

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKRODALGALARIN MALZEME İÇERİSİNDE
KAYBETTİĞİ ENERJİNİN HESAPLANMASI**

Muharrem ÇİFTÇİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

11/07/2014

Muharrem ÇİFTÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRODALGALARIN MALZEME İÇERİSİNDE KAYBETTİĞİ ENERJİNİN HESAPLANMASI

Muharrem ÇİFTÇİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ÜNVER

Bu tez çalışması, TÜBİTAK, 1512 kodlu (proje no: 2120127) program tarafından desteklenen ve Türk Patent Enstitüsü (dosya no: 2009/05364) kurumu tarafından tescillenen mikrodalga kombi isimli proje kapsamında hazırlanmıştır. Tez çalışması mikrodalga-malzeme etkileşmelerine dayanmaktadır. Teroik olarak, Maxwell'in elektromanyetik teorisi ve Poynting Teoremi ile bu etkileşimlerin temellerine değinilmiştir. Deneysel olarak da laboratuvar ortamında, mika, PET, silikon ve teflon gibi endüstriyel plastiklerin mikrodalga geçirgenlikleri, soğurdukları enerji miktarları ile hesaplanmıştır. Son olarak da çalışma bir görsel bilgisayar programı ile desteklenmiştir. Yazılımın içeriğinde elektromanyetik dalga uygulamaları ve materyal-mikrodalga etkileşme simülasyonları bulunmaktadır. Bu çalışma neticesinde, mikrodalga ile çalışılabilecek en uygun malzemeler gerekçeleri ile birlikte deneysel olarak tespit edilmiştir. Görülmüştür ki, bu malzemelerin literatürdeki dielektrik sabitleri benzer bir tercih sıralaması doğurmaktadır. Teorik çalışmada ise mikrodalga-dipol molekülleri etkileşmesinden yarı klasik bir formül türetililebileceği ve Wienn yasasının nümerik olarak bu yarı klasik denklemden elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Temmuz 2014, 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, mikrodalga ısıtma, mikrodalga-malzeme etkileşimleri

ABSTRACT

Master Thesis

CALCULATING LOST ENERGY OF MICROWAVE IN MATERIALS

Muharrem ÇİFTÇİ

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

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin ÜNVER

This thesis is prepared within the invention as microwave water heater which is supported by TÜBİTAK 1512. programme (project no: 2120127) and registered by Turk Patent Institute (file no: 2009/05364). This thesis is based on microwave - material interactions. Firstly, the main idea of that interactions is examined via Maxwell Electromagnetic Theory and Poynting Theory. In a laboratory, yield of materials for microwave absorption were studied by calculating lost energy. This materials are industrial plastics as mica, PET, silicon, teflon and so on. This study is contributed with visual programming, included general and material-microwave interaction simulation applications. As a result of this thesis, the most appropriate material kind is determined with rationale. It has been observed that the dielectric constant of material in literature constitutes parallel preference of ranking according to this study of material. In theoretical part, it is possible to derive a numerical, semi-Quantum Mechanical equations from microwave-dipole molecular interactions. Also, Wienn Law can be obtained from that semi-Quantum Mechanical equations.

July 2014, 68 pages

Key Words : Microwave, microwave heating, materials and microwave interactions

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen ve sabır gösteren, yol göstericim, danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÜNVER'e (Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı) , çok değerli fikir ve tavsiyeleri için Doç. Dr. Asım Egemen YILMAZ'a (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı), çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Abdullah VERÇİN'e (Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı); meşakatli bu süreçte sabırla yol almamda emeği geçen Doç. Dr. Şengül KURU'ya (Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı), programlama öğretiminde emekleri için Yrd. Doç. Dr. YUNUS KAYIR'a (Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Eğitimi Anabilim Dalı), teknik çalışmalarda emek ve destekleri için atölye ustamız Vedat AKDOĞAN'a; teknik destek, bilimsel tartışma konularında katkısı büyük olan abim, Fazıl ÇİFTÇİ'ye; atölye çalışmalarında yardımları bulunan, patent ortağım Ender AKDOĞAN'a, bana olan güven ve desteği için kardeşim Hasret ÇİFTÇİ'ye, tez çalışmalarındaki yardım, sabır ve hoşgörüsü için sayın Leyla AKAY'a, tescil konularında yardımlarını esirgemeyen Türk Patent Enstitüsü çalışanlarına, projemizle ilgili yardım ve eğitimlerinden ötürü TÜBİTAK-Teydep çalışanlarına, aileme ve adlarını saymadığım değerli arkadaşlarıma saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, "Mikrodalga Kombi (2120127-TÜBİTAK)" tarafından desteklenen ve "Mikrodalga Kombi (2009/05364-TPE)" tarafından tescil edilen proje kapsamında hazırlanmıştır.

Muharrem ÇİFTÇİ
Ankara, Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR	4
2.1 Faraday İndükleme Yasası.....	5
2.2 Maxwell Denklemleri	6
2.2.1 Maxwell denklemlerinin integral biçimi	6
2.34 Düzlem elektromanyetik dalgalar	9
2.3.1 Kayıpsız ortamda düzlem dalgalar	9
2.3.2 Kayıplı ortamda düzlem dalgalar.....	11
2.3.3 Düşük kayıplı ortam	12
2.4 İyi İletkenler	13
2.5 Elektromanyetik Güç ve Poynting Vektörü	15
2.5.1 Elektromanyetik güç akışı	15
2.5.2 Poynting vektörü	17
2.6 Mikrodalgalar.....	20
2.6.1 Su ve mikrodalgalar	24
2.6.2 Elektrik alanın suya etkisi.....	25
2.6.3 Manyetik alanın suya etkisi.....	26
2.6.4 Elektromanyetik alanın suya etkisi	27
3. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN HAYATIMIZDAKİ YERİ	28
3.1 Avrupa ve Dünyada Elektromanyetik Frekanslar	28
3.2 Bir Proje-Mikrodalga Kombi	30
3.2.1 Mikrodalga kombinin çalışma prensibi	32

3.2.2 Güvenlik.....	33
3.2.3 Mikrodalga kombinin faydaları.....	33
3.3 Tesisat Denemeleri.....	34
4. ENERJİ KAYBI ve DEBİ HESAPLARI	41
4.1 Enerji Kaybı Hesapları.....	41
4.2 Debi Hesabı.....	44
4.3 Çalışılan Malzemelerin Literatürdeki Karşılığı.....	46
5. ÇALIŞMALARA KUANTUM MEKANİKSEL YAKLAŞIM	51
5.1 Rezonans ve Molekül Parçalanması	51
5.2 Anahtar-Kilit İlişkisi	52
5.3 Kavramların Karşılığı	53
6. PROGRAMLAMA	54
6.1 Malzemelerin Mikrodalga Geçirgenlik Simülasyonu	58
7. SONUÇ	61
KAYNAKLAR	64
ÖZ GEÇMİŞ	67

SİMGELER DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
C	Öz ısı sabiti
c	Işık hızı
ε	Dielektrik sabiti
μ	Manyetik geçirgenlik
ρ	Yük yoğunluğu
k	Dalga sayısı
N	Avagadro sayısı
η	Ortam öz empedansı
δ	Kayıp açısı
σ	İletkenlik
ω	Açısal frekans
W	Güç, watt
φ	Yarıçap

KISALTMALAR

BTK	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CH_3Cl	Metil Klorür
EMF	Elektromanyetik Frekans
HF	Yüksek Frekans
H_2O	Su
$\text{FeO}(\text{OH})$	Mika

ICNRP	Uluslararası İyonize Radyasyon Koruma Komisyonu
M.Ö.	Milattan Önce
PE	Poli Etilen
PET	Poli Etilen Tereftalat
PP	Poli Propilin
PS	Poly Styrene
PVC	Poli Vinil Clorur
SSC	Bilim Yönlendirme Komitesi
TEFLON	Poli Tetra Flourin Etilen
TWT	Bir Çeşit Vakum Tüpü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
WIPO	Dünya Patent Patent Organizasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Magnetronlarda akım durumlarına göre çalışma durumları a. Akım sıfır durumu, b.Akım sıfırdan farklı durumu.....	21
Şekil 2.2 Rezonatörlerin uyarılması.....	22
Şekil 2.3 Laboratuvar ortamında içini açtığımız bir magnetron.....	22
Şekil 2.4 Laboratuvar ortamında içini açtığımız magnetronun kavite yapısı.....	23
Şekil 2.5 Dikdörtgen kesitli bir dalga kılavuzu.....	23
Şekil 2.6 Dalga kılavuzunun $\lambda /4$ uzunluklu kısa devre parçalarından meydana gelişi..	23
Şekil 2.7 Dalgaların dalga kılavuzu içerisinde temsili geçişi.....	24
Şekil 2.8 Şekil Su moleküllerinin formları (a) Orto formu ve (b) Para formu.....	26
Şekil 3.1 Bir mikrodalga kombinin genel tasarımı.....	31
Şekil 3.2 Tasarladığımız bir mikrodalga kombi prototipi.....	34
Şekil 3.3 1 ve 2 numaralı deneylerin grafiği.....	35
Şekil 4.1 Bir boru kesiti.....	44
Şekil 4.2 Mühendislik plastiklerinin genel özellikleri	46
Şekil 6.1 Uygulama sunuş sayfası.....	55
Şekil 6.2 Uygulama ana sayfası.....	55
Şekil 6.3 Metrik sistemler uygulaması.....	56
Şekil 6.4 Maxwell denklemleri tanıtım sayfası.....	57
Şekil 6.5 Spektrum tarama sayfası.....	57
Şekil 6.6 Malzemelerin mikrodalga geçirgenlik simülasyonu.....	58
Şekil 6.7 Materyal su olunca dalga durumu.....	59
Şekil 6.8 Isı enerjisi hesaplama sayfası.....	60
Şekil 7.1 Uluslararası araştırma raporu ve yayını.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Maxwell denklem formları ve anlamları.....	7
Çizelge-3.1 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlarda AB Referans sınırlamaları (1999/519/EC).....	29
Çizelge 3.2 Ülkemizde radyasyon maruz kalma limitleri.....	30
Çizelge 3.3 Prototipini yaptığımız cihaz ile yapılan denemelere ait veriler.....	35
Çizelge 3.4 Numune malzemelerin geçirgenlik testleri.....	36
Çizelge 3.5 Numune malzemelerin farklı zaman için geçirgenlik testleri.....	37
Çizelge 3.6 Malzeme için farklı hacimlerde geçirgenlik kıyaslamaları.....	37
Çizelge 3.7 Malzeme için farklı süre ve hacimlerde geçirgenlik kıyaslamaları.....	38
Çizelge 3.8 250 ml lik cam numune su için ölçüm değerleri.....	39
Çizelge 3.9 250 ml lik porselen kaptaki su için ölçüm değerleri.....	39
Çizelge 3.10 Farklı ebatlarda, farklı malzemelerde susuz ölçüm değerleri.....	40
Çizelge 4.1 Bazı malzemelerin dielektrik sabitleri.....	47
Çizelge 7.1 Malzemelerin dalga kayıplarının karşılaştırılması.....	61

1. GİRİŞ

Elektromanyetizmanın başlangıcının elektrik yük kaynaklarından elektronun keşfi ile başladığını söyleyebiliriz. Elektromanyetizmanın günümüze kadar gelmesinde Faraday, Ampere ve Maxwell'in gözlem ve deneyleri temel oluşturmuştur. Maxwell'in elektromanyetik teoride çığır açan denklemleri elektromanyetik teorinin temeli olmuştur. Elektromanyetik dalgalar günlük hayatımızda sayısız kullanım alanına sahiptir. Tv-radyo dalgaları, radar, lazer, haberleşme, tıp, kumanda sistemleri vb kullanım alanları bulunmaktadır. Günümüzde mühendislik uygulamalarından ziyade elektromanyetik dalga ve madde etkileşimleri de incelenmiştir. Örneğin su saflaştırma mikrodalga ile yapılabiliyor. Tokyo'da bulunan Water Institute 'de su moleküllerinin elektrik alan, manyetik alan ve ayrıca elektromanyetik alan incelemeleri mikrodalga ile yapılmıştır. Farklı olarak su moleküllerinin moleköl spektrumları ve dipol momentleri mikrodalga ile incelenmektedir. Bilimsel araştırma ve mühendislik uygulamaları dışında bugün sanayide mikrodalga; çay, fındık, deri gibi endüstriyel ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Mikrodalga fırın ve benzeri birçok mikrodalga kaynaklı ticari ve askeri ürün bulunmaktadır.

Günümüzde teorik çalışmalar dışında, dünyada benzer konuda yaklaşık 300 dolayında uluslararası patentli buluş mevcuttur. Bunlardan başlıcaları mikrodalga su ısıtıcıları, hibrit mikrodalga ısıtıcılar, mikrodalga kurutma cihazları ve buhar kaynakları olarak da kullanılmaktadır. Fakat sıcak su ve kurutma ihtiyacı dışında ısıtmada kullanılan yaklaşık 50 civarında buluş mevcuttur. İlerleyen konularda bu buluşlara yakından değineceğiz.

Bu tez çalışması infrared ısıtma sistemleri dışında, elektromanyetik dalga- madde etkileşimine dayanan bir ısınma sistemine dayanmaktadır. İçerik olarak da elektromanyetik cihaz olan mikrodalga kombinin çalışma prensibi altında yatan deneysel ve teorik çalışmalar yer almaktadır. Bir laboratuvar ortamında mikrodalga ve malzeme etkileşimleri çalışılmıştır. Tez kapsamında yapılan incelemeler enerji kaybı ve malzemelerin mikrodalga geçirgenlikleri ile ilgilidir. Burada kayıp ise söz konusu enerji dönüşümleri sonucu giriş olarak kullanılan fakat amaç doğrultusunda dönüşmemiş

enerjidir. Teorik olsa da sistem adyabatik ve vakumlu olmadıkça (sıfır vakum bile söz konusu olamaz) atomik boyutta da enerji kaybı mutlaklıtır. Yukarıda verdiğimiz örneklerde de enerji kaybı; sistem mekanik ise sürtünmede ısı enerjisine dönüşmesi ile, sistem akışkan ise, akışkan sistemin bulunduğı kabın ısınması veya direnci, sistem elektrik enerjisi ile ilgili ise akım taşıyan materyallerin direnci ile mümkündür. Bu tez kapsamında incelediğimiz elektromanyetik dalgaların enerji kaybının hesaplamalarının da birçok yöntemi mevcuttur. Önceden de bahsedildiğı gibi elektrik enerjisi hesaplamalarından yola çıkabiliriz. Matematiksel olarak, elektromanyetik dalgalarda birim alan başına üretilen veya tüketilen güç anlamına gelen Poynting vektörü ile ilgileneceğiz. Su-mikrodalga etkileşiminin en önemli fiziksel nedenlerini ve açıklamalarını incelerken, suyun özelliklerine ve mikrodalgaın özelliklerine de değineceğiz. Su ile mikrodalga etkileşmelerini incelerken; sistematik olarak, su ile elektrik alanın etkileşimi, su ile manyetik alanın etkileşimi ve son olarak su ile elektromanyetik dalga etkileşimini inceleyeceğiz.

Uygulamada Poynting vektöründen bahsetmek pratik olmayabilir. Madde veya hava ortamında bile olsa ışık hızında hareket eden elektromanyetik dalgalar için hesap yaparken elbette Poynting vektörünün gerekli kıldığı elektrik ve manyetik alan bileşenlerini ayrı ayrı veya bütün olarak hesaplayıp kesin değerleriyle tespit edemeyiz. Teorik hesaplamalardan sonraki süreçte deneysel hesaplar yapılacaktır. Deneysel olarak da mikrodalgaın su ısıtmasına dayanan ve bir sanayi projesi haline getirilen, bu sayede kurumumuz TÜBİTAK'ın desteklediğı, buluş niteliğindeki mikrodalga kombi projesini ele alacağız. Burada da suya aktarılan enerjinin hesabı ve bu aktarılan enerjideki kaybın belirli bir oranının malzemeden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Böylece malzemelere göre değişen enerji kaybı aslında bizim için malzemenin kalitesini belirler. Araştırmayı daha üst düzeye çıkartmak adına mikrodalga-su etkileşimine aracı olan malzemeyi göz önünde bulundurmamız gerekmektedir. Malzemeye bağılı elektromanyetik dalgaın kaybettiğı güç bize daha fazla bilgiyi, dielektrik geçirgenlik oranlarını vermektedir. Böylece de deneysel olarak ölçtüğümüz malzeme-mikrodalga geçirgenliklerini dielektrik sabitleri ile kıyaslayıp çalışmaların tutarlılığını sorgulayacağız. Çalışmalarımızın bir adım sonrasında, sabit frekansta çalışmamıza rağmen deneysel

verilerden dielektrik sabitinin ve enerji kaybının da frekansa göre değişebileceği görülmüştür.

Mikrodalga kombi çalışmamızda mikrodalga-su etkileşmesini daha kolay araştırmak amacıyla, suya malzeme gibi yaklaşılmıştır. Mikrodalgaların malzeme içerisinde kaybettiği enerji hesaplanırken çalışılan malzemelerin elektromanyetik dalga geçirgenlikleri ve suyun elektromanyetik geçirgenliğini irdelleyeceğiz. İlerleyen aşamalarda, hesaplardan sonra daha da derine inerek çalışmamıza kuantum mekaniksel yaklaşacağız. Bu yaklaşımda da görülmüştür ki kuantum mekaniksel bir olgu olan elektromanyetik dalgalar, klasik mekaniksel davranan akışkanlar ile etkileşince klasik mekaniksel bir sonuç doğurabilir. İlk defa yapılan bu çalışma, kuantum mekaniği - klasik mekanik sınırında bir uygulama problemi olduğunu ve bu problemlerin nümerik çalışmaları ile yarı-klasik nümerik denklemler t retebileceğini göreceğiz. Ardından çalıştığımız probleme bilgisayar uygulamaları ile yaklaşılmış ve bu programlama malzeme-mikrodalga etkileşimi ve ortam ısıtma simülasyonları ile desteklenmiştir. Program ve simülasyonlar da her araştırmada olduğu gibi mutlak bir seviyeye gelmeden tamamlanmaz. Bu sebeple yazılım çalışmamız daha kolay geliştirmeye olanak sağlayan temel düzeye yükseltilmiştir.

2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR

Elektromanyetik (EM) dalgalar, yüklü bir parçacığın ivmeli hareketi sonucu oluşan, birbirine dik elektrik ve manyetik alan bileşeni bulunan ve bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda yayılan, yayılmaları için ortam gerekmeyen, boşlukta ışık hızı ile yayılan enine dalgalardır. Elektromanyetik dalga kavramı ilk olarak James Clerk Maxwell tarafından ortaya atılmış ve Heinrich Hertz tarafından doğrulanmıştır. Maxwell, ışığın ölçülen hızının, dalga denklemlerinden çıkan EM dalgaları hızları ile çakışık olmasından dolayı ışığı da bir elektromanyetik dalga olarak kabul etmiştir.

Değişen ve zamana bağlı olan elektrik ve manyetik alana nicelikli yaklaşan ilk Faraday olmuştur. Bunu da deneylerinde zamanla değişen manyetik alanda dairesel bir devre içerisinde geçen akım davranışını inceleyerek yapmıştır. Bu da Faraday indüklemeye yasası olarak kabul edilir

Zamanla değişmeyen elektrik ve manyetik alanlar:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_v \quad (2.2)$$

şeklindedir. $\vec{E}$ elektrik alan şiddeti, $\vec{D}$ de elektrik akı yoğunluğudur. Lineer ve izotropik (homojen olma şartı yok) ortamlarda ise $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ bağıntısı geçerlidir. Yukarıdaki elektro-statik ifadeleri benzer olarak durgun manyetik alan anlamına gelen magneto-statik için de diferansiyel denklemleri içeren ifadeleri inceleyelim:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2.4)$$

denklemleri için aynı lineer ve izotropik ortam koşulları geçerlidir.

2.1 Faraday İndükleme Yasası

Zamana bağlı elektrik ve manyetik alana ilk nicelikli yaklaşan Faraday bunu indüklenme yasası olarak literatüre kazandırmıştır. Faraday tarafından gözlemlenmiştir ki, komşu devrede akan durgun akım başlatılırsa, bitirilirse veya durgun akım taşıyan komşu devre diğer devreye nazaran bağıl hareket ettirilirse devre içindeki veya dışında oluşan manyetik alan ikinci devrede geçici akım indükler. Faraday geçici akım oluşmasını manyetik akıdaki değişime bağlamıştır. Değişen manyetik akı devrede elektromotor kuvvet dediğimiz bir çizgi integrali elektrik alan indüklenmesini sağlar.

Elektromanyetik indüklemenin temel postulatı

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.5)$$

şeklinde bilinir. Bu eşitlik hem malzeme ortamında hem de boş uzayda geçerlidir. Bu eşitliğe göre zamanla değişen manyetik akı yoğunluğu bulunan bir ortamda elektrik alan şiddeti korunumlu değildir ve bir skaler potansiyelin gradyentinin negatifi olamaz (Jackson 1999).

Bu eşitlik için Stokes teoremini uygulayalım. Peki ama neden uygulayalım? Elektrik alan kaynağı dört boyutlu uzay-zamanda hacimsel yük yoğunluğudur. Eşitliğin sağ tarafı ise manyetik alan akı yoğunluğu yani yüzey ile ilgilidir. Bu sebeple eşitliğimizi incelemek için bir hacim ve hacmi saran yüzeyin ilişkisinin matematiksel ifadesi olan Stokes teoremi uygundur. Eşitliğin her iki tarafının çizgi integralini alalım:

$$\oint_c \vec{E} d\vec{l} = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad (2.6)$$

ifadesini elde ederiz. Zamanla değişen bu alan denklemlerini zamandan bağımsız elektromanyetostatik denklemlere indirgeyebiliriz .

2.2 Maxwell Denklemleri

James Clerk Maxwell' in topladığı dört denklemlilik, elektrik ve manyetik özelliklerle bu alanların maddeyle etkileşimlerini açıklayan bir settir. Bu dört denklem sırasıyla, elektrik alanının elektrik yükleri tarafından oluşturulduğunu (Gauss Yasası), manyetik alanın kaynağı için manyetik yükün olmadığını, yüklerin ve değişken elektrik alanların manyetik alan ürettiğini (Ampere-Maxwell Yasası) ve değişken manyetik alanın da elektrik alan ürettiğini (Faraday' ın İndüksiyon Yasası) gösterir (Cheng 2012). Bu denklem seti aşağıdaki gibidir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_v \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.10)$$

2.2.1 Maxwell denklemlerinin integral biçimi

Diferansiyel formlarını incelediğimiz Maxwell denklemlerinin integral formlarını da inceleyelim. Maxwell denklemleri uzayın her noktasında geçerli olan diferansiyel denklemlerdir. Fiziksel bir ortamdaki elektromanyetik olayları açıklarken belirli şekilleri ve sınırları olan sonlu nesneleri ele almalıyız. Bu sebeple diferansiyel formları integral formlara çevirmeliyiz.

Rotasyonel ifadelerini, sınırı c olan bir açık s yüzeyi için yüzey integralini alır ve Stokes Teoremi'ni uyguluyoruz. Diverjans ifadelerini de s kapalı yüzeyinin sınırladığı V hacmi için hacim integrali alırız. Öncelikle Stokes Teoremi'ne bakalım.

$$\int_s \vec{\nabla} \times \vec{A} \cdot d\vec{s} = \oint_c \vec{A} \cdot d\vec{\ell} \quad (2.11)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ için } \int_s \vec{\nabla} \times \vec{E} \cdot d\vec{s} = \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\oint_c \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{\ell} \quad (2.12)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \text{ için de } \int_s \vec{\nabla} \times \vec{H} \cdot d\vec{s} = \oint_c \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = -\oint_c \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{\ell} \quad (2.13)$$

olur. Diverjans denklemleri için ıraksama teoremini düşünürsek, aşağıdaki gibi olur.

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{A} dv = \oint_s \vec{A} \cdot d\vec{s} \quad (2.14)$$

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{D} dv = \oint_s \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_V \rho_v dv \quad (2.15)$$

$$\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{B} dv = \oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2.16)$$

olur. Maxwell denklemlerinin; diferansiyel biçimi, integral biçimi ve anlamı aşağıdaki çizelge 2.1 ile verilmiştir. Bu matematiksel formların da önemi çok büyük. Uzayın herhangi bir noktası ve madde ortamı farklı formlar gerektirir.

Çizelge 2.1 Maxwell denklem formları ve anlamları

Diferansiyel Biçim	İntegral Biçimi	Anlamı
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d\Phi}{dt}$	Faraday Yasası
$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I + \oint_s \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$	Ampere Yasası
$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_v$	$\oint_s \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q$	Gauss Yasası
$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	Manyetik yük yoktur

Yukarıda anlatılan elektromanyetik alanların elektrik ve manyetik alan bileşenleri için dalga denklemleri sırası ile

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{U_p^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.17)$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.18)$$

şeklindedir. Diferansiyel denklem çözümlerinden biliyoruz ki, bu denklemin çözümü sinüsseldir. Matematikte diferansiyel denklem çözümlerinden bilindiği gibi, $U_1(x,t) = \sin \beta(x - vt)$ önermesi bir çözüm olduğu gibi $U_2(x,t) = \sin \beta(x + vt)$ eşitliği de bir çözümdür. Eğer diferansiyel denklem lineer olduğu için süperpozisyon gereğince

$$U(x,t) = U_1 + U_2 = \sin \beta(x - vt) + \sin \beta(x + vt) \quad (2.19)$$

ifadesi de bir çözümdür. Burada $U_1(x,t)$ dalgası, başlangıç noktasına göre pozitif x doğrultusunda giden bir dalgayı, $U_2(x,t)$ dalgası ise, başlangıç noktasına göre negatif doğrultusunda giden bir dalgayı gösterir. Genel anlamda da dalga denklemi çözümü

$$U(x,t) = A \sin \beta(\omega t - x.2\pi / \lambda) \quad (2.20)$$

veya

$$U(x,t) = B \cos \beta(\omega t - x.2\pi / \lambda) \quad (2.21)$$

şeklindedir. A ve B katsayıları da dalga genlikleri olup, geçirgenlik ve yansıma kurallarına uymaktadırlar.

2.3 Düzlem Elektromanyetik Dalgalar

Elektrik alan için bulduğumuz kaynaksız dalga denklemi (2.17) denklemi şeklindedir.

Burada ortam parametrelerine bağlı olarak ilerleyen dalganın hızı $\frac{1}{U_p} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ eşitliği

ile ifade edilir. Aynı denklem bir önceki konularda gördüğümüz gibi manyetik alan için de geçerlidir. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlar Maxwell rotasyonel denklemleri ile bağdaştığı için sonuç bir elektromanyetik dalgadır.

Düzgün düzlemsel dalga, elektrik alanın veya manyetik alanın yayılma yönünü dik sonsuz düzlemlerde, aynı yöne, aynı genliğe ve aynı faza sahip özel bir Maxwell denklemleri çözümüdür. Fakat gerçekte düzgün düzlem dalgalar yoktur. Çünkü düzlem dalgaları oluşturmak için sonsuz boyutlarda kaynaklar gerekir ki pratikte bu durum mümkün değildir.

2.3.1 Kayıpsız ortamda düzlem dalgalar

Düzlem dalgalara ait $\nabla^2 E + k^2 E = 0$ homojen dalga denklemlerinin çözümlerini bulalım. Bunun için öncelikle Kartezyen koordinatlardaki ifadesi olan

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial_x^2} + \frac{\partial^2}{\partial_y^2} + \frac{\partial^2}{\partial_z^2} + k^2 \right) E_x = 0 \quad (2.22)$$

denklemi elektrik alanının sadece E_x bileşeni içindir. Bu dalga için

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial_x^2} = 0 \text{ ve } \frac{\partial^2 E_y}{\partial_y^2} = 0$$

olur. (2.22) sadeleştirilirse aşağıdaki hali alır.

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + k^2 E_x = 0 \quad (2.23)$$

E_x fazörü sadece E ye bağlı olduğundan adi bir diferansiyel denklemdir. Çözümü de

$$E_x = E_0^+ e^{-jkz} + E_0^- e^{+jkz} \quad (2.24)$$

şeklinde olur. Buradan

$$U_p = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (2.25)$$

faz hızını buluruz. Dalga sayısı için

$$k = \omega\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.26)$$

ifadelerini elde ederiz. Bu şekilde ifade edilen elektrik alan için manyetik alan

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x^+(z) & 0 & 0 \end{vmatrix} = -i\omega\mu(\mathbf{a}_x H_x + \mathbf{a}_y H_y + \mathbf{a}_z H_z) \quad (2.27)$$

rotasyonel hesabından vektörel olarak bulunur. Ortamın öz empedansı için $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$

ifadesi geçerlidir. Havanın öz empedansı $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 120\pi = 377\Omega$ değerindedir. Bu

ifadelerle birlikte elektrik ve manyetik alan bileşenleri eş fazlı ve manyetik alan ifadesi

$$H(z, t) = \mathbf{a}_y H_y^+ = \mathbf{a}_y \frac{E_0^+}{\eta} \cos(\omega t - k z) \quad (2.28)$$

şekline dönüşür. ϵ ve μ katsayıları ile tanımlı, iletken olmayan ($\sigma=0$) ve kaynaksız bir ortamda Maxwell denklemleri de aşağıdaki şekillere indirgenir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.29)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.30)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.31)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.32)$$

2.3.2 Kayıplı ortamda düzlem dalgalar

Kayıplı ortamlarda değişken, ortam parametreleridir. Bu ortamlar $\rho_v \neq 0$ ve $J \neq 0$ özelliğine sahiptir. Dolayısıyla iletken olan ortam için $\sigma \neq 0$ olur. İletken ortamda elektrik alandan dolayı $\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$ akımı akacaktır. Bu Ohm Yasası olarak bilinir. Elektrik alan fazör cinsinden

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{H} &= (\sigma + j\omega\epsilon)\vec{E} \\ &= j\omega\left(\epsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right)\vec{E} = j\omega\epsilon_c\vec{E}\end{aligned}\quad (2.33)$$

şeklini alacaktır. Burada

$$\epsilon_c = \epsilon - j\frac{\sigma}{\omega} \cdot \frac{F}{m} \quad (2.34)$$

ile tanımlanır. Bu yeni ifade kayıplı ortamın kompleks geçirgenliğidir. Fazör cinsinden diğer denklemlerimiz

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \quad (2.35)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E} \quad (2.36)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon \quad (2.37)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.38)$$

olacaktır. Kayıplı bir ortam fiziksel olarak genellikle elektrik iletken bir malzeme ortamıdır. Bu madde ortamına bir dış elektrik alan uygulanması ile serbest olmayan yüklerin küçük yer değiştirmeleri de gerçekleşir. Bu hacimsel bir kutuplanma yoğunluğu oluşturur. Bu kutuplanma vektörü uygulanan elektrik alanı ile aynı frekansta salınır. Frekans arttıkça yüklü parçacıkların ataleti, parçacık yer değiştirmeleri ile alan yer değiştirmelerinin aynı fazda olmasını engeller ve bir sürtünme zayıflaması mekanizmasına yol açar. Bu olay güç kaybına neden olur. Çünkü zayıflama kuvvetlerini yok etmek için iş yapmak gerekir. Bu farklı kutuplanma olayı olup kompleks bir hassasiyet ve dolayısıyla kompleks geçirgenlikle açıklanabilir. Bu ortamları incelerken

hem zayıflama hem de direnç kayıpları ϵ_c kompleks geçirgenliğin sanal kısmına katmak gelenekseldir.

$\epsilon_c = \epsilon' - j\epsilon''$ şeklindedir. ϵ' ve ϵ'' frekansın fonksiyonlarıdır. Tüm kayıpları da temsil eden bir eş değerlik iletkenlik $\sigma = \omega\epsilon''$ ile ifade edilir. Ortamdaki güç kaybının bir ölçüsü ϵ''/ϵ' oranı ile bulunabilir. Bu kayıp oranının tanjantı

$$\tan \delta_c = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \cong \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \quad (2.39)$$

olup δ_c terimi de kayıp açısını verecektir.

Ortamımız; $\sigma \gg \omega\epsilon$ özelliğine sahipse iyi iletken; $\sigma \ll \omega\epsilon$ özelliğine de sahipse iyi yalıtkan olur. Eğer bir malzeme düşük frekanslarda iyi iletken ise yüksek frekanslarda kayıplı dielektrik özellikte olabilir. Bu araştırmada incelenen konu gereği yalıtkan ortamların özellikleri ve davranışları ile ilgilenilecektir.

Nemli toprak için dielektrik sabiti $\epsilon_r = 10$ (S/m) ve iletkenliği $\sigma = 10^{-2}$ (S/m) değerleri civarındadır. Kayıp tanjantı da $\tan \frac{\sigma}{\omega\epsilon} = 1,8 \cdot 10^4$ değerinde olacaktır. 10^3 Hz için göreceli olarak, nemli toprak iyi bir iletken denebilir. Fakat 10^{10} Hz gibi yüksek değerlere ulaşıldığında ise nemli toprak iyi bir yalıtkan gibi davranabilir. İletim hatlarında γ yayılma sabiti olmak üzere, $\gamma = ik_c = j\omega\sqrt{\mu\epsilon_c}$ olacaktır. Birimi de (m^{-1}) dir.

2.3.3 Düşük kayıplı ortam

Düşük kayıplı bir dielektrik, iyi ancak mükemmel olmayan bir yalıtkan ve $\sigma/\omega\epsilon \ll 1$ olacaktır. Ancak sıfır olmayacak bir öz iletkenliği vardır. Düşük kayıplı bir dielektriğin öz empedansı kompleks bir niceliktir. Bu öz empedans aşağıdaki şekildedir.

$$\eta_c = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}} \left(1 - j \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^{-1/2} \cong \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}} \left(1 + j \frac{\epsilon''}{2\epsilon\epsilon'} \right) \quad (2.40)$$

2.4 İyi İletkenler

İyi bir iletken ortam $\sigma/\omega\epsilon \gg 1$ matematiksel koşulunu sağlayan bir ortamdır. İletken denilince elektromanyetik dalga yayılması veya iletilmesi anlaşılır. Bu iletkenin yayılma sabitini sorgulamamızı gerektirir. İletkenler için yayılma sabiti kompleks içerikli

$$\begin{aligned}\gamma &= j\omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{\frac{\sigma}{j\omega\epsilon}} \\ &= \sqrt{j\omega\mu\sigma} = \frac{1+j}{2}\sqrt{\omega\mu\sigma}\end{aligned}\quad (2.41)$$

ifadesi ile betimlenir. İyi bir iletkenin zayıflama ve faz sabiti eşittir. Bunun açık ifadesi de aşağıdaki gibidir.

$$\gamma = \alpha + j\beta \cong (1+j)\sqrt{\pi f\mu\sigma} \quad (2.42)$$

yayılma sabiti iken,

$$\sqrt{j} = (e^{j\pi/2})^{1/2} = e^{j\pi/4} = (1+j)/\sqrt{2} \quad (2.43)$$

karmaşık sayının karekökünü,

$$\nu = \alpha + j\beta \cong \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{j}{\sqrt{2}} \quad (2.44)$$

ifadesinde $\alpha = \beta = \sqrt{\pi f\mu\sigma}$ eşitliği de bize zayıflama ve faz sabitinin eşitliğini gösterir.

İyi bir iletken için öz empedans

$$\eta_c = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon_c}} \cong \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = \frac{1+j}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} \quad (2.45)$$

ile betimlenir. Bu ortamlarda manyetik alan ile elektrik alan arasındaki faz farkı 45° dir.

Faz hızı

$$U_p = \frac{\omega}{\beta} \cong \sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$$

ile verilir. Bu iyi iletkendeki dalga boyu da

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{U_p}{f} = 2\sqrt{\frac{\pi}{f\sigma\mu}}$$

şeklinde belirlenir. Bakır için parametrelerimiz $\sigma = 5,8.10^7 \text{ S/m}$ $\mu = 4\pi.10^{-7} \text{ H/m}$, $U_p = 720 \text{ m/s}$ değerlerine sahiptir. Bu değerler 3 MHz'lik frekans değerleri için geçerlidir. Yine 3 MHz'lik frekansta bakır için dalga boyu 0.24 mm dir. Havadaki nemin dalga boyu 100 metredir. Çok yüksek frekanslarda iyi bir iletkenin α yayılma sabiti $\sqrt{\pi f \mu \sigma}$ çok büyük olma eğilimindedir. Bakır için yayılma sabiti $\alpha = \sqrt{\pi 3.10^6 4\pi.10^{-7} 5,8.10^7} = 2,62.10^4 \text{ Np/m}$ dir. Zayıflama sabiti $e^{-\alpha z}$ olduğundan, bir dalga $\delta = 1/\alpha$ mesafe sonra dalga genliği e^{-1} veya 0,368 çarpanıyla azalmış olacak. Bakırda 3 MHz için bu mesafe 0,038 m iken 1000 MHz için aynı mesafe $6,6.10^{-7} \text{ m}$ dir. Yüksek frekanslı bir elektromanyetik dalga iyi bir iletken içinde çabuk zayıflar. İlerleyen bir dalga genliğinin $1/e$ oranıyla azaldığı mesafe olan $\delta = 1/\alpha$ mesafesi iletkenin nüfuz derinliğidir. Bu da

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.46)$$

olarak tanımlanabilir. İyi bir iletkende yayılma sabiti ve bu mesafe $\alpha = \beta$; ve $\delta = 1/\beta = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{1}{k}$ şeklinde betimlenebilir. Tek frekanslı bir düzlem dalganın faz hızı U_p için bir eş faz dalga cephesinin hızı demiştik. $U_p = \omega / \beta$ kayıpsız ortamdaki düzlem dalgalar için $\beta = k = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$ olup sabittir ve frekanstan bağımsızdır. Ancak bazı durumlarda kayıplı ortamlarda, dalga kılavuzlarında faz hızı ω 'ya lineer bağımlı değildir. Bu sebeple farklı frekanslı dalgalar farklı faz hızı ile ilerlerler. Grup hızı, dalga paketi frekans grubunun yayılma hızıdır. Hızı da

$$U_g = \frac{dz}{dt} = \frac{\Delta \omega}{\Delta \beta}$$

şeklinde dir. Frekans grubundaki dalga $\omega_0 t - \beta_0 z = s b t$ ve

$$U_p = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega_0}{\beta_0}$$

faz hızı ile ilerler. Eğer bilgi taşıyorsak, bilgi taşıdığımız elektromanyetik dalgalar tek bir frekans bandından oluştuğundan, bileşen frekansların dalgaları farklı faz hızı ile ilerleyecek ve bu sinyalin dalga şeklinde bozulma olacak ve bu dağıtıcı ortamda grup

$$\text{hızı } U_p = \frac{1}{\Delta\omega / \Delta\beta} \text{ olacaktır (Griffiths 1999).}$$

2.5 Elektromanyetik Güç ve Poynting Vektörü

2.5.1 Elektromanyetik güç akışı

Poynting teoremi fizikçi John Henry Poynting tarafından ortaya atılmıştır. Teorisini Mason Science Koleji fizik profesörü olduğu tarihten (daha sonra Birmingham Üniversitesi'nde) ölümüne kadar geliştirmiştir. Poynting vektörü, Poynting teoreminde elektromanyetik enerji akışı ve büyüklüğünün yönünü tarif eder. Bu vektör elektrik ve manyetik alan için önemli bir enerji dönüşümü haline gelmiştir. Bu çalışma ilk olarak 1884 yılında yayınladı.

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve zaman kavramını da bir arada düşünürsek, güç de taşımış olduklarını anlarız. Güç akışını ifade edebilmek için ilerleyen bir elektromanyetik dalgaya eşlik eden $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ alan şiddetleri arasındaki ilişkiyi bulmaya çalışarak başlayalım. Rotasyonel ifadelerimize tekrar dönelim.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ ve } \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Bu eşitliğin sol taraflarında türeyen rotasyonellerin ne olduklarını bildiğimizden yerlerine yazalım.

$$\begin{aligned} \vec{\nabla}(\vec{E} \times \vec{H}) &= \vec{H} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{E}) - \vec{E} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \\ &= \vec{H} \cdot \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) - \vec{E} \cdot \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (2.46)$$

Eşitliklerine ulaşırız. Bu denklemde dikkat edilmesi gereken husus, ϵ , μ ve σ parametreleri zamanla değişmeyen bir basit ortamda her bir toplam teriminin

$$\begin{aligned}\vec{H} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= \vec{H} \cdot \left(\frac{\partial \mu \vec{H}}{\partial t} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \mu \vec{H} \cdot \vec{H}}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \mu H^2 \right), \\ \vec{E} \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} &= \vec{E} \cdot \left(\frac{\partial \epsilon \vec{D}}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \epsilon D^2 \right)\end{aligned}\quad (2.47)$$

$\vec{E} \cdot \vec{J} = \vec{E} \cdot (\sigma \vec{E}) = \sigma E^2$ şekline dönüşecektir. Denkleminiz bu hususlardan sonra

$$\begin{aligned}\vec{\nabla}(\vec{E} \times \vec{H}) &= -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \mu H^2 \right) - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \epsilon D^2 \right) - \sigma E^2 \\ &= -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \mu H^2 + \frac{1}{2} \epsilon D^2 \right) - \sigma E^2\end{aligned}\quad (2.48)$$

ile ifade edebileceğimiz nokta-fonksiyon bağıntısına dönüşür. Bu denkleminizin her iki tarafının integralini alırsak ve ıraksama teoremini de kullanarak aşağıdaki denklem biçimine ulaşırız:

$$\begin{aligned}\oint_s \vec{\nabla}(\vec{E} \times \vec{H}) ds &= -\frac{\partial}{\partial t} \left[\int_v \left(\frac{1}{2} \mu H^2 + \frac{1}{2} \epsilon D^2 \right) dv \right] - \int_v \sigma E^2 dv \\ &= \int_v \vec{\nabla}(\vec{E} \times \vec{H}) dv\end{aligned}\quad (2.49)$$

Bu eşitliğin sağ tarafındaki birinci ve ikinci terim $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ alanlarında depolanan enerjinin zamanla değişim hızıdır. Son terim ise $\vec{E}$ alan varlığında akan $\sigma \vec{E}$ iletkenlik akım yoğunluğu sonucunda harcanan direnç gücüdür. İfademize göre depolanan elektrik ve manyetik enerjinin azalış hızı ve bundan çıkarılan, V hacminde ısı olarak harcanan direnç gücü olarak yorumlanabilir. Enerjinin korunum yasası ile tutarlı olması için bu da hacmi kuşatan yüzeyden çıkan güce (enerji hızına) eşit olması gerekir. Böylece $\vec{E} \times \vec{H}$ niceliği birim alan başına güç akışını temsil eden bir vektör olur. Bu vektör $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ olan bu nicelik Poynting vektörü olarak bilinir ve bir elektromanyetik alana eşlik eden güç yoğunluğu vektörüdür. Kısacası yüzey integralinin, yüzeyi terk eden güce eşit olması Poynting teoremidir. Bu güç ifadesi sadece düzlem dalgalarla sınırlı olmayıp, genel geçerliliğe sahiptir.

Yukarıda anlatılanlar matematiksel ifade edersek:

$$\oint_s \vec{P} ds = \frac{\partial}{\partial t} \int_v (W_e + W_m) dv + \int_v \vec{P}_\sigma dv \quad (2.50)$$

denklemine göre bir s yüzeyindeki toplam yüzey akı; manyetik alan, elektrik alan güçleri ve yüzey dielektrik güç vektörleri toplamına eşittir. Sırası ile elektriksel enerji yoğunluğu,

$$(2.51)$$

olacaktır. Manyetik enerji güç yoğunluğu da

$$W_m = 1/2 \cdot \mu H^2 = 1/2 \cdot \mu H H^* \quad (2.52)$$

olacaktır. Eklenen diğer terim olan direnile güç yoğunluğu da aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$P_\sigma = \sigma E^2 = \frac{J^2}{\sigma} = \sigma E E^* = \frac{J J^*}{\sigma} \quad (2.53)$$

Toparlayacak olursak herhangi bir anda kapalı bir yüzeyden içeri akan toplam güç, depolanan elektrik ve manyetik enerjilerin artış hızının ve hacimde harcanan direnile gücün toplamına eşittir.

2.5.2 Poynting vektörü

$\cos \omega t$ referanslı dalga çözümleri kullanıldığında bir niceliğin anlık değeri, fazör ile $e^{i\omega t}$ nin çarpımının reel kısmıdır. Elektrik alan şiddeti z bileşenine sahip bir elektromanyetik dalga için örneğimiz

$$(2.54)$$

biçiminde olur. Kayıplı ortamda $+z$ yönünde yayılan düzgün düzlem dalga için ilgili manyetik alanın formülü

$$H(z) = a_y H_y(z) = a_y \frac{E_0}{|\eta_c|} e^{-\alpha z} e^{-j(\beta z + \theta_n)} \quad (2.55)$$

olur. Bu denklemde θ_n ortamın öz empedansıdır. $\eta_c = |\eta_c| e^{j\theta_n}$ terimi ise faz açısıdır. Poynting vektörünün anlık ifadesi de :

$$P = a_z \frac{E_0^2}{|\eta_c|} e^{-2\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \cos(\omega t - \beta z - \theta_n) \quad (2.56)$$

şeklinde elde edilir. Bir dalganın iletlediği gücü düşünürsek ortalama değeri anlık değere göre daha önemlidir. Bu bakımdan zamanda ortalama Poynting vektörü olan ortalama güç vektörüne bakacak olursak,

$$P_{\text{ort}}(z) = \frac{1}{T} \int_0^T \rho(z, t) dt = a_z \frac{E_0^2}{2|\eta_c|} e^{-2\alpha z} \cos(\theta_n) \quad (2.57)$$

ifadesine ulaşırız. Birimi yine aynı şekilde W/m^2 dir. Bu ifade düzgün bir düzlem dalganın $+z$ yönünde iletlediği ortalama güç yoğunluğudur. Dalga periyodu da $2\pi/\omega$ dir. Kayıpsız ortamda dalga yayılmasında η_c den η ye geçiş reelidir ve $\sigma=0$, $\theta_n=0$ dir. Bundan sonra da vektörümüz

$$P_{\text{ort}}(z) = \alpha_z \frac{E_0^2}{2\eta_c} \quad (2.58)$$

sade haline indirgenmiş olur. Genelleştirirsek ifademiz de

$$P_{\text{ort}}(z) = \frac{1}{2} \text{Re}(E \times H) \quad (2.59)$$

biçimine ulaşır. Bu ifade yayılan bir dalganın ortalama güç yoğunluğunu ifade etmek için geneldir. Yukarıdaki iki eşitlikten ilki olan elektrik alanın karesini içeren ifade daha da uygulanabilir bir niteliktedir. Çünkü uygun bir elektromanyetik ışınma ölçer aleti ile elektrik alan bileşenini veya manyetik alan bileşenini ölçer ve malzemenin kırıcılık indisini biliriz.

Elektromanyetik spektrumunun başlıca frekans basamakları radyo, televizyon, mikrodalga, kızılötesi, görünür ışık, mor ötesi, X-ışınları ve gama ışınları şeklinde incelenir. Elektromanyetik spektrum uygulama alanına ve doğal var oluşlarına göre logaritmik ölçekle frekans ve dalga boyu aralıklarına bölünmüştür. GHz üstündeki ve kızıl ötesi alt limitine kadar olan UHF, SHF, EHF ve milimetrik dalga bölgelerini içeren frekanslardaki EM dalgalar anlamına gelebilir. VLF aralığının altındaki frekanslar telsiz haberleşmelerde nadiren kullanılır. Çünkü düşük frekans olan bu elektromanyetik dalgaların etkin yayılımı için büyük antenlere gereksinim vardır ve veri hızı çok düşüktür. Radar çalışmalarında da mikro dalga frekanslarının alt bantlarına alfabenin harfleri kullanılmıştır.

Elektromanyetik spektrum çoğunlukla telekomünikasyon çalışmalarını yürüten mühendis ve araştırmacılar sayesinde uzun zamanlar sonucu oluşturulmuştur. Örneğin UHF den (ultra high frequency) sonra EHF (extra high frequency) da bunun göstergesidir. Yüksek frekanslar keşfedildikten sonra araştırma ve uygulamalar artık daha yüksek enerjili, yani daha yüksek frekanslı dalgalara gereksinim duyulmuştur. Doğal olarak eski isimler değiştirilemediği için yüksek-üstü, ekstra yüksek frekans isimleri verilmiştir.

Işıma anlamına gelen radyasyon iyonize ve non-iyonize (iyonize olmayan) olarak iki temel sınıfa ayrılır. Alfa, Beta ve Gama ışınları elektromanyetik spektrumun en üstünde yer alır, insan sağlığına zararı tartışılmaz . Bunun hemen altındaki X ışınlarının da insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. X ışınlarının altındaki UV (Morötesi) bölgesi de, cilt kanserleri başta olmak üzere birçok zararı bulunmaktadır. Direkt olarak göze (retinaya) ve çok yüksek şiddette uygulanmadığı sürece bir zararı bilinmemektedir. X ve UV ışınimleri iyonize radyasyon sınıfına aittir.

Görünür ışığın iyonize olmayan radyasyon sınıfına girdiği söylenebilir. Görünür ışığın altında, ısınmamızı sağlayan IR (Infra Red-Kızılötesi) bandı vardır. IR bandında radyasyon yapan kaynaklara örnek olarak mangal, kömür sobası, kalorifer peteği, elektrikli ısıtıcılar verilebilir. IR bandı da ikiye ayrılır. Üst IR bölgesindeki kızıl ışık veren elektrikli IR ısıtıcılar, mangal vb ısıtıcılardır. Alt IR bölgesindekiler ise kalorifer peteği ve ışık vermeyen elektrikli ısıtıcılar gibi kaynaklardır. IR bandındaki ışınımın da zararsız olduğu kabul edilir. IR bölgesinin altında mikrodalga ve radyo dalgaları bulunur. Bu banttaki elektromanyetik radyasyon kaynaklarına cep telefonu, baz istasyonları ve mikrodalga kaynakları örnek verilebilir. Bu kaynakların yakın ve yüksek güçte olması, IR gibi vücutta ısınmaya sebep olur. Ancak bu ısınma deriye değil, vücudun derinliklerine işleyebildiğinden hemen hissedilmesi zordur. Fakat aşırı doz diye tabir edilen, gücün çok yüksek, mesafenin de çok yakın olması durumunda IR ışımasında olduğu gibi yanma (pişme) belirtileri görülür. Bu etki fizikseldir. Radyo dalgaları, IR ve mikrodalgalar da alt bantları ile birlikte iyonize olmayan radyasyon sınıfına aittir. Şimdi de spektrum elemanlarından mikrodalga ışınımına daha yakından bakalım.

2.6 Mikrodalgalar

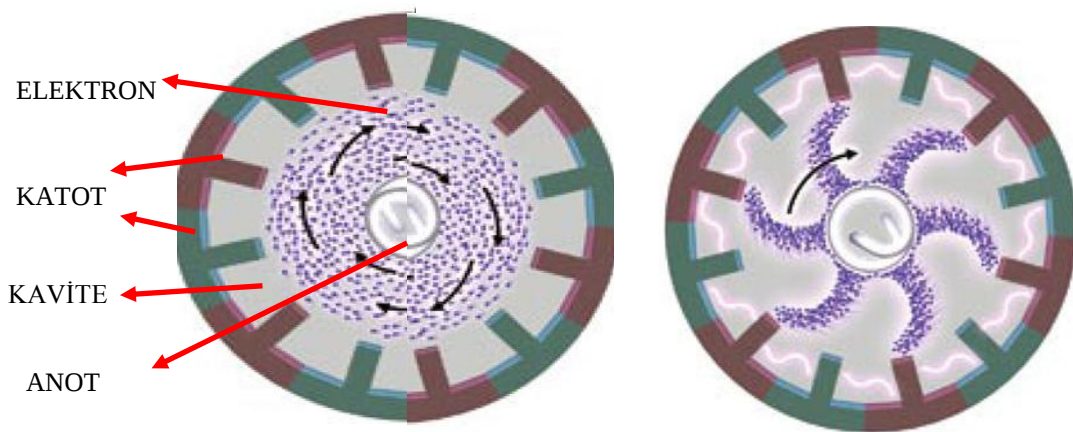
Mikrodalga genel olarak 300-300.000 MHz frekans aralığını kapsar. Radarlarda, mikrodalga fırınlarında, cep telefonlarında, kablosuz internet erişiminde, bluetooth kulaklıklarda, mağaza güvenlik sistemlerinde, mikrodalga frekansları kullanılır. Mühendislikte kullanım kolaylığı için bir çok alt bantları harflerle adlandırılmıştır. Mikrodalga sözü elektromanyetik dalganın dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu frekansları tanımlar. Dalga boyunun 1 cm'den kısa olduğu frekanslara ise milimetrik dalga ismi verilir. Oysa mikrodalga denince akla mikro da gelmekte ve bu da uzun radyo dalgaları mertebesine denk gelmektedir. Bu yüzden birçok bilim insanı mikrodalgada bir isimlendirme hatası olduğunu savunur. Dalga boyunun 1 mm'den kısa olan frekanslara (300-3000 GHz) "submilimetrik" dalga ismi verilir.

Mikrodalga kaynaklarından en önemlilerinden biri magnetrondur. 1921 yılında Albert Wallace tarafından güçlü bir mikrodalga gönderici tüpü olarak geliştirildi. Fakat ilk kullanımı 1940 yılında gerçekleşti. Magnetron, kendiliğinden uyarımlı gibi osilatördür. Diğer hareketli dalga tüpleri ya da klistron doğrusal ışınlam yapan tüpler gibi çalışır. Magnetronda; radar cihazına yüksek gönderim gücünü üretmek için birbirine dik (çapraz şekilde) bir elektrik ve kuvvetli bir manyetik alan oluşturulur. Bu nedenle eski yayınlarda magnetron çapraz alan üretici veya çapraz alan salındırıcı olarak adlandırılmıştır. Magnetron; mikrodalga fırın, trafik ve hava kontrol radarlarında kullanılıyor ve genellikle 2.45 GHz frekansında sabit olacak şekilde kalibre edilmiştir.

Magnetronun çalışma prensibi ise şöyledir. Metalden yapılan filtre şekilleri ısınma durumunda hava alışverişi ile soğutma işlemi için tasarlanmıştır. Bir mikrodalga boşluğunun rezonans frekansı, rezonatörün fiziksel boyutu tarafından belirlenir. Bazı magnetronlarda keskin hatlara sahip, bazılarında da silindirik şeklinde kaviteler bulunur. Bunlar aslında rezonatör kavite diye de adlandırılır. şekil 2.1'de de görüleceği gibi tek bir rezonans kavite salınımı ile onu izleyen bir sonraki rezonatör uyarılır. Bir rezonans boşluğundan sonraki her boşlukta 180 derecelik olan bu gecikme faz gecikmesidir. Rezonatörlerin zinciri böylece kendi içinde kapalı olan bir yavaş-dalgalı bir yapı

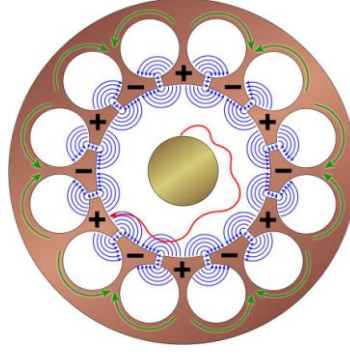
oluşturur. Bir magnetron katodu üzerinde içerdği elektronlar ile enerji transferi mekanizması oluşturur. Katot, anodun merkezinde yer alır ve aynı zamanda bir halka şerit şeklinde ısıtıcı ile çevrelenmiştir. Bu halka şerit yayıcı malzeme olup, çoğunlukla baryumoksit kullanılır. Anlatılan işleyiş mekanizması şekil 2.2 yardımı ile daha kolay anlaşılacaktır. Anot ve katot arasında herhangi bir tuhafılık, prüz ciddi iç kıvılcıma veya arızaya neden olabilir. Anot ve katot bloğun arasındaki açık alan, etkileşim alanı olarak adlandırılır. Bu alanda elektrik ve manyetik alanlar elektronlar üzerine kuvvet uygularlar. Manyetik alan oluşturmak için magnetler katodun eksenine paralel olacak şekilde kavitenin etrafında monte edilmiştir.

Klystron bir başka mikrodalga kaynağıdır ve lokal osilatör olarak kullanılır. Bunun dışında, yüksek enerjili klystronlar da UHF televizyon anten; alıcısı olarak da süper heterojen radar alıcılar olarak kullanılıyor. Modern parçacık hızlandırıcılarda ek olarak, dış enerji üretmede kullanılıyor. Diğer bir kaynak da TWT (traveling-wave tube), özel vakumlu tüptür. Elektronik aletlerde radyo dalgalarını daha üst enerjiye yükseltmek için kullanılır. Başka bir kaynak da gyrotron'dur. Gyrotron yüksek enerjili bir vakum tüpüdür. Elektron demetlerini çok şiddetli bir manyetik alan içerisinde dairesel hareket ettirmek suretiyle milimetrik dalga üretir.



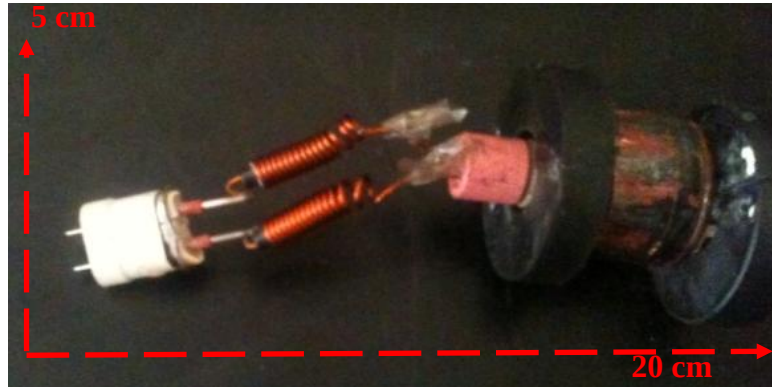
Şekil 2.1 Magnetronlarda akım durumlarına göre çalışma durumları

a. Akım sıfır durumu, b. Akım sıfırdan farklı durumu



Şekil 2.2 Rezonatörlerin uyarılması

Yukarıda anlatılan magnetronun iç yapısı aşağıda şekil 2.3'te gösterildiği gibidir. Bu şekil, laboratuvar ortamında kullandığımız bir magnetrona aittir.



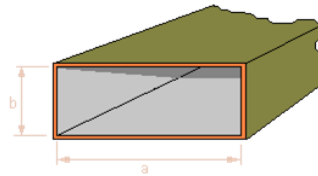
Şekil 2.3 Laboratuvar ortamında içini açtığımız bir magnetron

Şekil 2.4'te gösterilen bir magnetronun iç yapısı gösterilmektedir. Gerçekte görülen bu kavite, daha önce anlatılan şekil 2.1'deki kaviteden tasarım olarak biraz daha farklıdır. Bunun nedeni ortamın fiziksel koşulları olabilir veya daha kolay bir anlatım amaçlanmış olabilir.

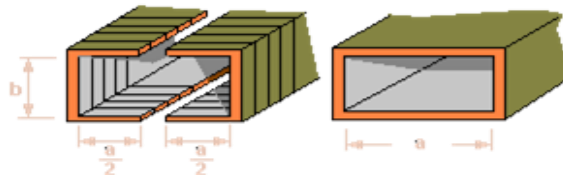


Şekil 2.4 Laboratuvar ortamında içini açtığımız magnetronun kavite yapısı

Elektromanyetik dalgalar kavite ve anten gibi yönlendiricilerle kaynaktan hedefe iletilirler. Mikrodalgalar da dalga kılavuzları ile iletilirler. Nasıl ki bir antenin boyu dalga boyunun yarısı veya eşiti kadar olması gerekiyorsa, aynı sınırlama burada da geçerlidir. Elektromanyetik dalgaların iletimi şekil 2.5-2.7'den de görüldüğü gibi dalga kılavuzları çeşitli geometrilere sahip olabilir. Fakat üretim ve dalga yayılması, yansıma vb olaylar için bazı geometriler daha da önem kazanmaktadır.

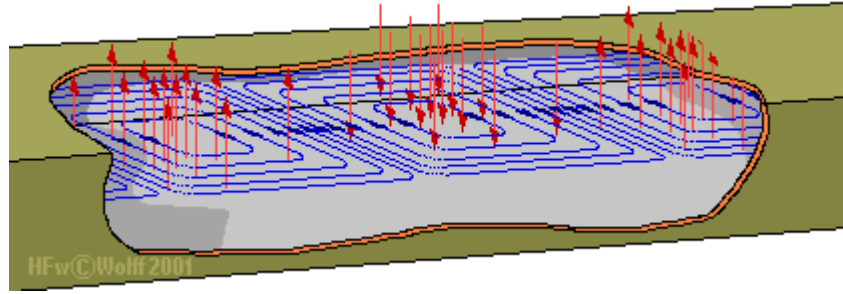


Şekil 2.5 Dikdörtgen kesitli bir dalga kılavuzu



Şekil 2.6 Dalga kılavuzunun $\lambda/4$ uzunluklu kısa devre parçalarından meydana gelişi

Elektromanyetik dalgaların yönlendirilmesinde dalga kılavuzları veya kaviteler kullanılır. Dalga kılavuzları dairesel, eliptik veya dikdörtgen kesitli metalik borulardır, ancak en çok dikdörtgen kesitli olanlar kullanılmaktadır.



Şekil 2.7 Dalgaların dalga kılavuzu içerisinde temsili geçişi

Teorik olarak bir dikdörtgen dalga kılavuzu, $\lambda/4$ uzunluğa sahip, yan yana dizilmiş çok sayıda kısa devre parçalarından meydana gelir. Bu biçimdeki parçalardan ikisi karşı karşıya getirilerek, dikdörtgen biçimli kesite sahip bir dalga kılavuzu elde edilir.

2.6.1 Su ve mikrodalgalar

Elektromanyetik ışımanın elektriksel alanında su dipolleri sürekli tekrar tekrar yönelim kazanırlar. Frekansa da bağlı olarak bu dipoller zamanla alan içerisinde hareket edebilir. Faz farkından kaynaklı bir gecikme olursa etkilenmeyebilirler. Elektrik alanın faz farkına göre ısıtması bir dipolde iki defa oluşur. Bu ısıtma aslında enerji kaybı olarak yorumlanabilir. Dipoller elektrik alanında kolay hareket ederler. Bu hareket kolaylığı, suyun akışkanlığı ve elektron bulutlarının hareket kabiliyetine bağlıdır. Bu kolaylık da aslında su molekülünün dönme kuvvetine ve moleküller arası bağ ağına bağlıdır (Vegiri 2004, Biryukov vd. 2005).

Serbest sıvı suda bu dipol hareketleri GHz frekansında gerçekleşir. Oysa hareket kabiliyeti daha kısıtlı olan suda dipol hareketi MHz seviyesinde olur. Buzdaki dipol hareketleri ise kHz frekanslarında olur. Dipollerdeki tekrar tekrar yönelmeler, uygun bir

yönelim olana kadar bekler ve bu esnada bir periyotluk süre geçer. Belirtilen "bekle-çalış" şeklindeki uygun yönelimi beklemekte kasıt aslında o dipolün komşu molekülün uygun bir yönetime geldikten sonra hidrojen bağı kurmasıdır (www1.lsbu.ac.uk 2014).

Mikrodalga ile suyun ısınması aslında daha önce potansiyellerle modellenebilmiştir. Buna göre uygulanan elektromanyetik ısımanın elektrik alan potansiyeli

(2.57)

ile verilir. Burada $E_{\max}$ potansiyel genliğidir. Eğer polarizasyon faz farkı ile alandan sonra geliyorsa, polarizasyon

(2.58)

şeklinde değişir. Bu durumda oluşan akım da

(2.59)

şeklinde değişir. Güç ise akım ve potansiyelin çarpımının ortalama değeridir.

Araştırmalara göre (Non-Cryst vd. 2002) eğer bir gecikme yoksa, yani faz farkı yoksa , elektriksel güç aşağıdaki hali alır.

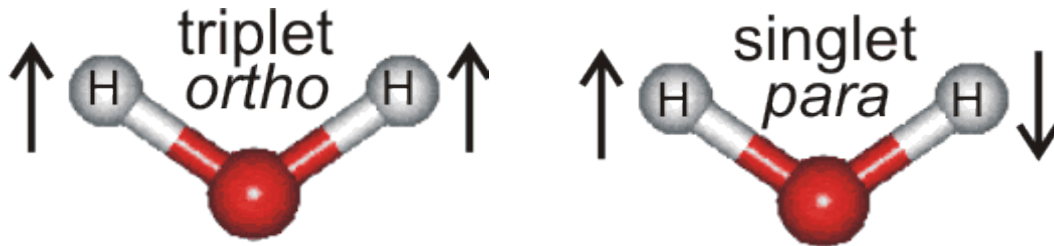
(2.60)

2.6.2 Elektrik alanın suya etkisi

Buz içerisinde suyun donmasını engellemek için çok yüksek alan kuvveti ($5 \cdot 10^9 \text{ Vm}^{-1}$) gerekmektedir. Daha düşük alan kuvvetlerinde (10^5 Vm^{-1}) hidrojen bağı zayıflar, hatta elektrik alan ile hizalanmış su moleküllerinin komşu moleküllerle hidrojen bağları koparır veya yeniden bağ yağmasını sağlar. Bu araştırmada, hidrojen bağlarıyla Wander Walls etkileşimleri arasındaki denge durumu artık Wander Walls etkileşimleri lehine, hidrojen kümelerinin azalması yönünde etki oluştuğu yargısına varılmıştır. Yapılan

ölçümlere göre (Andrev vd., 2007) bir elektrik alan aynı zamanda molekül yönelimlerine bağlı olarak O-H bağlarının uzunluğunu ($25 \cdot 10^9 \text{ Vm}^{-1}$ de $\pm \% 6$) ve O-H-O bağ açısının frekansını ($25 \cdot 10^9 \text{ Vm}^{-1}$ de $\approx \% 1 / - \% 0.2$) şeklinde değiştirir ve molekül ayrışmasını sağlar. Bir elektrottaki (veya şarj edilmiş) yüksek şiddetli alanlar ($E > 10^9 \text{ Vm}^{-1}$), tıpkı buzda olduğu gibi bir faz dönüşümüne neden olur. Alan değerine bağlı olarak, basınç kısıtlamalarını da düşünerek, faz değişimi ile bir erime veya donma meydana gelir (Hidrojen bağı kopar veya oluşur) (Biryukov vd. 2005).

Yüksek alanlar hidrojen bağlarında bir anizotropikliğe neden olur. Hidrojen bağları alan boyunca uzatılır. Fakat bu uzama alanla az da olsa diktir. Düşük alanlarda da yer değiştirme ve dönme birlikte olmaktadır. Ayrıca bu alanlarda şekil 2.8'de su moleküllerinin orto ve para formları arasındaki farkın artması beklenir. Elektrik alan aynı zamanda hidrojen bağı ağı sebebiyle suyun dielektrik sabitini düşürmektedir (Danielewicz ve Ferchmin 2004).



Şekil 2.8 Su moleküllerinin formları
(a) Orto formu ve (b) Para formu

2.6.3 Manyetik alanın suya etkisi

Sıvı su manyetik alandan etkilenir. Öyle ki bu alanlar suyun arıtılmasına yardımcı olur. Su diyamanyetiktir ve yüksek manyetik alanlarda (10 T , dünyanın $50 \mu\text{T}$) bulunduğu yerden havalanma yeteneğine sahip olabilir. Suyun manyetik duyarlılığı, manyetik frekans ile negatiflikten pozitifliğe doğru artar ve deneylerde görülmüştür ki $0.4\text{-}1 \text{ MHz}$ frekans aralığında sulu ortam pozitifdir. Statik manyetik alan etkisi hidrojen bağlarının

uzamasına neden olur. Aynı zamanda manyetik alanlar suyun kızıl ötesi frekansına da etkir ve bu etki manyetik alan kaldırılınca önemli bir süre devam eder. Manyetik alanlar aynı zamanda protonun spininde durulmayı arttırır. Proton transferindeki hıza bağlı olarak 1 T civarında manyetik alandaki suyun hidrolizi ve kohezyon kuvvetini arttırır (Ikezoe vd.1998).

2.6.4 Elektromanyetik alanın suya etkisi

Yapılan deneylere ve araştırmalara göre, elektrik ve manyetik alanlar ayrı ayrı, su üzerinde zıt etkiler oluşturlar. Sadece birkaç hidrojen bağı yapmış yapılandırılmamış su daha reaksiyonel aktiftir. Su moleküllerine "yeniden yönelme" yaptıran elektrik veya elektromanyetik alan, birçok hidrojen bağının kopmasına neden olur. Örneğin O-NMR ölçümlerine göre elektrik alan kümeleşmeyi yarı yarıya indirdiği, reaktiflik oranını arttırdığı (aktiflik değil!), hidrasyon ve çözünürlüğünün arttığı kayıtlar altına alınmıştır. Serbest suyun polaritesi artar (yük dağılımı maksimum, sıcak su çözünürlüğü bu yüzden yüksek). Elektromanyetik alan ışıması; elektrik alan etkisini, manyetik alan etkisine kıyasla daha belirgin göstermektedir (Hayashi 1996, Ikezoe vd. 1998, Symons 2001, Schevkunov ve Vegiri 2002, Katze 2002, English ve MacElroy 2003, Pashey 2003, Schwendel 2003, Cai vd. 2009 , Ambashta ve Sillanpää 2010 , Pang ve Deng 2008, Ping vd. 2011) .

Hidrojen bağlarının kopmasına ek olarak bu ışıma gaz/sıvı formunda bir kararsızlığa neden olabilir ve böylece reaktif oksijen türleri üretebilir. Hidrojen bağlarındaki değişiklik; pH değişikliği ile sonuçlanan karbondioksit hidrasyonuna (bir maddenin kimyasal tepki sonucu suyla birleşmesine) etki edebilir. Böylece su içerisinde çözünmemiş gazın kimyası olağan durumundakinden daha önemlidir (Colic ve Morse 1999, Zhou vd. 2000, Danielewicz ve Ferchmin 2006 a, b, c, Gutiérrez vd. 2012).

3. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN HAYATIMIZDAKİ YERİ

3.1 Avrupa ve Dünyada Elektromanyetik Frekanslar

WHO (World Health Organization) ve SSC (1998–2002) (Scientific Steering Committee) tarafından verilen görüşlere neticesinde uluslar arası EMF Projesi yayınlanmıştır. Buna göre mevcut geçerli bilimsel kanıtlar dikkate alınarak, kanseri geliştiren veya başlatan veya insan ömrünü kısaltan EMF maruziyetinin ikna edici bir bilimsel kanıtı bulunmamıştır. Ancak aynı belgeler, sağlık risklerinde daha net sonuçlara gerek olduğunu işaret etmektedir. WHO/ICNIRP (EMF Projesi) ve Avrupa Komisyonu Uzman Grubu (SCHENIR) çalışmaları, şüphesiz EMF'nin uzun vadedeki etkileri konusunda önemli çalışmalar olmaktadır. Sağlık konusunda, ehemmiyet açısından Birleşmiş Milletler organizasyonunun bir ilkesi söz konusudur.

BM ihtiyatlık ilkesine göre:

“İnsan sağlığına yönelik risklerin varlığıyla da boyutu hakkında bilimsel şüphe varsa; karar vericiler durumun tam olarak gerçekleşmesini yada ciddileşmesini beklemeden gerekli önlemleri almalıdır. Toplum politikaları, ihtiyatlılık ilkesine dayanmalıdır.”

Not: İhtiyat ilkesi, ilk kez Maastricht Antlaşması'na dâhil edilmiştir. Belli bir hareketin çevre açısından olumsuz ve zararlı sonuçlar doğuracağı hakkında ciddi bir şüphe mevcutsa, bilimsel kanıtın ortaya çıkmasını beklemeden, yani çok geç olmadan önlem alınması anlamına gelmektedir (Anonymous 1999).

Uluslararası radyasyon limitleri söz konusudur. İlgili kurumlar tarafından resmileşmiş (<http://www.tk.gov.tr>, 2014) ve RF (radyo frekansı) limitleri çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Ayrıca çizelge 3.2'de de ülkemizdeki frekans limitleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlarda AB Referans sınırlamaları (1999/519/EC)

Frekans	E-alan şiddeti (V/m)	H-alan şiddeti (A/m)	B-Manyetik akı (μT)	Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu Seq (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
8-25 Hz	10 000	4 000	5 000	-
0,025-0,8kHz	250	4	5	-
0,8-3 kHz	250	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	0,73	0,92	-
1-10 MHz	87	0,73	0,92	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	1,375	0,0037	0,0046	1/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Türkiye EMF limitleri konusunda Konsey Tavsiyesini uygulamakta olup, cihaz başına 1/4 katı koruma uygulamaktadır.

İlgili mevzuatlar şu şekildedir:

- 05.11.2008 tarih ve 5809 sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu (4502 Sayılı Kanunun iptal edilmesi ile yerine)
- 16 Mayıs 2009 tarih ve 27230 sayılı Elektronik Haberleşme Cihazlarına Güvenlik Sertifikası Düzenlenmesine İlişkin Yönetmelik (1999/519/EC) (12.07.2001/24460 Sayılı Yönetmeliğin iptali ile yerine)
- 24.03.2007 tarih ve 26472 sayılı Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Yönetmeliği (1999/5/EC)
- 02.03.2009 tarih ve 27157 sayılı Telsiz ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Yönetmeliğinde (1999/5/EC) Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (Anonim 2009) .

Çizelge 3.2 Ülkemizde radyasyona maruz kalma limitleri

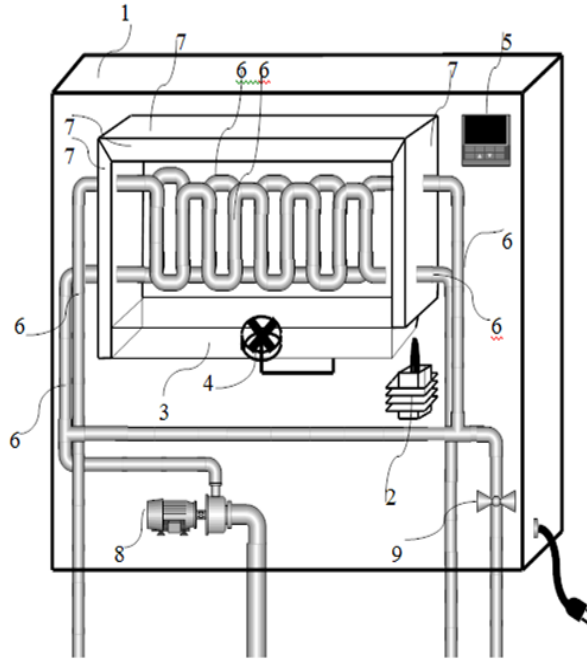
Frekans Bandı (MHz)	E-Elektrik alan Şiddeti (V/m)		H- Manyetik alan Şiddeti (A/m)		B- Manyetik Akı Yoğunluğu (μT)			Eşdeğer Düzlem Dalga Güç Yoğunluğu (W/m ²)
	Tek cihaz limiti	Ortam limiti	Tek cihaz limiti	Ortam limiti	Tek cihaz limiti	Ortam limiti	Tek Cihaz limiti	Ortam limiti W/m ²
0.01 - 0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15 - 1	22	87	0.18	0.73	0.23	0.92	-	-
1 - 10	22	87	0.18	0.73	0.23	0.92	-	-
10 - 400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400 - 2000	0.341	0.375	0.0009	0.0037	0.001	0.0046	1/3200	1/200
2000- 60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

3.2 Bir Proje - Mikrodalga Kombi

Uluslararası kayıtlara geçmiş, mikrodalga ile su ısıtma uygulamalarını konu alan 300 dolayında ve mikrodalga ile mekan veya su ısıtma işlevi gören yaklaşık 50 patentli buluşun mevcut olduğunu giriş bölümünde vurgulanmıştı. Şimdi buluşlara daha yakından bakalım. Öncelikle Dünya Patent Organizasyonu (WIPO) veri tabanında yer alan (WO2014053673) etiketli melez bir mikrodalga su ısıtıcı anlatılmaktadır. Ayrıca (CN101995081) kodlu başka bir buluşta da su-mikrodalga etkileşimini baz alan bir ısıtıcı anlatılmaktadır. Yine (US5068030) kodlu mikrodalga ısıtmayı konu alan bir su ısıtıcısı arıtma cihazı anlatılmaktadır. Uygulama olarak mikrodalga kurutma cihazları da mevcuttur. Bunlar sanayi ürünü olan deri ve gıda kurutma makineleridir. Yukarıda genel olarak bahsedilen cihazlarda ortak olan en büyük özellik, mikrodalga su etkileşimini en verimli kılmak için yalın ve geniş yüzeyler kullanılmasıdır. Buharlı temizlik ve arıtma

cihazları dışında kalan ortam ısıtma amaçlı buluşlarda teknik olarak önemli bir fark bulunmamaktadır. En büyük genel farkları da cihaz tasarımındadır. Bunun dışında bilimsel olarak çalışma prensipleri, özellikle içerisinde su bulunan gıda ürünlerinin suyunu buharlaştırmaya dayanmaktadır. Ayrıca büyük dipol momentlerine sahip yağ molekülleri içeren deri gibi ürünlerde de su molekülleri bulunması şart değildir.

2009 yılında, suyun mikrodalga ile ısıtılabilmesinden yola çıkılarak bir mikrodalga kombi projesine başlanmıştır. Söz konusu ürünün genel çalışma prensibine ait teknik bilgi, çözmeyi amaçladığı konular ve faydaları Türk Patent Enstitüsü'nce incelenip tescillenmiştir. Ayrıca Uluslar arası patent başvurusu WIPO (World Patent Organization, PCT başvurusu) yapılmıştır. Uluslararası araştırma raporu tamamlanmıştır. Son durum itibari ile bu çalışmalarımız TÜBİTAK tarafından "1512 Bireysel Girişimcilik Aşamalı Destek Programı" ile hibe şeklinde şirketleşmemiz sağlanarak desteklenmiştir. Bu desteğe ek olarak bilimsel bir danışman, makine mühendisi desteği de bulunmaktadır. Mikrodalga Kombi için genel bir tasarım ve patent çizimi şekil 3.1'de olup sistemin çalışma prensibini izah etmek için tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 Bir mikrodalga kombinin genel tasarımı

Şekil 3.1’de gösterilen ve numaralandırılan bu parçalardan maksimum verim almak için bazıları en az bir tane olacak şekildedir ve bulunması gerekli olan temel öğeler kavrama kolaylığı açısından

- 1) Kasa
- 2) Magnetron
- 3) Dalga Kılavuzu
- 4) Karıştırıcı
- 5) Tuş Takımı
- 6) Kıvrımlı Boru
- 7) Tampon
- 8) Pompa
- 9) Üç Yollu Vana

şeklinde sıralanmıştır.

3.2.1 Mikrodalga kombinin çalışma prensibi

Elektrik enerjisini kullanan magnetronun ürettiği mikrodalgaın, dalga kılavuzu ile yönlendirilir. Mikrodalga fırında olduğu gibi suyun mikrodalga ile ısıtılması temel alınmıştır. Tuş takımı ile sıcaklık ve zaman ayarı yapılabilmektedir. Pompa yardımıyla kombiye gelen su kasanın içindeki kıvrımlı borudan geçerken kasada bulunan magnetronun ürettiği mikrodalgalar dalga kılavuzu ile yönlendirilip karıştırıcı ile de homojen yayılması sağlanır. Böylece mikrodalga kıvrımlı borulara ulaşır ve su ısınır.

3.2.2 Güvenlik

Mikrodalgalar canlıların böbrekleri ile temas durumunda zararlıdır. Gözle temastan kaçınılmalıdır. Cihazımızda güvenlik olarak güvenlik tamponları ve galvaniz sac kullanılmaktadır. İstenirse cihaz tamamen özel düzenlenmiş bir cam ile mikrodalga sızdırması önlenabilir. Bu camlara mikrodalga fırın camları kadar basittir. Dikkat edilmesi gereken en önemli husus, izolasyonun konunun uzmanı veya genellikle fizikçiler tarafından sağlanmalı ve dikkat edilmelidir. Bu konuda uluslararası radyasyon limitleri söz konusudur. İlgili kurumlar tarafından resmileşmiş (ICNIRP, 1998) ve bu radyasyon limitlerine göre magnetronlarda kullanılan 2.45 GHz frekans bandını da içeren 2-300 GHz frekans aralığında düzlem dalga güç yoğunluğu üst limit olarak 10 W/m^2 şeklinde olmalıdır. Bu değer aynı zamanda 12 Temmuz 1999 tarihli AB Konsey Tavsiyesi (1999/519/EC) olarak da yayınlanmıştır. Ayrıca elektromanyetik güç yoğunluğunun mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azaldığından, 2.45 GHz'lik bir dalga kaynağından en az 2 metre mesafede durmakta fayda vardır. Eğer dalga kaynağı iyi izole edilmişse bu mesafe birkaç cm ye düşebilir.

Gerek bilgilerini verdiğimiz referanslara, gerekse de bilimsel olarak elde edilen bilgilere göre, milimetrik veya mikrodalga olarak adlandırılan, genellikle gıda ürünleri işleme, kurutma vb sektörlerde kullanılan elektromanyetik dalganın türü iyonize olmadığı için, uygun izolasyon tedbirleri ile sağlık açısından herhangi bir tehlikesi bulunmamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde %90 üzerinde kullanım oranı mevcuttur ve mikrodalgadan kaynaklı herhangi bir direkt tıbbi vaka ile karşılaşılmamıştır.

3.2.3 Mikrodalga kombinin faydaları

Cihaz hiçbir çeşit gaz kullanmamaktadır. Baca olmadığından sızdırma tehlikesi de yoktur. Bu yüzden patlama, parlama ve zehirlenme problemi bulunmamaktadır. Çalışması için Oksijene ihtiyaç bulunmamaktadır. Mikrodalgalar sayesinde su çok çabuk ısınır. Öyle ki yarıçapı 0–4 cm arası çember kesitine sahip bir borudan debisine

bağlı olarak yaklaşık 5-7 dk içerisinde kaynar. İçerisindeki kıvrımlı boru hatları sayesinde cihaz içerisinde ayrıca su deposuna ihtiyaç bulunmamakta, dolayısıyla hacim olarak büyük yer kaplamaz. Böylece cihaz beyaz-eşya olarak da pazarlanabilir. Çok amaçlı bir cihazdır. Şofben, kombi, normal su ısıtıcıları vb birçok cihaz yerine kullanılır. Ayrıca merkezi sisteme ve taban ısıtma sistemine monte edilebilir. Temiz enerjidir. Doğal kaynakların tüketilmesini azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarından tasarruf sağlar. Kömür,odun vb. çevreye zararı olan katı atık tüketimi sınırlandırılmış olur.

3.3 Tesisat Denemeleri

Şekil 3.2’de gösterilen sistem düzeneğini ve tasarlanan cihaz bir atölyede denenmiştir. Tesisatın bir parçası olan kalorimetreyle fiziksel parametrelerden sıcaklık, zaman ve enerji ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda verilen çizelge 3.3’te ölçülen parametreler görülebilir.

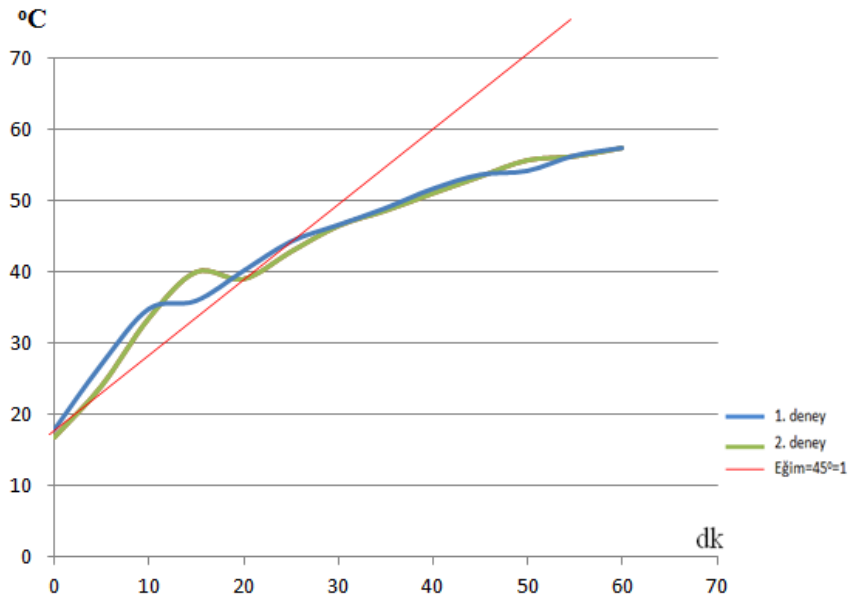


Şekil 3.2 Tasarladığımız bir mikrodalga kombi prototipi

Tasarladığımız Mikrodalga Kombi prototipi ile yapılan bir takım testler örnek olarak aşağıda çizelge 3.3'te, grafik karşılığı da şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Prototipini yaptığımız cihaz ile yapılan denemelere ait veriler

Parametreler: P=2×0.8kW/h=1.6 kW/h , V 10 lt , t= 60 dk			
		1. DENEY	2. DENEY
Ölçü	Zaman	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık(°C)
0	0	16.84	17.94
1.	05. dk	24.09	27.15
2.	10. dk	33.57	34.92
3.	15. dk	40.07	36.04
4.	20. dk	39.08 (hava yaptı, 17°Clik su eklendi)	40.25
5.	25. dk	42.90	44.36
6.	30. dk	46.52	46.69
7.	35. dk	48.66	49.06
8.	40. dk	51.09	51.78
9.	45. dk	53.45	53.74
10.	50. dk	55.75	54.29
11.	55. dk	56.30	56.44
12.	60. dk	57.47	57.50



Şekil 3.3 1 ve 2 numaralı deneylerin grafiği

İncelenen malzemelere ait ölçümler aşağıda çizelge 3.2 - 3.5'te gösterilmiştir. Söz konusu değerler malzemelerin fiziksel özellikleri olan et kalınlıkları da şüphesiz değerlendirme açısından önemli fikirler ifade etmektedir. Bu verilere göre malzemelerin kalite kıyaslamalarına ek olarak malzemelerin geçirgenliği ile ilgili direkt bir fikir edinmiş oluruz. Laboratuvar ortamında yapılmış bu çalışmanın literatür karşılığı olan malzeme dielektrik geçirgenlikleridir. Makaleleri verilen referanslar da benzer malzemelerle çalışmış ve paralel bilgiler elde etmişlerdir.

Grafiğe göre göz ardı edilmemesi gereken bir husus da, sıcaklık zaman karşılaştırmasının çok önemli bir kriter olduğudur. Çünkü standart bir hanenin günlük ısı ihtiyacını karşılayabilmekten ziyade, istenilen enerji değerine ne kadar bir sürede ulaşıldığı önemlidir.

Deneyler yapılırken öncelikle eşit hacimli, tamamı istenen malzemedan kapalı kaplar yapılmıştır. Örneğin eşit hacimde teflon, saf teflon, PVC gibi malzemelerden eşit büyüklükte kalıplar yapılmıştır. Bu hacimler içerisine eşit hacimde su konulmuş ve istenen eşit sürede mikrodalgaya maruz bırakılmıştır. Isıtıcı olarak kullanılan cihaz sadece mikrodalga yaymaktadır. Söz konusu denemelerde en önemli husus; malzemelerin verimlerinin kıyaslanmasıdır. Burada malzemenin doğrudan dielektrik katsayılarını hesaplamak değil de kıyaslama yoluyla dielektrik geçirgenliklerini test edilmiştir.

Çizelge 3.4 Numune malzemelerin geçirgenlik testleri

	MALZEME	Et kalınlığı (mm)	M (ml)	t (sn)	T₁ (°C)	T₂ (°C)	Q (watt)	Verim %	NOT
1	TEFLON	5	500	80	24,5	47,5	800	75,20	-
2	PVC	2	500	80	23,1	45,9	800	74,52	-
3	SİLİKON	1	500	80	19,4	44,8	800	83,03	-
4	MİKA	4	500	80	19,3	43,1	800	78,00	-
5	TEFLON	0.8	500	80	22,8	47,8	800	81,72	-
6	SU	-	500	80	-	-	-	100	-

Çizelge 3.2’de kapsam olarak, malzeme için (kısa süre) EM dalga etkileşim kıyaslamaları ve su için de düşük-şiddet (kısa zaman büyük hacim) ısıma testi yapılmıştır. Testler direkt olarak malzemelerin geçirgenlik katsayılarını bulmaya yönelik değil de malzemelerin geçirgenlik katsayıları kıyaslamaları için olduğundan tek tablo ile yorum yapamayız.

Çizelge 3.5 Numune malzemelerin farklı zaman için geçirgenlik testleri

	MALZEME	Et Kalınlığı (mm)	M (ml)	t (sn)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Q (watt)	Verim %	NOT
1	TEFLON	5	500	180	22,9	68,0	800	65,5	-
2	PVC	2	500	180	23,4	70,2	800	68,0	-
3	SİLİKON	1	500	180	19,3	74,0	800	79,32	-
4	MİKA	4	500	180	19,0	68,5	800	72,0	-
5	TEFLON	0.8	500	180	23,0	72,9	800	72,5	-
6	SU	-	500	-	-	-	800	100	-

Çizelge 3.3’te de kapsam olarak, malzeme için uzun süreli EM dalga etkileşim kıyaslamaları, su için de orta-şiddet (uzun zaman - büyük hacim) ısıma testi yapılmıştır. İkinci veri tablomuzdaki kıyaslama ile sadece malzemeler ile ilgili değil, aynı zamanda ısı iletim hızı veya ısınma ısısındaki çabukluğu da görebiliyoruz. Burada ısınma süreleri doğal olarak verim ile ters orantılı görünmektedir.

Çizelge 3.6 Malzeme için farklı hacimlerde geçirgenlik kıyaslamaları

	MALZEME	Et Kalınlığı (mm)	M (ml)	t (sn)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Q (watt)	Verim %	NOT
1	TEFLON	5	250	80	23,2	53,4	800	49,36	-
2	PVC	2	250	80	23,4	65,2	800	68,32	-
3	PET	1	250	80	19,3	71,8	800	79,10	-
4	MİKA	4	250	80	19,5	90,3	800	56,22	Hacim su sızdırdı
5	TEFLON	0.8	250	80	23,0	62,3	800	81,23	-
6	SU	-	-	-	-	-	800	100	-

Malzeme türü aynı olduğundan burada artık mikrodalga ile suyu ısıtma hakkında bilgi edinebiliyoruz.

Çizelge 3.7 Malzeme için farklı süre ve hacimlerde geçirgenlik kıyaslamaları

	MALZEME	et (mm)	M (ml)	t (sn)	T₁ (°C)	T₂ (°C)	Q (watt)	Verim %	NOT
1	TEFLON	5	250	180	26,2	96,8	800	51,8	Sorun yok
2	PVC	2	250	180	23,4	65,2	800	30,4	Yumuşama, yapışkanda erime
3	PET	1	250	180	23,0	90,0	800	48,67	erime,yumuş ama
4	MİKA	4	250	180	19.3	96.7	800	56,26	Esnemeden dolayı çatlama
5	TEFLON	0.8	250	180	22,9	>96,3	800	>55,4	Termometre kararması
6	SU						800	100	

Çizelge 3.5'te malzeme için geçirgenlik kıyaslamaları yüksek şiddet performansı (Düşük hacim-uzun süre) testi yapılmış olup, çizelge 3.3 ile kıyaslanırsa daha da anlaşılır olacaktır. Çizelge 3.5 bize göstermiştir ki suyun ısı sığasının bu kıyaslamada üst sınırı teşkil etmektedir. Bu çalışmalar dışında daha detaylı incelenen diğer iki malzeme de cam ve porselendir. Çizelge 3.7'de cam malzeme ve çizelge 3.8'de porselen malzeme sistematik bir biçimde incelenmiştir. Çizelge 3.9'da da bu malzemelerin içerisinde su olmadan yapılan ölçümlere ait veriler bulunmaktadır.

Çizelge 3.8 250 ml lik cam numune su için ölçüm değerleri

Sıra	Zaman (s)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Fark (°C)	Güç (Watt)	Verim (%)
1	80	22.5	55.5	30	600	65
2	100	22.5	58	35.5	600	62
3	120	22.5	68	45.5	600	66
4	140	20.5	72	51.5	600	64

Çizelge 3.9 250 ml lik porselen kaptaki su için ölçüm değerleri

Sıra	Zaman (s)	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Fark (°C)	Güç (Watt)	Verim (%)
1	80	21.7	60.1	38.4	600	83.6
2	100	21.3	71.1	49.8	600	86.74
3	120	22	80	58	600	84.18
4	140	23	90.1	67.1	600	83.48

Bu deneyde farklı olarak, magnetron hedefinde su yerine sadece malzemenin kendisi bulundurulmuştur. Etki alanındaki hacimde suyun ısınmasını birincil olarak etkileyen temel parametrelerden biri de malzeme türüdür. Malzemenin türüne göre geçirgenlik, soğurma ve yansıma olayları görülür. Malzemeleri denediğimiz deney verileri Çizelge 3.10’da verilmiştir. Her bir malzeme de kendi içinde kalınlık, yoğunluk ve yüzey alanına bağlı olarak işlev görür. Örneğin porselen malzemeler silindirik, düzlemsel, kalınlık olarak ayrı ayrı ölçülmüştür.

Çizelge 3.10 Farklı ebatlarda, farklı malzemelerde susuz ölçüm değerleri

Sıra	Zaman (s)	Numune Tanımı	Giriş (°C)	Çıkış (°C)	Fark (°C)	Güç (Watt)
1	120	Silindirik, içi boş cam ($\Phi=3.5\text{cm}, h=10.5\text{ cm}$)	21.8	134	112.2	700
2	120	Silindirik cam, içi boş ($\Phi=3.5\text{cm}, h=17.5\text{ cm}$)	22.3	150	117.7	700
3	120	Silindir Porselen, ($\Phi=4\text{cm}, h=8.5\text{ cm}$)	22.1	144	121.9	700
4	120	Daire Porselen ($\Phi=10.5\text{ cm}$)	22.1	63.3	41.2	700
5	120	Silindirik silikon boru ($\Phi=4\text{ mm}$, et kalınlığı 3 mm, $\ell=10\text{ cm}$)	25.8	54.5	28.7	700

Cam malzemeler şekil olarak değerlendirilirse, cihaz içerisinde dolaşan parçacıkların yansıma doğrultularına bağlı olarak, hacmi büyük malzeme, daha çok ışına maruz kalmıştır. Söz konusu kıyaslama porselende daha çok belirgindir. Öyle ki silindirik porselenin sıcaklık artışı, dairesel, yüzeysel porselene göre 80°C daha fazladır. Bu bakımdan içinden su geçecek numune veya malzeme ne olursa olsun, yüzeysel ve mümkünse magnetron yerleşimine göre cihazın tavanından tabanına kadar uzanmalıdır. Deney verilerinden çıkarılabilecek diğer bir sonuç da denenmiş malzemelerin sıcaklık farkına göre tercihi sırasıyla silikon, porselen ve cam şeklinde yapılabilir. Eğer bir malzeme mikrodalga (milimetrik) altında fazla ısınmıyorsa; ya cisim mikrodalgaları serbest şekilde geçirecek yapıdadır (düşük yoğunluklu veya molekül büyüklüğü fazla), ya da silikon malzeme gibi erime noktası, deney ölçülerini çok aşacak kadar yüksek (ısınma ısısı çok yüksek) olduğundan ısınması fark edilemez. Kısacası kullanılabilecek en iyi malzeme bu açıdan dalgaları geçirme oranı en büyük (dalgaları soğurma oranı en küçük) olmalıdır. Suyu dedektör olarak kullanarak, incelenen kayıplı ortamların kıyaslaması daha kolay yapılmıştır.

4. ENERJİ KAYBI ve DEBİ HESAPLARI

4.1 Enerji Kaybı Hesapları

Teorik olarak elektromanyetik dalgalarda enerji kaybı Poynting Teoremi veya $E=h\nu$ eşitliği ile çeşitli şekillerde hesaplanabilir. Ancak deney ortamını düşünürsek elektromanyetik dalgaların alan bileşenlerini hesaplayıp ayrı ayrı bulmak gerekmektedir. Bunun dışında

$$P_{av}(z) = \alpha_z \frac{E_0^2}{2\eta_c}$$

eşitliği ile de kolayca hesaplama yapabiliriz. Radyasyon ölçer cihazların algıladığı mW/cm^2 biriminde alan başına enerji de istediğimiz sonuçtur. Mikrodalgalarda yaptığımız ölçümlerde, güvenlik nedeniyle açık kaynak ışıması ölçülmemiştir. Yaptığımız ölçümlerde ışıma $1-9 mW/cm^2$ aralığında ölçülmüştür. Akıllı cep telefonları ile görüşme esnasında ölçülen genellikle $4-5 mW/cm^2$ olmaktadır. Bu oran eski cep telefonlarında $10-12 mW/cm^2$ ve aralığında olmaktadır.

Esasen burada anlatılmak istenen şu hesaptır ki, $1 mW/cm^2 = 10 W/m^2$ dir. Bu enerjinin anlamı, insan derisinin $1 cm^2$ alanına etkiyecek enerji miktarıdır. Fakat gerçek hayatta bu kadar olamaz. Çünkü $1/r^2$ ile orantılı olarak dalga enerjisinde bir kayıp olmakta ve bizzat ölçümlerde görülmüştür ki 2.45 GHz'lik mikrodalga ışınları hava ortamında dahi 200 cm den fazla bir menzile sahip olmamaktadır. Bunun dışında en önemli enerji hesabı da:

$$10 W/m^2 = \alpha_z \frac{E_0^2}{2\eta_{hava}} ;$$

olduğundan ($\eta_{hava}=1$), $E_0 \approx 4,472 V/m$ bulunur.

Bu hesaplar dışında ışıma gücünü $P = VA$ çarpımından bulabiliriz. Bu pek pratik sayılmamakla birlikte, elektrik aksamındaki kayıp bize lineer hesapların doğruluğunu sağlamayacaktır. Örneğin şehir elektriğinde bakır tellerinden gelen kayıplar %1 olarak

alınabilir. Fakat cihazı besleyecek elektrik akımı cihaza geçişte bağlantı elemanları sayesinde de kayıp yaşamaktadır. Ardından cihazın asıl işlevi de bir miktar akım kaybına sebebiyet vermektedir.

Elektrik akımını sisteme giren enerji olarak kullanan dalga kaynakları, akım ile elektromanyetik dalga üretir. Yük taşıyıcı elektronlar sabit hızda düzenli akım üretirler. Fakat ivmelenme ve dönme hareketleri ile parçacık ısıma yapar. Fakat sisteme giren enerji dalga ile değil akım ve voltaj ile alakalıdır.

Uygulamalı bir sistemde enerji hesaplamasının ikinci bir yolu da giren elektrik akımından yola çıkmak yerine bu elektrik akımının neden olduğu enerji, yani aktarılan enerjiyi hesaplamaktır. Enerji aktarılan sistem sıvılardan oluşuyorsa; $Q = m.C.\Delta T$ akışkanların enerji formülünü kullanmak yeterlidir. Enerji aktarılan sistem bir elektrik motoru gibi dönen mekanik bir sistem ise; dönme kinetik enerjisi

(4.1)

ile hesaplanabilir. Enerji aktarılan sistem asansör gibi daha karmaşık bir sistem ise potansiyel enerji ve kinetik enerji toplam formülü ile hesaplanır.

(4.2)

Enerji aktarılan sistem rezistanslı bir elektrik sistemi ise; elektrik enerjisi

(4.3)

ile hesaplanabilir.

Dikkat edilirse enerji girişinde enerji hesaplamaları elektromanyetizmanın uygulama alanı iken enerji dönüşümleri sonucu sistem enerjisini klasik mekanik ile hesaplayabiliyoruz. Yukarıda cam ve porselen için yapılan hesaplar da örnektir. Cam bir kaptaki 120 saniyede oda sıcaklığında, ısıtılan 250 ml su 22.5°C'den 68 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Bu arada soğurulan ısı,

$Q=m.C.\Delta T$ akışkanlar için ısı enerji formülünden hesaplanacak olursa,

$$Q=250g.1.(cal/g/^{\circ}C).(68-22,5)^{\circ}C=11375 cal,$$

$$=11375 cal.4,18 joule/cal =47547,5 joule$$

olarak bulunur. Joule cinsinden enerji değeri elektrik sarfıyatı bakımından yorumlamak pek de pratik olmadığından güç cinsinden ifade edilirse,

$$P = 47547,5 joule / 2.60 sn = 396,2 watt$$

bulunur. Buradan ışıma verimliliği de

$$E = 396,2 / 600 = \% 66$$

olarak hesaplanır. Benzer şekilde yapılan porselen hesaplarında ise verim % 90 civarındır. Burada dikkat edilmesi gereken husus yalnızca malzemenin mikrodalga geçirgenlik verimidir, magnetron verimi değildir. Burada su dedektör veya ölçüm aleti olarak kullanılmıştır. Veriler susuz yapılan malzeme deneylerinde de benzerdir. Su az ısınmışsa malzeme fazla soğurma yaptığından suya ulaşan dalga miktarı azdır, dolayısıyla verimsizdir. Su kullanılmayan deneylerde de verimsiz olan cam malzeme daha fazla soğurma yaparak daha çok ısınmıştır. Cam esasen sıvı-elektron yapıda olduğundan; mikrodalgalar, cama ait sürekli titreşim yapan elektronlar tarafından soğrulur. Projemize uygun olarak bazı kayıplı malzemelerin su kullanılmadan EM dalga soğurmaları incelenmiştir. Bu çalışmamızda şu görülmüştür ki; bir sistemden maksimum verim alabilmek için, çalışılacak malzemelerin bilimsel olarak araştırılıp kıyaslandıktan sonra farklı tasarımları gerekmektedir. Dökümle yapılsa da, bir silikon malzeme, içerisinde sıvı ile birlikte sabit bir geometri oluşturmaz. Yapılan deneylerle de anlaşılmıştır ki mikanın da basınç ve sıcaklıkla esnekliğinin bariz bir oranda artması tercih edilmeme nedenidir.

Malzemelerin bu denli farklı değerlendirilmesi, her bir malzeme için farklı tasarım, montaj ve uygulama olması,

1- Malzemenin kimyasal yapısına;

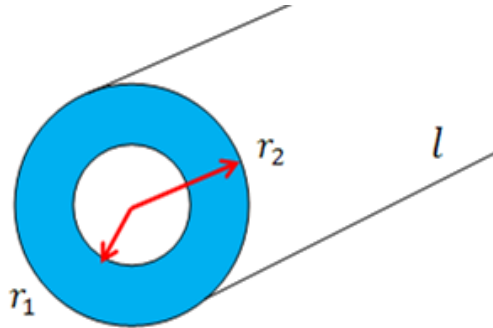
2- Malzemenin esneme, yoğunluk ve işlenebilme gibi fiziksel yapısına;

3- Malzemenin dielektrik yapısına göre ışık ve sudan farklı etkilenmelerine bağlıdır.

Üzerinde çalıştığımız standart, su geçiren bir boru için aşağıdaki debi hesabı yapılmıştır.

4.2 Debi Hesabı

Kapalı bir sistem olarak ısıtılan makro boyuttaki bir hacim için (bina, alan, yapı vs) debideki değişim, sistem bütününde termal olarak bir değişikliğe sebep olmaz. Fakat anlık incelediğinde, ani ısıtma açısından büyük önem arz etmektedir. Enerji hesaplamalarına ek olarak yapılabilecek hesaplamalardan bir diğeri de debi hesaplamalarıdır. Debi hesaplamalarında önemli olan hacim alanının etkin kullanımıdır. Hacim hesaplamaları da debiyi etkileyen hesaplamalar olup debiden bağımsız düşünülemez. Örnek bir hesaplama yapılacak olursa Kaynak debisi: $D=V/t = 250 \text{ ml}/19.52 \text{ s} = 12.807 \text{ ml/s}$ olan deneyimizde, $D=V/t$ 'den cihaz hacmi 16200 cm^3 alınırsa $t=21$ dakika bulunur. Bu süre suyun cihaz içerisinde dolaşırken harcayacağı süredir. Suyun ısınması da boruda 700 watt ile $40^\circ\text{C}/14\text{dk}$ ortalamaya sahiptir. Burada sıcaklık üstel olarak artıyor ve birim zamandaki akışı da ancak ortalama alınarak yorumlanabilir. Cihaz hacmini etkin olarak kullanabilmek için uygun hesaplamaları yapalım. Bu hesaplamaları şekil 4.1'de gösterilen boru kesitlerinden çıkaracağımız denklemlerle gerçekleştirelim.



Şekil 4.1 Bir boru kesiti

Toplam hacim

$$V_{\text{toplam}} = V_{\text{et}} + V_{\text{boş}} = \quad (4.4)$$

şeklindedir. Sırası ile boşluk hacmi ve et hacmi ise

$$V_{\text{boş}} = V_{\Phi} = \quad (4.5)$$

$$V_{\text{et}} = \quad - \quad = \quad (4.6)$$

şeklinde olacaktır. Kullanmak istediğimiz etkin hacim borunun içerisindeki boş hacimdir. Etkin hacim düşünülürse suyun buradan geçerken harcayacağı süre

(4.7)

bulunur. Burada dikkat edilmesi gereken bir unsur, t süresinin suyun akış süresi olmadığıdır. t , etki alanındaki hacimde harcadığı süredir. Eğer akan toplam su hacmi hesaplanmak isteniyorsa ifadesinden hesaplanır. Bu durumda da $V_{\text{akansu}} \neq V_{\Phi}$ olur. Ancak etki alanında harcanan zamanki su hacminde $V_{\text{akansu}} = V_{\Phi}$ olur. Etki alanının V_{Φ} hacminde su yol alırken, hava hacmi sıfır olarak düşünülür ve gerçekte de sıfır olmalıdır.

Pratikte düşünecek olursak, debi hesapları büyük ölçeklerde ısınmayı etkilemeyecektir. Yüksek debide su dolaşımını erken yapıp fazla soğumadan tekrar ısıtıcıya dönmesi mümkündür. Fakat yüksek debideki suyun birim hacimde geçerken hızı fazla olduğu için ısı kaynağına daha az maruz kalmıştır. Yani burada ısınma hızı ile debi çarpımının sabit olması gerektiği ortaya çıkar.

4.3 Çalışılan Malzemelerin Literatürdeki Karşılığı

Aşağıda verilen şekil 4.2 ile mühendislik malzemelerinin genel özellikleri verilmiştir. Bahsi geçen malzemeler laboratuvar ortamında üretilmiş, sanayide kullanılan malzemelerdir (www.rfcafe.com, 2014). çizelge 4.1'de de devam eden malzeme geçirgenlik bilgilerinde olduğu gibi aşağıdaki şekilde altı çizilen hususlar malzemelerin geçirgenlik ve diğer fiziksel özelliklerine ait değerleridir.

MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ													
Plastik Türü	Sembölü	Elektrik Özellik				Termik Özellik							
		Yüzey Direnci Ohm	Dielektrik Sabiti (10 ⁶ Hz)	Dielektrik Kayıp Faktörü (10 ⁶ Hz)	Dielektrik Direnci KV/mm	Kristal Erime veya Amorf Yumuşama (Y) Noktası °C	Yük Altında Deformasyon Sıcaklığı °C	Max. Çalışma Sıcaklığı °C Uzun - Kısa Süre	Spesifik Isısı Cal/g. °C	Isı Genleşme Katsayısı x10 ⁻⁶ cm/cm °C	Isı İletkenlik Katsayısı x10 ⁻⁸ Cal/s. cm. °C	Yanıcılığı	Yanma Hızı
Polyoxymethylene (Homo) ** DELFIN	POM H	10 ¹⁵	3,6-3,8	0,005-0,007	20-60	175-180	100-135	100-140	0,35	80-150	4,7-9,5	HB	Yavaş yavaş yanar
Polyoxymethylene (Co)	POM C	10 ¹³	3,8-4,0	0,003-0,005	20-70	165-170	85-125	90-140	0,35-0,36	83-125	5,5-7,4	HB	*
Polypropylene POLİPROPİLEN	PP	10 ¹³	2,2-2,6	0,0002-0,0005	24-90	163-170	50-65	90-140	0,39-0,50	60-180	2,8-5,2	HB	*
Polyethylene - LD POLYETİLEN 300	PE-LD	10 ¹³	2,3-2,4	0,0005	18-80	122-130	40-48	60-100	0,55	100-220	8,8-12	HB	*
Polyethylene - HMW POLYETİLEN 500	PE-HMW	10 ¹³	2,3-2,4	0,0003	20-90	130-136	55-60	70-100	0,45-0,50	60-160	8,3-11	HB	*
Polyethylene-UHMW * POLYETİLEN 1000	PE-UHMW	10 ¹⁴	2,3-2,4	0,0002	28-90	130-138	60-95	80-100	0,44-0,50	60-130	8,0-10	HB	*
Polycarbonate	PC	10 ¹⁵	2,9-3,0	0,001-0,01	15-35	140-150(Y)	130-140	115-140	0,28-0,30	60-70	4,5-5,0	V2	Kendi başına söner
Polyethyleneterephthalate *	PET	10 ¹² -10 ¹⁴	3,2-4,0	0,02-0,04	17-70	256-260	80-115	100-180	0,25	60-80	3,3-5,0	HB	*
Polyphenylene oxide	PPO	10 ¹⁶	2,6-2,7	0,0024	16-45	104-160(Y)	80-125	100-120		33-70	3,8-7,1	V1	*
Poly (acrylonitrile-butadiene-styrene)	ABS		2,4-3,8	0,007-0,02	14-20	100-130(Y)	80-105	60-80	0,26-0,40	60-130	3,6-8,0	HB	Yavaş yavaş yanar
Polyvinylchloride PVC	PVC	10 ¹² -10 ¹³	3,3	0,022	14-50	75-105(Y)	60-70	60-80	0,25	20-100	3,3-5,0	HB	Kendi başına söner
Polyvinylidene fluoride	PVDF	10 ¹³	8,0	0,08-0,10	11-22	156-180	90-110	100-150	0,23	70-140	2,4-3,1	Vo	*
Polytetrafluoroethylene TEFLON	PTFE	10 ¹³	2,2,1	0,0002-0,0005	20-50	320-327	50-70	210-270	0,25	60-120	5,0-6,0	Vo	Yanmaz

Şekil 4.2 Mühendislik plastiklerinin genel özellikleri

Çizelge 4.1 Bazı malzemelerin dielektrik sabitleri

Madde	Dielektrik sabiti	Delinme Voltajı (Volt)
Hava	1	20
Bakalit	5	700
Sellüloz	7	300-1000
Cam	4-7	4000
Mika	2-7	250-1500
Kağıt	2	1250
Polistren	2,5	500-2500
Porselen	6-8	40-100
Lastik	3	450
Statit	4	200

Buraya kadar gösterilen malzemelerin geçirgenlik katsayıları genellikle 1 MHz frekansa ait verilerdir (www.science.ankara.edu.tr, 2014). Daha önce de ifade edildiği gibi bu değerler gerçekte sabit olmayıp, frekansa bağlı olarak değişmektedirler. Malzemelerin altının çizilmesinin bir başka sebebi de laboratuvar ortamında bizim çalıştığımız malzemeler olmasıdır.

Bütün bu veriler ışığında, gerek proje çalışmamız, gerekse teorik çalışmamız için derlenen bilgilere göre malzemelerin tercih edilme nedenlerini değerleri ile birlikte inceleyelim. Geçirgenliği fazla olan malzemeden daha az olan malzemeye doğru sırasıyla,

Vakum :	= 1	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Hava :	= 1.0006	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Tahta Malzeme :	= 1.2 - 2.1	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Teflon : TEFLON® (PTFE) (Poli Tetra Flourin Etilen)	= 2 - 2.1	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Seramik, Porselen :	= 2.5 - 2.6	$\nu = 1 \text{ MHz}$
PET : Polietilen Tereftalat (Pet şişe malzemesi),	= 3.2 - 4.0	$\nu = 1 \text{ MHz}$
PVC : Poli Vinil Clorur,	= 3.3	$\nu = 1 \text{ MHz}$

Buz : Saf su buzu,	= 3.2 - 4.15	$\nu = 3 \text{ GHz} - 1 \text{ MHz}$
Mika :	= 4.5 - 8	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Cam :	= 4 - 10	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Silikon :	= 11.2 - 12.9	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Saf Su:	= 34 - 88	$\nu = 1 \text{ MHz}$
Su :	= 74	$\nu = 1 \text{ MHz}$

şeklindedir. Şimdi geçirgenlik sıralaması yaptığımız bu malzemelerden, mühendislik plastikleri olarak anılan, kimyasal olarak elde edilen materyallerin özelliklerine değinelim.

Teflon: 1938’de Du Pont firmasından Roy J. Plunkett tarafından bulunmuş ve 1946’da ticari olarak piyasaya sürülmüştür. Termoplastik floropolimer sınıfındandır. Flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz bir karbon zincirinden meydana gelmiş moleküler yapı, atomlar arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle oldukça inaktif özelliklere sahiptir. Isıya, kimyevî maddelere, neme, elektrik atlamasına ve sürtünmeye dayanıklı olan teflon hiçbir maddeye yapışmaz (laboratuvar ortamında özel uygulama ile aşık bu sorunu ve numunemiz mevcuttur.). Sürtünme katsayısı bütün katı cisimlerinkinden küçüktür. Teflon 260 °C üzerindeki sıcaklıklarda bozulmaya başlar. 350 °C civarında ise tamamen yapısı bozulur. Ateş üzerinde bırakılan boş bir teflon tava bu dereceleri aşabilir. Teflon tavada saf olmayan teflon türleri püskürtme ile kaplama işlemi yapılmaktadır. Saf teflon yapışmamak üzere kullanılan bir plastik olmasına rağmen, labaratuvar ortamında çalışmalarımızla yapıştırılabilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

PET: (PET, PETE, PETP) polyester ailesine ait termoplastik bir malzemedir. Meşrubat, yiyecek ve içecek kapları, sentetik fiber gibi kullanım alanları vardır. Isıl işlenmesine bağlı olarak, amorf (şeffaf) ve yarı-kristal (opak ve beyaz) malzeme olarak mevcuttur. Tamamen geri dönüşebilir bir maddedir. Diğer plastiklerden farklı olarak, polimer zincirleri, sonraki kullanımlar içinde eski halini almış durumdadır. PET moleküllerinin lineer olması ve ağ oluşturmaması, 80 °C’de bile formunu bozmamasını

ve kırılmaya karşı dayanıklı olmasını sağlar. Yumuşamaya başladığı sıcaklık yaklaşık 70 ile 80 °C arasındadır. Kristal haldeyken 140 °C'nin üzerine de çıkabilir.

PVC; % 57 klor (endüstriyel seviye tuzundan türetilmiş) ve % 43 etilen yoluyla yağ / gaz ağırlıklı olarak elde edilen karbondan yapılmış bir termoplastik malzemedir. Bu yenilenemeyen bir malzemedir. PE (polietilen), PP (polipropilin), PET (polietilentereftalat) ve PS (polystyrene), plastikleri gibi aksine, plastik tasarrufu olarak kabul edilebilir olan, ham petrol ve doğal gaz ile ilgili diğer polimerlere göre daha az bağımlıdır. Bu klor PVC nin mükemmel yangın dayanımı sağlar.

Mika; formülü $\text{FeO}(\text{OH})$ olan bir demir hidroksittir. Limonit ile birlikte bulunur. İğne biçiminde billurlar ya da tabakalar halinde rastlanır. Mika , çok kolay dilimlenebilen yapraksı bir silikat grubuna verilen isimdir. Misket yapımında da kullanılırlar. Mika farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidroalüminyumsilikat minerallerine verilen isimdir. Mineralojik olarak yerkabuğunun ağırlıkça % 3.8'ini oluşturan mikalar özellikle asitik mağmatik ve metamorfik kayalarda bol olarak bulunur.

Silikon; polisilioksan olarak da bilinir. Silikon, iskeletinde karbon (C) yerine ardışık olarak dizilmiş silisyum (Si) ve oksijen (O) atomları bulunan polimerlerin ortak adıdır. Silikon moleküllerinin çoğunda silisyum atomlarına bağlı metil ya da fenil grupları yer alır. Silikonlar en çok sıvı, reçine veya elastomer biçiminde üretilir. Silikon borular özel üretilmiş kimyasallar olup; çalışma aralığı -60 °C ile +200 °C arasındadır. Sıcaklık kısa aralıklarla uygulanmak üzere dayanımı +260 °C'ye kadar çıkmaktadır. Silikon, kimyasal yapı olarak elektromanyetik dalgaların yavaşlamasına neden olmaktadır. CERN'de ATLAS vb detektörlerin yapısında saçılma sonucunu gözlemleyebilmekte alternatiflerine göre daha verimli olduğu için silikon kullanılmıştır. Yaptığımız silikonlu deneylerde, mikrodalganın silikon ile teması nedeniyle "pas" diye tabir edilen bir renk kararması oluşmuştur. Bu pasın nedeni, yapısındaki silisyumun SiO_2 oluşturmasındandır. Silisyum, elektron yapısı dolayısı ile sistemdeki yeri itibarıyla kimyasal özellik bakımından karbona benzer. Bu yüzden çok çeşitli bileşikler verebilir.

Bu bileşiklerine silisyumdan dolayı silikon adı verilir. Bu bileşiklerde silisyum, oksijen köprüleriyle birbirlerine bağlanmaktadır. Ayrıca silisyuma halojen, alkil veya akril gruplara da bağlanarak, halkalı yahut zincir yapıda bileşikler meydana gelebilmektedir.

Yukarıda dikkate değer önemli bir detay bulunmaktadır. Şöyle ki saf su ile saf buz arasında sadece fiziksel faz farkı bulunmaktadır. İncelediğimiz makalelerde de anlatıldığı üzere, saf su molekülleri saf buza göre daha az hidrojen bağı yapmıştır. Daha az hidrojen bağı yapması dipol momentini arttırmakta ve molekülün aktifliği de artmaktadır. Gevşeyen veya açılan hidrojen bağları molekülün polarlığını ve aktifliğini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenledir ki sıcak suyun çözücülük özelliği soğuk suya oranla fark edilecek derecede daha yüksektir. Ek olarak dielektrik geçirgenlik görüldüğü üzere su molekül yoğunluğuna da bir miktar bağlıdır ve ters orantılıdır.

5. ÇALIŞMALARA KUANTUM MEKANİKSEL YAKLAŞIM

Bu bölümde söz konusu buluş için yapılan deneyler, debi ve hacim - etki alanı hesaplarının verdiği fiziksel ipuçları yorumlanmaya çalışılmıştır. Mikrodalga kombi, elektriği girdi olarak kullanıp elektromanyetik dalga üretmesi ile elektromanyetizmaya; etki alanı olan, boş, yansıtma özelliğine sahip temas yüzeyleri ile de bir siyah cisim kovuşu gibi davranır. Katı numunelerde elektromanyetik dalgalar fonon oluşturur. Bu özellik de katıhal fiziği uygulama alanına örnektir. Bütün bu örneklere ek olarak, elektromanyetik dalgaların (mikro dalgaların) numune (özellikle su) üzerinde oluşturduğu etki klasik mekanikte akışkanlar fiziğine somut olarak $Q=mc\Delta T$ formülüne uymaktadır. Özet olarak cihazımız elektromanyetik teori, klasik mekanik ve kuantum mekaniği uygulama alanına sahiptir. Ayrıca parçacık ve dalga özelliklerinin potansiyele göre değişimi de gözlemlenmiştir.

Yapmış olduğumuz deneylerin matematiksel olarak ne ifade ettiğini anlamaya çalışalım. Literatürde $e.V = h.v$ ve $e.V = m.C.\Delta T$ ile betimlenen enerji dönüşümlerini biliyoruz ve uygulama alanları da söz konusudur. Bu iki dönüşümü birlikte yorumlayacak olursak $h.v = m.C.\Delta T$ şeklinde olur. Ulaşacağımız bu denklik boyut analizinde eşdeğerdir. Bilimsellik ve uygulama alanı bakımından da somuttur.

5.1 Rezonans ve Molekül Parçalanması

Su moleküllerinin, moleküller arası fiziksel bağlarının (hidrojen bağları) titreşim frekansı ile milimetrik dalgaların titreşim frekansı uyuşursa rezonans oluşabilir. Yaklaşık 2.45 GHz'de mikrodalgalar ile su moleküllerinin moleküller arası fiziksel bağları daha fazla titreşmektedir. Mikrodalga ile su ısıtılması durumunda molekül parçalanması oluşmaz. Molekül parçalanması, salınan sistemin termal durumunun değişmesinden dolayı molekül içi bağlarının (H_2O kovalent bağlarının) kopmasından kaynaklanır. Molekül parçalanması yaklaşık 1000 °C'de gerçekleşir. Oysa çalışma aralığıımıza göre Ankara için suyun kaynama sıcaklığı sadece 95 °C olarak ölçülmüştür.

Esas olarak molekül parçalanması atomlar arası bağların kopmasından kaynaklanır. Oysa milimetrik dalga ile etkileşimde su molekülleri titreşimden dolayı ısınır ve kaynama sıcaklığına kadar buharlaşmaya devam eder. Bu durumda su ve su buharının kimyasal yapısı değişmez ve bu olay tamamen fizikseldir. Molekül parçalanmasının nedeni yaklaşık 1000°C 'de H_2O buharının kovalent bağları kopmasından dolayı meydana gelir. Rezonans nedeniyle molekül parçalanması artık 1000°C 'de klasik mekanik- kuantum mekaniği sınırı değil de plazma fiziği sınırlarına erişmektedir. Suyun elektromanyetik dalgalarla ısınmasını şu şekilde de açıklayabiliriz: Su molekülleri dipol moleküllerdir. Moleküllere fiziksel olarak dönme şeklinde etki eden mikrodalga da kutuplu su moleküllerinin dönmesini sağlar. Dönme kinetik enerjisi kazanan her molekülde sıcaklık artışı olur.

5.2 Anahtar-Kilit İlişkisi

Hesaplanan enerji değeri $E=nh\nu$ ifadesi iki şekilde yorumlanabilir. Bunlardan birincisi, n tane fotondan oluşmuş bir foton demetinin toplam enerjisi, ikicisi ise $n\nu$ frekanslı sadece bir fotonun toplam enerjisi şeklinde düşünülebilir. Her iki düşünce de fiziksel olarak kesinlikle farklıdır. Somut olarak, GHz spektrumlarında salınan elektromanyetik dalga milimetrik dalga aralığına düşüp su ile etkileşmekte ve sonuçta suyu ısıtabilmektedir. Bunun dışında MHz seviyesinde salınan bir dalga radyo frekans aralığındadır. 1000 tane radyo dalga fotonunun da enerjisi aynı değerdedir. Enerjileri aynı olmalarına rağmen bu fotonlar yine radyo dalgalarıdır ve su ile etkileşmezler.

5.3 Kavramların Karşılığı

$E=nh\nu$ enerjili kuantum mekaniksel davranan fotonların bir siyah cisim kovuğu içinde, klasik mekanikte akışkanlar mekaniğine uygun bir şekilde hareket eden bir sıvı ile etkileşmesi söz konusu ve sonuç olarak bu klasik mekaniksel sistemin fiziksel hal değişimi ile devam eden bir olay gerçekleşmektedir. Deneylerde birim sistemde atomik kütlesi 18 gr olan su, Avagadro sayısı kadar molekül barındırır. (5.2) numaralı denklemde ilk defa uygulamalı ve teorik olarak incelenmiştir. Burada N , Avagadro

sayısı ve M kütle, maddenin fiziksel özelliğine aittir. Planck sabiti h ve suyun ısınma ısısı C de doğa sabitidir. Son olarak frekans ve sıcaklık farkı da değişkenlerdir.

$$N.h.\nu \propto m.C.\Delta T \quad (5.1)$$

$$N.h.\nu = \xi.m.C.\Delta T \quad (5.2)$$

burada ξ orantı katsayısıdır.

Her bir terim / parametre karşılıklarını eşleştirirsek; N , h , C ve m nicelikleri sabit olduğundan, denklemde incelenmesi gereken değişkenlerden frekans ve sıcaklığın orantılı değişimi söz konusudur. Bu değişim $\nu \propto \Delta T$ şeklinde olup, deneylerle test edilmiştir. $\nu = c/\lambda$ şeklinde açılır ve dalga boyu yalnız bırakılır, ardından da $\Delta T = T - O$ yaklaşımı (çalışılan sıcaklık aralığı çok düşüktür) yapılırsa aşağıdaki son durum elde edilir.

$$\frac{1}{\xi} \quad (5.3)$$

olur. Buradan, , Wienn yasasına ulaşırız.

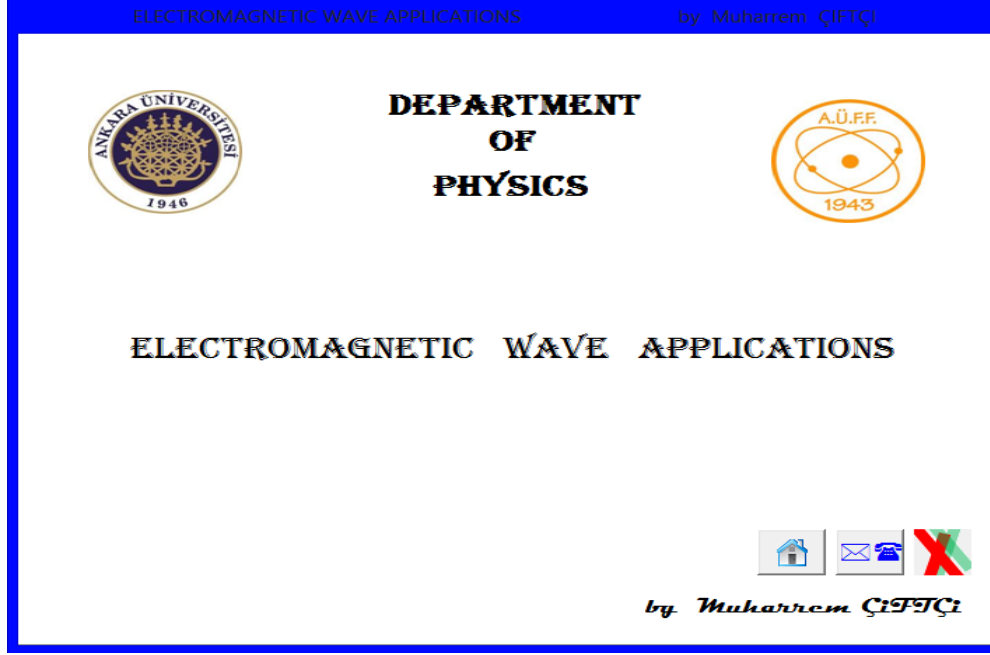
Wien Yasası ise bilindiği üzere; bir cismin yayabileceği maksimum radyasyonun dalga boyu sıcaklıkla ters orantılı olmasını ifade eder. Daha sıcak cisimler kısa dalga boylarında, daha soğuk cisimler uzun dalga boylarında enerji yayarlar. Wien yer değiştirme sabiti = 0,298978 cmK dir. Bulmuş olduğumuz yarı-klasik Wien katsayısı ile gerçek Wien sabiti eşittir.

6. PROGRAMLAMA

Bu tez; yapılan araştırma ve testlerin dayandığı temel ve kaynak konulardan olan Maxwell denklemleri, dalga enerji ve frekans hesaplamalarını içeren , tamamen orjinal olan ve sadece bu çalışmalar için özel bir görsel programlama ile desteklenmiştir. Bu programlamanın diğer bir özelliği de yapılan simülasyon ile elektromanyetik dalgaların malzeme içinde sönümlemesini konu alınmıştır. Program teknik olarak birçok Windows işletim sistemlerinde (win98, win2000, win XP, win 7, win 8) çalışmaktadır. Diğer işletim sistemlerinden Linux, Mac vs ... için de dönüşüm programları kullanılarak yapılabilir. Programda dil olarak İngilizce kullanılmıştır. Bunun nedeni, kullanılan elektromanyetiklik, parametre, metrikler gibi vb birçok yabancı terimi barındıran alanlar olması ve ayrıca yazılım dilinin İngilizce olmasıdır. Bu program, programlama dili olan C++ Borland Builder 6 ile hazırlanmıştır. Yazılım programı Milli Eğitim Bakanlığı Sertifikalı bir kurstan temin edilmiştir. Tezde kullanıma sunulması için metin formatında olmadığından CD olarak eklenmiştir.

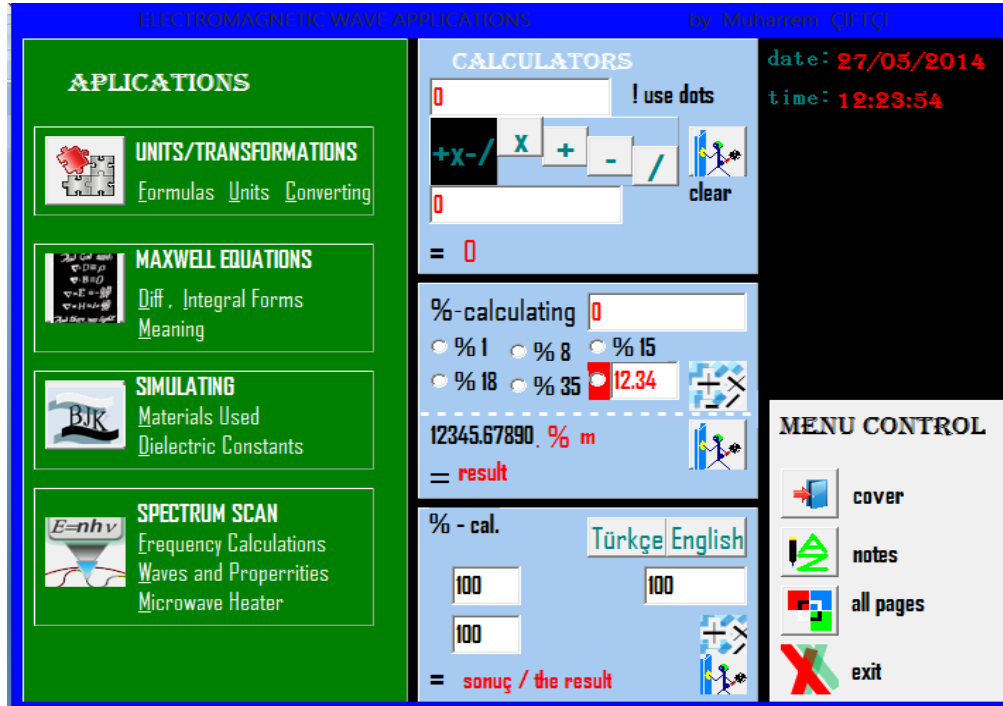
Sistem sorunlarını bildirme, yazılım geliştirme, teknik sorunlar, bilimsel sorular, öneri ve görüşler için de kapak sayfasında bulunan destek bilgileri (e-mail adresi ve mobil numara) yer almaktadır. Pozitif bilimlerde olduğu gibi programlamada da araştırma ve geliştirmenin sonu yoktur. Bu bakımdan programımızı daha da geliştirmeye çalışacağız.

Öncelikle programın kullanım amacı, kullanılışı ve faydalarını çok kısa bir şekilde anlatalım. Şekil 6.1’de gösterilen ekran görüntüsü kapak sayfasına aittir. Burada program ile ilgili genel bilgi verilmektedir. Bir sonraki ekran görüntüsü olan şekil 6.2’deki şekil de program menüsüdür. Üzerinde pratik bir hesap makinesi olan; dönüşümleri, hesaplamaları ve simülasyon uygulamalarını kumanda eden bir ana menü ile ilk açılış yapılmaktadır. Hesap makinesi aslında sadece bilimsel değil de, mali hesaplar içinde kullanılabilen yüzde (%) hesaplamalarına yer verilmiştir. Ardından şekil 6.3’te de fizik standartlarındaki birim ve dönüşüm uygulaması yapılmıştır.



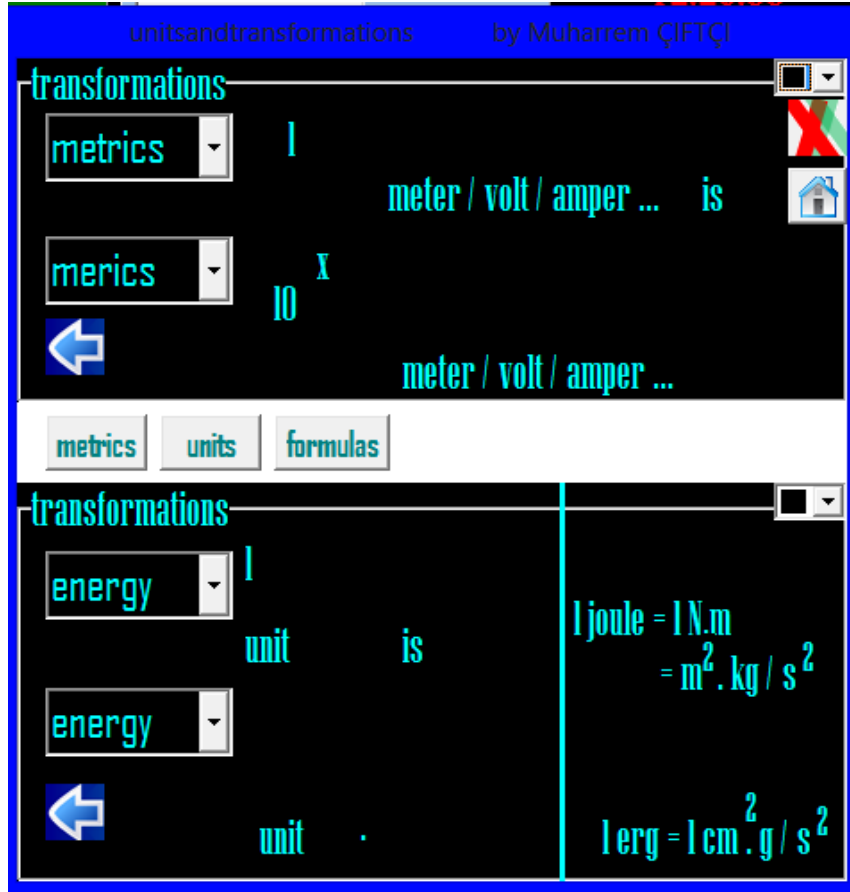
Şekil 6.1 Uygulama sunuş sayfası

Uygulama sunuş sayfasındaki iletişim butonu ile program üreticisinin mail ve telefon bilgileri bulunmaktadır.



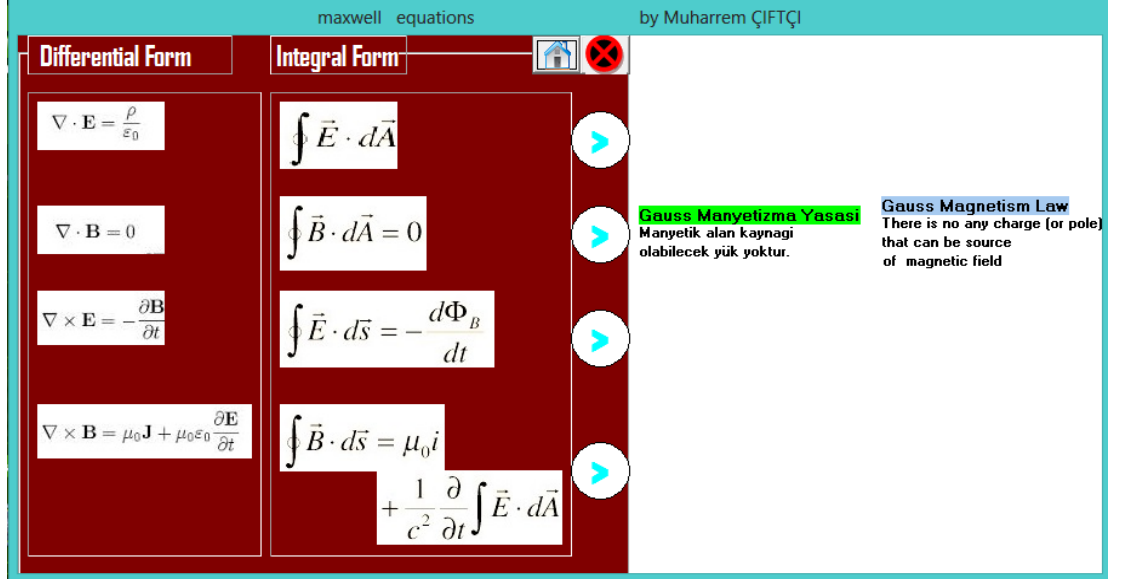
Şekil 6.2 Uygulama ana sayfası

Metrik ve enerji dönüşümleri açıldığı ve ayrıca yönetildiği bir uygulama sayfası da dönüşümler adlı butona bağlanmıştır. Bu sayfaya ait üç alt sayfa bulunmaktadır. Bu sayfalar metrik sistemi kontrol etmek, birim sistemleri hakkında bilgi edinmek ve boyut analizine dayalı formülleri hatırlatmak için kullanıcılara sunulmuştur.



Şekil 6.3 Metrik sistemler uygulaması

Şekil 6.4'te de Maxwell denklemlerinin de diferansiyel ve integral formlarını anlamları ile anlatıldığı ayrı bir uygulama da ana menüye bağlanmıştır



Şekil 6.4 Maxwell denklemleri tanıtım sayfası

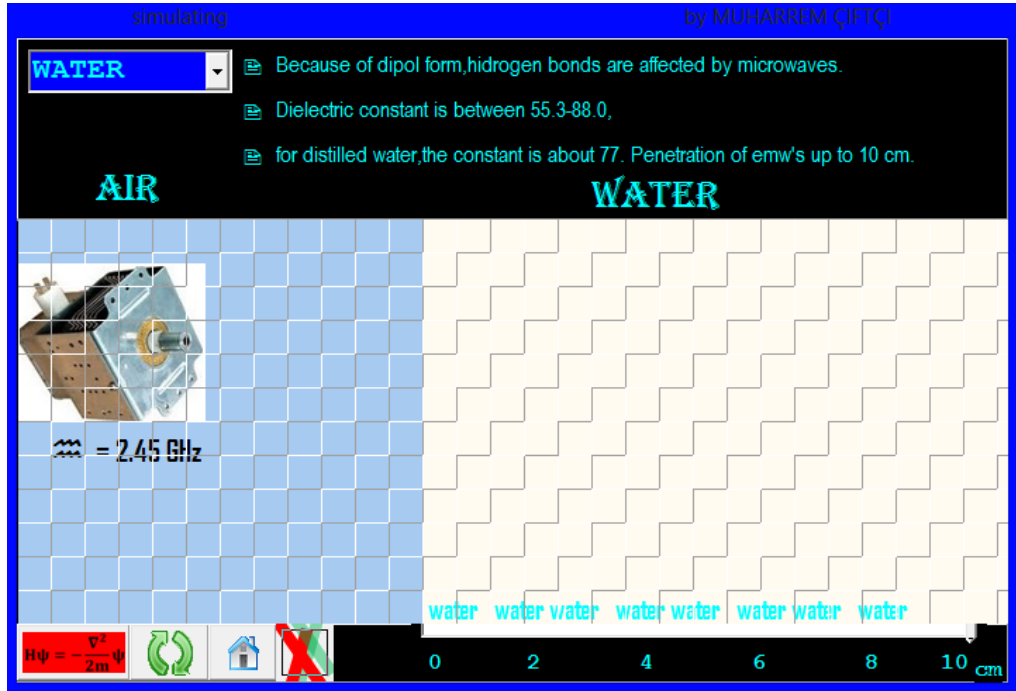
Şekil 6.5'te de menü üç sayfaya bölünmüştür. Frekans ve dalga boyu hesaplamaları ilk sayfada (sekmede) yapılmıştır. Yazılımdaki en önemli ve en faydalı uygulama olarak gördüğümüz spektrum tarama uygulamasıdır. Bu uygulamayı önemli kılan, aklınıza gelen herhangi bir dalga frekansının hangi aralıkta olduğunu öğrenebilmek ve tespit edilen dalga'nın özellik ve kullanım alanlarını da görebilmemizdir.



Şekil 6.5 Spektrum tarama sayfası

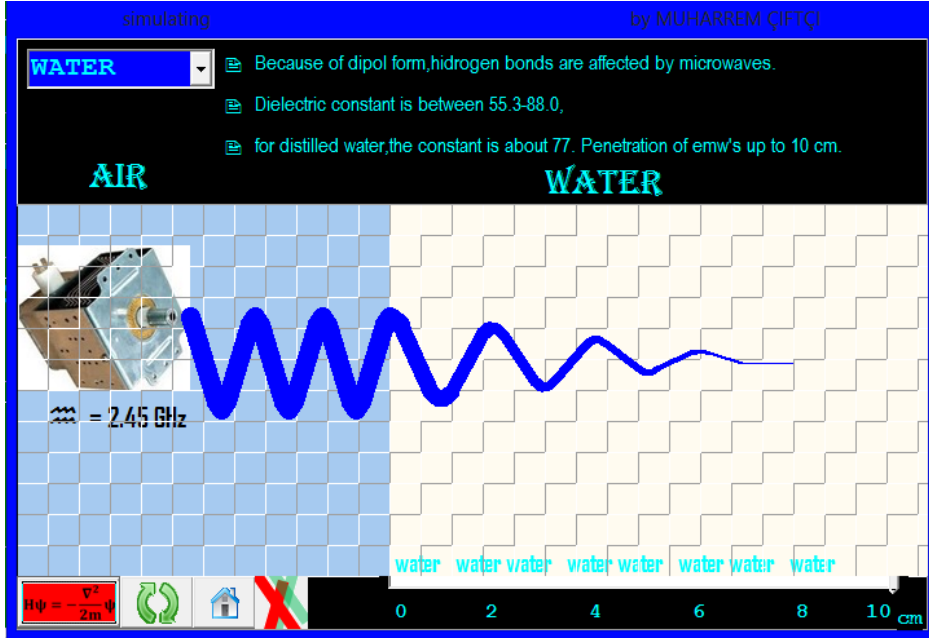
6.1 Malzemelerin Mikrodalga Geçirgenlik Simülasyonu

Bu simülasyon öncelikle çalışılan malzemelerin verilerinden ve literatürdeki verilerden yola çıkılarak hazırlanmıştır. Bunu Şekil 6.6'da görsel olarak canlandırabiliriz. Daha da geliştirilerek çalışılabilecek malzemelerin de simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda 2.45 GHz sabit frekansı kullanılmıştır. Daha önce de değindiğimiz gibi, dielektrik sabiti (geçirgenlik) özellikleri frekansa bağlı değişmektedir. Çalışılan malzemeler metal, teflon, su ve havadır. Oysa deneysel olarak mika, PET, silikon ve PVC de çalışılmıştır. Simülasyonda kalan malzemelere yer verilmeme nedeni, bu malzemelerin simülasyonlarında tek farklılık sönüm mesafesi olacaktır. Simülasyonda çarpıcı görsellik farkı oluşturacak malzemeler, aynı aileden (sanayi, mühendislik plastikleri) değil de farklı çeşitte malzemelerdir. Kısacası, katı olarak teflon, metal, sıvı olarak su, gaz olarak da hava kullanılmış oluyor.



Şekil 6.6 Malzemelerin mikrodalga geçirgenlik simülasyonu

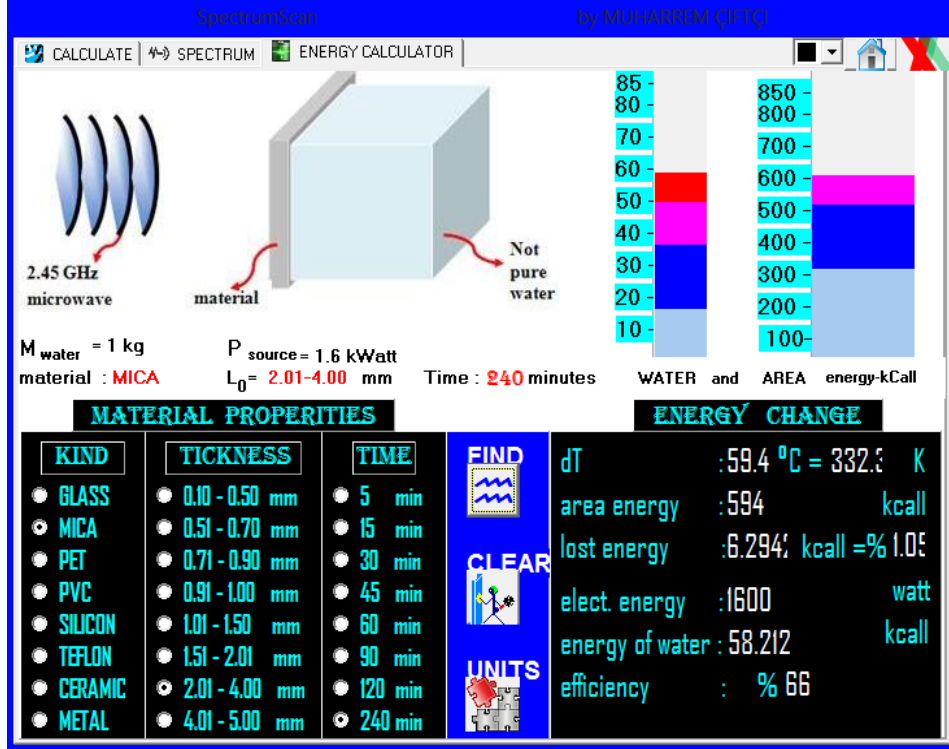
Şekil 6.7’de gösterilen uygulama ekranında su içerisinde sönümlenen 2.45 GHz frekanslı mikrodalga simülasyonu görülüyor.



Şekil 6.7 Materyal su olunca dalga durumu

Su için yapılan çalışmada ekran görüntüsünden de görüldüğü gibi, materyale ait bilgiler de üst panelde verilmektedir. Bu uygulama başlangıç seviyesindedir. Bundan sonra yapılacak iş de, dielektrik sabitleri verilen malzemede sönümün nasıl olduğu görülebilir şekilde uygulamayı geliştirmektir.

Esas konumuz olan mikrodalgada enerji üretimi, enerji kaybı, enerji transfer hesaplarının yapıldığı ve içerisinde zaman, et kalınlığı, dielektrik sabiti parametrelerini baz alan enerji hesaplama sayfası da şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Isı enerjisi hesaplama sayfası

Burada da malzeme cinsine ve saydığımız diğer parametrelere bağlı olarak ortamdaki ısı enerjisi ve hesapları görselleştirilmiştir. Bu uygulama yaptığımız deneylerde elde edilen verileri ve izlenen yöntemleri gösterebilir. Örneğin sadece malzemeleri kıyaslamak istersek, geriye kalan zaman ve et kalınlığı parametrelerini sabit tutarak sağdaki verilerin malzeme cinsine göre değişiminden deney bulgularına ulaşabiliriz. Aynı durumu malzemenin farklı deneyleri için düşünersek o malzemeyi seçip ardından sadece et kalınlığını değiştirerek malzeme hakkında sezgisel bilgilere de sahip olabiliriz. Zaman parametresine göre değişimi de aynı şekildedir. Bu program tamamen deney verilerinden çıkarılmıştır. Prensip olarak da sıcaklığın logaritmik artışı baz alınmıştır.

7. SONUÇ

Bir elektromanyetik etkileşme klasik mekaniksel bir etki oluşturduğunda, etkileşme âni hem klasik hem de kuantum mekaniksel olarak birlikte ifade edilebilir. Zaman parametresi ölçüt alınır, elektromanyetik dalga davranışları her ne kadar klasik mekaniğe göre anlık olsalar da etkileri klasik mekaniksel olunca zamana bağlı olurlar. Deneylerde elde edilen verilere göre yapılan onlarca deneme sonucu aşağıdaki çizelge 7.1’de malzemelerin ortalama kayıp yüzdeleri verilmiştir. Bu kayıp yüzdelere kıyaslamak için de her bir malzemenin et kalınlığına bölerek milimetre cinsinden birim kalınlıktaki kaybı bulunmuştur.

Çizelge 7.1 Malzemelerin dalga kayıplarının karşılaştırılması

	MALZEME	Ortalama Kayıp %	Et kalınlığı (mm)	Kayıp/Et kalınlığı mm^{-1}	Literatürdeki Dielektrik Kayıp Sabiti
1	TEFLON	39.79	5	% 7.95	2-2.1
2	PORSELEN	15.5	2	% 7.75	2.5-2.6
3	MİKA	34.38	4	% 8.59	4.5 - 8
4	SİLİKON	18.85	1	% 18.85	11.2 - 12.9
5	PVC	39.71	2	% 19.86	3.3
6	PET	20.9	1	% 20.9	3.2 - 4.0
7	CAM	35.75	1.3	% 27.5	4 - 10
8	TEFLON(katkılı)	26.11	0.8	% 32.64	-
9	SU	-	-	-	74

Çizelge 7.1’e göre bu projede dijital olarak yapılan ölçümler ve deneylerle mikrodalga kombininin enerji verimliliği için tercih edilen, geçirgenlik açısından en verimli malzemeden başlayarak sıralama teflon, porselen, mika, silikon, PVC, PET ve cam şeklindedir. Literatürdeki dielektrik sıralaması da teflon, porselen, mika, PET, PVC, cam ve silikon şeklindedir. Literatürden sadece silikon ve porselen olarak farklı olması, Kullanılan malzemelerin bileşenlerindeki oranlarının farklı olabileceğidir. Yukarıda mika, teflon, PVC, PET sıralamalarının doğru çıkması; söz konusu malzemelerin saf

olmasındandır. Çizelge 7.1’de görünen verilerin tutarlı olup olmadığı ile ilgili kafamızı karıştıran bir husus olabilir. Verimin sabit olmamasını sağlayacak bir kaç parametre mevcuttur. O parametreleri ve nasıl etkidiklerini nitel olarak açıklayabiliriz:

1. Sıcaklık : Sıcaklık arttıkça malzemenin moleküler yapısında dipol momenti fazla olan moleküller sıcaklığa bağlı kinetik enerjiyi üstel olarak arttıracaktır. Çünkü mikrodalgalar moleküllerin dönme kinetik enerjilerini artırır.

2. Frekans : Mikrodalga frekansı değiştikçe malzemenin geçirgenliği değişmektedir. Frekans ile dielektrik sabiti arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Çeşitli ebatlarda yapılan mikrodalga geçirgenlik testlerinde kıyaslama yapabilmek için birim zamanda milimetre uzunluk başına geçirilen enerji miktarları kıyaslanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli husus da her deneyde eşit sürelerde aynı enerji kaynakları kullanılmıştır. CGS birim sistemine göre birim zamana göre saniyenin baz alınmasının yanında birim alanda da metre-kare baz alınmalıdır. Oysa mm cinsinden birim uzunluk başına geçirgenliğin mantığı, mikrodalgaların malzeme içinde menzili cm boyutunda olmasıdır. Ayrıca bu sanayi ürünü plastiklerde numunenin et kalınlığının metre olmaması gerekir.

Bu çalışmada çalışılan malzeme kimyasal ve elektriksel olarak dikkatimizi belirli parametrelere çekerken; su ile çalıştığımızda suyun kimyasal yapısı, elektrik yapısı ve faz durumları bakımından önceliklerimizin değişmesine neden olmuştur. Daha etkili ve belirleyici kısıtlamalar da mikrodalga ile çalışılınca ortaya çıkmıştır. Kimyasal, fiziksel ve kuantum mekaniksel koşulların bir arada bulunduğu bu çalışmada, sisteme uygun parametre ve verim değerleri arasında denge sağlamak zorlayıcı bir unsur olmuştur. Üç farklı çalışma alanının bilimsel uyumluluğunu yakalamak zor olmuştur.

Bu çalışmada şekil 6.7’de gösterilen uluslararası patent başvurusu yapılmış ve araştırma raporu olumlu sonuçlanmıştır. Projemizin konusuna ait akademik ve sanayi faaliyetleri için yapılan araştırmalar paralel olarak devam etmektedir. Bu tez çalışması ile, bilimsel olarak mikrodalga ile çalışan bir ürünün ne kadar verimli olabileceği tespit edilmiştir.

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
28 April 2011 (28.04.2011)


PCT

(10) International Publication Number
WO 2011/048506 A2

(51) International Patent Classification: Not classified

(21) International Application Number:
PCT/IB2010/053767

(22) International Filing Date:
20 August 2010 (20.08.2010)

(25) Filing Language: Turkish

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
2009/05364 23 October 2009 (23.10.2009) TR

(72) Inventors: and

(71) Applicants : CIFTCL, Muharrem [TR/TR]; Efeler Mahallesi 1330.sokak, İnci Apt.No:9/3, Didim, 09270 Aydın (TR). AKDOĞAN, Ender [TR/TR]; Candan Sokak No:16/3, Kavacik Subayevleri, 06130 Ankara (TR).

(74) Agent: ANKARA PATENT BUREAU LIMITED; Bestekar Sokak No.10, Kavaklıdere, 06680 Ankara (TR).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— without international search report and to be republished upon receipt of that report (Rule 48.2(g))

Şekil 7.1 Uluslararası araştırma raporu ve yayını

Yayın belgesi sayfası için aşağıdaki bağlantıyı kullanabilirsiniz:

<http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2011048506&recNum=1&offset=&queryString=ALL%3A%28microwave+water+heater+prospectus%29&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&maxRec=3>

(<http://patentscope.wipo.int>, 2014)adresini kullanabilirsiniz.

KAYNAKLAR

Anonim 2009. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, Temmuz 2009, Ankara.

Anonim. 2014 a. Web Sitesi:

<http://80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/buyilmaz/dielekrik.pdf>, Erişim

Tarihi: 10.02.2014.

Anonim. 2014 b. Web Sitesi: http://www.tk.gov.tr/sas/dokumanlar/word/ICNIRP_100-300.doc, Erişim Tarihi: 20.03.2014.

Anonymous. 1999. WHO (Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlarda AB referans raporları 1999/519/EC).

Anonymous. 2013. WIPO Patentscope, Web Sitesi

<http://patentscope.wipo.int/search/en/>,

Anonymous. 2014 a. Web Sitesi:

<http://www.rfcafe.com/references/electrical/dielectricconstants-strengths.html>,

Erişim Tarihi: 15.03.2014.

Anonymous. 2014 b. Web Sitesi: London South Bank University,

<http://www1.lsbu.ac.uk/water/index2.html>, Erişim Tarihi: 02.03.2014.

Ambashta, R.D. and Sillanpää, M., 2010. Water purification using magnetic assistance : a Review, J. Hazardous Mater, **180** p 38-49.

Andrev, S. N., Makarov, V. P., Tikhonov, V. I. and Volkov, A. A., 2007. Ortho and para molecules of water in electric field, arxiv.org/abs/physics/0703038

- Biryukov, A. S., Gayrikov, V. F., Nikiforova, L. O. and Shcheglov, V. A., 2005. New physical methods of disinfection water, *J. Russian Laser Res.* **26** 13-25.
- Cai, R., Yang, H., He J. and Zhu, W., 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds, *J. Mol. Struct.* **938** 15-19.
- Cheng, D.K., 2012 *Mühendislik Elektrodinamiğinin Temelleri*, Palme Yayıncılık, 25-200 s., Ankara.
- Colic M. and Morse, D., 1999. The elusive mechanism of the magnetic 'memory' of water, *Colloids Surf., A* **154** 167-174 p.
- Danielewicz, I. and Ferchmin, A. R., 2006 a. Water at ions, biomolecules and charged surfaces, *Physics. Chem. Liquids* **42** (1 - 36) b. Phase diagram of electrostricted H₂O at surfaces of electrodes at 273- 373 K : Electric critical point of water, *ChemPhysChem* **6** (2005) 1499-1509 and c. Note on freezing of water nanolayers under electric fields, *Acta Physica Superficierum* **8** 77-85.
- Jackson, D. 1999 *Classical electrodynamics* 3rd Ed. Jon Willey and Sons Inc. 30–160 p. New York
- English, N. J. and MacElroy, J. M. D., 2003. Molecular dynamics simulations of microwave heating of water, *J. Chem. Phys.* **118** 1589-1592
- Griffiths, D. J., 1999. *Introduction to electrodynamics* (Third ed.), Prentice Hall, pp. 559–562 p. New Jersey.
- Gutiérrez-Mejía, F. and Ruiz-Suárez, J. C., 2012. AC magnetic susceptibility at medium frequencies suggests a paramagnetic behavior of pure water, *J. Magnetism Magnetic Mater*, **9324** 1129-1132.
- Hayashi, H., 1996. *Microwater, The natural solution* (Water Institute, Tokyo).

- Ikezoe, Y., Hirota, N., Nakagawa, J. and Kitazawa, K., 1998. making water levitate, *Nature* **393** 749-750.
- Kaatze, U., Behrends, R. ve Pottel, R., 2002. Hydrogen network fluctuations and dielectric spectrometry of liquids, *J.Non-Cryst. Solids* **305** (19-28)
- Pang, X. F. ve Deng, B., 2010 . Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field, *Science in China Series G-Physics Mechanics Astron.* **51**1621-1632. 2008. Infrared absorption spectra of pure and magnetized water at elevated temperatures, *Europhys. Lett.* **92** 65001.
- Pashley, R. M., 2003. Effect of degassing on the formation and stability of surfactan-free emulsions and fine teflon dispersions, *J. Phys. Chem. B* **107** 1714-1720.
- Ping, S. S., Quan, Z., Li, Z., Rong, W., He, Z. Z., Gang, J. and Yi-Bei, F., 2011. Geometrical structures, vibrational frequencies, force constants and dissociation energies of isotopic water molecules (H₂O, HDO, D₂O, HTO, DTO, and T₂O) under dipole electric field, *Chin. Phys. B* **20**, 063102.
- Symons, M. C. R., 2001. Water structure, unique but not anomalous, *Phil. Trans. R. Soc. London. A* **359** 1631-1646.
- Schevkunov, S. V. ve Vegiri, A., 2002. Electric field induced transitions in water clusters, *J. Mol. Struct. (Theochem)* **593** 19-32.
- Schwendel, D., Hayashi, H., Dahint, R., Pertsin, A., Grunze, M., Steitz, R. and Schreiber, F., 2003. Interaction of water with self-assembled monolayers: Neutron reflectivity measurements of water density interface region, *Langmuir* **19** 2284-2293.

Vegiri, A., 2004. Reorientational relaxation and rotational-translational coupling in water clusters in a d.c. external electric field, J. Mol. Liq. **110** 155-168.

Zhou, K. X., Lu, G. W., Zhou, Q. C., Song, J. H., Jiang, S. T. and Xia, H. R., 2000. Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field, J. App. Phys. 88 1802 - 1805 p.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muharrem ÇİFTÇİ
Doğum Yeri : HAKKARİ
Doğum Tarihi : 16.11.1983
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Didim Selçuk Özsoy Y.D.A Lisesi (2003)
Lisans : ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ FİZİK BÖLÜMÜ
(2009)
Yüksek Lisans : ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ FİZİK ABD (2014)

WIPO (PCT) : ULUSLARARASI ARAŞTIRMA RAPORU YAYINI :

[WO/2011/048506](#)

TÜBİTAK , TEYDEB 1512 BİREYSEL GİRİŞİMCİLİK AŞAMALI DESTEK
PROGRAMI / NİSAN 2013