6, pp. 393–397, 2014.
- [37] A. Cilt ; Koçak, B. ; A. Karasu, and B. Karasu, “Differences Between Dry and Wet Route Tile Production,” *El-Cezeri*, vol. 6, no. 1, pp. 8–23, Jan. 2019.
- [38] M. Tarhan and B. Tarhan, “Investigation of The Usage of Afyon Clay in Porcelain Tile Bodies,” *Uluslararası Muhendis. Arastirma ve Gelistirme Derg.*, pp. 275–281, Jan. 2019.
- [39] D. W. Richerson and W. E. Lee, *Properties, Processing, and use in Design*. 2018.
- [40] W. Acchar and V. Monteiro da Silva, Eds., “Use of Cassava Wastewater and Scheelite Residues in Ceramic Formulations,” 2021, doi: 10.1007/978-3-030-58782-6.
- [41] T. V. Voltolini, F. A. P. Santos, J. C. Martinez, H. Imaizumi, A. V. Pires, and M. A. Penati, “Metabolizable protein supply according to the NRC (2001) for dairy cows grazing elephant grass,” *Sci. Agric.*, vol. 65, no. 2, pp. 130–138, Mar. 2008.
- [42] T. Tarvornpanich, G. P. Souza, and W. E. Lee, “Microstructural evolution in clay-based ceramics I: Single components and binary mixtures of clay, flux, and quartz filler,” *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 91, no. 7, pp. 2264–2271, Jul. 2008.
- [43] M. Tarhan *et al.*, “Afyon Kilinin Porselen Karo Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg.*, vol. 11, no. 1, pp. 275–281, Jan. 2019.
- [44] L. Li, “High temperature mechanical behavior of ceramic-matrix composites.”
- [45] I. Brener, “Dielectric metamaterials : fundamentals, designs and applications,” 2020.
- [46] Q. Li, “Advanced Dielectric Materials for Electrostatic Capacitors,” p. 428.
- [47] L. W. McKeen, “Introduction to the Properties of Plastic and Elastomer Films,” *Film Prop. Plast. Elastomers*, pp. 19–55, 2012.
- [48] S. Halder, B. B. Arya, S. Bhuyan, and R. N. P. Choudhary, “Analysis of dielectric, impedance and electrical properties of electronic material: Bi(Ni₂/3v₁/3)O₃,” <https://doi.org/10.1080/01411594.2020.1765246>, vol. 93, no. 7, pp. 709–721, Jul. 2020.
- [49] “US11029795B2 - System and method to measure capacitance of capacitive sensor array - Google Patents.” <https://patents.google.com/patent/US11029795B2/en?q=capacitance+measure&oq=capacitance+measure> (accessed Apr. 13, 2022).
- [50] B. Michael Wang, C. Gross Dow Silicones Corp, and P. Beyer, “Low-

temperature cure LSR technology enables processing improvements Technical Executive summary TECHNICAL NOTEBOOK,” Accessed: Apr. 13, 2022. [Online]. Available: www.rubbernews.com.

- [51] “YOUR PARTNER FOR METERING AND MIXING TECHNOLOGY LIQUID SILICONE RUBBER.”
- [52] M. Bont, C. Barry, and S. Johnston, “A review of liquid silicone rubber injection molding: Process variables and process modeling,” *Polym. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 2, pp. 331–347, Feb. 2021.
- [53] P. Richet and American Ceramic Society, “Encyclopedia of glass science, technology, history, and culture.”
- [54] “StandardDetay1.”
<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073081097114074083090077053048118065> (accessed Apr. 13, 2022).
- [55] D. E. Arnold, “The evolution of ceramic production organization in a Maya community,” 2014.
- [56] V. E. Henkes, G. Y. Onoda, and W. M. Carty, “Science of whitewares,” p. 439, 1996.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2011 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Polimer ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılından beri çeşitli firmalarda Polimer ve Malzeme Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Emre ŞEHİTLİ, Hüseyin YILDIRIM, Silikon Kauçuğunun Cam-Sır Yüzeylere Adezyon Artırılmasını Sağlayıcı Malzemelerin Geliştirilmesi Ve Performans Özelliklerinin Belirlenmesi, 8. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu: 18 – 19 Haziran 2021 / Eskişehir, TÜRKİYE.

