

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hastaya Spesifik Terapi Parametreleri Bulanık Mantık ile Belirlenen
Gömülü Ultrasonik Terapi Cihazı Tasarımı ve Üretimi

Ali ERBAŞ

Aralık 2012

Elektrik- Elektronik Anabilim Dalında Ali ERBAŞ tarafından hazırlanan HASTAYA SPESİFİK TERAPİ PARAMETRELERİ BULANIK MANTIK İLE BELİRLENEN GÖMÜLÜ ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİMİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ediz POLAT
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Ediz POLAT _____
Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

HASTAYA SPESİFİK TERAPİ PARAMETRELERİ BULANIK MANTIK İLE BELİRLENEN GÖMÜLÜ ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TASARIMI VE ÜRETİMİ

ERBAŞ, Ali

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik- Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA

Aralık 2012, 116 sayfa

Bu çalışmada Endüstriyel-PC (IPC) ve PIC18F452 mikro-kontrolcüsü kullanılarak ultrasonik terapi cihazı tasarlanmış ve üretilmiştir. Hastaya has terapi parametreleri bulanık mantık yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ultrasonik terapide, ultrason dalgasının gücünün belirlenmesinde etkili olan faktörlerden bazıları, hastanın yaşı, daha önce kaç seans ultrasonik terapi gördüğü, doku kalınlığı, kilosu, boyu, kan grubu, beslenme alışkanlıkları, hangi coğrafi bölgede yaşadığı ve cinsiyeti olarak sayılabilir. Bu başat parametrelerin sadece beşi bu tezde kullanılmıştır.

Tasarlanan terapi cihazının geliştirilen yazılımı aracılığıyla, bu beş faktör tıbbi uzman tarafından sisteme “input” olarak verilmekte ve terapi cihazı geliştirilen bulanık mantık kuralları yardımı ile gerekli ultrason parametrelerini (sinyal gücü, sinyal görev oranı, sinyal frekansı) belirlemektedir. 1 MHz ve 3 MHz frekansındaki ultrason dalgaların etkilediği sınır bölgelerine uygulanan terapinin etkinliğini artırmak için her iki frekanstaki ultrason dalgalarının sırayla uygulanması esasına dayanan Ultrasonik Mixed Effect terapisi de bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmış ve incelenmeye değer bulunmuştur.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı iki ana bloktan oluşmaktadır; birinci blok, Endüstriyel-PC (IPC) tabanlı ana kontrol modülü ve ikincisi ise PIC18F452 mikro-

kontrolör tabanlı ultrason sinyalinin üreten görev modülüdür. Ana kontrol modülü veri girişlerini ve gösterimini, bulanık mantığın icrasını ve görev modülünün kontrol edilmesini sağlar. Görev modülü ise aldığı “input” verilere göre ultrason sinyalinin üretmektedir. Terapi cihazı 1MHz ve 3MHz frekansında özgün dalgalar üretebilmektedir. Bu sayede derin dokulara ultrason dalgalarının ulaşmasına imkan sağlamaktadır. Geliştirilen ve üretimi yapılan Ultrasonik terapi cihazı; taşınabilir, kullanıcı dostu ve güvenilir bir yapıya sahiptir.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazının gerçek dokularda test edilmesi ilk aşamada sakıncalıdır. Bu nedenle cihaz testleri için gerçek dokular yerine, gerçek dokuların karakteristik özelliklerine sahip doku benzeri ortam [Ultrasonik Fantom Malzeme (Ultrasonic Phantom Material)] geliştirilmiştir. Ultrasonik fantom malzemenin hazırlanması için yeni bir protokol geliştirilmiştir. Az yoğun ve çok yoğun olmak üzere iki farklı doku benzeri ortam hazırlanmıştır.

Ultrasonik terapi cihazının az yoğun ve çok yoğun ortamlarda testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonucunda ortam yoğunluğunun ultrason dalgalarının dokular tarafından emilimini etkilediği gözlemlenmiştir. Hazırlanan çok yoğun ortamda, az yoğun ortama göre daha fazla sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

Bulanık mantık kural tabanı oluşturulurken hastanın yaşı, daha önce kaç seans ultrasonik terapi gördüğü ve doku kalınlığı parametrelerine ek olarak vücut kitle indeksi parametresi de giriş parametresi olarak kullanılmıştır. Vücut kitle indeksi parametresi, hastanın yaşı ve ağırlığı kullanılarak hesaplanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ultrasonik Terapi, Bulanık Mantık, Gömülü Sistem, Medikal Uygulama, Enstrümantasyon, Mikrokontrolör, Ultrasonik Fantom Malzeme.

ABSTRACT

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN EMBEDDED ULTRASONIC THERAPY DEVICE USING FUZZY-LOGIC BASED PATIENT SPECIFIC THERAPY PARAMETERS

ERBAŞ, Ali

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fikret YALÇINKAYA

December 2012, 116 pages

An embedded ultrasonic therapy device has been designed and constructed by integrating an industrial PC (IPC) with a PIC18F452 microcontroller.

Patient specific therapy parameters have been determined by using fuzzy-logic rules. In ultrasonic therapy, the parameters affecting the output power applied to the patient are as follows: the age of the patient, the number of times patient has taken ultrasonic therapy, patient's tissue thickness, patient's weight, patient's height, patient's blood group, patient's nutritional habit, geographic region and patient's sex. This thesis has only used four of the main parameters, which are patient's age, the number of times patient has gone through ultrasonic therapy, patient's tissue thickness, and body mass index which requires patient's height and patient's weight.

Medical experts can input the four variables into the computerised system using the developed software. The medical instrument developed uses fuzzy-logic rules to decide the three main output signals which are the power of the signal, the percent of the duty-cycle and the signal frequency. Normal working frequencies are 1 MHz and 3 MHz. But there are regions where these two frequencies can not effectively reach, therefore a new concept has been developed and suggested which is named as

Ultrasonic Mixed Effect. Ultrasonic mixed effect is supposed to be an alternative for the therapy of such regions but this thesis did not experimentally prove the concept.

This ultrasonic therapy device consists of two main modules, the first is industrial PC (IPC) based main control module and the second is a microcontroller based duty module which produces ultrasonic signals. The Industrial PC (IPC) is used to input and store the data, display programs and messages, carry out fuzzy logic algorithms and controls of microcontroller based duty module. The microcontroller based duty module produces ultrasound signal for received “input” data from IPC.

The ultrasonic therapy device can produce 1 MHz and 3 MHz frequency of the specific waves. The ultrasonic therapy device is not only portable and user friendly but also has a reliable structure.

It is not safe to experimentally test the ultrasonic device developed on real tissues and to a certain degree it is dangerous as well. Therefore it is mandatory to test the instrument with so-called phantom materials acting like real tissues. These phantom materials are showing the characteristic properties of real tissues. These phantom mediums are developed at home for sole purpose of experimental work. This thesis is suggesting a well developed protocol in preparation of such materials. Tissue-like phantom materials are two types: one is low-density tissue-like phantom medium and the other is high-density tissue-like phantom medium. All required experimental tests have successfully been done on these mediums accordingly. The carried out tests have proved that the density of the tested medium is affecting the absorption ability of the ultrasonic waves. It is observed that the temperature rise in high-density medium is higher than the temperature rise in low-density medium. In this thesis a new parameter has been included to the fuzzy-logic rule base which is body-mass index. Body-mass index is exclusively used by this thesis which combines two parameters, patient’s age and patient’s height.

Key Words: Ultrasonic Therapy, Fuzzy Logic, Embedded Systems, Medical Application, Instrumentation, Micro-controller, Ultrasound Phantom Material.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında bilgisini ve desteğini paylaşmaktan çekinmeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA 'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez savunmam sırasında görüşlerini belirterek yardımcı olan jüri üyeleri Doç. Dr. Ediz POLAT ve Yrd. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ hocalarıma teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında bana destek olan meslektaşım Erdiņ DEĞİRMENCİOĞLU 'na da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Ultrason ve Dayandığı Temel Prensipler.....	2
1.1.1. Ses Dalgaları.....	2
1.1.2. Ses Dalgasının Özellikleri.....	2
1.2. Ultrasonik Dalgalar.....	5
1.2.1. Ultrason (Ultrasound) Nedir?.....	5
1.2.2. Ultrasonun Kullanım Alanları.....	6
1.2.2.1. Medikal Alanda.....	6
1.2.2.2. Endüstriyel Alanda.....	6
1.2.3. Ultrasonik Dalgaların Etkileri.....	7
1.2.3.1. Fiziksel Etkileri.....	7
1.2.3.2. Kimyasal Etkileri.....	7
1.2.3.3. Biyolojik Etkileri.....	7
1.2.4. Ultrasonik Dalgaların Fiziği.....	8
1.2.4.1. Yansıma, Kırılma, Saçılma ve Zayıflama.....	8
1.2.4.2. Ultrasonik Dalgalar - Doku Etkileşimi.....	10
1.2.4.3. Akustik Empedans.....	13
1.3. Ultrasonik Dalgaların Üretilmesi.....	13
1.4. Transdüserler.....	14
1.4.1. Transdüser Odaklanması.....	16

1.4.2. Transdüser Çözünürlüğü (Resolution)	18
1.4.2.1. Aksial Çözünürlük.....	18
1.4.2.2. Lateral Çözünürlük	19
1.4.3. Transdüser Türleri.....	19
1.4.3.1. Lineer Problar.....	20
1.4.3.2. Sektör Problar.....	20
1.4.3.3. Konveks Problar.....	21
1.5. Ultrason Sistemlerinde Görüntü Oluşumu.....	21
1.5.1. Ultrason Görüntü Modları.....	22
1.5.1.1. Amplitude (Genlik) Modu (A-Modu).....	22
1.5.1.2. Brightness (Parlaklık) Modu (B-Modu).....	22
1.5.1.3. Motion (Hareket) Modu (M-Modu).....	23
1.5.2. Doppler Ultrasonu.....	23
1.5.2.1. Sürekli Dalga.....	24
1.5.2.2. Dupleks Sistemler.....	24
1.5.2.3. Renkli Doppler.....	25
1.6. Ultrason Artefaktları (Görüntü Kirlilikleri).....	25
1.6.1. Akustik Bölge.....	26
1.6.2. Arka Duvar Zenginleşmesi.....	26
1.6.3. Kırılma.....	26
1.7. Ultrasonik Dalgaların Dokulara Uygulanması.....	27
1.8. Ultrason Sistemlerinin Tıp Alanında Kullanılması.....	27
1.8.1. Teşhis Alanında Ultrason Dalgaları.....	28
1.8.2. Tedavi ve Terapi Alanında Ultrason Dalgaları.....	29
1.9. Literatür Araştırması.....	30
2. FİZİK TEDAVİ.....	38
2.1. Fizik Tedavi (Fizyoterapi) Nedir?.....	38
2.2. Fizik Tedavi Metotları.....	39
2.2.1. Isı.....	39
2.2.2. Masaj.....	39
2.2.3. Egzersiz	40
2.2.4. Elektrik Akımları.....	40
2.2.5. Fonksiyonel Eğitim.....	40

2.3. Ultrasonik Fizyoterapi.....	40
2.3.1. Ultrasonik Terapi Parametrelerinin Belirlenmesi.....	41
2.3.1.1. Terapi Uygulanacak Bölgenin Derinliği.....	41
2.3.1.1.1. Deri Kalınlığı ve Fizyolojik Katmanları.....	42
2.3.1.2. Darbe Oranı.....	43
2.3.1.3. Güç Yoğunluğu.....	44
2.3.1.4. Ultrasonik Terapi Süresi.....	44
2.3.1.5. Ultrasonik Karışım Etkisi (Ultrasonik Mixed Effect).....	44
3. YAPAY ZEKA.....	46
3.1. Yapay Zeka Nedir?.....	46
3.2. Yapay Zeka Teknolojileri.....	46
3.2.1. Uzman Sistemler.....	46
3.2.2. Makine Öğrenmesi ve Yapay Sinir Ağları.....	47
3.2.3. Genetik Algoritmalar.....	47
3.2.4. Zeki Etmenler (Intelligent Agents).....	48
3.2.5. Bulanık Kümeler Mantığı.....	48
3.2.5.1. Üyelik Fonksiyonları.....	51
3.2.5.2. Bulanıklaştırma (Fuzzification).....	52
3.2.5.3. Bulanık Önerme İşlemi.....	52
3.2.5.4. Durulaştırma (Defuzzification).....	52
4. ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TASARIMI.....	54
4.1. Ultrasonik Terapi Cihazı Endüstriyel-PC Donanımı.....	55
4.1.1. Ultrasonik Terapi Cihazı Kanal Kontrol Kartı Tasarımı.....	56
4.1.1.1. Ultrasonik Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Kontrol Kartı Tasarımı.....	56
4.1.1.2. Ultrasonik Terapi Cihazı Sinyal Kartı Tasarımı.....	58
4.2. Ultrasonik Terapi Cihazı Yazılımı.....	62
4.2.1. Ultrasonik Terapi Cihazı Endüstriyel-PC Yazılımı.....	62
4.2.1.1. Endüstriyel-PC Bulanık Mantık Uygulaması.....	63
4.2.2. Ultrasonik Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Kontrol Kartı Yazılımı	73
5. ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TESTLERİ.....	74
5.1. Ultrasonik Terapi İçin Doku Benzeri Ortam Hazırlanması.....	76

5.2. Ultrasonik Terapi İçin Doku Benzeri Ortam Testleri	78
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	87
EKLER	93
EK. 1. Üyelik Fonksiyonları İçin Hazırlanan Kural Tabanı.....	93
EK. 2. US Terapi Cihazı IPC Yazılımı Bazı Kod Örnekleri.....	104
EK. 3. US Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Yazılımı Bazı Kod Örnekleri.....	113
EK. 4. Tezde Yer Alan Bazı Medikal Terimler.....	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ses dalgasının farklı madde ortamlarında yayılma hızı	4
1.2. Ultrason sistemlerinin tıp alanında kullanım alanları.....	28
2.1. Terapi uygulanacak bölgenin derinliği.....	42
2.2. Mod pals oranı - görev oranı.....	43
2.3. Doku durumu- gerekli yoğunluk.....	44
4.1. Yetişkinlerde vücut kitle indeksine göre bireyin durumu.....	64
4.2. Yaş grupları.....	65
5.1. Farklı yaş gruplarında yer alan insanlardan alınan veriler, uzman görüşleri, bulanık mantık yazılımı çıktıları ve hata oranları.....	75
5.2. Test için gerekli veriler.....	79
5.3. Sıcaklık sensöründen elde edilen sonuçlar.....	80
6.1. Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı ile literatürde yer alan veya piyasadaki terapi cihazlarının özellikleri karşılaştırılması.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ses dalgası tayfı.....	2
1.2. Bir ses dalgasının yapısı ve parametreleri	3
1.3. İki ayrı ortamda ilerleyen dalğanın yansıması ve kırılması.....	8
1.4.a. Ultrason dalgasının yansıması.....	10
1.4.b. Ultrason dalgasının yansıması ve kırılması.....	10
1.4.c. Ultrason dalgasının yansıması ve saçılması	11
1.5. Bir piezoelektrik kristalin üzerine gerilim uygulandığında formunun değişimi.....	15
1.6. Yakın ve Uzak Alan bölgeleri.....	16
1.7. Bir ultrason demetinin odak uzaklığı, odak düzlemi ve demet genişliği.....	16
1.8 Normal, içbükey kristal ve akustik lens ile odaklanmış ultrason demeti....	17
1.9 Elektronik olarak odaklanmış ultrason demeti.....	18
1.10. Aksial çözünürlük	19
1.11. Lateral çözünürlük.....	19
1.12. Ultrasonda kullanılan lineer, sektör ve konveks problar ve ekran üzerinde oluşan görüntülerin biçimi.....	20
2.1. 1 MHz ve 3 MHz frekansındaki ultrasonik dalgaların sınır bölgeleri.....	45
3.1. Genel bulanık mantık sistemi.....	50
3.2. Takagi-Sugeno-Kank Bulanık Sistemi.....	50
3.3. Bulanıklaştırma- Durulaştırma birimli bulanık sistemi.	51
3.4. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları.....	51
4.1. Ultrasonik terapi cihazı diyagramı.....	54
4.2. Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı diyagramı.....	57
4.3. Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı devre şeması.....	58
4.4. Ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı diyagramı.....	59
4.5. Ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı devre şeması.....	61
4.6. Ultrasonik terapi cihazı endüstriyel-PC (IPC) yazılımı ekran görüntüsü....	63
4.7. Hastanın yaşı üyelik fonksiyonu.....	66
4.8. Doku kalınlığı üyelik fonksiyonu.....	68

4.9. Terapi sayısı üyelik fonksiyonu.....	69
4.10. Vücut kitle endeksi üyelik fonksiyonu.....	70
4.11. Çıkış gücü üyelik fonksiyonu.....	71
5.1. Hazırlanan az yoğun ortam.....	77
5.2. Hazırlanan çok yoğun ortam.....	78
5.3. Hazırlanan deney düzeneği.....	78
5.4.a. Denek 8 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri.....	80
5.4.b. Denek 10 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri.....	81
5.4.c. Denek 12 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri.....	81
5.4.d. Denek 13 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri.....	81
5.4.e. Denek 17 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri.....	82

SİMGELER DİZİNİ

v	Dalganın ortamdaki yayılım hızı
f	Frekans
λ	Dalga boyu
T	Dalga periyodu
B	Doku sertliği
g	Kütle yoğunluğu
k	Dokunun sıkıştırılabilirliği
θ_1	Gelme açısı
θ_r	Yansıma açısı
θ_2	Kırılma açısı
n_1	Birinci ortamın kırılma indisi
n_2	İkinci ortamın kırılma indisi
v_1	Ultrason dalgasının birinci ortamdaki yayılma hızı
v_2	Ultrason dalgasının ikinci ortamdaki yayılma hızı
P_0	Gelen dalganın gücü
P	İstenen dalganın gücü
A_r	Referans dalganın basınç genliği
A_i	İstenen dalganın basınç genliği
Z	Spesifik akustik empedans
ρ	Ortam yoğunluğu
d	Kristalin kalınlığı
c	Piezoelektrik malzeme içindeki sesin yayılma hızı
f_p	Probun istenilen çalışma frekansı

W	Minimum demet genişliği
f_{sapma}	Yansıyan ekoların frekanslarındaki sapma
f_t	Transdüser frekansı
v_k	Kan akım hızı
θ_{k-s}	Ses demeti ile kan akış doğrultusu arasındaki açı
μ	Bir bulanık kümeye üyelik (aidiyet) değeri

KISALTMALAR DİZİNİ

US	Ultrason
IPC	Endüstriyel Bilgisayar
A-Modu	Genlik Modu
B-Modu	Parlaklık Modu
M-Modu	Hareket Modu
CW	Sürekli Dalga (Continuous-Wave)
PW	Dubleks Dalga (Pulsed-Wave)
CD	Renkli Doppler (Color-Doppler)
MR	Manyetik-Rezonans
RF	Radyo Frekans
PZT	Lead-Zirconate-Titanate
TSK	Takagi-Sugeno-Kank
BM	Bulanık Mantık
VKİ	Vücut Kitle İndeksi
EMK	Elektromotor Kuvveti
SATA	Spatial Average-Temporal Average Intensity
HIFU	High Intensity Focused Ultrasound
AR	Autoregressive

1. GİRİŞ

Ultrason [ultrasound (US) – sesötesi] insan kulağının üst işitme seviyesi olan 20 KHz ve üzeri dalgalara verilen addır. Tabiatta bazı canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için ultrasonik dalgalardan yararlanırlar. Yarasalar yönlerini bulmakta veya avlarını tespit etmekte, balinalar derin denizlerde yönlerini bulmakta ultrasonik dalgalardan yararlanmaktadırlar. [1, 2]

İnsanoğlunun ultrasonik dalgaları keşfetmesi 17.yüzyılın sonlarına denk gelmektedir. 1790 yılında Lazzaro Spallanzani adlı İtalyan biyolog, yarasaların karanlık mağaralarda kendi ürettikleri ultrason dalgalarını dinleyerek yollarını bulduklarını tespit etti. Ancak 1881 yılına kadar insanoğlu ultrasonik dalgaları üretememiştir. 1881 yılına gelindiğinde Pierre Curie piezoelektrik kristallerdeki gerilim ve basınç arasındaki ilişkiyi keşfetti. Bu keşif modern bir ultrason probu oluşturmak için gerekli olan ilk adımı oluşturdu. Böylece ultrasonik dalgalar ilk kez insanlar tarafından üretilmiş oldu ve ultrasonik dalgalar alanındaki çalışmalar hız kazandı. Titanik faciasından sonra, Paul Langevin buzdağlarını algılamak için hidrofoni icat etti. Hidrofon, ilk ultrason transdüseriydi. Hidrofon deniz ortamına düşük frekanslı ses dalgalarını gönderebiliyor ve yansıyan dalgaları başarılı bir şekilde algılayabiliyordu. I. Dünya savaşı sırasında hidrofon denizaltıları tespit etmek için kullanılmıştır. Hidrofon, ultrason tarihinde önemli bir adımdır. 1930'lu yıllarda Avusturya'lı genç psikiyatrist Dr. Karl Dussik, beyin tümörünün teşhisi amacıyla ultrason resimlerini kullandı. Bu kullanıma hiperphonografi adı verildi. Dr. Karl Dussik, yankılanan ses dalgalarını kaydetmek için ısıya duyarlı kağıt kullandı. Böylece ultrasonik görüntüleme başlamış oldu. 1940'lı yılların sonunda George Ludwig ultrason alanında çalışmalar yaptı. Bu çalışmalarda, radar veya sonarlarda olduğu gibi dalga gönderip, yansıyan dalgalardan elde edilen bilgileri ekranda gösteren bir araç geliştirdi. Ludwig, ses dalgalarının hayvan doku, organ ve kaslarında ilerlemesini inceledi. Ludwig'in yaptığı çalışmalar ve geliştirdiği araç ile ultrason teknolojisinin temelleri atıldı. Bu çalışmaların ardından ultrason sadece tıp

alanında değil diğer alanlarda da kullanılmaya devam etti ve günümüzde teknolojinin her dalında kullanılmaktadır. [1, 2, 3]

1.1 Ultrason ve Dayandığı Temel Prensipler

1.1.1 Ses Dalgaları

Ses dalgaları, doğrusal bir dalga hareketidir. Yayıldığı ortamda tekrar eden sıkışıklık ve seyreklik bantları oluşturur ve bu şekilde ilerlerler. Sıkışıklık bantları ortam basıncına göre artmış basınç alanlarını ve seyreklik bantları ise yayıldığı ortam basıncına göre azalmış basınç alanlarını ifade etmektedir. Bu basınç bölgelerinin oluşabilmesi için bir ortam gereklidir. Bu nedenle boşlukta ses dalgaları ilerleyemez.[1,4]

Ses dalgaları frekanslarına göre dört gruba ayrılırlar. İnsan kulağının duyarlılık sınırları olan 20Hz ile 20 KHz frekansları arasındaki ses dalgalarına işitilebilir ses, işitilebilir sesin alt frekansı olan 20Hz'nin altındaki dalgalara ses-altı (infrason), işitilebilir sesin üst seviyesi olan 20KHz frekansı ile 10MHz frekansları arasındaki dalgalara ultrason ve 10MHz'nin üzerindeki frekanslardaki dalgalara ise ses-üstü (hiperson) dalgalar denir. [4]

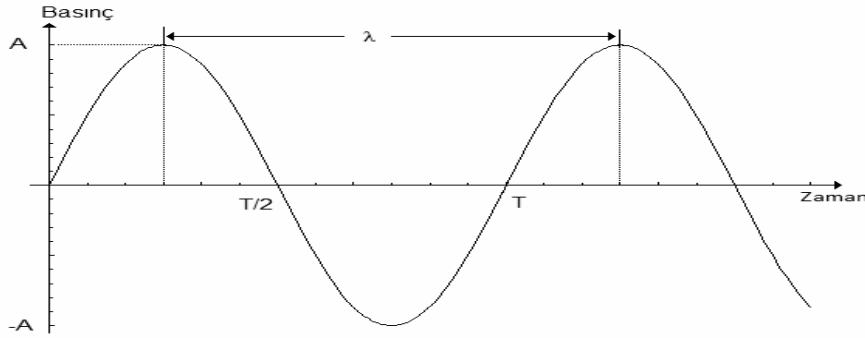


Şekil 1.1. Ses dalgası tayfı

1.1.2 Ses Dalgasının Özellikleri

Ses dalgaları, üretilmesi veya yayılabilmesi için bir ortama ihtiyaç duyarlar. Üretilen bir dalga tepe ve vadi olarak adlandırılan iki bölgeye sahiptir. Bir tepeden diğer

tepeye olan mesafeye bir dalga boyu denir. Her dalga kendine has bir dalga boyuna sahiptir. Bir dalganın normal konumuna göre yükselme veya alçalma mesafesine ise genlik denir. Dalganın sahip olduğu enerjinin miktarına bağlı olarak genliği değişmektedir. Dalganın genliği artarsa enerjisi de artmaktadır. [5]



Şekil 1.2. Bir ses dalgasının yapısı ve parametreleri

Ses ve elektromanyetik dalgaların hız, frekans ve dalga boyu ilişkisi

$$v = \lambda f \quad (1.1)$$

ile verilir. Burada

v : Dalganın ortamdaki yayılım hızı (m/s)

f : Frekans (Hz)

λ : Dalga boyunu (m) ifade etmektedir.

Dalganın periyodu cinsinden de, T (s),

$$v = \lambda / T \quad (1.2)$$

ifade edilebilir. [5,6]

Ses dalgalarının yayıldığı ortamın türü, yoğunluğu, ısısı ve diğer bazı faktörleri ses dalgasının yayılma hızını belirler. Ses dalgasının yayıldığı ortam yoğunlaştıkça yayılma hızı o oranda artar. Ses dalgasının bazı maddeler içerisindeki yayılma hızları Çizelge 1.1.'de verilmiştir. [6]

Çizelge 1.1. Ses dalgasının farklı madde ortamlarda yayılma hızı

Madde	Yoğunluğu (gr / cm³)	Ses Hızı (m / s)
Hava	0.001	330
Yağ	0.93	1450
Su	1.0	1540
Yumuşak doku	1.04	1560
Kemik	1.81	4080
Alüminyum	2.7	6400

Bir dokuda ses dalgasının yayılma hızı, dokunun sertliği ve dokunun kütle yoğunluğuna bağlıdır. Ses dalgasının bir ortamda yayılma hızı, matematiksel olarak şu denklemlerle ifade edilmiştir. [6]

$$v = \sqrt{B/g} \quad (1.3)$$

Burada;

B: Dokunun sertliği (Bulk modülüs),

g: Dokunun kütle yoğunluğudur.

$$B = 1/k \quad (1.4)$$

olarak yazılabilir.

k : Dokunun sıkıştırılabilirliği.

Ses dalgasının bir ortamda yayılma hızı dokunun sıkıştırılabilirliği kullanılarak,

$$v = \frac{1}{\sqrt{gk}} \quad (1.5)$$

şeklinde de tanımlanabilir.

İnsan vücudunda ses dalgasının yayılma hızı ortalama olarak 1540 m/s kabul edilebilir. [6]

1.2 Ultrasonik Dalgalar

1.2.1 Ultrason (Ultrasound) Nedir?

İnsan kulağının işitme üst frekansı olan 20 KHz ile 10MHz aralığındaki ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Ultrasonik dalgalar tıpta farklı amaçlarla farklı frekanslarda kullanılmaktadırlar. Örneğin teşhis amacıyla kullanılan ultrason dalgaları 2 MHz ile 10 MHz frekansları arasındadır. [7]

Radyo dalgaları ile ultrasonik dalgalar arasında yapı itibariyle temel farklar vardır. Bu temel farklılıklardan en önemlisi ultrason dalgalarının mekanik dalgalar olmasıdır. [7] Ultrason teknolojisinin temelinde darbe-yansıma (pulse-echo) prensibi vardır. Yani, bir ultrason darbesi, hedef bölgeye gönderilir. Bu darbe hedefe çarpar ve yansır. Yansıyan dalga geri alınır ve hedef bölge ile ilgili veriler elde edilir. Bu yansıyan dalgaya eko (echo) dalgası denir. [7,8]

Doğada ultrason sistemini yarasalar ve yunus balıklarının avlanma ve yönlerini tayin etmekte kullandıkları bilinmektedir. Bu canlılar örnek alınarak geliştirilen ilk cihazlar askeri amaçlı sonar ve radar cihazlarıdır. [3,7]

Sonar ve radar sistemlerinin temel görevi; gözle görülmeyen nesnelere belirlemek, sınıflandırmak ve izlemektir. Tıbbi görüntüleme için kullanılan ultrasonografi sistemlerinde de amaç gözle görülmeyen dokuların belirlenmesi, sınıflandırılması ve izlenmesidir.

Ultrason sistemlerinde prob, akustik jel üzerinden vücutla temas halindedir. Transdüser vasıtasıyla üretilen ultrason dalgaları, incelenmek istenen vücut bölgesindeki anatomik yapıdan yansıyarak geri dönerler. Anatomik yapıdan yansıyan ekolar yine aynı transdüser vasıtasıyla geri alınır. Bu veriler işlendikten sonra ekranda görüntülenir, video kayıt cihazı ile kaydedilir veya yazıcı ile kâğıda yazdırılır. Tıbbi uzman bu görüntülerden yararlanarak vücudun iç anatomik yapısının yanı sıra tümör veya kist gibi anormal yapılar hakkında da bilgi sahibi olur.[7,8]

1.2.2 Ultrasonun Kullanım Alanları

1.2.2.1 Medikal Alanda

- **Tanısal Olarak:** Vücut içerisindeki dokuların görüntülenmesinde.
- **Tedavi Aracı Olarak:**
 - Fizik tedavide dokuların ısıtılmasında,
 - Kırıcı etkisinden yararlanılarak safra kesesi ve böbrek taşlarının kırılmasında,
 - Üst solunum yolu rahatsızlıklarının tedavisinde gerekli olan soğuk buhar üretiminde (Nebülizatör),
- Tıbbi cihazların mikro seviyede temizliğini sağlamak için temizlik sıvısını yüksek frekanslarda titreştirmek amacıyla kullanılır. [9]

1.2.2.2 Endüstriyel Alanda

- Havada yayılabilirliği nedeniyle, mesafe tespitinde kullanılmaktadır.
- Suda yayılabilirliği nedeniyle;
 - Sıvıların zehirli gazlardan arıtılmasında,
 - Seviye ölçümlerinde,
 - Çeşitli aletlerin sterilizasyonunda kullanılmaktadır. [9]
- Katılarda yayılabilirliği nedeniyle;
 - Katı ürünlerdeki çatlakların tespit edilmesinde,
 - Yüksek frekanslarda titreşim hareketi oluşturabilmesi sebebiyle metal ve plastik kaynaklarında kullanılmaktadır. [9]
- Yüksek frekanslı su dalgaları oluşturabilmesiyle, tekstil, metal kaplama ve saatçilik gibi hassas temizlik gerektiren sanayi kollarında kullanılmaktadır. [9]

1.2.3 Ultrasonik Dalgaların Etkileri

Ultrasonik dalgaların etkileri üç ana başlık altında incelenebilir.

1.2.3.1 Fiziksel Etkileri

- **Kabarcık Oluşumu:** Yüksek şiddetli ultrason dalgaları sıvılara uygulandığında, kabarcıklar meydana gelir. Bu teknik kullanılarak sıvı içerisindeki katı cisimlerin sıvıda çözünmeleri veya bakterilerin parçalanmalarında kullanılır. [6,9]
- **Isı Etkisi:** Ultrason dalgalarının bir kısmı ilerlediği ortamın türüne bağlı olarak farklı oranlarda emilirler. Bu emilen dalgalar ortam ısınmasına neden olur.
- **Sis Oluşumu:** Sıvı içerisinde ilerlemekte olan ultrason dalgalarının, sıvı yüzeyinden havaya yansması sırasında, sıvı molekülerini de havaya püskürtürler ve sıvı yüzeyinde bir sis tabası oluşur. Bu ilkedan yararlanılarak soğuk buhar üreten cihazlar üretilmektedir. [6,9]
- **Gazdan Arıtma:** Katıların veya sıvıların içerisinde çözülmüş olan gazlar, ultrason dalgaları yardımıyla ayrıştırılabilirler. [9]

1.2.3.2 Kimyasal Etkileri

- Ultrason dalgaları yardımıyla kimyasal reaksiyonların hızlanması, maddelerin oksitlenmesi, kristalleşmesi, kaynama sıcaklığının düşmesi ve molekül zincirlerinin parçalanması sağlanabilir.

1.2.3.3 Biyolojik Etkileri

- **Isı Etkisi:** Ultrason dalgaları yardımıyla dokuların sıcaklığının artması sağlanabilir.

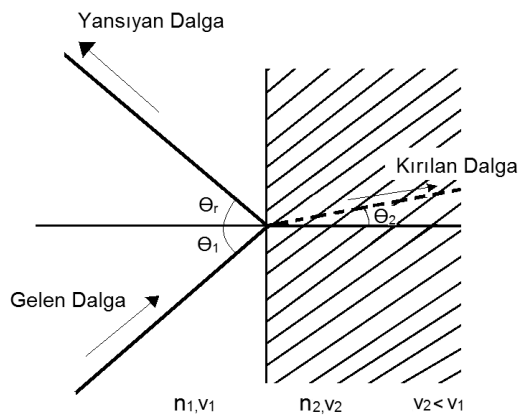
- **Mikro Masaj Etkisi:** Ultrason dalgaları bir dokuda yayılırken, hücreler periyodik basınç değişimine maruz kalırlar. Bu etkiye mikro masaj etkisi denir.
- **Elektriksel Etkisi:** Bazı selüloz ve protein molekülleri, piezoelektrik malzeme gibi davranırlar. Bu moleküller ultrason dalgalarının oluşturduğu basınç değişimine maruz kaldıklarında elektriksel olarak kutuplanırlar. [9]
- **İvme Etkisi:** Ultrason dalgaları bazı kist veya safrakesesi taşı gibi oluşumların büyük bir ivme ile titreşmelerine sebep olurlar. [6,9]

1.2.4 Ultrasonik Dalgaların Fiziği

1.2.4.1 Yansıma, Kırılma, Saçılma ve Zayıflama

Akustik dalgalar da optikteki ışık gibi yansiyabilir ve kırılabilirler. Optikteki ışık için geçerli olan yansıma ve kırılma kuralları akustik dalgalar içinde geçerlidir. Şekil 1.3'de iki farklı yoğunluğa sahip ortamların arasında hareket eden dalganın yansıması ve kırılması gösterilmiştir. [10]

Birbirinden farklı yoğunluğa sahip doku yüzeylerinden yansıyan ultrason dalgalarının algılanması ultrasonografi sistemlerinin temel dayanağıdır. [10]



Şekil 1.3. İki ayrı ortamda ilerleyen dalganın yansıması ve kırılması

Yansıma açıları eşittir,

$$\theta_1 = \theta_r \quad (1.6)$$

θ_1 : Gelme açısı,

θ_r : Yansıma açısı,

n_1 : Birinci ortamın kırıcılık indisi,

n_2 : İkinci ortamın kırıcılık indisini ifade eder.

İlerlediği ortamdan farklı yoğunluktaki bir doku ile karşılaşan ultrason dalgaları kırılarak ikinci ortama geçerler. Bu olayda da Snell Yasası geçerlidir.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1.7)$$

Burada:

θ_1 : Gelme açısını ($^\circ$)

θ_2 : Kırılma açısını ($^\circ$)

v_1 : Ultrason dalgasının birinci ortamdaki yayılma hızını (m/s)

v_2 : Ultrason dalgasının ikinci ortamdaki yayılma hızını (m/s) ifade eder.

Şekil 1.3 incelendiğinde $v_1 < v_2$ ise $\theta_1 < \theta_2$ olur. Bu matematiksel formülasyon şu anlama gelmektedir; ultrason dalgası düşük yoğunluğa sahip bir ortamdan yüksek yoğunluğa sahip bir diğer ortama geçmektedir. Benzer şekilde $v_1 > v_2$ ise $\theta_1 > \theta_2$ olur. Ultrason dalgası yüksek yoğunluğa sahip ortamdan daha düşük yoğunluğa sahip ortama geçmektedir. Eğer ultrason demeti yüksek yoğunluğa sahip ortamdan daha düşük yoğunluğa sahip diğer ortama belirli bir açıdan daha geniş bir açı ile gelirse o zaman diğer ortama geçemez ve tamamı yansır, hiçbir dalga diğer ortama geçemez. Bu özel bir durumdur ve bu açuya kritik açı denilir. Bu açı iki farklı yoğunluğa özeldir. Yoğunluk değişirse açıda değişir. Snell yasası kullanılarak, vücut için $v_1 = 1540$ m/s, $\theta_2 = 90^\circ$ alınır ve kemik için ($v_2 = 4080$ m / s) kritik açı hesaplandığında $\theta_1 = 22^\circ$ bulunur. [10]

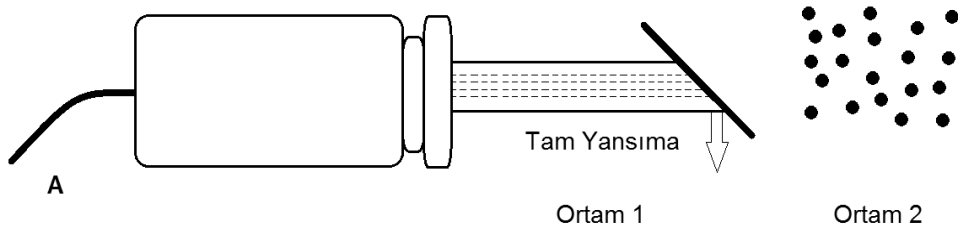
1.2.4.2 Ultrasonik Dalgalar - Doku Etkileşimi

Ultrason dalgaları düzgün ve büyük yüzeylerde yansır ve kırılırlar. Ancak dokuların içerisinde farklı yoğunlukta ve homojen olmayan kitleler bulunduğundan dolayı ultrason demeti bu tür kitlelere çarpar, saçılır ve yön değiştirir. [10]

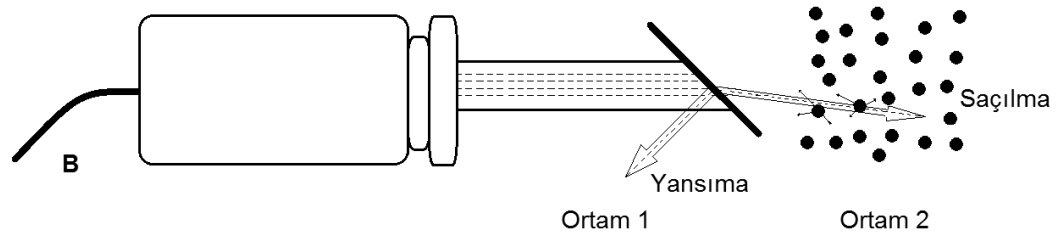
Eğer,

- Gelen ultrason demeti geliş açısı kritik açıdan büyükse yansır. (Şekil 1.4.a)
- Gelen ultrason demetinin bir kısmı yansıtılır, kalanı kırılır ve ilerlemeye devam eder. Geçen ultrason demetinin bir kısmı saçılır. (Şekil 1.4.b)
- Ultrason demeti yüzeye dik olarak gelirse, yüzeyden yansıyan ışınların büyük bir kısmı proba işaret güçlendirici olarak geri döner. Geçen ultrason demetinin tamamına yakını saçılır. (Şekil 1.4.c)

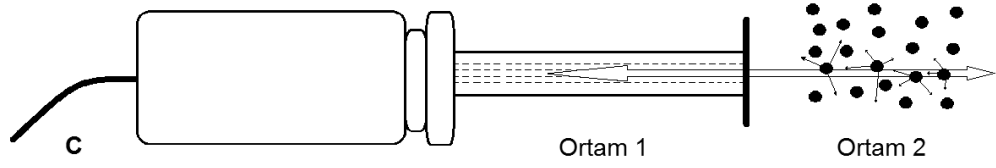
Şekil 1.4.'de bu olaylar görülmektedir.[10]



Şekil 1.4.a. Ultrason dalgasının yansımaları



Şekil 1.4.b. Ultrason dalgasının yansımaları ve kırılması



Şekil 1.4.c. Ultrason dalgasının yansımısı ve saçılması

Teşhis amacıyla kullanılan ultrason sistemlerinde, dört farklı türde saçılma meydana gelir.

Saçılmaya yol açan parçacığın boyutlarının ultrasonun dalga boyundan çok küçük olması durumunda birinci tip saçılma oluşur ve bu tip saçılmaya Rayleigh saçılması denir. [10]

Ultrasonun dalga boyu saçılmaya yol açan parçacığın boyutlarına eşit olması durumunda ikinci tip saçılma meydana gelir ve bu duruma orta parçacık saçılması (intermediate particle scattering) denir. [10]

Saçılmaya yol açan parçacığın boyutlarının ultrasonun dalga boyundan çok büyük olması durumunda üçüncü tip saçılma oluşur ve bu tip saçılmaya yansıtıcı (specular) saçılma denir. [10]

Gelen dalganın geniş ve engebeli bir yüzeye çarpması veya dalga boyu düzensizlikleri olması durumunda dördüncü tip saçılma meydana gelir ve bu türe dağınmık (diffuse) saçılması denir. [10]

Ultrason demetinin gücü dokulardan geçerken zayıflar. Ultrason dalgalarının yoğunluğunun azalmasına başka bir deyişle sahip olduğu enerjinin bir kısmını kaybetmesine yol açan zayıflamaya (attenuation) sebep olan üç temel faktör vardır:[6]

- i. Birincisi soğurma (absorption)'dır. Dokudan geçen ultrason dalgasının enerjisinin bir kısmı doku tarafından soğurulmaktadır. Soğurulan enerji dokuda ısı olarak ortaya çıkar. [6]
- ii. İkinci faktör ise saçılmadır. Ultrason demetinin saçılması sonucunda birim alandan geçen enerji miktarı azalır. [6]
- iii. Üçüncü faktör ise ultrason demetinin odak uzaklığı kadar formunu bozmadan ilerlemesidir. Odak uzaklığından sonra genişleyerek yayılır. Ultrason dalgasının enerji yoğunluğu kesit alanıyla ters orantılı olduğundan, ultrason demeti genişlediğinde kesit alanı artacağından dokudan geçen enerji yoğunluğu azalır. [6]

Ultrason demetinin zayıflamasında dokunun tipi, kalınlığı ve dalganın frekansı etkilidir. Zayıflama, doku kalınlığı ve frekans artarsa artar. Alçak frekanslı ultrason dalgaları derin dokulara kadar etki edebilir. [10]

Güç cinsinden zayıflamayı ele alırsak:

$$\text{Sinyal seviyesi (dB)} = 10 \log P_0/P \quad \text{desibel (dB)} \quad (1.8)$$

olarak yazılabilir.

P_0 : Gelen dalganın gücünü

P : Üretilen dalganın gücünü ifade eder.

Zayıflamayı, ultrason dalgasının basıncının genliği cinsinden ifade etmek mümkündür.[10]

$$\text{Sinyal seviyesi (dB)} = 20 \log(A_r/A_i) \quad (1.9)$$

A_r : Referans dalganın basınç genliğini

A_i : Üretilen dalganın basınç genliğini ifade eder.

1.2.4.3 Akustik Empedans

Akustik empedans, yankının oluşmasında direkt etkili olan ve ortamın özelliğini belirleyen bir değişkendir ve matematiksel olarak, [10]

$$Z=\rho.v \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Z: Spesifik akustik empedans, MKS birim sisteminde Rayl= $kg.m^{-2}.s^{-1}$ olarak tanımlıdır,

ρ : ortam yoğunluğunu,

v: ultrason dalgasının ortamdaki yayılma hızını ifade eder.

Empedans (Z), sertlik (B) cinsinden ifade edilirse; [10]

$$Z=\sqrt{\rho.B} \quad (1.11)$$

yazılabilir.

Denklem 1.11'de görüldüğü üzere sertliği yüksek olan dokuların akustik empedansları da yüksek olmaktadır.

1.3 Ultrasonik Dalgaların Üretilmesi

Ultrason dalgası bir tür mekanik enerjidir. Ses dalgalarının kaynağı titreşen cisimlerdir. Bu cisimlerin yüksek frekanslarda titreşmeleri sağlanırsa ultrason dalgaları üretilebilir.

Ultrason cihazlarında üretilen ses dalgalarının frekansı 10 MHz seviyesine ulaşmaktadır. Fakat bu üst sınır bazı özel amaçlı cihazlarda daha da yüksek frekanslara çıkmaktadır. İnsan kulağı, 10MHz'ye ulaşan yüksek frekansa sahip ses dalgalarını algılayamaz. Ultrason cihazlarında, ultrason dalgaları transdüser denilen araçlarla elde edilir. Transdüserler elektrik sinyallerini ses dalgalarına ve yansıyan ses dalgalarını tekrar elektrik sinyallerine çevirirler. [6,10]

1.4 Transdüserler

Ultrason cihazlarında ultrason dalgalarının üretilmesi, dokulara gönderilmesi ve dokulardan yansıyan ekoların saptanarak elektrik sinyaline dönüştürülmesinden sorumlu elemandır. Transdüserler elektrik sinyallerini ses dalgalarına ve yansıyan ses dalgalarını tekrar elektrik sinyallerine çevirirler. Transdüserlere klinik pratikte prob da denilmektedir. Problar içerisinde piezoelektrik özelliğe sahip transdüser elemanları vardır. Ultrason problemlerinin yapısında üstün piezoelektrik özelliğe sahip kurşun-zirkonat-titanat (PZT) seramiği kullanılmaktadır. Probu yapısında kullanılan piezoelektrik maddenin kalınlığı üretilen ultrasonik dalganın frekansı ile bağlantılıdır. Bu malzemenin kalınlığı, üretilecek dalganın, dalga boyunun yarısına eşit olmalıdır. Dolayısıyla her transdüserde üretilen ultrason dalgası sabit bir frekansa sahiptir. [1]

Ultrasonik probun hangi frekansta çalışacağı belirlendikten sonra, bu frekansta çalışmaya uygun kristal kalınlığı belirlenir.

Ultrasonik probu oluşturan piezoelektrik kristalin kalınlığı,[7]

$$d = \frac{c}{2f_p} \quad (1.12)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilir.

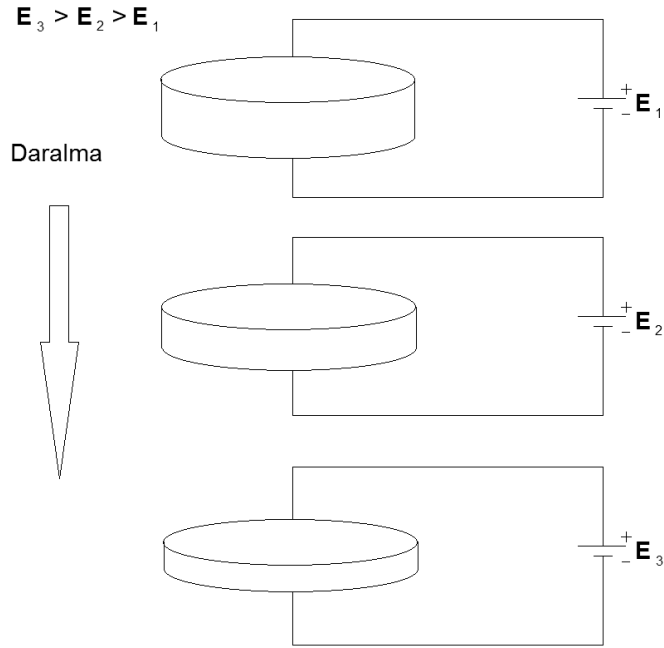
d : Kristal kalınlığı (m)

c : Piezoelektrik malzeme içindeki sesin yayılma hızı (3780 m/s)

f_p : Probu istenilen çalışma frekansını ifade eder (Hz).

Bir piezoelektrik kristalin üzerine gerilim uygulanırsa, uygulanan voltajın polaritesine, kristalin geometrisine ve ilk polarizasyonuna bağlı olarak piezoelektrik kristal boyuna, enine veya radyal olarak çevresine doğru genişleyebilir veya daralabilir. Eğer piezoelektrik kristale belirli yönde kuvvet uygulanırsa başka bir deyişle kristal stres altında kalırsa, uygulanan kuvvetin yönüne bağlı olarak kristalin üzerinde elektriksel yükler oluşur. Daralıp genişleme hareketleri sonucunda ultrasonik dalgalar oluşur. [10]

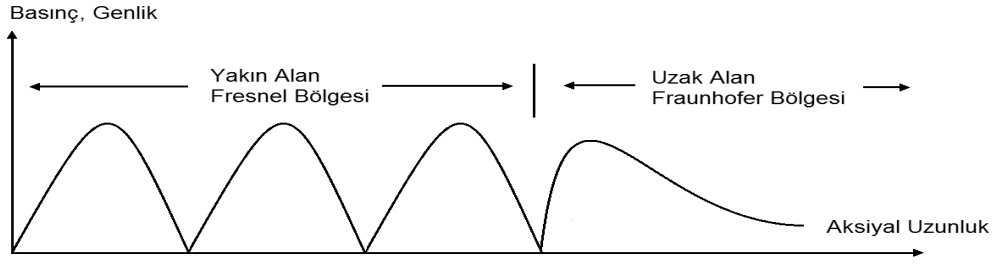
Şekil 1.5'te bir kristale gerilim uygulandığında kristalin daralması görülmektedir.



Şekil 1.5. Bir piezoelektrik kristal üzerine gerilim uygulandığında formunun değişimi

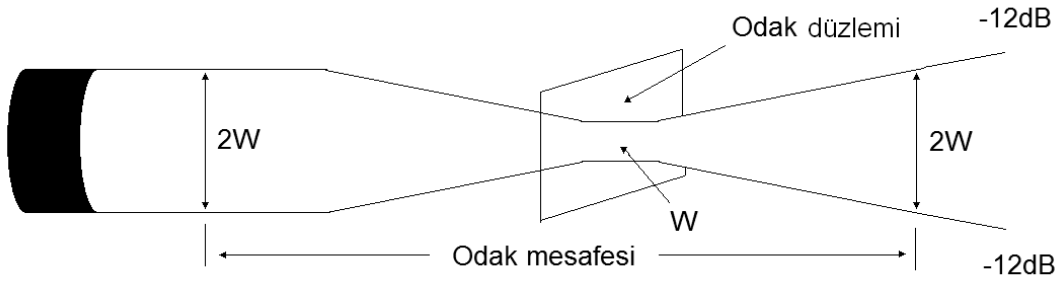
Transdüserler ultrason dalgalarını üretmek, hedef bölgeye göndermek, hedef bölgeden yansıyan dalgaları almak ve bu dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek amacıyla kullanılırlar.

Ultrason dalgaların üretilmesinde odaklanmamış bir transdüser kullanılırsa belirli mesafeden sonra bu dalgalar genişleyerek dağılırlar. Bu mesafe elektromanyetik teoride karşılaşılan yakın alan (Fresnel zone) ve uzak alan (Fraunhofer zone) kavramlarıyla benzerlik gösterir. Şekil 1.6'da bir ultrason transdüserinden çıkan bir dalganın şiddetinin (pressure), mesafeye bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. [10] Odaklanmış transdüserler olduğu gibi odaklanmamış transdüserler de vardır. Odaklanmamış transdüserler kullanılarak odak mesafesi (focal range) içindeki nesnelerin net bir şekilde görüntülenmesine imkan verir.



Şekil 1.6. Yakın ve uzak alan bölgeleri

Şekil 1.7’de görüleceği üzere, bir transdüserden yayılan ultrason demetinin, odak uzaklığı (focal range), odak düzlemi (focal plane) ve minimum demet genişliği (W) gösterilmektedir. Burada gösterilen 12 dB sınırı, dalganın genliğinin % 25’e indiği bölgeyi belirleyen sınırdır.[10]

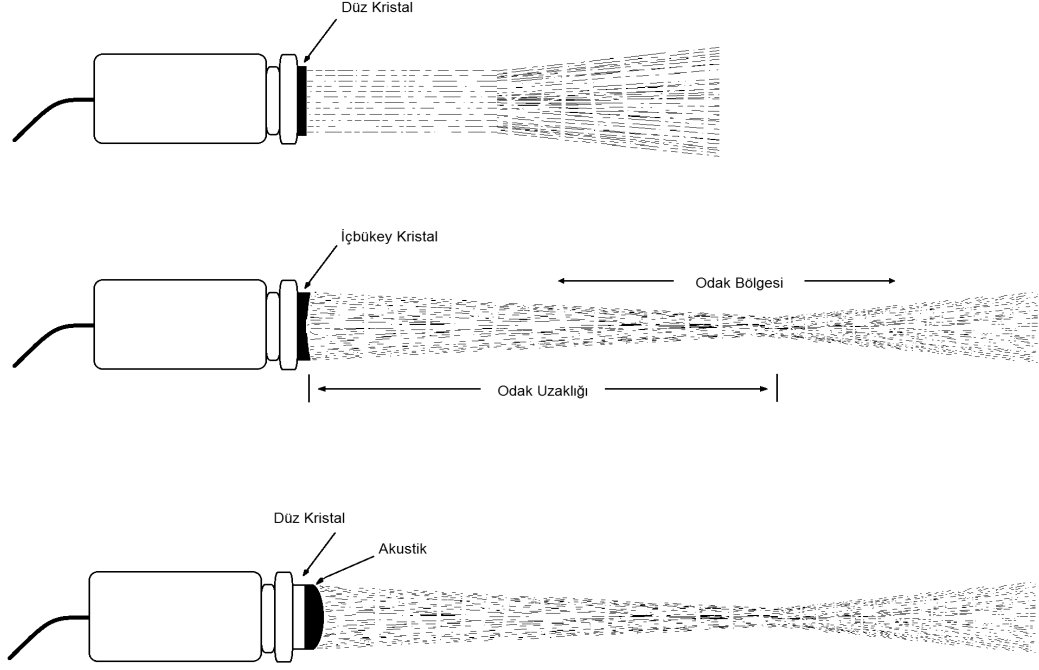


Şekil 1.7. Bir ultrason demetinin odak uzaklığı, odak düzlemi ve demet genişliği

1.4.1 Transdüserlerin Odaklanması

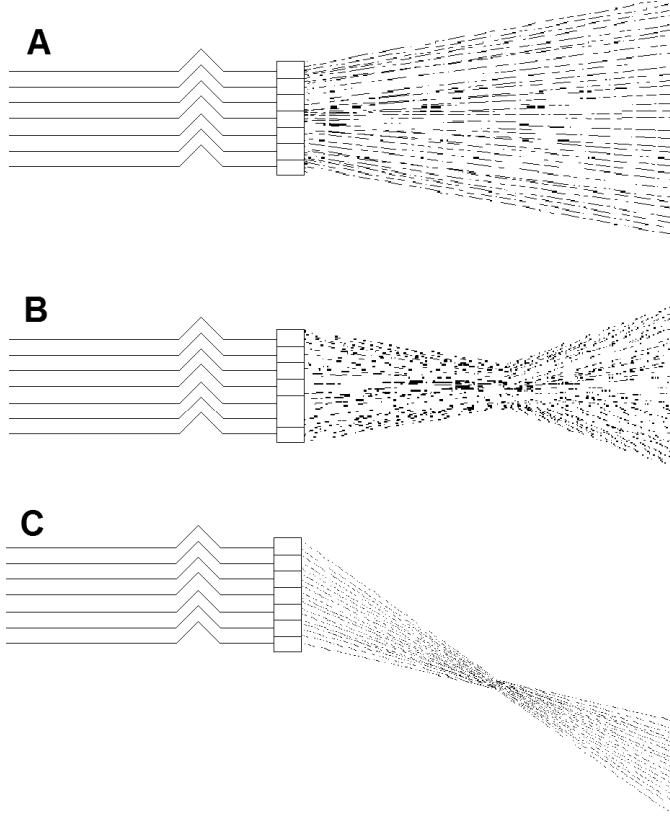
Transdüserler iki yöntemle odaklanabilirler.

Birinci yöntem, mekanik odaklama amacıyla piezoelektrik kristalin optik esaslı (düz, içbükey vb. gibi) şekillerde üretilmesi veya akustik lensler kullanılmasıdır. Şekil 1.8’de bu tür odaklama görülmektedir.[1, 10]



Şekil 1.8. Normal, içbükey kristal ve akustik lens ile odaklanmış ultrason demeti.

İkinci yöntem ise odaklanmış bir ultrason demeti elde edebilecek şekilde 7 veya 8 kristalin bir araya getirilerek gruplandırılmasıdır. Bu gruptaki kristallerin bağımsız olarak belirli bir gecikmeyle tetiklenmesi sonucunda odak uzaklığı ve demet yönü değiştirilebilir. Zaman gecikmesi ayarlanarak demetin yönlendirilmesi sağlanır. Bu şekildeki odaklama yöntemine elektronik odaklama denir. Eğer bir gruptaki tüm elemanlar aynı anda tetiklenirse odaklanma sağlanamaz. Şekil 1.9'da elektronik odaklama yöntemi görülmektedir. [1,10]



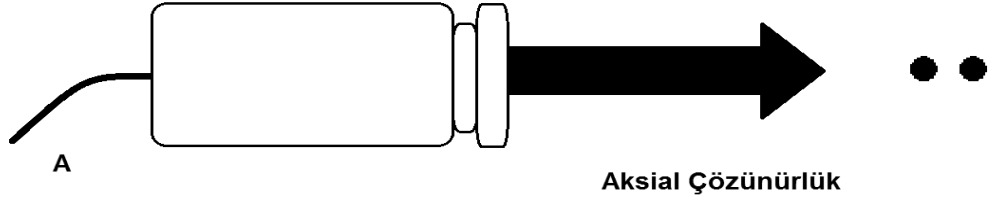
Şekil 1.9. Elektronik olarak odaklanmış ultrason demeti

1.4.2 Transdüser Çözünürlüğü (Resolution)

Ultrason sistemlerinde cihazın çözünürlüğü, cihazın iki farklı dokunun detaylarını ayırt edebilme gücünü gösterir. Aksial ve lateral olmak üzere iki tür çözünürlük vardır.

1.4.2.1 Aksial Çözünürlük

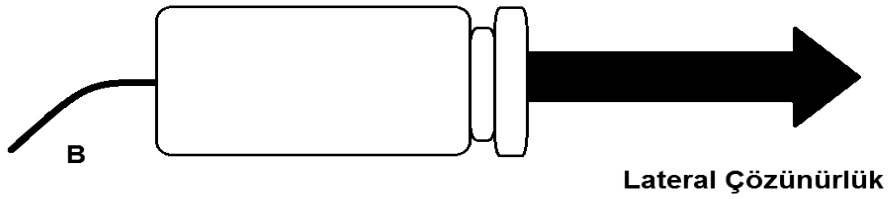
Ultrason demeti ile aynı doğru üzerindeki iki farklı doku grubunun ayırt edilebilmesidir. Fizik prensipleri ele alındığında, aksial çözünürlük gönderilen darbe süresinin yarısı kadar olabilir. Şekil 1.10'da aksial çözünürlük görülmektedir.[1,10]



Şekil 1.10. Aksial çözünürlük

1.4.2.2 Lateral Çözünürlük

Ultrason demetinin doğrultusuna dik düzlemdeki iki noktanın ayırt edilebilmesidir. Ultrason demetinin yayılım genişliği azaldıkça, lateral çözünürlük artar. Lateral çözünürlüğün en yüksek olduğu bölge odak mesafesidir. Lateral çözünürlük yüksek frekanslarda artmaktadır. Fakat ultrason dalgaları derin dokulara ulaşamamaktadır. Bu nedenle derin dokuların incelenebilmesi için prob yüzeyi genişletilmeli ve düşük frekanslarda çalışılmalıdır. Şekil 1.11’de lateral çözünürlük görülmektedir.[1,10]

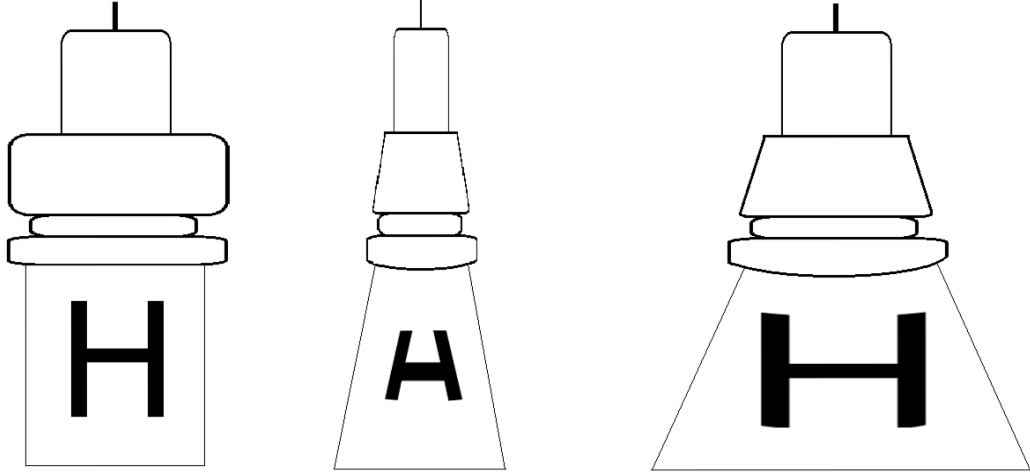


Şekil 1.11. Lateral çözünürlük

1.4.3 Transdüser Türleri

Tıpta ultrason sistemleri farklı amaçlarda kullanıldığından, farklı amaçlara yönelik farklı formlarda transdüserler üretilmektedir. Transdüserlerin türüne göre üretilen ultrason demetinin şekli değişmektedir. Bu farklılık ultrasonun kullanılacağı bölgeye göre belirlenmekte ve ekranda oluşan görüntünün şekli de kullanılan transdüserle göre değiştirmektedir. Ultrason cihazlarında kendilerine özgü biçime sahip olan

lineer, sektör ve konveks türünde probalar kullanılmaktadır. Bu probalarda türlerine göre farklı şekilde dizilmiş çok sayıda piezoelektrik eleman kullanılmaktadır. Ultrasonda kullanılan lineer, sektör ve konveks probalar ve ekran üzerinde oluşan görüntülerin biçimi Şekil 1.12’de gösterilmiştir.[1]



Şekil 1.12. Ultrasonda kullanılan lineer, sektör ve konveks probalar ve ekran üzerinde oluşan görüntülerin biçimi.

1.4.3.1 Lineer Problar

Lineer probalarda doğrusal bir şekilde dizilmiş çok sayıda seramik transdüser elemanı kullanılmaktadır. Lineer problemin oluşturduğu görüntüler dikdörtgen şeklindedir.[1]

1.4.3.2 Sektör Problar

Sektör probalar ise tabanı aşağıda olan koni şeklinde bir görüntü meydana getirirler. Sektör probleminin vücutla temas ettikleri yüzeyin küçük olmasına rağmen, görüntü alanları geniştir. Sektör problemler üç farklı şekilde üretilmektedirler.[1]

- i. Mekanik problemler: Hareket edebilen Transdüser ile üretilen veya sabit bir transdüser ile üretilen ultrason dalgaları hareketli bir ayna vasıtasıyla, belirli bir bölgeyi tarayacak şekilde vücuda gönderilir.
- ii. Anüler problemler: Birbiri içerisine geçmiş halka şeklindeki seramik transdüserler kullanılarak imal edilirler.
- iii. Faz ateşlemeli problemler: Doğrusal olarak dizilmiş transdüser elemanları gecikmeli olarak ateşlenir ve yelpaze şeklinde bir etki alanı oluşturulur.

1.4.3.3 Konveks Problemler

Transdüser elemanlarının geniş bir yay çizecek şekilde dizilmeleriyle oluşturulurlar. Bu türdeki problemler ile elde edilen görüntü tepesi kesik bir konik form şeklindedir. Bu problemler, lineer ve sektör problemlerin avantajlarını taşımaktadır.[1]

Ultrason problemleri kullanılacağı bölgelere göre farklı frekanslarda ve boyutlarda üretilirler. Yüzeysel dokuları incelemek amacıyla tasarlanan ultrason problemleri, derin dokuların görüntülenmesinde başarılı olamaz. Yüksek frekanslı ultrason dalgaları derin dokulara ulaşmadan absorbe olarak şiddetini yitirmektedir. Bu sebeple, bazı organların incelenebilmesi için incelenecek organa yaklaştırılabilen endokaviter ve endoskopik ultrason problemleri tasarlanmıştır. Endokaviter problemler ile vücuttaki boşlukları kullanarak (ağız boşluğu) inceleme yapılır. Ultrason dalgaları mide gibi içerisinde hava bulunan organlarda ilerleyemediğinden endoskopik problemler geliştirilmiştir. Endoskopik problemler ise mide gibi organların içerisine salınarak içi boş organ duvarlarının görüntülenmesi sağlanır.[1]

1.5 Ultrason Sistemlerinde Görüntü Oluşumu

Ultrason sistemlerinde kullanılan ses dalgaları sürekli dalgalar değildir. Aksine kesikli darbeler türündedir. Eğer ses dalgası sürekli gönderilirse, yansıyan ekolarda sürekli olurlar. Bu nedenle yüzeyden ve derin dokulardan yansıyan ekolar birbirlerine karışırlar ve sesin geldiği derinlik tespit edilemez. Eğer ses dalgası

kesikli gönderilirse farklı derinliklerden gelen ekoları birbirinden ayırt edilebilir. Bu sebeple hedef dokuya gönderilen ses dalgaları, birden fazla dalga içeren, dalga paketleri şeklindedir. Ses dalgalarının doku içerisindeki ilerleme hızları sabittir. Her bir ses dalgası paketi gönderildiğinde ekoların geri dönmesi beklenir ve geri dönen ekoların geliş süreleri tespit edilir. Ekoların geliş sürelerine göre elde edilen veriler kullanılarak ekrandaki görüntü satırlar halinde elde edilir. Burada bahsedilen verilerin kaydedilmesi, analizleri, incelenmesi ve görüntü oluşumu, ultrason cihazının bilgisayarında gerçekleşir. Vücudun real-time (anında) görüntülenmesi, başka bir deyişle Ultrason probu hasta üzerinde gezdirilirken, ekrandaki görüntünün sürekli tazelenerek, devamlılığının sağlanması, birim zamanda (s) hedef dokuya gönderilen ultrason dalgası paketi (pulsu) sayısının 500 ile 3000 arasında olmasını gerektirmektedir.[1,8]

1.5.1 Ultrason Görüntü Modları

Ultrason sistemlerinde farklı prensiplere göre farklı görüntüler oluşturulmaktadır. Bu prensipler ultrason görüntü modları olarak isimlendirilir.

1.5.1.1 Amplitude (Genlik) Modu (A-Modu)

A modunda dokulara gönderilen ses dalgaları, farklı yüzeylerden farklı genliklerde yansır. Yansıyan ekoların genliklerine göre çizgisel bir grafik elde edilir. Yansıtıcı yüzeylerden yansıyan ekolar grafik üzerinde küçük tepeler halinde görülürler. [1,10]

1.5.1.2 Brightness (Parlaklık) Modu (B-Modu)

Dokulardan yansıyan ekoların şiddetleri arttıkça görüntüdeki parlaklık artmaktadır. Böylece farklı dokular kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. En sık kullanılan ultrason modu budur. [1,10]

1.5.1.3 Motion (Hareket) Modu (M-Modu)

M modu A ve B modu ile benzerlik gösterir. Doğrusal olarak yerleşmiş oluşumlardan yansıyan ekolar, şiddetlerine göre parlak noktalar halinde gösterilirken aynı zamanda bu noktaların zamana bağlı değişimleri de grafik olarak gösterilir. [1,10]

1.5.2 Doppler Ultrasonu

Doppler ultrasonu kanın akış özelliklerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Doppler etkisi Christian Andreas Doppler tarafından 1842 yılında ilk olarak tanımlanmıştır. Doppler etkisi, bir gözlemciye yaklaşan, sabit bir frekansa sahip ses kaynağının frekansında, artma yönünde frekans kayması meydana gelmesidir. Cismin uzaklaşması halinde ise ses kaynağının frekansında, azalma yönünde frekans kayması meydana gelecektir. Örneğin, kornaya basarak bize doğru yaklaşan otomobilin kornasının sesi bize yaklaşırken daha tiz ve bizden uzaklaşırken daha bas duyulur. Doppler etkisi ultrason sistemlerinde kullanıldığında hareketli bir nesneden yansıyan ekoların frekansları, transdüserde üretilen ultrason dalgalarının frekanslarından farklı olacaktır. Yansıyan ekoların frekanslarındaki sapma, [1,11]

$$f_{\text{sapma}} = 2 \cdot f_t \cdot v_k \cdot (\cos \theta_{k-s}) / c \quad (\text{Hz}) \quad [1,11] \quad (1.13)$$

f_t : Transdüser frekansı (Hz),

v_k : Kan akım hızı (m/s),

θ_{k-s} : Ses demeti ile kan akış doğrultusu arasındaki açı (derece),

c : Piezoelektrik malzeme içindeki sesin yayılma hızı (m/s) ile ifade edilir.

Denklem 1.13'te ultrason dalgalarının dokudaki ilerleme hızı ve ultrason dalgalarının üretildiği transdüserin frekansı bilindiğinden, ses demeti ile kan akış doğrultusu arasındaki açı ve kan akış hızı bu denklemin değişkenleridir. Ultrason cihazı donanımı sayesinde üretilen ultrason dalgası ile yansıyan ekoların frekansı arasındaki farkı saptayabilir. Ses demeti ile kan akış doğrultusu arasındaki açının kosinüs değeri tespit edildiğinde kan akış hızı kolaylıkla tespit edilebilir. Doppler sinyalinin frekansı

insanların işitme frekans aralığında yer almaktadır. Tıbbi uzman medikal inceleme sırasında doppler kayması seslerini dinleyebilir. [1,11]

Doppler ultrason cihazları sürekli dalga (continuos-wave, CW), dubleks (pulsed-wave, PW) ve renkli doppler (color-doppler, CD) olmak üzere üç farklı yapıda tasarlanmıştır.[1]

1.5.2.1 Sürekli Dalga

Sürekli dalga doppler sistemleri, hedefteki dokuya sürekli ultrason dalgası gönderir ve yansıyan ekoların frekans sapmaları hesaplanır. Sürekli dalga doppler sistemleri aksiyal rezolüsyon içermediğinden ekonun geldiği derinlik tespit edilemez. Bu nedenle aynı yansıma doğrultusunda birden fazla damar bulunuyorsa doğru bir değerlendirme yapılamaz. Sürekli dalga ultrason sistemlerden çocuk kalp seslerinin görselleştirilmesinde yararlanılmaktadır.[1]

1.5.2.2 Dubleks Sistemler

Dubleks doppler ultrason sistemlerinde B-modu ultrason görüntüsünde belirlenen bir damar üzerinde referans alınan bir bölgeden (kapı aralığı-range gate) yansıyan ekolar değerlendirilir. Elde edilen ekolardaki frekans sapmasının zamana göre değişimlerinin grafiği (doppler spektrumu) monitörde çizdirilir.

Dubleks doppler ultrason sistemlerinde kan akışı üç şekilde sınıflandırılabilir.

Düz akım (plug akım) büyük atardamarlar içerisinde ilerleyen kan akış karakteridir. Büyük atardamarların bir kesitindeki kan akış hızı her bölgede eşittir ve doppler grafiğinde bir çizgi olarak gösterilir. [1]

Laminar akım ise atardamarlara kıyasla daha küçük arterlerde görülen akış karakteridir. Bu akış tipinde damarın ortasındaki akış hızı fazla olmasına rağmen

damar çeperlerine yaklaşıldığında sürtünme nedeniyle kan akış hızı düşer ve doppler grafiğinde akış çizgisinin altı sıfır doğrusuna kadar dolu gösterilir.

Türbülant akım ise kan akışının tersi yönüne doğru olan akış karakteridir. Bu akışa, damar lümeninde oluşan şiddetli daralmalar neden olur. Doppler grafiğinde sıfır doğrusunun altında şekillerle gösterilir.

Dupleks sistemlerde elde edilen doppler grafiğinden yararlanılarak kan akım hızları, akış karakteristikleri ve damara ait patolojiler incelenebilir. [1]

1.5.2.3 Renkli Doppler

Renkli doppler ultrason cihazları ekranın seçilen bir bölgesinin (color-box, renk kutusu) belirlediği alandan yansıyan ekoların doppler kayması hesaplanır. Hesaplanan frekans sapması kullanılarak damarlardaki kanın akış yönü ve hızı elde edilir. Color-box içerisinde kalan vasküler yapılar kanı akış yönüne ve hızına göre renklendirilirken, diğer alanlar gri tonlarla renklendirilir. Ultrason transdüserine yaklaşan kan akışları kırmızı (veya mavi) renkle kodlanır. Bu durumun tersi olan uzaklaşan kan akışları ise mavi (yada kırmızı) renkle kodlanır. Bu kodlamada yavaş olan akımlar için daha koyu tonlar ve hızlı olan akımlar içinse açık tonlar kullanılır.[1,11]

1.6 Ultrason Artefaktları (Görüntü Kirlilikleri)

Ultrason sistemleri ile görüntülenecek bölgeler, çeşitli dokulardan (yağ dokusu, bağ dokusu, kemik dokusu, kıkırdak dokusu vb.) meydana gelmektedir. Ultrason sistemlerinde dokulardan geri dönen yankıların, yansıdığı dokulardan etkilenmediği varsayılarak görüntüler üretilir. Fakat farklı dokuların sahip olduğu akustik özellikleri sebebiyle ses dalgalarının, tamamının bir dokudan tekrar yansımaları, istenilenden daha az yansımaları, istenilen şekilde kırılmaması, fazının değişmesi gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir. Bu olumsuzluklar ultrason görüntülerinde

kirliliğe, çözünürlüğün düşmesine ve hataya sebep olur. Bu olumsuzluklara artefakt denir. Ultrason sistemlerinde meydana gelen artefaktlar şunlardır.[1]

1.6.1 Akustik Bölge

Taş ve kalsifikasyon benzeri dokular ile bu dokulara göre belirgin empedans farklılığına sahip dokuların bir araya gelmesi, akustik bölge olarak nitelendirilir. Dokular arasındaki belirgin empedans farklılığı, sesin neredeyse tamamının yansımaya neden olur. Ses dalgasının kalan kısmı ise dokularda emileceğinden, taş ve kalsifikasyon benzeri oluşumların arkasına geçemez ve bu oluşumların arkasında akustik gölge adıyla anılan siyah bir doğru gözlenir. [1]

1.6.2 Arka Duvar Zenginleşmesi

Sıvı içeren kist oluşumları ses dalgalarını dokulara oranla daha az absorbe etmesi nedeniyle oluşmaktadır. Gönderilen ses dalgası, kistik oluşumun bitimine aynı derinlikte bulunan yumuşak dokuda ilerleyen ses dalgalarına oranla daha az zayıflar. Bu oluşumun arkasından yansıyan ekolar daha güçlü olarak transdüsera ulaşacaktır. Bu nedenle kistin arkasındaki yumuşak dokular olması gerektiğinden daha beyaz (hiperekoik) görünürler. [1]

1.6.3 Kırılma

Ses dalgaları, eğer ilerleme düzlemine eğik konumlanmış farklı empedansa sahip bir ortamla karşılaşırse ses dalgasının yönü değişebilir. Ses dalgasının kırılmasını sağlayan etkiler, bazı durumlarda farklı empedansa sahip bölgeler ekran üzerinde olması gereken konumdan farklı konumlarda görüntülenmesine sebep olabilir. Kırılma etkisi uygulamada en fazla abdominal incelemelerde duplikasyon-artefaktı olarak görülmektedir. [1]

1.7 Ultrasonik Dalgaların Dokulara Uygulanması

Ultrasonik dalgaların bir ortamdan diğerk bir ortama yansımada geçebilmesi için iki ortamın karakteristik empedanslarının uyumlu olması gerekir. Ses dalgaları yayılabilmeleri için bir maddeye ihtiyaç duyarlar. Ultrasonik transdüserden yayılan ultrason dalgaları havada ilerleyemeyeceğinden dolayı geri yansır ve transdüser zarar verirler. Bu nedenle ultrason probu ile deri arasındaki boşlukta hava tabakası bulunmamalıdır.

Transdüser ile dokular arasındaki hava tabakasının yerine empedans uyumunu sağlayacak maddeler kullanılmalıdır. Empedans uyumunu sağlayan maddelerin düşük emilim katsayısı, akustik direnç gibi bazı özelliklerinin bulunması gerekir. Pratikte kullanılan empedans uyumunu sağlayan maddeler ise ultrasonik jel, mineral yağı ve beyaz petrolatumdur. Immersion tekniğinde ise empedans uyumunu sağlamak için su kullanılmaktadır.[12]

1.8 Ultrason Sistemlerinin Tıp Alanında Kullanılması

Ultrason sistemleri tıpta teşhis ve tedavi alanlarında kullanılmaktadır. Ultrason dalgalarının fiziksel özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiş olan cihazlar hastanelerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çizelge 1.2'de ultrason sistemlerinin tıp alanında kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 1.2. Ultrason sistemlerinin tıp alanında kullanım alanları [13]

Hastalık Adı	Teşhis Alanında Ultrason	Tedavi ve Teşhis Alanında Ultrason
Hamilelik süresince bebeğin izlenilmesi	+	-
Tiroit bezi hastalıkları	+	+
Karaciğerin incelenmesi	+	-
Safra kesesi hastalıkları ve safra kesesi taşları	+	+
Böbrek hastalıkları ve böbrek taşları	+	+
İdrar torbası hastalıkları	+	-
İnsan üreme sistemi hastalıkları	+	-
Bazı kanser türleri	+	+
Kalbin gözlenmesi	+	-
Kas hastalıkları, travmaları	+	+

1.8.1 Teşhis Alanında Ultrason Dalgaları

Yüksek frekanslı ses dalgalarının farklı yoğunluğa sahip dokularda, dokuların özelliklerine göre soğrulması ve yansımaları sonucunda teşhis alanında da ultrason dalgaları kullanılmaya başlanmıştır. Ultrason dalgalarının günümüzde bilinen bir yan etkisinin olmaması, MR (magnetic-rezonans) gibi diğer görüntüleme yöntemlerine göre oldukça ucuz olması sebebiyle kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte 3 boyutlu görüntüler oluşturabilen ultrason cihazları piyasada yer almaktadır. Ultrason cihazları farklı yoğunluktaki dokuları görüntüleyebilmesi sebebiyle röntgen ışınlarıyla görüntülenemeyen iç organ kanserlerinin ve kistlerinin teşhisinde üstünlük sağlar. [9,14]

Ultrason cihazları genellikle batın (karın) organlarının tetkikinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca gözün incelenebilmesine olanak sağlayan minyatür başlığa sahip gözün yapısını görüntüleyen cihazlar vardır. Anne karnındaki bebeğin gelişmesinin tâkip edilebilmesi de ultrason sistemlerinin tıp alanında en yaygın kullanım alanlarından birisidir. [9,14]

Gerçek zamanlı çalışabilen ultrason cihazlarıyla dokuların periyodik hareketleri kaydedilebilmektedir. Örneğin, kalp rahatsızlıklarının teşhisinde kullanılan ekokardiyografi cihazları kalp kapakçıklarının hareketlerini kaydederler. Böylece hastaya hiçbir rahatsızlık vermeden, kalp kapakçıklarında, kalp duvarlarındaki hastalıklar kolaylıkla belirlenebilir. [9,14]

Ultrason cihazları ile böbrek ve safra gibi organlarda oluşan taş veya kist gibi istenmeyen oluşumlar kolaylıkla tespit edilebilir ve şekil ve büyüklükleri konusunda bilgi sahibi olunabilir. [9,14]

Doppler Ultrason sistemleriyle damar tıkanıklıkları ve dokularda oluşan dolaşım bozuklukları hastanın yaşam kalitesi azaltılmadan kolaylıkla tespit edilebilir. [11,14]

1.8.2 Tedavi ve Terapi Alanında Ultrason Dalgaları

Ultrason dalgaları dokularda emilirler ve dokuların ısınmasını sağlarlar, bu özelliklerinden dolayı fizik tedavi alanında dokuların derin ısıtılması amacıyla kullanılırlar. Romatizmal hastalıkların tedavisinde ultrasonun bu özelliğinden yararlanılır. Kas dokularının ultrason dalgaları yardımı ile ısıtılması ve dokulardaki kan dolaşımının artırılması sağlanabilir. Böylece dokularda gevşeme ve ağrılarında azalma meydana gelir.[13,14]

Ultrason dalgalarının suyu ısıtmadan buharlaştırmalarından yararlanılarak, solunum yolu rahatsızlığı olan hastalar için soğuk buhar üreten Nebülizatör (nemlendirici) cihazları geliştirilmiştir. [9,14]

Ultrasonik dalgalar odaklandıkları bölgede yüksek frekanslı titreşimler oluşturabilirler. Bu özelliğinden yararlanılarak böbrek taşı veya safra kesesi taşlarının kırılmasına olanak sağlayan Litotripsi (taş kırıcı) cihazlar geliştirilmiştir. Böylece hastalar ameliyata gerek duymadan, yaşam kaliteleri değişmeden bu rahatsızlıkları tedavi edilebilirler. Ses dalgaları boşlukta ilerleyemediklerinden dolayı hastalar su dolu bir havuza alınırlar. Ultrasonik dalgalar kırılacak taşların üzerine odaklanır ve taşları parçalayabilecek yoğunlukta ses dalgaları taşlara gönderilir. Küçük parçalara ayrılan taşlar doğal yollarla vücuttan ayrılırlar. [9,13,14]

1.9 Literatür Araştırması

Bu tezin konusunun bilim dünyasında ne denli çalışıldığının tespiti için iki temel ve yaygın bilgi bankası yeterince doğru kavramlar kullanılarak taranmıştır. Akademik yayın taramaları, IEEE ve Science Direct kullanılarak yapılmıştır. Kullandığımız İngilizce anahtar kelimelerin bir listesi aşağıda verilmiştir: Ultrason, fuzzy logic, therapy, medical therapy, ultrasonic therapy device, rule based automated medical instrument(s), automated (autonomous) ultrasonic therapy, automated fuzzy logic rule based ultrasonic therapy device, embedded, medical ultrasonic therapy device, ultrasonic therapy equipment ve phantom materials.

Bu anahtar kelimelerin farklı kombinezonlarını içeren kavram kombinasyonları kullanılmış ve ilgili bilgi bankaları taranmış ancak hedeflenen AR-GE alanı ile doğrudan alakalı çok az sayıda yayına denk gelinmiştir. Dolayısıyla bulanık mantık temelli ve otomasyonda çalışan gömülü bir ultrasonik tedavi cihazı tasarımının ve üretiminin yapılmadığı görülmüştür.

Otomasyonda bulanık mantık kural tabanı ile çalışan yayınlar olmakla beraber, bu sistemlerin gömülü olmadığı görülmüş ve bu alana daha fazla ilgi gösterilmiştir.

Literatür taramasında karşılaştığımız temel husus, ultrasonun çok farklı uygulamalarının yapıldığı gerçeğidir. Bu tez dolayısıyla bu tür uygulama içeren yayınlardan çok kısa bahsetmeyi tercih etmiştir.

C.A. Speed [15] terapi amaçlı (terapisel) ultrasonun, romatizmal şikayetlerin çoğunluğunu oluşturan yumuşak doku lezyonlarının tedavisinde kullanılan en yaygın tedavilerden biri olduğunu tartışmıştır. Bu yayın çok sayıda laboratuvar tabanlı deneysel çalışma ile ultrasonun canlı doku üzerinde bir dizi fizyolojik etkilerinin mevcudiyetini göstermiştir. Bu çalışma, ultrasonun yumuşak doku yaralanmalarının tedavisindeki faydası bakımından oldukça az kanıt bulunduğunu iddia edilmiştir. Bu durumun nedenleri olarak, yumuşak doku lezyonlarında patolojilerin değişkenliği ve karmaşıklığı, teknik değişkenler içermesi, klinik çalışmaların metodolojik sınırlamaları veya doğru etkenlerin eksikliği gibi çeşitli faktörlerin olması ile ilgili bir durum olabileceği iddia edilmiştir. Bu derleme yayında, yumuşak doku lezyonlarında terapi amaçlı (terapisel) ultrason kullanımı ve klinik etkisine ilişkin mevcut kanıtlar bilimsel temeller ile birlikte detaylı olarak sunulmuştur.[15]

K.N. Malizos, M.E. Hantes, V. Protopappas ve A. Papachristos [16] düşük yoğunluklu darbeli ultrasonun kırık iyileştirici etkisini incelemiştir. Düşük yoğunluklu ultrasonun, kırık onarıcı / kırık iyileştirici etkisi kabul edilmiş, ultrasonun bu sürece etkisinin “hızlandırıcılık boyutu ile” olduğu gözlenmiştir. Kırıktaki kaynamanın oluşması veya kaynamamanın gecikmesi, kallus oluşumunu artıran bir biyofiziksel müdahale şekli olarak ifade edilmiştir. Yazarların derleme olan bu yayınlarının amacı, bu alandaki klinik çalışmaları tespit etmek, kırık tedavisinde ultrasonun farklı uygulamaları ile klinisyenlere vaka sunumunda bulunmak, klinik çalışmalarla kırıklardaki kaynamalarda oluşan gecikmeleri, kırıklardaki kaynamama sorunlarını ve distraksiyon osteogenezisi gibi mevcut kanıtları kullanarak temel bilim ve hayvan çalışmalarında elde edilen güncel bilgileri sunmaktır. Bu yayında, son deneysel çalışmalarla modern akıllı implant teknolojileri kullanılarak kemik iyileşme süreçlerinin geliştirildiği kanıtlamış olmasına rağmen, düşük yoğunluklu darbeli ultrasonun hala transkütan olarak uygulandığı ifade edilmiştir.[16]

S.R. Young ve M. Dyson [17] deride oluşan yaralara / çatlaklara terapi amaçlı ultrasonun tedavi edici / iyileştirici etkisini incelemiştir. Yaralar 0.1 W cm^2 SATA sahip bir yoğunlukta (frekansı 0.75 MHz veya 3.0 MHz) bir ultrasona veya (2 ms ON, 8 ms OFF) darbeli ultrasona maruz bırakılmışlardır. Bu uygulama sham tedavi (kontrol grubuna) olarak icra edilmiştir. Yaralanma sonrası ilk beş günlük zaman

zarfında, ultrason ile tedavi edilen yaraların daha kapsamlı granülasyon dokusu içerdiği, az polimorfonükleer lökositler (polimorf) ve makrofajlar olduğu ve plasebo ışınlanmış kontrollerin daha fibroblast (verimli yara kontraksiyonu elverişli bir şekilde hizalanmış) olduğu anlaşılmıştır. Yaralanma sonrası ilk yedi günlük zaman zarfında kontrol grubu ile ultrasonik olarak ışınlanmış yaralar arasındaki selülaritede anlamlı bir fark olmadığı anlaşılmıştır. Ultrason tedavisinde elde edilen sonuçlar, inflamatuvarın hızlandırılmasında ve onarımın erken proliferatif aşamalarında faydalı olabileceği görülmüştür. [17]

A.R. Clark, S.R. Feldman ve J.L. Jorizzo [18] ultrasonik tedavinin psoriasis etkisini incelemiştir. Bu yayın, ultrason dalgalarının tıbbın çeşitli alanlarında rutin olarak kullanıldığını ifade etmektedir. Ultrasonik temizlik, su esaslı temizlik ile birlikte ultrasonun terapi amaçlı uygulamasını içerir. Düşük frekanslı ultrasonik debridman ve temizliğin, kronik plak (psoriasis) tedavisinde yararlı olabileceği görülmüştür. Etki mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte kronik plak tedavisinin ultrasonik enerji ile oluşturulan istikrarlı kavitasyonel etki ile ilişkilendirilebileceği kabul edilmiştir. [18]

K.M. Quan, M. Shiran ve D.J. Watmough [19] ultrason uygulamasının sonucu olarak vücutta oluşan yüksek sıcaklıkların neoplastik tümörler üzerindeki etkisini incelemiştir. Düşük megahertz frekans aralığında sahip ultrasonun, terapistler tarafından farklı koşullarda tedavide kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu tedavilerden bazıları, hastada oluşan şişliği ve ağrıyı azaltan ve eklemlerdeki hareketi arttıran tedavilerdir. Ultrason artık malign (hapis / kötü) tümörlerin tedavisinde de kullanılmaya başlanmıştır. Tümörler 42-45 C° arasındaki sıcaklıklara kadar ultrason kullanılarak ısıtılır. Oluşan hücresel hasar, bir ölçüde tedavi süresi ve sayısı bakımından kemoterapi ve X-ışını tedavisi ile eşzamanlı olarak belirlenmektedir. Bilgisayar simülasyon sonuçlarının ışığında, yayın şu maddeleri tartışmıştır: (a) Yüzeysel neoplastik tümörleri tedavi etmek için beş-elemanlı innovative bir transdüserin özellikleri ve frekansta oluşan kararsızlıklar tartışılmıştır. Fizyoterapistler tarafından yaklaşık olarak hastanın ilgili bedensel alanı üzerinde kullanılan 5 cm² alana sahip küçük ve sürekli hareket ettirilen bir transdüser yerine çok alanlı özelliğe sahip bir uygulama aracının kullanımı da ayrıca tartışılmıştır. [19]

A.A. Pilla, M.A. Mont, P.R. Nasser, S.A. Khan, M. Figueiredo, J.J. Kaufman ve R.S.Siffert girişimsel olmayan (non-invasive) düşük yoğunluklu darbeli (pulsed) ultrasonun tavşanlarda kemik (bone) iyileştirici etkisini incelediler. Bu etkinin iyileştirmede hızlandırıcı etkisinin olduğunu gösterdiler. Ultrasonun iyileştirici etkisi 139 olgun Yeni Zelanda tavşanında fibula osteotomisi üzerinde denendi ve bu etki yayında değerlendirilmiştir. Bilateral orta cisim fibula osteotomisi, 1 mm kalınlığında tel-testere (Gigli saw) kullanılarak yapılmıştır. Kontralateral bacak kontrol uzvu olarak ele alınmış ve diğer bacağı ise ultrason non-invaziv olarak günlük 20 dakikalık sürelerle uygulanmıştır. 2.5 cm'lik transdüser kullanılarak her iki bacağı sinyal uygulaması yapılmıştır. Tedavi edilmek istenen bacak, periyodu 1 KHz ile belirlenen 1.5 MHz frekanslı sinüzoidal dalgalardan oluşan 200 mikrosaniyelik darbe katarına maruz bırakılmıştır. Olay yoğunluğu yaklaşık 30 mW/cm² olmuştur. Hayvanlar 14 ve 28 gün arasında aralıklarla öldürülmüştür. Post-operatif 14-23 arasındaki günlerde maksimum gücün %40'dan % 85'e arttığı gözlenmiştir. 28. günde, nihai güçte önemli bir değişiklik olmamıştır. 17. günden 28. güne kadar ultrason ile tedavi edilen kırıkların hepsi sağlam kemikler kadar güçlü oldukları gözlenmiştir. Diğer taraftan sadece 28 günlük kontrol değerleri osteotomiler için nihai güç olarak elde edilmişlerdir. Bu sonuçlar, biyomekanik iyileşmenin hemen hemen 1.7'lik bir faktör ile hızlandırılmış olduğunu gösterir. Bu durum, taze kırık modelde iyileşme eğrisinin genel bir ivmesi ile oluşur. Eğer ev ortamında günlük 20 dakika non-invaziv olarak düşük yoğunluklu sinüs ultrason dalga darbeleri uygulanabilirse klinik olarak kemik onarımı anlamlı bir şekilde hızlandırılabilir. Ultrason, hastanın obezliği üzerinde yaptığı eşzamanlı etkisi ile kırık bakımından da ek bir fayda sağlayabilir. [20]

E.S. Ebbini, R. Seip, I. Iasemidis, M. O'Donnell ve C.A. Cain bu yayında kanser tedavisinde yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrasonun etkisini incelemişler. Yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason kullanılarak dokuda non-invaziv lezyon oluşumu için kombine tedavi / görüntüleme yeteneğine sahip bir sistem sunulmuştur. Ultrasonik radyo-frekans eko bilgilerinin sinyal işleme algoritmalarını kullanan sistem, oldukça yüksek odaklı bir terapi cihazını gerçek zamanlı olarak inceleme altındaki hacmin görüntülenmesi için bir görüntü transdüseri ile entegre etmektedir.

Ön sonuçlar, yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason ile doku durumunda tersinir veya tersinmez bir değişimi ayırt etmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Tedavi edilen bölgeden yansıyan verilerin işlenmesi için otoregresif bir model kullanılmıştır. Alt sıra AR-modeli için yansıma katsayıları, tedavi sırasında A-hattından alınan verilerden hesaplanmaktadır, veriler bir veya iki saniyede bir kaydedilmekte ve analiz edilmektedir. Yansıma katsayılarının konturlarının, doku durumunda tersinir ve tersinmez değişikliklerin ayırt edilmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir. AR-yansıma katsayılarına esas teşkil eden tersinmez doku hasarları için non-invaziv kantitatif eşik ölçümleri halen araştırılmaktadır. Araştırmanın deneysel sonuçları sunulmuştur. Ayrıca, yüksek yoğunluklu odaklanmış ultrason kullanılarak doku ablasyonu üzerindeki araştırmaların mevcut durumunun bir özet derlemesi de verilmiştir.[21]

P.M. Corry, K. Jabboury, E.P. Armour ve J.S. Kong'dan oluşan araştırma grubu da ultrason kullanarak kanser tedavisi üzerinde çalışmışlar. Lokalize ısıtmada diğer yöntemlere göre ultrasonun oldukça önemli avantajları olduğu kabul edilmiş ve ultrason tedavisinin anti-tümör etkinliğinin değerlendirmesine izin verilen termal dozimetri alanında sadece birkaç rapordan da bahsedilmiştir. Bu makalede bu raporlar ele alınmakta ve bir anti-tümör yöntemi olarak ultrasonun hipotermi uygulamasının biyolojik temelleri sunulmaktadır. Ayrıca tek başına ultrason, ultrason-kemoterapi ve ultrason-radyasyon ikilemleri ile 215 hasta üzerinden ultrasonik hipotermi uygulamasının klinik sonuçları da rapor edilmiştir. Yalnız Ultrason, kemoterapi ve ultrason ile radyoterapi ve ultrason için genel objektif yanıt oranları sırasıyla %45, %60 ve %66 olarak verilmiştir. Özellikle gelişmiş primer meme kanseri ultrason ve kemoterapi ile birlikte tedavi edilmiştir. İlk 7 tedaviye genel yanıt oranı %100 olarak elde edildiği iddia edilmiştir.[22]

G.T. Haar, M. Dyson ve E.M. Oakley İngiltere'de fizyoterapistlerin ultrason kullanımını incelemişlerdir. Bu amaçla 1985 yılında İngiltere'de terapistlere terapötik ultrasonun kullanımları ile ilgili olarak bilgi talebi içeren bir anket gönderilmiştir. Cevaplar Ulusal Sağlık Servisi bölümlerinden ve özel uygulayıcılardan elde edilmiştir. İngiltere Sağlık Bakanlığının (NHS bölümlerindeki) tüm fizyoterapi tedavi merkezlerinin %20'si ve özel tedavi merkezlerinin de %54'ü bu ankete

katılmıştır. Kullanılan ultrasonik frekans ve şiddetlerinin aralık ve desenleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Kontrendikasyon olarak ultrason, bir tedavi yöntemi olarak kullanıldığı için kullanım koşulları listelenmiştir.[23]

M. Dyson ve M.Brookes bu yayında ultrasonun kemik iyileştirmeye katkısını incelemişler. Fibula kırıklarının onarımı hızlandırılmış ve ultrason tedavisi ile modifiye edilmiştir. Komple bilateral-transvers fibula kırığı, erişkin dişi Wistar farelerde oluşturulmuştur. 12 fare tedavi edilmeden kontrol için bırakılmıştır. Yetmiş farede bir kırık, ultrason ve diğer farelerde ise sahte ışıklarla tedavi edilmiştir. Ultrason tedavisinde, $0.5W/cm^2$ 'lik bir şiddet ile, tedavinin her haftasında 4 ardışık gün için, 5 dakika zaman aralıklarında 2ms-ON ve 8ms-OFF darbe uygulanmıştır. Haftanın farklı kombinasyonlarında, 1.5 MHz ve 3.0 MHz frekanslarındaki tedavinin etkileri mikro-radyografiksel olarak ve histolojik olarak karşılaştırılmıştır. İyileşmenin, erken proliferatif (sert kallus oluşumu öncesi) ve inflamatuvar aşamasında ultrasonik tedavinin yaralanma sonrası ilk iki hafta boyunca verilmesinin en etkili olduğu anlaşılmıştır. [24]

Ultrason genellikle fizyoterapistler tarafından kullanılır. Ancak açık veya kapalı yaraların iyileşmesini hızlandırmak için en etkili tedavi dozu hakkında görüş birliği yoktur. Yetişkin farelerin derilerindeki uyarılmış lezyonlarda yeni kan damarlarının oluşumunda ultrason tedavisi etkili olmuştur. Bu durum mikro odaklamalı röntgen teknikleri ile değerlendirilmiştir. Takip edilen yöntem, AR-GE için 30 yetişkin fare, 10'ar fare içeren üç gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan birisi kontrol grubu ve diğer iki grup ise ultrason ile tedavi edilen gruplardır. Yetişkin fareler üzerinde rastgele dorsal deri kapağı oluşumu incelenmiştir. Kontrol grubunda hiçbir operatif prosedür ajanları kullanılmamıştır. Sırası birinci tedavi grubuna, $0.1W/cm^2$ yoğunlukta SATA (Spatial Average- Temporal Average Intensity) (frekansı 0.75MHz veya 3.0MHz) kesikli ultrason (2 ms-ON ve 8ms-OFF) uygulanmıştır. Diğer gruba ise $0.18W/cm^2$ SATA (frekansı 0.75MHz veya 3.0MHz) kesikli ultrason (2ms-ON ve 8ms-OFF) uygulanmıştır. Yetişkin farelerin kapak nekroz alanları her bir grup içinde ölçülmüştür. Grupların kapak nekroz medyan uzunluklarının sırası ile 79.3, 57.0 ve 35.3 mm olduğu tespit edilmiştir. Tedavi edilen grup ile kontrol grubu karşılaştırıldığında tedavi edilen grupta kapak nekrozunda istatistiksel olarak anlamlı

bir düzelme olduğu anlaşılmıştır (grup 2, $p=0.001$; grup 3, $p=0.001$). Ayrıca, yüksek yoğunluklu ultrason tedavisinde düşük yoğunluklu ultrason tedavisine göre daha az nekroz olduğu görülmüştür. Sonuç olarak rastgele deri kapaklarında canlılığı arttırmak için yoğunluk bağımlı bir etkiye sahip ultrason kullanılabilir. [25]

Neredeyse 20 yıl önce fizyoterapistler ultrason tedavisi kullanılması konusunda bilimsel temelleri olmadığı kanaatini göz ardı etme eğiliminde olmuşlardır. Bu derlemenin amacı, bu etkilerin ağrısı ve yumuşak doku yaralanması olan kişilerin tedavisi için insonation kullanılmasının bir nedenini (biyolojik mantık) sağlamak için yeterli kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek konusunda terapisel ultrasonun biyofiziksel etkileri ile ilgili literatürü incelemektir. Bu makalenin amacı ultrasonun klinik yararlılığının incelendiği yazıları tartışmak değildir. Ultrasonun biyofiziksel etkileri, tedavi koşulları altında in vivo olarak oluşmamaktadır veya bu koşullar altında klinik bir etkiye sahip olması kanıtlanmamıştır. Bu makale, ağrısı ve yumuşak doku yaralanması olan kişilerin tedavisi için ultrason tedavisinin klinik kullanımında bilimsel bir temel sağlamak için şu anda yeterli biyofiziksel kanıt olduğunu ortaya koymaktadır. [26]

Bu tez çalışmasında hastalara daha önceden uygulanmış değerler alınıp, incelenmiş ve bulanık mantık ile modellenmiştir. Ultrason uygulanmasında hangi karar mekanizmasının daha kullanışlı olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Ultrason uygulanmasında birçok faktörler etkilidir. Bunlar; doku kalınlığı, dokudaki yağ oranı, cinsiyet, yaş ve hatta ırk gibi parametrelerdir. Ultrason cihazlarında güç ve süre değerlerinin, ayrıca kesikli ya da darbeli ultrason uygulanmasına olanak sağlayan duty-cycle değerlerinin değiştirilebildiği gösterge paneli bulunmaktadır.[27]

Ultrasonik Terapi Cihazının tasarımın da mikrodenetleyici teknolojisinden yararlanılmıştır. Tasarlanan cihazın maliyetinin düşük olmasına çalışılmıştır. Tasarlanan cihaz ile 1 MHz frekansında ultrasonik prop kullanarak dalga paketleri üretilmiştir. Bu sayede tedavi derinliği ayarlanabilmiştir. Bu sinyallerde tedavinin şekline göre sürekli ve darbeli modla çalışmayı sağlayacak şekilde görev süresi değeri %1-%100 arasında ayarlanabilmektedir. Son olarak tasarlanan cihazın çalışmasının test edilmesi amacıyla bir düzenek oluşturulmuştur. 300 ml'lik bir kab

içerisine önceden kaynatılarak bekletilen suyla bir süngerden oluşan bir düzenek hazırlanarak az sulu ve çok sulu ortam meydana getirilmiştir. İstenildiğinde ultrasonik probun gücü de ayarlanabilmektedir. Farklı güç, dalga paketçisi, frekans ve görev süresi değerlerinde ultrasonik dalganın iletim ortamına göre sıcaklık değişimleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.[12]

Terapi amaçlı ultrason çok sayıda medikal ve tıbbi uygulama için ortaya çıkan yeni bir alandır. Yüksek yoğunluklu odaklı ultrason (HIFU) insan vücuduna aktarılan akustik enerjinin belirli bir bölgeye verilmesine imkan sağlar. Lokalize akustik enerji verilmesi doku nekrozuna ve hemostaza sebep olabilir. Tedavi amaçlı uygulanan ultrason genellikle 1MHz-1000MHz arasındadır. En düşük vibrasyon olan 1MHz bile çok keskin bir bıçak kadar vurucudur. Eğer bu frekansın genliğini yeterince büyütürsek çeliği bile kesebiliriz. Ancak insanların tedavisinde kullanılacak ultrasonun çıkışının (Ultrasonik genliğin) son derece küçültülmüş olması gerekir. Rehabilitasyon çalışmalarında ultrason etkisini terapiye dönüştürmek için sıcaklıkta belirli bir artışın sağlanması gerekir. Geniş ölçekte ultrason yoğunluğu doku üzerindeki sıcaklık düzeyini belirler. Yüksek yoğunluk dokuyu yükleyen ciddi bir mekanik değer ortaya çıkışına sebep olur. Bu mekanik yük dokunun zarar görmesine de sebep olabilir. Ultrasona maruz bırakılan yapılardaki aşırı basınç farklarının oluşması dokuda kavitasyonlara yol açar. Tedavinin süresi hakkında literatürde farklı görüşler vardır. Tedavi süresi tedavi edilecek vücut alanlarının ölçüsüne bağlıdır. Lehmann tedavi süresini maksimum 15 dakika ile sabitlemiştir. Bu toplamda 75 cm² ile 100 cm²'lik bir alana tekabül eder ve Lehmann bu büyüklüğü makul şekilde tedavi edilebilir alan büyüklüğü olarak görür. Yeni tıbbi uygulamalar biyomedikal cihaz teknolojisinde yeni gelişmeler gerektirmiştir ve yeni medikal uygulamalar sesin biyolojik dokular ve sıvılara olan etkileşimi için yeni nümerik ve deneysel çalışmaları gerektirmiştir. Bu çalışmada bulanık mantık temelli bir sistem çalışılmıştır. Bu sistem optimum ultrason yoğunluğu ve optimum tedavi süresini sağlamaktadır ve bu sistem aynı zamanda hastanın güvenliğini ve konforunu da artırmaktadır.

2. FİZİK TEDAVİ

2.1 Fizik Tedavi (Fizyoterapi) Nedir?

Hastalıkların tedavisinde ısı, hareket, ışın ve elektrik gibi fiziksel etkilerin kullanıldığı tıp dalına fizyoterapi denir. Fizik tedavi, vücudun hareketini bir başka deyişle motor fonksiyonlarını ilgilendiren rahatsızlıkların tedavisini ve hastaların eski sağlıklı yaşam koşullarına getirilmesini amaçlayan bir uzmanlık dalıdır. Fizyoterapi, hastaların daha kaliteli yaşam standartlarına ulaşmasını veya buna en yakın standardı sağlamasını amaçlar. [29,30]

İnsan vücudu farklı enerji kaynaklarının kullanıldığı muazzam bir yapıdır. Bu yapı içerisinde gerçekleşen fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonunda sıcaklık ve mekanik hareket gibi olaylar meydana gelmektedir. İnsan vücudunun kendi içerisinde oluşan bu fiziksel enerjilerin yanında dışarıdan (external) fiziksel enerjilerin uygulanmasıyla, vücutta çeşitli değişiklikler meydana getirilebilir. Fizyoterapinin temeli bu ilkeye dayalıdır.[30]

Fizik tedavi yöntemlerinin neredeyse tümü vücuda cilt yoluyla uygulanmaktadır. İnsan derisi koruyucu görevinin yanı sıra başka görevleri de olan bir yapıdır. Bazı iç organlar direk deriyle bağlantılıdır, bazıları ise dolaylı olarak deriyle ilişkilidirler. Bu nedenle deri vasıtasıyla yapılan etkiler dolayısıyla iç organlarda meydana gelen olaylara revülsiyon denmektedir. Fizyoterapi genel anlamıyla, deri, derialtı dokularda ve damarlarda değişiklikler meydana getirip metabolizmayı etkiler. [30]

Eski çağlardan beri insanoğlu fiziki etmenleri hastalıkların tedavisinde kullanmıştır. Geçmişte, güneş ışınları, ateş veya kaplıcalardaki sıcak suların ısısı, bazı balıkların oluşturduğu elektrik akımları gibi doğal fiziki kaynakları kullanmışlardır. Fakat teknolojinin ilerlemesiyle beraber ultrason, mikrodalga veya lazer gibi yeni yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır. [29,30]

Fizik tedavi, Birinci Dünya Savaşı nedeniyle sakatlanmış insanlar ve çocuk felci salgınları nedeniyle tıbbi bir alan olarak gelişmeye başladı. Sonraki yıllarda fizik tedavi, kırık, yanık, verem, bel ağrıları, bayılmalar ve sinir yaralanmaları da fizik terapinin etki alanında değerlendirilmiştir. Günümüzde fizyoterapi, neredeyse tüm tıp dallarında uzmanlaşmış hekimler tarafından hastalarına tavsiye edilmektedir. [29,30] Fizyoterapinin amaçları ise hastaların sahip olduğu ağrının giderilmesi, daha önce sahip olduğu hareket yeteneğinin yeniden hastaya kazandırılması, önemli hareketleri yapabilmesi için hastaya gerekli eğitimin verilmesi ve vücudun kas kuvveti, eklem hareketleri, soluk alma kapasitesi ve kalp fonksiyonları gibi çeşitli hareket fonksiyonlarının test edilmesidir. [29,30]

2.2 Fizik Tedavi Metotları

2.2.1 Isı

Isı, sıklıkla tedavi edilen bölgede oluşan ağrıyı azaltıcı ve dolaşımı artırıcı etkisi nedeniyle kullanılır. Isı kaynağı olarak infra-red lambaları, kısa dalgalı radyasyon veya diatermi akımları, sıcak nemli kompresler, sıcak su, erimiş haldeki parafin mumu veya ultrasonik dalgalar kullanılmaktadır.[30]

2.2.2 Masaj

Masaj, vücuttaki kan dolaşımına yardımcı olması, ağrıyı veya kas kasılmalarını (spazmı) azaltması sebebiyle uygulanmaktadır. Masaj terapisi genellikle eller vasıtasıyla, nadiren de olsa girdaplı su veya mekanik cihazlar yardımıyla uygulanır.[30]

2.2.3 Egzersiz

Egzersiz, en çok uygulanan fizik terapi şeklidir. Egzersiz yoluyla eklemlerin hareket etmesi sağlanır ve bağlı olduğu kasın hastanın kontrolü altında uyumlu bir şekilde kasılıp gevşemesi sağlanır. Bu terapide fizik tedavi uzmanı hareketleri denetler fakat fizik tedavi konusunda bilgi sahibi olan hastalar düzenli olarak tek başlarına da tıbbi uzmanın önerdiği hareketleri yapabilirler. [30]

2.2.4 Elektrik Akımları

Elektrik akımları, kas dokularına cilt yüzeyine bağlanan elektrotlar aracılığıyla düşük akımlar uygulanarak kasılma sağlanabilir. Elektrik akımları, zayıflamış kasların egzersiz öncesinde çalışmalarını sağlamaktadır. [30]

2.2.5 Fonksiyonel Eğitim

Fonksiyonel eğitim, hastanın kullanamadığı veya sahip olmadığı uzuvlarının yerine diğer uzuvlarını kullanması öğretilerek rahat ve güvenilir bir hayat sürmesi ve ihtiyaçlarını karşılayabilmesi sağlanmaktadır. [30]

2.3 Ultrasonik Fizyoterapi

Ultrason dalgaları dokularda emilirler ve dokuların ısınmasını sağlarlar, bu özelliklerinden dolayı fizik tedavi alanında dokuların derin ısıtılması amacıyla kullanılırlar. Fizyoterapi alanında, ultrason dalgaları genellikle yumuşak doku yaralanmalarının tedavisinde kullanılırlar. Yumuşak dokuların yanında kemik ve eklemlerde oluşan yaralanmaların tedavisini hızlandırmak amacıyla da kullanılırlar. Ayrıca ultrason dalgaları bir dokuda yayılırken, hücreler periyodik basınç değişimine maruz kalmaları yani mikro masaj etkisi de kullanılmaktadır. [12,30]

Fizyoterapi de ultrason dalgalarının mikro masaj etkisi ve termal etkisinden faydalanılmaktadır. Ultrasonik dalgaların etkileri detaylı olarak bilinmemesine rağmen metabolizmayı hızlandırdığı ileri sürülmektedir.[12]

2.3.1 Ultrasonik Terapi Parametrelerinin Belirlenmesi

Ultrasonik fizyoterapi uygulamalarında kullanılacak ultrason dalgalarının parametrelerini belirlemede birden fazla etken vardır. Fakat terapi parametrelerinin belirlenmesinde bu etkenlerin tümünün ele alınması imkansızdır. Temelde ultrasonik fizyoterapi uygulanacak bölgenin derinliği ve lezyonun durumuna göre terapi parametreleri belirlenir. Bu parametreler, [12,31]

- Terapi uygulanacak bölgenin derinliği,
- Darbe oranı,
- Güç yoğunluğudur.

2.3.1.1 Terapi Uygulanacak Bölgenin Derinliği

Yüksek frekanslı ultrason dalgaları yüzeysel terapi uygulamaların da etkilidir. Çünkü ultrasonik dalgaların frekansı arttıkça dokulardaki emilim artmaktadır. Ultrasonik dalgaların daha derinlere etki etmesi isteniyorsa alçak frekanslı dalgalar kullanılmalıdır. Ultrasonik terapi uygulamalarında 1 MHz ve 3 MHz'lik ultrasonik dalgalar kullanılır. Eğer doku derinliği 2 cm'den az (yüzejde) ise 3MHz'lik ultrasonik dalgalar kullanılır. Fakat doku daha derin bölgelerde (2-6 cm arasında) ise 1MHz'lik ultrasonik dalgalar kullanılmaktadır. Terapi uygulanacak bölgenin derinliği Çizelge 2.1 de görülmektedir. [12,31]

Çizelge 2.1. Terapi uygulanacak bölgenin derinliği

Terapi uygulanacak bölgenin derinliği	Ultrason Frekansı
Yüzeysel (< 2 cm)	3 MHz
Derin (2 cm - 6 cm)	1 MHz

2.3.1.1.1 Deri Kalınlığı ve Fizyolojik Katmanları

Deri, vücudu çevreleyen ve dış ortamlardan ayıran organdır. Kimyasal, biyolojik ve mekanik etkilere karşı vücudu ve organizmayı korur. Kalınlığı 0.1mm-1.2mm arasındadır. Önemli işlevleri,[32]

- Vücudun su dengesini korur ve kurummasını engeller,
- Vücut ısısını düzenler,
- Yapısındaki ter bezleri aracılığıyla zararlı maddeleri vücuttan atar,
- Solunum yapabilir,
- Dokunma duyu organıdır,
- Kolesterol ve D2-vitamini sentezi yapar.
- Mekanik etkilere karşı bağ dokusunu korur.

Deri üç katmandan meydana gelir,

- i. Üst Deri (Epidermis): Derinin en dış tabakasıdır ve Epidermis denmektedir. Keratinosit hücrelerinden oluşmuştur. Bu tabakada damarlar bulunmadığından, alt tabakadan doğrudan geçiş (difüzyon) yoluyla beslenir.[32]
- ii. Alt Deri (Dermis): Deri dokusunun sahip olduğu esnekliği kazandıran lifleri içeren ve sinirler ile damarların yer aldığı tabakadır. Ter ve yağ bezleri ile kıl ve tüy kökleri de bu tabakada yer alır. Vücut sıcaklığını ve kan basıncını düzenleyen kan damaları da bu tabakada yer alır.[32]

- iii. Deri Altı (Epidermis): Deri altı tabakası, dermis tabakasının altında yer alır. Deri altı tabakası yağ ve bağ dokusundan meydana gelir. Deri ile deri altında yer alan dokuların bağlanması, enerji depo edilmesi, mekanik etkilere karşı alt tabakaların korunmasını sağlar. [32]

2.3.1.2 Darbe Oranı

Darbe oranı (pulse-ratio), bir periyotluk zaman içerisinde sinyalin etkili olduğu sürenin sinyalin etkisiz olduğu süreye oranı olarak ifade edilebilir. 1:1 oranlı pulse, görev oranı % 50 olan darbeyi ifade etmektedir.

Ultrasonik dalgaların sahip olduğu mekanik etkileri darbe oranı belirler. Bu oran terapi uygulanacak bölgenin özelliklerine göre değişmektedir. Çizelge 2.2’de bazı oranlar görülmektedir. Darbe oranı 1:4 olan ultrasonik dalgalar ciddi doku bozukluklarının tedavisinde kullanılmaktadır. [12,31]

Çizelge 2.2 Mod Pals Oranı - Görev Oranı

	Mod Pals Oranı	Görev Oranı
Sürekli	1:0	% 100
Kesikli	1:1	%50
	1:2	%33
	1:3	%25
	1:4	%20
	1:9	% 10

2.3.1.3 Güç Yoğunluğu

Yaralı dokularda fizyolojik tepkilerin harekete geçmesi veya ilaçların deri vasıtasıyla emilimini hızlandırmak amacıyla kullanılır.

Terapi cihazlarında ultrasonik dalgaların yoğunlukları $0-1\text{W}/\text{cm}^2$ arasında değişmektedir. Eğer modüle edilmiş sinyaller kullanılıyorsa görev oranına göre bu güç yoğunluğu 5 katına kadar artırılabilir. Ultrason yoğunlukları, terapi uygulanacak bölgenin özelliklerine göre belirlenmektedir. Eğer doku bozukluğu fazla ise azaltılmalıdır. Dokulardaki bozukluk azaldıkça yoğunluğu artırılmaktadır. Çizelge 2.3'te Doku durumuna göre uygulanacak ultrasonik güç yoğunluğu görülmektedir. [12,31]

Çizelge 2.3. Doku Durumu Gerekli Yoğunluk (W / cm^2)

Doku Durumu	Gerekli Yoğunluk (W / cm^2)
Şiddetli	0,1 – 0,3
Az şiddetli	0,2 – 0,5
Kronik	0,3 – 0,8

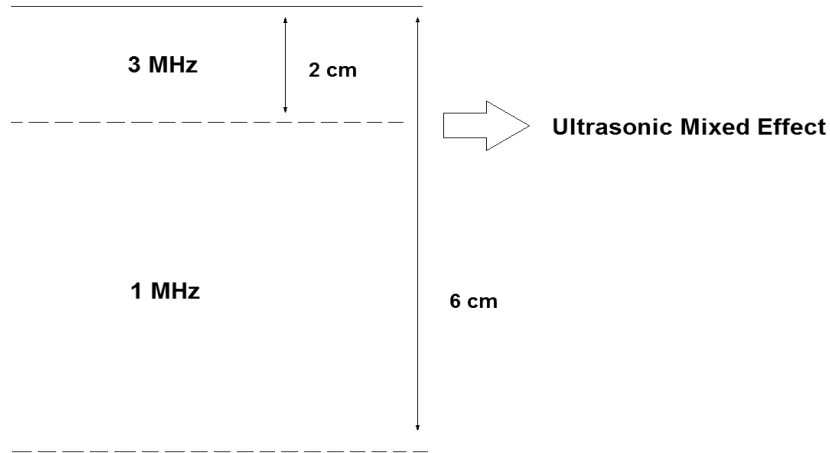
2.3.1.4 Ultrasonik Terapi Süresi

Terapi uygulanacak bölgenin alanı, ultrasonik terapi süresini belirlemektedir. Terapi uygulanacak bölgenin alanı arttıkça uygulama süresi de artmaktadır. Ayrıca hastaya daha önce ultrasonik dalgalar uygulanması da tedavi süresini azalmaktadır. [12,31]

2.3.1.5 Ultrasonik Karışım Etkisi (Ultrasonic Mixed Effect)

Sıradan terapi cihazlarında 1MHz veya 3 MHz frekansında ultrasonik dalgalar lezyonun olduğu bölgeye uygulanmaktadır. Çoğu doku derinliği için bu yeterlidir. Fakat terapi uygulanacak bölgenin derinliği 1MHz ve 3MHz'lik ultrasonik dalgaların

etkilerini gösterdikleri sınır bölgede ise tam anlamıyla yararlı olamamaktadır. Sınır bölgelerinde yer alan lezyonların terapisinde, 1MHz veya 3MHz'lik ultrason dalgaları ile terapi uygulanması yerine bu dalgaların karıştırılmış durumları uygulandığında sınır bölgelerdeki başarı oranı artacaktır. Şekil 2.1'de, 1 MHz ve 3 MHz frekansındaki ultrasonik dalgaların sınır bölgeleri görülmektedir.



Şekil 2.1. 1 MHz ve 3 MHz frekansındaki ultrasonik dalgaların sınır bölgeleri.

Ultrasonik mixed effect sıradan terapi problemleri ile uygulanamaz. Bu etkinin uygulanabilmesi için çoklu-frekansa sahip problemler kullanılmalıdır. Aynı zamanda iki farklı ultrason frekansına sahip terapi cihazları gereklidir.

3. YAPAY ZEKA

3.1 Yapay Zeka Nedir?

Matematiksel olarak ifade edemediğimiz ve çözülmesi mümkün olmayan problemler bilgisayarlar tarafından sezgisel metotlar yoluyla çözülebilmektedir. Günümüzde bilgisayarlar olaylar hakkında karar vermekle kalmayıp, aynı zamanda olaylar arasındaki ilişkileri de öğrenebilmektedirler. Bilgisayarların bu özelliklere sahip olmasını ve yeteneklerinin geliştirilmesini sağlayan çalışmalara yapay zeka çalışmaları denmektedir.[33,34]

3.2 Yapay Zeka Teknolojileri

Günlük olaylar ve problemler sürekli değişmekte ve aynı çözümler benzer problemlere uygulanamamaktadır. Bir olayın farklı yönleriyle farklı kişiler ilgilenmekte ve bu kişiler değişik çözümler üretebilmektedirler. Bu nedenler yapay zekâ çalışmalarında farklı çözüm yöntemlerinin doğmasına neden olmuştur. Bu yöntemlerden birkaçını inceleyelim.

3.2.1 Uzman Sistemler

Bir problemin çözümü hakkında bilgi sahibi olan uzmanların çözümü gibi o problemi çözebilen bilgisayar yazılımları geliştiren teknolojidir. Uzmanlar problemleri çözerken, sahip oldukları bilgiyi kullanır ve tecrübelerinden yararlanırlar. Bu bilgi ve tecrübelerin bilgisayarın anlayabileceği şekilde olması ve bir veritabanının da kaydedilmesi gereklidir. Gerektiği zaman bilgisayar yazılımları bu verilere göre çıkarımlar yaparak çözüm üretebilirler. [33] Uzman sistemlerin temel elemanları,

- Bilginin elde edilmesi
- Bilgi tabanı

- Çıkarım mekanizması
- Kullanıcı arabirimidir[33].

3.2.2 Makine Öğrenmesi ve Yapay Sinir Ağları

Bilgisayarların, girdi ve çıktıları kullanarak olayları öğrenmesini sağlar. Örnekler kullanılarak bir durumun girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiler öğrenilebilir. Bu öğrenme işlemi, girdi ve çıktı vektörlerinin sahip olduğu bağlantıların ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Ağın eğitiminde kullanılan örnek sayısı ne kadar fazla ise ağın performansı o kadar başarılı olur. Yapay sinir ağları kendi kendilerini eğitebilirler. Ağ öğrendiği bilgilerle benzer olayları yorumlar ve bir problem hakkında çözüm üretebilir. [33,34] Yapay sinir ağları sistemlerinin temel elemanları,

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Hücrenin çıktısıdır.

3.2.3 Genetik Algoritmalar

Kompleks ve karmaşık optimizasyon problemlerine çözüm üretebilen bir teknolojidir. Bir problemin çözümü için rasgele başlangıç çözümleri belirler. Sonra bu çözümleri birbirleri ile ilişkilendirerek daha iyi çözümler üretir. Bu şekilde çözümlerin birleştirilmesini tekrarlayarak yeni çözümler aramaktadır. Bu süreç istenilen doğruluğa ulaşılan kadar devam etmektedir. [33] Genetik algoritma sistemlerinin temel elemanları,

- Kromozom ve gen
- Çözüm havuzu
- Çaprazlama

- Mutasyon
- Uygunluk fonksiyonu
- Yeniden üretimdir.

3.2.4 Zeki Etmenler (Intelligent Agents)

Bağımsız karar verme yeteneğine sahip bilgisayar sistemleridir. Yazılımsal olarak geliştirilebildiği gibi donanımsal olarak da geliştirilmeleri mümkündür. Tasarımlarında birden fazla yapay zeka teknolojisi kullanılabilir. Kendi kendilerine öğrenebilirler ve gerçek zamanlı olarak çalışabilirler. [33] Zeki Etmenler sistemlerinin temel elemanları,

- Algılama,
- Kavrama/ idrak,
- Eylemdir.

3.2.5 Bulanık Kümeler Mantığı

Bir bulanık küme, üyelik derecelerinin sürekliliğine sahip nesnelerin bir sınıfıdır. Böyle bir kümede her nesne 0 ile 1 arasında değişen bir üyelik derecesiyle karakterize bir üyelik fonksiyonuna atanmıştır. Gerçek dünyada karşılaşılan nesnelerin sınıfları belirli kriterlere göre tam olarak tanımlanamamaktadır. Fakat bulanık kümeler mantığıyla bu tanım yapılabilir. [35] Aristo mantığında (ikili mantık) olaylar 1 veya 0, evet ya da hayır gibi iki duruma göre değerlendirilir ve ara değerler yoktur. Fakat bulanık kümeler mantığında, ikili durumlar arasındaki sonsuz ara değerlerin de kullanılmasına imkân verir. Aristo mantığına göre hava sıcaklığını ele alırsak, hava ya sıcak ya da soğuktur, üçüncü ihtimal yoktur. Fakat daha hassas bir yaklaşımla ifade etmek istersek bu yaklaşım yetersiz kalır. En basitinde bu yöntemde ılık durumu ifade edilememiştir. Bulanık kümeler mantığı çok sıcak, sıcak, ılık, soğuk veya çok soğuk gibi ara değerleri de ifade etmemizi temin eder. Bu

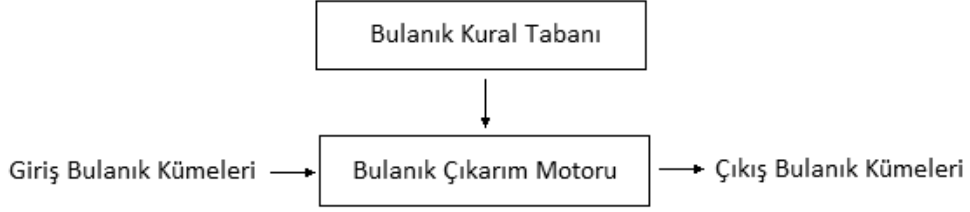
yaklaşımınla gerçek hayattaki soruların cevaplarının daha net bir şekilde ifade edilmesi sağlanmıştır. [35,36]

Bilgisayarlar giriş olarak 1-0, var-yok, sıcak- soğuk gibi durumları kabul edebilirler. Fakat gerçek hayattaki olayları biz bilgisayarlara giriş olarak tanımlamak istersek ikili durumlar yetersiz kalır. Gerçek hayattaki durumları bulanık kümeler mantığıyla bilgisayarlara giriş verisi olarak daha kolay ve gerçekçi tanımlayabiliriz. Böylece bilgisayar ile ürettiğimiz çözümler daha karalı ve doğru olur. Bu nedenle, günümüzde birçok alanda bulanık kümeler kullanılmaktadır.[36]

Bulanık kümeler yaklaşımının dört temel birimi vardır. Bunlar,

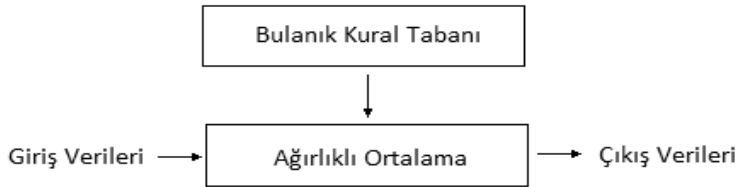
- i. Genel Bilgi Tabanı: İncelenecek olayı etkileyen giriş değişkenlerini ve bu değişkenlerle ilgili verileri içerir.
- ii. Bulanık Kural Tabanı: Veri tabanındaki girişleri ve çıkış değişkenlerine bağlayan eğer-ise türünde yazılabilen mantıksal kurallardır. Bunların tümü kural tabanını oluşturur.
- iii. Bulanık Çıkarım Motoru: Giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasındaki kurulmuş ilişkilerin bir araya gelmesini sağlayarak, sistemin tek çıkışlı bir sistem gibi davranmasını sağlayan işlemleri içeren bir yapıdır. Yani her bir kuralın çıkarımlarının kesişimini alarak tüm sistemin girişlere karşı çıkışını belirler.
- iv. Çıkış: Bulanık çıkarım motorundan elde edilen sistemin çıktı verilerinin tümünü belirtir.

Şekil 3.1’de Genel bulanık mantık sistemi görülmektedir.



Şekil 3.1. Genel bulanık mantık sistemi

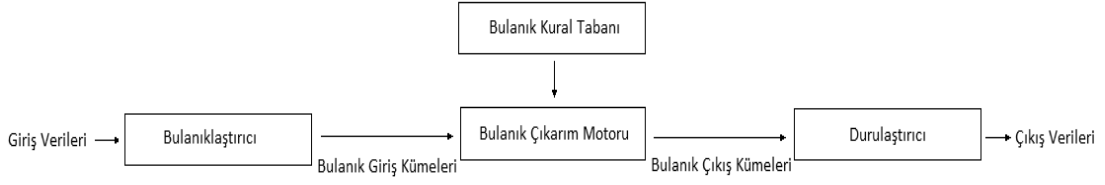
Genel bir bulanık sistemde girdiler ve çıktılar bulanık değerlerdir. Güncel mühendislik uygulamalarında sayısal veri tabanlarının sisteme girilememesi ve sistem çıkışının sayısal olmaması en önemli eksikliğidir. Bu eksikliği ortadan kaldırmak için Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde girdiler birer sayı ve çıktılar ise girdilerin birer fonksiyonu şeklindedir. Takagi-Sugeno-Kank bulanık sisteminde sonuçlar bulanık küme olmadığından Bulanık Çıkarım Motoru birimi yerine her bir kuralın öncül kısmından hesaplanan üyelik derecelerinin ağırlıklı olduğu Ağırlıklı Çıkarım birimi gelir. Şekil 3.2’de, Takagi-Sugeno-Kank bulanık sistemi görülmektedir. [36]



Şekil 3.2. Takagi-Sugeno-Kank bulanık sistemi

Takagi-Sugeno-Kank bulanık sisteminin kurallarının ifadesinde İSE bağlacından sonra matematiksel bir ilişki bulunmaktadır. Kuralların sonuçlarının gerçek hayatın ifadesinde kullanılan sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasına yazılan kuralların bulanık olması, Takagi-Sugeno-Kank modelinin eksikliğidir. Bu eksikliği gidermek için girişlerin sayısal olması durumunda girişleri bulanıklaştıracak bir bulanıklaştırıcı birim ve bulanık olan çıkışları sayısallaştıracak durulaştırıcı bir birim eklenmiştir. Mühendislik tasarımlarında sayısal veriler kullanılmaktadır. Sistemin durulaştırıcıya sahip olması, mühendislik tasarımlarında

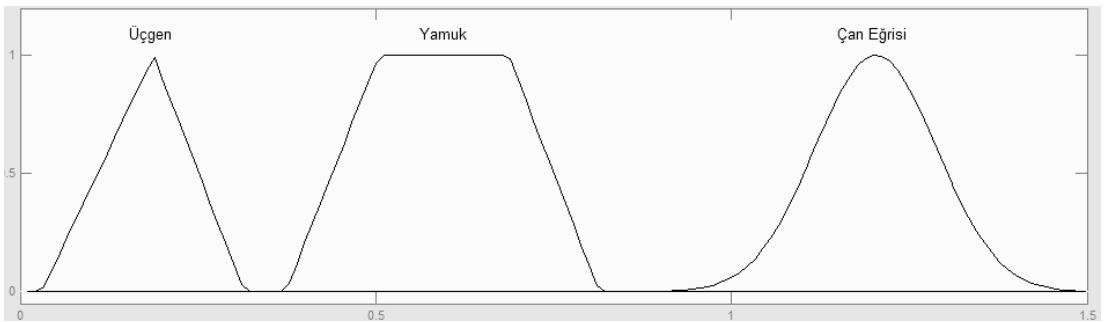
kullanılmasını sağlar. Şekil 3.3'te Bulanıklaştırma- Durulaştırma birimli bulanık sistemi görülmektedir.[36]



Şekil 3.3. Bulanıklaştırma- Durulaştırma birimli bulanık sistemi[36]

3.2.5.1 Üyelik Fonksiyonları

Bir kümenin üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye, üyelik fonksiyonu önem eğrisi denir. Bu eğrinin en önemli özelliklerinden biri, alt küme sınırlarındaki değerlerin, orta öğelerinkine göre daha düşük oluşudur. En büyük öneme sahip olan öğelerin değerine 1 atanırsa diğerleri 0 ile 1 arasında kesirli ve sürekli değiştiği görülür. 0 ile 1 arasındaki bu değişim, her bir öğe için değerineyse üyelik derecesi ve bunun bir alt kümedeki değişimine ise üyelik fonksiyonu denir. Üyelik fonksiyonları üçgen olabileceği gibi yamuk çan eğrisi veya bunların kesişiminden oluşacak şekillerde de olabilir. Şekil 3.4 de üçgen, yamuk ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.[36]



Şekil 3.4. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları

3.2.5.2 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Klasik küme şeklinde ifade edilen değişim aralıklarının bulanıklaştırılması bulanık küme, mantık ve sistemleri için gereklidir. Bulanıklaştırma işlemi, bir aralığa dahil olan öğelerin tümünün, 0 ve 1 aralığında değişik değerlere sahip olmasıdır. Bu durumda bazı öğeler belirsizlik içerebilmektedir.

Çözülmesi istenilen problemin, bulanık önerme değişkenlerinin ve karar verme kurallarının belirlenmesi ve üyelik fonksiyonlarının tasarlanması işlemine bulanıklaştırma (fuzzification) denir. Örneğin bir ortamın nem miktarının normal olması durumunda değişkene de normal değeri verilebilir. Üyelik fonksiyonunda ise herhangi bir nem miktarının değerinin normal olma üyeliğini gösterebilir. Üyelik değeri ise 0 ile 1 arasındaki değerlerle ifade edilir. 1 tam üye olunması, 0 ise üye olunmaması durumunu belirtir. [33]

3.2.5.3 Bulanık Önerme İşlemi

Probleme özgü belirlenmiş olan bulanık önerme değişkenlerinin kurallarını kullanarak problemin çözüm alanının belirlenmesidir. Bulanık önerme işleminde üyelik fonksiyonlarının üst üste konulması sonucu belirlenen kurallara göre tümünü kapsayan alanın bulunmasıdır. Eğer kurallar AND(VE) bağlacı kullanılarak bağlanmış ise üyelik fonksiyonlarının en küçük değeri, OR(VEYA) bağlacı kullanılarak bağlanmış ise üyelik fonksiyonların en büyük değeri kullanılarak çözüm alanı oluşturulur. [33]

3.2.5.4 Durulaştırma (Defuzzification)

Gerçek hayattaki uygulamalarda kesin sayısal değerler kullanılmaktadır. Bulanık çıkarım ünitesinde elde edilen bulanık verilerden yararlanılabilmesi için bu verilerin durulaştırılması gereklidir. Durulaştırma işlemini sonunda kesin sayılar elde edilir.

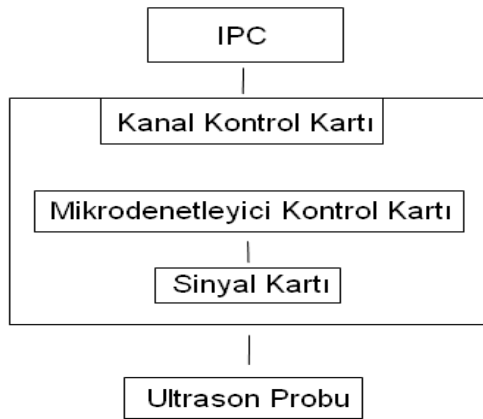
Kısacası, bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülebilmesi için gerekli olan işlemlerin tümüne durulaştırma (defuzzification) denilir. [36]

4. ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TASARIMI

Ultrasonik terapi cihazlarının güç, frekans, görev süresi (Duty-Cycle) gibi terapi parametrelerinin uygulanacak terapiye göre değiştirilebilmesi gerekmektedir. Bu değiştirilebilirlik terapinin verimliliğini artırmaktadır. Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı, terapi parametrelerinin yazılımsal olarak değiştirilebilmesine imkan sağlar ve yazılımla uyumlu olarak ultrason dalgalarını üretebilecek donanım tasarlanmıştır. Fizyoterapi uzmanı kullanıcı, terapi görecek hastanın yaşı, daha önce kaç kez terapi gördüğü, terapi uygulanacak bölgenin doku kalınlığı, hastanın ağırlığı (kilosu) ve hastanın boyu gibi özelliklerini programa yükler ve bulanık mantık yardımıyla cihaz en uygun terapi parametrelerini tespit eder.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm Windows Xp Embedded işletim sistemi içeren Endüstriyel PC (IPC)'den oluşan kontrol bölümüdür. İkinci bölüm ise ultrason sinyallerini üreten kanal kontrol kartıdır. Kanal kontrol kartı, iki alt bölümden oluşmaktadır. Birinci alt bölüm, mikrodenetleyici kontrol kartı bölümüdür. İkinci alt bölüm ise ultrason probu için gerekli olan sinyallerin üretildiği osilatörler ve diğer devre elemanlarından oluşan sinyal kartıdır.

Ultrasonik terapi cihazı diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ultrasonik terapi cihazı diyagramı

4.1 Ultrasonik Terapi Cihazı Endüstriyel PC Donanımı

Kontrol bölümü 7" boyutunda dokunmatik ekrana sahip Endüstriyel-PC (IPC) den oluşmaktadır.

Endüstriyel-PC (IPC), Endüstriyel ortamlarda kullanılmak üzere üretilmiş, bilgisayar platformlarının genel adıdır. Ticari PC'lere göre üstün özellikleri ise yüksek güvenilirlik, zorlu çalışma koşullara dayanım ve uzun süreli olarak tedarik edilebilmeleridir.

Endüstriyel-PC (IPC) donanımı,

- 7" boyutunda 800*480 piksel çözünürlüğe sahip TFT LCD ekran,
- 7" boyutunda LCD ekrana entegre rezistif esaslı dokunmatik panel,
- 1.6 GHz CPU,
- 2GB sistem belleği (64 bit veriyolu),
- 320GB sabit disk hafıza,
- 1 adet RS-232 Seri port (opsiyonel),

Endüstriyel-PC (IPC) kullanılmasının avantajları,

- 1.6 GHz frekansındaki CPU yardımıyla bulanık mantık hesaplamalarını kısa sürede sonuçlandırmaktadır.
- 7" boyutundaki dokunmatik panele sahip LCD ekran ile veri girişi yapılmaktadır. Bu özelliği sayesinde mekanik switch, klavye ve mouse gibi giriş aygıtlarına ihtiyaç olmadan veri girişine imkan sağlar.
- Dokunmatik panel aracılığıyla veri girişi yapılması, cihazın kullanıcı dostu ve ergonomik olmasına katkıda bulunur.
- Yüksek sıcaklık ve nem gibi olumsuz ortam koşullarından diğer donanımlara göre daha az etkilenmektedir.

Endüstriyel-PC (IPC), sahip olduğu RS-232 portu aracılığıyla mikrodenetleyici kontrol kartı ile iletişim kurmaktadır.

4.1.1 Ultrasonik Terapi Cihazı Kanal Kontrol Kartı Tasarımı

Tasarlanan kanal kontrol kartı, iki alt bölümden oluşmaktadır.

4.1.1.1 Ultrasonik Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Kontrol Kartı Tasarımı

Mikrodenetleyici kontrol kartının görevi Endüstriyel-PC (IPC)'nin çevre birimleri ile olan ilişkilerini sağlamaktır. Endüstriyel-PC (IPC), PWM donanımı veya kullanıcı tarafından programlanabilir lojik portlara sahip değildir. Bu nedenle Endüstriyel-PC (IPC), Mikrodenetleyici Kontrol Kartı aracılığıyla diğer donanımları kontrol eder. Mikrodenetleyici Kontrol Kartının görevleri, Endüstriyel-PC (IPC) ile veri iletişimini sağlamak, ultrason sinyali için gerekli osilatörü seçmek ve modülasyon sinyalini üretmektedir. Bu görevleri sahip olduğu PIC18F452 mikro denetleyicisi aracılığıyla gerçekleştirir. PIC mikrodenetleyici ile istenilen frekansa sahip osilatör seçilebilmektedir. Osilatörlerden gelen 1 veya 3 MHz frekansındaki taşıyıcı sinyaller, PIC mikrodenetleyicinin dahili PWM donanımı ile üretilen bilgi sinyali ile modüle edilir. Görev oranı %0 ile %100 arasında üretilen modüle edilmiş sinyal ultrason probuna gönderilmekte ve ultrason dalgaları üretilmektedir. Ayrıca sinyal kartındaki çıkış problemlerinin seçilmesine imkan veren çıkış seçim rölesi ve sinyal kartının enerjisini sağlayan enerji rölesini de kumanda eder.

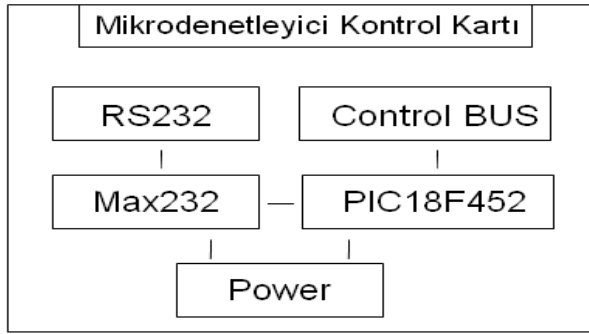
PIC mikrodenetleyici 20MHz frekansında çalışmaktadır. Bu osilasyon sinyalini üretmesi amacıyla 20MHz'lik quartz kristal osilatör kullanılmıştır. Bu kristal PIC mikrodenetleyicinin veri sayfasında önerilen 33pF'lık kapasitörlerle seri olarak VSS hattına bağlanmıştır. [37]

RS-232 protokolündeki gerilim seviyelerini PIC mikrodenetleyicinin algılayabileceği TTL gerilim seviyesine dönüştürmek için MAX-232 entegresi kullanılmıştır. MAX-232 entegresinin veri sayfasında önerilen referans devre tasarımı kullanılmış ve bu tasarımdaki devre elemanları kullanılmıştır. [38]

Mikroişlemci kontrol ve mikrodenetleyici kontrol kartının ihtiyaç duyduğu 5V regüle edilmiş gerilimi sağlamak için LM-317 gerilim regülatörü kullanılmıştır. LM-317 gerilim regülatörü yüksek çıkış akımı ve yüksek gerilim regülasyonu sağlayabildiği için tercih edilmiştir. LM-317'nin veri sayfasında önerilen devre elemanlarıyla gerekli yapı tasarlanmıştır.[39]

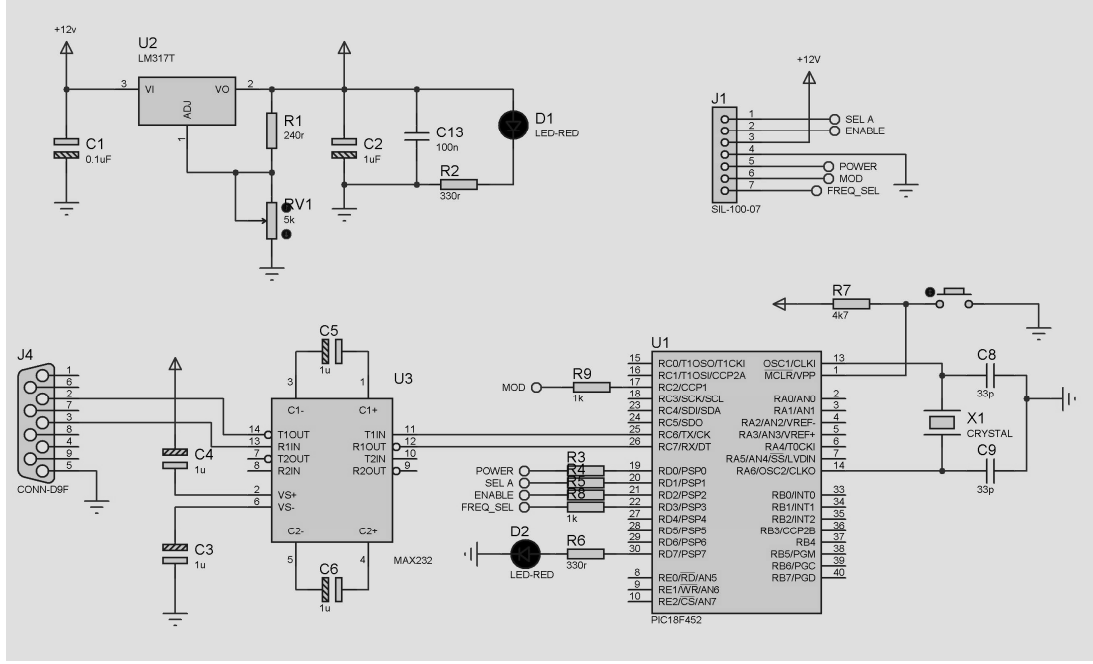
Sinyal kartı ile veri iletişimi ve gerekli enerji için 7 pinlik bir iletişim ve enerji hattı kullanılmaktadır. Bu bağlantı için 7 pin boyutunda HDL soket kullanılmıştır.

Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı diyagramı

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı devre şeması Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı devre şeması.

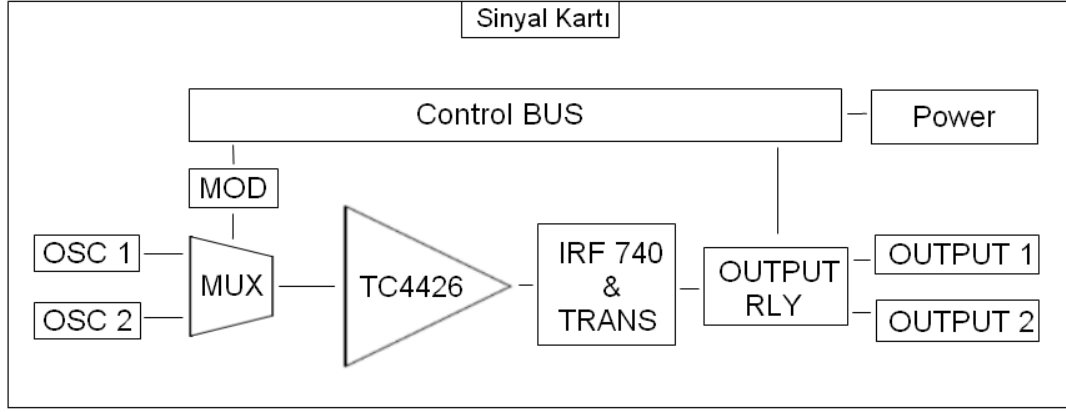
4.1.1.2 Ultrasonik Terapi Cihazı Sinyal Kartı Tasarımı

Ultrason probundaki piezoelektrik malzemenin ultrason dalgalarını üretebilmesi için kullanılacak olan ultrason probunun özelliklerini sağlayan frekans ve genlikte elektrik sinyalleri kullanılır. Bu çalışmada 1MHz ve 3MHz frekansında 100V genliğinde elektrik sinyalleri kullanılmaktadır. Bu yüksek frekansa sahip elektrik sinyallerini üretmek için NAND Kapılı Kararsız Multivibratörden oluşan 1MHz ve 3MHz frekansında çalışan iki adet osilatör devresi tasarlanmıştır. Bu osilatör türünün seçilmesinde,

- Kararlı çalışmaları,
- 1Hz'den 15MHz'e kadar çalışma aralığına sahip olmaları,
- Geniş çalışma gerilimi aralığı,
- Düşük güç tüketimi,

- Diğer lojik ailelerle ve elektronik komponentlerle uyum sağlayabilmeleri etkili olmuştur.[40]

Ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı diyagramı Şekil 4.4'te verilmiştir.



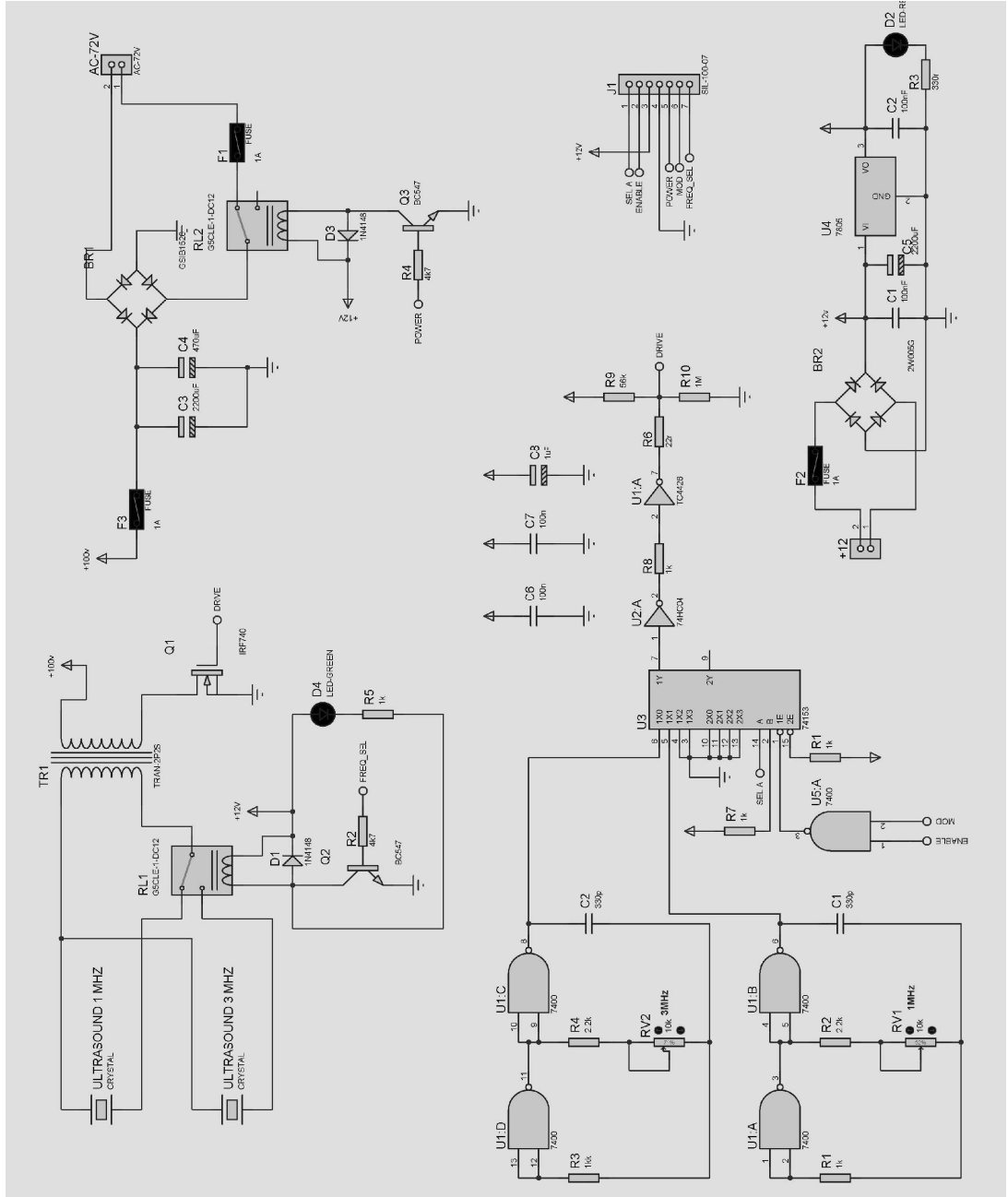
Şekil 4.4. Ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı diyagramı

Bulanık mantık ile hesaplanan elektrik sinyalinin görev oranının belirlenmesinde PIC mikro denetleyiciden yararlanılmaktadır. Mikrodenetleyicinin PWM modülü yardımıyla üretilen sinyal, ultrason sinyalinin görev oranını belirlemektedir. Aynı zamanda bilgisayar yazılımının belirlediği 1MHz ve 3MHz frekansındaki osilatörlerin seçilmesini de PIC mikro denetleyicisi kontrol eder. 1MHz ve 3MHz frekansındaki osilatörlerin ürettiği sinyaller 74HC153 multiplexer entegresi yardımıyla tekillenir ve belirlenen frekansta ultrason sinyalinin üretilmesi sağlanır. Aynı zamanda osilatör sinyalinin modülasyonu da bu entegre ile yapılır. IRF-740 Mosfetine uygulanacak elektrik sinyallerini kontrol etmek için PIC mikrodenetleyicinin RD2 pini ile üretilen aktifleştirme sinyali ve PWM modülünde üretilen modülasyon sinyali bir 74HC00 NAND kapısına uygulanmaktadır. Burada elde edilen kontrol sinyali, 74HC153 multiplexer entegresinin yetkilendirme (Enable) pinine uygulanır. 74HC153 multiplexer entegresinin yetkilendirme (Enable) pini yardımıyla istenilen modülasyon sağlanır. Böylece modüle edilmiş 1MHz veya 3MHz yüksek frekanslı anahtarlama sinyali elde edilir. Elde edilen modüle edilmiş anahtarlama sinyali 74HC04 NOT kapısı yardımıyla Lojik Değil işlemine tabi

tutulur. Bu sinyal TC4426 mosfet sürücüne uygulanır. TC4426 mosfet sürücüsü IRF-740 güç mosfetini kontrol eder [41]. IRF-740 güç mosfetinin geytindeki R9-R10 paralel dirençleri ile mosfete ön gerilimleme sağlanarak, Mosfetin kararlı çalışması sağlanmıştır.[42] Böylece modüle edilmiş sinyal ile yarı iletken anahtarlama elemanı anahtarlanır. IRF 740 güç mosfeti, kuplaj transformatörünün primerine bağlıdır. Kuplaj transformatörünün primerinin diğer ucu ise 100V gerilime bağlıdır. IRF-740 güç mosfeti ile bu gerilim kuplaj transformatörünün primeri üzerinden anahtarlanır. Böylece kuplaj transformatörünün sekonderinde ultrason probuna uygulanacak elektrik sinyali elde edilir.

Kuplaj transformatörünün sekonderinden elde edilen gerilim ise çıkış seçici röle ile uygun proba yönlendirilir ve ultrason sinyali üretilmiş olur. Kuplaj transformatörü olarak iç çapı 16 mm, dış çapı 24 mm ve kesiti 6 mm boyutundaki toroidal ferrit nüve üzerine 0.45 mm lik emaye kaplı bakır telden primer ve sekonder sargısı için 10'ar spir sarılarak, 4.8 μ H primer ve sekonder indüktansına sahip bir toroidal kuplaj transformatörü elde edilmiştir. Tasarlanan kartın üzerinde bulunan RL1 12V DC ve RL2 12V DC rölelerin kontrolünde Q2 BC547 ve Q3 BC547 transistörü kullanılmıştır. Q2 ve Q3 transistörlerinin kolektörleri ile emitörleri arasında oluşan ters EMK'ları sönmeyecek D1 1N4148, D2 1N4148 diyotları bağlanmıştır. Sinyal kartının üzerinde bulunan 5V ile çalışan lojik entegrelerin ihtiyaç duyduğu 5V gerilim LM7805 pozitif gerilim regülatörü ile sağlanmıştır. Devredeki oluşan elektriksel gürültüleri önlemek amacıyla C6, C7, C8 kapasiteleri besleme hatlarına paralel olarak bağlanmıştır [43].

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı devre şeması Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Ultrasonik terapi cihazı sinyal kartı devre şeması

4.2 Ultrasonik Terapi Cihazı Yazılımı

4.2.1 Ultrasonik Terapi Cihazı Endüstriyel-PC (IPC)Yazılımı

Endüstriyel-PC (IPC) üzerinde Microsoft Windows Embedded Xp işletim sistemi çalışmaktadır. Microsoft Windows Embedded Xp işletim sisteminin uyumluluk, hız ve geniş yazılım desteği gibi avantajları bu kontrol kartı ve işletim sisteminin tercih edilmesinde etken olmuştur. Microsoft Windows Embedded Xp işletim sistemi Microsoft .NET platformunu desteklemektedir. Bu platform desteği Microsoft Visual Studio kullanarak C# programlama dili ile görsel olarak programlar hazırlamamıza olanak sağlar. C# programlama dili ile gerçekleştirilen yazılım, tıp uzmanı kullanıcının gerekli parametreleri programa yüklemesi, kaydetmesi, kartın diğer çevre birimleri ile iletişim kurulması ve BM ile gerekli terapi parametrelerinin belirlenmesi gibi görevleri yerine getirmektedir. Geliştirilen yazılım,

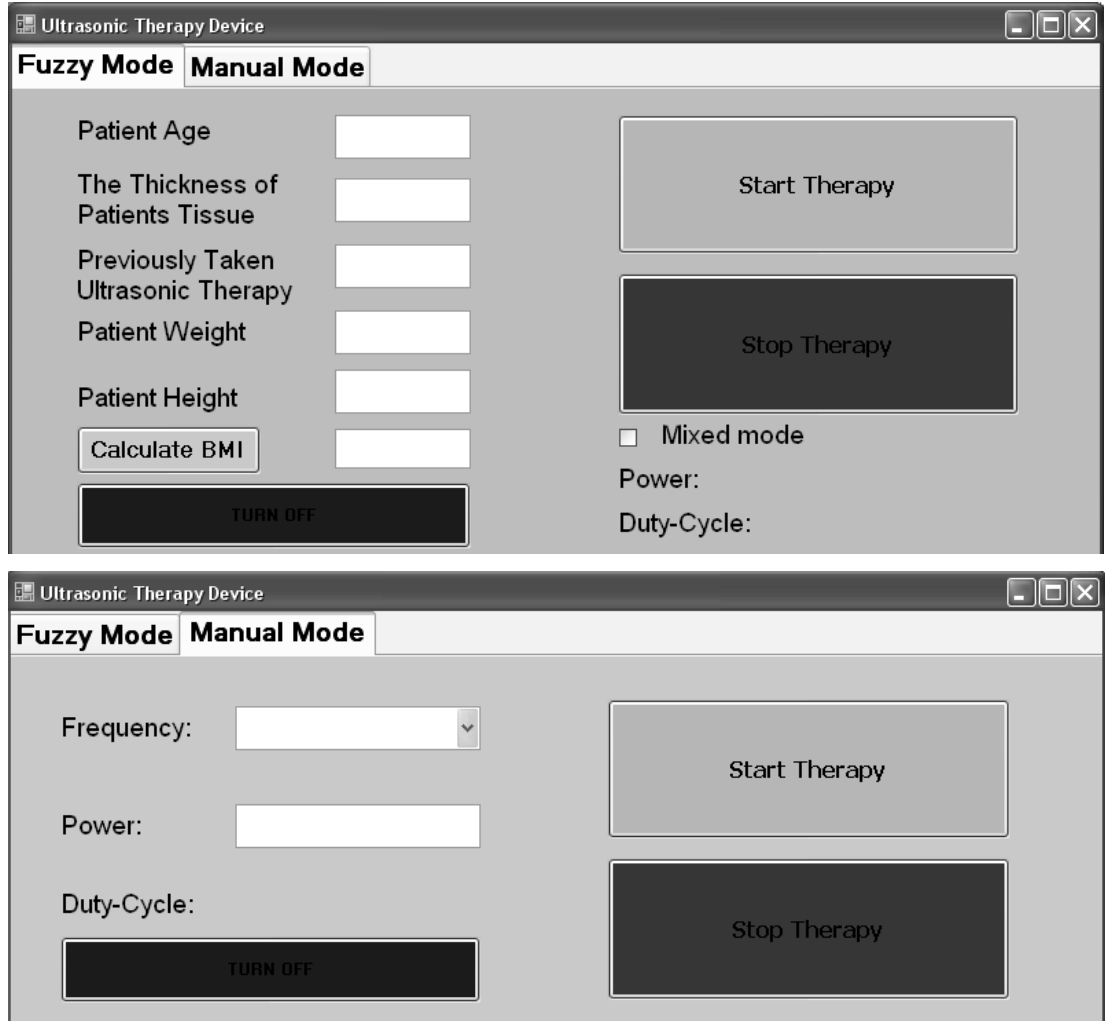
- Hastanın yaşı
- Daha önce kaç seans terapi gördüğü
- Doku kalınlığı
- Hastanın Ağırlığı (kilosu)
- Hastanın Boyu parametrelerinin dokunmatik ekran üzerinde yer alan klavye ile girilmesi ardından kullanıcıya iki özellik sunar.
 - i. Bu parametreleri kullanarak BM ile terapi parametrelerinin hesaplanması.
 - ii. Hastanın vücut kitle indeksinin hesaplanmasına imkan verir.

Eğer terapi başlatılmak isteniyorsa “ Start Therapy ” butonuna dokunarak BM ile terapi parametreleri hesaplanır, bu veriler RS-232 portu aracılığıyla Mikrodenetleyici kontrol kartına iletilir ve gerekli terapi başlatılır.

Başlatılmış olan terapi “ Stop Therapy ” butonuna dokunarak Mikrodenetleyici kontrol kartına DUR komutu iletilir ve terapi durdurulur. Terapi durdurulduğunda

yeniden parametreler girilebilir veya değiştirilmek istenen parametreler değiştirilebilir ve sistem yeniden çalıştırılabilir.

Ultrasonik terapi cihazı Endüstriyel-PC (IPC) yazılımı ekran görüntüsü Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Ultrasonik terapi cihazı endüstriyel-PC (IPC) yazılımı ekran görüntüsü

4.2.1.1 Endüstriyel-PC (IPC) Bulanık Mantık Uygulaması

Yapılan literatür taramasının sonucunda elde edilen verilere göre üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur[27]. Elde edilen veriler kullanılarak üretilen ultrasonik

dalgaların güç yoğunluğunun 0-3W/cm² aralığında olması gerekmektedir. BM ile verilen üyelik fonksiyonları kullanılarak çıkış gücü hesaplanır. Üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Giriş üyelik fonksiyonları ;

- Hastanın yaşı
- Daha önce kaç seans terapi gördüğü
- Doku kalınlığı
- Vücut Kitle İndeksi (VKİ) dir.

Çıkış üyelik fonksiyonu;

- Çıkış gücü dür.

Vücut Kitle İndeksi (VKİ) şu denklem ile elde edilebilir. [44]

$$\text{Vücut Kitle İndeksi} = \text{Bireyin Ağırlığı(kg)} / (\text{Boy Uzunluğu(m)})^2 \quad (4.1)$$

Elde edilen veriler kullanılarak Çizelge 4.1 yardımıyla bireyin durumu gözlenebilir.

Çizelge 4.1. Yetişkinlerde vücut kitle indeksine göre bireyin durumu [44]

Sınıflandırma		BKİ (kg/m ²)
Zayıf (düşük ağırlıklı)	Aşırı düzeyde zayıflık	<16.00
	Orta düzeyde zayıflık	16.00 - 16.99
	Hafif düzeyde zayıflık	17.00 - 18.49
Normal		18.50 - 24.99
Toplu, hafif şişman, fazla kilolu	Şişmanlık öncesi (Pre-obez)	25.00 - 29.99
Şişman (Obez)	Şişman I. Derece	30.00 - 34.99
	Şişman II. Derece	35.00 - 39.99
	Şişman III. Derece	≥ 40.00

Hastanın yaşı üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında, yaş gruplarından yararlanılmıştır. [45]

Yaş grupları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2.Yaş grupları

Yaş	Yaş Grubu
0-4	Bebek Yaş Gurubu
5-14	Çocuk Yaş Gurubu
15-29	Genç Yaş Gurubu
30-49	Orta Yaş Gurubu
50-55	Yaşlı Adayı Gurup
55-65	Erken Yaşlı Gurubu
65-85	Yaşlı Gurubu
85 ve Üstü	İleri Yaşlı Gurubu

Bulanık mantık ile çıkış verilerinin hesaplanmasında, Mamdani Modeli esas alınmıştır. Sugeno modeli ise bir diğer bulanık mantık modelidir.[46]

Mamdani modeli beş aşamada uygulanmaktadır. Bu aşamalar,

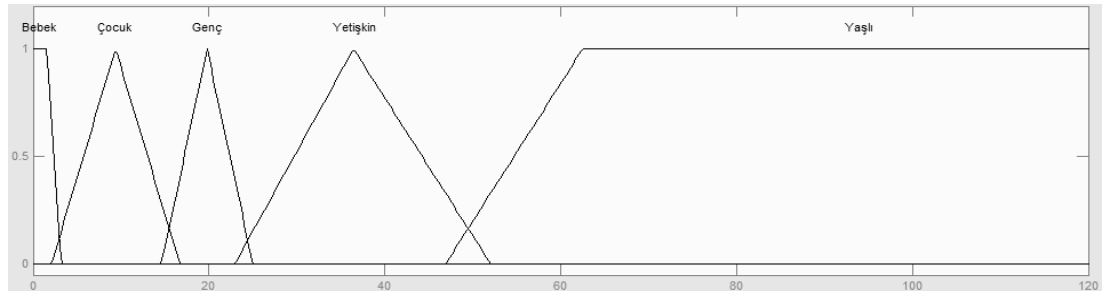
- i. Kural tabanı oluşturulması,
- ii. Bulanıklaştırma,
- iii. Bulanık mantık kural tabanında yer alan kurallara göre giriş değerleri için kural ağırlıkların tespit edilmesi ve çıkış üyelik fonksiyonları için üyelik derecelerinin belirlenmesidir. Çıkış üyelik fonksiyonlarının kesim bölgelerinin belirlenmesinde VE (Kesişim) işlemi uygulanır.
- iv. Sonuçların toplanması: Elde edilen çıkış bulanık kümelerine VEYA(birleşim) işleminin uygulanması.
- v. Durulaştırma. [45]

Sugeno modeli ise Mamdani modelinin bir uygulamasıdır. Bulanıklaştırma ile bulanık mantık işlemleri Mamdani modelinin aynısıdır. Mamdani modelinden farkı ise çıkış üyelik fonksiyonlarının linner veya sabit olmasıdır. Bulanık kümeler çok değişkenli matematiksel fonksiyonlar olarak tanımlanabilir. Bu nedenle bulanık küme mantıksal işlemleri(VE, VEYA) toplama ve çarpma olarak yapılabilir.[46]

Üyelik fonksiyonları için yamuk ve üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının bilgisayar programına entegre edilebilmesi için, doğru denklemlerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen üyelik fonksiyonları, üyelik dereceleri, değişkenlerin dilsel ifadeleri ve değişkenlerin değer aralıkları aşağıda verilmiştir.

Hastanın yaşı, üyelik fonksiyonu 0 yaş ile 120 yaş aralığında tanımlanmıştır. Dilsel ifadeler ve değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri görülmektedir.

<u>Dilsel ifade</u>	<u>Değer aralıkları</u>
Bebek	$0 \leq y \leq 3$
Çocuk	$2 \leq y \leq 16$
Genç	$14 \leq y \leq 24$
Yetişkin	$22 \leq y \leq 50$
Yaşlı	$45 \leq y \leq 120$



Şekil 4.7. Hastanın yaşı üyelik fonksiyonu

$$\text{Bebek } \mu_1(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 1.5 \\ \frac{3-x}{1.5} & ; 1.5 < x \leq 3 \\ 0 & ; 3 < x \end{cases}$$

$$\text{Çocuk } \mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-2}{4.5} & ; 2 < x \leq 9 \\ \frac{16-x}{7} & ; 9 < x \leq 16 \\ 0 & ; x \leq 2, x > 16 \end{cases}$$

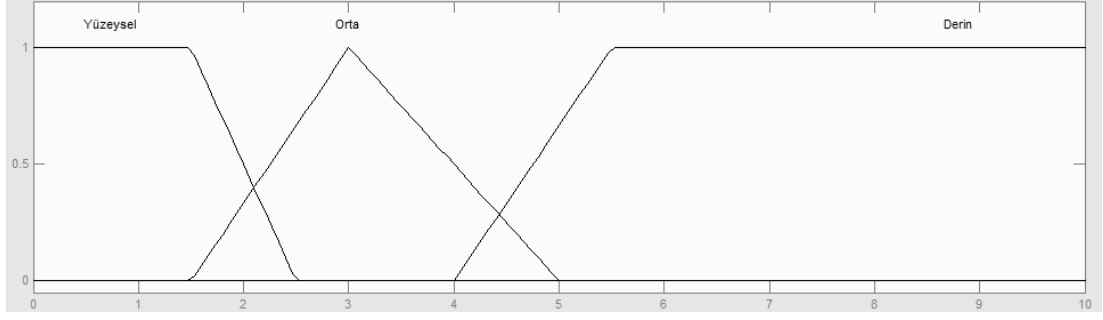
$$\text{Genç } \mu_3(x) = \begin{cases} \frac{x-14}{5} & ; 14 < x \leq 19 \\ \frac{24-x}{5} & ; 19 < x \leq 24 \\ 0 & ; x \leq 14, x > 24 \end{cases}$$

$$\text{Yetişkin } \mu_4(x) = \begin{cases} \frac{x-22}{13} & ; 22 < x \leq 35 \\ \frac{50-x}{15} & ; 35 < x \leq 50 \\ 0 & ; x \leq 22, x > 50 \end{cases}$$

$$\text{Yaşlı } \mu_5(x) = \begin{cases} 1 & ; 60 \leq x \leq 120 \\ \frac{x-45}{15} & ; 45 < x \leq 60 \\ 0 & ; x \leq 45 \end{cases}$$

Doku kalınlığı, üyelik fonksiyonu 0 cm ile 10 cm aralığındaki terapi uygulanacak bölgenin kalınlığı için tanımlanmıştır. Dilsel ifadeler ve değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri görülmektedir.

<u>Dilsel ifade</u>	<u>Değer aralıkları</u>
Yüzeysel	$0 \leq k \leq 2.5$
Orta	$1.5 \leq k \leq 5$
Derin	$4 \leq k \leq 10$



Şekil 4.8. Doku kalınlığı üyelik fonksiyonu

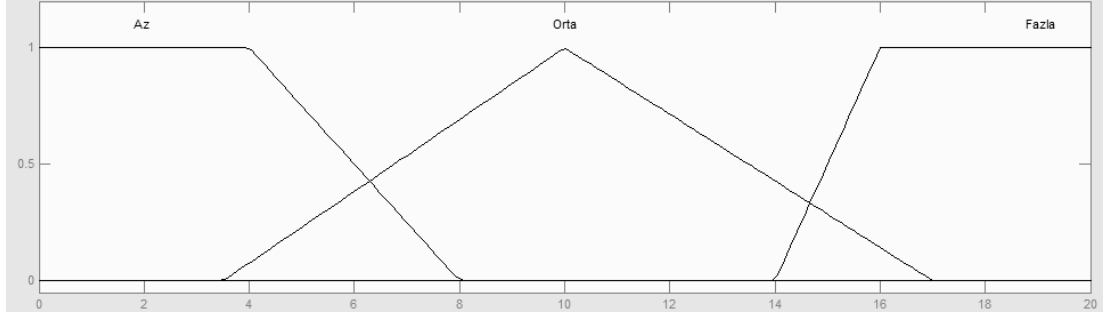
$$\text{Yüzeysel } \mu_1(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 1.5 \\ \frac{2.5-x}{1} & ; 1.5 < x \leq 2.5 \\ 0 & ; 2.5 < x \end{cases}$$

$$\text{Orta } \mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-1.5}{1.5} & ; 1.5 < x \leq 3 \\ \frac{5-x}{2} & ; 3 < x \leq 5 \\ 0 & ; x \leq 1.5, x > 5 \end{cases}$$

$$\text{Derin } \mu_3(x) = \begin{cases} 1 & ; 5.5 \leq x \leq 10 \\ \frac{x-4}{1.5} & ; 4 < x \leq 5.5 \\ 0 & ; x \leq 4 \end{cases}$$

Daha önce kaç seans terapi gördüğü, üyelik fonksiyonu 0 defa ile 20 defa aralığındaki terapi uygulama sayısı için tanımlanmıştır. Dilsel ifadeler ve değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri görülmektedir.

<u>Dilsel ifade</u>	<u>Değer aralıkları</u>
Az	$0 \leq t \leq 8$
Orta	$3.5 \leq t \leq 17$
Fazla	$14 \leq t \leq 20$



Şekil 4.9. Terapi sayısı üyelik fonksiyonu

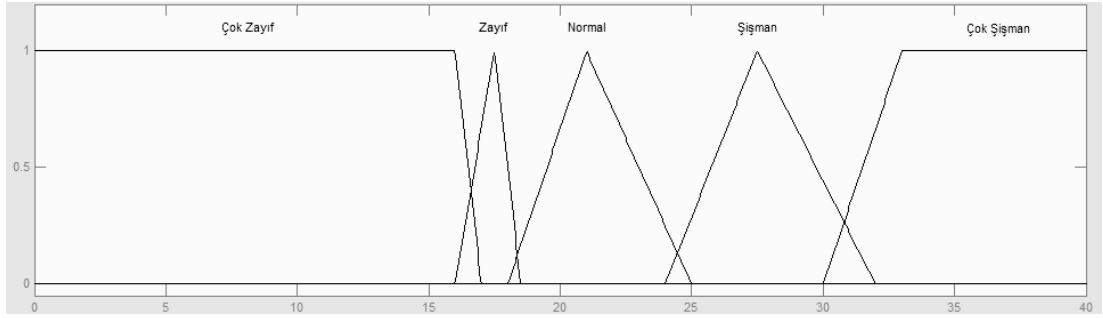
$$\text{Az } \mu_1(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 4 \\ \frac{8-x}{4} & ; 4 < x \leq 8 \\ 0 & ; 8 < x \end{cases}$$

$$\text{Orta } \mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-3.5}{6.5} & ; 3.5 < x \leq 10 \\ \frac{17-x}{7} & ; 10 < x \leq 17 \\ 0 & ; x \leq 10, x > 17 \end{cases}$$

$$\text{Fazla } \mu_3(x) = \begin{cases} 1 & ; 16 \leq x \leq 20 \\ \frac{x-14}{2} & ; 14 < x \leq 16 \\ 0 & ; x \leq 14 \end{cases}$$

Vücut kitle indeksi, üyelik fonksiyonu vücut kitle indeksi 0 kg/m² ile 40 kg/m² aralığında tanımlanmıştır. Dilsel ifadeler ve değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri görülmektedir.

<u>Dilsel ifade</u>	<u>Değer aralıkları</u>
Çok zayıf	$0 \leq v \leq 17$
Zayıf	$16 \leq v \leq 18.5$
Normal	$18 \leq v \leq 25$
Şişman	$24 \leq v \leq 32$
Çok Şişman	$30 \leq v \leq 40$



Şekil 4.10. Vücut kitle endeksi üyelik fonksiyonu

$$\text{Çok Zayıf } \mu_1(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 16 \\ \frac{17-x}{1} & ; 16 < x \leq 17 \\ 0 & ; 17 < x \end{cases}$$

$$\text{Zayıf } \mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-16}{1.5} & ; 16 < x \leq 17.5 \\ \frac{18.5-x}{1} & ; 17.5 < x \leq 18.5 \\ 0 & ; x \leq 16, x > 18.5 \end{cases}$$

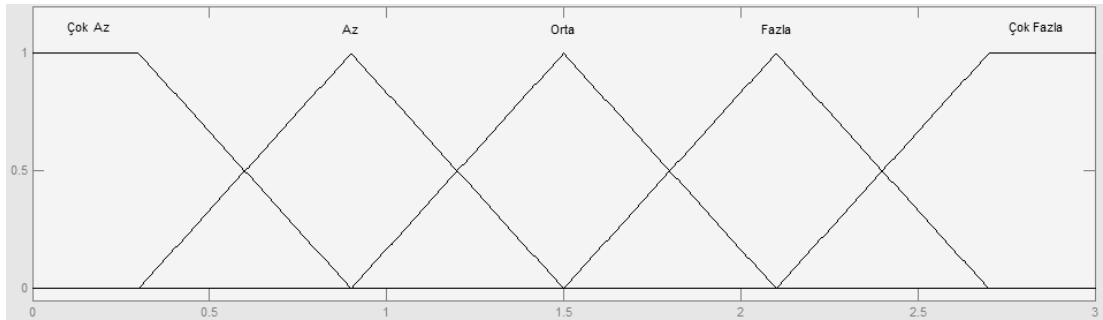
$$\text{Normal } \mu_3(x) = \begin{cases} \frac{x-18}{3} & ; 18 < x \leq 21 \\ \frac{25-x}{4} & ; 21 < x \leq 25 \\ 0 & ; x \leq 18, x > 25 \end{cases}$$

$$\text{Şişman } \mu_4(x) = \begin{cases} \frac{x-24}{3.5} & ; 24 < x \leq 27.5 \\ \frac{32-x}{4.5} & ; 27.5 < x \leq 32 \\ 0 & ; x \leq 24, x > 32 \end{cases}$$

$$\text{Çok Şişman } \mu_5(x) = \begin{cases} 1 & ; 32 \leq x \leq 60 \\ \frac{x-30}{2} & ; 30 < x \leq 32 \\ 0 & ; x \leq 30 \end{cases}$$

Çıkış gücü, üyelik fonksiyonu 0 W/cm² ile 3 W/cm² aralığındaki çıkış gücü için tanımlanmıştır. Dilsel ifadeler ve değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri görülmektedir.

<u>Dilsel ifade</u>	<u>Değer aralıkları</u>
Çok Az	$0 \leq p \leq 0.9$
Az	$0.3 \leq p \leq 1.5$
Orta	$0.9 \leq p \leq 2.1$
Fazla	$1.5 \leq p \leq 2.7$
Çok Fazla	$2.1 \leq p \leq 3$



Şekil 4.11. Çıkış gücü üyelik fonksiyonu

$$\text{Çok Az } \mu_1(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 0.3 \\ \frac{0.9-x}{0.6} & ; 0.3 < x \leq 0.9 \\ 0 & ; 0.9 < x \end{cases}$$

$$\text{Az } \mu_2(x) = \begin{cases} \frac{x-0.3}{0.6} & ; 0.3 < x \leq 0.9 \\ \frac{1.5-x}{0.6} & ; 0.9 < x \leq 1.5 \\ 0 & ; x \leq 0.3, x > 1.5 \end{cases}$$

$$\text{Orta } \mu_3(x) = \begin{cases} \frac{x-0.9}{0.6} & ; 0.9 < x \leq 1.5 \\ \frac{2.1-x}{0.6} & ; 1.5 < x \leq 2.1 \\ 0 & ; x \leq 0.9, x > 2.1 \end{cases}$$

$$\text{Fazla } \mu_4(x) = \begin{cases} \frac{x-1.5}{0.6} & ; 1.5 < x \leq 2.1 \\ \frac{2.7-x}{0.6} & ; 2.1 < x \leq 2.7 \\ 0 & ; x \leq 1.5, x > 2.7 \end{cases}$$

$$\text{Çok Fazla } \mu_5(x) = \begin{cases} 1 & ; 2.7 \leq x \leq 3 \\ \frac{x-2.1}{0.6} & ; 2.1 < x \leq 2.7 \\ 0 & ; x \leq 2.1 \end{cases}$$

Verilen üyelik fonksiyonları için kural tabanı hazırlanmıştır. Hazırlanan kural tabanı EK. 1'de verilmiştir

Ultrasonik terapi cihazı görev-oranı (duty-cycle) şu formül ile elde edilir.

$$\text{Görev-Oranı (Duty-Cycle)} = \% \frac{100}{3.0} \text{ Çıkış Gücü} \quad (4.2)$$

Ultrasonik terapi cihazı çıkış frekansı ise şu ifade ile belirlenir.

$$\text{Ultrasonik terapi cihazı çıkış frekansı} = \begin{cases} 3 \text{ MHz} ; 0 \leq \text{Doku Kalınlığı} < 2 , \\ 1 \text{ MHz} ; 2 \leq \text{Doku Kalınlığı} \leq 8 , \end{cases} (4.3)$$

4.2.2 Ultrasonik Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Kontrol Kartı Yazılımı

Terapi cihazı mikrodenetleyici kartı üzerinde Microchip firmasının ürettiği PIC18F452 mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. Mikrodenetleyicinin görevleri,

- Mikroişlemci kartı ile veri alışverişi yapmak.
- Verileri kaydetmek,
- Ultrason dalgasının gücünün kontrol edilmesini sağlayan modülasyon sinyalini üretmek.
- Duty-cycle oluşturmak
- Güç ve prob seçimi rölelerini kontrol etmektir.

Mikroişlemci yazılımı için Hi-tech C 18 derleyicisi ve Hi-Tide editörü kullanılmıştır. Yazılım başlatıldıktan sonra seri port üzerinden veri gelmesini bekler. Ultrason sinyalinin parametrelerini veriyolundan aldıktan sonra kaydeder ve PWM modülünü kullanarak görev-oranı sinyalini üretir. Frekans seçimi rölesini kumanda eder. Ultrason probuna uygulanacak olan elektrik sinyalini üretmekle görevli devre elemanlarına, enerji rölesini kumanda ederek enerji sağlar.

5. ULTRASONİK TERAPİ CİHAZI TESTLERİ

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı endüstriyel-PC (IPC) yazılımının test edilmesi için 20 kişiden hastanın yaşı, ağırlığı ve boy değerleri alınmıştır. Bu değerler kullanılarak bulanık mantık yazılımı aracılığıyla çıkış gücü belirlenmiştir. Aynı zamanda fizyoterapi uzmanı danışmanlığı ve deneyimi alınarak, bu veriler için çıkış gücü belirlenmiştir. Böylece tasarlanan ultrasonik terapi cihazının bulanık mantık yazılımı ürettiği çıkış değerleri ile tecrübeye dayalı değerler arasında hata oranı / korelasyon belirlenmiştir. Elde edilen bu üçlü veri (otomasyonda bulanık mantık ile üretilen veri, fizik tedavi uzmanı öngörüsüne dayalı veri ve bu iki verinin hata verileri) kullanılarak cihazın bulanık mantık yazılımının daha iyi sonuçlar üretmesi için geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Tasarlanan endüstriyel-PC (IPC) yazılımının test edilmesi için 20 kişiden alınan hastanın yaşı, ağırlığı ve boyu değerleri Çizelge 5.1'e kaydedilmiştir. Bu verilere ek olarak doku kalınlığı 2.5cm ve daha önce kaç seans terapi gördüğü sayısı 0 defa olarak Çizelge 5.1'e kaydedilmiştir. test amacıyla kullanılan ultrasonik terapi probunun odak mesafesinin 2.5cm olmasından dolayı doku kalınlığı değeri 2.5cm olarak kabul edilmiştir. Bu veriler kullanılarak ultrasonik terapi cihazı yazılımı aracılığıyla çıkış gücü belirlenmiştir ve Çizelge 5.1'e kaydedilmiştir.

Bulanık mantık yazımlı hata oranı ise 5.1 formülü ile belirlenebilir.

$$\text{Hata Oranı \%} = 100 \cdot \left| \frac{\text{Uzman Görüşü} - \text{BM Yazılımı}}{\text{Uzman Görüşü}} \right| \quad (5.1)$$

Farklı yaş gruplarında yer alan insanlardan alınan veriler, uzman görüşleri, bulanık mantık yazılımı çıktıları ve hata oranları Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Farklı yaş gruplarında yer alan insanlardan alınan veriler, uzman görüşleri, bulanık mantık yazılımı çıktıları ve hata oranları

	Hasta Parametreleri					Çıkış Gücü		Hata (%)
	Hastanın Yaşı	Daha önce kaç seans terapi gördüğü	Doku kalınlığı (cm)	Hastanın Ağırlığı (Kg)	Hastanın Boyu (m)	Bulanık Mantık Yazılımı (W/cm ²)	Fizyoterapi Uzmanı Görüşü (W/cm ²)	
1	13	0	2.5	50	1.50	2.1	2.0	5
2	14	0	2.5	42	1.53	1.5	1.5	0
3	18	0	2.5	53	1.75	0.9	1.0	10
4	19	0	2.5	73	1.78	1.5	1.5	0
5	19	0	2.5	67	1.78	1.5	1.6	6.3
6	20	0	2.5	79	1.80	1.6	1.6	0
7	22	0	2.5	69	1.80	1.6	1.5	6.7
8	24	0	2.5	95	1.75	2.7	2.5	8
9	26	0	2.5	84	1.83	2.6	2.6	0
10	28	0	2.5	56	1.68	2.1	2.1	0
11	29	0	2.5	68	1.70	2.2	2.3	4.3
12	29	0	2.5	88	1.74	2.7	2.6	3.8
13	34	0	2.5	63	1.74	2.0	2.0	0
14	42	0	2.5	85	1.75	2.8	2.8	0
15	43	0	2.5	74	1.76	2.1	2.0	5
16	49	0	2.5	96	1.87	2.7	2.8	3.6
17	53	0	2.5	85	1.72	2,5	2.6	3,8
18	54	0	2.5	93	1.77	2.7	2.7	0
19	73	0	2.5	75	1.72	2.7	2.6	3.8
20	75	0	2.5	85	1.70	2.8	2.9	3.4

5.1. Ultrasonik Terapi İçin Doku Benzeri Ortam Hazırlanması (Phantom Hazırlanması)

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazının gerçek dokularda test edilmesi ilk aşamada sakıncalıdır. Gerçek dokular yerine, gerçek dokuların karakteristik özelliklerine sahip laboratuvar ortamında üretilen doku benzeri ortamlar ultrasonik terapi cihazının testleri için kullanılmıştır.

Ses dalgalarının yayıldığı ortamın türü, yoğunluğu, ısı gibi faktörler ses dalgasının yayılma hızını belirler. Ses dalgasının yayıldığı ortamda sesin ilerleme hızı ve ses dalgasının zayıflaması ultrason sistemleri için önemli parametrelerdir. Ses dalgasının bazı maddeler içerisindeki yayılma hızları ve zayıflamasından yararlanılarak laboratuvar koşullarında doku benzeri ortamlar geliştirilmiştir. [47,48]

Doku benzeri ortamların en sık kullanılanları ise,

- Agar bazlı
- Jelatin bazlı
- Poliüretan bazlı ortamlardır.

Bu ortamların akustik özellikleri gerçek yumuşak dokularla oldukça benzerdir.

Ultrasonik terapi cihazının testi için az yoğun ve çok yoğun olmak üzere iki farklı ortam hazırlanmıştır. Bu ortamlarla ilgili doku protokolü aşağıdadır,

Az yoğun ortam;

- 300 ml su kaynatılmıştır ve 150ml si 24°C sıcaklığa, 150ml si ise 80°C sıcaklığa kadar soğutulmuştur.
- 24°C sıcaklığındaki 150ml suya 80 gram mısır nişastası ve 15 gram toz şeker ilave edilmiştir ve suda çözünmesi sağlanmıştır.
- 80°C sıcaklığındaki 150 ml suya ise 60 gram yenilebilir jelatin ilave edilmiştir ve suda çözünmesi sağlanmıştır.

- Bu iki karışım birbirleri ile karıştırılmıştır.
- Hazırlanan karışım 30 dakika 20°C sıcaklığındaki serin ortamda bekletilmiş ve 4°C sıcaklığına sahip buzdolabında 12 saat soğutularak doku benzeri az yoğun ortam elde edilmiştir.

Şekil 5.1’de hazırlanan az yoğun ortam görülmektedir.



Şekil 5.1. Hazırlanan az yoğun ortam

Çok yoğun ortam;

- 300 ml su kaynatılmıştır ve 150ml si 24°C sıcaklığa, 150ml si ise 80°C sıcaklığa kadar soğutulmuştur.
- 24°C sıcaklığındaki 150ml suya 80 gram mısır nişastası ve 20 gram toz şeker ilave edilmiştir ve suda çözünmesi sağlanmıştır.
- 80°C sıcaklığındaki 150ml suya ise 75 gram yenilebilir jelatin ilave edilmiştir ve suda çözünmesi sağlanmıştır.
- Bu iki karışım birbirleri ile karıştırılmıştır.
- Hazırlanan karışım 30 dakika 20°C sıcaklığındaki serin ortamda bekletilmiş ve 4°C sıcaklığına sahip buzdolabında 12 saat soğutularak doku benzeri çok yoğun ortam elde edilmiştir.

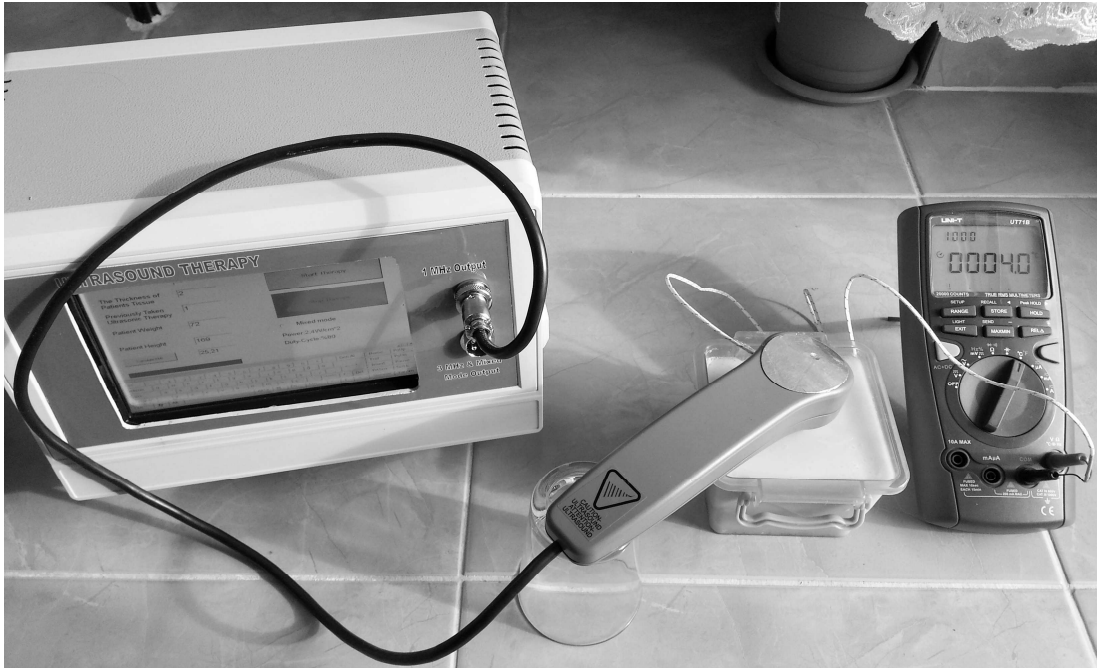
Şekil 5.2’de hazırlanan çok yoğun ortam görülmektedir.



Şekil 5.2. Hazırlanan çok yoğun ortam

5.2. Ultrasonik Terapi İçin Doku Benzeri Ortam Testleri

Hazırlanan doku benzeri az yoğun ve çok yoğun ortamın yüzeyinden 2.5 cm derinlikteki bölgeye termokupl esaslı sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Bu ortamlara 2 gram akustik jel konulmuş ve ultrason probu akustik jele değecek şekilde sabitlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.3'te hazırlandığı gibidir.



Şekil 5.3. Hazırlanan deney düzeneği

Ultrasonik terapi cihazının test edilmesi için, Çizelge 5.1 deki veriler ultrasonik terapi cihazına girilmiş ve üretilen ultrason dalgalarının doku benzeri az yoğun ve çok yoğun ortamda oluşturduğu sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir.

Test için gerekli veriler, Çizelge 5.1'deki 8, 10, 12, 13 ve 17 numaralı deneklerin parametreleri kullanılarak hazırlanmıştır. Hastaya özel parametreler terapi cihazına girildiğinde terapi cihazının bulanık mantık temelli yazılımı ultrasonik dalganın çıkış gücünü hesaplamış ve bu değerler Çizelge 5.2'ye kaydedilmiştir.

Çizelge 5.2. Test için gerekli veriler

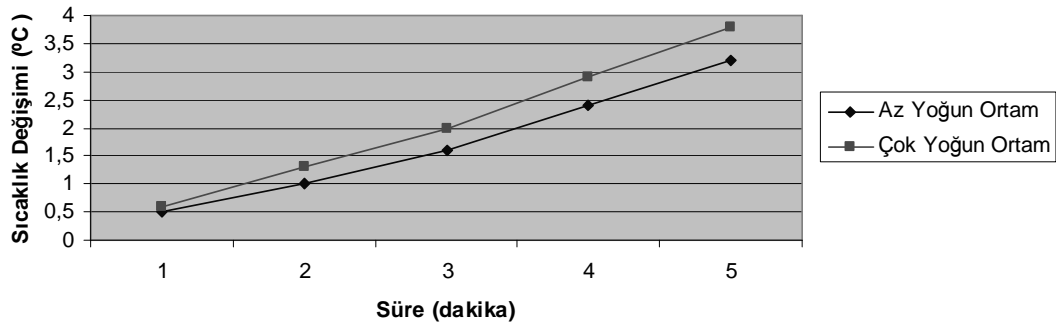
Denek No	Hasta Parametreleri					Çıkış Gücü (W/cm ²)
	Hastanın Yaşı	Daha önce kaç seans terapi gördüğü	Doku kalınlığı (cm)	Hastanın Ağırlığı (Kg)	Hastanın Boyu (m)	
8	24	0	2.5	95	1.75	2,7
10	28	0	2.5	56	1.68	2.1
12	29	0	2.5	88	1.74	2.7
13	34	0	2.5	63	1.74	2.0
17	52	0	2.5	85	1.72	2.5

Çizelge 5.2'de yer alan hasta parametreleri kullanılarak elde edilen çıkış gücündeki ultrasonik dalga, hazırlanan doku benzeri (yapay) az yoğun ve çok yoğun ortamlara uygulanmış ve sıcaklık sensöründen elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'te verildiği gibidir.

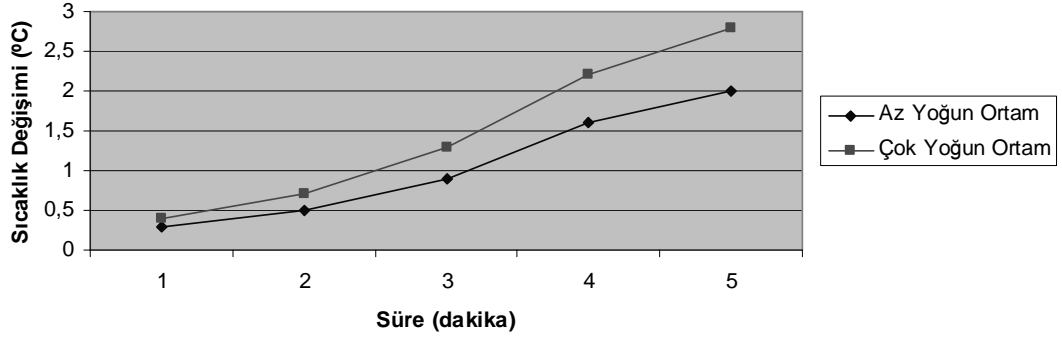
Çizelge 5.3. Sıcaklık sensöründen elde edilen sonuçlar

Denek No	Ortam Yoğunluğu	Süre (dakika)					Sıcaklık Değişimi (°C)
		1.	2.	3.	4.	5.	
8	Az yoğun ortam	0,5	1,0	1,6	2,4	3,2	
	Çok yoğun ortam	0,6	1,3	1,9	2,6	3,4	
10	Az yoğun ortam	0,3	0,5	0,9	1,6	2,0	
	Çok yoğun ortam	0,4	0,7	1,3	2,2	2,8	
12	Az yoğun ortam	0,4	0,7	1,4	1,7	2,2	
	Çok yoğun ortam	0,6	1,0	1,5	2,1	3,0	
13	Az yoğun ortam	0,4	0,6	1,2	1,5	2,1	
	Çok yoğun ortam	0,5	0,9	1,5	1,9	2,8	
17	Az yoğun ortam	0,4	1,0	1,6	2,4	3,2	
	Çok yoğun ortam	0,6	1,3	1,9	2,5	3,4	

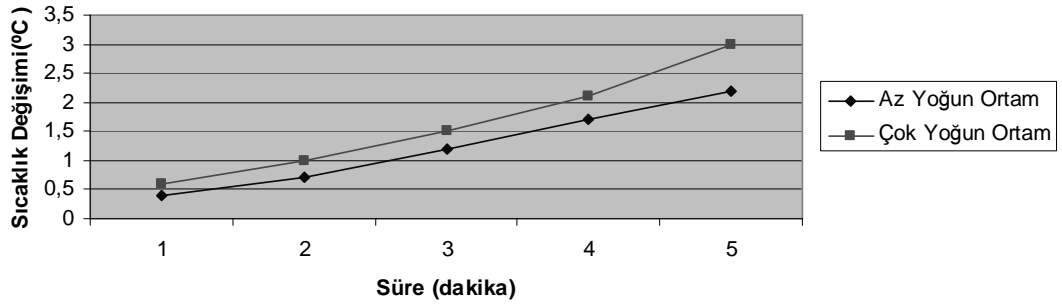
Çizelge 5.3'te yer alan az yoğun ve çok yoğun ortamdaki sonuçlar kullanılarak elde edilen sıcaklık değişimleri grafiği; Denek 8 için Şekil 5.4.a'da, Denek 10 için Şekil 5.4.b'de, Denek 12 için Şekil 5.4.c'de, Denek 13 için Şekil 5.4.d'de ve Denek 17 için Şekil 5.4.e'de görülmektedir.



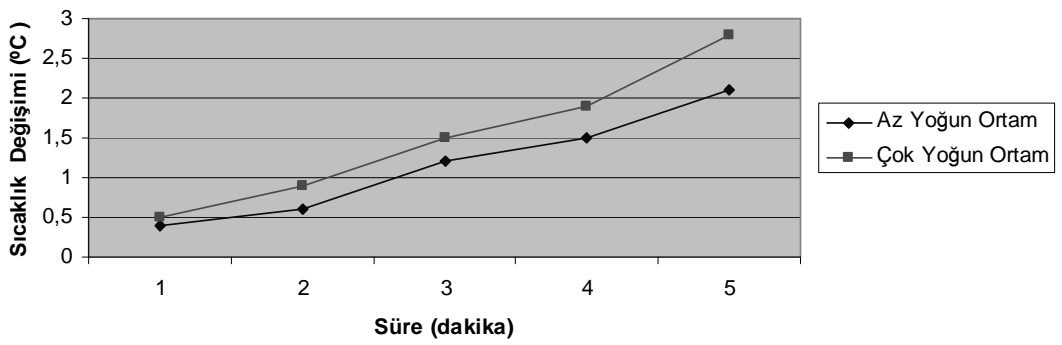
Şekil 5.4.a. Denek 8 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri



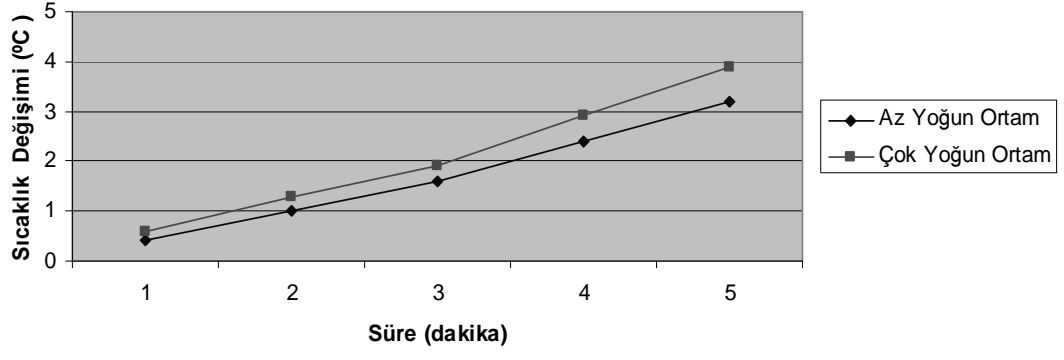
Şekil 5.4.b. Denek 10 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri



Şekil 5.4.c. Denek 12 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri



Şekil 5.4.d. Denek 13 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri



Şekil 5.4.e. Denek 17 için az yoğun ve çok yoğun ortam sıcaklık değişimleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde endüstriyel-PC ve PIC18F452 mikrodenetleyici entegre edilmiştir.

Bulanık mantık yazılımı endüstriyel-PC üzerinde çalışmaktadır. Endüstriyel PC, veri girişlerini ve gösterimini, bulanık mantığın icrasını ve görev modülünün kontrol edilmesini sağlar. Veri girişleri ve gösterimi dokunmatik ekran aracılığıyla yapılmaktadır. Endüstriyel-PC'nin RS-232 portu aracılığıyla PIC18F452 mikrodenetleyicisi kontrol edilir.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı iki ana bloktan oluşmaktadır; birinci blok, endüstriyel-PC (IPC) tabanlı ana kontrol modülü ve ikincisi ise PIC18F452 mikrokontrolör tabanlı ultrason sinyali üreten görev modülüdür. PIC18F452 mikrokontrolör tabanlı ultrason sinyali üreten görev modülü iki alt bloktan oluşmaktadır; birinci alt blok, Mikrodenetleyici kontrol kartı ve ikinci alt blok ise Sinyal Kartıdır.

Ultrasonik terapi cihazı mikrodenetleyici kontrol kartı aşağıdaki donanımlardan oluşmaktadır,

1. Güç Kaynağı: Ultrasonik terapi cihazı donanımı +100V DC, +12V DC ve +5V DC gerilimlere ihtiyaç duyar.
 - a. +100V DC gerilim; 72V AC gerilim KBU8M köprü diyotu ile doğrultulmuş, 2200 μ F ve 470 μ F kapasitesindeki kondansatörler ile filtrelenerek elde edilmiştir.
 - b. +12V DC gerilim; 8,6V AC gerilim 2W10M köprü diyotu ile doğrultulmuş, 2200 μ F ve 470 μ F kapasitesindeki kondansatörler ile filtrelenerek elde edilmiştir.
 - c. +5V DC gerilim; +12V DC gerilimin gerilimin, sinyal kartı için gerekli olan +5V DC sinyal kartı üzerindeki 78L05 gerilim regülatörü

ve mikrodenetleyici kontrol kartı için gerekli olan +5V DC gerilim mikrodenetleyici kontrol kartı üzerindeki LM317 gerilim regülatörü kullanılarak alçaltılması ile elde edilmiştir.

2. Osilatörler: 7400 NAND kapısı esaslı kararsız multivibratörden oluşan 1MHz ve 3MHz frekansında çalışan iki adet osilatör devresi tasarlanmıştır.
3. Modülasyon ve Tekilleme Devresi: 1MHz ve 3MHz frekansındaki osilatörlerin ürettiği sinyaller 74HC153 multiplexer entegresi yardımıyla tekillenir. 74HC00 NAND kapısı kullanılarak modülasyon sinyali ile kontrol sinyali VEDEĞİL işlemine tabi tutulur. Elde edilen kontrol sinyali kullanılarak 74HC153 multiplexer entegresinin yetkilendirme pini kontrol edilir ve modülasyon işlem yapılmış olur.

Fizyoterapi parametrelerinin belirlenmesinde, fizyoterapistlerin tecrübelerine ihtiyaç vardır. Günümüzde fizyoterapistler Aristo mantığı (1 veya 0) ile çalışırlar. Ancak hasta için en uygun parametrelerin belirlenmesinde Aristo mantığı yeterli değildir. Bu nedenle bu tez çalışmasında bulanık mantık algoritmaları kullanılarak hasta için en uygun parametreler (çıkış gücü) belirlenmektedir.

Literatürde ultrason fizyoterapi uygulaması için parametrelerin belirlenmesinde, hastanın yaşı, daha önce kaç seans ultrasonik terapi gördüğü ve doku kalınlığı tedavi değişkenleri olarak kullanılmaktadır.[27] Bu tez çalışmasında ise yukarıdaki parametrelere ek olarak, hastanın vücut kitle endeksi de kullanılmıştır. Bu dört değişkeni içeren kural tabanı oluşturulmuştur. Böylece daha güvenilir olduğunu düşündüğümüz sonuçlar elde edilmiştir. Bu değerler fantom malzeme üzerinde de denenmiş ve uygunlukları görülmüştür.

Ultrasonik terapi cihazlarında 1MHz veya 3 MHz frekansında ultrasonik dalgalar lezyonun olduğu bölgeye uygulanmaktadır. Eğer terapi uygulanacak bölgenin derinliği 1.5 ile 2.5 cm aralığında ise, 1MHz ve 3MHz'lik ultrasonik dalgalar tam anlamıyla yararlı olamamaktadır. 1.5 cm ile 2.5 cm aralığında yer alan lezyonların

terapisinde, 1MHz ve 3MHz lik ultrason dalgalarının sırayla uygulandığında başarı oranı artacağı öngörülmektedir.

Endüstriyel-PC üzerinde bulanık mantık ile terapi parametrelerinin belirlenmesini sağlayan yazılım hazırlanmıştır. Bu yazılım Visual C# programlama dili ile hazırlanmıştır. Yazılım, tıp uzmanı kullanıcının gerekli parametreleri programa yüklemesi, kaydetmesi, kartın diğer çevre birimleri ile iletişim kurulması ve BM ile gerekli terapi parametrelerinin belirlenmesi gibi görevleri yerine getirmektedir. Bu yazılım, tamamen orijinaldir.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı ile literatürde yer alan veya piyasadaki terapi cihazlarının özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı için yeni bir phantom protokol ve bu protokole uygun phantom ortam geliştirilmiştir. Geliştirilen phantom ortamın hazırlanmasında jelatin-nişasta-şeker kullanılmıştır. Az yoğun ve çok yoğun olmak üzere iki farklı doku benzeri ortam hazırlanmıştır.

İleride terapi cihazının çok-kanallı (multi-channel), pil ile çalışabilen (battery-operated) versiyonu geliştirilecektir. Geliştirilecek versiyon aynı anda birden fazla kullanıcının (multi-user) terapi uygulamasına imkan sağlayacaktır. Cihazın pil ile çalışabilir hale getirilmesi hareket güçlüğü çeken hastalara kendi evlerinde terapi uygulanabilmesine olanak sağlayacaktır.

İleride değiştirilebilir odaklı ultrason problemlerinin, ultrasonik terapi cihazlarında kullanılması incelenecektir. Değiştirilebilir odaklı ultrason problemleri kullanılarak, **ultrasonik dalgaların sadece hedef bölgeyi etkilemesi** amaçlanmaktadır. Hedef bölgeye nüfuz eden ultrason dalgaları, terapi etkinliğini artıracaktır. Böylece terapi süresi kısılacak ve terapi başarı oranı artacaktır.

Çizelge 6.1. Tasarlanan ultrasonik terapi cihazı ile literatürde yer alan veya piyasadaki terapi cihazlarının özellikleri karşılaştırılması.

	Sema ARSLAN	Ceyhan AKDAĞ	BTL-4710 Sono Topline	Ali ERBAŞ- Tasarlanan Ultrasonik Terapi Cihazı
Frekans Aralığı	-	0.880 MHz	1MHz & 3MHz	1 MHz, 3MHz & 1+3MHZ
Uzman Sistemler/ Manual	BM	Manual	Manual	BM
Terapi Parametreleri	-Hastanın yaşı -Daha önce kaç seans terapi gördüğü -Doku kalınlığı	-	-	-Hastanın yaşı -Daha önce kaç seans terapi gördüğü -Doku kalınlığı -Vücut kitle endeksi
Mixed Effect	-	-	-	Ultrasonic Mixed Effect

KAYNAKLAR

- [1]. Adapınar, B., Kaya, T., Temel Radyoloji Tekniği, Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul, 1997.
- [2]. Sarı, S., Ultrason Tarihi, http://www.serdarsari.com/sayfa/ultrason/ultrason_tarihi.htm , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [3]. Anonim, A condensed history of Ultrasound, <http://www.genesis-ultrasound.com/history-of-ultrasound.html> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [4]. Serway, R.A., Physics for Scientists & Engineers, Saunders College Publishing, Philadelphia, 1992.
- [5]. Kılıçkaya, M.S., Temel Fizik, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, <https://www.anadolu.edu.tr/aos/kitap/EHSM/1221/unite10.pdf> (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [6]. Anonim, Ses Dalgasının Fiziği, Gaziantep Üniversitesi Biyomedikal Cihaz Teknolojisi, <http://biyoogole.wordpress.com/2009/12/23/ultrasonografi> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [7]. Kalender, O., Kavalcı, R., Ultrasonografi, <http://www.odevsel.com/tip/5567/ultrasonografi.html> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [8]. Ultrasonografi, AnaBritannica, Ana Yayıncılık, İstanbul, 1994.
- [9]. Büyüktanır, A., Ultrases (Ultrasound), Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen Ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü Fizik Eğitimi Anabilim Dalı, <http://w3.gazi.edu.tr/~mkaradag/tezler/aysunbuyuktanir.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).

- [10]. Anonim, Echo Sounder, <http://www.spinabifidaturkey.com/web/echosounder/echo%20sounder.htm> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [11]. Kruskal, J.B., Newman, P.A., Sammons, L.G., Kane R.A., Optimizing Doppler and Color Flow US: Application to Hepatic Sonography, *RadioGraphics*, 24, 657-675, 2004.
- [12]. Akdağ, C., Ultrasonik Terapi Cihazı Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006.
- [13]. Anonim, Radyolojik Tetkikler, <http://www.caginerhastanesi.com.tr/radyolojik-tetkikler> ,(Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [14]. Anonim, Ultrasonografi, <http://www.turkcebilgi.com/ansiklopedi/ultrasonografi>, (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [15]. Speed, C.A., Therapeutic ultrasound in soft tissue lesions, *Rheumatology*, 40, 1331-1336, 2001.
- [16]. Malizos, K.N., Hantes, M.E., Protopappas, V., Papachristos A., Low-intensity pulsed ultrasound for bone healing: an overview, *Injury*, 37, 56-62, 2006.
- [17]. Young, S.R., Dyson, M., Effect of therapeutic ultrasound on the healing of full-thickness excised skin lesions, *Ultrasonics*, 28, 175-180, 1990.
- [18]. Clark, A.R., Feldman, S.R., Jorizzo, J.L., Ultrasonic therapy for psoriasis, *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 4, 58–61, 1995.
- [19]. Quan, K.M., Shiran M., Watmough, D.J., Applicators for generating ultrasound-induced hyperthermia in neoplastic tumours and for use in ultrasound physiotherapy, *Phys. Med. Biol.*, 34, 1719-1731, 1989.

- [20]. Pilla, A.A., Mont, M.A., Nasser, P.R., Khan, S.A., Figueiredo, M., Kaufman, J.J., Siffert, R.S., Non-invasive low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone healing in the rabbit, *J. Orthop. Trauma*, 4, 246-253, 1990.
- [21]. Ebbini, E.S., Seip, R., Iasemidis, I., O'Donnell, M., Cain, C.A., Cancer treatment with high intensity focused ultrasound: A combined therapy/imaging system for precision non-invasive lesion formation, 14th. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1, 352-353, 1992.
- [22]. Corry, P.M., Jabboury, K., Armour, E.P., Kong, J.S. , Human Cancer Treatment with Ultrasound, *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, 31, 444-456, 1984.
- [23]. Haar, G.T., Dyson, M., Oakley E.M., The use of ultrasound by physiotherapists in Britain, *Ultrasound in Medicine & Biology* , 13, 659–663, 1987.
- [24]. Dyson, M., Brookes, M., Stimulation of bone repair by ultrasound, *Ultrasound Med. Biol.*, 2, 61-66, 1983.
- [25]. Emsen, I.M., The effect of ultrasound on flap survival: An experimental study in rats, *Burns*, 33, 369–371, 2007.
- [26]. Baker, K.G., Robertson, V.J., Duck, F.A., A Review of Therapeutic Ultrasound: Biophysical Effects, *Physical Therapy*, 81, 1351-1358, 2001.
- [27]. Arslan, S., Ultrasonik Terapi Cihazının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.

- [28]. Yardımcı, A., Çelik, O., Ultrasound Intensity and Treatment Time Fuzzy Logic Control System for Low Cost Effective Ultrasound Therapy Devices, Computational Intelligence, Theory and Applications Advances in Soft Computing, 33, 797-807, 2005.
- [29]. Anonim, Physical Therapy, http://en.wikipedia.org/wiki/Physical_therapy , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [30]. Anonim, Fizik tedavi nedir?, <http://fiziktedavi.nedir.com> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [31]. Watson, T., University of Hertfordshire, <http://www.electrotherapy.org/downloads/Modalities/US%20dose%20chart%20Jan%202012.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [32]. Anonim, Deri Bilgisi, <http://www.itf.istanbul.edu.tr/dermatoloji/derbilgi.htm> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [33]. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2006.
- [34]. Anonim, Artificial Intelligence , http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [35]. Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Inform. and Control, 8, 338-353, 1965.
- [36]. Şen, Z., Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri, Su Vakfı, İstanbul, 2004.
- [37]. PIC18F452 Data Sheet , Microchip Technology, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).

- [38]. Choosing the Right RS-232 Transceiver, Maxim Integrated, <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/2020> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [39]. AN-181 3-Terminal Regulator is Adjustable, Texas Instruments, <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-118.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [40]. Javier Macias, Crystal Oscillator Circuits , <http://www-gth.die.upm.es/~macias/docencia/datasheets/osc-clock/circuits.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [41]. TC4426/27/28 System Design Practice, Microchip Technology, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00797a.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [42]. Matching MOSFET Drivers to MOSFETs , Microchip Technology, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00799a.pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [43]. Ti Digital Isolator Design Guide, Texas Instruments , <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?literatureNumber=slla284&fileType=pdf> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [44]. Anonim, Obezite Nasıl Saptanır?, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Obezite-Diyabet ve Metabolik Hastalıklar Daire Başkanlığı, <http://www.beslenme.gov.tr/index.php?lang=tr&page=43> , (Erişim tarihi: 13.07.2012).
- [45]. Anonim, Türkiye Demografik Verileri, http://tuyev.org/etkinlikler/index.php?menu1_id=3&menu2_id=12&menu3_id=6 , (Erişim tarihi: 13.07.2012).

- [46]. Yılmaz, M., Arslan, E., Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, 2005.
- [47]. Ophir, J., Ultrasound phantom material, British Journal of Radiology, 57, 1161, 1984.
- [48]. Bude, R.O., Adler, R.S., An Easily Made, Low-Cost, Tissue-Like Ultrasound Phantom Material, J. Clin. Ultrasound, 23, 271-273, 1995.

EKLER

EK. 1. Üyelik Fonksiyonları İçin Hazırlanan Kural Tabanı

1. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü: Çok Az
2. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü: Çok Az
3. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü: Çok Az
4. Eğer Hastanın Yaşı, Bebek ise ve Doku Kalınlığı, Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü: Çok Az
5. Eğer Hastanın Yaşı, Bebek ise ve Doku Kalınlığı, Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü: Az
6. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
7. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
8. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
9. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az
10. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
11. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
12. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
13. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
14. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az
15. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az
16. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
17. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
18. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
19. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
20. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

21. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
22. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
23. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
24. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
25. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
26. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
27. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
28. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
29. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
30. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
31. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
32. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
33. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
34. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
35. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
36. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
37. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
38. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
39. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
40. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
41. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
42. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az

43. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
44. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
45. Eğer Hastanın Yaşı Bebek ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
46. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
47. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
48. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
49. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
50. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
51. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
52. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
53. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
54. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
55. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
56. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
57. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
58. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
59. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
60. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
61. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
62. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
63. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
64. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta

65. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
66. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
67. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
68. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
69. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
70. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
71. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
72. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
73. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
74. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
75. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
76. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
77. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
78. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
79. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
80. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
81. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
82. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
83. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
84. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
85. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
86. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az

87. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
88. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
89. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
90. Eğer Hastanın Yaşı Çocuk ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta

91. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
92. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
93. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
94. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
95. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

96. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
97. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
98. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
99. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
100. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

101. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
102. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
103. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
104. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az
105. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

106. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
107. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
108. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az

109. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
110. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
111. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
112. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
113. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
114. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
115. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
116. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
117. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
118. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
119. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az
120. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az
121. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
122. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
123. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
124. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
125. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
126. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
127. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
128. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
129. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
130. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

131. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
132. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
133. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
134. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
135. Eğer Hastanın Yaşı Genç ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Az

136. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
137. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
138. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
139. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
140. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta

141. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
142. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
143. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
144. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
145. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta

146. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
147. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
148. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Az
149. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Az
150. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Az

151. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
152. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta

153. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
154. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
155. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
156. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
157. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
158. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
159. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
160. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
161. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Az
162. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
163. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Az
164. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
165. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
166. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
167. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
168. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
169. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
170. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
171. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
172. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
173. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
174. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi
Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla

175. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
176. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
177. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
178. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
179. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Orta
180. Eğer Hastanın Yaşı Yetişkin ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
181. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
182. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
183. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
184. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
185. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
186. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
187. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
188. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
189. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
190. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
191. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Az
192. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
193. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
194. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
195. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Yüzeysel ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
196. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Fazla

197. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
198. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
199. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
200. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
201. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
202. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
203. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Orta
204. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
205. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
206. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
207. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
208. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
209. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
210. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Orta ise ve Terapi Sayısı
Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
211. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
212. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
213. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
214. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
215. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Az ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
216. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
217. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Fazla
218. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı
Orta ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Çok Fazla

219. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
220. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Orta ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla
221. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
222. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Zayıf ise Çıkış Gücü : Orta
223. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Normal ise Çıkış Gücü : Fazla
224. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Şişman ise Çıkış Gücü : Fazla
225. Eğer Hastanın Yaşı Yaşlı ise ve Doku Kalınlığı Derin ise ve Terapi Sayısı Fazla ise ve VKİ Çok Şişman ise Çıkış Gücü : Çok Fazla

EK. 2. US Terapi Cihazı IPC Yazılımı Bazı Kod Örnekleri

Veri girişi ve hatalı veri girişi mesajları;

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double yas, kalinlik, seans, kilo, boy, cikis_gucu = 0,
    duty_cycle = 0;
    int i, j, k, l, m, hata;
    double[,] cikis_deger = new double[225, 2];
    double[] yas_deger = new double[5] { 0, 0, 0, 0, 0 };
    double[] kalinlik_deger = new double[3] { 0, 0, 0 };
    double[] seans_deger = new double[3] { 0, 0, 0 };
    double[] bmi_deger = new double[5] { 0, 0, 0, 0, 0 };
    double pay, payda, bmi = 0;
    string frekans = "1";

    if (textBox1.TextLength == 0)
    {
        MessageBox.Show("Please define Patient Age");
        hata = 1;
        goto son;
    }
    if (textBox2.TextLength == 0)
    {
        MessageBox.Show("Please define The Thickness of
Patients Tissue");
        hata = 1;
        goto son;
    }

    if (textBox3.TextLength == 0)
    {
        MessageBox.Show("Please define Previously Taken
Ultrasonic Therapy");
        hata = 1;
        goto son;
    }

    if (textBox4.TextLength == 0)
    {
        MessageBox.Show("Please define Patient Weight");
        hata = 1;
        goto son;
    }

    if (textBox5.TextLength == 0)
    {
        MessageBox.Show("Please define Patient Height");
        hata = 1;
        goto son;
    }

    yas = Convert.ToDouble(textBox1.Text);
    kalinlik = Convert.ToDouble(textBox2.Text);
    seans = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
```

```

        kilo = Convert.ToDouble(textBox4.Text);
        boy = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
        bmi = 10000 * kilo / (boy * boy);
    }
}

```

Bulanıklaştırma işlemi;

```

// yaş
if (yas >= 0 && yas <= 1.5)//bebek
    yas_deger[0] = (double)1;

if (yas > 1.5 && yas <= 3)//bebek
    yas_deger[0] = (double)(3 - yas) / (3 - 1.5);

if (yas > 2 && yas <= 9)//cocuk
    yas_deger[1] = (double)(yas - 2) / (9 - 2.0);

if (yas > 9 && yas <= 16)//cocuk
    yas_deger[1] = (double)(16 - yas) / (16 - 9.0);

if (yas > 14 && yas <= 19)//genc
    yas_deger[2] = (double)(yas - 14) / (19 - 14.0);

if (yas > 19 && yas <= 24)//genç
    yas_deger[2] = (double)(24 - yas) / (24 - 19.0);

if (yas > 22 && yas <= 35)//yetiskin
    yas_deger[3] = (double)(yas - 22) / (35 - 22.0);

if (yas > 35 && yas <= 50)//yetiskin
    yas_deger[3] = (double)(50 - yas) / (50 - 35.0);

if (yas > 45 && yas <= 60)//yaşlı
    yas_deger[4] = (double)(yas - 45) / (60 - 45.0);

if (yas > 60)// yaşlı
    yas_deger[4] = (double)1;

// doku kalınlığı
if (kalinlik >= 0 && kalinlik <= 1.5)//yuzeysel
    kalinlik_deger[0] = (double)1;

if (kalinlik > 1.5 && kalinlik <= 2.5)//yzeysel
    kalinlik_deger[0] = (double)(2.5 - kalinlik) / (2.5
- 1.5);

if (kalinlik > 1.5 && kalinlik <= 3)//orta

```

```

        kalinlik_deger[1] = (double)(kalinlik - 1.5) / (3 -
1.5);

    if (kalinlik > 3 && kalinlik <= 5)//orta
        kalinlik_deger[1] = (double)(5 - kalinlik) / (5 -
3.0);

    if (kalinlik > 4 && kalinlik <= 5.5)//kalın
        kalinlik_deger[2] = (double)(kalinlik - 4) / (5.5 -
4.0);

    if (kalinlik > 5.5)//kalın
        kalinlik_deger[2] = (double)1;

//seans sayısı

    if (seans >= 0 && seans <= 4)//az
        seans_deger[0] = (double)1;

    if (seans > 4 && seans <= 8)//az
        seans_deger[0] = (double)(8 - seans) / (8 - 4.0);

    if (seans > 3.5 && seans <= 10)//orta
        seans_deger[1] = (double)(seans - 3.5) / (10 - 3.5);

    if (seans > 10 && seans <= 17)//orta
        seans_deger[1] = (double)(17 - seans) / (17 - 10.0);

    if (seans > 14 && seans <= 16)//çok
        seans_deger[2] = (double)(seans - 14) / (16 - 14.0);

    if (seans > 16)//çok
        seans_deger[2] = (double)1;

//vücut kitle indexi

    if (bmi >= 0 && bmi <= 16)//aşırı zayıf
        bmi_deger[0] = (double)1;

    if (bmi > 16 && bmi <= 17)//aşırı zayıf
        bmi_deger[0] = (double)(17 - bmi) / (17 - 16.0);

    if (bmi > 16 && bmi <= 17.5)//zayıf
        bmi_deger[1] = (double)(bmi - 16) / (17.5 - 16.0);

    if (bmi > 17.5 && bmi <= 18.5)//zayıf
        bmi_deger[1] = (double)(18.5 - bmi) / (18.5 - 17.5);

    if (bmi > 18 && bmi <= 21)//normal
        bmi_deger[2] = (double)(bmi - 18) / (21 - 18.0);

    if (bmi > 21 && bmi <= 25)//normal
        bmi_deger[2] = (double)(25 - bmi) / (25 - 21.0);

```

```

if (bmi > 24 && bmi <= 27.5)//hafif şişman
    bmi_deger[3] = (double)(bmi - 24) / (27.5 - 24.0);

if (bmi > 27.5 && bmi <= 32)//hafif şişman
    bmi_deger[3] = (double)(32 - bmi) / (32 - 27.5);

if (bmi > 30 && bmi <= 32)//şişman
    bmi_deger[4] = (double)(bmi - 30) / (32 - 30.0);

if (bmi > 32)//şişman
    bmi_deger[4] = (double)1;
}

```

Ağırlıklı ortalama yöntemi için çıkış üyelik fonksiyonları ağırlık merkezleri değerleri;

```

//cikisdeger ilk satır
{
    double cok_az = 10.0, az = 30.0, orta = 50.0, fazla
= 70.0, cok_fazla = 90.0;

    cikis_deger[0, 1] = cok_az;
    cikis_deger[1, 1] = cok_az;
    cikis_deger[2, 1] = cok_az;
    cikis_deger[3, 1] = cok_az;
    cikis_deger[4, 1] = az;

    cikis_deger[5, 1] = cok_az;
    cikis_deger[6, 1] = cok_az;
    cikis_deger[7, 1] = cok_az;
    cikis_deger[8, 1] = cok_az;
    cikis_deger[9, 1] = az;

    cikis_deger[10, 1] = cok_az;
    cikis_deger[11, 1] = cok_az;
    cikis_deger[12, 1] = cok_az;
    cikis_deger[13, 1] = cok_az;
    cikis_deger[14, 1] = cok_az;

    cikis_deger[15, 1] = az;
    cikis_deger[16, 1] = az;
    cikis_deger[17, 1] = az;
    cikis_deger[18, 1] = az;
    cikis_deger[19, 1] = az;

    cikis_deger[20, 1] = cok_az;
    cikis_deger[21, 1] = cok_az;
    cikis_deger[22, 1] = cok_az;
    cikis_deger[23, 1] = az;
    cikis_deger[24, 1] = az;
}

```

cikis_deger[25, 1] = cok_az;
cikis_deger[26, 1] = cok_az;
cikis_deger[27, 1] = cok_az;
cikis_deger[28, 1] = az;
cikis_deger[29, 1] = az;

cikis_deger[30, 1] = az;
cikis_deger[31, 1] = az;
cikis_deger[32, 1] = az;
cikis_deger[33, 1] = orta;
cikis_deger[34, 1] = orta;

cikis_deger[35, 1] = orta;
cikis_deger[36, 1] = orta;
cikis_deger[37, 1] = orta;
cikis_deger[38, 1] = orta;
cikis_deger[39, 1] = orta;

cikis_deger[40, 1] = az;
cikis_deger[41, 1] = az;
cikis_deger[42, 1] = az;
cikis_deger[43, 1] = orta;
cikis_deger[44, 1] = orta;

cikis_deger[45, 1] = az;
cikis_deger[46, 1] = az;
cikis_deger[47, 1] = orta;
cikis_deger[48, 1] = orta;
cikis_deger[49, 1] = orta;

cikis_deger[50, 1] = az;
cikis_deger[51, 1] = az;
cikis_deger[52, 1] = az;
cikis_deger[53, 1] = az;
cikis_deger[54, 1] = az;

cikis_deger[55, 1] = cok_az;
cikis_deger[56, 1] = cok_az;
cikis_deger[57, 1] = cok_az;
cikis_deger[58, 1] = az;
cikis_deger[59, 1] = az;

cikis_deger[60, 1] = az;
cikis_deger[61, 1] = az;
cikis_deger[62, 1] = az;
cikis_deger[63, 1] = orta;
cikis_deger[64, 1] = orta;

cikis_deger[65, 1] = az;
cikis_deger[66, 1] = orta;
cikis_deger[67, 1] = orta;
cikis_deger[68, 1] = az;
cikis_deger[69, 1] = az;

cikis_deger[70, 1] = az;
cikis_deger[71, 1] = az;
cikis_deger[72, 1] = az;
cikis_deger[73, 1] = orta;
cikis_deger[74, 1] = orta;

cikis_deger[75, 1] = orta;
cikis_deger[76, 1] = orta;
cikis_deger[77, 1] = fazla;
cikis_deger[78, 1] = fazla;
cikis_deger[79, 1] = fazla;

cikis_deger[80, 1] = orta;
cikis_deger[81, 1] = orta;
cikis_deger[82, 1] = orta;
cikis_deger[83, 1] = orta;
cikis_deger[84, 1] = fazla;

cikis_deger[85, 1] = az;
cikis_deger[86, 1] = az;
cikis_deger[87, 1] = orta;
cikis_deger[88, 1] = orta;
cikis_deger[89, 1] = orta;

cikis_deger[90, 1] = cok_az;
cikis_deger[91, 1] = cok_az;
cikis_deger[92, 1] = az;
cikis_deger[93, 1] = az;
cikis_deger[94, 1] = az;

cikis_deger[95, 1] = cok_az;
cikis_deger[96, 1] = cok_az;
cikis_deger[97, 1] = cok_az;
cikis_deger[98, 1] = az;
cikis_deger[99, 1] = az;

cikis_deger[100, 1] = cok_az;
cikis_deger[101, 1] = cok_az;
cikis_deger[102, 1] = cok_az;
cikis_deger[103, 1] = cok_az;
cikis_deger[104, 1] = az;

cikis_deger[105, 1] = cok_az;
cikis_deger[106, 1] = cok_az;
cikis_deger[107, 1] = az;
cikis_deger[108, 1] = az;
cikis_deger[109, 1] = az;

cikis_deger[110, 1] = cok_az;
cikis_deger[111, 1] = cok_az;
cikis_deger[112, 1] = cok_az;
cikis_deger[113, 1] = az;
cikis_deger[114, 1] = az;

cikis_deger[115, 1] = cok_az;
cikis_deger[116, 1] = cok_az;
cikis_deger[117, 1] = cok_az;
cikis_deger[118, 1] = cok_az;
cikis_deger[119, 1] = az;

```
cikis_deger[120, 1] = az;  
cikis_deger[121, 1] = az;  
cikis_deger[122, 1] = orta;  
cikis_deger[123, 1] = orta;  
cikis_deger[124, 1] = orta;  
  
cikis_deger[125, 1] = cok_az;  
cikis_deger[126, 1] = az;  
cikis_deger[127, 1] = orta;  
cikis_deger[128, 1] = orta;  
cikis_deger[129, 1] = az;  
  
cikis_deger[130, 1] = cok_az;  
cikis_deger[131, 1] = cok_az;  
cikis_deger[132, 1] = az;  
cikis_deger[133, 1] = az;  
cikis_deger[134, 1] = cok_az;  
  
cikis_deger[135, 1] = az;  
cikis_deger[136, 1] = az;  
cikis_deger[137, 1] = orta;  
cikis_deger[138, 1] = orta;  
cikis_deger[139, 1] = orta;  
  
cikis_deger[140, 1] = cok_az;  
cikis_deger[141, 1] = cok_az;  
cikis_deger[142, 1] = az;  
cikis_deger[143, 1] = az;  
cikis_deger[144, 1] = orta;  
  
cikis_deger[145, 1] = cok_az;  
cikis_deger[146, 1] = cok_az;  
cikis_deger[147, 1] = cok_az;  
cikis_deger[148, 1] = az;  
cikis_deger[149, 1] = az;  
  
cikis_deger[150, 1] = orta;  
cikis_deger[151, 1] = orta;  
cikis_deger[152, 1] = fazla;  
cikis_deger[153, 1] = fazla;  
cikis_deger[154, 1] = fazla;  
  
cikis_deger[155, 1] = az;  
cikis_deger[156, 1] = orta;  
cikis_deger[157, 1] = orta;  
cikis_deger[158, 1] = fazla;  
cikis_deger[159, 1] = fazla;  
  
cikis_deger[160, 1] = cok_az;  
cikis_deger[161, 1] = az;  
cikis_deger[162, 1] = az;  
cikis_deger[163, 1] = orta;  
cikis_deger[164, 1] = orta;  
  
cikis_deger[165, 1] = orta;  
cikis_deger[166, 1] = fazla;  
cikis_deger[167, 1] = fazla;  
cikis_deger[168, 1] = cok_fazla;  
cikis_deger[169, 1] = cok_fazla;
```



```
cikis_deger[170, 1] = orta;
cikis_deger[171, 1] = orta;
cikis_deger[172, 1] = orta;
cikis_deger[173, 1] = fazla;
cikis_deger[174, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[175, 1] = az;
cikis_deger[176, 1] = orta;
cikis_deger[177, 1] = orta;
cikis_deger[178, 1] = orta;
cikis_deger[179, 1] = fazla;

cikis_deger[180, 1] = fazla;
cikis_deger[181, 1] = fazla;
cikis_deger[182, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[183, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[184, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[185, 1] = fazla;
cikis_deger[186, 1] = fazla;
cikis_deger[187, 1] = fazla;
cikis_deger[188, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[189, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[190, 1] = az;
cikis_deger[191, 1] = orta;
cikis_deger[192, 1] = orta;
cikis_deger[193, 1] = fazla;
cikis_deger[194, 1] = fazla;

cikis_deger[195, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[196, 1] = fazla;
cikis_deger[197, 1] = orta;
cikis_deger[198, 1] = fazla;
cikis_deger[199, 1] = fazla;

cikis_deger[200, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[201, 1] = fazla;
cikis_deger[202, 1] = orta;
cikis_deger[203, 1] = fazla;
cikis_deger[204, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[205, 1] = fazla;
cikis_deger[206, 1] = fazla;
cikis_deger[207, 1] = fazla;
cikis_deger[208, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[209, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[210, 1] = fazla;
cikis_deger[211, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[212, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[213, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[214, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[215, 1] = fazla;
```

```
cikis_deger[216, 1] = fazla;
cikis_deger[217, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[218, 1] = cok_fazla;
cikis_deger[219, 1] = cok_fazla;

cikis_deger[220, 1] = orta;
cikis_deger[221, 1] = orta;
cikis_deger[222, 1] = fazla;
cikis_deger[223, 1] = fazla;
cikis_deger[224, 1] = cok_fazla;
```

```
}
```

Terapiyi durdur ve cihazı kapat fonksiyonları;

```
private void dur()
{
    if (!serialPort1.IsOpen)
    {
        serialPort1.Open();
    }
    serialPort1.Write("S");
    serialPort1.Close();
}

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    DialogResult dialogResult = MessageBox.Show("Are you
sure?", "The Device Will Close!", MessageBoxButtons.YesNo);
    if (dialogResult == DialogResult.Yes)
    {
        dur();
        System.Diagnostics.Process.Start("shutdown.exe", "-s
-t 0");
    }
}
```

EK. 3. US Terapi Cihazı Mikrodenetleyici Yazılımı Kod Örnekleri

```
#include "init.h" // included by C-Wiz
#include<delay.c>
#include<htc.h>
#include<serial.c>

void bekle(unsigned int);
void ultrason(unsigned int , unsigned int );
void stop(void);
void main(void){

    unsigned int i, j, duty, frekans;
    unsigned char dizi[4];
        init(); // Function call inserted by C-Wiz

        TRISC=0b10000000;
        TRISD=0;
        PORTC=0;
        PORTD=0;

PR2 = 0b11001111 ;
T2CON = 0b00000111 ;
CCPR1L = 0b00000000 ;
CCP1CON = 0b00001100 ;

    for(i=0;i<4;i++)
    {
        dizi[i]=getch();
        if(dizi[0]=='S')
            break;
    }

    if(dizi[0]=='S')
        stop();

    else
    {
        for(i=0;i<4;i++)
        {
            dizi[i]=dizi[i]-'0';
        }
        frekans=dizi[0];
        duty=100*dizi[1]+10*dizi[2]+dizi[3];
        ultrason( duty , frekans);
    }
}

void ultrason(unsigned int duty, unsigned int frekans)
{
    unsigned char yuksek, dusuk;

    CCP1L = (int)(duty*1.28);
```

```

    if(frekans == 1)
    {
        RD1=1;
        RD3=0;
    }
    if(frekans == 3)
    {
        RD1=0;
        RD3=1;
    }

    if(frekans ==2)
    {
        RD7=1;
        RD0=1;
        bekle(1);
        RD2=1;

        for(;;)
        {
            RD1=1;
            DelayMs(10);
            RD1=0;
            DelayMs(10);
            if(RCIF==1 && RCREG=='S')
            {
                stop();
                goto son;
            }
        }

        RD0=1;
        bekle(1)
        RD2=1;
        RD7=1;
        son;;
    }

void bekle(unsigned int x)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<4*x;i++)
        DelayMs(250);
}

void stop(void)
{
    RD0=0;
    RD2=0;
    RD1=0;
    RD3=0;
    RD7=0;
}

```

EK. 4. Tezde Yer Alan Bazı Medikal Terimler

gigli testere: Ameliyatlarda kemik kesmek için kullanılan tel şeklindeki testere

ossifikasyon: Kemik oluşumu süreci

morbitlik: Aşırı şişmanlık

kallus oluşumu: Kemik kırıklarında iyileşme süreçlerinden birisi.

transkütan: Deriden geçebilen.

sham tedavi: Klinik çalışmalarda bir gruba plasebo maddeler uygulanması.

distraction osteogenesis: İskeletteki şekil bozukluklarını gidermek için kemiklerin yeniden şekillendirilmesi işlemi.

ultrasonik debridman: Ultrason esaslı yöntemlerle iyileşme sürecindeki iltihaplanmış yaralı dokuların temizlenmesi işlemi.

selülarite: Bir dokuda yer alan hücrelerin türü ve miktarı.

proliferatif: Çoğalmayı ivmelendiren.

fibula: Baldır kemiği.

fibula osteomisi: Baldır kemiğinin tıbbi amaçlarla kesilmesi veya bir kısmının çıkarılması işlemi.

ablasyon: Bir dokunun cerrahi bir girişimle alınması, bazı cerrahi aletlerle buharlaştırılması.

juvenil: Yeni oluşmuş, oluşumunu tamamlamamış.