

**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİELEKTRİK PARAMETRELERİ
HESAPLAYAN BİR
BİLGİSAYAR PROGRAMI**

AYTEKİN BOZAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
Konya-2007

**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DiePa:
DİELEKTRİK PARAMETRELERİ HESAPLAYAN BİR
BİLGİSAYAR PROGRAMI**

AYTEKİN BOZAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Konya-2007

Bu tez, 31 /07 /2007 tarihinde oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ülfet ATAV
Başkan

Yrd.Doç.Dr. Mehmet TAŞER
Üye

Yrd.Doç.Dr. Hayrettin KÜÇÜKÇELEBİ
Üye

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****DiePa:****DİELEKTRİK PARAMETRELERİ HESAPLAYAN BİR
BİLGİSAYAR PROGRAMI****Aytekin BOZAN****Selçuk Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü****Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER****2007, 56 sayfa****Jüri: Prof.Dr. Ülfet ATAV
Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER
Yrd.Doç.Dr. Hayrettdin KÜÇÜKELEBİ**

Bu çalışma bir yazılım projesi olup, bilgisayar dili olarak C++ Builder programı kullanılmıştır. Program ile, S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında HP4192A LF Empedans analizörü kullanılarak, 5Hz-13MHz frekans aralığında incelenen malzemelerin admitans ölçümleri ile elde edilen deneysel veriler işlenerek, malzemenin dielektrik davranışlarını belirleyen parametreler hesaplanmaktadır.

Elde edilen sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak kullanıcıya sunulmuştur. Proje ile deneysel sonuçların işlenmesi ve yorumlanmasına hız ve işlevsellik kazandırmak amaç edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik ölçümler, dielektrik geçirgenlik, dielektrik kayıp, kutuplanma mekanizmaları.

ABSTRACT
M.S. Thesis

DiePa:
A COMPUTER PROGRAM
FOR THE CALCULATION OF DIELECTRIC PARAMETERS

Aytekin BOZAN

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Asist. Doc. Dr. Mehmet TAŞER

2007, 56 pages

Jury: Prof. Dr. Ülfet ATAV
Assist. Doç. Dr. Mehmet TAŞER
Assist. Doç. Dr. Hayretidin KÜÇÜKÇELEBİ

This study is a software preparation study and C++ Builder program was used as the compiler. The prepared program, compiles and processes the data in the Selçuk University Physics Department Solid State Physics Lab. using HP4192A LP impedance analyzer, and calculates the parameters determining the dielectric properties of the material.

The results are presented numerically and graphically to the user through a user friendly interface. The study aims to speed up the processing and interpreting of the experimental data.

Key Words : dielectric measurements, dielectric permittivity, dielectric loss, polarization mechanisms.

ÖNSÖZ

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü öğretim üyesi, **Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER** yönetiminde tamamlanarak, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Proje, laboratuvar ortamında incelenen numunelerden elde edilen deneysel admitans ölçümlerinin, C++ Builder dilinde hazırlanan **Diepa** isimli simülasyon programı sayesinde işlenerek numunenin en uygun dielektrik parametrelerinin hesaplanmasını içermektedir.

Diepa sayesinde simülasyonla hesap edilen admitans değerleri çıkış dosyası olarak saklanmakta ve grafiksel olarak deneysel admitans ölçümleri ile uyumluluğu mukayese edilebilmektedir.

Tez konusunun seçimi ve tezin hazırlanması konusunda bana yol gösteren ve benden yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam, **Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER'e** ve programı yazarken karşılaştığım zorluklarda bana yol gösteren ve bildiklerini benden esirgemeyen Fizik Mühendisi sınıf arkadaşım **Salih Murat SEZGİ'ye** teşekkür ederim.

Aytekin BOZAN

KONYA-2007

KULLANILAN SİMGELER

α :	Kutuplanabilirlik
C :	Kapasitans
E :	Elektrik Alan vektörü
δ :	Kompleks dielektrik geçirgenlikle reel bileşeni arasındaki açı
ϵ_0 :	Uzayın elektriksel geçirgenliği
ϵ :	Dielektrik geçirgenlik
ϵ' :	Dielektrik geçirgenliğin reel kısmı
ϵ'' :	Dielektrik geçirgenliğin sanal kısmı
ϵ_∞ :	Dielektrik geçirgenliğin $\omega \rightarrow \infty$ 'daki değeri
ϵ_0 :	Dielektrik geçirgenliğin $\omega \rightarrow 0$ 'daki değeri
f :	Frekans
p :	Elektrik dipol momenti vektörü
P :	Kutuplanma vektörü
σ :	Elektriksel iletkenlik
t :	Zaman
τ :	Durulma zamanı
ω :	Açısal frekans
d :	Mesafe

Anahtar Kelimeler: Dielektrik ölçümler, dielektrik geçirgenlik, dielektrik kayıp, kutuplanma mekanizmaları.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
KULLANILAN SİMGELER	vi
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL	4
2.1 DİELEKTRİK MADDELERDE GEÇİRGENLİK	4
2.2 DİELEKTRİK MADDELERDE KUTUPLANMA	5
2.3 KUTUPLANMA ÇEŞİTLERİ	9
2.3.1 Elektronik Kutuplanma	9
2.3.2 İyonik Kutuplanma	11
2.3.3 Yönelimli Kutuplanma	13
3. METOD	15
3.1 DİELEKTRİK PARAMETRE DENKLEMLERİ	15
3.1.1 Debye Denklemi	15
3.1.2 Cole – Cole Denklemi	15
3.1.3 Cole – Davidson Denklemi	16
3.1.4 Havriliak–Negami Denklemi	17
3.1.5 Dielektriklerde İletkenlik Etki Denklemi	17
3.2 ELEKTRİK MODÜLÜ FORMALİZMİ	18
3.2.1 MWS Eşitlikleri	19
3.2.2 Dielektrik parametrelerin belirlenmesi	20
3.2.3 Ki-kare Testi	20
4. PROGRAMIN ÇALIŞMASI	23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR	33
EK	35
ÖZGEÇMİŞ	56

1. GİRİŞ

Bu çalışma, ilerde göreceğimiz dielektrik denklemlerle algoritmasını kuran, **diePa** isimli bir simülasyon programıdır. Bu programa DiePa isminin verilmesinin nedeni, herhangi bir maddenin dielektrik ölçümlerinden elde edilen deneysel admitans verilerini kullanarak, maddenin kutuplanma mekanizmasını belirleyen dielektrik parametreleri hesaplamasıdır. DiePa C++ Builder yazılım dilinde hazırlanmıştır [Karagülle ve Pala, 2001]. Görsellik ve Windows ortamında kullanım kolaylığı açısından bu yazılım dili seçilmiştir. DiePa, sadece dielektrik denklemleri kullanması açısından hizmete özel amaçlı bir programdır. DiePa'ya geçmeden önce dielektrik kavramının ne olduğu, bununla ilgili özellikleri ve bu kavramla ilgili kurulan denklemleri anlatmada büyük fayda vardır. DiePa'nın temelini bu denklemler oluşturmaktadır.

Bir madde dış bir elektrik alan uygulandığında enerji depolama yeteneğine sahipse dielektrik olarak sınıflandırılır [Tareev, 1975]. Dielektrikler lastik, cam veya mumlu kağıt gibi iletken olmayan maddelerdir. İletkenlerde olduğu gibi hareketli yük taşıyıcılarına sahip değildirler. Özellikle kondansatörlerde sığayı arttırmak için kullanılır. Yük depolayan sistemlerden olan kondansatörler çeşitli elektrik devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak kondansatörler; radyo alıcılarının frekans ayarlarında, otoların ateşleme sistemindeki kıvılcımları yok etmede, elektronik flaşlarda enerji depolamada ve güç kaynaklarında filtre olarak kullanılırlar.

Dielektriklerin en önemli özelliği dış bir elektrik alanının etkisi altında kutuplanma yetenekleridir. Dielektriklerin kutuplanması fikri ilk olarak 1830'lu yıllar da ileri sürülmüştür. Bugünkü kavramlara göre kutuplanma olayı, dış elektrik alan etkisindeki bir dielektriğin elektriksel olarak yüklü parçacıklarının uzay içindeki yeniden düzenlenimini özetler. Yani dielektrik bu özelliğiyle bir elektrik dipol momenti kazanır. Her madde dielektrik özelliklerine bağlı olan kendine özgü elektriksel karakteristikler takımına sahiptir. Bu özelliklerin doğru ölçümleri, malzemelerin daha sağlam tasarımları için ve kalite kontrolünün geliştirilmesi amacıyla önem arz etmektedir.

Örneğin bir kondansatörün plakaları, yani uçları bir pilin veya üreticinin uçlarına bağlanır kondansatör elektrik yükleriyle doldurulur ve daha sonra bu plakalar bir iletken telle birleştirilirse, daha açık olarak kondansatörün yükü boşaltılırsa, çoğu zaman bir kıvılcım gözlenir ve bir patlama sesi duyulur ve tel ısınır. Böylece doldurulmuş bir kondansatörde

enerji depo edildiğini anlamış oluruz. Fotoğraf makinalarının flaşlarındaki, flaş çaktığındaki sesi hatırlayınız.

Eğer uzayın herhangi bir noktasında E elektrik alanı varsa, o noktada yoğunluğu $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$ olan bir enerji depolanmıştır.

Genel olarak, bir elektrik alanı etkisinde kutuplanabilen bir ortama **dielektrik** adı verilir. Buradaki kutuplanabilme kavramı, elektrik alan içine konan maddenin moleküllerine ait elektrik dipol momentlerinin elektrik alan doğrultusunda yönelmesini ifade etmektedir. Maddeyi oluşturan moleküllerin dipol momentleri ister olsun ister olmasın bir elektrik alan içine konulduklarında böyle bir momente geçici olarak sahip olabilirler ve bunlar kısmen de olsa alanla paralel duruma geçerler. Bu nedenle paralel plakaları arasında boşluk bulunan kondansatörün plakaları arasındaki potansiyel farkı plakalar arasına dielektrik madde konulduğunda azalır.

Yapılan deneysel çalışmalar plakalar arasında dielektrik madde varken ölçülen V(gerilim) değerinin ilk ölçülen V_0 değerinden boyutsuz κ çarpanı kadar küçük olduğunu göstermiştir. Bu durumda $C=Q/V$ olduğundan sığa κ çarpanı kadar artar. $V < V_0$ olduğundan $\kappa > 1$ 'dir.

$$C = C_0 \kappa, \quad \kappa = \frac{C}{C_0} \quad (1.1)$$

Burada; κ : Maddenin dielektrik sabiti (Boyutsuzdur)

C : Maddeli Sığa

C_0 : Maddesiz (vakum) Sığa

Bir paralel plakalı kondansatörün plakaları arasında boşluk veya hava varken elektrik alan şiddeti E_0 ; potansiyel farkı V_0 , σ yüzeysel yük yoğunluğu, ϵ_0 boşluğun elektriksel geçirgenliği olmak üzere,

$$E_0 = \frac{V_0}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1.2)$$

ile verilir. Kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde varken, potansiyel farkı V ise elektrik alan şiddeti

$$E = \frac{V}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\sigma}{\kappa \epsilon_0} \quad (1.3)$$

olacaktır. (1.2) ve (1.3) bağıntılarından görüldüğü gibi, aynı paralel plakalı kondansatörün plakaları arasında dielektrik madde konursa, bu durumdaki kondansatörün plakaları arasındaki elektrik alan şiddeti azalır. Daha açık olarak $E < E_0$ olur. Azalan bu elektrik alan şiddeti miktarı, $\Delta E = E_0 - E$ araya konan dielektrik maddenin moleküllerinin, dielektrik maddenin yapısına göre ya önceden var olan dipol momentlerinin (polar moleküllü n-madde) alanla aynı doğrultulu sıraya girmesini veya sürekli dipol momenti olmayan (polar olmayan moleküllü madde) maddeyi indükleyerek yapay dipol momenti oluşturur ve bu oluşan dipol momentlerin alanla aynı yönde sıraya girmesini sağlar. Buna göre, dielektrik maddenin moleküllerinin bu tür sıraya dizilmeleri nedeniyle elektrik alanda bir azalma meydana gelecektir.

Herhangi bir kondansatörün plakaları arasındaki potansiyel farkı arttırılırsa, genelde plakalar arasındaki dielektrik içinde bir elektrik boşalması bir kıvılcım atlaması olacaktır. Bu boşalmanın oluşum mekanizması ve etkileri dielektrik maddenin cinsine bağlıdır. Dielektrik kağıt veya cam olursa yırtılacak veya kırılacaktır. Dielektrik yağ veya hava olursa bu etki geçici olacak boşalma kesilince dielektrik eski halini alacaktır. Böyle bir yalıtıcı dielektrik tabakanın dayanabileceği maksimum potansiyel farkı veya tutabileceği yükü, ele alınan maddenin kalınlığı ve dielektrik dayanıklılığı hakkındaki bilgileri kullanarak hesaplayabiliriz.

Dielektrik sertlik (dayanıklılık) terimi, dielektrik içinde bir elektrik boşalması olmadan önce, genel anlamda ne kadar büyük bir potansiyel farkının veya ne kadar kuvvetli bir elektrik alanının uygulanabileceğini göstermek amacıyla kullanılır. Dielektrik sertlik, elektrik boşalması veya sızdırması olmadan önceki potansiyel veya elektrik alan şiddeti ($E = V / d$) ile ifade edilir.

Çizelge 1.1. Bazı Dielektrik Maddelerin Sabitleri

MADDE	Dielektrik Sabiti	Dielektrik Sertliği (V/m)
Boşluk	1,00000	-----
Kuru Hava	1,00059	3.10^6
Bakalit	4,9	24.10^6
Pyrex Cam	5,6	14.10^6
Teflon	2,1	60.10^6
Naylon	3,4	14.10^6
Su	80	-----
Trafo Yağı	4,5	12.10^6
Porselen	6,5	4.10^6
Kağıt	3,5	14.10^6
Silikon Yağı	2,0	15.10^6

2. MATERYAL

2.1 DİELEKTRİK MADDELERDE GEÇİRGENLİK

Bir maddenin elektriksel geçirgenliği ϵ ile tanımlanır ve bu geçirgenlik bir elektrik alanı ile etkileşmeyi tanımlar. Bağıl geçirgenlik ise $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ şeklindedir.

ϵ_0 = Boş uzayın elektriksel geçirgenliği $\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$

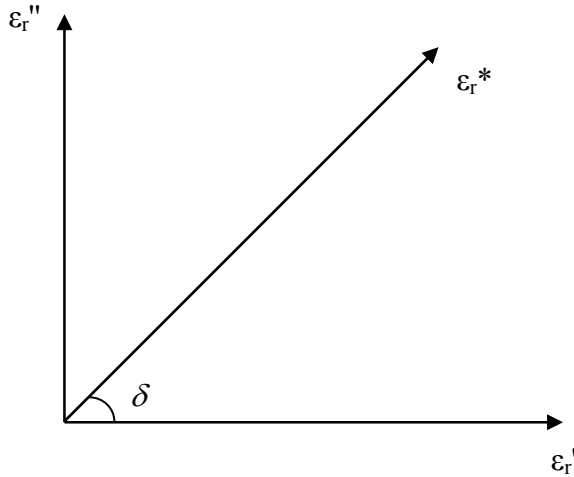
Elektriksel geçirgenlik kompleks bir nicelik olup, reel ve sanal kısımlardan oluşur:

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - i\epsilon_r'' \quad (2.1.1)$$

Burada ϵ_r' kompleks geçirgenliğin reel kısmı olup bir malzeme içerisinde dış bir elektrik alanından ne kadar enerji depolandığının bir ölçüsüdür. Bütün katı ve sıvılar için $\epsilon_r' > 1$ ' dir. ϵ_r'' kompleks geçirgenliğin sanal kısmıdır ve kayıp faktörü adını alır. Bu nicelik malzemedeki enerji kayıplarını sembolize eder. ϵ_r'' daima sıfırdan büyük ve ϵ_r' 'den çok daha küçüktür.

Dielektrik iletkenlik, madde içindeki bütün kayıp mekanizmaların toplamını ve yalıtkan gibi bir dielektriğin performansının ölçümünü ifade eder.

Bir malzemenin bağıl "kayıplılığı", kaybedilen enerjinin depolanan enerjiye oranıdır ve aşağıdaki gibi grafikleştirilebilir:



Şekil 2.1.1 Kayıp tanjant vektör diyagramı

Bu grafiğe kayıp tanjant vektör diyagramı denir. Kayıp tanjant ifadesi bu durumda; $\tan \delta = \epsilon_r''/\epsilon_r'$ halinde ifade edilir.

Yapılan deneylerde, ϵ_r' reel ve ϵ_r'' sanal geçirgenlikleri, çoğunlukla Y^* admitansından ölçülür :

$$|Y^*| = |G + iB| = |\omega \varepsilon'' C_0 + i\omega \varepsilon' C_0| \quad (2.1.2)$$

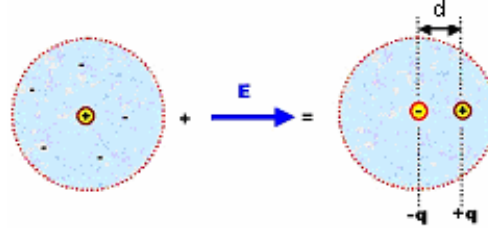
$$\varepsilon' = \frac{B}{\omega C_0}; \quad \varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_0} \quad (2.1.3)$$

Burada $|Y^*|$ admitansının mutlak değeri, G kondüktans ve B ise suseptanstır. Bu niceliklerin boyutu Siemens (S) olup, $1S = 1 (\text{ohm})^{-1} = 1\text{mho}$ ile verilir. $C_0 = \varepsilon_0 A/d$ sistemin geometrik kapasitansı olup, ε_0 boşluğun geçirgenliği ve ω uygulanan elektrik alanının açısal frekansıdır. A diskin yüzey alanı, d ise kalınlığıdır.

2.2 DİELEKTRİK MADDELERDE KUTUPLANMA

Maddeyi oluşturan moleküllerin dipol momentleri ister olsun ister olmasın bir elektrik alan içine konulduklarında böyle bir momente geçici olarak sahip olabilirler ve bunlar kısmen de olsa alanla paralel duruma geçerler. Oluşan bu toplam elektrik alan etkisi *materyalin polarizasyonu* adını alır.

Kutuplanmayı tek bir atom için düşünersek, elektrik alan uygulan dığında yük merkez-



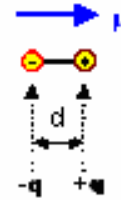
Şekil 2.2.1 Tek atomda dış elektrik alan etkisi

leri şekil 2.2.1 de görüldüğü gibi ayrılır. Bu durumda dipol moment aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\vec{\mu} = q\vec{d}$$

μ : Dipol moment

d : Yükler arası mesafe



Şekil 2.2.2 Tek atomda dipol moment vektör gösterimi

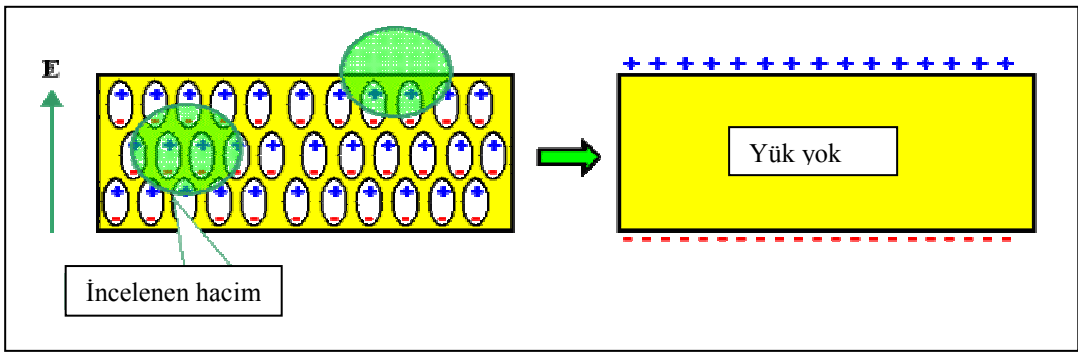
μ dipol momenti burada vektörel bir nicelik olup yönü her zaman pozitif yük doğrultusundadır. Bu durumda dış elektrik alana karşı bir karşı koyma söz konusudur.

Çok atomlu moleküllerde ise bu dipol momentlerin vektörel toplamı göz önünde tutulur. Verilen bir V hacminde materyalin toplam polarizasyonu aşağıdaki şekilde hesap edilir [Anderson, 1964].

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{\mu}}{V} = \langle \vec{\mu} \rangle N_V \quad (2.2.1)$$

$\langle \vec{\mu} \rangle$ ortalama dipol moment vektörü, N_V birim hacimdeki dipol yoğunluğudur.

Polarizasyon vektörünün fiziksel boyutu (C/m^2) dir. Polarizasyon olayının bir kondansatör plakasında şematik gösterimi Şekil 2.2.3 de verilmiştir.



Şekil 2.2.3 Kondansatör plakasında yüklerin indüklenmesi

Dış elektrik alan uygulandığında iç bölgede bir nötürleşme söz konusu olup toplam yük sıfırdır. Fakat yüzeylerde oluşan yükler belli bir mesafede birbirinden ayrılır ve net bir iç elektrik alan ortaya çıkar. Bu alan dış elektrik alana karşı mukavemet gösterir. Oluşan bu yeni yüklere **yüzey polarizasyon yükleri** denir. Polarizasyon vektörü hesaplanan bir nicelik olup aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E} \quad (2.2.2)$$

\vec{E} : Uygulanan elektrik alan

ϵ_0 : Boşluğun elektriksel geçirgenliği

χ : Dielektrik duygunluk

Maxwell denklemlerine göre elektriksel yerdeğiştirme vektörü veya elektriksel akı yoğunluğu \vec{D} aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\vec{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.2.3)$$

ϵ_r : Materyalin **görelî dielektrik sabiti** olarak tanımlanır. $\epsilon_r \epsilon_0$ çarpımına ise geçirgenlik adı verilir.

Dış elektrik alanla dielektrik içinde oluşan elektrik yerdeğiştirme vektörü \vec{D} :

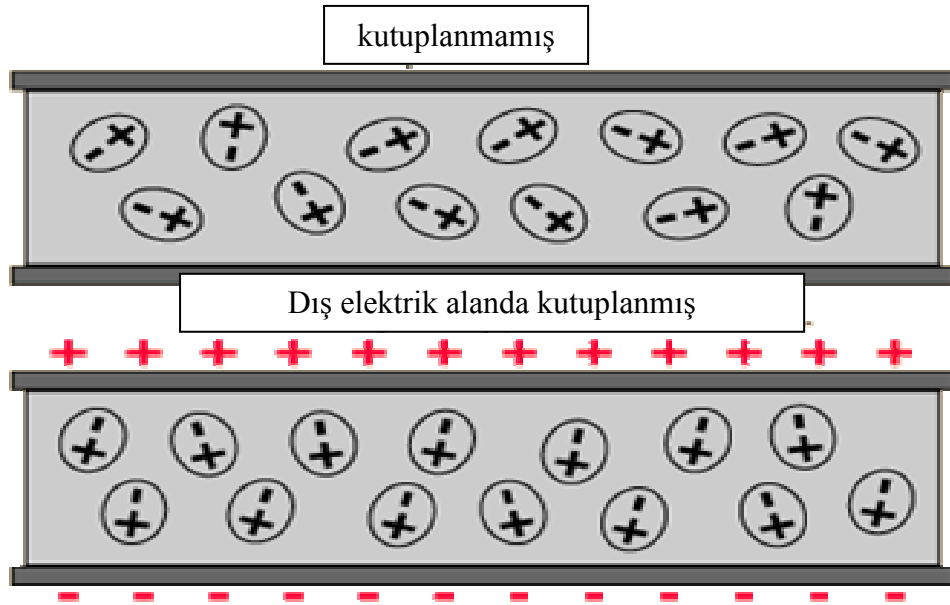
$$\vec{D} = \vec{D}_0 + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (2.2.4)$$

\vec{D}_0 , boşluğun (Vakum) elektriksel yerdeğiştirmesidir. \vec{D} ve \vec{P} 'nin (2.2.2) ve (2.2.3) eşitliklerinden,

$$\epsilon_r = 1 + \chi \quad (2.2.5)$$

elde edilir.

Bir malzeme toplam geçirgenliğe katkısı olan çeşitli dielektrik mekanizmalara veya kutuplanma olaylarına sahip olabilir. Bir dielektrik malzeme, bir elektrik alanı ile yer değiştirebilen bir elektrik yükü taşıyıcıları düzenine sahiptir. Uygulanan alanın etkisi altında pozitif ve negatif kutuplu hale gelir (Şekil 2.2.4).



Şekil 2.2.4 Dış Elektrik Alanda Kutuplanma

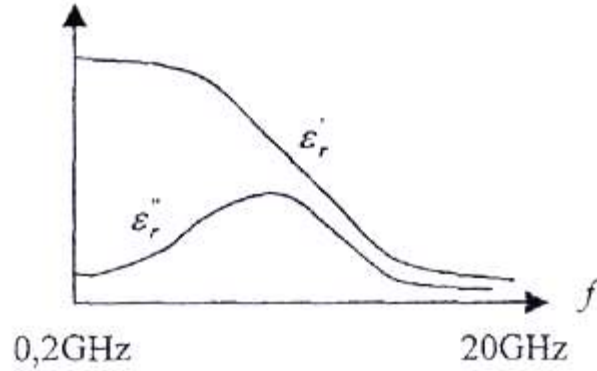
Frekans artarken depolamaya katkısı olan yavaş mekanizmalar ortadan kalkarken daha hızlı mekanizmalar katkıya katılır. Her kritik frekansta kayıp faktörüne (ϵ_r''), karşılık gelen bir pik oluşur. Rezonans etkisi genellikle elektronik veya atomik kutuplanma ile ilgili durulma etkisi yönelimli kutuplanma ile ilgilidir.

Dielektrik malzemelerde bahsedilen bir özellik de durulma zamanıdır. Durulma zamanı τ sembolü ile gösterilir ve bu, bir madde içinde bulunan moleküllerin hareketliliğinin bir ölçümüdür. Dielektriklerde durulma kavramı değişen dış elektrik alana maruz kalan bir

sistemin yeni denge durumuna yaklaşmasına benzer. Dielektrik kutuplanma uygulanan dış alan kaldırıldığında zamanla üstel olarak azalır. Durulma zamanı, bu kutuplanmanın $1/e$ ' sine düşmesi için geçen zamandır. Dielektrik durulma artan frekansla azalan dielektrik sabitindeki anormal dağılımın sonucudur.

Çarpışmalar moleküllerde sabit τ durulma zamanlı yönelimli kutuplanmanın son durumuna yavaşça ve üstel olarak yaklaşacak biçimde iç sürtünmeye neden olur. Alan kapatıldığında süreç ters döner ve aynı zaman sabitiyle rasgele dağılıma yeniden geri dönülür.

Durulma frekansı durulma zamanıyla ters orantılıdır; ($\omega_{dur} \propto 1/\tau$). Durulmanın altındaki frekanslarda alternatif elektrik alanı, dipollerin alan değişimlerine adım uydurmalarını sağlayacak kadar yeterince yavaştır. Kutupların tam olarak oluşması nedeniyle ϵ_r'' kaybı frekansla doğru orantılıdır. Frekans artarken, ϵ_r'' artmaya devam eder. Fakat ϵ_r' depolaması, dipol yönelimi ile elektrik alanı arasında bir faz gecikmesi olduğundan azalmaya başlar. Durulma frekansının üzerindeki bölgede ise elektrik alanı dipol dönmesini etkilemekte çok fazla hızlı olduğundan hem ϵ_r' hem de ϵ_r'' azalır (Şekil 2.2.5) ve yönelimli kutuplanma ortadan kalkar [Bartolomeo, 2001].

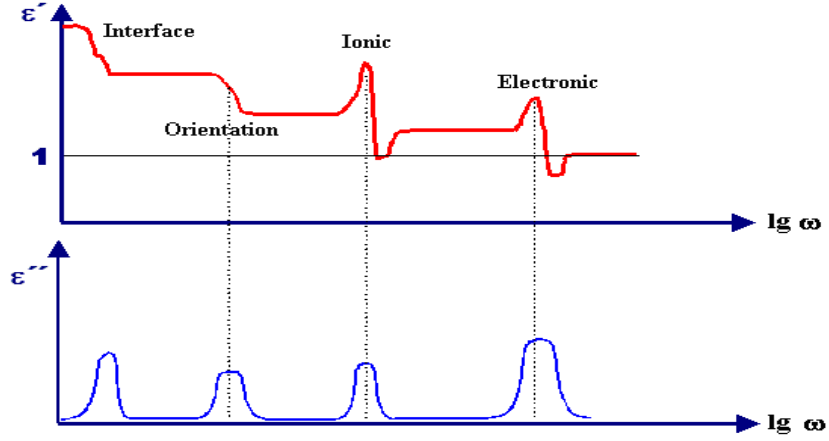


Şekil 2.2.5 Yönelimli kutuplanma gösteren izopropil alkolün ölçümü

Tek bir durulma zamanına sahip olan maddeler, geçirgenliğin frekansa karşı karakteristik tepkisinin yukarıdaki şekilde olduğu gibi olduğu Debye ilişkisi ile modellenebilir. ϵ_r' durulma frekansının yakınlarında oluşan bir geçişe sahiptir ve durulmanın yukarısında ve altında sabittir. ϵ_r'' ise durulmanın yukarısında ve altında küçük olup, geçiş bölgesinde (durulma frekansında) pik oluşturur.

2.3 KUTUPLANMA ÇEŞİTLERİ

Kutuplanma, üç farklı dielektrik mekanizmadan oluşur. Bunlar; elektronik(Electronic), yönelimli(Orientation), arayüzeysel(Interface) ve iyonik(Ionic) kutuplanmadır. Bu kutuplanmaların frekans aralığı şekil 2.3.1 deki gibidir.

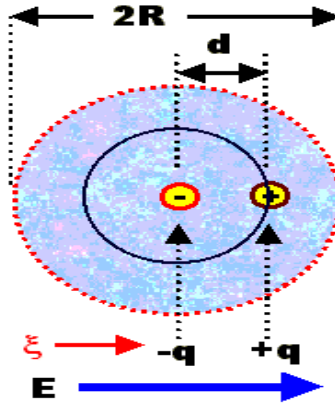


Şekil 2.3.1 Dielektrik mekanizmalarının frekans karşılıkları

Bu mekanizmalar arayüzeysel hariç olmak üzere aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1 Elektronik Kutuplanma

Bu kutuplanmaya atomik kutuplanma da denir. Çekirdeğin etrafındaki elektronlarla ilgili olarak bir elektrik alanının yer değiştirmesiyle nötr atomlardan meydana gelir. Elektriksel söylemde madde, negatif elektron bulutlarıyla çevrilen pozitif atomik çekirdeklerden oluşur. Bu kutuplanmayı anlamak için atom mükemmel küresel yapı içinde düşünülür.



Şekil 2.3.1.1 Elektronik kutuplanmanın atomik gösterimi.

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (2.3.1.1)$$

Hacminde $+ze$ ve $-ze$ yüklerinin dağılımı söz konusudur. R burada atomun yarıçapıdır.

Elektronların yük yoğunluğu bu durumda;

$$\rho = -\frac{3ze}{4\pi R^3} \quad (2.3.1.2)$$

E elektrik alanı altında yüklere etki eden kuvvet;

$$\vec{F}_1 = ze \vec{E} \quad \text{ile verilir.} \quad (2.3.1.3)$$

Bunun yanında pozitif ve negatif yükler arasında elektrostatik çekici kuvvette vardır. q_c çekirdek yükü, q_e de çekirdekten d kadar uzaktaki elektronların yükü olmak üzere bu kuvvet:

$$\vec{F}_2 = \frac{q_c q_e}{4\pi \epsilon_0 d^2}. \quad (2.3.1.4)$$

d uzaklığındaki elektron yükü ise,

$$q_e = ze \frac{\frac{4}{3} \pi d^3}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{zed^3}{R^3} \quad (2.3.1.5)$$

ile verilir. Bu durumda \vec{F}_2 kuvvetini tekrar yazarsak,

$$\vec{F}_2 = \frac{(ze)^2}{4\pi \epsilon_0 R^3} d \quad (2.3.1.6)$$

\vec{F}_1 ve \vec{F}_2 kuvvetleri d_E gibi bir mesafede denge durumunda olduğundan:

$$\vec{d}_E = \frac{4\pi \epsilon_0 R^3 \vec{E}}{ze}. \quad (2.3.1.7)$$

Bu durumda dipol moment $\vec{\mu}$,

$$\vec{\mu} = ze \vec{d}_E = 4\pi \epsilon_0 R^3 \vec{E} \quad (2.3.1.8)$$

ile verilir.

Dipol momentin birim hacimdeki dipol yoğunluğu N ile çarpımı ise bizi polarizasyon eşitliğine götürür:

$$\vec{P} = 4\pi N \epsilon_0 R^3 \vec{E}. \quad (2.3.1.9)$$

$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$ olduğundan, χ dielektrik alınganlık parametresi atomik polarizasyon için,

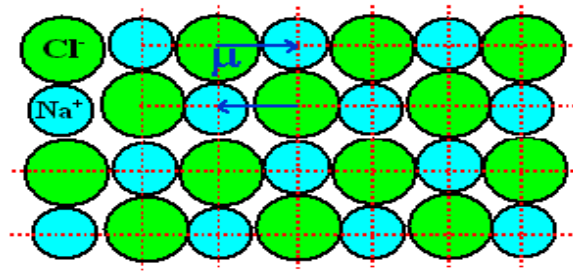
$\chi=4\pi N R^3$ olur. Görüldüğü üzere bu parametre maddedeki atom yoğunluğu ve atom yarıçapına bağlıdır.

Yukarıdaki tüm eşitlikler atomun mükemmel olarak küre olduğu durumda geçerli olmaktadır. Fakat atomlarda bu sadece bir yaklaşımdır. Atomlar kusursuz olarak küre şeklinde değildir.

Bir dış elektrik alanın uygulanmasıyla, indüklenmiş dipol momentler sonucu ve materyallerin elektronik kutuplanması diye adlandırılan nedenden elektronlar çekirdeklere göre yer değiştirir. Elektronik kutuplanma bir atom çekirdeğini çevreleyen elektron bulutlarının yer değiştirmesiyle meydana gelir. Böyle yer değiştirmeler mor ötesi ve görünür bölge frekansında oluşur.

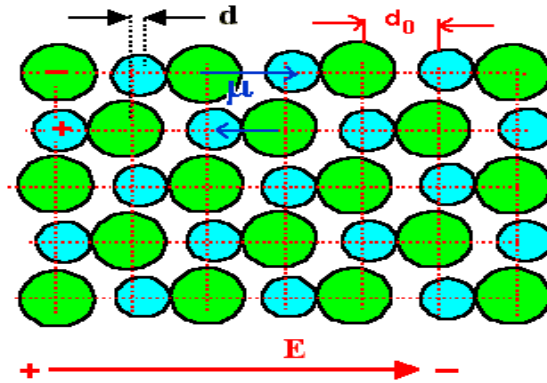
2.3.2 İyonik Kutuplanma

İyonik bir kristal olan $NaCl$ 'yi düşünürsek, Şekil 2.3.2.1 den de görüldüğü gibi her bir



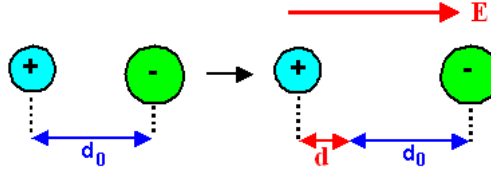
Şekil 2.3.2.1 NaCl kristalinde kutuplanma gösterimi

Na^+ ve Cl^- iyon çiftleri doğal bir dipol oluşturur. Verilen bir hacimde toplam polarizasyon şu durumda sıfırdır. Çünkü oluşan dipol momentler eşit büyüklükte fakat zıt yönlüdür. Dipollerin dönme durumu da yoktur. Dış bir elektrik alan uygulandığında durum Şekil 2.3.2.2 deki gibi olur.



Şekil 2.3.2.2 Dış elektrik alan altında NaCl'nin kutuplanma gösterimi

İyonlar ters yönlü olmak üzere elektriksel kuvvet altında kalırlar. Na^+ çok az sağa ve Cl^- iyonlarında çok az sola doğru hareket eder. Bu durumda net dipol momentini oluşturur. Yani artık polarizasyon sıfırdan farklıdır. Tek bir dipol için dipol momentini Şekil 2.3.2.3 deki gibi olur.



Şekil 2.3.2.3 Dış elektrik alan altında tek dipolün değişimi

d' nin artmasına sebep olan elektrostatik \vec{F}_1 kuvveti q net iyon yükü olmak üzere,

$$\vec{F}_1 = q\vec{E} \quad (2.3.2.1)$$

ile verilir.

Bağlanmadan kaynaklanan düzenleyici \vec{F}_2 kuvveti bağ potansiyelinin türevine eşittir. d 'nin bağ denge uzunluğu l 'den çok küçük olduğu varsayılırsa,

$$\vec{F}_2 = k_{lp} \vec{d} \quad (2.3.2.2)$$

ile verilir.

Burada k_{lp} , bağ yapısından hesaplanabilen bir sabittir ve young modülü Y ile ifade edilebilir. d_o , atomlar arasındaki denge uzaklığı olmak üzere, $k_{lp} = Y d_o$ dir.

İyonik denge durumunda $\vec{F}_1 - \vec{F}_2 = 0$ olduğundan,

$$\vec{d} = \frac{q\vec{E}}{Yd_o} \quad (2.3.2.3)$$

eşitliği ile verilir.

Bu eşitliklerden sonra dipol moment $\vec{\mu}$ ve Polarizasyon \vec{P} ;

$$\vec{\mu} = \frac{q^2\vec{E}}{Yd_o}, \quad (2.3.2.4)$$

$$\vec{P} = \frac{Nq^2\vec{E}}{Yd_o} \quad (2.3.2.5)$$

eşitlikleri ile verilir. Bu eşitlikler bazı yaklaşımlarla çıkan eşitlikler olup yaklaşıktır. Örneğin CaF_2 kristalinde iyonlar farklı miktarlarda yük taşırlar. Elektrik alanın kristal eksenine paralel olmadığı durumlarda (Polikristaller) μ dipol momentinin bileşenleri ile çözüme gidilir.

Düşük frekanslarda iyonik iletim en etkili mekanizmadır. İyonik iletim sadece bir sistemin içerisindeki kayıpları ifade eder. Uzak yükü kutuplanması ise bir madde elemanından daha fazlası olduğunda veya birbirine zıt kimyasal diziler içeren bir maddede farklı oluşumlar olduğunda ve bu heterojen sistemlerin ara yüzeylerinde yük taşıyıcıları engellendiğinde meydana gelir. Bu yüklerin artışının neden olduğu birikmeden dolayı elektrik alanın bozulması maddenin tüm sığasının artmasına neden olur.

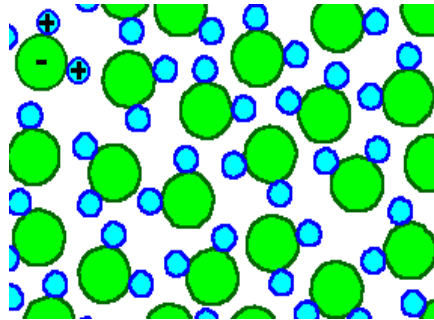
Dielektrik durulma sonuç olarak $10^2 - 10^{10}$ Hz frekans aralığında değişen elektrik alandan kaynaklanan elektrik yüklerinin veya dipollerin bir hareketidir. Bu mekanizma 10^{12} Hz' den büyük frekanslara sahip moleküler titreşimler veya elektronik geçişler ile karşılaştırıldığında nispeten yavaş bir süreçtir. Denge eldesinde, yönelim için uygulanan elektrik alandan sonra yeterince zaman verilirse, sadece maksimum kutuplanma veya bir maddede gerçekleşen ve en yüksek görülebilecek dielektrik sabiti elde edilecektir. Eğer zaman verilirse gözlenen dielektrik sabiti durgun dielektrik sabitidir. (ϵ_s). Eğer alan uygulanmasından sonra dipol yönelimi için zaman verilmeden hemen kutuplanma ölçülür ise, anlık dielektrik sabiti (ϵ_{inf}) gözlenir [Keleş, 2006]. Durulma zamanı bu iki uç arasında her hangi bir yerde meydana gelir. Enerji soğurma süreci için durulma zamanı,

$$\tau = [2\pi f_{max}]^{-1} \quad (2.3.2.6)$$

şeklinde verilir.

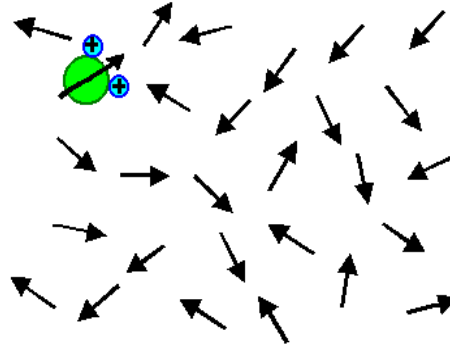
2.3.3 Yönelimli Kutuplanma

Bu tür kutuplanmada birbirlerinden bağımsız hareket edebilen ve serbestçe dönebilen dipollerden bahsedilir. Örnek olarak su (H_2O) gösterilebilir. Her bir su molekülü küçük bir dipol gibi davranır. Bu dipollerin yönelimi tamamen rastgeledir. Moleküllerin hareketli olmasından dolayı yönelimler her zaman değişir (Şekil 2.3.3.1).



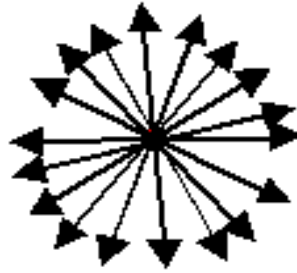
Şekil 2.3.3.1 Suyun şematik dipol gösterimi

Şekildeki moleküller aynı düzlem üzerinde değildirler. Her bir molekül doğal dipol moment taşımaktadır. Bu iki boyutta aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 2.3.3.2).



Şekil 2.3.3.2 İki boyutta dipol momentlerin gösterimi

Su molekülünde atomlar farklı yük merkezlerine sahiptir. Oluşan dipol momentler sabit uzunluktadır. Toplam dipol moment her bir dipol momentin vektörel toplamına eşittir. Suyun gözlenebilir miktarında yaklaşık 10^{20} dipol olduğu düşünülürse, rastgele yönelim şekil 2.3.3.3 deki gibi düşünülebilir. Rastgele yönelimde toplam dipol momenti sıfırdır. Dipol moment vektörleri aynı merkezden çıkıyormuş gibi düşünülür.



Şekil 2.3.3.3 İki boyutta dipol momentlerin rastgele yönelimi.

Dış elektrik alan E uygulandığında dipoller bu alan içinde enerjilerini minimum yapacak şekilde yönelimde bulunurlar. Bu doğal dipollerin yönelimi ile yüksek polarizasyon oluşur. Bu yönelimde dipollerin çarpışmalarından kaynaklanan kT termal enerjisi söz konusudur. Bunun yanında dipollerin dönme ve ötelenme hareketleri de vardır. Bu sebeplerden dolayı bir düzensizlik söz konusudur. Dipol yönelimlerinin mükemmel düzende olabilmeleri için sıcaklığın düşük tutulması gerekmektedir. Bu kutuplanmanın ayrıntısında termodinamik kanunlar yatmaktadır.

Bir molekülün atomlarının elektronları dengesiz paylaşımı, sürekli bir dipol momente sebep olur. Dış elektrik alanın yokluğunda bu momentler rasgele bir dizi şeklinde yönelirler. Hatta net kutuplanma mevcut değildir. Dış elektrik alan varken elektrik alanın etrafında bir sıra şeklinde dönen dipoller yönelimli kutuplanma meydana getirirler [Tsangaris ve ark., 1998].

3. METOD

3.1 DİELEKTRİK PARAMETRE DENKLEMLERİ

3.1.1 Debye Denklemi

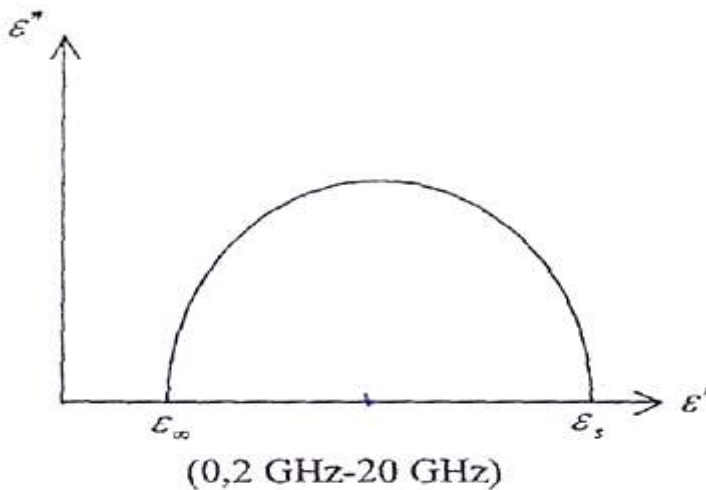
Tek durulma zamanlı bir dielektrik için kompleks geçirgenlik, Debye eşitliği ile;

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau} \quad (3.1.1.1)$$

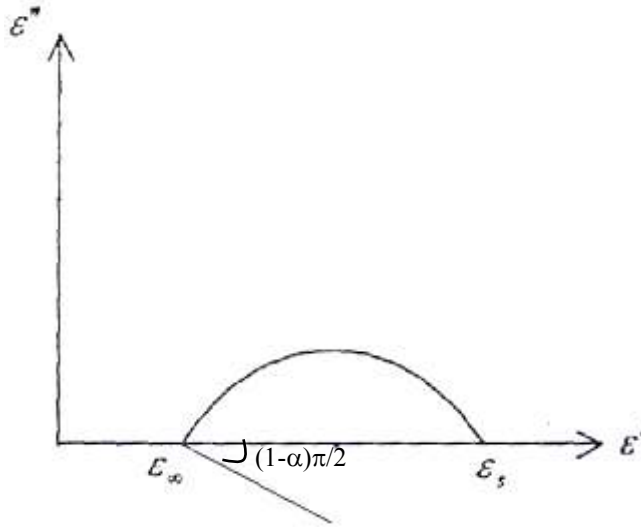
şeklinde ifade edilir [Debye, 1929]. Burada $\omega \rightarrow 0$ iken ε_s ve $\omega \rightarrow \infty$ iken ε_∞ değerleri reel geçirgenliğin limit değerleridir.

3.1.2 Cole – Cole Denklemi

Debye ilişkisini gösteren tek bir durulma frekansına sahip bir madde için merkezi yatay $\varepsilon' = 0$ ekseninde olan ve kayıp faktörü pikinin ise $1/\tau$ da olduğu bir yarım daire meydana getirir (Şekil 3.1.2.1). Kompleks geçirgenlik, ε'' sanal kısmının düşey ekseninde, ε' reel kısmının ise yatay ekseninde bağımsız parametre olarak frekansa göre çizildiği bir diyagram üzerinde gösterilebilir. Bu diyagrama Cole–Cole diyagramı adı verilir. Cole–Cole diyagramı, sistemin tek bir durulma zamanına sahip olup olmadığını anlaşılmasını sağlar. Bu şekil, dağılım fonksiyonunun farklı tiplerinin tanımlanması için de kullanışlıdır ve geniş bir uygulama alanına sahiptir. Çoklu durulma frekansına sahip bir malzeme içinse, merkezi $\varepsilon' = 0$ ekseninin altında kalan bir yarım daire (simetrik dağılım) veya bir yay oluşturur [Daniel, 1967] (Şekil 3.1.2.2).



Şekil 3.1.2.1 İsopropil alkolün ölçümünün Cole-Cole diyagramı



Şekil 3.1.2.2 Cole – Cole modelinin şematik çizimi

Tek durulma zamanlı bir dielektrik için bu şekillenim $\varepsilon' = (\varepsilon_s + \varepsilon_\infty)/2$ ' de ε' ekseninde merkezi olan ve yarıçapı $\varepsilon' = (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)/2$ olan bir yarım daire şeklindedir. $\omega_{\max}\tau = 1$ iken $\varepsilon'' = (\varepsilon_s + \varepsilon_\infty)/2$ değerinde ε'' en yüksek değerini alır.

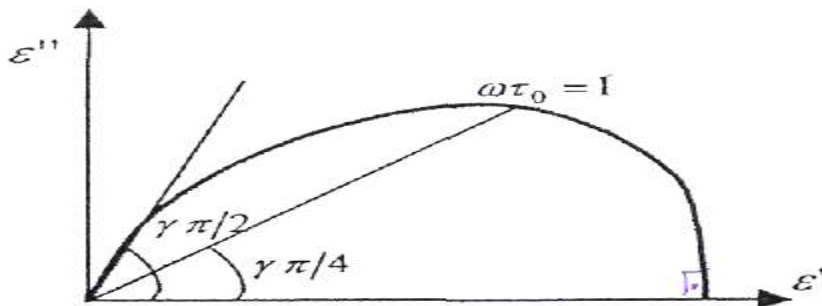
Cole–Cole kompleks düzlemde yay şekli ile Debye dielektrik ifadesini genelleştirmiş, hatta bunu durulma zamanı dağılımlarının belirli bir tipine uygulamıştır. Bu ifadedeki kompleks geçirgenlik,

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad 0 \leq \alpha < 1 \quad (3.1.2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlik durulma zamanı dağılım fonksiyonunun simetrik genişlemesini niteler [Cole ve Cole, 1941].

3.1.3 Cole – Davidson Denklemi

Bu eşitlik, durulma zamanlı dağılım fonksiyonunun asimetrik genişlemesini niteler. Yay, düşük frekanslarda daireseldir fakat yüksek frekanslarda düz bir çizgi boyunca yatay eksene (ε') yaklaşır. Bu çizgi ile ε' eksenindeki açı $\gamma\pi/2$ ' dir (Şekil 3.1.3.1).



Şekil 3.1.3.1 Cole – Davidson modelinin şematik çizimi

Bu ifadedeki kompleks geçirgenlik ise,

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + (i\omega\tau))^\gamma} \quad 0 < \gamma \leq 1 \quad (3.1.3.1)$$

şeklinde verilir. Çarpık bir yay meydana getiren bu eşitlik, Cole–Davidson tarafından ortaya atılmıştır [Davidson ve Cole, 1950].

3.1.4 Havriliak–Negami Denklemi

Bu denklem, Cole – Cole ve Cole –Davidson eşitliklerinin bir kombinasyonunu ortaya koyar;

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha})^\gamma} \quad (3.1.4.1)$$

Bu denklem, dielektrik durulma süreçlerinde Cole – Cole, Cole – Davidson ya da her ikisinin de birden etkili olup olmadığını belirler. Bir başka deyişle $\alpha \neq 0, \gamma=1$ için Cole – Cole tipi süreci, $\alpha=0, \gamma \neq 1$ Cole – Davidson tipi süreci, $\alpha \neq 0, \gamma \neq 1$ ise her iki tip sürecinde etkili olduğunu gösterir [Havriliak ve Negami, 1966].

3.1.5 Dielektriklerde İletkenlik Etki Denklemi

Durulma süreçlerini belirleyen yukarıdaki denklemlerin (Debye, Cole-Cole, Cole-Davidson, Havriliak Negami) hepsi, dipol yöneliminden kaynaklanan süreçleri tasvir etmekte olup, sistemin, σ iletkenliği sıfır kabul edilmektedir. Dielektrik materyaller, özellikle de kil ve polimerlerde, bir alternatif elektrik alana maruz kaldıkları zaman durulma olayları görülebilir. Elektronik ve atomik durulmalar zayıf dipollerin çok hızlı titreşimiyle ilgilidir ve sadece yüksek frekanslarda ($>10^{10}$ Hz) ölçülebilirler. Heterojen sistemler için dielektrik materyalde ilave bir durulma mevcut olabilir. Bu durulma, belirli bir işleme tabi tutulan safhalarda var olan ve artık maddede hareketsiz olan serbest yüklerin bulunmasından kaynaklanır. Ortamın bir takım iletkenliğinin belirlenmesinde yeterince yüksek sıcaklıklar için bu yükler uygulanan elektrik alanda hareket edebilirler. Bu yükler farklı iletkenlik ve geçirgenlikli iki ortam arasındaki ara yüzeyde bloklanmışlardır. Uygulanan dış gerilimin frekansına bağlı olarak bir ara yüzeyel yada Maxwell–Wagner–Sillars (MWS) durulması meydana gelebilir. Bu çok katmanlı sistemlerin sonucu olabilir. MWS durulmasının ortaya çıktığı frekans, materyalin iletken ve yalıtkan kısımlarının iletkenliklerinin ve geçirgenliklerinin değerleriyle bağlantılıdır.

MWS etkisi adı verilen ara yüzeyel kutuplanma, iki veya daha çok fazdan oluşan heterojen sistemlerde gözlenir. Bileşenlerin iletkenlikleri ve geçirgenliklerindeki farkın bir

sonucu olarak, makroskobik ara yüzeylerde uzay–yükü birikmesi meydana gelir. Yüklerin birikmesi, bağıl yük taşıyıcılarının yer değiştirmesi veya yönelim alması ile oluşan diğer kutuplanma türlerinin (atomik, elektronik, yönelimli) tersine elektrik alanını değiştirir.

Aşağıda belirtilen Bona ve arkadaşları tarafından ileri sürülen, Havriliak Negami denkleminde, iletkenliği açısız frekansa bağlayan kuvvet yasası etkisi eklenerek elde edilen geçirgenlik ifadesi

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{(1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha})^\gamma} - \frac{\sigma(i\omega)^{n-1}}{\varepsilon_0} \quad (3.1.5.1)$$

şeklinde. Bu denklemde eşitliğin sağ tarafındaki ilk iki terim Havriliak–Negami denklemidir. Ancak son terim, iletkenliği frekansa bağlayan kuvvet yasasıdır. Denklemde kullanılan σ ifadesi sistemin iletkenlik değeridir [Bona ve ark., 2001].

Birbirleriyle temas halinde olmayan (iletken olmayan bölgelerin birbirinden ayırdığı) elektriksel olarak iletken bölgelere sahip olan maddelerin karışımları, düşük frekanslarda MWS etkisini gösterir. Yük tabakaları ince ve parçacık boyutlarından çok daha küçük ise bir yük, yakın parçacıklar üzerindeki yükten bağımsız olarak tepki gösterir. Düşük frekanslarda yüklerin, ε_r' ' nün artmasına neden olan iletken bölgelerin sınırlarında toplanması için yeterli zamanı vardır. Daha yüksek frekanslarda, yüklerin birikmeye zamanı yoktur ve yük yer değiştirmesi, iletken bölgenin boyutlarına göre küçük olduğundan kutuplanma oluşmaz. Frekans artarken, ε_r' ' de azalır ve kayıplar, normal iyonik iletimdeki gibi aynı $1/f$ eğimini gösterir.

3.2 ELEKTRİK MODÜLÜ FORMALİZMİ

Kompleks geçirgenlik $\varepsilon^*(\omega)$, kompleks elektrik modülü $M^*(\omega)$, kompleks empedans Z^* gibi farklı formalizmler dielektrik spektrumu yorumlamak için keşfedilmiştir. $M^*(\omega)$ formalizminin en önemli avantajı elektrot etkisinin ortadan kaldırılabilmesidir.

$\varepsilon''(\omega)$ ' nın σ (iletkenlik) ile orantılı olduğu basit dc-iletkenliğinin etkilerinin $M''(\omega)$ ' daki Debye tipi pike çevrildiği $M^* = 1/\varepsilon^*$ dielektrik modülünü türetmek pratik hale gelmektedir. $\varepsilon''(\omega)$ ' dan $M''(\omega)$ 'ya geçerken ortaya çıkan beklenmedik olası değişimler basitce $M^* \varepsilon^* = 1$ bağıntısına giren hem gerçek hem de sanal kısımdan oluşan bir durumdur [Ranko ve Hermann, 1998].

Saf maddelerin çok düşük frekansta dielektrik geçirgenlikleri bulunur. Bu geçirgenlikler, orta ve yüksek frekanslarda ölçülen Cole –Cole şeklinin ekstrapolasyonundan elde edilen dipol geçirgenliklerinden daha yüksektir. Killer, polimerler ve kompozit polimerik

malzemelerde bu sistemleri heterojen hale getiren katkıların, dolguların ve hatta safsızlıkların bulunması nedeniyle arayüzeysel kutuplanma daima vardır. Genel olarak iletken katkılı sistemlerde arayüzeysel kutuplanma, iletkenlikten dolayı belirsizleşir. Yüksek olabilen dielektrik geçirgenlik ve iletkenlik yüzünden ara yüzeysel durulma görülmeyebilir. Mc Crum ve arkadaşları tarafından ortaya atılan "elektrik modülü" formalizmi ile bu zorluğun üstesinden gelebilmektedir[McCrum ve ark., 1967]. Elektrik modülü kullanmanın diğer bir avantajı da düşük frekanslardaki iletkenlik ve geçirgenliği büyük değerlerindeki değişiklikleri en aza indirmesidir.

Kompleks modüler elektrik modülü veya ters kompleks geçirgenlik, (M^*) aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$M^* = \frac{1}{\varepsilon^*} = \frac{1}{\varepsilon' - i\varepsilon''} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + i \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} = M^1 + iM^2 \quad (3.2.1)$$

Burada M^1 reel ve M^2 sanal elektrik modülleridir. Bu ifadede $\omega \rightarrow 0$ iken M^1 'nün değeri M_s , $\omega \rightarrow \infty$ iken M_∞ olarak alınır bu ifade

$$M_s = \frac{1}{\varepsilon_s}, M_\infty = \frac{1}{\varepsilon_\infty} \quad (3.2.2)$$

şeklinde yazabiliriz. Elektrik modülü formalizmine göre durulma süreçlerini (Debye, Cole – Cole, Cole – Davidson, Havriliak – Negami ve MWS (arayüzeysel) yazabiliriz.

3.2.1 MWS Eşitlikleri

Geçirgenlik modunda tanımlanmış olan denk.(3.5.1)'in tersi alınarak, kompleks elektrik modülü aşağıdaki şekilde bulunmuştur. Basitlik açısından burada bu ifadenin sadeleştirilmiş alınmıştır[Küçükçelebi ve ark., 2005].

$$M^* = \frac{M_\infty M_s}{M_s + (M_\infty - M_s)(1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha})^{-\gamma}} - \frac{\sigma(i\omega)^{n-1} M_s M_\infty}{\varepsilon_0} \quad (3.2.1.1)$$

Bu kompleks ifade reel ve sanal kısımlarına ayrılır [Küçükçelebi ve ark, 2005]:

$$M^* = M^1 + iM^2. \quad (3.2.1.2)$$

$$A = \sqrt{1 + 2(\omega\tau)^{1-\alpha} \sin(\pi\alpha/2) + (\omega\tau)^{2(1-\alpha)}}$$

$$\phi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{(\omega\tau)^{1-\alpha} \cos(\pi\alpha/2)}{1 + (\omega\tau)^{1-\alpha} \sin(\pi\alpha/2)} \right)$$

$$\begin{aligned}
\text{payda} &= M_S M_\infty e_O \sigma \omega^{n+1} \left(M_S A^\gamma + (M_\infty - M_S) A^{\frac{\gamma}{2}} \cos(\gamma\phi) \right) \sin(\pi/2) \\
&\quad - 2M_S M_\infty \sigma e_O \omega^{n+1} (M_\infty - M_S) \sin(\gamma\phi) \cos(\pi/2) + M_S^2 (\sigma^2 \omega^{2n} M_\infty^2 + e_O^2 \omega^2) A^\gamma \\
&\quad + 2(M_\infty - M_S) e_O^2 \omega^2 \left(\frac{M_\infty - M_S}{2} + M_S A^{\frac{\gamma}{2}} \cos(\gamma\phi) \right)
\end{aligned}$$

olmak üzere,

$$M^1 = \frac{M_S M_\infty e_O \omega \left[e_O \omega \left(M_S A^\gamma + (M_\infty - M_S) A^{\frac{\gamma}{2}} \cos(\gamma\phi) \right) - M_S M_\infty \omega^n \sigma A^\gamma \sin(\gamma\phi) \right]}{\text{payda}} \quad (3.2.1.3)$$

$$M^2 = \frac{M_S M_\infty e_O \omega \left[(M_\infty - M_S) e_O \omega A^{\frac{\gamma}{2}} \sin(\gamma\phi) - M_S M_\infty A^\gamma \sigma \omega^n \cos(\pi/2) \right]}{\text{payda}} \quad (3.2.1.4)$$

Bu sayede dielektrik parametreler ($M_\infty, M_S, \alpha, \gamma, n, \tau, \sigma$) belirlenebilir [Tsangaris et al., 1998]. Bu parametrelerin bulunması, bu kompleksin dielektrik yapısı hakkında bilgi verecektir.

3.2.2 Dielektrik parametrelerin belirlenmesi

İncelenen örneğin dielektrik parametrelerinin ($M_\infty, M_S, \alpha, \gamma, n, \tau, \sigma$) belirlenmesi amacıyla, lineer olmayan χ -kare testi uygulanmıştır. Bu yöntemde, deneysel olarak elde edilen (ω_i, M_i^1) ve (ω_i, M_i^2) veri çiftlerine sırasıyla (3.2.1.3) ve (3.2.1.4) deki denklemleri uydurularak en iyi uyumu sağlayan parametreler belirlenir [Zengin, 2006].

3.2.3 Ki-kare Testi

Deneysel olarak elde edilen (ω_i, M_i^1) ve (ω_i, M_i^2) ($i=1, \dots, M$) M adet veri çifti için, sırasıyla $M_1(\omega_i, a_k)$ ve $M_2(\omega_i, a_k)$ ($k=1, \dots, N$) değişken a_k parametrelili teorik bağıntılar tanımlanır. Bu çalışmada, $a_1 = M_S$, $a_2 = M_\infty$, $a_3 = \gamma$, $a_4 = n$, $a_5 = \sigma$, $a_6 = \alpha$ ve $a_7 = \tau$ değişken eşlemesi yapılmış olup bilinmeyen parametre sayısı $N=7$ dir. Bu parametrelerin alabilecekleri alt ve üst sınırları da dikkate alınarak, beklenen değerlerine uygun (mümkünse en yakın) başlangıç değerleri verilir. Bu değerler için teorik $M_1(\omega_i, a_k)$ (3.2.1.3) ve $M_2(\omega_i, a_k)$ (3.2.1.4) bağıntıları ve deneysel (ω_i, M_i^1) ve (ω_i, M_i^2) verileri kullanılarak,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^M \left\{ [M_i^1 - M_1(\omega_i, a_k)]^2 + [M_i^2 - M_2(\omega_i, a_k)]^2 \right\} \quad (k=1, \dots, N) \quad (3.2.3.1)$$

hesaplanır.

Her i . nokta için hesaplanan (teorik) ve deneysel değerler arasındaki farkların karelerinin bütün veri çiftleri için ($i=1, \dots, M$) toplamı $\chi^2 \cong 0$ olduğunda en iyi uyum elde edilmiş olur. Bu koşulu sağlayan a_k parametreleri de gerçek yapının belirtgenleri olurlar. $\chi^2 \cong 0$ koşulunun sağlanması için, χ^2 nin a_k lara göre kısmi türevi alınır;

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a_k} = -2 \sum_{i=1}^M \left\{ [M_i^1 - M_1(\omega_i, a_k)] \frac{\partial M_1(\omega_i, a_k)}{\partial a_k} + [M_i^2 - M_2(\omega_i, a_k)] \frac{\partial M_2(\omega_i, a_k)}{\partial a_k} \right\} \quad (3.2.3.2)$$

Bu ifade de, her i . nokta için deneysel ve teorik bağıntı arasındaki farkları (residual) sırasıyla reel ve sanal kısımlar için,

$$\chi_1^i = [M_i^1 - M_1(\omega_i, a_k)], \quad \chi_2^i = [M_i^2 - M_2(\omega_i, a_k)] \quad (i=1, \dots, M)$$

şeklinde tanımlayabiliriz. Burada, χ_1^i ve χ_2^i birer M boyutlu vektördür.

Benzer şekilde, her iki kısım için Jacobien matrisleri de,

$$A_1^{i,k} = \frac{\partial M_1(\omega_i, a_k)}{\partial a_k}, \quad A_2^{i,k} = \frac{\partial M_2(\omega_i, a_k)}{\partial a_k} \quad (i=1, \dots, M; k=1, \dots, N)$$

şeklinde tanımlarsak, Jacobien matrislerin transpozlarını alarak,

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a_k} = -2 \sum_{i=1}^M \{ A_1^{k,i} \chi_1^i + A_2^{k,i} \chi_2^i \} \quad (k=1, \dots, N) \quad (3.2.3.3)$$

ifadesi daha da basitleştirilmiş olur. Bu bağıntı da, N boyutlu bir vektördür.

Denk.(3.2.3.2) nin parametrelere göre bir kez daha kısmi türevi alınırsa,

$$\frac{\partial^2 \chi^2}{\partial a_l \partial a_k} \cong 2 \sum_{i=1}^M \left\{ \frac{\partial M_1(\omega_i, a_l)}{\partial a_l} \frac{\partial M_1(\omega_i, a_k)}{\partial a_k} + \frac{\partial M_2(\omega_i, a_l)}{\partial a_l} \frac{\partial M_2(\omega_i, a_k)}{\partial a_k} + O^2 \right\} \quad (3.2.3.4)$$

elde edilir. Burada, O^2 ikinci mertebeye kısmi türevleri içermekte olup, çoğunlukla ihmal edilirler. Bu bağıntıyı, yukarıda tanımlanan Jacobien matrisler ve transpozları cinsinden daha da kısaltarak,

$$\frac{\partial^2 \chi^2}{\partial a_l \partial a_k} \cong 2 \sum_{i=1}^M [A_1^{k,i} A_1^{i,l} + A_2^{k,i} A_2^{i,l}] \quad (l=1, \dots, N; k=1, \dots, N) \quad (3.2.3.5)$$

şeklinde yeniden düzenleyebiliriz. Elde edilen, simetrik ve pozitif tanımlı bu matrise, Hessian matris adı verilir. (3.2.3.3) ve (3.2.3.5) bağıntılarından yararlanarak,

$$H_{l,k} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \chi^2}{\partial a_l \partial a_k} = \sum_{i=1}^M [A_1^{k,i} A_1^{i,l} + A_2^{k,i} A_2^{i,l}] \quad (l=1, \dots, N; k=1, \dots, N) \quad (3.2.3.6)$$

$$b_l = -\frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial a_l} = \sum_{i=1}^M \{A_1^{l,i} \chi_1^i + A_2^{l,i} \chi_2^i\} \quad (l=1, \dots, N) \quad (3.2.3.7)$$

yazılabilir. Böylece N bilinmeyenli, lineer bağımsız N tane denklem sistemi,

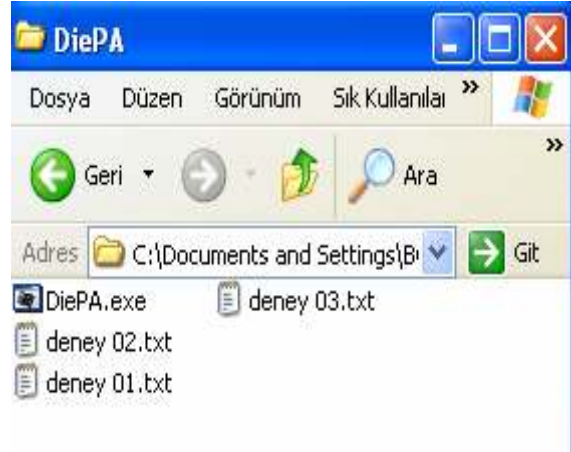
$$\sum_{k=1}^N H_{l,k} \delta a_k = b_l \quad (l=1, \dots, N) \quad (3.2.3.8)$$

şeklinde tanımlanır. Bu denklem sistemi çözülerek, başlangıç değeri verilen a_k parametrelerindeki değişme miktarları $\delta a_k = a_k^{yeni} - a_k^{eski}$ bulunur. Böylece birinci adımda yeni parametreler $a_k^{yeni} = a_k^{eski} + \delta a_k$ şeklinde olacaktır. Tekrarlı (iteratif) olan bu çözüm sisteminde, elde edilen yeni parametreler, Denk.(3.2.3.1) de tanımlanan $\chi^2 \leq \varepsilon$ oluncaya kadar, şimdiye kadar tanımladığımız bütün bağıntılarda yerine konur. Burada ε , bizim belirleyeceğimiz çok küçük bir sayı olup, uyum ölçütü olarak tanımlanır. Bu ölçüt sağlandığında, belirlenen parametreler, gerçek yapının belirtgenleri olurlar [Zengin, 2006].

Bu çalışma, enküçük kareler yöntemi olarak ta bilinen ve teorisi yukarıda kısaca açıklanan χ^2 testi ile parametrelerimizi belirlemek amacıyla, C++ Builder yazılım dilinde hazırlanmış bir programdır [Karagülle ve Pala, 2001]. Bu programda, ayrıntıları burada verilmeyecek olan Levenberg-Marquardt yakınsama algoritması kullanılmıştır.

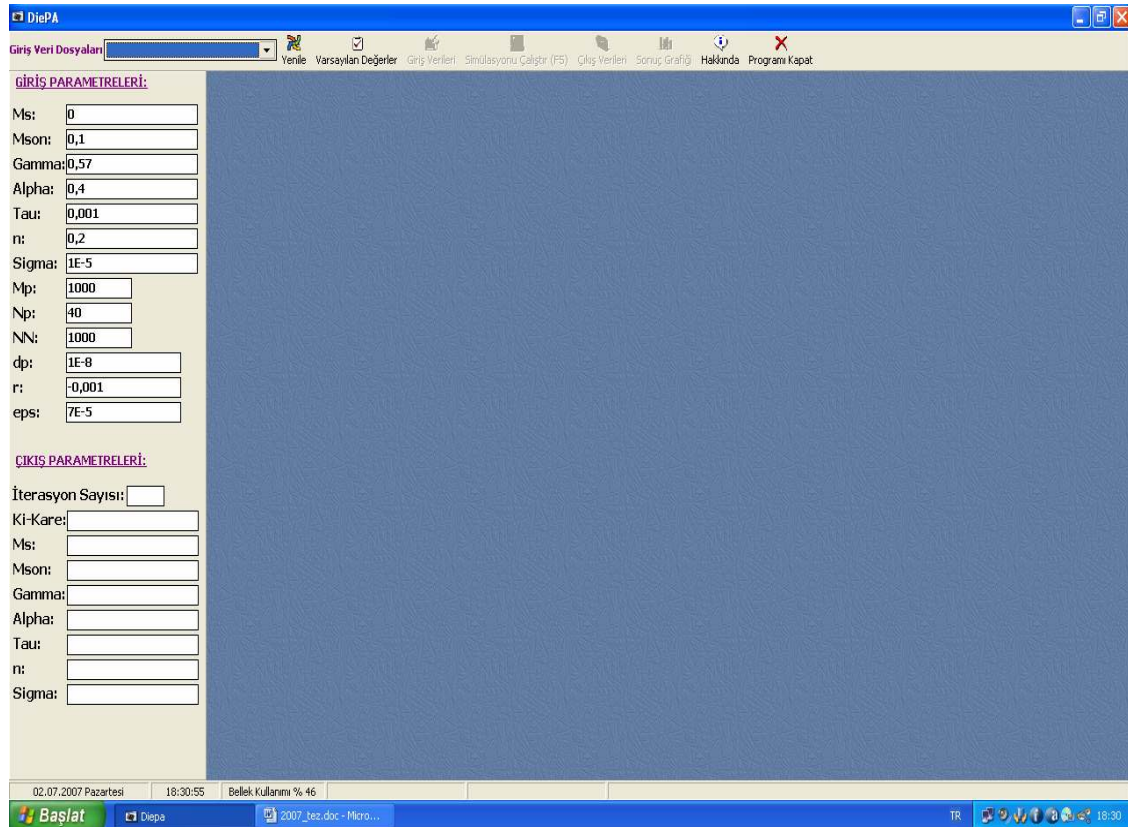
4. PROGRAMIN ÇALIŞMASI

DiePa.exe uygulama programı ve txt uzantılı deneysel veri dosyalarının herhangi bir klasör içinde olması durumunda, program çalışmaya hazır konumdadır (Şekil 4.1).



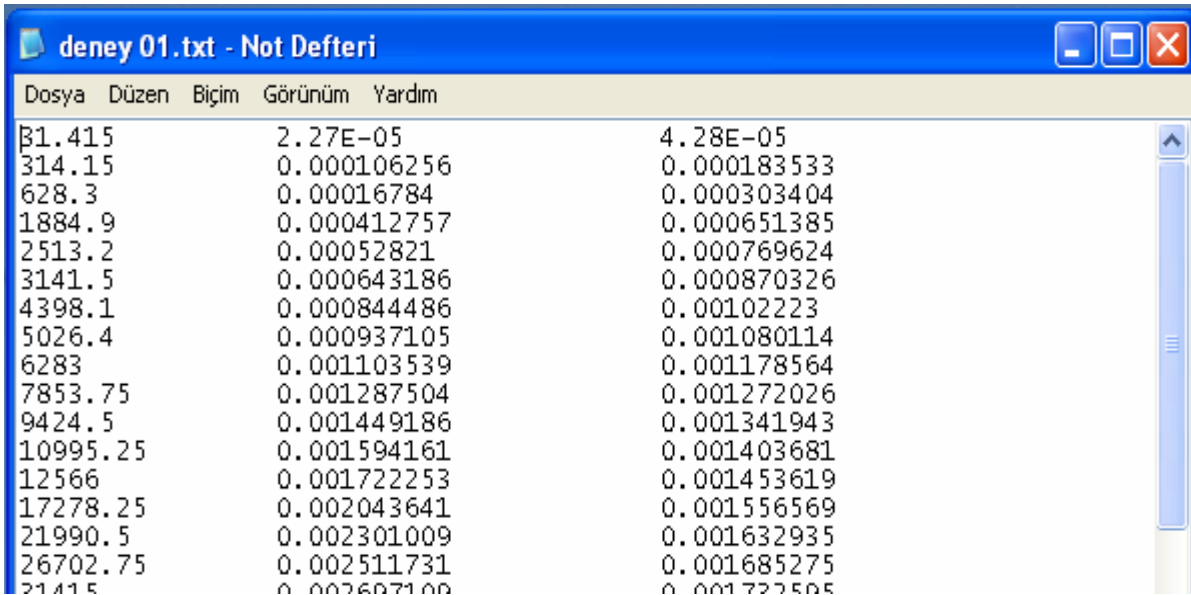
Şekil 4.1. DiePa programı ve veri dosyaları

Programın kaynak kodu, 1 ana program ve 7 alt programdan oluşmaktadır. Matematiksel ifadeleri tanımlayan program kaynak kodları tezin sonunda ek kısmında verilmiştir. Program çalıştırıldığında genel görünüm aşağıdaki gibidir. Mavi bölge grafik çizim alanıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. DiePa programının genel görünümü.

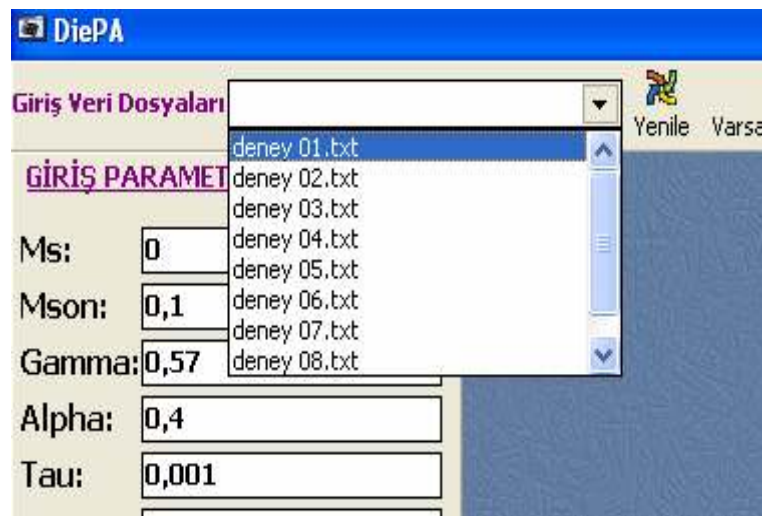
Laboratuvarda yapılan admitans ölçümleriyle elde edilen ve elektrik modülü formuna dönüştürülmüş herhangi bir isimdeki .txt uzantılı veri dosyalarının diePa.exe programının olduğu klasörün içinde olması yeterlidir. Bu deneysel veri dosyalarının formatı aşağıdaki gibi olmalıdır (Şekil 4.3).



Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
31.415			2.27E-05	4.28E-05
314.15			0.000106256	0.000183533
628.3			0.00016784	0.000303404
1884.9			0.000412757	0.000651385
2513.2			0.00052821	0.000769624
3141.5			0.000643186	0.000870326
4398.1			0.000844486	0.00102223
5026.4			0.000937105	0.001080114
6283			0.001103539	0.001178564
7853.75			0.001287504	0.001272026
9424.5			0.001449186	0.001341943
10995.25			0.001594161	0.001403681
12566			0.001722253	0.001453619
17278.25			0.002043641	0.001556569
21990.5			0.002301009	0.001632935
26702.75			0.002511731	0.001685275
31415			0.002607100	0.001727505

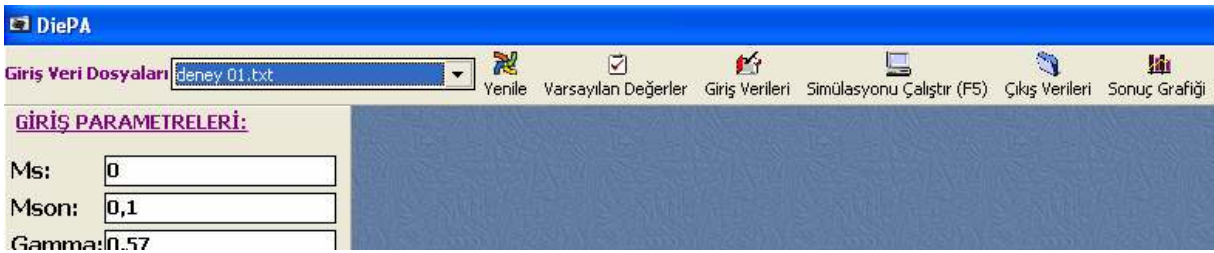
Şekil 4.3. Deneysel veri dosyalarının içeriği

Her bir satırdaki birinci değer frekansı diğer ikisi programda **m1** ve **m2** olarak geçen deneysel admitans ölçümlerinin iletkenlik formundaki reel ve sanal kısımlarının değerlerini göstermektedir. Böylelikle programda Giriş Veri Dosyalarının yanındaki seçmeli kutudan istenilen deneysel veri dosyası seçilebilir (Şekil 4.4).



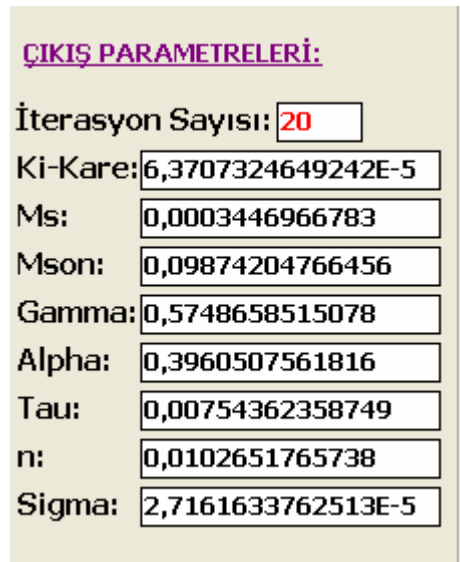
Şekil 4.4. Giriş veri dosyalarının seçilmesi.

Veri dosyalarından biri seçildiğinde aktif olmayan Giriş Verileri, Simülasyonu çalıştır, Çıkış Verileri ve Sonuç Grafiği düğmeleri aktif olacaktır (Şekil 4.5).



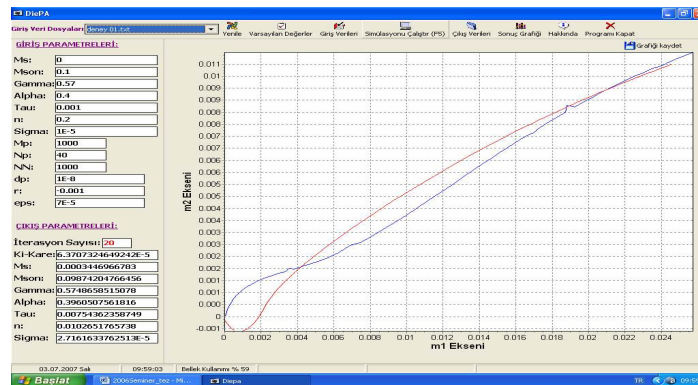
Şekil 4.5. Düğmelerin aktif hale geçmesi.

Deneysel veri dosyası seçildikten sonra **Simülasyonu Çalıştır** (Kısa yolu F5'tir) düğmesi ile esas olan kaynak kod çalışır ve başlangıçta boş gözüken incelenen numunenin uygun çıkış parametreleri hesap edilip yazdırılmış olur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Simülasyonla bulunan dielektrik parametreler.

Görüldüğü gibi seçilen deneysel veri dosyası için program, 20 iterasyon sonunda en küçük Ki-Kare değerine karşılık gelen dielektrik parametreleri bulmuştur. Simülasyonun çalışmasıyla aynı zamanda grafik çizim alanında deneysel (Mavi renk) ve simülasyonla hesap edilen (Kırmızı renk) **m2-m1** grafikleri aynı eksende görülebilmektedir (Şekil 4.7).



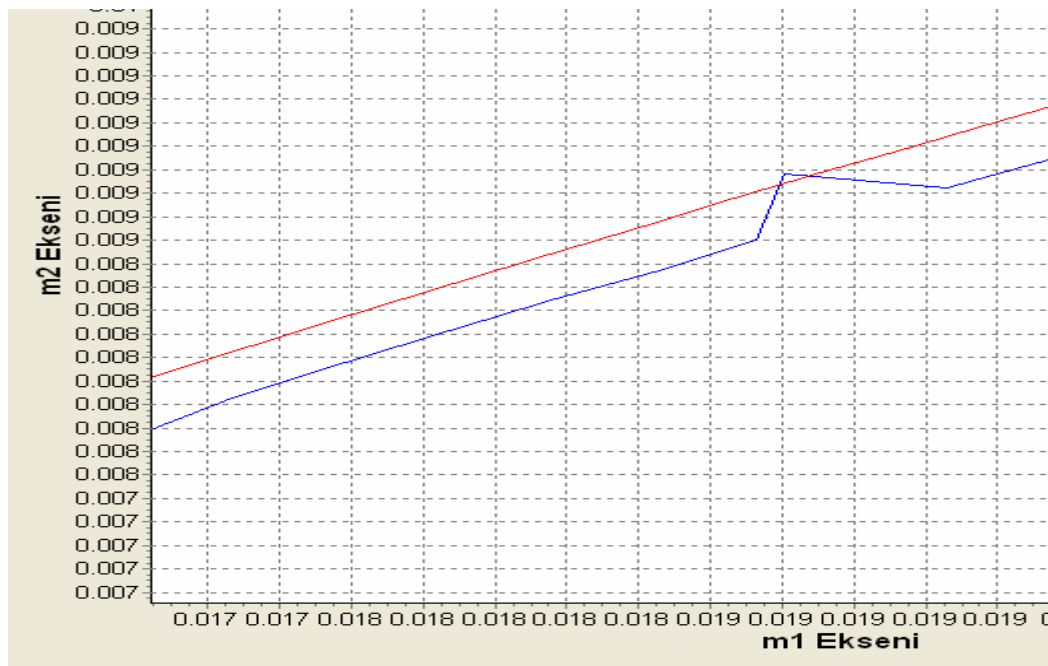
Şekil 4.7. Deneysel ve simülasyon grafiklerinin aynı eksende gösterimi.

DiePa sayesinde Giriş Parametrelerinde yapılan değişiklikler anlık olarak grafiğe yansımaktadır. Örneğin bu parametrelerden eps değerini $7E-4$ yapıp Simülasyonu Çalıştır düğmesine tekrar basarsak kırmızı olan grafik otomatik olarak değişecektir. Bu değişimin anlık olarak görülmesi doğru giriş parametresi seçiminde çok önemli rol oynamaktadır. Yapılan değişikliğin sonra görünüm aşağıdaki gibi olacaktır (Şekil 4.8).



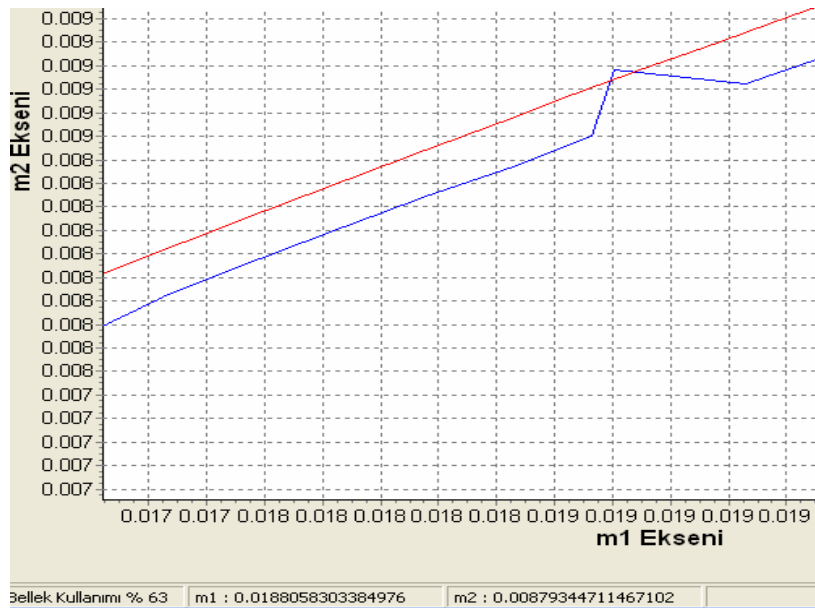
Şekil 4.8. Uyum parametrelerinin değişiminin etkisinin gözlenmesi

Görüldüğü gibi bu durumda DiePa programı iterasyonu 14 olarak bulmuş ve Çıkış Parametreleri tamamen değişmiştir. Bu durum grafiğe de anında yansımıştır. Grafiğin herhangi bir bölgesini büyültme özelliği vardır. Bunun için farenin sol düğmesi basılı tutularak grafiğin istenilen kısmı kare bölge içine alınır. Aşağıda grafik alanında büyütülmüş bir bölge görülmektedir(Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Grafiğin seçili kısmının büyütülmüş hali.

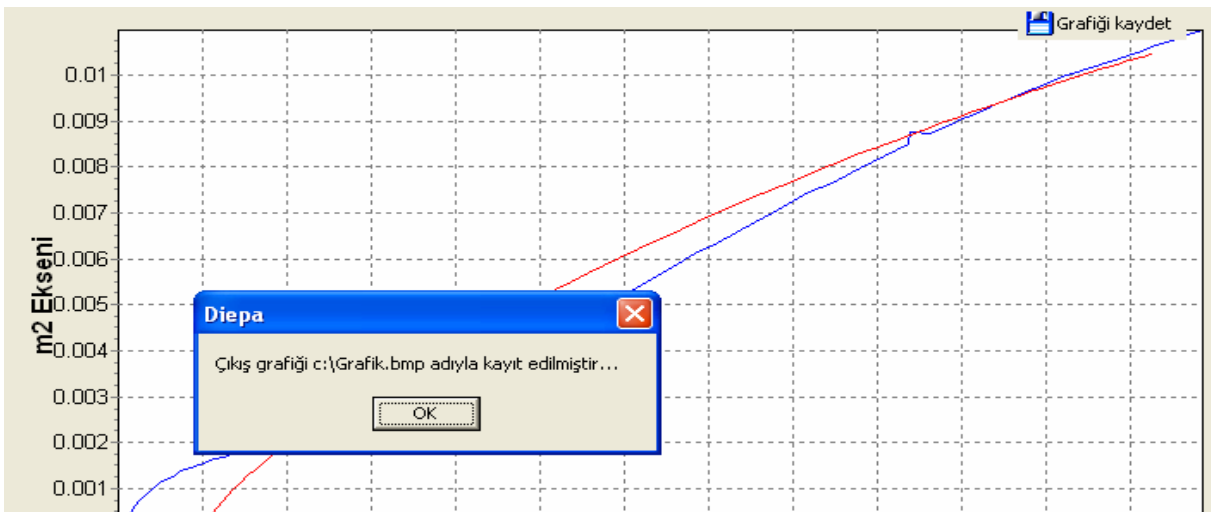
Ayrıca fare grafik üzerinde gezdiğinde imlecin olduğu noktadaki **m1** ve **m2** değerleride grafiğin altındaki durum çubuğunda görülebilmektedir(Şekil 4.10).



Şekil 4.10. İmlecin konumunun durum çubuğunda görülmesi.

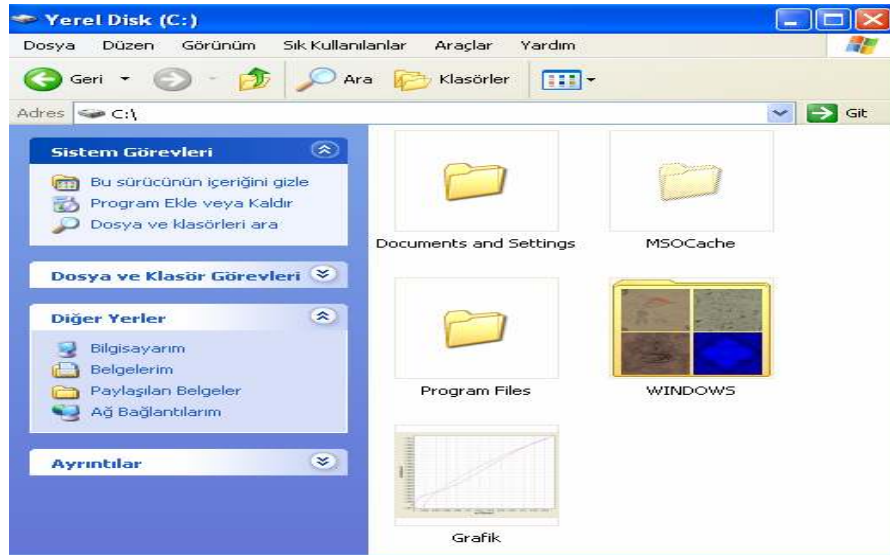
Bu özellikler sayesinde grafik çok ayrıntılı olarak incelenebilmekte ve bu durum deneysel ölçümlerin doğru olarak yorumlanmasına büyük katkıda bulunmaktadır. Büyültme durumundan çıkıp eski grafik durumuna geçmek için farenin sol düğmesine basılı tutup herhangi bir bölgeyi seçmeden grafik üzerindeki boş bir noktadan yukarı doğru fareyi hafifçe sürüklemek yeterlidir.

Program grafiğin **.bmp** formatında kaydedilmesine de imkan vermektedir. Bunun için grafik alanı üzerindeki **Grafiği kaydet** düğmesine basılması yeterlidir. Bu durumda grafik, C: sürücüsünün ana dizini içine Grafik.bmp olarak kaydedilecektir (Şekil 4.11).



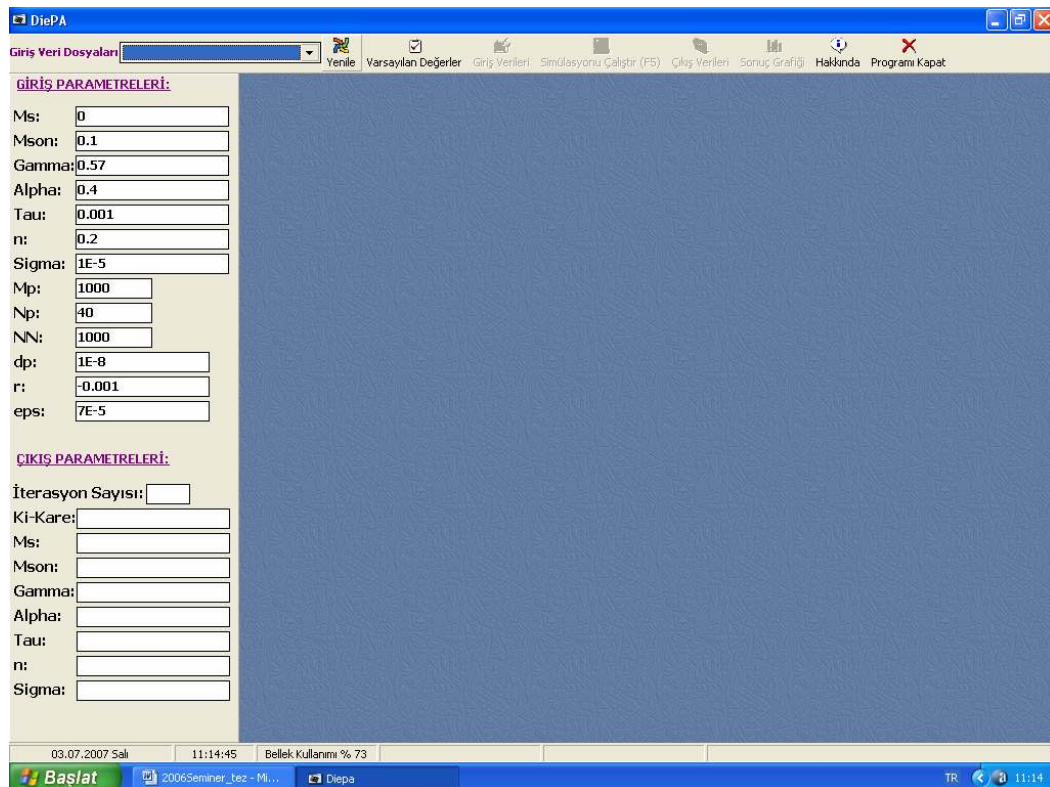
Şekil 4.11. Grafiğin kaydedilmesi.

Böylelikle grafiğin kağıda yazdırılmasında mümkün olmaktadır. C sürücüsünün (bu bilgisayar için) görünümü aşağıdaki gibidir(Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Grafik.bmp dosyasının C sürücüsünün ana dizindeki görünümü.

Programdaki **Yenile** düğmesine basıldığında değişmiş giriş parametreleri varsayılan değerlerine, program da ilk çalıştırıldığındaki duruma geri döner. İstenilen **txt** uzantılı dosyalar yeniden seçilerek işlemler devam eder. Görünüm aşağıdaki gibi olur (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Program yeni verilere hazır.

Programda kullanıcı Giriş Parametrelerini değiştirebilmektedir. İhtiyaç olduğunda **Varsayılan Değerler** düğmesine basılarak başlangıç parametrelerine dönülebilir.

Giriş Verileri düğmesine basılarak deneysel veri dosyamızı görebiliriz (Şekil 4.14).

Sıra No	Frekans	m1 (Deneysel)	m2 (Deneysel)
1	31.4150009155273	2.27000000450062E-5	4.27999984822236E-5
2	314.149993896484	0.000106255996797699	0.000183533004019409
3	628.299987792969	0.00016784000035841	0.000303403998259455
4	1884.90002441406	0.000412757013691589	0.000651384994853288
5	2513.19995117188	0.000528210017364472	0.000769624020904303
6	3141.5	0.000643185980152339	0.000870326010044664
7	4398.10009765625	0.00084448599955067	0.00102223001886159
8	5026.39990234375	0.000937104981858283	0.00108011404518038

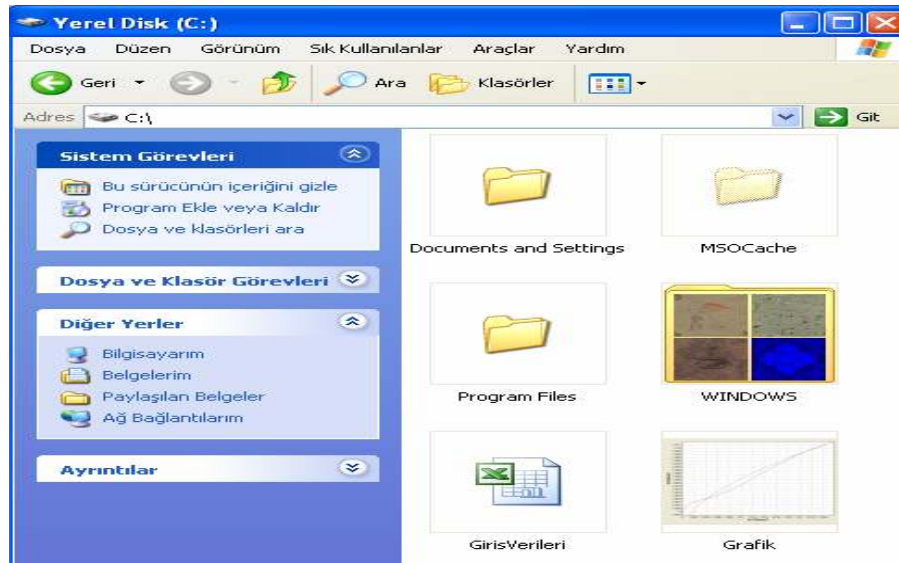
Şekil 4.14. Deneysel veri dosyalarının içeriğinin program içerisinden görülmesi.

Program bu veri dosyasının Excel formatında kaydedilmesini mümkün kılar. Excel Formatında Kaydet düğmesine basıldığında aşağıdaki görünüm çıkar(Şekil 4.15).

Sıra No	Frekans	m1 (Deneysel)	m2 (Deneysel)
1	31.4150009155273	2.27000000450062E-5	4.27999984822236E-5
2	314.149993896484	0.000106255996797699	0.000183533004019409
3	628.299987792969	0.00016784000035841	0.000303403998259455
4	1884.90002441406	0.000412757013691589	0.000651384994853288
5	2513.19995117188	0.000528210017364472	0.000769624020904303
6	3141.5	0.000643185980152339	0.000870326010044664
7	4398.10009765625	0.00084448599955067	0.00102223001886159
8	5026.39990234375	0.000937104981858283	0.00108011404518038
9	6283	0.00110353901982307	0.00117856403812766
10	7853.75	0.00128750398289412	0.00127202598378062
11	1056296	0.00134194304700941	0.00134194304700941
12	3269905	0.00140368100255728	0.00140368100255728
13	4413587	0.00145361898466945	0.00145361898466945
14	5951881	0.00155656901188195	0.00155656901188195
15	70621543	0.00163293501827866	0.00163293501827866
16	26702.75	0.00251173111610115	0.0016852749972608
17	31415	0.00260710001103221	0.00173250003200101

Şekil 4.15. Veri dosyasının Microsoft Excel formatında kaydedilmesi.

OK düğmesi tıklatıldığında, Veri dosyası Excel formatında C sürücüsünün ana dizinine GirisVerileri.xls olarak kaydedilir. Bu dosyanın daha sonra açılarak yazıcı çıktısının alınması imkanı vardır. Veri dosyasının Excel formatında C sürücüsüne kaydedilmiş hali (bu bilgisayar için) Şekil 4.16 da görülmektedir.



Şekil 4.16. Veri dosyasının Excel formatında C sürücüsündeki görünümü.

Çıkış Verileri düğmesine basıldığında, deneysel ve programla hesap edilmiş m_1, m_2 değerlerini aynı anda görme imkanı vardır. Çıkış Verilerini görebilmek için hangi Giriş Veri Dosyasıyla çalışıyorsa o dosyaya ait Simülasyonu Çalıştır düğmesi ile programın en az 1 kere çalıştırılması gereklidir. Bu durumda görünüm aşağıdaki gibi olacaktır (Şekil 4.17).

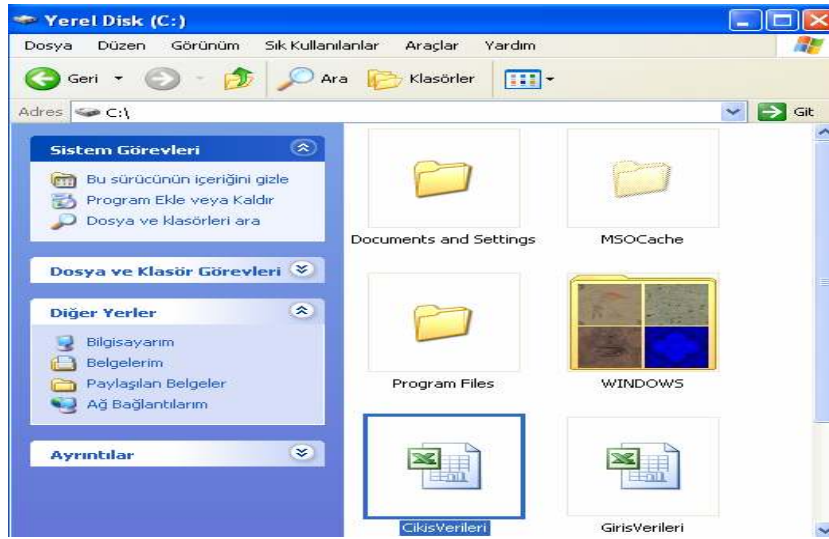
Yenile	Varsayılan Değerler	Giriş Verileri	Simülasyonu Çalıştır (F5)	Çıkış Verileri	Sonuç Grafiği	Hakkında	Programı Kapat
SİMÜLASYON ÇIKIŞ VERİLERİ							
Excel Formatında Kaydet							
Frekans	m1 (Deneysel)	m1 (Simülasyon)	m2 (Deneysel)	m2 (Simülasyon)			
31.4150009155273	2.30000005103648E-5	0	4.30000000051223E-5	-9.99999974737875E-6			
314.149993896484	0.00010599999505002	1.49999996210681E-5	0.000184000004082918	-9.99999974737875E-5			
628.299987792969	0.000167999998666346	5.50000004295725E-5	0.000303000007988885	-0.000199999994947575			
1884.90002441406	0.000413000001572073	0.000372999988030642	0.000651000009384006	-0.000507000018842518			
2513.19995117188	0.000528000004123896	0.000570999982301146	0.000769999984186143	-0.000579999992623925			
3141.5	0.00064300000667572	0.000763999996706843	0.000869999988935888	-0.000605000008363277			
4398.10009765625	0.0008440000023789704	0.001094999995596707	0.00102199998218566	-0.00056299997959286			
5026.39990234375	0.000936999975237995	0.00122800003737211	0.00107999995816499	-0.00051699997857213			
6283	0.001104000002449751	0.0014400000218302	0.0011790000135079	-0.00040600000647828			
7853.75	0.00128800002858043	0.00162899994757026	0.00127200002316386	-0.000265999988187104			

Şekil 4.17. Çıkış verilerinin program içerisinde incelenmesi.

Simülasyon Çıkış Verilerinin de Excel formatında kaydedilmesi mümkündür. C sürücüsünün ana dizinine kayıt yapılmakta olup (Şekil 4.18), bu dosya içinde yazıcı çıktısı alınabilme imkanı vardır. Kayıt yapıldıktan sonraki görünüm aşağıdaki gibidir (Şekil 4.19).

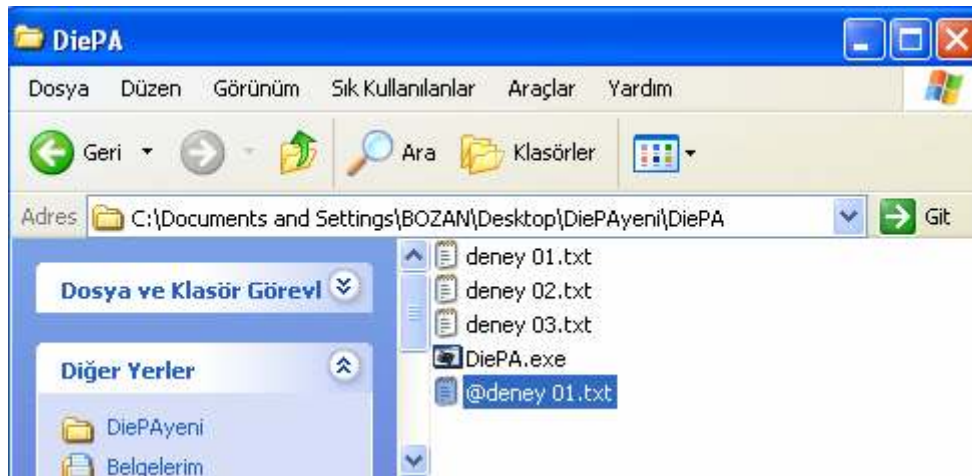
Yenile	Varsayılan Değerler	Giriş Verileri	Simülasyonu Çalıştır (F5)	Çıkış Verileri	Sonuç Grafiği	Hakkında	Programı Kapat
SİMÜLASYON ÇIKIŞ VERİLERİ							
Excel Formatında Kaydet							
Frekans	m1 (Deneysel)	m1 (Simülasyon)	m2 (Deneysel)	m2 (Simülasyon)			
31.4150009155273	2.30000005103648E-5	0	4.30000000051223E-5	-9.99999974737875E-6			
314.149993896484	0.00010599999505002	1.49999996210681E-5	0.000184000004082918	-9.99999974737875E-5			
628.299987792969	0	0	0.000303000007988885	-0.000199999994947575			
1884.90002441406	0	0	0.000651000009384006	-0.000507000018842518			
2513.19995117188	0	0	0.000769999984186143	-0.000579999992623925			
3141.5	0	0	0.000869999988935888	-0.000605000008363277			
4398.10009765625	0	0	0.00102199998218566	-0.00056299997959286			
5026.39990234375	0	0	0.00107999995816499	-0.00051699997857213			
6283	0.001104000002449751	0.0014400000218302	0.0011790000135079	-0.00040600000647828			
7853.75	0.00128800002858043	0.00162899994757026	0.00127200002316386	-0.000265999988187104			
9424.5	0.00144899997394532	0.00176400004420429	0.00134199997410178	-0.000138000003062189			

Şekil 4.18. Çıkış verilerinin C sürücüsüne Excel formatında kaydedilmesi.



Şekil 4.19.Çıkış dosyasının Excel formatında C sürücüsündeki görünümü

Program simülasyon çalıştırıldığında ayrıca Çıkış Veri Dosyalarını **txt** uzantılı olarak ve önüne **@** simgesini koyarak **DiePa.exe** nin yer aldığı klasöre otomatik olarak kaydetmektedir. Bu durum aşağıda görülmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Çıkış dosyasının .txt formatında kaydedilmesi.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bir yazılım projesidir. Bu yazılımın en önemli sonuçlarından bir tanesi laboratuarda admitans ölçümlerinden elde edilen verilerin hızlı ve verimli bir şekilde işlenmesidir. Bu sayede incelenen maddelerin dielektrik davranışlarını belirleyen parametreler doğru bir şekilde bulunabilmektedir. Diğer sonuçları sıralayacak olursak;

1. Bundan önce birçok adımda el ile yapılan işlemlerden dolayı ortaya çıkabilecek olan işlem hataları ortadan kalkmıştır.
2. Elde edilen sonuçların hem sayısal hem de grafiksel kaydının kullanıcıya sunulması kullanıcının bu sonuçları başka ortamlara kolayca aktarmasına imkan sağlamıştır.
3. Windows ortamında çalışan bir program olması sebebiyle kullanıcıya büyük kullanım kolaylığı sunmuştur.
4. Her bir giriş parametresi değişiminin grafiğe anında yansması sebebiyle kullanıcıya numunenin dielektrik davranışı hakkında doğru bir şekilde yorum yapması imkanını fazlasıyla yerine getirmiştir.

Bu çalışmada deney düzeneği ve diepa programı ayrı ayrı çalışmaktadır. Program laboratuarda elde edilen deneysel veri dosyasını ayrı olarak işlemektedir. Bu veri dosyası yapılacak gerekli donanım değişikliğiyle bilgisayara otomatik olarak gidebilir. Bir ara yüz programıyla her ikisinin aynı anda çalışabileceği bir çalışma farklı bir Yüksek Lisans tez konusu olarak ele alınabilir.

KAYNAKLAR

1. Anderson, J.C., 1964, *Dielectrics*, Chapman and Hall Ltd. , London.
2. Bartolomeo, 2001, *On The Use WLF Equation To Study Resin Curing by Dielectric Spectroscopy*, Polymer, vol:42, p:4385-4392.
3. Bona, N., Ortenzi, A. and Capaccioli, S., 2001, *Advances In Understanding The Relationship Between Rock Wettability And High-Frequency Dielectric Response*, Vol:960.
4. Cole, K.S. and Cole, R.H., 1941, *Journal of Chemical Physics*, 9, p.341.
5. Daniel, 1967, *Dielectric Relaxation*, Academic Press Inc., London, p.95-105.
6. Davidson, D.W. and Cole, R.H., 1950, *Journal of Chemical Physics*,18, p.1417.
7. Debye, P., 1929, *Polar Molecules*, Dover Publications, Inc., Reinhold Publishing Corporation, Germany.
8. Havriliak, S. and Negami, S., 1966, *Journal of Polymer Science*, C 14, p.99.
9. İhsan Karagülle&Zeydin Pala, 2001 *C++ Builder 5*,Türkmen Kitabevi
10. Kaya, A. , Fang, H.Y., 1997, *Identification of Contaminated Soils by Dielectric Constant and Electrical Conductivity*, Journal of Environmental Engineering, p.169-177.
11. Keleş, F., 2006, *Katı Kil Numunelerinin Dielektrik Özellikleri Üzerine Nemin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bil. Enst.,Konya.
12. Küçükçelebi, H., Durmuş, H., Deryal, A.,Taşer, M., Karakaya, M.Ç., 2005, *Montmorillonitin Radyofrekans ve Mikrodalga Bölgesindeki Dielektrik Özellikleri ve Aktivasyon Enerjisi*, 12. Ulusal Kil Sempozyumu, Van, p.204-212.

13. McCrum, N.G., Read, B.E. and Williams, G., 1967, *Anelastic and Dielectric Effects in Polymeric Solids*, John Wiley, London, p.102-12
14. Ranko, R. And Hermann, W, 1998, *The Dielectric Modulus: Relaxation Versus Retardation*, Solid States Ionics, Vol:105, 167-173.
15. Tareev, 1975, *Physics of Dielectric Materials*, Mir Publishers, Moscow.
16. Tsangaris, G. M., Psarras, G. C. and Kouloumbi, N. 1998, *Electric Modulus and Interfacial Polarization in Composite Polymeric Systems*, Journal of Materials Science, vol.33, p.2027-2037.
17. Zengin, H., 2006, *Dimetilamonyum-Montmorillonit Kompleksinin Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bil. Enst.,Konya.

EK**KAYNAK KODU:**

```

#include <string.h>
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "math.h"
#include "stdlib.h"
#include "complex.h"
#include <Printers.hpp>
#include <dos.h>
#include "Unit1.h"
#include <sysdyn.h>
#include <stdio.h>
#include <system.hpp>

//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
FILE *f;
TForm1 *Form1;

//-----

__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
    DeneyDosyalariniYukle();
    SistemBilgisiniGoster();
    FormuGoster();
}

//-----

//DENEYSEL ALT PROGRAMI

void deneysel(int Mp,int *M,DynamicArray<double>
w,DynamicArray<double> He1,DynamicArray<double> He2)
{
    FILE *f;
    int k;
    if((f=fopen(ExtractFilePath(Application->ExeName) + "\\\"+
Form1->ComboBox1->Text).c_str(),"r"))==NULL)
        ShowMessage("giris veri dosyasi bulunamadi!..");
    else
        k=0;
    for(int i=0;i<Mp;i++)
    {

```

```

fscanf(f, "%lf%lf%lf", &w[i], &He1[i], &He2[i]);
k=k+1;
if (feof(f)) goto kapat;
}
kapat:
*M=k-1;
fclose(f);
}

//-----

void parametre(int Np, int *N, DynamicArray<double> p)
{
    p[0]=StrToFloat(Form1->xEdit1->Text); //Ms
    p[1]=StrToFloat(Form1->xEdit2->Text); //Mson
    p[2]=StrToFloat(Form1->xEdit3->Text); //Gamma
    p[3]=StrToFloat(Form1->xEdit4->Text); //Alpha
    p[4]=StrToFloat(Form1->xEdit5->Text); // Tau
    p[5]=StrToFloat(Form1->xEdit6->Text); //n
    p[6]=StrToFloat(Form1->xEdit7->Text); //Sigma
    *N=7;
}

//-----

//LUDCMP ALT PROGRAMI

void ludcmp(DynamicArray< DynamicArray <double > > a, int
n, int np, DynamicArray<int> indx)
{
    double sum;
    double dum, aamax;
    int imax;
    int Nm=500;
    double tiny=1E-20;
    DynamicArray<double> vv; //Tek boyutlu vv dizisi
    vv.Length=Nm;
    for(int i=0; i<n; i++)
    {
        aamax=0E0;
        for(int j=0; j<n; j++)
        {
            if (fabs(a[i][j])>aamax)
                aamax=fabs(a[i][j]);
        }
        if(aamax==0E0) ShowMessage("Matris singülerdir!...");
        vv[i]=1E0/aamax;
    }
    for(int j=0; j<n; j++)
    {
        for(int i=0; i<=j-1; i++)

```

```

{
    sum=(a[i][j]);
    for(int k=0;k<=i-1;k++)
    {
        sum=sum-a[i][k]*a[k][j];
    }
    a[i][j]=sum;
}
aamax=0E0;
for(int i=j;i<n;i++)
{
    sum=a[i][j];
    for(int k=0;k<=j-1;k++)
    {
        sum=sum-a[i][k]*a[k][j];
    }
    a[i][j]=sum;
    dum=vv[i]*fabs(sum);
    if(dum>=aamax)
    {
        imax=i;
        aamax=dum;
    }
}
if(j!=imax)
{
    for(int k=0;k<n;k++)
    {
        dum=a[imax][k];
        a[imax][k]=a[j][k];
        a[j][k]=dum;
    }
    vv[imax]=vv[j];
}
indx[j]=imax;
if (a[j][j]==0E0) a[j][j]=tiny;
if(j!=(n-1))
{
    dum=1E0/a[j][j];
    for(int i=j+1;i<n;i++)
    {
        a[i][j]=a[i][j]*dum;
    }
}
}
}

```

//-----

```
//LUBKSB ALT PROGRAMI
```

```
void lubksb(DynamicArray< DynamicArray < double > > a,int
n,int np,DynamicArray<int> indx,DynamicArray<double> b)
{
double sum;
int ll;
int ii=-1;
for(int i=0;i<n;i++)
{
ll=indx[i];
sum=b[ll];
b[ll]=b[i];
if(ii!=-1)
{
for(int j=ii;j<=i-1;j++)
sum=sum-(a[i][j]*b[j]);
}
else
{
if(sum!=0E0)
ii=0;
}
b[i]=sum;
}
for(int i=6;i>=0;i--)
{
sum=b[i];
for(int j=i+1;j<=6;j++)
{
sum=sum-(a[i][j]*b[j]);
}
b[i]=sum/a[i][i];
}
}
```

```
//-----
```

```
//FONKSİYON ALT PROGRAMI
```

```
void fonksiyon(int N,double w,DynamicArray<double> q,double
*Hc1,double *Hc2)
{
```

```
//Döngüden Bağımsız Parametreler
```

```
double eo=8.85E-12;
double pi=4*atan(1E0);
double z1=sin((0.5E0*pi*q[5]));
double z2=cos((0.5E0*pi*q[5]));
```

```

double z3=sin((0.5E0*pi*q[3]));
double z4=cos((0.5E0*pi*q[3]));
double q12=q[0]-q[1];

//DÖNGÜYE BAĞLI PARAMETRELER..

double z5=pow((w*q[4]),(1E0-q[3]));
double z6=z5*z5;
double A=sqrt((1E0+2E0*z5*z3+z6));
double fi=atan((z5*z4)/(1E0+(z5*z3)));
double z7=sin(q[2]*fi);
double z8=cos(q[2]*fi);
double AG=pow(A,q[2]);
double A2G=AG*AG;
double wn=pow(w,q[5]);
double ew=eo*w;
double ew2=ew*ew;
double to=q[1]*q[6]*wn;
double t1=to*z1;
double t2=to*z2;
double t3=q[0]*q[1]*ew;
double t4=ew*AG*q12;
double t5=q[0]*to*A2G;

//ORTAK PAYDA

double pyd1=2*((ew-t1)*w*z8-w*t2*z7)*eo*q[0]*q12*AG;
double pyd2=-q[0]*q[0]*A2G*(ew2-2*ew*t1+(to*to))-ew2*q12*q12;
double payda=pyd1+pyd2;

//M1-M2

*Hc1=t3*(t4*z8+t5*z1-q[0]*ew*A2G)/payda;//M1
*Hc2=t3*(t4*z7+t5*z2)/payda;
}

//-----

//JACOBIEN ALT PROGRAMI

void jacobien(int Mp,int Np,int M,int N,DynamicArray<double>
w,DynamicArray<double> p,double dp,DynamicArray<double>
He1,DynamicArray<double> He2,DynamicArray< DynamicArray
<double> > H,DynamicArray<double> b,double *X2)
{
double top,Hc11,Hc12,Hc21,Hc22;
DynamicArray<double> q;
q.Length=N;
DynamicArray< DynamicArray <double> > A1;

```

```

A1.Length=M;
for(int i=0;i<M;i++)
A1[i].Length=N;
DynamicArray< DynamicArray <double> > A1T;
A1T.Length=N;
for(int i=0;i<N;i++)
A1T[i].Length=M;
DynamicArray< DynamicArray <double> > A2;
A2.Length=M;
for(int i=0;i<M;i++)
A2[i].Length=N;
DynamicArray< DynamicArray <double> > A2T;
A2T.Length=N;
for(int i=0;i<N;i++)
A2T[i].Length=M;
DynamicArray<double> Xc1;
Xc1.Length=M;
DynamicArray<double> Xc2;
Xc2.Length=M;
for(int i=0;i<N;i++) q[i]=p[i];
top=0E0;
for(int k=0;k<M;k++)
{
fonksiyon(N,w[k],q,&Hc11,&Hc12);
Xc1[k]=Hc11-He1[k];//1. fonksiyonun residuali
Xc2[k]=Hc12-He2[k];//2. fonksiyonun residuali
for(int i=0;i<N;i++)
{
q[i]=p[i]+dp;
fonksiyon(N,w[k],q,&Hc21,&Hc22);
A1[k][i]=(Hc21-Hc11)/dp;//1. fonksiyonun sayısal türevi
A1T[i][k]=A1[k][i];
A2[k][i]=(Hc22-Hc12)/dp;//2. fonksiyonun sayısal türevi
A2T[i][k]=A2[k][i];
q[i]=p[i];
}
top=top+Xc1[k]*Xc1[k]+Xc2[k]*Xc2[k];
}
*X2=top; //Kİ-KARE.....
for(int i=0;i<N;i++)
{
for(int j=0;j<N;j++)
{
top=0E0;
for(int k=0;k<M;k++)
{
top=top+A1T[i][k]*A1[k][j]+A2T[i][k]*A2[k][j];
}
H[i][j]=top;
}
}
}

```

```

for(int i=0;i<N;i++)
{
    top=0E0;
    for(int k=0;k<M;k++)
    {
        top=top+A1T[i][k]*Xc1[k]+A2T[i][k]*Xc2[k];
    }
    b[i]=-top;
}
}

//-----

//FIT ALT PROGRAMI

void fit(int Mp,int Np,int M,int N,DynamicArray<double>
w,DynamicArray<double> po,
double dp,DynamicArray<double> He1,DynamicArray<double>
He2,DynamicArray< DynamicArray <double> > H,DynamicArray<
DynamicArray <double> > A,double *X2,double *r)
{
    int Nm=40;
    static DynamicArray<double> d;
    d.Length=Nm;
    static DynamicArray<double> p;
    p.Length=Nm;
    static DynamicArray<double> b;
    b.Length=Nm;
    static double Xo2;
    DynamicArray<int> indx;
    indx.Length=N;
    if(*r<0E0)
    {
        *r=fabs(*r);
        jacobien(Mp,Np,M,N,w,po,dp,He1,He2,H,b,&*X2);
        Xo2=*X2;
        for(int i=0;i<N;i++) p[i]=po[i];
    }
    for(int i=0;i<N;i++)
    {
        for(int j=0;j<N;j++)
        {
            A[i][j]=H[i][j];
        }
        A[i][i]=H[i][i]+(*r); // HESSIAN MATRİSİN DİAGONALİNE EKLENEN
        SABİT
        d[i]=b[i]; //DENKLEM SABİTLERİ
    }
    ludcmp(A,N,Np,indx); //DENKLEM SİSTEMİNİ ÇÖZ VE ÇÖZÜM
    VEKTÖRÜNÜ(d Yİ) BELİRLE
    lubksb(A,N,Np,indx,d);
    for(int i=0;i<N;i++)

```

```

{
p[i]=po[i]+d[i]; //DEĞİŞKENLERİ GÜNCELLE
if(p[i]<0E0) p[i]=po[i];
}
jacobien(Mp,Np,M,N,w,p,dp,He1,He2,A,d,&*X2);
//ShowMessage(*X2);
if(*X2<Xo2) //YENİ Kİ-KARE ESKİSİNDEN KÜÇÜKSE
{
*r=0.1E0*(*r); //LEVENBERG SABİTİNİ 10 KAT AZALT
Xo2=*X2; //YENİ Kİ-KAREYİ ESKİSİ OLARAK SAKLA
for(int i=0;i<N;i++)
{
for(int j=0;j<N;j++)
{
H[i][j]=A[i][j];
}
}
b[i]=d[i];
}
for(int i=0;i<N;i++) po[i]=p[i];
}
Else //YENİ Kİ-KARE ESKİSİNDEN BÜYÜK YADA EŞİTSE
{
*r=10E0*(*r); //LEVENBERG SABİTİNİ 10 KAT ARTTIR
*X2=Xo2; //ESKİ Kİ-KAREYİ YENİSİ OLARAK SAKLA
}
}

//-----

void __fastcall TForm1::DosyaBul(AnsiString ad)
{
TSearchRec Bulunan;
FindFirst(ad,faAnyFile,Bulunan);
do
{
if(Bulunan.Name.Pos("@") == 0)
{
ComboBox1->Items->Add(Bulunan.Name);
}
}
while(FindNext(Bulunan)==0);
}

//-----

void __fastcall TForm1::GrafikCizdir()
{
AnsiString dosyaadi = ExtractFilePath(Application-
>ExeName)+"\\@"+Form1->ComboBox1->Text;
if(FileExists(dosyaadi))
{

```

```

float a,b,c,d,e;
FILE *grafikdosya;
grafikdosya = fopen(dosyaadi.c_str(),"r");
Chart1->Series[0]->Clear();
Chart1->Series[1]->Clear();
do
{
    fscanf(grafikdosya,"%f    %f    %f    %f
%f",&a,&b,&c,&d,&e);
    Chart1->Series[0]->AddXY(b,d);
    Chart1->Series[1]->AddXY(c,e);
}while(!feof(grafikdosya));
fclose(grafikdosya);
delete(grafikdosya);
Chart1->Align = alClient;
Chart1->BringToFront();
Chart1->Visible = true;
}
else
{
    Application->MessageBox("Sayın Kullanıcı;\nÇıkış veri
dosyası bulunamadı. Lütfen simülasyonu çalıştırınız...", "DiePA
v2.23", MB_OK+MB_ICONINFORMATION);
}
}

//-----

void __fastcall TForm1::Simulasyon()
{
    TumunuGizle();
    int Mp,Np,NN,N,M;
    double dp,eps,r;
    double X2,Hc1,Hc2;
    r=    StrToFloat(Form1->xEdit12->Text);// r değeri
    dp=    StrToFloat(Form1->xEdit11->Text);// dp değeri
    eps=    StrToFloat(Form1->xEdit13->Text);// eps değeri
    Mp=    StrToInt(Form1->xEdit8->Text);// Mp değeri
    NN=    StrToInt(Form1->xEdit10->Text);// NN değeri
    Np=    StrToInt(Form1->xEdit9->Text);// Np değeri
    // Dizi Tanımlamaları
    DynamicArray<double> w;//Tek boyutlu w dizisi
    w.Length=Mp;
    DynamicArray<double> He1;//Tek boyutlu He1 dizisi
    He1.Length=Mp;
    DynamicArray<double> He2;//Tek boyutlu He2 dizisi
    He2.Length=Mp;
    DynamicArray<double> po;//Tek boyutlu po dizisi
    po.Length=Np;
    DynamicArray< DynamicArray <double > > H;//İki boyutlu H
dizisi

```

```

H.Length=Np;
for(int i=0;i<Np;i++)
H[i].Length=Np;
DynamicArray< DynamicArray <double > > A;//iki boyutlu A
dizisi
A.Length=Np;
for(int i=0;i<Np;i++)
A[i].Length=Np;
deneysel (Mp, &M, w, He1, He2);
parametre (Np, &N, po);
po[0]=He1[0];
int m=0;
for(int l=0;l<NN;l++)
{
    fit (Mp, Np, M, N, w, po, dp, He1, He2, H, A, &X2, &r);
    m=m+1;
    if(X2<=eps) goto GIT;
}
Application->MessageBox(("Sayın Kullanıcı;\n"+IntToStr(NN)+"
iterasyon sonunda yakınsama olmadı.Uygun giriş parametreleri
ile tekrar deneyiniz...").c_str(),"DiePA
v2.23",MB_OK+MB_ICONWARNING);

Form1->Edit8->Text="";
Form1->Edit9->Text="";
Form1->Edit1->Text="";
Form1->Edit2->Text="";
Form1->Edit3->Text="";
Form1->Edit4->Text="";
Form1->Edit5->Text="";
Form1->Edit6->Text="";
Form1->Edit7->Text="";

goto GIT1;
GIT:
{
Form1->Edit8->Text=IntToStr(m);
Form1->Edit9->Text=FloatToStrF(X2, ffGeneral, 14, 10);
Form1->Edit1->Text=FloatToStrF(po[0], ffGeneral, 10, 10);
Form1->Edit2->Text=FloatToStrF(po[1], ffGeneral, 13, 10);
Form1->Edit3->Text=FloatToStrF(po[2], ffGeneral, 13, 10);
Form1->Edit4->Text=FloatToStrF(po[3], ffGeneral, 13, 10);
Form1->Edit5->Text=FloatToStrF(po[4], ffGeneral, 12, 10);
Form1->Edit6->Text=FloatToStrF(po[5], ffGeneral, 12, 10);
Form1->Edit7->Text=FloatToStrF(po[6], ffGeneral, 14, 10);

FILE *f;
if((f=fopen(ExtractFilePath(Application->ExeName) + "\\@" +
Form1->ComboBox1->Text).c_str(), "w"))==NULL)
Application->MessageBox("Sayın Kullanıcı;\nÇıkış veri dosyası
oluşturulamadı...", "DiePA v2.23", MB_OK+MB_ICONWARNING);

```

```

else
for(int k=0;k<M;k++)
{
fonksiyon(N,w[k],po,&Hc1,&Hc2);
fprintf(f,"%lf      %lf      %lf      %lf
%lf\n",w[k],He1[k],Hc1,He2[k],Hc2);
if(feof(f)) goto kapat;
}
kapat:

fclose(f);
GrafikCizdir();
}
GIT1:
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
VarsayilanDegerler();
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton14Click(TObject *Sender)
{
Form1->Close();
}

//-----

void __fastcall TForm1::VarsayilanDegerler()
{
Form1->xEdit1->Text=FloatToStr(0.00E0); //Ms
Form1->xEdit2->Text=FloatToStr(0.1E0); //Mson
Form1->xEdit3->Text=FloatToStr(0.57E0); //Gamma
Form1->xEdit4->Text=FloatToStr(0.4E0); //Alpha
Form1->xEdit5->Text=FloatToStr(1E-03); // Tau
Form1->xEdit6->Text=FloatToStr(0.2E0); //n
Form1->xEdit7->Text=FloatToStr(1E-05); //Sigma
Form1->xEdit8->Text=IntToStr(1000); //Mp
Form1->xEdit9->Text=IntToStr(40); //Np
Form1->xEdit10->Text=IntToStr(1000); //NN
Form1->xEdit11->Text=FloatToStr(1E-08); //dp
Form1->xEdit12->Text=FloatToStr(-0.001E0); //r
Form1->xEdit13->Text=FloatToStr(0.00007E0); //eps
}

//-----

```

```

void __fastcall TForm1::ToolButton4Click(TObject *Sender)
{
    VarsayilanDegerler();
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton1Click(TObject *Sender)
{
    DeneyDosyalariniYukle();
}

//-----

void __fastcall TForm1::DeneyDosyalariniYukle()
{
    ComboBox1->Items->Clear();
    DosyaBul(ExtractFilePath(Application->ExeName)+"\\*.txt");
    ButonlariGizle(false);
    TumunuGizle();
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton5Click(TObject *Sender)
{
    Simulasyon();
}

//-----

void __fastcall TForm1::GirisDosyasiGoruntule()
{
    TumunuGizle();
    StringGrid1->RowCount = 0;
    StringGrid1->DefaultRowHeight = Canvas->TextHeight("X") + 6;
    StringGrid1->DefaultColWidth = Canvas-
>TextWidth("XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX") + 6;
    StringGrid1->Cols[0]->Add("Sıra No");
    StringGrid1->Cols[1]->Add("Frekans");
    StringGrid1->Cols[2]->Add("m1 (Deneysel)");
    StringGrid1->Cols[3]->Add("m2 (Deneysel)");

    AnsiString dosyaadi = ExtractFilePath(Application-
>ExeName)+"\\"+ComboBox1->Text;
    if(FileExists(dosyaadi))
    {
        float a,b,c;
        FILE *girisdosya;
        girisdosya = fopen(dosyaadi.c_str(),"r");
    }
}

```

```

do
{
    fscanf(girisdosya, "%f\t%f\t%f", &a, &b, &c);
    StringGrid1->RowCount++;
    StringGrid1->Cells[0][StringGrid1->RowCount - 1] =
IntToStr(StringGrid1->RowCount - 1);
    StringGrid1->Cells[1][StringGrid1->RowCount - 1] =
FloatToStr(a);
    StringGrid1->Cells[2][StringGrid1->RowCount - 1] =
FloatToStr(b);
    StringGrid1->Cells[3][StringGrid1->RowCount - 1] =
FloatToStr(c);
}while(!feof(girisdosya));

    fclose(girisdosya);
    delete(girisdosya);
    Panel3->Align = alClient;
    Panel3->BringToFront();
    Panel3->Visible = true;
}
else
{
    Application->MessageBox("Sayın Kullanıcı;\nDeneysel giriş
verileri dosyası bulunamamıştır...", "DiePA
v2.23", MB_OK+MB_ICONWARNING);
}
}

//-----

void __fastcall TForm1::CikisDosyasiGoruntule()
{
    TumunuGizle();
    StringGrid2->RowCount = 0;
    StringGrid2->DefaultRowHeight = Canvas->TextHeight("X") + 6;
    StringGrid2->DefaultColWidth = Canvas-
>TextWidth("XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX") + 6;
    StringGrid2->Cols[0]->Add("Sıra No");
    StringGrid2->Cols[1]->Add("Frekans");
    StringGrid2->Cols[2]->Add("m1 (Deneysel)");
    StringGrid2->Cols[3]->Add("m1 (Simülasyon)");
    StringGrid2->Cols[4]->Add("m2 (Deneysel)");
    StringGrid2->Cols[5]->Add("m2 (Simülasyon)");

    AnsiString dosyaadi = ExtractFilePath(Application-
>ExeName)+"\\@"+ComboBox1->Text;
    if(FileExists(dosyaadi))
    {
        float a,b,c,d,e;
        FILE *cikisdosya;
        cikisdosya = fopen(dosyaadi.c_str(), "r");
    }
}

```

```

        do
        {
            fscanf(cikisdosya,"%f    %f    %f    %f    %f\n
", &a, &b, &c, &d, &e);
            StringGrid2->RowCount++;
            StringGrid2->Cells[0][StringGrid2->RowCount - 1] =
IntToStr(StringGrid2->RowCount - 1);
            StringGrid2->Cells[1][StringGrid2->RowCount - 1] =
FloatToStr(a);
            StringGrid2->Cells[2][StringGrid2->RowCount - 1] =
FloatToStr(b);
            StringGrid2->Cells[3][StringGrid2->RowCount - 1] =
FloatToStr(c);
            StringGrid2->Cells[4][StringGrid2->RowCount - 1] =
FloatToStr(d);
            StringGrid2->Cells[5][StringGrid2->RowCount - 1] =
FloatToStr(e);
        }while(!feof(cikisdosya));

        fclose(cikisdosya);
        delete(cikisdosya);
        Panel5->Align = alClient;
        Panel5->BringToFront();
        Panel5->Visible = true;
    }
    else
    {
        Application->MessageBox("Sayın Kullanıcı;\nÇıkış verilerini
görmek için simülasyon 1 kere çalıştırılmalıdır!!\nLütfen
simülasyonu çalıştırınız...", "DiePA
v2.23", MB_OK+MB_ICONWARNING);
    }
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton1Click(TObject *Sender)
{
    GirisDosyasiGoruntule();
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton3Click(TObject *Sender)
{
    CikisDosyasiGoruntule();
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton2Click(TObject *Sender)

```

```

{
    GrafikCizdir();
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormPaint(TObject *Sender)
{
    Graphics::TBitmap *srcBitmap;
    srcBitmap=new Graphics::TBitmap();

    srcBitmap->Assign(Image1->Picture->Bitmap);

    for(int j=0;j<=Form1->ClientHeight;j+=(srcBitmap->Height))
        for(int i=0;i<=Form1->ClientWidth;i+=(srcBitmap->Width))
            Form1->Canvas->Draw(i,j,srcBitmap);

    delete(srcBitmap);
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton13Click(TObject *Sender)
{
    TumunuGizle();
    Panel2->Align = alClient;
    Panel2->BringToFront();
    Panel2->Visible = true;
}

//-----

void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    SistemBilgisiniGoster();
}

//-----

void __fastcall TForm1::SistemBilgisiniGoster()
{
    MEMORYSTATUS MemoryUsage;
    TDateTime haftaningunu;
    struct time t;
    struct date d;
    gettime(&t);
    getdate(&d);
    GlobalMemoryStatus (&MemoryUsage);
}

```

```

AnsiString
gunler[7]={"Pazar","Pazartesi","Salı","Çarşamba","Perşembe","C
uma","Cumartesi"};
    sprintf(tarih,"%02d.%02d.%02d
%s",d.da_day,d.da_mon,d.da_year,gunler[haftaningunu.CurrentDat
e().DayOfWeek()-1].c_str());
    sprintf(saat,"%02d:%02d:%02d",t.ti_hour,t.ti_min,t.ti_sec);
    StatusBar1->Panels->Items[0]->Text=String(tarih);
    StatusBar1->Panels->Items[1]->Text=String(saat);
    StatusBar1->Panels->Items[2]->Text="Bellek Kullanımı % " +
IntToStr(MemoryUsage.dwMemoryLoad);
}
//-----

void __fastcall TForm1::ComboBox1Change(TObject *Sender)
{
    ButonlariGizle();
}
//-----

void __fastcall TForm1::ButonlariGizle()
{
    if(ComboBox1->Items->Count > 0)
    {
        ButonlariGizle(true);
    }
}
//-----

void __fastcall TForm1::ButonlariGizle(bool p)
{
    ToolButton1->Enabled = p;
    ToolButton3->Enabled = p;
    ToolButton5->Enabled = p;
    ToolButton2->Enabled = p;
}
//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton6Click(TObject *Sender)
{
    TumunuGizle();
    Panell->Align = alClient;
    Panell->BringToFront();
    Panell->Visible = true;
}
//-----

```

```

void __fastcall TForm1::Chart1MouseMove(TObject *Sender,
TShiftState Shift,
    int X, int Y)
{
    StatusBar1->Panels->Items[3]->Text = " m1 : " +
FloatToStr(Chart1->BottomAxis->CalcPosPoint(X));
    StatusBar1->Panels->Items[4]->Text = " m2 : " +
FloatToStr(Chart1->LeftAxis->CalcPosPoint(Y));
}
//-----
void __fastcall TForm1::TumunuGizle()
{
    Chart1->Visible = false;
    StatusBar1->Panels->Items[3]->Text = "";
    StatusBar1->Panels->Items[4]->Text = "";
    Panel1->Visible = false;
    Panel2->Visible = false;
    Panel3->Visible = false;
    Panel5->Visible = false;
    Form1->Edit8->Text="";
    Form1->Edit9->Text="";
    Form1->Edit1->Text="";
    Form1->Edit2->Text="";
    Form1->Edit3->Text="";
    Form1->Edit4->Text="";
    Form1->Edit5->Text="";
    Form1->Edit6->Text="";
    Form1->Edit7->Text="";
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormuGoster()
{
    TRect r ;
    SystemParametersInfo(SPI_GETWORKAREA, 0, &r, 0);
    Form1->Top=r.Top;
    Form1->Left=r.Left;
    Form1->Width=r.Right-r.Left;
    Form1->Height=r.Bottom-r.Top;
}

//-----

void __fastcall TForm1::DefaultKeyPress(TObject *Sender, char
&Key)
{
    if (Key == VK_RETURN)
    {
        FindNextControl(dynamic_cast<TWinControl*>(Sender), true,
true, false)->SetFocus();
    }
}

```

```

        Key=NULL;
    }
}

//-----

void __fastcall TForm1::DefaultKeyUp(TObject *Sender, WORD
&Key,
    TShiftState Shift)
{
    if (Key == VK_UP)
    {
        FindNextControl(dynamic_cast<TWinControl*>(Sender), false,
true, false)->SetFocus();
        Key=NULL;
    }
    if (Key == VK_DOWN)
    {
        FindNextControl(dynamic_cast<TWinControl*>(Sender), true,
true, false)->SetFocus();
        Key=NULL;
    }
}

//-----

void __fastcall TForm1::EnterSelectedControl(TObject *Control)
{
    TClass ClassRef;
    ClassRef=Control->ClassType();
    if(String(ClassRef->ClassName()) == "TEdit")
        ((TEdit *)Control)->Color=(TColor)0x005E96EA;
}

//-----

void __fastcall TForm1::ExitSelectedControl(TObject *Control)
{
    TClass ClassRef;
    ClassRef=Control->ClassType();
    if(String(ClassRef->ClassName()) == "TEdit")
        ((TEdit *)Control)->Color=clWhite;
}

//-----

void __fastcall TForm1::FormKeyUp(TObject *Sender, WORD &Key,
    TShiftState Shift)
{
    if (Key == VK_F5 && ToolButton5->Enabled)
    {

```

```

        Simulasyon();
    }
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton19Click(TObject *Sender)
{
    Panell->Visible = false;
}
//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton7Click(TObject *Sender)
{
    Panel2->Visible = false;
}
//-----

void __fastcall TForm1::FormClose(TObject *Sender,
TCloseAction &Action)
{
    if(Application->MessageBox("Sayın Kullanıcı;\nProgramı
kapatmak istediğinizden eminmisiniz?      ", "DiePA
v2.23", MB_YESNO+MB_ICONQUESTION) == 7)
    {
        Action = caNone;
    }
    else
    {
        Action=caFree;
    }
}

//-----

AnsiString __fastcall TForm1::ExcelHeader()
{
    AnsiString header = "";
    header += "<?xml version=\"1.0\"?>\n";
    header += "<?mso-application
progid=\"Excel.Sheet\"?>\n";
    header += "<Workbook xmlns=\"urn:schemas-microsoft-
com:office:spreadsheet\" ";
    header += "xmlns:o=\"urn:schemas-microsoft-
com:office:office\" ";
    header += "xmlns:x=\"urn:schemas-microsoft-
com:office:excel\" ";
    header += "xmlns:ss=\"urn:schemas-microsoft-
com:office:spreadsheet\" ";
    header += "xmlns:html=\"http://www.w3.org/TR/REC-
html40\">\n";
}

```

```

        header += "<DocumentProperties xmlns=\"urn:schemas-
microsoft-com:office:office\">";
        header += "<Author>Dekajp@gmail.com</Author>";
        header += "</DocumentProperties>";
        header += "<ExcelWorkbook xmlns=\"urn:schemas-
microsoft-com:office:excel\">\n";
        header
+= "<ProtectStructure>False</ProtectStructure>\n";
        header
+= "<ProtectWindows>False</ProtectWindows>\n";
        header += "</ExcelWorkbook>\n";
        return header;
}

//-----

AnsiString __fastcall TForm1::ExcelWorkSheetOptions()
{
    AnsiString opts = "";
    opts = "\n<WorksheetOptions xmlns=\"urn:schemas-
microsoft-com:office:excel\">\n<Selected/>\n
</WorksheetOptions>\n";
    return opts;
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton67Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString strExcelXml = "";
    strExcelXml = ExcelHeader();
    strExcelXml += ExcelWorkSheetOptions();
    strExcelXml += "<Worksheet ss:Name=\"GirisVerileri\">";
    strExcelXml += "<Table>";

    for (int k = 0; k < StringGrid2->RowCount; k++)
    {
        strExcelXml += "<Row ss:AutoFitHeight=\"1\" >\n";
        for (int j = 0; j < StringGrid2->ColCount; j++)
        {
            strExcelXml += "<Cell><Data
ss:Type=\"String\">";
            strExcelXml += StringGrid2->Cells[j][k];
            strExcelXml += "</Data></Cell>\n";
        }
        strExcelXml += "</Row>\n";
    }

    strExcelXml += "</Table>";
    strExcelXml += "</Worksheet>";
    strExcelXml += "</Workbook>\n";
}

```

```

        FILE *di = fopen("c:\\CikisVerileri.xls","w+");
        fprintf(di, "%s", strExcelXml.c_str());
        fclose(di);
        ShowMessage("Çıkış verileri c:\\CikisVerileri.xls adıyla
kayıt edilmiştir...");
    }

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton68Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString strExcelXml = "";
    strExcelXml = ExcelHeader();
    strExcelXml += ExcelWorkSheetOptions();
    strExcelXml += "<Worksheet ss:Name=\"GirisVerileri\">";
    strExcelXml += "<Table>";

    for (int k = 0; k < StringGrid1->RowCount; k++)
    {
        strExcelXml += "<Row ss:AutoFitHeight=\"1\" >\n";
        for (int j = 0; j < StringGrid1->ColCount; j++)
        {
            strExcelXml += "<Cell><Data
ss:Type=\"String\">";
            strExcelXml += StringGrid1->Cells[j][k];
            strExcelXml += "</Data></Cell>\n";
        }
        strExcelXml += "</Row>\n";
    }

    strExcelXml += "</Table>";
    strExcelXml += "</Worksheet>";
    strExcelXml += "</Workbook>\n";

    FILE *di = fopen("c:\\GirisVerileri.xls","w+");
    fprintf(di, "%s", strExcelXml.c_str());
    fclose(di);
    ShowMessage("Giriş verileri c:\\GirisVerileri.xls adıyla
kayıt edilmiştir...");
}

//-----

void __fastcall TForm1::ToolButton69Click(TObject *Sender)
{
    Chart1->SaveToBitmapFile("c:\\Grafik.bmp");
    ShowMessage("Çıkış grafiği c:\\Grafik.bmp adıyla kayıt
edilmiştir...");
}

//-----

```

ÖZGEÇMİŞ

15.06.1976 tarihinde Mardin’de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi İzmirde tamamladım. 1994 yılında Hacettepe Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü kazandım ve buradan 2000 yılında mezun olarak lisans eğitimimi tamamladım.

Aynı yıl Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tezli yüksek lisansı kazandım. Bir yıl devam ettikten sonra ailevi nedenlerle bu eğitimimi yarıda bırakmak zorunda kaldım. 2002-2003 yılları arasında askerlik hizmetimi İstanbulda kısa dönem er olarak tamamladım.

2003 KPSS sınavı ile MSB Konya Karapınar Atış Poligon Grup Komutanlığına Fizik Mühendisi olarak atandım. 2005-2006 yılları arasında çıkan üniversite affı vesilesiyle kalan derslerimi başarıyla geçip Selçuk Üniversitesine yatay geçiş için başvurudum. Başvurum kabul edilmiş olup kalan seminer dersi ve tez çalışmalarımı Yrd. Doç. Dr. Mehmet TAŞER’le devam ettiriyorum.