



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 01.07.2021
Kabul Tarihi : 26.08.2021

Received Date : 01.07.2021
Accepted Date : 26.08.2021

HEKSİLSİYANOBİFENİL, OKTİLSİYANOBİFENİL VE E7 NEMATİK SIVI KRİSTALLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

DIELECTRIC PROPERTIES OF HEXYLCYANOBIPHENYL, OCTYLCYANOBIPHENYL AND E7 NEMATIC LIQUID CRYSTALS

Şükrü ÖZĞAN^{1*} (ORCID: 0000-0001-9334-327X)
Engin AVŞAR² (ORCID: 0000-0002-0709-8640)

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şükrü ÖZĞAN, ozgan@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada heksilsiyano-bifenil (6CB), oktilsiyano-bifenil (8CB) ve E7 nematik sıvı kristallerin dielektrik sabitinin frekans ve gerilime bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sabitinin gerçek kısmı 0-100 Hz frekanslarda büyük değerlere sahip ancak hızlı bir şekilde düşme göstermekte, 100 Hz-0.1 MHz aralığında sabit kalıyor, 0.1 MHz den sonra ani düşerek sıfıra yaklaşmaktadır. Bu sıvı kristal numunelerin dielektrik sanal kısmı ise düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahiptir ve farklı frekanslarda bir veya iki pik yaparak azalmaktadır. 6CB ve 8CB sıvı kristallerin dielektrik sabitinin gerçek kısmı voltaj artışına bağlı olarak benzer şekilde sabit bir davranış sergilemektedir. E7 sıvı kristalin dielektrik sabitinin gerçek kısmı ise düşük voltajlarda küçük değerlere, yaklaşık 6 V civarında birden bire bir artışa ve daha büyük değere sahip olduğu görülmektedir. 6CB ve 8CB'nin dielektrik sanal kısmı düşük voltajlarda büyük değere sahip ancak belli bir voltajdan sonra azalmaktadır. E7'nin dielektrik sanal kısmı diğerlerinden biraz farklılık göstermekte, düşük voltajda küçük değerlere sahip ancak belli bir voltajdan sonra bir miktar artış görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nematik sıvı kristal, 6CB, 8CB, E7, dielektrik

ABSTRACT

In this study, the changes in dielectric constant of hexylcyanobiphenyl (6CB), octylcyanobiphenyl (8CB) and E7 nematic liquid crystals depending on frequency and voltage were investigated. The real part of the dielectric constant of 6CB, 8CB and E7 liquid crystals has large values at frequencies of 0-100 Hz, but shows a rapid decrease, remains constant in the range of 100 Hz-0.1 MHz, drops sharply after 0.1 MHz and approaches zero. The dielectric imaginary part of these liquid crystal samples has high values in the low frequency region and decreases with one or two peaks at different frequencies. The real part of the dielectric constant of 6CB and 8CB liquid crystals exhibits a similarly constant behavior depending on the voltage increase. The real part of the dielectric constant of E7 liquid crystal, on the other hand, appears to have small values at low voltages, a sudden increase of about 6 V, and a larger value. The dielectric imaginary part of 6CB and 8CB has great value at low voltages but decreases after a certain voltage. The dielectric imaginary part of E7 differs slightly from the others, with small values at low voltage but some increase after a certain voltage.

Keywords: Nematic liquid crystal, 6CB, 8CB, E7, dielectric

GİRİŞ

Sıvı kristaller, izotropik sıvı ile kristal katı arasındaki mezofaz olarak bilinir (Kim, 2015). Sıvı Kristaller, 1888 yılında Friedrich Reinitzer tarafından keşfedilmiştir (Singh, 2002). Sıvı kristaller günümüzde televizyon, bilgisayar ve tabletlerde başlıca olmak üzere ileri elektronik cihazlara kadar geniş bir uygulama alanı bulan ve araştırmacıların ilgisini çeken bir malzemedir. Yaklaşık olarak 30 yıl evvel hesap makinelerinde ve dijital saatlerde kullanılmaya başlanan sıvı kristaller, endüstri alanında 2006 yılında 100 milyar dolar üzerinde kendisine yer almakta ve teknolojiye önemi günden güne artmaktadır (Castellano, 2006). Sıvı kristaller tıpta teşhis ve tedavi, memoğrafi (Srilekha vd., 2020; Smith, 1920), holografi (Chen & Brady, 1992), dijital veri depolama (Matharu vd., 2007), nanopartiküller (Eskalen vd., 2017; Gürmen vd., 2008; Ahmet vd., 2018; Malik vd., 2018), boyalar (Gürlük vd., 2017; Zakerhamidi vd., 2016) ve biyosensör (Popov vd., 2016) gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Sıvı kristal karışımların elektriksel özellikleri, dielektrik spektroskopisi kullanılarak araştırılmış. Sıvı kristalin dielektrik kısmındaki çalışmaların moleküllerin yapısı ve mekanizması hakkında çok değerli bilgiler vermektedir (Okumuş vd., 2014). 6CB sıvı kristaline grafen oksit (GO) farklı oranlarda %0.25GO, %0.5GO, %1GO ve %2GO ilave edilmiş ve katkılı sıvı kristallerin fiziksel özelliklerindeki değişim araştırılmıştır. Hazırlanan numunelerin faz geçişleri, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve polarize optik mikroskop (POM) ile gözlemlenmiştir. Grafen oksit katkılı numunelerin elektriksel özellikleri, grafen oksit oranının artmasıyla artış göstermiştir. Voltaja bağımlı ışık geçirgenliği eşik voltajının seyrek numuneler için düştüğünü, ancak yoğun numunelerde arttığı tespit edilmiştir (Özğan vd., 2018). İki veya daha fazla sıvı kristal karışımın; termal, optik, dielektrik ve optik anizotropi gibi fiziksel ve yapısal özellikleri araştırılmıştır (Shiju vd., 2017). 6CB ve 8CB karışımının absorpsiyon, kapasitans, iletkenlik, dielektrik anizotropi ve çift kırılma özellikleri ve yayılma elastik katsayısı araştırılmış. Eşik gerilimi 2,1 V olarak belirlenmiştir. Kapasitans, 100 kHz'den daha düşük frekanslarda büyük ve daha yüksek frekanslarda küçüktür. Karışım için iletkenlik-voltaj değişimi elde edildiği görülmektedir (Özğan, 2017).

E7 saf nematik sıvı kristali altın nanoparçacıklar ile % 0, % 3, % 12 oranlarında katkılanmıştır. E7'nin eşik voltajını 20 V civarından 14 V a kadar düşürdüğü, dielektrik anizotropisini artırdığı gözlemlenmiştir. Sıvı kristallerde kullanılan elektro-optik aletler ise yüksek dielektrik ve optik anizotropiye sahip ve düşük eşik voltajına ihtiyaçları vardır. Altın nanoparçacık katkılanması ile sıvı kristallerin özelliklerini olumlu yönde etkilemekte ve endüstriyel alanda kullanılmasını sağlayabilmektedir. Bu numunede görülen elektro-optik özelliklerinde belli bir düzeyde iyileşme elde edildi. Eşik voltajını düşürdüğünden daha az enerji tüketerek, enerji tasarrufu sağladığı ifade edilmektedir (Eskalen & Özğan, 2014). E7 nematik sıvı kristal karışımından, 6CB ve heksilbenzoik asitten yeni bir sıvı kristal karışım tasarlanmış ve sentezlenmiştir. Termal ve morfolojik özelliklerini, DSC ve POM cihazları ile araştırılmıştır (Eskalen vd. 2018). Yoshida vd. 8CB kodlu sıvı kristali püskürtücü yatırma (Sputter Depositing, SP) tekniği ile altın nanoparçacıklar ile katkılanarak, faz geçiş sıcaklığındaki değişimi SP süresine bağlı olarak değiştiğini ve eşik voltajı katkılanılan numuneler için yaklaşık olarak % 10 azaldığını elde etmişlerdir (Yoshida vd., 2010).

Nematik sıvı kristallerin; heksilbenzoikasit (6BA), oktiloksibenzoikasit (8OBA) ve desiloksibenzoikasit (10OBA) (Okumuş, 2017); 8CB, oktiloksisyanobifenil (8OCB) (Özğan & Okumuş, 2011); 6CB ve 8CB (Okumuş, 2013); üçlü heksilbenzoikasit, oktiloksibenzoikasit ve desiloksibenzoikasit (Okumuş & Özğan, 2014); 6BA ve 6CB gibi ikili veya üçlü karışımları (Okumuş vd. 2016) incelenmiştir.

Bu çalışmada, 6CB, 8CB ve E7 kodlu nematik sıvı kristallerin dielektrik sabitini frekansa ve gerilime bağlı değişimleri; 0 volt ve oda sıcaklığında 1 Hz-20 MHz frekans aralığında ve 1 kHz frekans ve oda sıcaklığında 1-20V DC gerilim aralığında incelenecektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

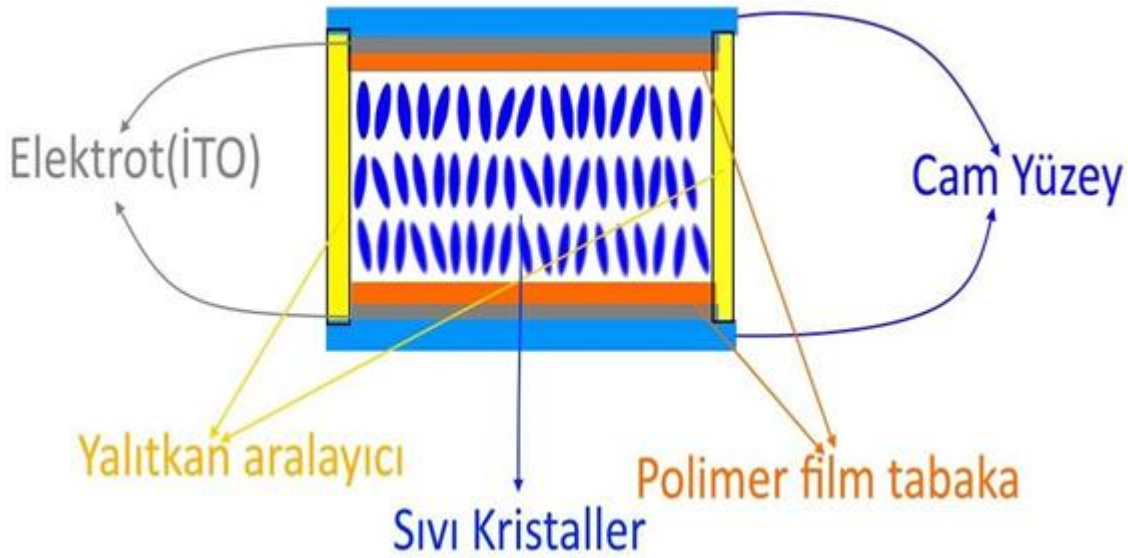
Materyal

Bu çalışmada kullanılan 6CB kodlu (4-Pentyl-4-biphenylcarbonitrile), 8CB kodlu (4-octyl-4-cyanobiphenyl) ve E7 kodlu nematik sıvı kristalleri sigma- aldrich firmasından satın alınmıştır. E7 sıvı kristali, dört farklı sıvı kristalin ötektik karışımından elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan nematik sıvı kristallerin moleküler yapıları Tablo 1'de görülmektedir. Sıvı kristallerin elektriksel özelliklerini ölçmek için iki cam levha üzerine elektrik iletkenliğini sağlayan İndium Tin Oksit (ITO) malzeme ile kaplanmış ve belirli bir aralıkla üst üste konularak sıvı kristal hücre oluşturulmuştur. Sıvı kristal cam hücrelerine sıvı kristaller kapilarite yöntemi kullanılarak dolduruldu. Bu hücreler

ışık geçirgenliği sağladığı için genellikle saydam yapıdadır ve Şekil 1’de görülmektedir. Sıvı kristal ile doldurulan 8 µm hücre boşluklu planer yönelime sahip sıvı kristal hücreleri empedans analizör kullanılarak numuneleri elektriksel özellikleri incelendi.

Tablo 1. 6CB, 8CB ve E7 Nematik Sıvı Kristallerin Moleküler Yapısı

İsim	Moleküler yapı
6CB	<chem>CCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem>
8CB	<chem>CCCCCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem>
E7	<chem>CCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem> <chem>CCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem> <chem>CCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem> <chem>CCCCCc1ccc(cc1)-c2ccc(cc2)C#N</chem>



Şekil 1. Sıvı Kristal Hücre Yapısı

Yöntem

Sıvı kristal numunelerin elektriksel özelliklerini belirlemek için dielektrik spektroskopi tekniği kullanılır. Dielektrik kompleks ifadesi

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + i\varepsilon'' \quad (1)$$

ile verilir. Burada ε' ve ε'' dielektrik sabitinin sırasıyla gerçek ve sanal kısmıdır. Dielektrik sabitinin gerçek kısmı;

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon' \frac{A}{d} \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada C: kapasitans, ε_0 : boş uzayın elektriksel geçirgenlik sabiti, A: hücrenin yüzey alanı ve d ise plakalar arasındaki mesafeyi ifade eder. Kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmı (ε'') dielektrik kayıptır,

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta \quad (3)$$

ile hesaplanır. Bu eşitlikte ki $\delta = 90 - \varphi$ ile verilir ve φ ise faz açısıdır. Ayrıca elektrik geçirgenlik sabitinin paralel ve dik bileşenleri arasındaki değişim ise dielektrik anizotropi olarak tanımlanır ve

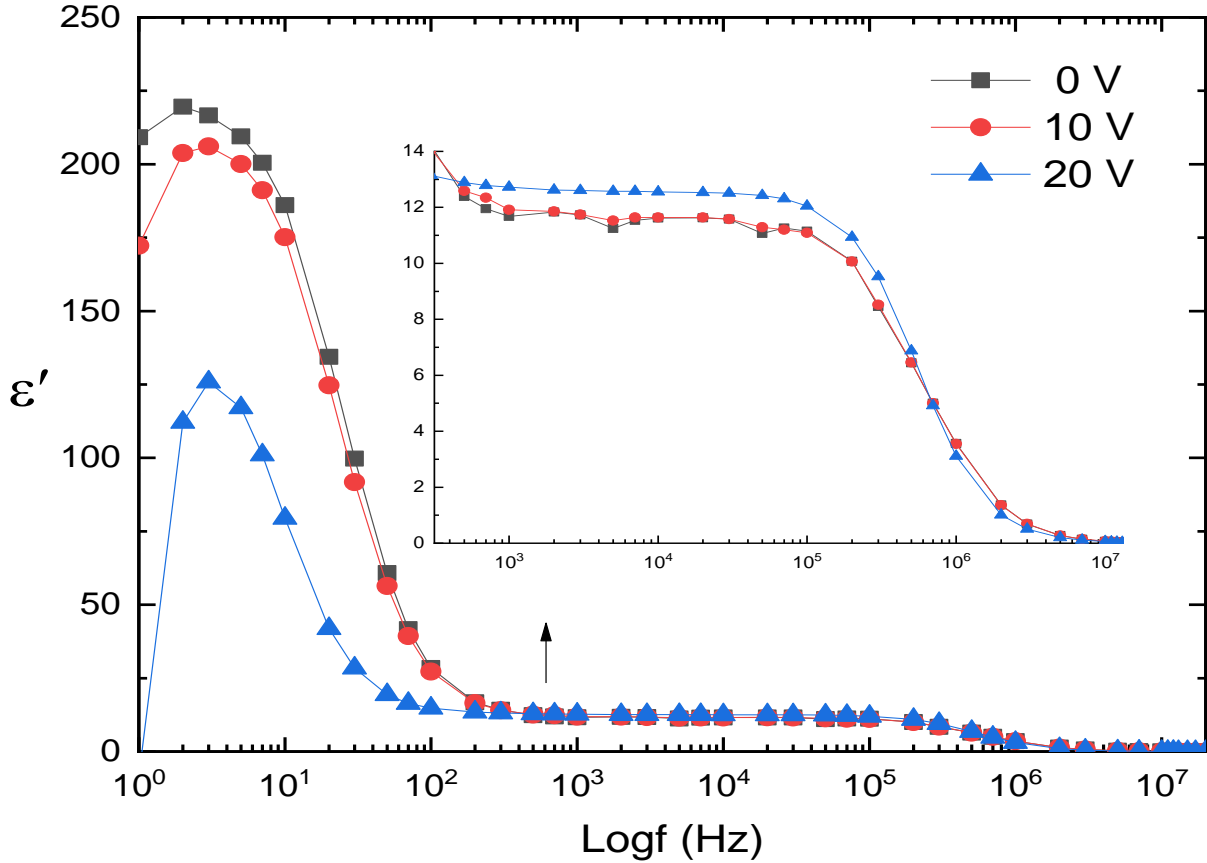
$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp} \quad (4)$$

olarak gösterilir. Burada; $\Delta\varepsilon$: dielektrik anizotropi, ε_{\parallel} ve ε_{\perp} ise sırasıyla dielektrik sabitinin paralel ve dik bileşenleridir.

BULGULAR

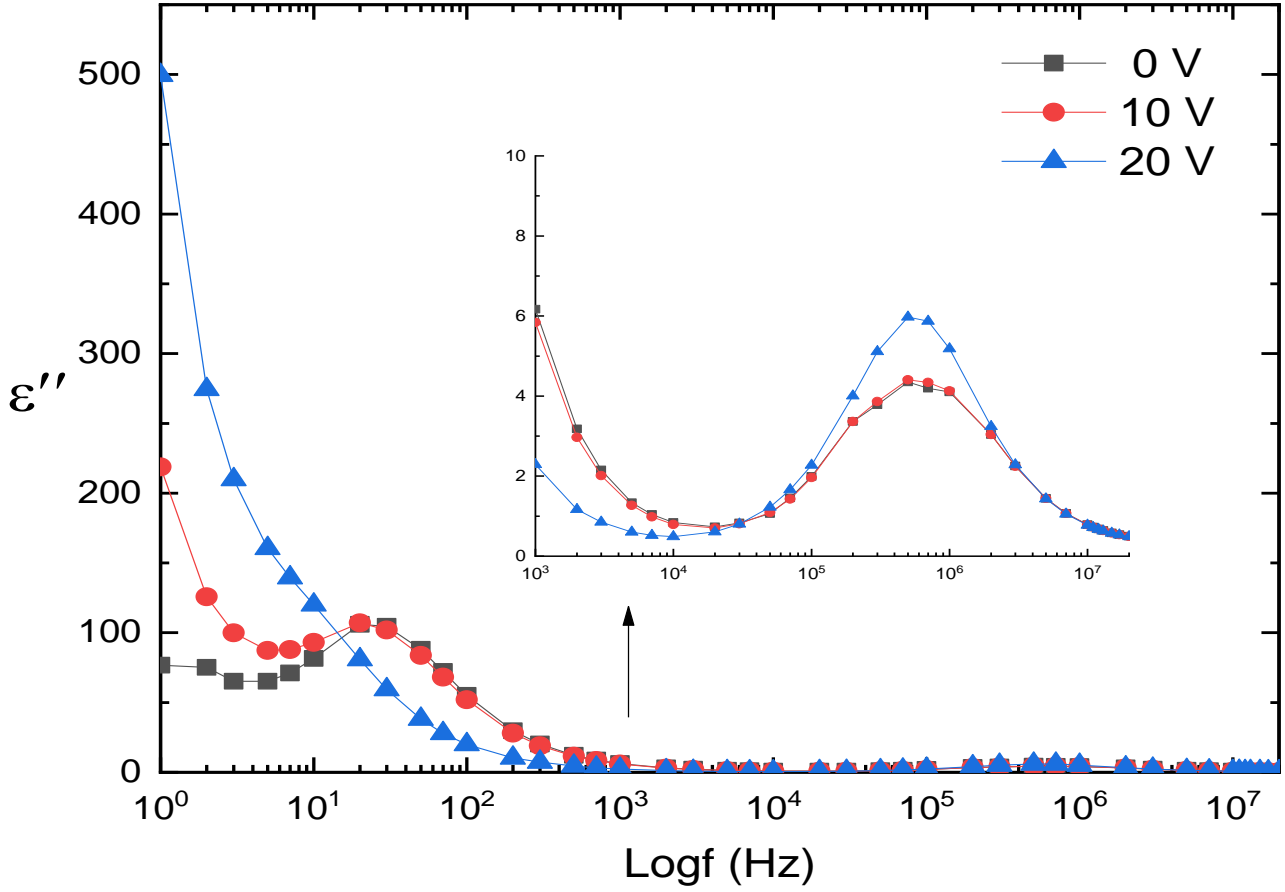
6CB Sıvı kristalin incelenmesi

6CB sıvı kristalin dielektrik sabiti gerçekte kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için 1 Hz–20 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında elde edildi ve Şekil 2’de görülmektedir. Dielektrik gerçekte kısmı 1-100 Hz frekans aralığında oldukça büyük değerlere sahiptir. Yaklaşık 50 Hz’de tüm voltajlarda dielektrik gerçekte kısmı maksimum seviyesine ulaşır birden ani bir şekilde düşer ve daha sonra 100 Hz-0.1 MHz frekans aralığında sabit olarak sıfıra doğru yaklaşmaktadır. Dielektrik sabiti düşük frekanslarda büyük voltajlarda azalan değere sahip fakat büyük frekanslarda tersi bir durum sergilemektedir. 1 kHz ile 20 MHz frekans aralığındaki davranış açık bir şekilde anlaşılması için o bölgenin grafiği çizilerek iç grafik olarak eklenmiştir.



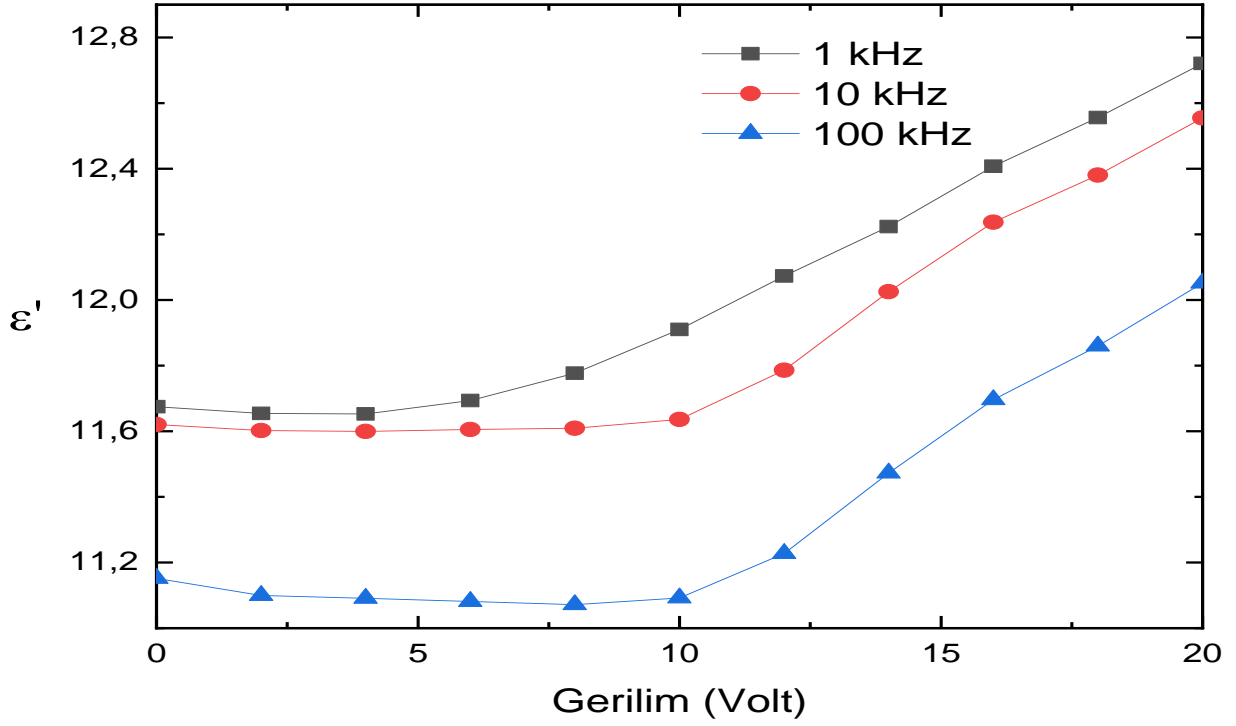
Şekil 2. 6CB'nin Dielektrik Gerçekte Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

6CB sıvı kristalin dielektrik sanal kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için elde edildi ve Şekil 3’de görülmektedir. Dielektrik sanal kısmı 0, 10 voltta aynı yerde benzer şekilde 2 defa pik yapıp daha sonra azalmaktadır. 20 voltta ise sürekli düşüşteyken 10⁵ Hz frekansta yükselerek pik yapmış ve devamında sıfıra doğru kaymıştır. Dielektrik davranışını belirli kısmının daha iyi görülebilmesi için 1 kHz ve 20 MHz frekans aralığında odaklanarak grafik elde edilmiş ve iç grafik olarak verilmiştir.



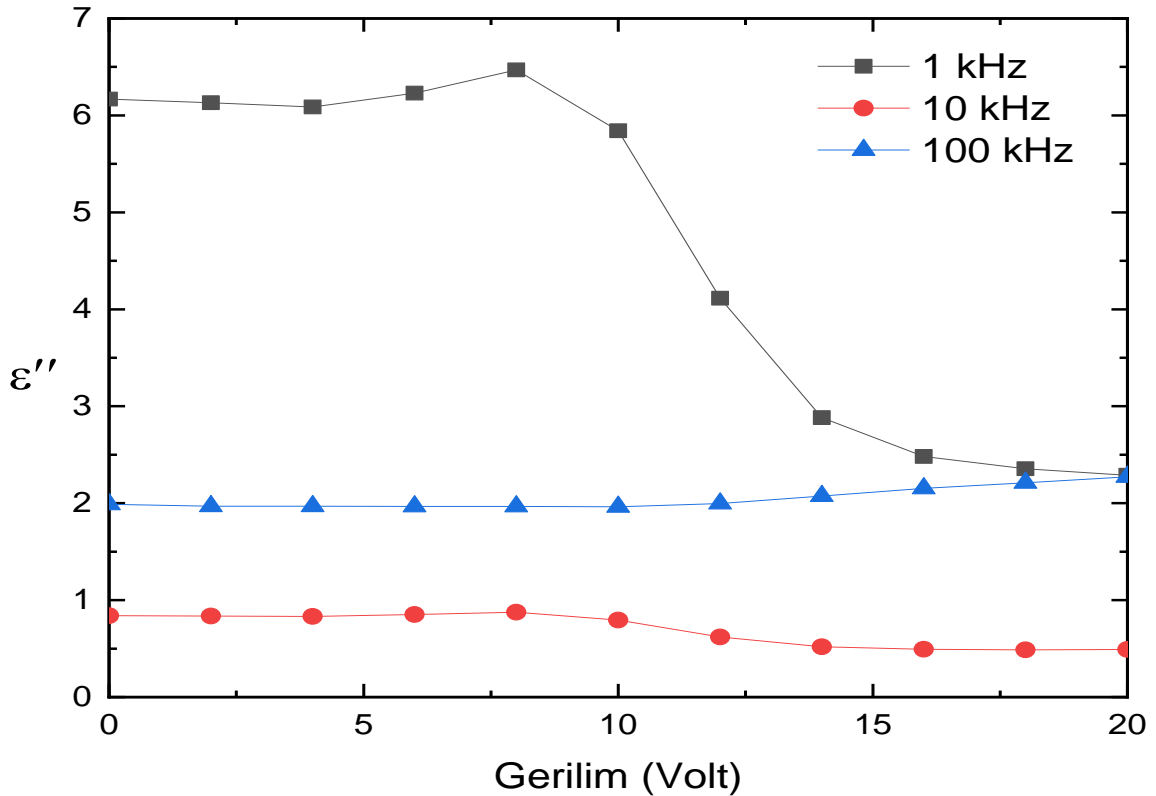
Şekil 3. 6CB'nin Dielektrik Sanal Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

6CB sıvı kristalin dielektrik sabiti gerçek kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz, 10 kHz ve 100 kHz frekans için 1-20 V DC gerilim aralığında elde edildi ve Şekil 4'de görülmektedir. Dielektrik gerçek kısmı düşük voltajlarda sabit bir davranışa sahipken bir miktar voltaj artmasıyla birlikte bütün frekans değerlerinde artış görülmektedir. 1 kHz frekans, 10 kHz ve 100 kHz frekansa göre daha yüksek dielektrik değerlerine sahiptir ve 10 kHz ise 100 kHz'e göre daha büyük değer almaktadır.



Şekil 4. 6CB'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

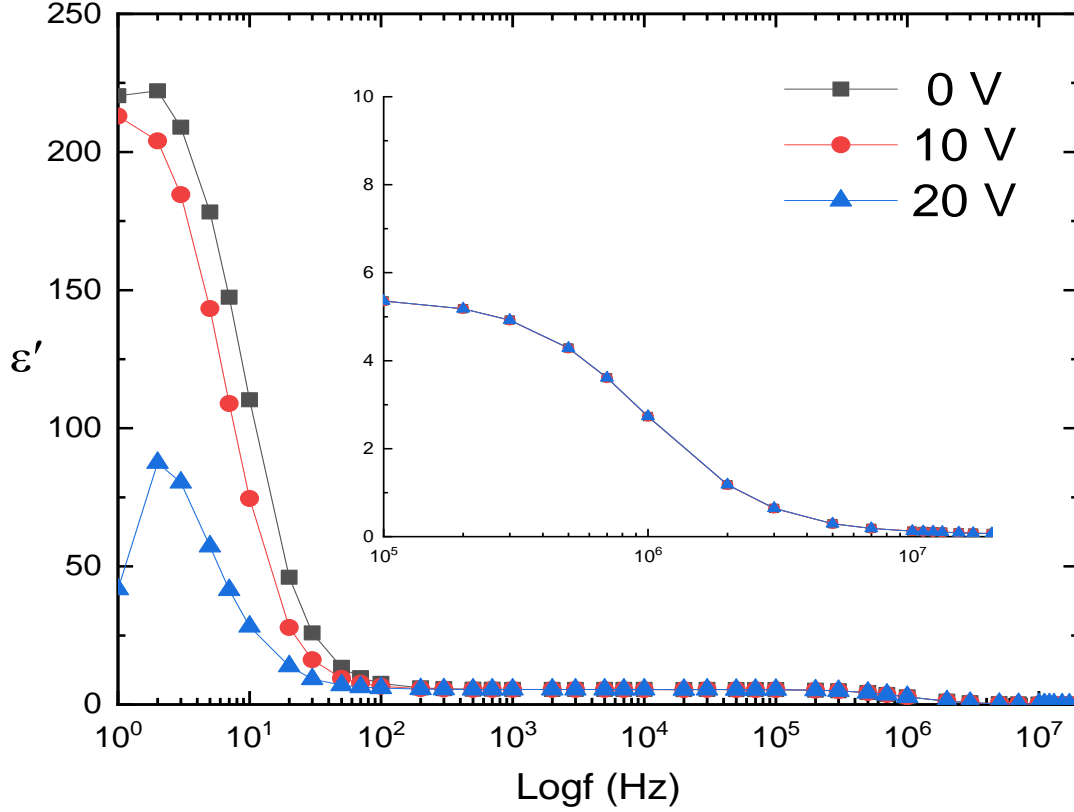
6CB sıvı kristalin dielektrik sabiti sanal kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz, 10 kHz ve 100 kHz için elde edildi ve Şekil 5'te görülmektedir. Dielektrik sanal kısmı 1 kHz frekans, yaklaşık 7 voltta maksimum seviyesine varıp daha sonra aniden azalmaya başlayıp sabit bir davranış göstermekte ve diğer frekans değerlerinden daha yüksek dielektrik değerlere sahiptir. 100 kHz frekans tüm voltajlarda 10 kHz frekans değerlerinden yüksektir ve ikiside sabite yakın bir şekilde davranış göstermektedir.



Şekil 5. 6CB'nin Dielektrik Sanal Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

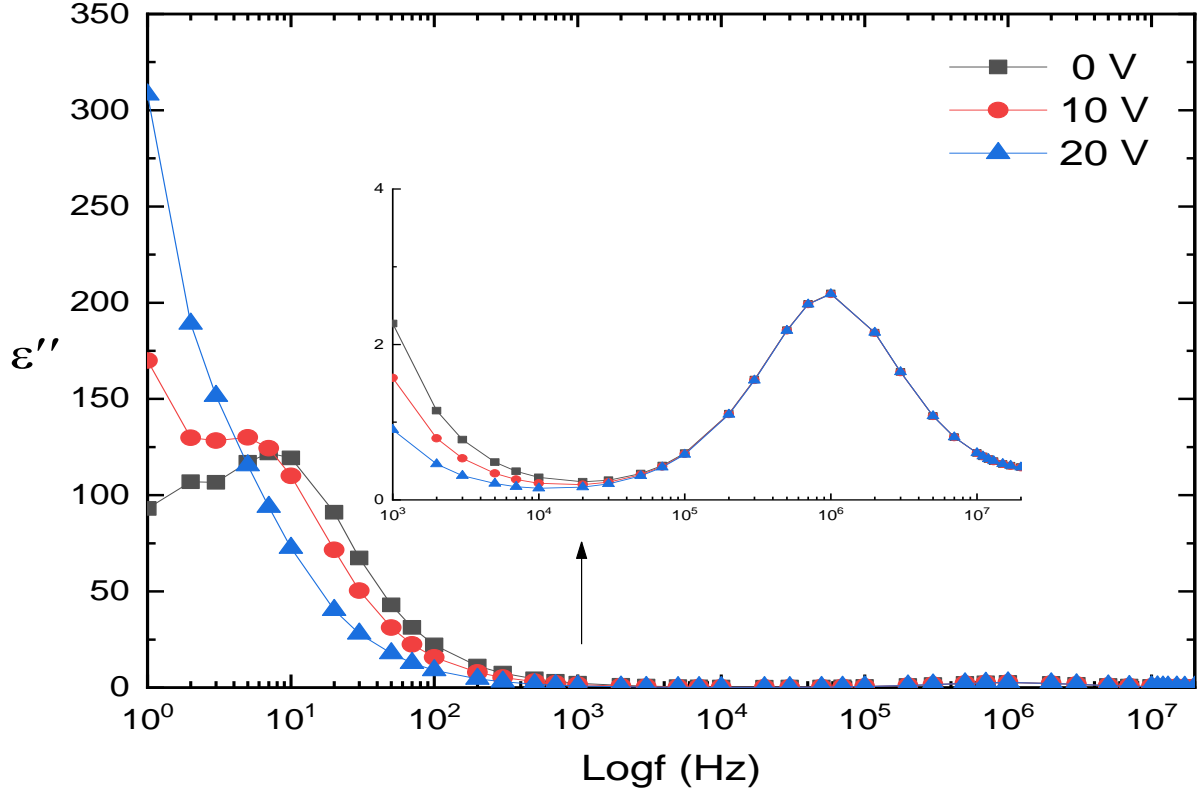
8CB Sıvı kristalin incelenmesi

8CB sıvı kristalin dielektrik sabitin gerçek kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için 1 Hz-20 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında elde edildi ve Şekil 6'da görülmektedir. Dielektrik gerçek kısmı düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahip fakat yüksek frekanslarda bu değerler oldukça azalmaktadır. 0 ve 10 voltajda benzer bir şekilde tüm frekans aralıklarında azalmaktadır. 20 voltta ise 2 Hz'de pik yapıp azalmaya başladıktan daha sonra 100 Hz-20 MHz aralığında, 0 ve 10 volt değerleri ile birlikte benzer bir davranış sergileyip azalarak sifira yaklaşmaktadır.



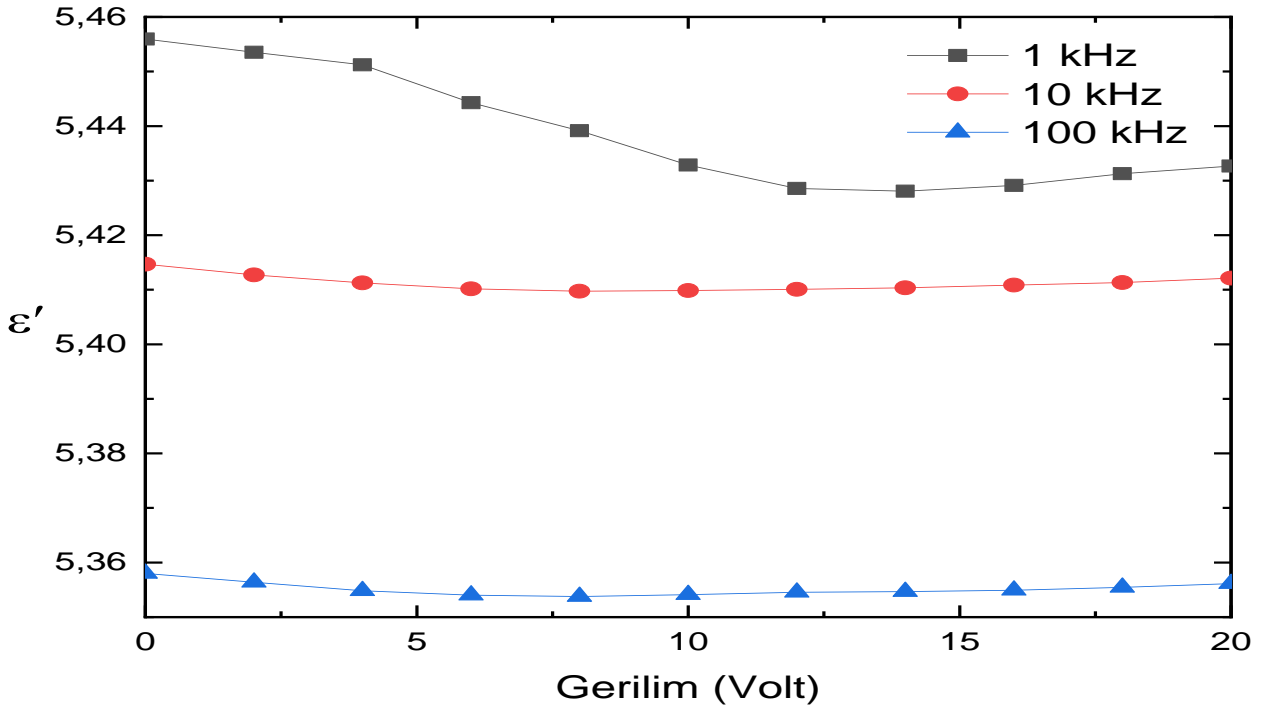
Şekil 6. 8CB'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

8CB sıvı kristalin dielektrik sabitinin sanal kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için elde edildi ve Şekil 7'de görülmektedir. 8CB sıvı kristalin sanal kısmı gerçek kısmından daha dalgalı bir davranış sergilemektedir. Dielektrik sanal kısmı 0 ve 10 voltajda benzer şekilde iki defa aynı frekansta maksimum değerlerine sahiptir. 20 volt ise düşük frekanslarda yüksek değerler alarak azalmaktadır. 10³ Hz frekanstan sonra tüm voltaj değerleri benzer davranış gösterip 0.1 MHz-20 MHz aralığında hepsi birden artarak daha sonra düşüş göstererek sifira kaymışlardır.



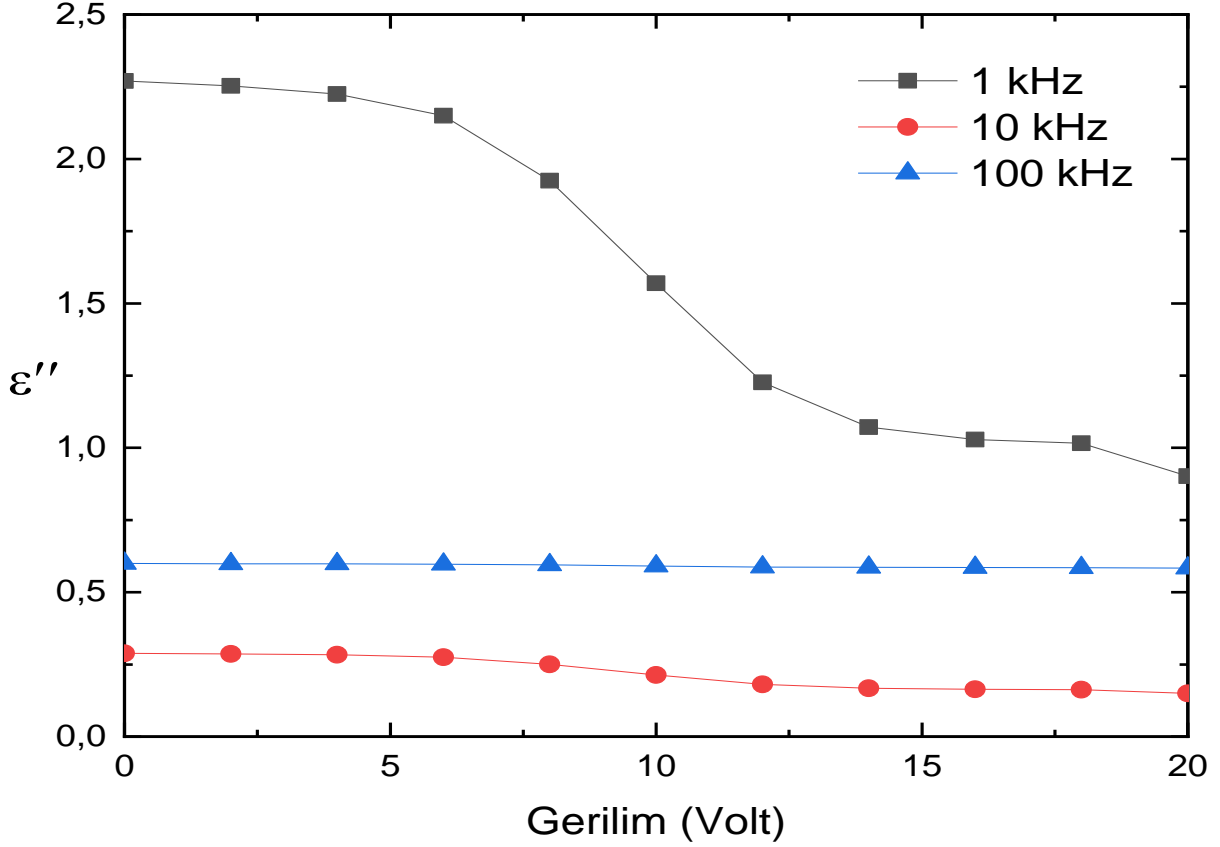
Şekil 7. 8CB'nin Dielektrik Sanal Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

8CB sıvı kristalin dielektrik sabiti gerçek kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz, 10 kHz ve 100 kHz frekans için, 1-20V DC gerilim aralığı ile elde edildi ve Şekil 8'de görülmektedir. Dielektrik gerçek kısmı 1 kHz frekans, düşük voltajlarda oldukça yüksek değerler alıp dalgalı bir davranış sergilemekte ve diğer frekans değerlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. 10 kHz ise 100 kHz' e göre tüm voltaj aralıklarında daha yüksek değerler almakta ve ikiside sabite yakın bir davranış sergilemektedir.



Şekil 8. 8CB'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

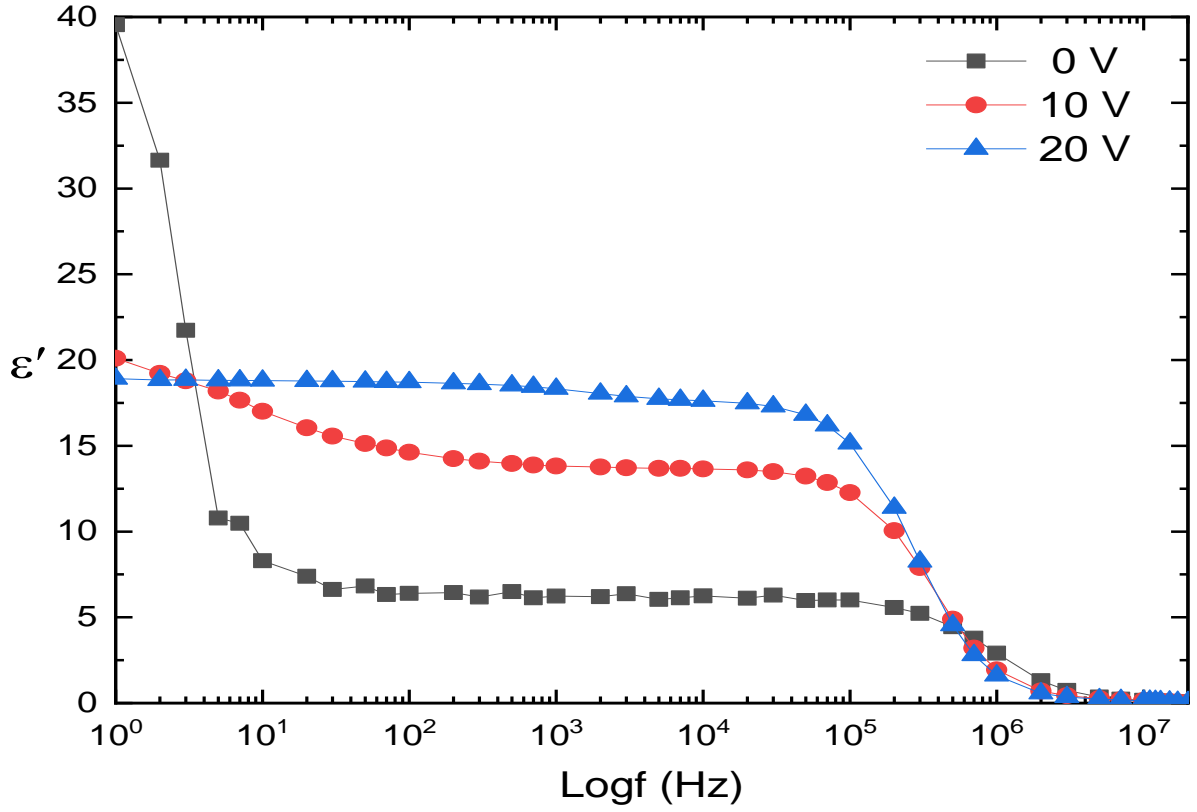
8CB sıvı kristalin dielektrik sabiti sanal kısmının gerilime bağlı değişimi 1kHz, 10 kHz ve 100 kHz frekans için elde edildi ve Şekil 9’da görülmektedir. Dielektrik sanal kısmı 1 kHz frekans, yaklaşık 6 volt civarında maksimum seviyesine varıp daha sonra aniden artan voltaj ile birlikte bu değerler azalmaya başlamakta ve sabit bir davranışa yaklaşma görülmekte ve diğer tüm frekanslara göre yüksek dielektrik değerlere sahiptir. 100 kHz frekans, tüm voltaj aralıklarında 10 kHz’den daha büyük değerler almakta ve ikiside sabit bir davranış göstermektedir.



Şekil 9. 8CB'nin Dielektrik Sanal Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

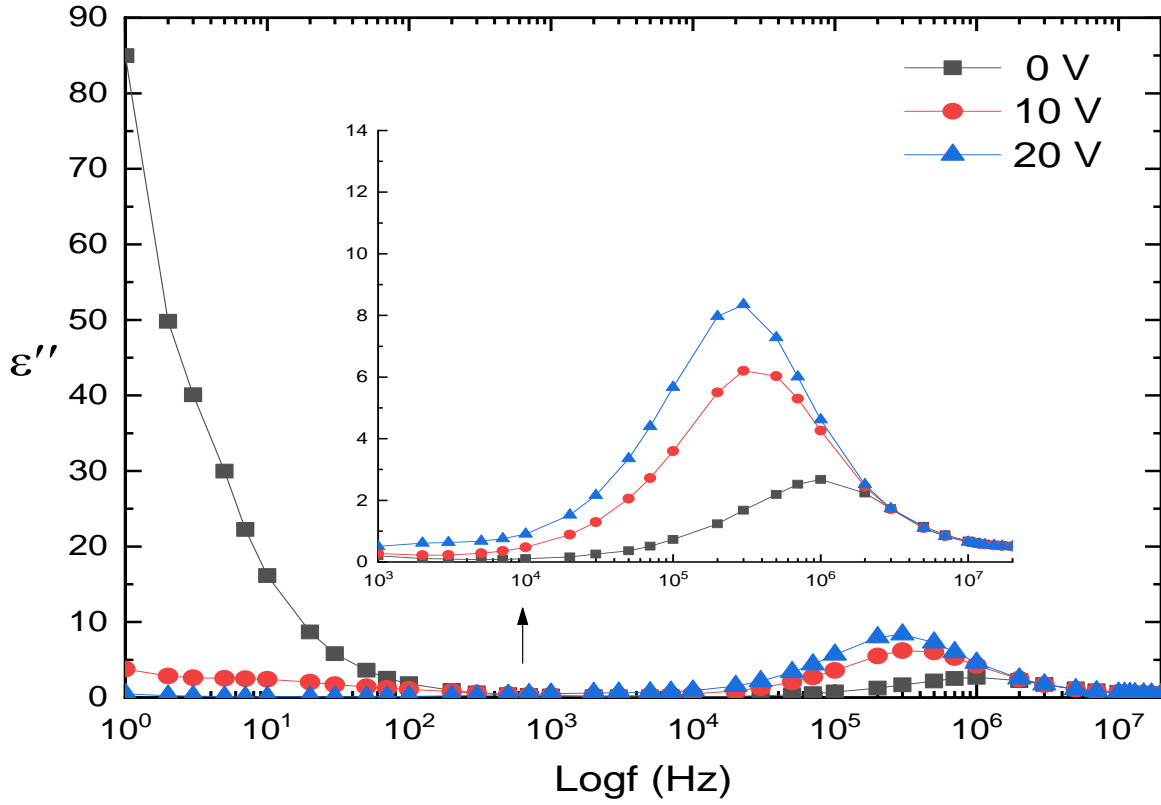
E7 Sıvı kristalinin incelenmesi

E7 sıvı kristalin dielektrik sabiti gerçek kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için 1 Hz-20 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında elde edildi ve Şekil 10’da görülmektedir. Dielektrik gerçek kısmı düşük frekans bölgesinde oldukça büyük değerlere sahip ancak belli frekans aralığında voltaj artışı ile birlikte dalgalı bir davranış sergilemekte, 50 Hz-0.1 MHz aralığında tüm voltaj değerleri sabit bir davranış gözlemlenmekte ve 10^6 frekans civarında tüm voltaj değerleri aniden azalarak sıfıra yaklaşmaktadır.



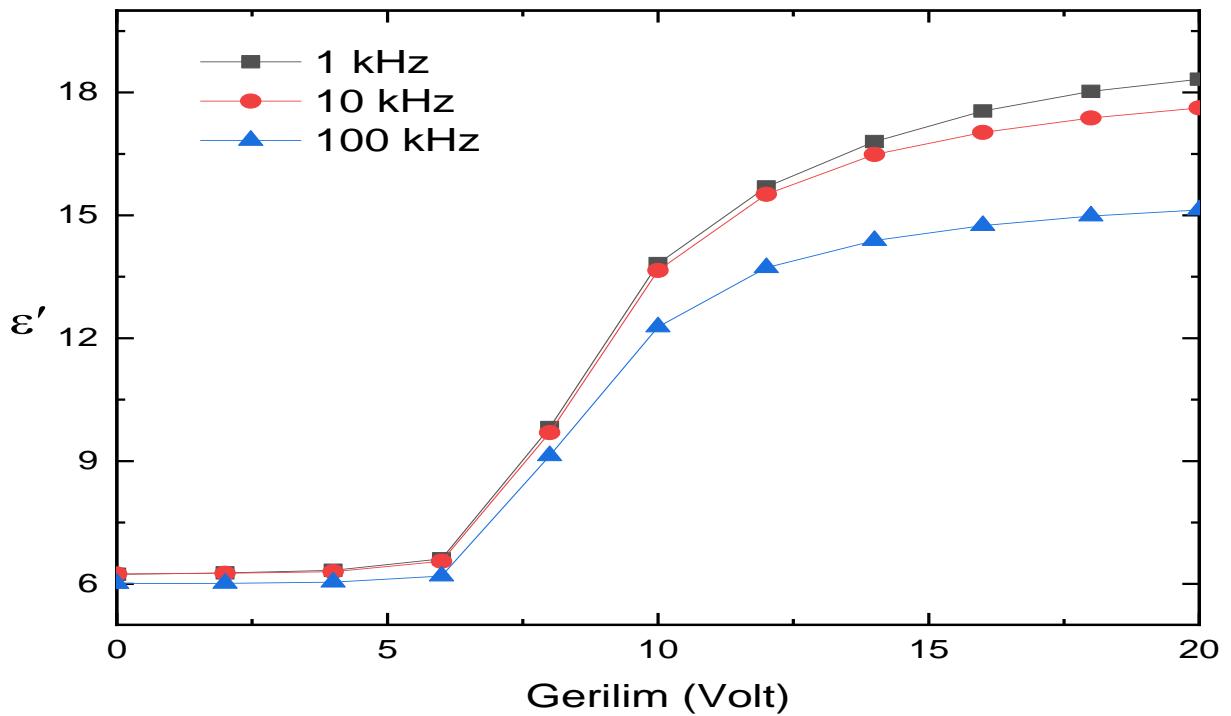
Şekil 10. E7'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

E7 sıvı kristalin dielektrik sabiti sanal kısmının frekansa bağlı değişimi 0, 10 ve 20 volt için elde edildi ve Şekil 11'de görülmektedir. Dielektrik sanal kısmı 0 volt, düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahip ancak artan frekans aralıklarında bu değerler düşüş göstermekte ve 10⁶ Hz frekansta bir miktar artış görülmektedir. 10 ve 20 voltajda birbirine yakın dielektrik değerlerine sahiptir ve ikisinde 10⁶ Hz civarında maksimum değerlerini aldıktan daha sonra azalarak sifıra yaklaşmaktadır. Yüksek frekans bölgesindeki dielektrik davranışını daha iyi görülebilmesi için içerisine iç grafik olarak eklenmiştir.



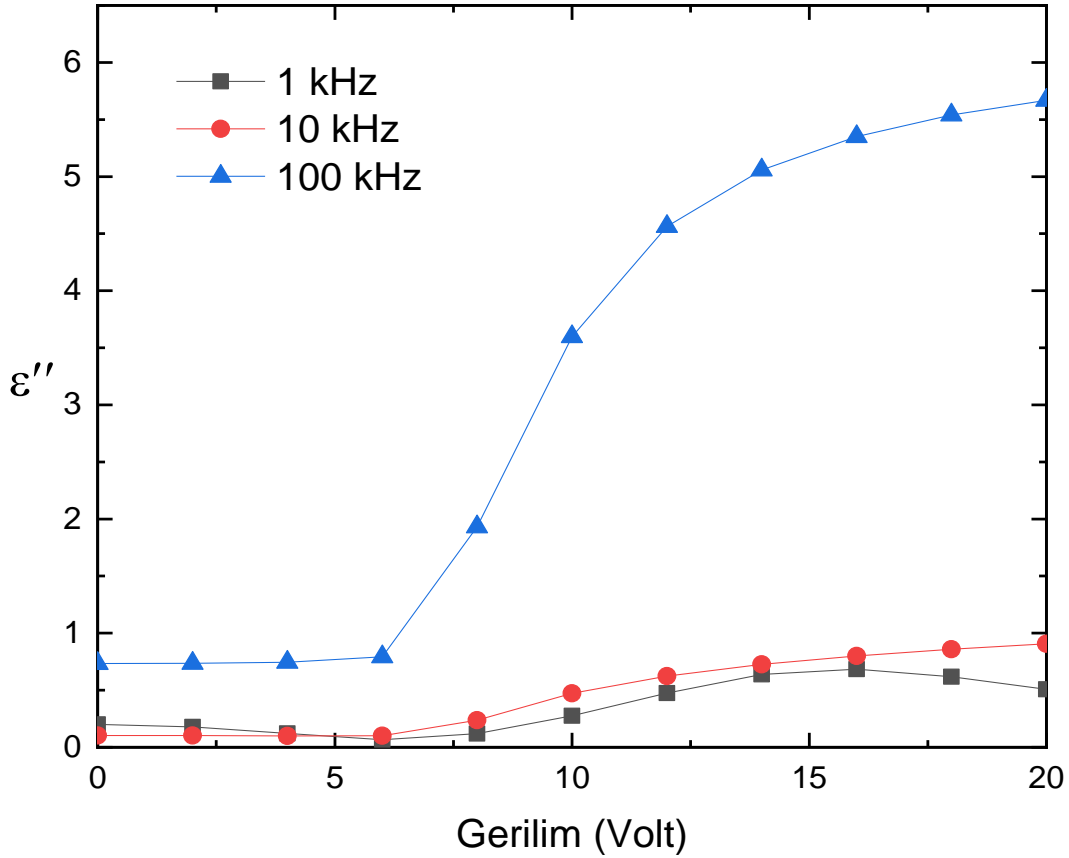
Şekil 11. E7'nin Dielektrik Sanal Kısmının Frekansa Bağlı Değişimi

E7 sıvı kristalin dielektrik sabiti gerçek kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz, 10 kHz ve 100 kHz frekans için elde edildi ve Şekil 12'de görülmektedir. Dielektrik gerçek kısmı düşük voltaj bölgesinde sabit bir davranışa sahipken tüm voltaj aralıklarında ve tüm frekans değerlerinde altı volt civarında aniden artış gözlemlenmekte ve yüksek voltaj bölgesinde frekansın azalmasıyla birlikte dielektrik değerlerinde yüksek değerlerde olduğu grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 12. E7'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

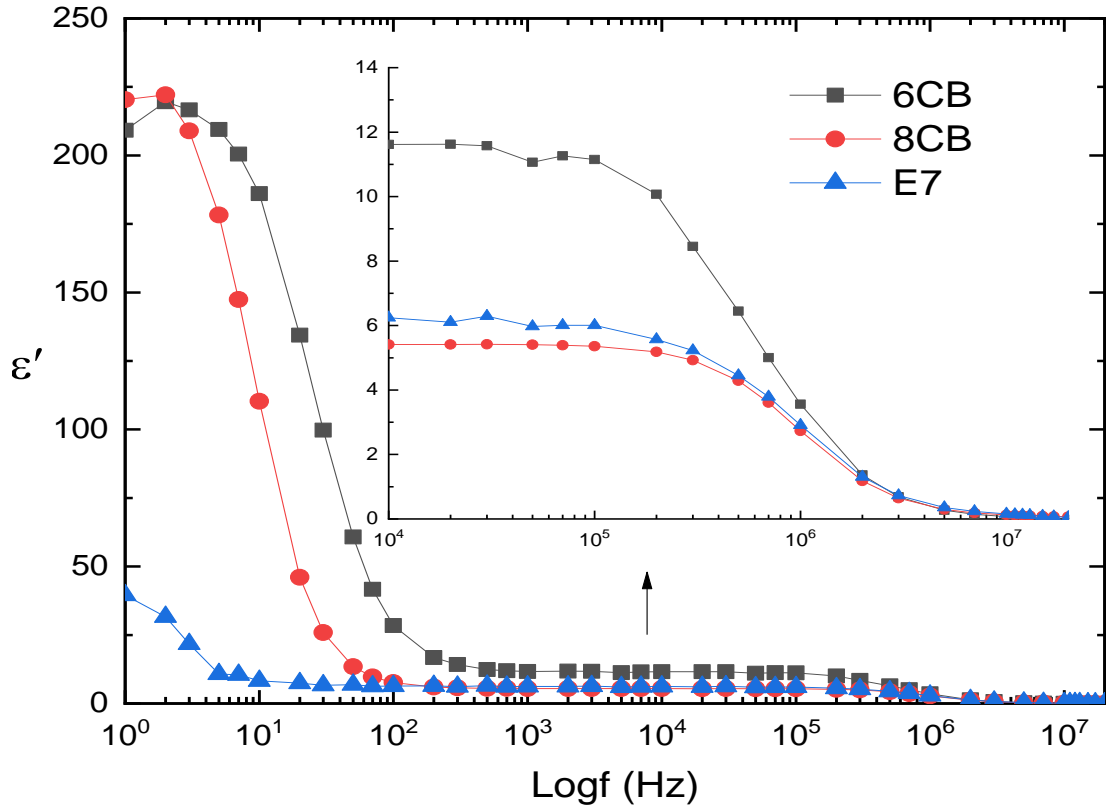
E7 sıvı kristalin dielektrik sabiti sanal kısmının gerilime bağlı değişimi 1kHz, 10 kHz ve 100 kHz için elde edildi ve Şekil 13'de görülmektedir. Dielektrik sanal kısmı düşük voltaj bölgesinde tüm frekans değerlerinde sabit bir davranış sergilemekte ve voltaj artışıyla beraber tüm frekans değerleri için dielektrik değerlerinde artış görülmektedir. 100 kHz frekans düşük voltajlarda sabit kalarak altı volt civarında aniden artarak tüm frekanslardan daha büyük dielektrik değerlerine sahiptir. 10 kHz frekans ise düşük voltajlarda sabit kalarak bir miktar 1 kHz frekanstan daha yüksek değerler almakta ve iki frekansında benzer bir şekilde davranış sergilediği görülmektedir.



Şekil 13. E7'nin Dielektrik Sanal Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

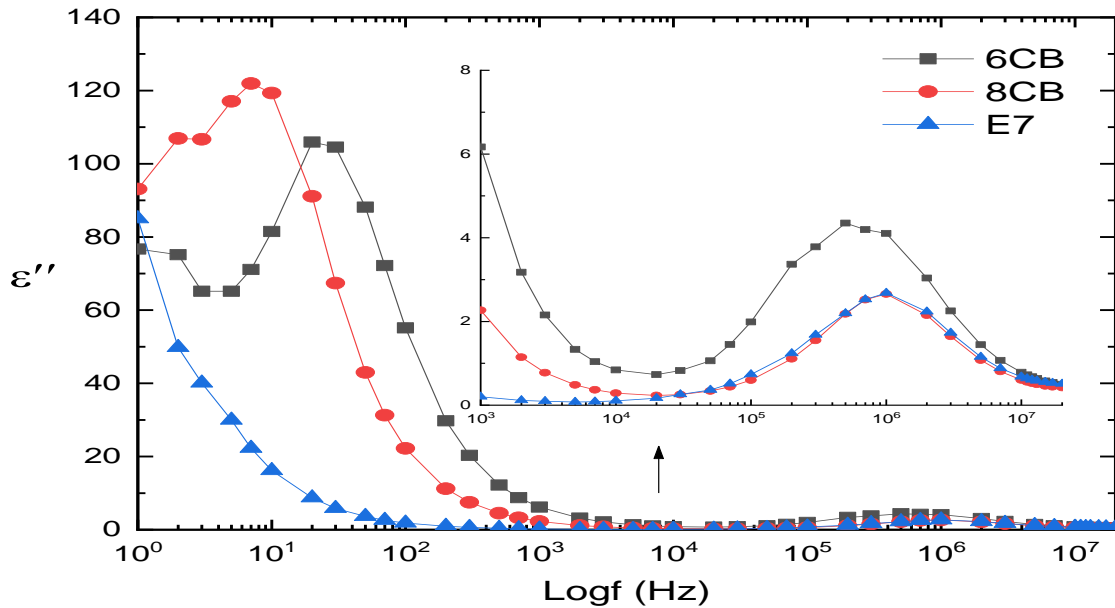
6CB, 8CB ve E7 Sıvı kristalinin karşılaştırılması

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sabiti gerçek kısmının frekansa bağlı değişimi 0 volt için 1 Hz-20 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında elde edildi ve Şekil 14'de görülmektedir. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristalleri dielektrik gerçek kısmı 0-100 Hz frekans aralığında büyük değerlere sahip ancak hızlı bir şekilde düşme göstermektedir. 8CB sıvı kristali düşük frekans bölgesinde yüksek dielektrik değerlerine sahip ancak artan frekanslarda azalan bir davranış göstermekte ve 100 Hz-0.1 MHz frekans aralığında tüm numuneler sabit bir davranış göstermektedir. E7 sıvı kristali ise artan frekanslarda hep azalırken belli bir frekansta 8CB numunesinden bir miktar dielektrik değerleri yüksek bir davranış sergilemekte ve yaklaşık 0.1 MHz frekanstan sonra bütün sıvı kristaller benzer bir şekilde aniden düşerek sıfıra yaklaşmaktadır. 10 kHz ile 20 MHz frekans aralığındaki davranışı açık bir şekilde anlaşılması için o bölgenin grafiği çizilerek iç bir grafik olarak eklenmiştir.



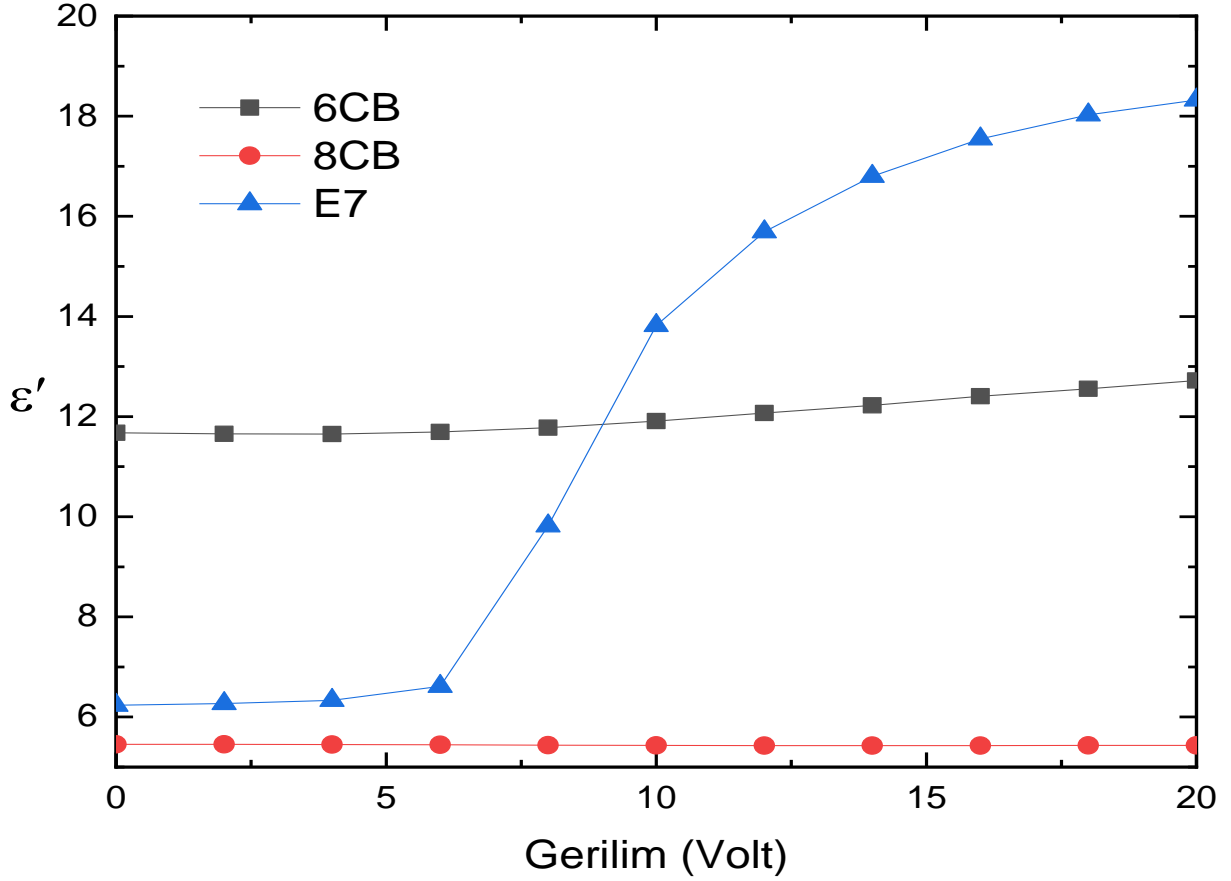
Şekil 14. 6CB, 8CB ve E7'nin Dielektrik Gerçek Kısımının Frekansa Bağlı Değişimi

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sabiti sanal kısmının frekansa bağlı değişimi 0 volt için elde edildi ve Şekil 15'de görülmektedir. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sanal kısmı düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahiptir ancak artan frekansla birlikte azalma görülmektedir. 8CB ve 6CB sıvı kristali farklı frekanslarda bir veya iki pik yaparak azalmakta ve E7 numunesi artan frekans aralığında düşüş gerçekleşirken bir miktar 8CB sıvı kristalinden yüksek dielektrik değerleri aldığı görülmektedir. 0.1 MHz-20 MHz frekans aralığında hepsi birden artarak daha sonra aniden düşerek sıfıra kaymışlardır. Dielektrik davranışını 1 kHz ve 20 MHz frekans aralığında daha iyi görülebilmesi için odaklanarak grafik elde edilmiş ve iç grafik olarak verilmiştir.



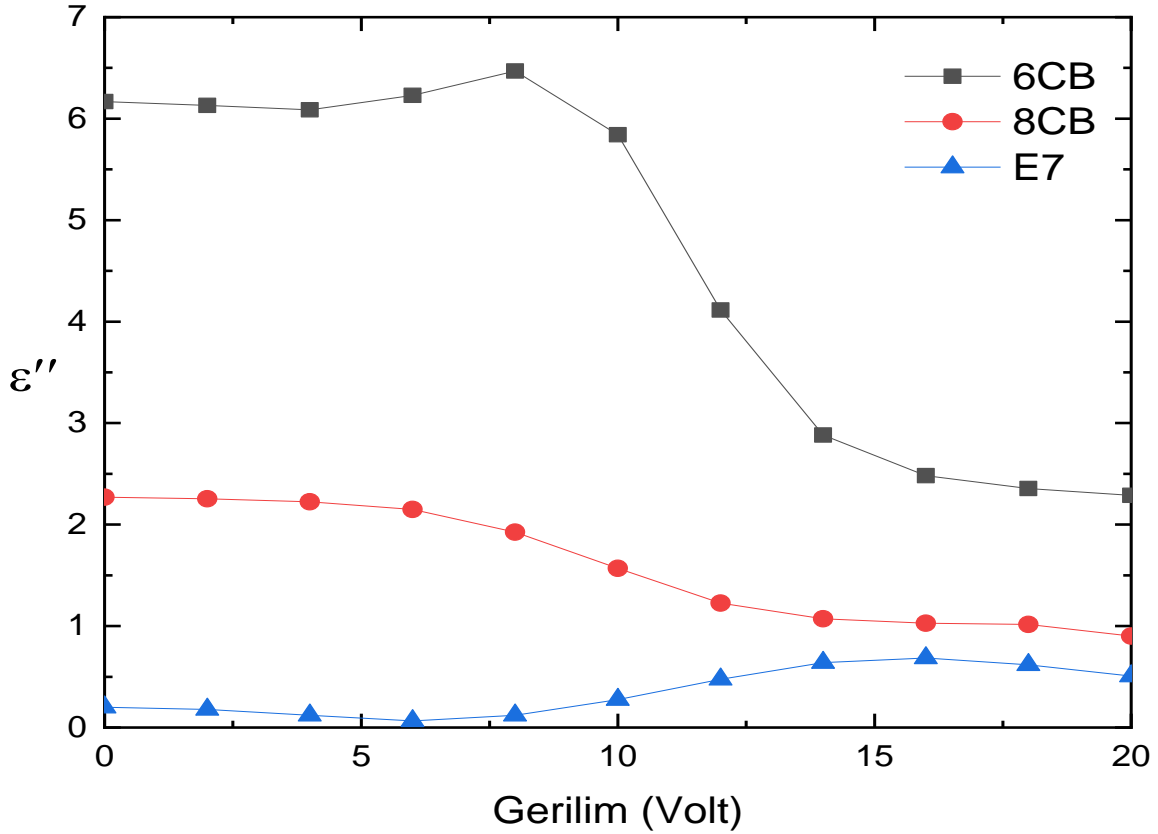
Şekil 15. 6CB, 8CB ve E7'nin Dielektrik Sanal Kısımının Frekansa Bağlı Değişimi

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sabiti gerçek kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz frekans için elde edildi ve Şekil 16'da görülmektedir. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik gerçek kısmı düşük voltaj bölgesinde sabit bir davranış sergilemekte ancak E7 numunesi düşük voltajlarda küçük değerlere sahipken 6 volt civarında aniden artmakta ve belli bir voltaj değerinde diğer sıvı kristallerden yüksek dielektrik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 6CB ve 8CB sıvı kristali artan voltaj aralıklarında benzer şekilde sabit bir davranış sergilemektedir.



Şekil 16. 6CB, 8CB ve E7'nin Dielektrik Gerçek Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik sabiti sanal kısmının gerilime bağlı değişimi 1 kHz frekans için elde edildi ve Şekil 17'de görülmektedir. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin düşük voltajlarda sabit olmakta fakat artan voltaj aralıklarında farklılıklar görülmektedir. 6CB numunesi 1 kHz frekansta yaklaşık 7 volt civarında pik yapmakta ve daha sonra aniden azalmaya başlamakta 15 V-20 V aralığında sabit bir davranış sergilemekte ve bu numune tüm voltaj aralıklarında diğer sıvı kristallerden daha yüksek dielektrik değerlerine sahiptir. 8CB sıvı kristali düşük voltajlarda büyük değere sahip ancak belli bir voltajdan sonra azalmaktadır. E7 numunesi diğerlerinden biraz farklılık göstermekte, düşük voltajda küçük değerlere sahip ancak belli bir voltajdan sonra bir miktar artış görülmektedir.



Şekil 17. 6CB, 8CB ve E7'nin Dielektrik Sanal Kısmının Gerilime Bağlı Değişimi

TARTIŞMA VE SONUÇ

Nematik sıvı kristaller, görüntüleme sistemlerinde ve birçok teknolojik uygulamada kullanılmaktadır. Gösterge sistemlerinin geliştirilmesinde nematik sıvı kristallerin elektriksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada sonuç olarak 6CB (heksilsiyaniobifenil), 8CB (oktilsiyaniobifenil) ve E7 kodlu nematik sıvı kristallerin dielektrik gerçek ve sanal kısımlarının frekans ve gerilime bağlı değişimleri incelendi.

6CB sıvı kristali sıfır, on ve yirmi voltaj değeri için belirli frekans aralığındaki grafikleri elde edildi. 8CB sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı 1-100 Hz frekans aralığında oldukça büyük değerlere sahiptir. Yaklaşık 50 Hz'de tüm voltajlarda dielektrik gerçek kısmı maksimum seviyesine ulaşır ve sonra ani bir şekilde düşer ve daha sonra 100 Hz-0.1 MHz frekans aralığında sabit kalarak sıfıra doğru yaklaşmaktadır. Dielektrik sabiti düşük frekanslarda büyük voltajlarda azalan değere sahip fakat büyük frekanslarda tersi bir durum gerçekleşmektedir. Bu sıvı kristalin sanal kısmı ise 0, 10 voltta aynı yerde benzer şekilde iki defa pik yapıp daha sonra azalmaktadır. 20 volta ise sürekli düşüşteyken 10^5 Hz frekansta yükselerek pik yapmış ve devamında sıfıra doğru yaklaşmıştır.

6CB sıvı kristali bir kHz, on kHz ve yirmi kHz değeri için belirli voltaj aralığındaki grafikleri elde edildi. 6CB sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı düşük voltajlarda sabit bir davranışa sahipken bir miktar voltaj artmasıyla birlikte bütün frekans değerlerinde artış görülmektedir. 1 kHz frekans, 10 kHz ve 100 kHz frekansa göre daha yüksek dielektrik değerlerine sahiptir ve 10 kHz ise 100 kHz'e göre daha büyük değer görülmektedir. Bu sıvı kristalin sanal kısmı ise 1 kHz frekans, yaklaşık 7 voltta maksimum seviyesine ulaşmakta ve aniden azalmaya başlayıp sabit bir davranış göstermekte ve diğer frekans değerlerinden daha yüksek dielektrik değerlere sahiptir. 100 kHz ve 10 kHz sabite yakın bir şekilde davranış sergilemektedir.

8CB sıvı kristali sıfır, on ve yirmi voltaj değeri için belirli frekans aralığındaki grafikleri elde edildi. 8CB sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahip fakat yüksek frekanslarda bu değerler oldukça azalmaktadır. 0 ve 10 voltajda ise benzer bir şekilde tüm frekans aralıklarında azalmaktadır. 20 volta ise 2 Hz'de pik yapıp azalmaya başladıktan daha sonra 100 Hz-20 MHz frekansta, 0 ve 10 volt değerleri ile

birlikte benzer bir davranış sergileyip azalmaktadır. Bu sıvı kristalin sanal kısmı gerçek kısmından daha dalgalı bir davranış göstermektedir. 0 ve 10 voltajda benzer şekilde iki defa aynı frekansta maksimum değerlerini almaktadır. 20 volt ise düşük frekanslarda yüksek değerler alarak azalmaktadır. 0.1 MHz-20 MHz aralığında hepsi birden artarak daha sonra düşüş göstererek sıfıra kaymışlardır.

8CB sıvı kristali bir kHz, on kHz ve yirmi kHz değeri için belirli voltaj aralığındaki grafikleri elde edildi. 8CB sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı 1 kHz frekans, düşük voltajlarda oldukça yüksek değerler almakta ve dalgalı bir davranış sergilemekte, diğer frekans değerlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. 10 kHz ise 100 kHz' e göre tüm voltaj aralıklarında daha yüksek dielektrik değerleri almaktadır.

E7 sıvı kristali sıfır, on ve yirmi voltaj değeri için belirli frekans aralığındaki grafikleri elde edildi. E7 sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı düşük frekans bölgesinde oldukça büyük değerlere sahip ancak belli frekans aralığında voltaj artışı ile birlikte dalgalı bir davranış sergilemekte, 50 Hz-0.1 MHz aralığındaki tüm voltaj değerleri sabit bir davranış gözlemlenmekte ve 10^6 frekans civarında tüm voltaj değerleri aniden azalmaktadır. Bu sıvı kristalin sanal kısmı ise 0 volt, düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahip ancak artan frekans aralıklarında bu değerler azalmakta ve 10 ve 20 voltajda birbirine yakın dielektrik değerlerine sahiptir ve ikisinde 10^6 Hz civarında maksimum değerlerini aldıktan daha sonra azalmaktadır.

E7 sıvı kristali bir kHz, on kHz ve yirmi kHz değeri için belirli voltaj aralığındaki grafikleri elde edildi. E7 sıvı kristalin dielektrik gerçek kısmı düşük voltaj bölgesinde sabit bir davranışa sahipken tüm voltaj aralıklarında ve tüm frekans değerlerinde altı volt civarında aniden artış gözlemlenmekte ve yüksek voltaj bölgesinde frekansın düşmesiyle birlikte dielektrik değerleri yüksek değerler almaktadır. Bu sıvı kristalin sanal kısmı ise düşük voltaj bölgesinde tüm frekans değerlerinde sabit bir davranış sergilemekte ve voltaj artmasıyla tüm frekans değerleri için dielektrik değerlerinde artış görülmektedir. 100 kHz frekans düşük voltajlarda sabit kalarak altı volt civarında aniden artarak tüm frekanslardan daha büyük dielektrik değerlerine sahiptir. 10 kHz frekans ise düşük voltajlarda sabit kalarak 1 kHz frekanstan daha yüksek değerler almaktadır.

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin sıfır voltaj değeri için belirli frekans aralığındaki grafikleri elde edildi. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik gerçek kısmı 0-100 Hz frekans aralığında büyük değerlere sahip ancak sürekli bir şekilde düşme göstermektedir. 8CB numunesi düşük frekans bölgesinde yüksek dielektrik değerlerine sahip ancak artan frekanslarda azalan bir davranış göstermekte, E7 sıvı kristali ise artan frekanslarda hep azalırken belli bir frekansta 8CB numunesinden bir miktar dielektrik değerleri yüksektir. Bu sıvı kristallerin sanal kısmı ise düşük frekans bölgesinde yüksek değerlere sahiptir ancak artan frekansla birlikte azalmaktadır. 8CB ve 6CB sıvı kristali farklı frekanslarda bir veya iki pik yaparak azalmakta ve E7 sıvı kristali artan frekans aralığında düşüş gerçekleşirken bir miktar 8CB sıvı kristalinden yüksek dielektrik değerleri almaktadır. Belirli bir frekans aralığında hepsi birden artarak daha sonra aniden düşüp azalmaktadır.

6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin bir kHz frekans için belirli voltaj aralığındaki değerleri için grafikleri elde edildi. 6CB, 8CB ve E7 sıvı kristallerin dielektrik gerçek kısmı düşük voltaj bölgesinde sabit bir davranış sergilemekte ancak E7 sıvı kristali düşük voltajlarda küçük değerlere sahipken 6 volt civarında aniden artmakta ve belli bir voltaj değerinde diğer sıvı kristallerden yüksek dielektrik değerlerine sahiptir. Bu sıvı kristallerin sanal kısmı ise düşük voltajlarda sabit olmakta fakat artan voltaj aralıklarında değişiklik göstermekte, 6CB numunesi 1 kHz frekansta 7 volt civarında pik yapmakta ve daha sonra aniden azalmaya başlamaktadır. 8CB sıvı kristali düşük voltajlarda büyük değere sahip ancak belli bir voltajdan sonra azalmaktadır. E7 ise diğerlerinden biraz farklılık göstermekte, düşük voltajda küçük değerlere sahip fakat belli bir voltajdan sonra artış görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Castellano, J. A. (2006). Modifying light: ubiquitous today, liquid-crystal displays are the outgrowth of more than a century of experimentation and development. *American scientist*, 94(5), 438-445.
- Chen, A. G., & Brady, D. J. (1992). Real-time holography in azo-dye-doped liquid crystals. *Optics letters*, 17(6), 441-443. <https://doi.org/10.1364/OL.17.000441>
- Eskalen, H., & Özgan, Ş. (2014). Altın Nanoparçacıklarla Katkılandırılan Nematik Sıvı Kristallerin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 407-414.
- Eskalen, H. Kerli, S., & Özgan, Ş. (2017). Hydrothermally produced cobalt oxide nanostructures at different temperatures and effect on phase transition temperature and threshold voltage of nematic liquid crystal host. *Cobalt (InTech)*, 2017, 71.
- Eskalen, H., Okumuş, M., & Özgan, Ş. (2019). Electro-optical, thermal and dielectric properties of ternary mixture of E7/6CB/6BA liquid crystal mixture complex. *Optik*, 187, 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.02.119>
- Gürmen, S., Ebin, B., & İTÜ, M. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metaller Dergisi*, 150, 31-38.
- Gürlük, M., Abdulkadir, H. A., Akkuş, M. S., Akkurt, F., & Alicilar, A. (2017). Comparison of guest–host liquid crystal systems doped with azo or anthraquinone dyes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 41(1), 1-5. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0186-0>
- Kim, Y. K. (2015). *Topological defects in lyotropic and thermotropic nematics*. Kent State University.
- Matharu, A. S., Jeeva, S., & Ramanujam, P. S. (2007). Liquid crystals for holographic optical data storage. *Chemical Society Reviews*, 36(12), 1868-1880. <https://doi.org/10.1039/B706242G>
- Okumuş, M. (2013). Investigation of the phase transition and absorption properties of liquid crystal hexylcyanobiphenyl/octylcyanobiphenyl mixtures. *Asian Journal of Chemistry*, 25(7), 3879.
- Okumuş, M., Özgan, Ş., & Yılmaz, S. (2014). Thermal and optical properties of some hydrogen-bonded liquid crystal mixtures. *Brazilian Journal of Physics*, 44(4), 326-333. <https://doi.org/10.1007/s13538-014-0217-7>
- Okumuş, M., & Özgan, Ş. (2014). Thermal and mesomorphic properties of ternary mixtures of some hydrogen-bonded liquid crystals. *Liquid Crystals*, 41(9), 1293-1302. <https://doi.org/10.1080/02678292.2014.919669>
- Okumuş, M., Özgan, Ş., Kırık, İ., & Kerli, S. (2016). Thermal and optical characterization of liquid crystal 4'-hexyl-4-biphenylcarbonitrile/4-hexylbenzoic acid mixtures. *Journal of Molecular Structure*, 1120, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.05.036>
- Okumuş, M. (2017). Bazı Üçlü Karıştırılmış Hidrojen Bağlı Sıvı Kristallerin Termal özelliklerine 4-oktiloksi-4'-siyanobifenil (8OCB) mezojenin etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 101-108.
- Özgan, Ş. & Okumuş, M. (2011). Thermal and spectrophotometric analysis of liquid crystal 8CB/8OCB mixtures. *Brazilian Journal of Physics*, 41(2-3), 118. <https://doi.org/10.1007/s13538-011-0034-1>
- Özgan, Ş. (2017). Investigating of dielectric anisotropy and birefringence of binary liquid crystal mixtures. *International Journal of Chemistry and Technology*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.32571/ijct.335298>
- Özgan, Ş., Eskalen, H., & Tapkıranlı, Y. (2018). Thermal and electro-optic properties of graphene oxide-doped hexylcyanobiphenyl liquid crystal. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 12(3), 169-176. <https://doi.org/10.1007/s40094-018-0307-y>
- Pal, K. Mohan, M. M., Foley, M., & Ahmed, W. (2018). Emerging assembly of ZnO-nanowires/graphene dispersed liquid crystal for switchable device modulation. *Organic Electronics*, 56, 291-304. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2017.12.044>

Popov, P., Honaker, L. W., Kooijman, E. E., Mann, E. K., & Jákl, A. I. (2016). A liquid crystal biosensor for specific detection of antigens. *Sensing and bio-sensing research*, 8, 31-35. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.03.008>

Smith, F. J. (1920). *Taylor's principles and practice of medical jurisprudence* (Vol. 1). Churchill.

Singh, S. (2002). *Liquid crystals: fundamentals*. World Scientific.

Shiju, E., Arun, R., Varma, M. R., Chandrasekharan, K., Sandhyarani, N., & Varghese, S. (2017). Effect of ferroelectric nanoparticles in the alignment layer of twisted nematic liquid crystal display. *Optical Materials*, 67, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.03.022>

Sharma, A., Kumar, P., & Malik, P. (2018, May). Effect of zinc oxide nanoparticles on dielectric behavior of nematic liquid crystal. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1953, No. 1, p. 100037). AIP Publishing LLC.

Srilekha, G., Pardhasaradhi, P., Madhav, B. T. P., Manepalli, R. K. N. R., & Rao, M. C. (2020). Design and analysis of 6CB nematic liquid crystal-based rectangular patch antenna for S-band and C-band applications. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 1(ahead-of-print).

Yoshida, H., Kawamoto, K., Kubo, H., Tsuda, T., Fujii, A., Kuwabata, S., & Ozaki, M. (2010). Nanoparticle-Dispersed Liquid Crystals Fabricated by Sputter Doping. *Advanced Materials*, 22(5), 622-626. <https://doi.org/10.1002/adma.200902831>

Zakerhamidi, M. S., Kiani, S., Tajalli, H., & Khoshshima, H. (2016). Role of specific and nonspecific intermolecular interaction in electro-optical response of doped 6CHBT nematic liquid crystal with azo dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 221, 608-616. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.06.046>