

BAZI POLİMERLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN FREKANSLA DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Yard.Doç.Dr. Gülay İYİBAKANLAR
Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Y.O
ESKİŞEHİR
giyibaka@anadolu.edu.tr

Prof.Dr. Ali OKTAY
Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü
BURSA
aoktay@uludag.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, 50 Hz ile 1 MHz frekans aralığında, polimerlerin dielektrik özellikleri incelenmiştir. Polimer malzeme olarak silikon, polietilen (PE), poli vinilklorür (PVC) ve etilen vinilasetat (EVA) kullanılmıştır. Dielektrik ölçümler, HP 4192A Empedans / Kazanç Faz Analizörü ile yapılmıştır. Her madde önce saf halleri ile, daha sonra çeşitli katkı maddeleri katılarak ölçüm değerleri alınmıştır. Malzeme numuneleri plakalar halinde hazırlanmıştır. Testler sonunda her malzeme için, ϵ_r -Bağlı Dielektrik sabiti ve $\tan\delta$ -Kayıp Tanjantı grafikleri çizdirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Polimerler, Dielektrik sabiti, Kayıp tanjantı.

ABSTRACT

In this study, dielectric properties of polymers were studied for frequencies between 50Hz and 1MHz. Polymers used in the analyses were Silicon, Poly vinylchloride (PVC), polyethylene (PE) and Ethylene vinylactate (EVA) . Dielectric measurements were performed using a HP 4192A Impedance/ Gain-Phase Analyzer. First of all, pure form of each material was measured and then the same analysis were repeated with different additives. Specimens were prepared in a plate form. After testing, ϵ_r - dielectric constant and $\tan\delta$ -loss tangent graphs were plotted for each material

Keywords: Polymer, Dielectric Constant, Loss Tanget.

1.GİRİŞ

Polimer molekülleri bileşim ve yapı bakımından birbirlerinin aynı olan çok sayıda grupların kendi aralarında kovalent bağlarla bağlanması ile meydana gelirler. Polimerlere bazen “yüksek molekülülü bileşik” ya da “makromoleküller” de denir [1].

Polimerler, monomerlerin birbirine katılması (katılma polimerleri) veya monomerlerin etkileşmesi sırasında aralarından küçük bir molekülün ayrılması (kondensasyon polimerleri) ile oluşurlar. Kondensasyon polimerleri, kondensasyon polimerizasyonu ile elde edilen polimerik maddelerdir. Katılma polimerleri, zincir reaksiyonları ile monomerlerin doğrudan polimer moleküllerine girmeleri ile oluşur. Etilen, polimerleşmeyi başlatıcı bir katalizör ile polimerleşir ve polietilen oluşur; polietilen bir katılma polimeridir. Vinil klorürden hazırlanan katılma polimeri de, polivinil klorürdür (PVC). Polimerlerin önemli bir sınıfını oluşturan silikon polimerleri, silisyum

içerirler. Silisyum, —Si—O—Si—O—Si—O— zincirleri verebilen bir elementtir[2].

Endüstride ve çağdaş insanın yaşamında önemli yer tutan polimerik maddeler çok değişik yapılar ve özellikler gösterirler. Bazı polimerlerin yararlılığı bu maddelerin *elektriksel* özelliklerine dayanır. Bu tür polimerler, elektriksel yalıtkan, dielektrik kapasitörü ya da mikrodalga aygıtlarının parçalarında kullanılırlar. Polimerik maddeler ısı yalıtkanı olarak da kullanılırlar. Bu durumda termal özellikler önem kazanır. Bazı polimerlerin üstün optik özellikleri vardır. Bu polimerlerden uçak camları, güvenlik camlarının iç katmanları yapılır[1,3].

Polimerler ile ilgili dielektrik çalışmalar 1958 yılında başlamıştır. Polimerlerin elektrik endüstrisinde kullanımları, moleküler hareketlilik ve relaksasyon süreleri ile ilgili dielektrik özelliklerin incelenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [4].

Bu çalışmada; polimer malzeme olarak seçilen Silikon, PVC ve Polietilen, EVA'nın dielektrik

özelliklerinin frekans ve sıcaklıkla değişimleri incelenmiştir. Seçilen polimerler, mükemmel elektriksel özelliklere sahiptir ve yalıtkan mukavemetleri yüksektir. Bu malzemeler genelde, kablo kılıf malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, seçilen polimerler %100 saf halleri ve çeşitli katkıları eklenerek kullanılmıştır. Katkı malzemeleri eklenmesinin amacı, bu malzemelerin dielektrik özelliklerini ne ölçüde değiştirdiğini incelemektir.

2. POLİMERLER VE DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

Materyale, dışardan bir elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğine sahipse "dielektrik" olarak sınıflandırılır. Dielektrik sabiti (Permittivite ya da elektriksel geçirgenlik) bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji saklandığını ve malzeme içerisinde ne kadar enerji kaybolduğunu gösterir. Materyalin dielektrik sabiti iki elektrik yük arasındaki elektrostatik kuvveti azaltan bir miktardır[5].

Dielektrik malzemeler elektriği iletmezler, ancak uygulanan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisinde, elektron ve atomlar yer değiştirir. Bunun sonucunda elektrik yük merkezleri kayar ve elektriksel kutuplanma oluşur. Oluşan elektriksel dipoller, dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimi sağlar. Bunun için kondansatör yapımında kullanılırlar. Yalıtkan olarak kullanılmalarının nedeni, elektrik devresinde yük transferini engellemeleridir[6].

Mikrodalga bölgesinde kullanılan malzemelerin kalitesinin ve özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ortamları belirleyen özellikler manyetik geçirgenlik (μ), elektriksel geçirgenlik (ϵ) ve iletkenlik (σ) şeklinde sıralanabilir. Yüksek frekanslarda malzemelerin manyetik özellikleri serbest uzaydan çok az farklılık gösterirler. Diğer yandan elektriksel özelliklerin, çalışılan frekans aralığına göre çok geniş bir değişim alanı vardır[5].

Polarizasyon, elektrik izolasyon malzemelerinin bir özelliğidir ve onların yapısından kaynaklanır. Bir elektrik alanın etkisinde bulunan her polimer, belirli derecede polarize olmaktadır. Bir malzemede, polarizasyon olayının derecesini, ϵ (Dielektrik sabiti) göstermektedir. Polarizasyon derecesi, malzemede oluşan ve dış elektrik alanın etkisi ile yönlendirilen dipollerin yoğunluğuna ve büyüklüğüne bağlıdır.

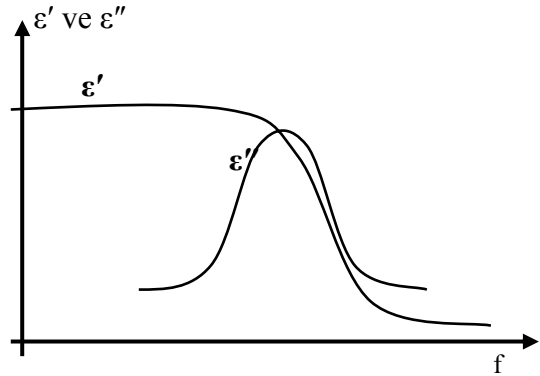
Polimerlerin dielektrik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle, dielektrik sabitinin ve dielektrik kayıpların, frekansa ve sıcaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Polimerlerin dielektrik sabiti genelde, 1.9-2.0'dan büyüktür ve frekandan ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Bu konuda yapılan

araştırmalara ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre dielektrik sabiti, frekans yükseldikçe azalmakta, yüksek frekanslarda sabit kalmaktadır[7].

3. DİELEKTRİK RELAKSASYON (DURULMA) VE DİELEKTRİK KAYIPLAR

Her polarizasyon etkisi, rezonans frekansı veya relaksasyon frekansı karakteristiğine sahiptir. Rezonans etkisi, genelde elektronik veya atomik polarizasyonda görülmektedir. Dielektrik relaksasyon, moleküllerin iç yapılarına ve dielektriğin moleküllerinin yapısına veya moleküler düzenine bağlı olarak yönelme polarizasyonu ile ilişkilidir [4]. Relaksasyon zamanı, dielektrikte bulunan moleküllerin hareketinin ölçüsüdür.

Relaksasyon zamanı, elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen süre olarak da tanımlanabilir. Relaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansından küçük olduğu zaman kutuplanma kolaylıkla oluşur ve elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar azdır. Frekans artarak relaksasyon bölgesine ulaşıncaya, kutuplanma alanı uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bu durumda kayıplarda maksimum olur. Frekans artmaya devam ederse, kutuplanma oluşmaz ve dielektrik sabiti hızla azalır (Şekil 1). Kutuplanma oluşmadığı anda ise, dielektrik kayıp olmayacaktır[4,8].



Şekil 1. Polar bir dielektriğin, dielektrik relaksasyonu [9].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneysel çalışmalarda, bazı polimerlerin dielektrik özelliklerinin sıcaklık ve frekansla değişimleri incelenmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde polimer malzeme olarak PVC (poli vinilklorür), PE (Polietilen), silikon, EVA (Etilen vinilasetat) ve polyester kullanılmıştır. Bu malzemeler plastomer ve elastomerler olarak da bilinmektedir[10].

Polietilen (PE): Uzun zincirli doyurulmuş bir hidrokarbon olan polietilen esnektir ve mükemmel elektriksel özelliklere sahiptir. Dielektrik sabiti sadece 2.3 civarındadır, tüm frekanslarda güç faktörü % 0.03'tür, hem ac, hem de dc yalıtkan mukavemeti yüksektir ve yalıtkan direnci mükemmeldir [10].

Poli vinilklorür (PVC): Plastize edilmiş polivinil klorid izolasyon %6 ile %15 arasında değişen güç faktörlerine ve 4-8 arasında değişen dielektrik sabitlerine sahiptir. Yalıtkan mukavemeti mükemmeldir ve yalıtkan direnci tatminkardır. İzolasyonun kırılma noktası -50°C kadar düşüktür ve 80°C bile oldukça serttir. Termoplastik olduğundan ani darbelerle karşı hassastır [10].

Silikon: Polimerlerin önemli bir sınıfını oluşturan silikon polimerleri, silisyum içerir. Silisyum, silikatlarda olduğu gibi -Si-O-Si-O-Si-O- zincirleri verebilen bir elementtir [3]. Elektriksel özellikleri sadece vasattır. Hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda kullanılmaktadır [10].

Etilen vinilasetat (EVA): Polimer tipi, termoplastiktir. Mükemmel ısı direncine sahiptir ve esnek bir yapısı vardır. Dielektrik sabiti 1 KHz'de 3.1'dir. Erime sıcaklığı 130-190 °C arasındadır [11].

4.2. Test Edilen Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan numuneler, ilk önce %100'lük saf halleri ile, daha sonra çeşitli katkı maddeleri katılarak ölçüm işlemleri yapılmıştır. Kullanılan numuneler ve katkı yüzdeleri çizelge 1'de verilmiştir. Numuneler disk şeklinde plakalardan oluşmaktadır. Bu plakaların çapı 9.2cm(test cihazının elektrotlarının çapı 9.2 cm olduğu için), kalınlığı ise 1mm'den küçüktür. Herbir plakanın alanı:

$$A(\text{numunenin alanı}) = (9.2)^2 \cdot \pi / 4 \quad (1)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Numune kalınlıkları, 0.001mm duyarlıkta kalınlık ölçen bir düzenle ölçülmüştür.

Çizelge 1. Kullanılan malzemeler

PVC (poli vinilklorür)	% 100	PVC
	% 15	Kalsit
PE (Polietilen)	% 100	PE
	% 15	Kalsit
Silikon	%100	Silikon
	%10	Perkasil
	%15	Perkasil
EVA (Etilen vinilasetat)	%100	EVA
	%15	Kaolin

4.3. Test Yöntemi

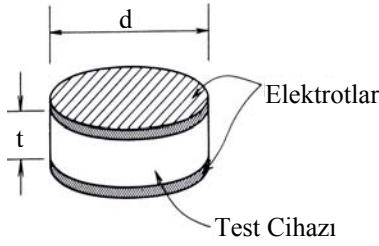
Bu çalışmada dielektrik sabitlerinin ölçümünde, HP 4192A Empedans / Kazanç- Faz Analizörü test cihazı kullanılmıştır. Ortam şartlarının deney düzeneğine etkisi yoktur.

Dielektrik sabiti, katı malzemelerin (Örneğin yalıtkanlar ve polimerler gibi) en önemli özelliklerinden biridir. Çünkü dielektrik sabiti ölçümleri, kimyasal analiz tekniklerinden daha kolaydır. HP 4192A Impedance / Gain - Phase Analyzer kullanılması, katı malzemelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesi için bir metottur. Bu metotta, katı malzemelerin dielektrik sabitlerinin ölçümü, C (kapasitans) ve D (Kayıp faktörü) değerlerine dayanarak bulunmaktadır. Disk içine yerleştirilen katı malzemenin dielektrik sabiti, aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır (Şekil 2).

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = (t/A) \cdot C \quad [\text{F/m}] \quad (2)$$

$$\epsilon_r = \frac{t \cdot C}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{t \cdot C}{\pi \cdot (d/2)^2 \cdot \epsilon_0} \quad (3)$$

- ϵ : Dielektrik sabiti
- ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (8.854×10^{-12})
- ϵ_r : Test cihazının bağlı dielektrik sabiti
- t : Numunenin kalınlığı [m]
- A : Numunenin alanı [m²]
- C : Numunenin kapasitansı [F]
- d : Numunenin çapı [m]



Şekil 2. Elektrotlu test cihazı.

Genellikle bağıl dielektrik sabiti ϵ_r , ana parametredir ve “dielektrik sabiti” olarak bilinmektedir. Elektrik alan şiddeti, katı materyal boyunca değiştiği zaman polarizasyon değişimi elektrik alan değişiminde daha yavaştır. Bu da etki sonrası dielektrik olarak bilinmektedir ve zamanın bir fonksiyonu olarak şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\theta(t) = (1/\tau) \cdot e^{t/\tau} \quad (4)$$

Burada τ dielektrik releaksyon zamanı, t ise zamandır. Bu durumda dielektrik sabiti kompleks formda yazılacak olursa,

$$\epsilon^* = \epsilon' - \epsilon'' \quad (5)$$

$$\epsilon' = \epsilon_r \cdot \cos \delta = \frac{t \cdot C}{A \cdot \epsilon_0} \cdot \cos(\tan^{-1} D) \quad (6)$$

$$\epsilon'' = \epsilon_r \cdot \sin \delta = \frac{t \cdot C}{A \cdot \epsilon_0} \cdot \sin(\tan^{-1} D) \quad (7)$$

$$\tan \delta = D = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (8)$$

- ϵ^* : Kompleks dielektrik sabiti
- ϵ' : Kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı
- ϵ'' : Kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmı
- $\tan \delta$: Dağılım (Kayıp) faktörü
- D : Test edilen numunenin dağılım faktörü

τ 'yu kullanarak da ϵ' ve ϵ'' hesaplanabilir.

$$\epsilon' = \epsilon_{r\infty} + (\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}) \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (9)$$

$$\epsilon'' = (\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}) \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (10)$$

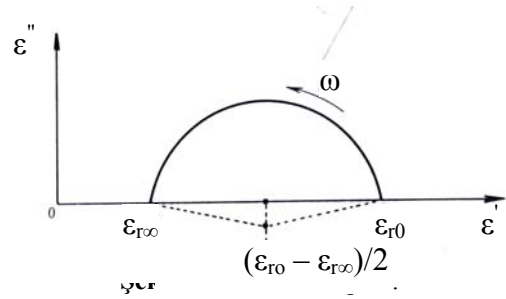
ϵ_{r0} : Frekansın sıfır olduğu durumdaki dielektrik sabiti

$\epsilon_{r\infty}$: Frekansın sonsuz olduğu durumdaki dielektrik sabiti

Bu denklemler göstermektedir ki, ϵ' ve ϵ'' frekansın bir fonksiyonudur. Frekansa bağlı bu etki “Dielektrik dağılımı” adını alır. Aşağıda verilen denklemler, Debye eşitliğinden türetilir. Bu türetilen denklemlerin grafiği de Cole-Cole eğrisi olarak adlandırılır (Şekil 3).

$$\left(\epsilon' - \frac{\epsilon_{r0} + \epsilon_{r\infty}}{2} \right)^2 + \epsilon''^2 = \left(\frac{\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}}{2} \right)^2 \quad (11)$$

ϵ_{r0} ve ϵ_r , ϵ' ve ϵ'' 'nün ölçülen değerlerini kullanarak Cole-Cole eğrisinden hesaplanır.



HP 4192A, çeşitli nedenlerden kaynaklanan hataları (Test fikstürünün dağılım admittansı ve kalıntı impedansı gibi), kompanzasyon fonksiyonunu kullanarak yok etmektedir. HP 4192A, C Kapasitans) ve D (Kayıp faktörü) değerlerini hassas bir şekilde ölçebilmek için ASP (Auto Sequence Program) programını kullanır. Bu HP 4192A'nın iç programlama fonksiyonudur. Bu program sayesinde dielektrik sabiti hesaplanabilir. Dışardan bir bilgisayar kullanılarak Cole-Cole eğrileri ve frekans karakteristikleri çizdirilir.

4.4. TEST SONUÇLARI

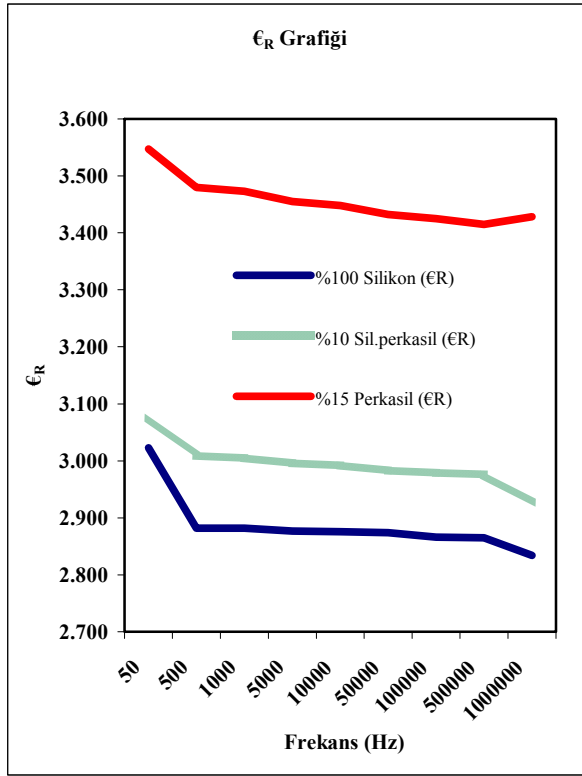
Silikon, PVC (Poli vinilklorür), PE (Poli etilen), EVA (Etilen vinilasetat) ve polyester'in dielektrik özelliklerinin (ϵ_r ve $\tan\delta$ -kayıp tanjantı) frekans ile değişimlerini incelemek amacıyla yapılan test sonuçları aşağıda verilmiştir.

Silikon, ilk önce %100 saf haliyle, daha sonra içine %10 ve %15 oranlarında perkasil katılarak incelenmiştir.

PVC, ilk önce %100 saf haliyle ve %15 kalsit katkılı olarak incelenmiştir.

Polietilen, ilk önce %100 saf haliyle ve %15 kalsit katkılı olarak incelenmiştir.

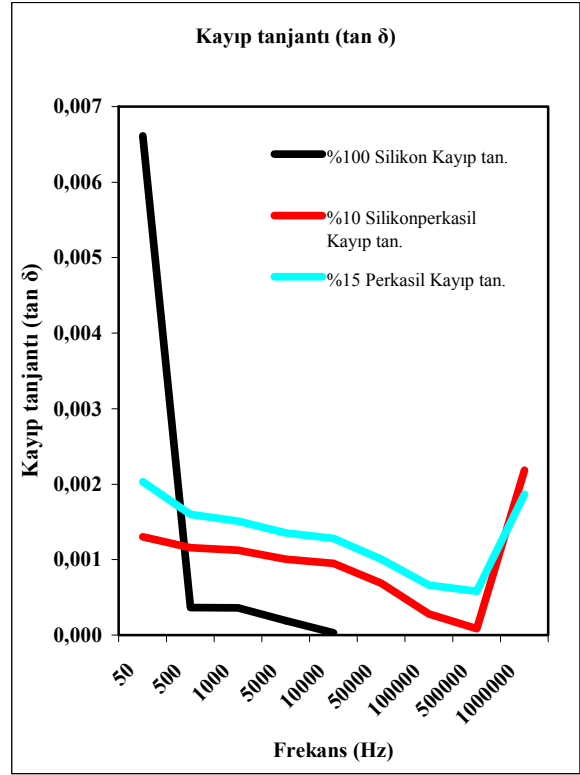
EVA, ilk önce %100 saf haliyle ve %15 kaolin katkılı olarak incelenmiştir.



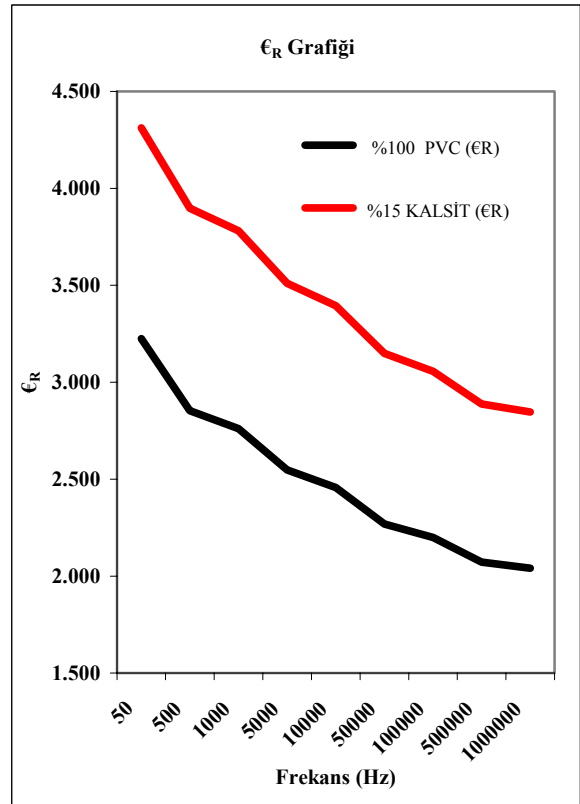
Şekil 4. Silikonun ϵ_r grafiği.

500Hz'in altında dielektrik sabitinde bir düşüş gözlenmiştir. 500 Hz–500 KHz arasında ise dielektrik sabiti değişmemiş, sabit kalmıştır. 500KHz'in üstünde ise dielektrik sabitinde tekrar bir düşme görülmüştür. % 10 perkasil katılmasıyla, dielektrik sabitinde bir yükselme olmuştur. 50 Hz'de 3.023'den 3.076'ya çıkmıştır. 500Hz ile 500 KHz arasında sabit kalmış, saf silikona göre yaklaşık %4.4 kadar bir artış gözlenmiştir. 500KHz'in üstünde ise dielektrik sabiti düşmeye başlamıştır. % 15 perkasil katkısı, dielektrik sabitini saf silikona göre yaklaşık %20.74 arttırmıştır. %10 perkasil katkılı silikon göre ise ~%15 artış olmuştur. 500KHz'in üstünde ise dielektrik sabitinde bir yükselme gözlenmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Çünkü dielektrik sabiti, frekans arttıkça azalmaktadır(Şekil 4).

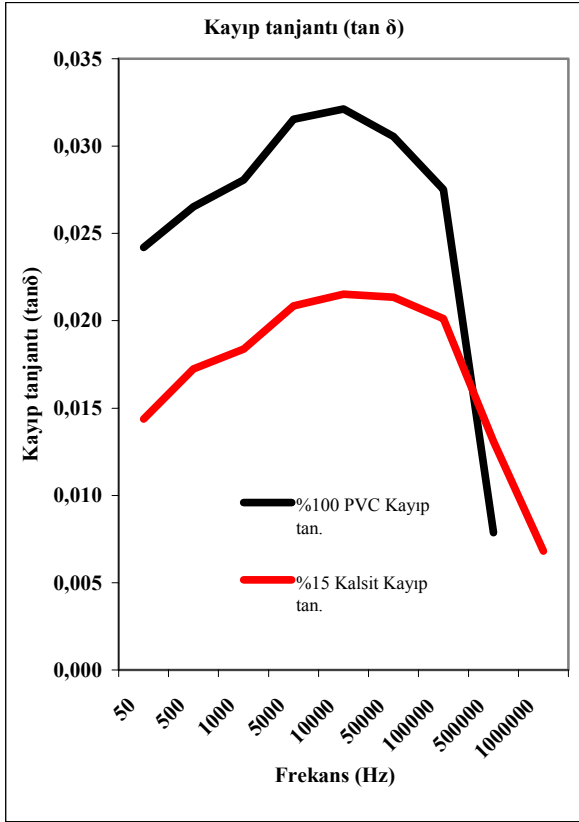
500KHz'de saf silikonun kayıp tanjantı grafiğinde peak gözlenmiştir. Çünkü bu frekansda ϵ_r değerinde bir düşüş söz konusudur. %10 perkasil katkısıyla, kayıplar 500Hz'de ~0.00036'dan 0.00155'e, %15 perkasil katkısı ise kayıpları 0.00159'a çıkarmıştır. 500KHz'den sonra ϵ_r tekrar düşmeye başladığından, hem %10 perkasil katkılı silikon hem de %15 perkasil katkılı silikon kayıp tanjantında tekrar bir pik oluşmuştur. 500Hz-500KHz arasında her üç malzemede de kayıplar sabit kalmış, değişmemiştir. Tan δ 'nın en yüksek olduğu yer, dielektrik sabitinin en hızlı düştüğü yerdir (Şekil 5).



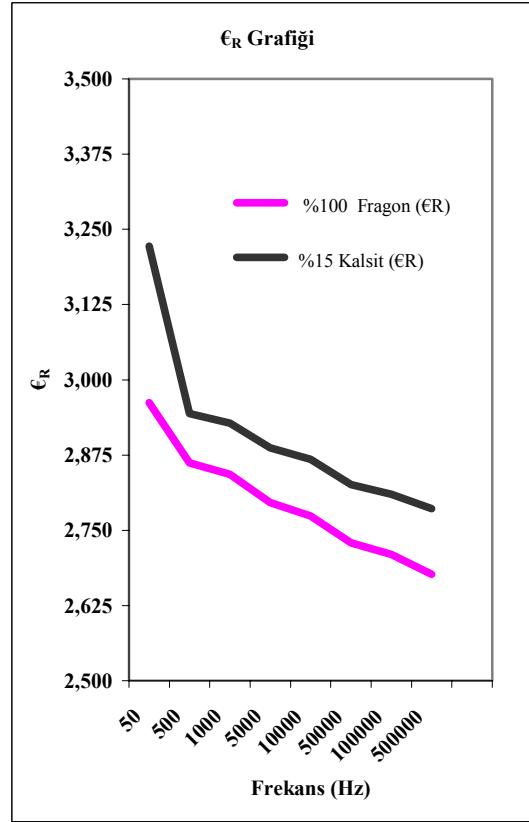
Şekil 5. Silikonun kayıp tanjantı grafiği.



Şekil 6. PVC'nin ϵ_r grafiği.



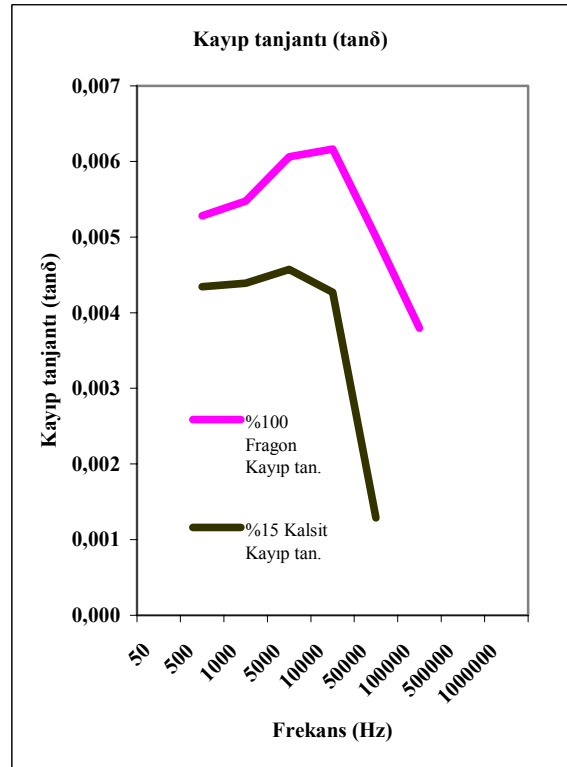
Şekil 7. PVC'nin kayıp tanjantı grafiği.



Şekil 8. PE'nin εR grafiği.

Saf PVC'nin dielektrik sabiti 50Hz'de 3.224 iken, %15 kalsit katkısı ile 4.312'ye çıkmıştır. Bu durumda ~%33'lük bir artış olmuştur. Frekans arttıkça her iki durumda da, dielektrik sabitinde sürekli bir düşme gözlenmektedir. Düşme eğilimi saf PVC'de olduğu gibi, %15 kalsit katkılı PVC'de de aynı oradadır. 1MHz'de saf PVC'nin dielektrik sabiti 3.224'den 2.042'ye, %15 kalsit katkılı PVC'de 4.312'den 2.846'ya düşmüştür. 1 MHz'de %15 kalsit katkılı PVC'nin dielektrik sabiti, saf PVC'ye göre ~%39 artmıştır. Her iki durumda da dielektrik sabitinin düşme oranı % 7 ile %11 arasındadır (Şekil6).

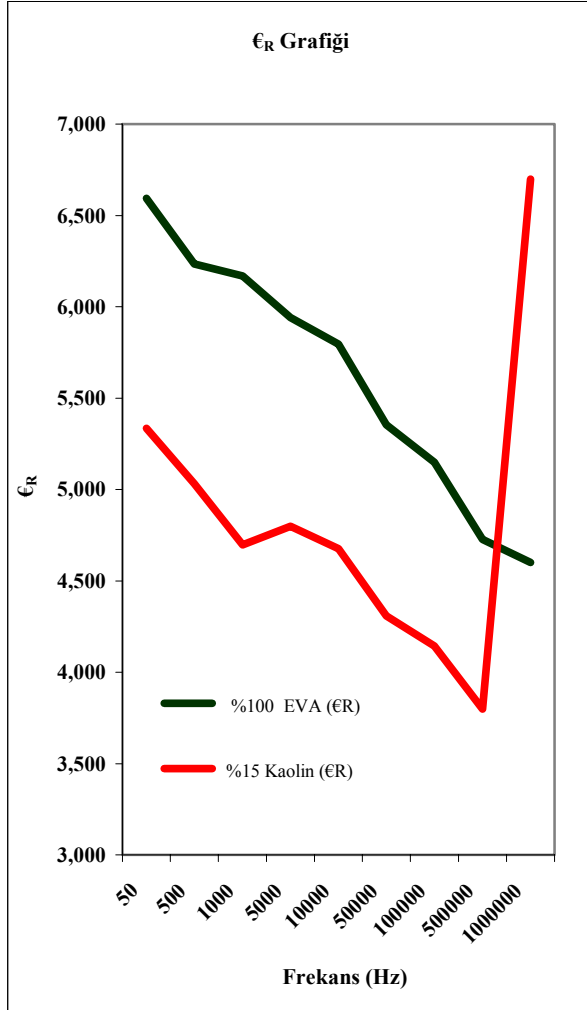
Kayıp Tanjantı grafikten de görüleceği gibi, %15 kalsit katkısı dielektrik kayıpları azaltmıştır. Azalma oranı yaklaşık olarak % 40'dır. Saf PVC'de kayıp tanjantı yaklaşık olarak 10KHz'e kadar artmış, daha sonra düşmeye başlamıştır. %15 kalsit katkılı PVC'de de aynı durum gözlenmektedir. Saf PVC'de 10KHz'de azalma oranı ~%71 iken, %15 kalsit katkılı PVC'de %3.4'dür (Şekil 7).



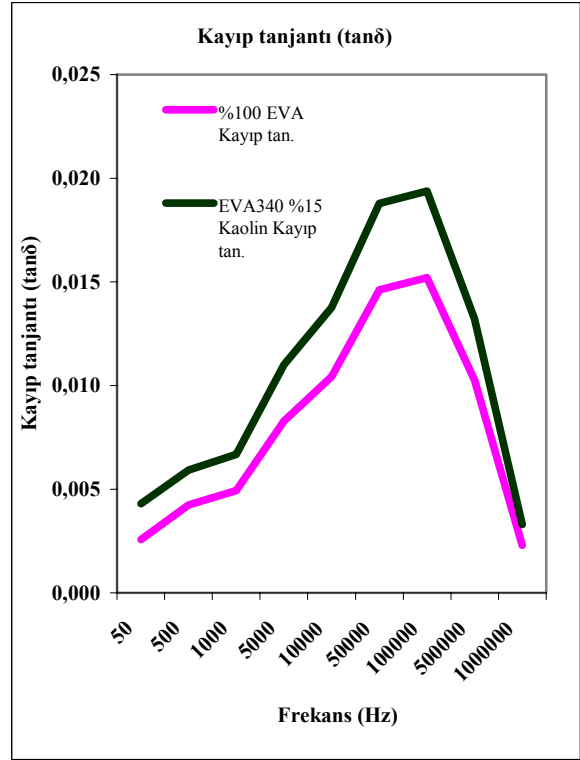
Şekil 9. PE'nin kayıp tanjantı grafiği.

PE'nin ϵ_r grafiğinde her iki durumda da dielektrik sabiti, 500Hz'in altında hızla düşme eğilimi göstermektedir. Azalma oranı %15 kalsit katkılı PE'de daha büyüktür. Saf PE %3.3'lük bir azalma gösterirken, %15 kalsit katkılı PE %8.6'lık bir azalma göstermiştir. Frekans arttıkça, her iki durumda da dielektrik sabiti düşmeye devam etmiştir. Düşme oranı iki durum içinde yaklaşık olarak aynıdır. %15 kalsit katkısı, saf PE'nin dielektrik sabitini arttırmıştır. 500KHz'de saf PE'nin dielektrik sabiti 2.862 iken, %15 kalsit katkılı PE'nin dielektrik sabiti 2.944'e çıkmıştır. Yaklaşık olarak % 2.86 artmıştır(Şekil 8).

Kayıp Tanjantı, grafikten de görüleceği gibi, %15 kalsit katkısı dielektrik kayıpları azaltmıştır. Azalma oranı yaklaşık olarak % 17'dir. Saf PE'de kayıp tanjantı yaklaşık olarak 10KHz'e kadar artmış, daha sonra düşmeye başlamıştır. %15 kalsit katkılı PE'de de aynı durum gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 10. EVA'nın ϵ_r grafiği.



Şekil 11. EVA'nın kayıp tanjantı grafiği.

Saf EVA ve %15 kaolin katkılı EVA'nın dielektrik sabiti, frekans arttıkça azalmıştır. Azalma, her iki durumda da yaklaşık olarak aynı orandadır. Saf EVA'nın azalma oranı (50Hz-500KHz arasında) %28.31 iken, %15 kaolin katkılı EVA'nın azalma oranı %28.79'dur. Ancak 500KHz'den sonra %15 kaolin katkılı EVA'nın dielektrik sabiti hızla yükselmiştir. Bu istenmeyen bir durumdur. 50Hz'de saf EVA'nın dielektrik sabiti 6.593 iken, %15 kaolin katkılı EVA'nın dielektrik sabiti 5.335'dir. %15 kaolin katkısı EVA'nın dielektrik sabitini yaklaşık olarak % 19.08 azaltmıştır(Şekil 10).

Kayıp Tanjantı Grafiği: Saf EVA ve %15 kaolin katkılı EVA'nın kayıp tanjantı grafikleri aynı değişimleri göstermektedir. Kayıp tanjantı her iki durum içinde 100KHz'e kadar artmış, 50KHz-100KHz arasında fazla bir değişiklik göstermemiştir. 100KHz'den sonra hızlı bir düşüş göstermiştir. %15 kaolin katkısı kayıp tanjantını % 67.19 arttırmıştır. Düşme oranı her iki durumda da yaklaşık olarak aynıdır. Bu oran saf EVA'da % 84.84 iken, %15 kaolin katkılıda %82.98'dir. Tan δ 'nın en yüksek olduğu yer, dielektrik sabitinin en hızlı düştüğü yerdir (Şekil 11).

5. GENEL YORUMLAR, SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elektrik alan etkisi ile dipollerin sınırlı mesafede konum değiştirmesi ve yönlendirilmesine dielektrik polarizasyonu denilmektedir. Elektron ve atomik polarizasyonu hızlı bir polarizasyondur. 10^{10} Hz'den düşük frekans bandında yapılan bütün ölçümlerde vardır. Elektron polarizasyonu yalıtkan malzemelerin tümünde görülmektedir ve oluşması için 10^{-13} - 10^{-15} sn yeterlidir. Dipol polarizasyonunun tamamen oluşması için dipol momentlerin büyüklüğüne göre 10^{-4} - 10^{-7} sn yeterlidir. İyonik polarizasyonunun tamamen oluşması için 10^{-12} - 10^{-14} sn yeterlidir.

Dielektrik kayıplar, polarizasyon türlerine bağlıdır. Yüzeysel polarizasyonundan kaynaklanan dielektrik kayıplar 10^4 Hz civarında, dipol polarizasyonundan kaynaklanan dielektrik kayıplar 10^8 Hz civarında, atomik polarizasyonundan kaynaklanan dielektrik kayıplar 10^{12} Hz civarında ve elektronik polarizasyonundan kaynaklanan dielektrik kayıplar 10^{16} Hz civarında meydana gelir[7].

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin (Silikon, PE, PVC, EVA) dielektrik sabitlerinin artan frekansla azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni yukarıda da açıklandığı gibi, polarizasyon etkisidir. Frekans arttıkça dipollerin de etkisi artacağından polarizasyon meydana gelmiş ve dielektrik sabitinde düşme görülmüştür. Dielektrik sabitindeki bu düşüş o noktada bir yüzeysel polarizasyon olduğunu göstermektedir. Dielektrik malzemelerde, elektrik alan uygulandığında malzeme yüzeyinde hareket eden yükler olacaktır. Bunlar yüzeysel yüklerdir. Yüzeysel yükleri elektrik alan uygulandığında, dielektrik yüzeyinde birikirler. Bu yüzeysel polarizasyondur.

Dielektrik sabitinin düştüğü noktalarda ise dielektrik kayıplar ($\tan \delta$) maksimum değere ulaşmıştır. Bu noktalarda pikler oluşmaktadır. Oluşan bu pikler, polimerik zincirlerindeki segmentlerin yerel hareketlerinin neden olduğu relaksasyon frekansından kaynaklanmaktadır .

Silikon, PVC ve PE'ye uygulanan katkı maddeleri, bu malzemelerin dielektrik sabitlerini yükseltmiştir. Bu durumda dielektrik kayıplarda belli oranlarda azalma görülmüştür. Ancak EVA'ya uygulanan %15 kaolin katkısı dielektrik sabitini düşürmüş, dielektrik kayıpları belli oranda arttırmıştır.

Genel olarak bakıldığında, dielektrik sabiti en yüksek malzeme EVA'dır. Frekans arttıkça, dielektrik sabiti düşmektedir. Silikon ve PE'nin dielektrik sabitleri yaklaşık olarak aynıdır ve 500Hz'den sabit kalmışlardır. PVC'nin dielektrik sabiti de EVA gibi, frekans arttıkça azalmaktadır.

Dielektrik kayıplar açısından bakıldığında ise, dielektrik sabiti en düşük olan PVC'nin dielektrik

kayıpları, diğerlerine göre yüksektir. Dielektrik sabiti en yüksek olan EVA'nın dielektrik kayıpları PVC'ye göre düşüktür, fakat frekans arttıkça yaklaşık olarak aynı değişimleri göstermiştir. Bu iki malzemenin $\tan \delta$ 'nın en yüksek olduğu yer, dielektrik sabitinin en hızlı düştüğü yerdir.

Dielektrik kayıplar, sıcaklık yükselmesi ile artar. Alternatif bir voltaj uygulandığında, önemli miktarda ısınma olur. Açığa çıkan ısı, frekans ile artar. Bunun nedeni, uygulanan elektrik alanının değişen yönüne göre yönelecek olan dipollerin ve moleküllerin birbirine sürtünmeleridir. Bu sürtünme nedeni ile açığa çıkar. Komşu moleküllerde olan sürtünmeler nedeni ile molekülün, elektrik alanının değişimini izlemesi gecikmeli olur. Atomik ve elektronik görüldüğü malzemelerde sıcaklığın dielektrik sabitine etkisi, düşük sıcaklıklarda küçüktür. Yüksek sıcaklıklarda ise iyon hareketinin fazla olmasından dolayı yüksektir. Atomik kutuplanmanın görüldüğü malzemelerde sıcaklık ve frekansın etkisi çok önemlidir. Dielektrik sabiti, belli bir sıcaklıkta keskin olarak artar ve düşük frekanslarda artan sıcaklıkla daha hızlı artar.

Dielektrik kayıpların ($\tan \delta$) piklerinin pozisyonu yüksek sıcaklıklara doğru kayacaktır ki, bu durumda dielektrik sabiti (ϵ')'de artan frekansla azalacaktır . Bu davranış diğer polimerler için de bulunmuştur [12].

İncelenen malzemelerin havacılıkta önemli kullanım alanları vardır. Bu malzemeler genellikle, hava araçlarının gövdelerinde ve özellikle radomlarda kullanılmaktadır. Genel olarak, havacılıkta kullanılan dielektrik malzemelerin kayıpları küçüktür. Havacılıkta kullanılacak dielektrik malzemelerin çok iyi mekanik dayanımlılığa sahip olmaları ve çok yüksek sıcaklığa (Yüksek hızlarda, özellikle supersonik uçaklarda) dayanıklı olmaları gerekir.

Politen, polistren gibi dielektrik malzemeler dielektrik özelliklerinin (ϵ' , $\tan \delta$) çok iyi olmaları nedeniyle uçak sanayinde radar ve radom yapımında kullanılmaya uygundur. Teflon, silikon, naylon gibi dielektrik malzemelerde mekanik darbelerle karşı çok dayanıklı olduğundan yine çok kullanılmaktadır.

Havacılık teknolojisinin gelişimi ve yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile incelediğimiz dielektrik malzemeler, reçine ve seramik gibi çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemelerle karıştırılarak oluşturulan kompozit malzemelerin kullanımı giderek artmıştır. Bu malzemeler uçak teknolojisinde özellikle avyonikte yüzeylere "tabakalar" halinde sürülerek kullanılmaktadır[13].

6. KAYNAKLAR

- [1] Çeviri Editörleri : KILIÇ E., KÖSEOĞLU F.; YILMAZ H., Temel Kimya, Moleküller, Maddeler ve Değişimler, Ankara, C.1, (1998).
- [2] BAYSAL, B., Polimer Kimyası, ODTÜ., Ankara, (1981)
- [3] ERDİK E., Temel Üniversite Kimyası, 5. baskı, Ankara (1991).
- [4] SMYTHC.P., Dielectric Behaviour and Structure, Princeton University, ABD, (1955).
- [5] GÖVER K., Bazı Endüstriyel Malzemelerin Mikrodalga Dielektrik Sabitinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, (1996).
- [6] ERDOĞAN M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeler, Nobel Yayınevi, Ankara,(1997).
- [7] YILMAZ G. ve KAZANCI B., Haberleşme Kablolarda Kullanılan PVC'nin Elektriksel özelliklerinin İncelenmesi, XIV. Fizik Kongresi, (1993).
- [8] İZCİ E., Gördes Yöresi Doğalklinoptilolitin Doğal ve İyon Değiştirmiş Formlarının Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2001).
- [9] BUNGED Ion ve POPESCU M., Physics of Solid Dielectrics, Elsevier Science, Publishers, Amsterdam, (1984).
- [10] HIPPEL Arthur R. Von, Dielektrik Materials and Applications, The Massachusetts Institute of Technology, (1954).
- [11] <http://www.azo.com/details.asp?ArticleID=412> (Nisan 2003)
- [12] REICHA F.M., ISHRA M. ve GABR M., On the Physical and Electrical Properties of Polypropanal Prepared by Electropolymerization Technique, www.sciencedirect.com, (Temmuz 2002).
- [13] THOUREL L., Radomes, ENSAE, Toulouse, (France), (1965).

ÖZGEÇMİŞLER

Yard.Doç.Dr. GÜLAY İYİBAKANLAR

İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir'de tamamladı. 1990 yılında, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu.Yüksek Lisansını, 1994 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalı'nda tamamladı. 1992

yılında Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda göreve başladı. 2003 yılında, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı'nda "Polimerlerin Dielektrik Özelliklerinin Frekansla Değişiminin İncelenmesi" konulu doktora tez çalışmasını tamamladı. Halen Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu'nda yardımcı doçent olarak görevini sürdürmektedir.

Prof.Dr. Ali Oktay

1948 K.Maraş'ta doğdu. 1972 de İ.T.Ü Elektrik Fakültesi'nde mezun olduktan sonra, 1972-1975 yılları arasında Fransa Onera-Cert (Centre des Etudes et des Recherches de Toulouse) da doktora yaptı. Sırasıyla K.T.Ü., U.S.T.O. ve Uludağ Üniversitelerinde öğretim üyeliği yaptı. Halen, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde Prof. Olarak görevini sürdürmektedir. Çalışma alanları: Mikrodalga, Antenler, Radar, Havacılık Avonik Sistemleri.