



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**ULTRASONİK DALGALAR VE FİZİK TEDAVİ  
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan EROL

156301103

Danışman :Prof. Dr. Osman YILDIRIM

İstanbul, 2017



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

**ULTRASONİK DALGALAR VE FİZİK TEDAVİ  
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Orhan EROL**

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Ultrasonik Dalgalar ve Fizik Tedavi Uygulamaları” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.



17.08.2017

ORHAN EROL

## ONAY

Tezimin/ kağıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumun 6 yıl erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

17.08.2017

Orhan EROL

## ÖZET

### ULTRASONİK DALGALAR VE FİZİK TEDAVİ UYGULAMALARI

Orhan EROL

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIRIM

Ağustos, 2017- 110 Sayfa

Tıptan Endüstriyel alanlara kadar bir çok yerde tahribatsız yöntemler gerekli olduğunda Ultrasonik Dalgalar kullanılmaktadır. Örneğin çalışma yaşamında ellerini ve parmaklarını çok fazla kullanan kişilerde zamanla Karpal Tünel Sendromu rahatsızlığı meydana gelebilmektedir. Karpal Tünel sendromu gibi fiziksel rahatsızlıklar Ultrasonik dalgaları kullanan cihazlarla tedavi edilmeye çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Ultrasonik dalgalar yardımıyla Karpal Tünel sendromu tedavisi yapabilen mevcut halde 1 Mhz ile 3 Mhz frekans bölgesi aralıklarında Ultrasonik dalgaların difüzyon derinliğini ortaya koymak amacıyla Python yazılım kodlarıyla hesaplar yapılmıştır. Bilek kalınlıkları ve bilek kas yapıları kişiden kişiye farklılıklar gösterdiğinden Ultrasonik dalganın difüzyon derinliği değişecek ve dolayısıyla Karpal tünel sendromu fizik tedavisi amacına ulaşmayabilecektir. Bu çalışma ile halen hastanelerde kullanılan 1 Mhz ve 3 Mhz frekanslarının dışındaki frekanslarda Karpal Tünel tedavisinin olabileceği dikkat çekilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karpal Tünel Sendromu, Ultrasonik Dalgalar, Difüzyon Derinliği, Python Kodu

## **ABSTRACT**

### **ULTRASONIC WAVES AND PHYSICAL TREATMENT APPLICATIONS**

**Orhan EROL**

**Master Thesis, Department of Electric-Electronic Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Osman YILDIRIM**

**August, 2017- 110 Pages**

Ultrasonic waves are used where non-destructive methods are required areas such as medicine, engineering and so on. For example, people who use their hands and fingers too much in their workplace they may suffer from Carpal Tunnel Syndrome. Physical disorders such as Carpal Tunnel Syndrome are being tried to be treated with devices using ultrasonic waves.

The aim of this thesis study is to calculate the depth of ultrasonic waves diffusing in 1 Mhz to 3 Mhz frequency range, which is capable of treating Carpal Tunnel syndrome. To end, Python software codes are used to indicate the skin depth. Because the thickness of the wrists and wrist muscles show differences from person to person, the depth of diffusion of the ultrasonic waveguide will change. Therefore, the carpal tunnel syndrome may not reach the purpose of physical therapy. In this study, attention is drawn to the possible treatments of Carpal Tunnel therapy in frequencies outside the 1 Mhz and 3 Mhz frequencies currently used in hospitals.

**Key Words:** Carpal Tunnel Syndrome, Ultrasonic Waves, Skin Depth, Python Cod

## ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken bana yardımcı olan ve çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman YILDIRIM' a, ayrıca lisans ve lisansüstü öğrenim süresince bilgi ve tecrübelerini paylaşan diğer hocalarıma çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak beni hep destekleyen ve hep yanımda olan aileme, eşim Nurhan EROL'a ve oğlum Efehan EROL 'a yürekten teşekkür ederim.

**İstanbul, 2017**

**Orhan EROL**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	V
ABSTRACT .....	VI
ÖNSÖZ .....	VII
TABLolar LİSTESİ .....	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	XIII
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ .....	XIV

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1.1. Problemin Tespiti .....	2
1.2. Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Araştırmanın Metodolojisi.....	2
1.4. Ünitelerin Planı.....	3

## İKİNCİ BÖLÜM

### ULTRASON VE ULTRASONİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Ultrason Kavramı ve Tanımı .....	4
2.2. Ultrason Üretimi .....	9
2.3. Ultrasonunun Özellikleri .....	10
2.4. Ultrasonun Temel Prensipleri.....	11
2.5. Ultrasonun Fizyolojik Etkileri .....	12
2.5.1. Termal Etkiler.....	12
2.5.1.1. Dokularda Isı Dağılımı .....	13



2.5.1.2. Etkilenen Dokular.....	14
2.5.2. Termal Olmayan Etkiler .....	15
2.6. Ultrasonun Hedef Dokudaki Etkinliği İle İlgili Faktörler .....	15
2.6.1. Frekans.....	15
2.6.2. Yoğunluk .....	17
2.7. Ultrasonik Terapi Cihazı ve Temel Prensipler .....	23
2.8. Ultrasonik Ölçüm Yöntemleri .....	23
2.8.1. A-Mod (genlik) ultrasonik yöntem.....	23
2.8.2. B-Mod (parlaklık) ultrasonik yöntem.....	23
2.8.3. M-Mod (hareket) ultrasonik yöntem .....	24
2.9. Ultrasonik Dalgalar.....	24
2.10. Ultrasonik Dalgaların Fiziksel Karakteristikleri.....	24

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### FİZİK TEDAVİ YÖNTEMLERİ VE KARPAL TÜNEL TEDAVİSİ

3.1. Fizik Tedavi Tanımı ve Tarihçesi.....	26
3.2. Fizik Tedavi Yöntemleri.....	28
3.2.1. Isı (Sıcak Tedavisi) .....	28
3.2.2. Soğuk Tedavisi .....	28
3.2.3. Masaj Tedavisi.....	28
3.2.4. Lazer Tedavisi .....	29
3.2.5. Hidroterapi Tedavisi .....	29
3.2.6. Elektrik Akımları Tedavisi .....	29
3.2.7. Ultrason Tedavisi.....	30
3.3. Ultrasonik Dalgaların Fizik Tedavideki Rolü .....	30

3.4. Karpal Tünel Tedavisi .....	31
3.4.1. Tanımı.....	31
3.4.2. Tarihçesi .....	33
3.4.3. Epidemiyoloji .....	34
3.4.4. Patofizyoloji.....	34
3.4.5. Etyoloji .....	37
3.4.6. Semptomlar ve Fizik Muayene.....	39
3.4.7. Elektrofizyolojik Yöntemler.....	41
3.4.8. Ultrasonografik İnceleme .....	43
3.5. Karpal Tünel Tedavisinde Fizik Tedavinin Yeri ve Önemi .....	46
3.6. Karpal Tünel Tedavisinde Uygulanan Fizik Tedavi Yöntemleri .....	48
3.6.1. Düşük Doz Lazer Tedavisi .....	49
3.6.2. Terapötik Ultrason Tedavisi .....	49
3.6.3. Fonoforez Tedavisi .....	51
3.6.4. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS).....	51
3.7. Karpal Tünel Sendromunda Splintleme .....	51
3.8. Karpal Tünel Sendromunda Egzersiz .....	55

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **KARPAL TÜNEL TEDAVİSİNDE KLİNİK SEMPTOMLAR VE BULGULAR**

4.1. Klinik.....	59
4.2. Karpal Tünel Sendromunda Tanı Kriterleri.....	59
4.2.1. Anamnez.....	60
4.2.2. Fizik Muayene .....	61
4.2.3. Elektrofizyolojik Yöntemler.....	62
4.2.4. Radyolojik Yöntemler .....	62

4.2.4.1. Direkt Grafi.....	62
4.2.4.2. Bilgisayarlı Tomografi .....	63
4.2.4.3. Manyetik Rezonans Görüntüleme .....	63
4.2.4.4. Ultrasonografi .....	64
4.3. İğne İMGE İncelemesi.....	66
4.4. Karpal Tünel Sendromunda Tedavi.....	66
4.4.1. Medikal Tedavi.....	67
4.4.2. Cerrahi Tedavi .....	68
4.5. Karpal Tünel Tedavisinde Klinik Semptomlar ve Klinik Bulgular.....	68
4.5.1. Duyusal bozukluklar.....	70
4.5.2. Motor bozukluklar .....	71
4.6. Karpal Tünel Tedavisinde Provokatif Testler .....	71
4.6.1. Phalen Testi .....	71
4.6.2. Tinel Testi.....	72
4.6.3. Karpal Kompresyon Testi.....	72
4.6.4. Turnike Testi.....	73
4.6.5. Yumruk Sıkma Testi.....	73
4.7. Karpal Tünel Tedavisinde Bulgular .....	73
4.7.1. Elektrodiagnostik Test.....	73
4.7.2. Manyetik Rezonans Görüntüleme .....	74
4.7.3. Ultrasonografi .....	75
4.8. Karpal Tünel sendromunda difüzyon derinliğinin hesaplanması .....	76
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....	92
KAYNAKLAR .....	93
ÖZGEÇMİŞ .....	96

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Frekansa Göre Uygulama Alanları.....	22
Tablo 2: Değişik Frekanslara Göre Difüzyon Derinliği .....	79



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Ses Frekansları .....	18
Şekil 2: Piezoelektrik Etkisi .....	19
Şekil 3: Karpal Tünel Düzeyinin Kesitsel Şematik Görüntüsü .....	58
Şekil 4: Frekans ile Derinlik İlişkisi .....	91



## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<b>US</b>	: Ultrasonografi
<b>MRI</b>	: Manyetik rezonans görüntüleme
<b>A-mod</b>	: Genlik mod
<b>B-mod</b>	: Parlaklık mod
<b>M-mod</b>	: Hareket mod
<b>CW</b>	: Sürekli dalga
<b><math>\Theta</math></b>	: Ultrasonik dalganın normalle yaptığı açı
<b>c</b>	: Ultrasonun yayılma hızı (m/s)
<b>E</b>	: Esaltikiyet $\epsilon$ Dielektrik sabit
<b>f</b>	: Ultrasonun frekansı
<b>g</b>	: Alma katsayısı
<b>h</b>	: İletim katsayısı
<b>K</b>	: Sıkıştırılabilirlik
<b>R</b>	: Doku kalınlığı
<b>T</b>	: Ultrason dalgasının periyodu
<b>t</b>	: Ultrasonik dalganın uçuş süresi
<b><math>\beta</math></b>	: Sıkıştırılmazlık
<b><math>\lambda</math></b>	: Dalgaboyu
<b><math>\rho</math></b>	: Ortam yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )
<b><math>\delta</math></b>	: Girişkenlik Derinliği
<b><math>\mu</math></b>	: Manyetik Geçirgenlik
<b><math>\mu_0</math></b>	: Boşluğun Manyetik Geçirgenliği= $4\pi 10^{-7}$ [Henry/meter]
<b><math>\mu_r</math></b>	: Bağlı Manyetik Geçirgenlik
<b><math>\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0</math></b>	: Dielektrik sabiti
<b><math>\epsilon_0</math></b>	: Boşluğun Dielektrik sabiti = $8.854 \times 10^{-12}$ [Farad/meter]
<b><math>\epsilon_r</math></b>	: Bağlı Dielektrik sabiti

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Fizik tedavi, hastalıkların veya yaraların sadece ilaçlarla değil bunun yanında mekanik etkiler, ısı, ışık gibi fiziksel etki çeşitlerinin kullanılmasıdır. Fizik tedavideki sıcak uygulama ile hücrelerdeki ısı artışı, o bölgedeki kan akışını ve kılcal damar zarlarının geçirgenliğini artırır. Artan ısı, elastikliğin artmasına ve sızı hissini azalmasına sebep olur.

Ultrason cihazı yüksek frekanslı ses dalgaları üreten mekanik yapıları cihazlar olduklarından katı ve sıvı ortamlarda yayılım göstermektedir. Bu dalgalar geçtikleri dokulardan yansıyarak veya emilerek ısı enerjisine dönüşürler. Ultrasonik dalganın uygulandığı ortamlarda sıcaklık yükselmeleri ve içi gaz veya boşluk olan kabarcıklar oluşturur. Ultrasonik dalganın şiddetine bağlı olarak molekül bağları kopmakta ve hücre zarları parçalanabilmektedir.

Ultrasonik dalga etkisi ile hücre gruplarındaki periyodik basınç değişimleri mikro masaj olarak Fizik tedavi, hastalıkların veya yaraların sadece ilaçlarla değil bunun yanında mekanik etkiler, ısı, ışık gibi fiziksel etki çeşitlerinin kullanılmasıdır. Fizik tedavideki sıcak uygulama ile hücrelerdeki ısı artışı, o bölgedeki kan akışını ve kılcal damar zarlarının geçirgenliğini artırır. Artan ısı, elastikliğin artmasına ve sızı hissini azalmasına sebep olur.

Ultrason cihazı yüksek frekanslı ses dalgaları üreten mekanik yapıları cihazlar olduklarından katı ve sıvı ortamlarda yayılım göstermektedir. Bu dalgalar geçtikleri dokulardan yansıyarak veya emilerek ısı enerjisine dönüşürler. Ultrasonik dalganın uygulandığı ortamlarda sıcaklık yükselmeleri ve içi gaz veya boşluk olan kabarcıklar oluşturur.

Ultrasonik dalganın şiddetine bağlı olarak molekül bağları kopmakta ve hücre zarları parçalanabilmektedir. Fizik tedavide, ultrasonik dalganın mikro masaj ve ısıtıcı etkisinden yararlanılarak kılcal damarlar uyarılıp çalıştırılarak derinin beslenmesi ve canlanması sağlanır. Ultrasonik dalgalar fizyoterapide yumuşak doku

yaralanmalarının tedavisinde, kemik ve eklem ağrıları ve yaralanmalarının tedavisini hızlandırmak içinde kullanılmaktadır.

Ultrason tedavisinin kılavuzlarda değerlendirilmemiş olmasının altında yatan en önemli neden Avrupa ve ABD’de elektroterapi yaklaşımlarının pek kullanılmıyor olması ve bu yaklaşımın etkinliği konusunda kanıta dayalı bilimsel verilerin yetersizliğidir.

Son yıllarda konuya olan ilgi uluslararası literatürde de artmış, özellikle ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalarla etkin olabileceği gündeme gelmiştir. Bu derlemede ultrason ile ilgili detaylı teknik bilgiler verilecek ve son yıllarda osteoartritli hastalarda yapılmış olan çalışmalar gözden geçirilecektir

### **1.1. Problemin Tespiti**

Ultrasonik dalgaların kullanıldığı ultrasonik ölçüm düzenekleri literatürde geniş bir yelpazeye sahiptir.Ultrasonik Frekans bölgesinde (1-3 Mhz), Karpal Tünel rahatsızlığı tedavisi amacıyla hastanelerde kullanılan tıbbi cihazlar incelenmiş ve 1 Mhz ile 3 Mhz in dışında frekanslarda tedavi amaçlı cihaz olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmayla ara frekans bölgelerinde tedavi fırsatlarını araştırmak amacıyla ultrasonik dalgaların difüzyon derinliği araştırılmıştır.

### **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu Tez çalışmasının amacı, Ultrasonik dalgalar yardımıyla Karpal Tünel sendromu tedavisi yapabilen mevcut halde 1 Mhz ile 3 Mhz frekans bölgesi aralıklarında da çalışabileceğini araştırmaktır.

### **1.3. Araştırmanın Metodolojisi**

Ultrasonik dalgalar yardımıyla Karpal Tünel tedavisini araştırmak amacıyla ;

- Literatürün araştırılması
- Hastanelerde kullanılan mevcut Ultrasonik cihazların araştırılması



- 1 Mhz -3 Mhz Ultrasonik frekanslı cihazların neden seçildiğinin araştırılması
- 1Mhz ile 3 Mhz arasında 0.5 Mhz kademeli artacak şekilde frekans bölgelerinin Karpal Tünel tedavi etkilerinin araştırılması
- Ultrasonik frekans bölgesinde difüzyon derinliğinin tespiti yapılmıştır.

#### **1.4. Ünitelerin Planı**

Tezin birinci ünitesinde problemin tespiti,amacı, araştırma metodolojisi yer almıştır.Tezin ikinci bölümünde Ultrason ve Ultrasonik Ölçüm yöntemlerine ve kavramsal çerçeveye yer verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde Fizik tedavi yöntemleri ve Karpal Tünel tedavisi yer almaktadır.Tezin dördüncü bölümünde Karpal Tünel Tedavisinde klinik semptomlar ve bulgulara yer verilmiştir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### ULTRASON VE ULTRASONİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ KAVRAMSAL ÇERÇEVE

#### 2.1. Ultrason Kavramı ve Tanımı

Ultrasonun gelişimi Fransız fizikçi Pierre Curie'nin 1877 yılında piezoelektrik kristalleri keşfi ile başlar. Pierre Curie'nin keşfinden otuz beş yıl sonra sonografik görüntüleme Fransız profesör ve fizikçi Paul Langevin tarafından geliştirilmiştir (Akdağ, 2006, s. 11). İnsan gövdesi içindeki organları; cerrahi metotlar kullanmadan görüntüleme arzusu birçok bilim adamını geç 19. ve 20. yüzyıllar boyunca bu alanda araştırma ve geliştirme yapmaya itmiştir (Haar, 1999, s. 9). 1895 yılında William Conrad Roentgen'in bu ışınları keşfi ile X-ışınlarının kullanılarak görüntüleme yapılması bunlara bir örnek olarak gösterilebilir.

Ultrason teknolojisi de; birçok diğer teknolojide olduğu gibi; keşif ve geliştirilmesini savaş teknolojisine borçlu olduğunu söyleyebiliriz. Yine, bu dönemde ultrason teknolojisinin birçok değişik amaçlarla kullanılması da gündeme gelmiş; örneğin 1928'de Sovyet fizikçi Sergei Sokolov bu teknolojiyi endüstriyel amaçlı olarak metallerdeki kusurları algılamak için kullanmıştır.

Ultrason teknolojisinin tıp alanında kullanılmaya başlanması 1920'lerde; yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanması ise 1930'larda gerçekleşmiştir (Çıkırıkçioğlu, 1999, s. 12). O dönemde ultrason, öncelikle Avrupa'nın futbol takımları oyuncularını için fizik tedavi amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca aynı dönemde sterilizasyon veya radyasyon tedavisine tamamlayıcı bir uygulama olarak kanser tedavilerinde de kullanılmıştır.

Ultrason teknolojisinin tanı amaçlı ilk uygulamasını gerçekleştiren kişi olarak Viyana Üniversitesinde çalışmakta olan bir nörolog ve psikiyatrist olan Karl Dussik kabul edilmektedir (Haar, 1999, s. 13). 1940'ların ikinci yarısında ise George Ludwig, Maryland Deniz Tıbbi Araştırma Enstitüsü'nde görev yaparken safra kesesi taşlarının görüntülenmesinde ultrasonu kullanmıştır (Yazgan ve Korürek, 1996, s. 19). 1948 yılında Douglas Howry, kesitsel anatomik görüntüleme yardımıyla büyük patolojilerin tanısını sağlayan bir cihaz geliştirmiş ve B-mod görüntülemenin mucidi olmuştur. 1953 yılında kalp üzerinde ilk ultrasonik çalışmalar ise Kurt Keidel tarafından yapılmıştır ve onu takip eden Inge Edler ve Hellmuth Hertz ile birlikte ekokardiyografinin babaları kabul edilirler.

1956 Yılında ise Robert Rushmer, Dean Franklin ve Don Baker; köpekler üzerinde yaptıkları çalışmalarla; kardiyovasküler sistemde sürekli dalga Doppler görüntülemenin gelişimine öncelik etmiştir. 1960'ların ikinci yarısı ve 1970'lerin başları ultrasonun en hızlı geliştiği seneler olmuştur.

Bu dönemde, Klaus Bom tarafından iki boyutlu eko tanıtılmış; 1966 yılında Don Baker, Dennis Watkins ve John Reid kalbin içerisindeki kan akımını farklı derinliklerinden algılama amaçlı atımlı Doppler görüntülemeyi geliştirmiştir (Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 41).

Don Baker, daha sonra geliştirilen renkli Doppler tarama mühendislik ekibinin de bir üyesi olmuştur. 1980'ler den itibaren de gerçek zamanlı görüntüleme hızla gelişmiş ve ultrason modern görüntüleme modalitelerinin içerisinde en önde gelenlerden bir olarak günümüze ulaşmıştır (Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 38).

Her şeyden önce ultrason görüntülemenin en büyük avantajı non-invasiv dediğimiz; girişim içermeyen bir görüntüleme tekniği olmasıdır. Diğer taraftan radyasyon içermemesi de görüntülemenin sıklıkla ve hastaya ekstra riskler içermeyen yapılabilmesi imkânını sağlamaktadır. Hava ihtiva eden mide, akciğer gibi organlar

hariç, çok yaygın bir şekilde tüm vücut görüntülenmede kullanılabilir (Akdağ, 2006, s. 14).

Uygulama için hiçbir ekstra hazırlık gerektirmemesi ve gerekli olduğu durumda derhal kolaylıkla uygulanabilmesi ultrasonu diğer görüntüleme sistemleriyle karşılaştırıldığında çok avantajlı bir konuma taşımaktadır. Ultrasonografik inceleme aynı zamanda gerçek zamanlı bir inceleme olduğu söylenebilir.

Ultrasonografi sistemlerinin çok yaygın bir şekilde kullanılmasının bir diğer sebebi de; sistemler maddi olarak sahip olma ve sistemleri işletebilmenin ekonomik olarak diğerleriyle kıyaslanmayacak derecede kolay olmasıdır. Ultrason sistemlerinin işletim maliyetleri; sarf malzemesi olmadığından son derece ucuzdur. Ekonomik olarak çok kolay ulaşılabilirliği; ultrasonografi cihazlarını hastanelerden; muayenehanelere kadar çok geniş bir spektrumda kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır (Özden, 1981, s. 46).

İnsan kulağı 20-18.000 Hz arasında frekansa sahip ses dalgalarını duyabilir. Frekansları 1-20 Hz arasında olan ses dalgaları infrason olarak adlandırılırken, 18.000 Hz'in üzerindeki ses dalgaları ultrason olarak tanımlanmıştır. Ultrason 85 KHz ile 3 MHz arasındaki frekanslara sahip ses dalgaları tarafından üretilen mekanik enerjinin, 0 ila 3 W/cm<sup>2</sup> yoğunlukta uygulanması esasına dayanan fiziksel bir ajandır (Helvacı, 1995, s. 14). Piezoelektrik fenomen; yapay/doğal kuvarz, kristal ya da seramik gibi bazı katı maddelerin elektriksel olarak uyarılabileceği ve böylece akım uygulanan bölgenin zıt tarafında mekanik bir stres oluşacağı esasına dayanır.

Piezoelektrik materyalde meydana gelen tekrarlı osilasyonlar hava, su ve insan dokularından geçebilen ultrasonik dalgaların oluşmasına sebep olurlar ve bu olayın meydana geldiği yapıya transduser denir. Bir ultrasonik dalganın üretimi sırasında ultrason başlığının içinde yer alan piezoelektrik transduserine uygulanan yüksek frekanslı alternatif akım, transduserin daralıp genişlemesine neden olur, bu hareket sonucunda biyolojik dokulara iletilecek düzeyde bir ses dalgası meydana

gelir. Ses dalgaları mekanik titreşimlerle meydana geldiğinden ancak bir ortam içinde yayılabilirler, boşlukta yol alamazlar.

Tüm diğer dalgalarda olduğu gibi ses dalgaları da yansır, kırılır, dağılır, absorbe olur, girdaplaşır, konverje olur. Bir ortamdan geçerken enerjilerinin bir kısmını kaybederler. Ultrasonda frekans her saniyede tamamlanan dalga dizilerinin sayısıdır. Birimi MHz'dir. Yoğunluk ise ultrasonun dokudaki etkisini belirler. Birimi W/cm<sup>2</sup>'dir (Özden, 1981, s. 48). Yoğunluğun düşük olması tedavinin etkisinin azalmasına, yüksek olması doku harabiyetine neden olabilir. Tıp dışı uygulamalara örnek; denizde sisli günlerde trafik emniyetinin sağlanması, balık sürülerinin yerinin tespiti, endüstride baca kurumlarının havaya karışmasının önlenmesi, tarımda tohumların yeşertilmesidir.

Tıpta kullanımı ise, fizik tedavi dışında, ultrason bistürisi olarak safra ve böbrek taşlarının parçalanmasında, çok yüksek dozların değişik açılardan verilerek beyin tümörlerinin yok edilmesinde ve tanısal amaçlı noninvazif bir yöntem (ultrasonografi) olarak kullanılır (Haar, 1999, s. 18).

Ultrasonografi yumuşak ve solid dokuların değerlendirilmesine olanak sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Dinamik, hareketli, eşzamanlı değerlendirme imkanı sağlaması, tendon, kas ve yumuşak doku değerlendirilmesinde ideal bir yöntem olmasına neden olur. Ultrasonografi sadece patolojik değişikliklerin değerlendirilmesinde değil aynı zamanda kas kontraksiyonları analizinde, tendon ve eklem hareketleri ve bunların çevre yapılara etkilerini değerlendirmede de kullanılır. Ultrason cihazının iki temel bölümü vardır:

- Şehir akımını istenilen frekansa yükselten bir üreteç
- Yüksek frekanslı akımın ses enerjisine dönüştürülmesini sağlayan başlık kısmı

Bu amaçla kullanılan kristaller; kuvarz, baryum titanat, lityum sülfattır. Tedavi başlıklarının etkili yayılma alanı, ultrason yoğunluğunu belirleyen önemli bir

parametredir (Akdağ, 2006, s. 78). Etkili yayılma alanı, daima tedavi başlığının geometrik alanından küçüktür.

Ultrason başlığının yüzeyi 5 cm<sup>2</sup>'den küçükse ses dalgalarının silindirik demeti dağılabilir, başlık büyük olursa deri ile tam temas sağlanamaz. Bu nedenle en uygun ve en etkili başlık yüzeyi 5 cm<sup>2</sup>'dir (Özden, 1981, s. 11). Ultrason cihazı elektrik enerjisini ses dalgası haline çevirir ve bu ses dalgaları dokunun direncine bağlı olarak ısıya çevrilir. Genel olarak 2 çeşit ultrason uygulama yöntemi vardır. Birincisi sürekli ultrason uygulamasıdır.

Bu yöntem ultrasonun ısı etkisinden faydalanmak için kullanılır. Bu yöntemde kullanılan ultrason yoğunluğu 0,5-2,5 W/cm<sup>2</sup> dir. Sürekli ultrason uygulaması hareketin kısıtlandığı durumlarda tedavi amaçlı kullanılır. İkinci yöntem ise aralıklı ultrason uygulama yöntemidir. Bu yöntemde aralıklı olarak yüksek yoğunluklu ultrason uygulanır ve aralarda herhangi bir uygulama yapılmaz. Pulse oranı; bir zaman bazında enerjinin konsantrasyonunu belirler. Örneğin 1:1 pulse oranı, cihazın enerjinin verilmediği süreye eşit zaman biriminde ultrason uygulandığı anlamına gelir. Cihazın işlev siklusu bu nedenle % 50'dir. 4 birimlik istirahat periyodunu 1 birimlik enerjinin izlediği 1:4'lük pulse oranında cihaz sürenin % 20'si oranında enerji verir. Bazı cihazlar oran, bazıları % kullanırlar. İdeal olan akut lezyonlarda 1:4 ya da 1:3, subakut lezyonlarda 1:2 ya da 1:1, kronik lezyonlarda 1:1 ya da sürekli formun kullanımındır. Hava ultrason enerjisi için zayıf bir iletkenidir (Yazgan ve Korürek, 1996, s. 21-22).

Dokulara ultrason enerjisinin daha iyi iletilmesi için jel, jel pedleri, mineral yağ, losyon veya su gibi ara iletkenler kullanılmalıdır. En iyi ara iletken jel ve jel pedleridir. Su çok iyi bir ara iletken değildir ve ses enerjisinin % 65'ini iletir. Ultrason 20 000 Hz frekans üzerindeki ses dalgaları olarak tanımlanır (Özden, 1981, s. 5). Tedavide kullanılan ultrason dalgaları genellikle 0,75-3,3 MHz arasındadır. Ultrason tıbbi olarak tanısal ve tedavi edici amaçla kullanılabilir. Tedavi edici ultrason 60 yıldan daha fazla süredir akut ve kronik ağrı tedavisinde, kas iskelet sistemi hastalıklarında yoğun olarak uygulanmaktadır.

Ayrıca litotripside, tendon yaralanmalarında, kemik onarımının uyarılmasında, homeostazis oluşumunda ve fonoforezle topikal ilaç uygulamada kullanılmaktadır.

Yumuşak doku lezyonlarının tedavisinde en yaygın kullanılan ajan olmakla beraber, tedavi edici ultrasonun etkinliği ile ilgili tartışmalı yayınlar bulunmaktadır. Yayınların metod içeriğinde tedavi değişkenleri hakkında yeterli tanımlamalar yapılmamıştır hal de, ultrasonun kas iskelet sistemi travmalarında, yumuşak doku iyileşmesinde plesebo uygulamalardan daha etkili olmadığı bildirilmektedir (Akdağ, 2006, s. 48).

Bir çok parametrenin etkin olduğu ultrason tedavisinde bu parametrelerin niteliği tam olarak ortaya konmadan ultrason tedavisi konusunda hüküm vermek doğru değildir. Yumuşak doku lezyonları tedavisinde ultrasonun etkinliği konusunda zayıf deliller bulunmakla birlikte, kabul edilebilir tedavi dozu hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Bu nedenle, tedavi edici ultrason cihazlarından sağlanan çıktılarının standardize edilmesi, deneysel ve tedavi protokollerinin oluşturulması ve en etkin parametrelerin saptanması gerekmektedir.

## 2.2. Ultrason Üretimi

Ultrason, ultrason başlığındaki kristale yüksek frekanslı alternatif akımın tatbik edilmesiyle oluşur. Kristal piezoelektrik özellikte bir maddeden oluşmaktadır. Yani ses enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür; tersi de gerçekleşir, bu kristallerden elektrik akımı geçtiği zaman spesifik frekansta titreşim açığa çıkar. Bu amaçla kuvarz, sentetik plumbium zirconium titanate (PZT), baryum titanat kristalleri kullanılır. Günümüzde en etkili ve hesaplı piezoelektrik madde olması nedeniyle genellikle PZT kullanılır. Kristal yüksek frekanslı elektrik enerjisi tatbiki ile şekil değişikliğine uğrar ve ultrason başlığında titreşime neden olmaktadır (Güler ve Güler, 1990, s. 14).

Ultrason dalgaları kaynaktan çıktıktan sonra önce konverjan daha sonra diverjan yayılım gösterir. Konverjan bölge yakın alan, diverjan bölge de uzak alan olarak adlandırılır. Ultrason ışınlarının karışması yakın alanda ultrason yoğunluğunda çeşitliliğe sebep olmaktadır. Uzak bölgede ışınlar daha az dağılır ve bu ultrason yoğunluğunda daha düzenli bir dağılımla sonuçlanır. Yakın alanın uzunluğu=  $r^2/\lambda$  ( $r$ : ultrason başının yarıçapı,  $\lambda$ : ultrasonun dalga boyu) formülü ile hesaplanır (Durak, 2006, s. 14).

### 2.3. Ultrasonun Özellikleri

Ultrason günümüzde en yaygın kullanılan ikinci klinik görüntüleme yöntemidir (Deniz, 2007, s. 14). 2. Dünya Savaşı sırasında donanma için geliştirilen sonar teknolojisini kullanarak ultrasonun tanılayıcı yetenekleri tüm dünyada keşfedilmeye başlanmış ve 1940'ların sonlarına doğru klinik uygulamalarda tanılayıcı bir araç olarak kullanılmaya potansiyeli artmaya başlayan bir araçtır (Bland, 2007, s. 75). O dönemlerde ultrasonografi kullanılarak yapılan en göze çarpan çalışma bir fizikçi ve bir mühendis (John Wild ve John Reid) tarafından gerçekleştirilmiş olan darbe yankı yöntemini kullanarak çeşitli dokulardaki tümörlerin belirlenmesi olmuştur (Akdağ, 2006, s. 17-18)..

Ultrasonografi kullanılarak gerçekleştirilen tanılama çalışmalarına paralel olarak tedavi edici uygulamalar için yüksek yoğunluklu ultrasonun kullanılabilirliği, Parkinson hastalarının tedavi süreçlerinde beyin yapılarının değiştirilmesi amacıyla ultrasonu kullanan bir grubu da kapsayan çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmeye başlanmıştır. Ultrason o zamanlardan beri birçok klinik problemin çözümünde uygulanmasına rağmen 1970'lerin başlarına kadar yeterince kabul gören bir araç olamamıştır. Bugün ise ultrasonografik görüntüleme, modern tanılayıcı görüntüleme hizmetlerinin ayrılmaz bir parçası olmuştur.

Ultrasonun avantajları ve kendisine has olan bazı karakteristik özellikleri aşağıda sıralanmaktadır (Bland, 2007, s. 46-47):

- Ultrason iyonize olmadığından bilgilerin elde edilmesinde güvenilir bir yöntemdir.
- Diğer görüntüleme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha ucuzdur.
- Gerçek zamanlı sonuçların elde edilmesini sağlar.
- Yüksek frekans değerlerinde milimetrik çözünürlük ile ölçümlerin gerçekleştirilmesini sağlar.
- Portatif olduğundan kolaylıkla yer değiştirebilir.

Bu nedenlerden dolayı ultrason kardiyoloji, obstetrik, jinekoloji, cerrahi, pediatri ve nöroloji gibi birçok klinik disiplinde oldukça önemli bir tanılayıcı araç



olmuştur. Buna karşılık ultrasonun dezavantajları ise şöyle sıralanabilir (Akdağ, 2006, s. 18):

- Gaz içeren organlar ve kemik yapıları özelleştirilmiş işlemler olmadan yeterli bir şekilde görüntülenemez.
- Kalp ve yenidoğan beyni gibi belli organların ultrasonik incelenmesi işlemlerinde sınırlı bir aralığa erişilebilir.
- Elde edilen sonuçlar operatör yeteneklerine bağlıdır.
- Aşırı şişman kişilerde iyi görüntülerin elde edilmesi çoğu zaman mümkün olamamaktadır.

#### **2.4. Ultrasonun Temel Prensipleri**

Moleküller üzerinde etkili olan kuvvetler tarafından yaratılan ortam basıncındaki periyodik değişimler, moleküllerin ortalama pozisyonları etrafında salınım yapmalarına neden olur. İleri yönde bir basınç darbesi uygulandığında hava molekülleri hep birlikte hava yoğunluğunu arttıran bir bölge üreterek ileri doğru hareket ederler. Sıkıştırma terimi bu yüksek basınç bölgesinin şeklini tanımlamak için kullanılır (Haar, 1999, s. 79). Geri yöndeki bir darbe hareketi molekül yoğunluğunun azalmasına neden olur.

Gevşeme terimi de bu alçak basınç bölgesinin oluşmasını tanımlar. Sıkışma ve gevşeme bölgeleri ile moleküllerin komşu moleküllere çarpması sağlanır ve böylece sesin kaynağında oluşturulan ilk etki yayılır. Sesin iletilmesi için moleküler hareket şarttır ve bu durum sesin neden boşlukta ilerleyemediğinin göstergesidir. Düzenli aralıklarla tekrarlayan moleküler hareketteki değişimlerin bu sırası çevrim olarak tanımlanmıştır (Deniz, 2007, s. 79). Bir ses dalgasının frekansı ise saniyedeki molekül titreşimlerinin sayısı ya da saniyedeki çevrim sayısıdır. Ses dalgalarını frekanslarına göre infrases, işitilebilir ses ve ultrases (Ultrasound) olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür (Bland, 2007, s. 48).

Ses altı duyma eşiğinin altındaki sıklıkta olanlar (20 Hz'den düşük sesler) infrases, insan kulağının duyma aralığında olanlar (sıklığı 20 Hz–20 KHz arasındaki sesler) işitilebilir ses, insan kulağının algılama yeteneğinin dışında olanlar (20 KHz–30 MHz arasındaki sesler) ultrases olarak sınıflandırılabilir (Çıkırıkçioğlu, 1999, s. 47).

Ultrason insan kulağının işitemeyeceği, yüksek frekanslı mekaniksel dalgalar olarak tanımlanır. Teşhis amacı ile kullanılan ultrason dalgaları ise 2MHz ile 10 MHz Arasındadır (Haar, 1999, s. 49).

## **2.5. Ultrasonun Fizyolojik Etkileri**

### **2.5.1. Termal Etkiler**

Ultrason, termal etkisi ile doku esnekliğini ve kan akımını artırır, ağrı modülasyonu ve hafif enflamatuvar yanıt sağlar, eklem katılığını ve kas spazmını azaltır. Dokularda ısınma iki yolla gerçekleşir. Birincisi ultrason enerjisinin homojen dokuda emilerek ısıya dönüşmesi şeklindedir.

Emilme dokunun içerdiği protein oranına, dokuların akustik empedansına, vaskülarizasyon derecesine ve uygulanan ultrasonun frekansına göre değişir. Protein oranı yüksek olan dokular daha kolay ısınırken, yağ oranı yüksek dokular daha zor ısınır. Örneğin kemik ve tendon gibi dokular diğer dokulara göre daha fazla ısınır. Kaslardaki ısınma yağ dokusundan 2 kat daha fazladır.

Kontrollü ısınma ağrının azalması, eklem katılığının azaltılması ve lokal kan akımının artırılması gibi istenen etkileri oluşturur. Genel olarak dokuda ısınmanın terapötik etkisi kanıtlanmıştır ancak ultrason uygulaması dokularda yeterli ısı değişimi oluşturmada göreceli olarak etkisizdir (Güler ve Güler, 1990, s. 81). Ultrason dalgası metal proteze veya kemiğe çarptığında çevre dokularda aşırı ısı artışı olası bir komplikasyon olarak karşımıza çıkabilir, bunun nedeni bu yapılar ile çevre yumuşak doku arasındaki büyük akustik empedans farkıdır. Ancak metal protezlerde güvenli olabileceğine dair yayınlar vardır. Isınmada ikinci yol mekanik etkileşimdir.

Özellikle birbirine komşu dokuların temas ettikleri yüzeylerde, ultrason enerjisi etkisiyle sıkışma ve genişleme hareketleri meydana geldiğinden ısınmayla birlikte mikromasaj etkisi oluşmaktadır (Hedrick, Hykes and Starchman, 1995, s. 23-24). Ses geçirgenliği en fazla doku olan kemikler, diğer dokulara göre daha fazla ısınır. Kemiğin şeklinin düzensiz olması nedeniyle yansıyan ultrason enerjisi belli noktalarda yoğunlaşarak da yerel ısı artışına yol açabilir. Bu nedenle tedavi dozlarında bile ısınma ve periost ağrısı oluşabilir.

Sinir dokusu ultrason enerjisini kaslardan daha çok emerek ısındığı için, ağrı kesici ve spazm giderici etki ortaya çıkar. Yüksek dozlarda sinirler ve otonom sinir sisteminde sempatik ganglionlar üzerine uygulandığında, sempatik aktivite azalır, vazodilatasyon meydana gelir. Damarların daralma-genişleme mekanizmasını kontrol eden sempatik sinir sistemindeki düzensizlikten kaynaklanan fonksiyonel dolaşım bozukluklarında ultrason tedavisinden yararlanılabilir.

Burada asıl amaç, sempatik ganglionlar üzerine yüksek dozlar uygulayarak, ganglion blokajı benzeri bir etki oluşturmaktır.

### **2.5.1.1. Dokularda Isı Dağılımı**

Ultrasonik dalgalar dokuda yol aldıkça enerjilerinin bir kısmını kaybederler, bu ifleme atenüasyon denir (Akdağ, 2006, s. 47). Dokuda atenüasyon absorpsiyon, sinyal ayrılması ve yön değiştirme gibi çeşitli mekanizmalar ile gelişir. Ultrason atenüasyonunun başlıca sebebi absorpsiyondur diyebiliriz. Çünkü, ultrasonik enerji doku tarafından absorbe edilerek sonuçta ısıya dönüşür. Dokuların çoğu için frekans arttıkça atenüasyon da artar, böylece 1,0 MHz'lik bir sinyal düşük atenüasyonu nedeniyle, 3,0 MHz sinyale göre daha derine nüfus eder. Sinyal ayrılması, uygulama başlığından dışarı ayrılan sinyal miktarıdır (Haar, 1999, s. 27). Frekans arttıkça sinyal ayrılması azalır, böylece yüksek frekansta daha fazla odaklanmış sinyal demeti bulunur.

Ultrason dalgaları akustik empedans çok farklı dokular arasında kullanıldığında diğer dokuya daha az transfer olur. Bu durumda daha fazla olması beklenen yansıma eylemi sonucunda “*standing wave*” (sabit dalga) oluşabilir ki bu da yan etkinin başladığını göstermektedir, diğer adı “sıcak nokta” (hot point)’ dir (Özden, 1981, s. 14). böyle bir etkiyi engellemek için pulse uygulama ve başlığın hareketlerini arttırmak en iyi çözümdür.

### **2.5.1.2. Etkilenen Dokular**

Ultrason dalgaları su içeriği yüksek dokularda düşük oranda absorbe edilirken, protein ve kollojenden zengin dokularda yüksek oranda absorbe olur. Ultrason ya da dokusu veya ciltte belirgin bir ısı artışı oluşturmada tendonlar, kaslar, ligamanlar,

eklem kapsülleri, intermusküler yüzeyler, sinir kökleri, periosteum, kortikal kemik ve diğer derin dokuları terapötik aralık içinde selektif olarak ısıtabilir.

### **2.5.2. Termal Olmayan Etkiler (Nontermal Etkiler)**

Kavitasyon, akustik ve mikro-akışkanlık, fibroblastik aktivitede, protein sentezinde, kan akımında, doku rejenerasyonunda ve kemik iyileşmesinde artırır. Kavitasyon, ultrason uyarısı sonucu içerdikleri doku sıvısında basınç değişiklikleri nedeniyle genişleyen ve sıkışan içi gaz dolu kabarcıkların oluşumudur (Akdağ, 2006, s. 47). Ultrason devamlı ve kesikli formlarda kullanılabilir. Non-termal etkileri arttırmak için termal etkilerin azaltılması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için sürekli formda uygulanan ultrasonun yoğunluğu SATA 0,1-0,2 W/cm<sup>2</sup> olmalıdır. 0,2 W/cm<sup>2</sup> TAI oluşturabilmek için %20 görev siklusunda 1,0 W/cm<sup>2</sup> yüksek bir TPI ile pulse edilen düşük bir TAI kullanarak sağlanabilir. Ultrasonun termal ve non-termal etkilerinin geleneksel olarak ayrıştırılacağı düşünülse de, tedavi seansında bu etkileri ayrıştırma olasılığı mümkün değildir.

Devamlı (termal etki) ya da pulse formlarda uygulama ile bu etkilerden birini baskın hale getirebilir ancak pratikte diğerini yok edilmektedir. Ultrasonun nontermal etkileri ise doku rejenerasyonunun uyarılması, yumuşak doku onarımı, kronik iskemik dokularda kan akımı düzenlenmesi, protein sentezi ve kemik onarımıdır (Helvacı, 1995, s. 74). Bu nontermal etkilerin oluşumunda fiziksel mekanizmalar ise kavitasyon ve akustik akımdır.

Kavitasyon, gaz içeren sıvılarda ultrason dalgalarının neden olduğu mikrometre boyutunda baloncuk veya kavite oluşumudur. Basınç değerinin düzeyine göre oluşan bu baloncuklar yararlı veya zararlı olabilir. Düşük basınç değerlerinde oluşan baloncukların oluşturduğu vibrasyon, kavitasyon olayının yakınındaki hücre membranında geri dönüşümlü geçirgenlik değişikliklerine neden olur. Hücre membranının kalsiyum gibi çeşitli iyonlara geçirgenliğinin değişmesi hücre aktivitesi üzerinde derin etkilere neden olur. Yüksek basınç düzeylerinde daha şiddetli kavitasyon oluşur. Buna transient ya da kollaps kavitasyon denir. Bu durum hücreler için zararlı olan yüksek reaktif serbest radikallerin oluşumunu artırır.

Akustik Akım, bir ultrason alanında bir sıvının tek yönlü hareketini ifade eder. Sıvılar ile yapılar (hücreler, baloncuklar ve doku fiberleri) arasında oluşan yüksek hız farkı bu duruma neden olur. Akustik akım hücre membranı ve çevresindeki sıvı sınırında oluşturulursa hücre aktivitesini uyarır. Protein sentezini, mast hücrelerinden sekresyonu, fibroblast mobilite değişikliklerini, ikincil mesajcı kalsiyum alımını ve makrofajlardan büyüme faktörü üretimini artırır.

## **2.6. Ultrasonun Hedef Dokudaki Etkinliği İle İlgili Faktörler**

### **2.6.1. Frekans**

Her saniyede tamamlanan dalga dizilerinin sayısıdır. Birimi MHz'dir. Ultrasonun başlık kısmında 1 veya 3 MHz frekans üretebilen bir titreşim kaynağı bulunur. Ultrasonik penetrasyon derinliğini belirleyen yoğunluk olduğu sıklıklar rastlanan yanlış bir kavramdır. Oysa doku penetrasyon derinliğini belirleyen ultrasonun yoğunluğu değil frekansıdır. Daha önce de belirttiğimiz gibi 1 MHz'te oluşan ultrason enerjisi düşük atenüasyonu nedeniyle 2-5 cm derinlik gibi derin dokularda absorbe olur. Bu nedenle 1 MHz frekans ya da dokusu oranı yüksek olan hastalarda aynı zamanda soleus ve piriformis kasları gibi derin yapıların tedavisinde daha kullanışlıdır.

Patellar tendinit, epikondilit gibi yüzeysel durumların tedavisinde 1-2 cm'lik penetrasyonu nedeniyle 3 MHz frekansla tedavi daha uygundur. Bununla birlikte 3 MHz'lik uygulama ile ultrasonun dokuda ısıyı arttırma etkisi 1 MHz'den üç kat daha fazladır; bu durum insan kas dokusunda daha hızlı bir ısı artışına yol açmaktadır (Yazgan ve Korürek, 1996, s. 19). Fazla ısınmayı engellemek amacıyla 3 MHz'lik tedavide süre 1 MHz uygulamasına göre 1/3 oranında tercih edilmektedir.

### **2.6.2. Yoğunluk**

Ultrasonun dokudaki etkisi dokudaki yoğunluğuna bağlıdır. Doz, çok düşük olursa tedavi etkisizdir. Yüksek olur ise dokuda tahribat gelişir. Köpeklerde yapılan çalışmalarda 3 W/cm<sup>2</sup> üzeri değerlerde kemik büyümesinde gerileme, kemik iliğinde hasar gösterilmiştir. Uluslararası güvenlik standartlarına göre üst limitin belirlendiğini, Dünya Sağlık Örgütü'nün maksimum 3,0 W/cm<sup>2</sup> yoğunluk önerdiğini ancak bu

değerlendirmede yüksek uzaysal tepe yoğunluğun (SPI) göz önünde bulundurulmadığını, bu açıdan yüksek dozdan kaçınılması gerekmektedir (Çıkrıkçıoğlu, 1999, s. 11). Transdüser yüzeyinin aktif ultrason dalgası üreten alanıdır. Birimi  $W/cm^2$ 'dir.

Ultrason tedavisinde total enerji, uygulanan cihaz probunun etkin ışınım alanı ile ilgilidir. Ultrason kullanılarak tedavi edilecek uygun alan ERA'nın 2-3 katıdır. Bu görüşü desteklemek için yapılan bir çalışmada  $1,5 W/cm^2$ , 1 MHz ve 10 dakika süreyle ultrason uygulaması sonrası insan kasında ulaşılan pik ısı ölçülmüştür. Tedavi alanı 10 kişi için 2 ERA, diğer 10 kişi için 6 ERA olarak belirlenmiştir.

Sonuçta 2 ERA'lık grupta  $3,6^{\circ}C$ 'lik artış, 6 ERA'lık grupta ise sadece  $1,1^{\circ}C$ 'lik artış saptanmıştır. Patellar tendon ısısını arttırmada kullanılan  $1 W/cm^2$ , 3 MHz ultrason uygulamasında da benzer sonuçlar saptanmıştır. Karşılaştırılan 2 ve 4 ERA'lık grupların sonucunda 2 ERA'lık uygulama ile daha yüksek ve uzun süreli ısınma sağlanmıştır (Özden, 1981, s. 45). Bu ultrasonun küçük alanların tedavisinde daha etkin olduğunu göstermektedir. Sıcak paketler, girdap banyoları ve kısa dalga diatermi daha geniş alanların ısıtılması için ultrasona göre avantajlı konumdadır.

Etkin ışınım alanı, piezoelektrik elementler ultrasonu uniform üretemedikleri için başlığının geometrik alanından genellikle küçüktür. Bu bilgiler ışığında, üretici tarafından belirlenen probun ERA'sı dikkate alınarak yapılan çalışmaların, tedavi etkinlik karşılaştırması açısından daha doğru sonuçlar sunacağı rahatlıkla söylenebilir.

Ultrason ışınlar longitudinal aksları boyunca homojen olarak uzanmazlar. Transdüser yüzeyinden uzakta bazı noktalar diğerlerinden daha yoğundur. Ultrason ışınlarındaki değişkenliğin miktarı BNR ile belirlenir. Işın değişkenlik oranı ne kadar yüksek (8/1) olursa doku hasarı riski o kadar yüksek olur. Düşük oran daha üniform çıktı sağlayarak sıcak nokta oluşma riskini engeller. Ancak pratikte 1/1 ışın düzensizlik oranı olması imkansızdır. Örneğin uzaysal ortalama yoğunluğu (SAI)  $1,5 W/cm^2$  olan ve maksimum BNR 5:1 olan ultrason başlığı kullanımında uzaysal tepe yoğunluğu (SPI)  $7,5 W/cm^2$ 'ye ulaşmaktadır (Güler ve Güler, 1998, s. 11-12). Oranın 6:1 olduğu durumda ise uzaysal pik yoğunluk (SPI)  $9 W/cm^2$  gibi zararlı bir doza ulaşır. FDA her bir cihazın üzerinde ultrason başlığının maksimum BNR değerinin belirtilmesini

şart koşmuştur. Yüksek BNR ile ilişkili olan yüksek pik yoğunluklar› ultrason tedavisi sonrasında ortaya çıkan periostal ağrı veya rahatsızlık hissinin çoğundan sorumludur.

Kavitasyon, sıcak nokta ve hasarlı doku alanlarından sakınmak için tedavi süresince transdüserin hızlı hareket ettirilmesi de çok önemlidir. Devamlı ultrason dalgalarında yoğunluk tedavi boyunca sürdürülmekte ve ultrason enerjisi tedavi süresinin %100'ünde üretilmektedir (Akdağ, 2006, s. 47). Termal etkileri oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Kesikli ultrasonda yoğunluk, ultrason enerji üretiminin olmadığı kapalı devre ile periyodik olarak kesilmektedir.

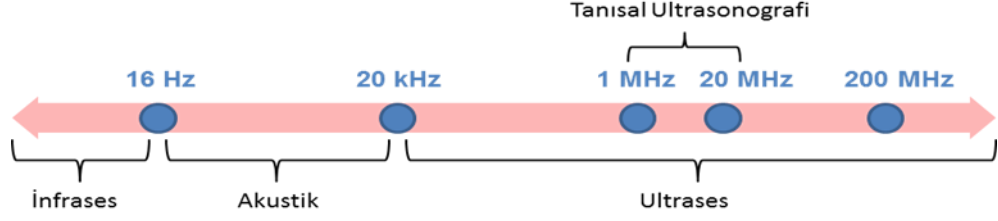
Kullanımı doku ısısında bir düşüşle sonuçlanır. Akut vakalarda kesikli, kronik olgularda devamlı uygulama tercih edilmektedir. SATP X duty cycle= SATA Örneğin: Ultrasonun pulse formunda % 20'lik görevinde 1 W/cm<sup>2</sup> SATP = 1 X 0,2 W/cm<sup>2</sup> SATA=0,2 W/cm<sup>2</sup> SATA Bu dokuya dağılan enerji miktarının ölçümüdür. Ultrasonun sürekli formunda SATA ile SATP'nin eşit olduğu bilinmelidir (Durak, 2006, s. 17-18).

İki ortam ara yüzeyinden yansıyan dalganın miktarı akustik empedans farkına bağlıdır. İdeal ultrason tedavisinde kullanılacak ara maddenin akustik empedansı, dokuya benzer olmalıdır. Bağlantı maddesinin etkinliğini belirleyen üç faktör vardır: 1. Maddenin ultrason gücünün zayıflamasına neden olan emilim 2. Ultrason kaynağına geri yansıyan güç miktarını belirleyen, kullanılan madde ve aletin ses başlığı arasındaki empedans uyumu 3. Maddeye yansıyan güç miktarını belirleyen madde ve vücut dokusu arasındaki empedans uyumudur.

## **2.7. Ultrasonik Terapi Cihazı ve Temel Prensipler**

Duyulabilir ses frekansının (16-20000 Hz) çok üzerinde frekanslara sahip (2-15 MHz) ses dalgalarına 'Ses Ötesi (Ultras)' adı verilir (Durak, 2006, s. 21). Günümüzde tıp alanında; tanısal ultrasonografi için kullanılmakta olan frekans aralıkları 1-20 MHz arasındadır.

**Şekil 1:** Ses frekansları.



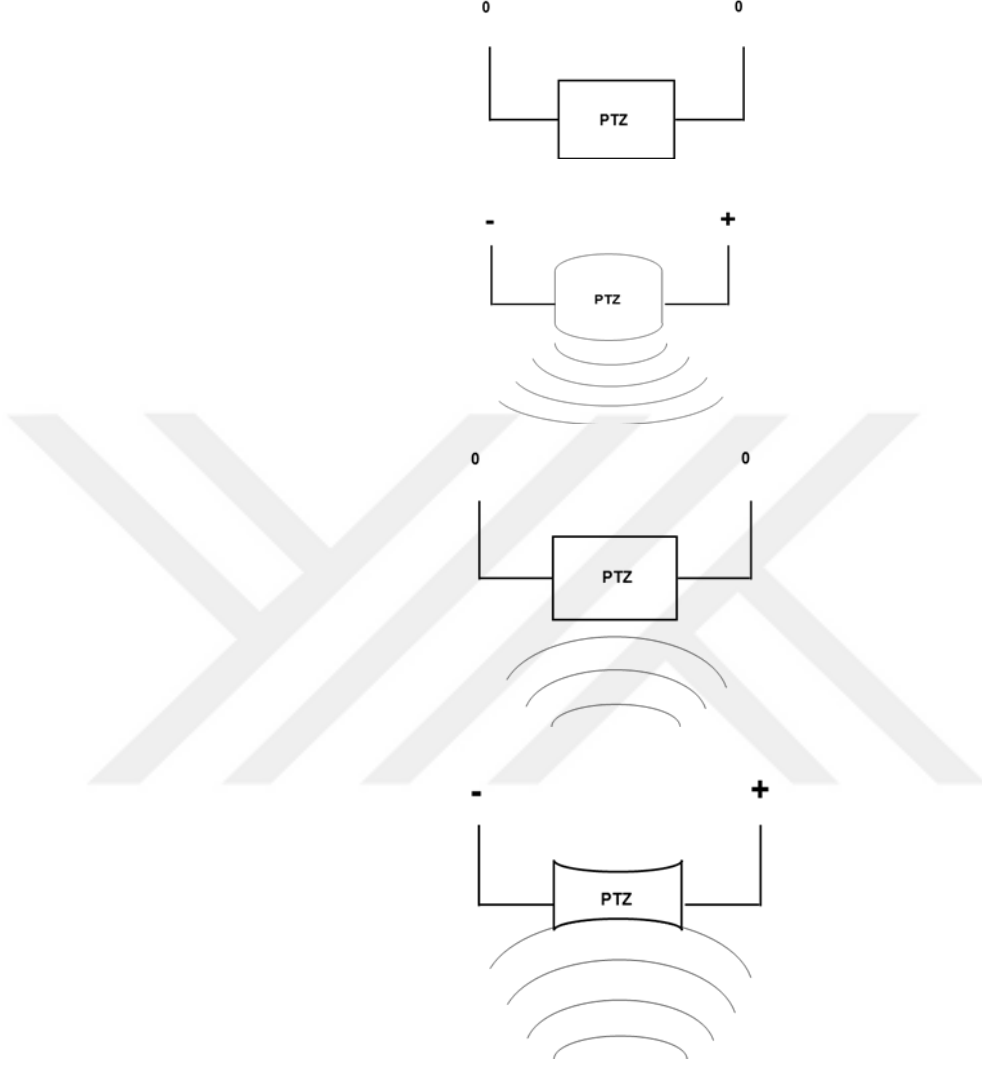
Ultrasonografi dokulara gönderilen ultrasesin farklı yüzeylerden yansımaları (eko) saptayarak görüntü oluşturma yöntemidir (Güler ve Güler, 1990, s. 47). Ultrason cihazı ses dalgalarının değişik yoğunlukta dokular içinde farklı hızlarda ilerlemesi ve yansımalarının algılanması prensibine dayanan bir mekanizma ile çalışır. Bu mekanizma aslında doğaya yabancı bir mekanizma değildir. Yarasaların uçarken, balinaların ise denizlerde yüzerken kullandıkları sistem de benzer bir prensibe dayanmaktadır.

Öte yandan denizaltıların seyir sırasında ya da balıkçıların balık sürülerini ararken kullandıkları sonar cihazları da aynı mekanizma ile çalışırlar. Genel itibariyle bir Ultrason cihazı hasta ile temas eden dönüştürücü, merkezi işlem ünitesi, monitör ve sisteme opsiyonel olarak bağlanabilecek olan çıktı ünitelerinden oluşmaktadır. Ultrason sistemleri ses dalgalarını piezoelektrik etki ile üretirler ve algırlarlar. Dönüştürücünün içinde çok sayıda piezoelektrik kristali adı verilen kuvars kristal bulunur. Elektrik akımı uygulandığında kristaller hızla şekil değiştirirler.

Bu şekil değişikliği titreşime ve sonuçta yüksek frekanslı mekanik dalga oluşmasına yol açar. Tam tersi olarak kristallere herhangi bir mekanik dalga ya da basınç ulaştığında bu kez de elektrik akımı üretirler. Bu sayede aynı kristaller hem ses üretmek hem de sesi algılamak amacıyla kullanılırlar.



**Şekil 2:** Piezoelektrik etkisi.



Günümüz sistemlerinde sıklıkla kullanılan dönüştürücü elemanı kurşun zirkonattitanate'dir (Durak, 2006, s. 47; Müller, Schaller and Eger, 1999, s. 21). Piezoelektrik kristaller hasta ile temas eden dönüştürücülerin içinde yer alırlar.

PZT merkez rezonans frekansı; kristal için ses hızı ve kristal kalınlığı arasında direk bir bağlantı vardır. Örneğin  $f_0=3$  MHz için,  $c_{kristal} = 4000$  m/s için seçilmesi gereken kristal kalınlığı (t):

$$t = \lambda_{\text{kristal}}/2 = c_{\text{kristal}}/2 f_0$$

$$t = 4000/2.3.10^6 = 0,00066 \text{ m} = 0,66 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır.

Buradan da açıkça görülebileceği gibi kullanılan kristallerin kalınlığının belli değerlerin altına düşürülerek; belirli dönüştürücü yüzeylerinde daha fazla kristal kullanmak imkânı bulunmamakta ve bu durum ultrasonografi teknolojisinde bir limit olarak kendini göstermektedir (Güler ve Güler, 1990, s. 36).

Ultrason görüntülemesinde parçacık titreşimi ile dalga ilerlemesi aynı yönde olduğu için ultrason uzunlamasına dalga olarak nitelendirilebilir. İlerleyen dalgalar küçük basınç dalgaları oluştururlar. Doku içerisindeki ses dalga hızı (c) ise; doku sıkıştırılabilirliği ( $\kappa$ ) ve doku yoğunluğu ( $\rho$ ) değerleri üzerinden belirlenir:

$$c = 1/\sqrt{\kappa \cdot \rho}$$

Ultrasonografi için klinik tanıda kullanılan tipik frekans aralığı  $f = 1 \text{ MHz}$  ile  $f = 20 \text{ MHz}$  aralığındadır (Tsiolis, Needleman, Griffiths, 2003, s. 48). Doku için genel olarak kabul edilen ses dalga hızı değeri  $c = 1540 \text{ m/s}$ 'dir.

$$\lambda = c/f$$

Klinik ultrasonografide kullanılan ses dalga uzunluğu ( $\lambda$ ),  $\lambda = 1.54 \text{ mm}$  ile  $\lambda = 0.077 \text{ mm}$  aralığındadır. Doku için akustik empedans ( $1 \text{ rayl} = \text{Nsm}^{-3}$ ) ise; yine doku sıkıştırılabilirliği ( $\kappa$ ) ve doku yoğunluğu ( $\rho$ ) değerleri ile tanımlanır:

$$Z_{\text{doku}} = \rho c = \rho / \sqrt{\kappa \rho} = \sqrt{\rho/\kappa}$$

Birçok doku için akustik empedans benzer değerlerdedir. Dokuların akustik empedansında en büyük farklılığı kemik ve akciğer göstermektedir (Müller, scholler and Eger, 1999, s. 21).

Ultrason dalgası kemikten neredeyse tam yansımakta, akciğerdeki havada ise sönmektedir. Dönüştürücünün içinde ayrıca kendi ürettiği sesin oluşturduğu yansımaları ayıran bir bölüm ve üretilen ses dalgalarını odaklamaya yarayan bir akustik lens ve doku ile empedans uyumuna olanak sağlayan empedans uydurucu bulunur.

Empedans uydurucu kalınlığı çeyrek  $\lambda$  dolayısıyla kullanılan dönüştürücü merkez frekansına göre 0.38 ile 0.019 mm aralığındadır.

$$Z_{\text{kristal}} = 30 \times 10^6 \text{ rayls}$$

$$Z_{\text{doku}} = 1.6 \times 10^6 \text{ rayl olarak kabul edilir.}$$

Kristal/doku arayüzündeki yansımayı en düşük tutabilmek için kullanılması gereken empedans uydurucu:

$$Z_{\text{empedans uydurucu}} = \sqrt{Z_{\text{kristal}} \cdot Z_{\text{doku}}} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Genelde birden fazla empedans uydurucu kullanılır. Ultrasonografi sistemlerinde; üretilen ses dalgasının frekansı; ses dalgasının dokuda inebileceği derinlik ve çözünürlük ile birebir ilişkilidir (Durak, 2006, s. 19). Basit bir şekilde ifade edecek olursak yüksek frekansta oluşturulan ses dalgaları dokuda daha yüzeye yakın noktalarda sonlanmakta ama gerek aksiyel gerekse lateral olarak daha yüksek bir görüntü çözünürlüğü sağlamaktadır (Hedrick, Hykes and Starchman, 1995, s. 51).

Tam tersi olarak düşük frekanslarda oluşturulmuş olan ses dalgaları ise daha derine nüfus edebilmekte ama buna bağlı olarak çözünürlük değerleri düşük olmaktadır (Chorayed, Bertocini and Hinders, 2008, s. 89). Günümüz ultrason

teknolojisindeki ana amaç frekansa bağlı olarak derinlik ve çözünürlük arasındaki optimum dengeleri kurma prensibi üzerine dayanmaktadır.

Klinik olarak kullanılan frekans değeri, girinlik değerleri ve kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

**Tablo 1:** Frekansa Göre Uygulama Alanları.

<b>Frekans</b>	<b>Girinlik</b>	<b>Uygulama</b>
2.5 MHz	25 cm	Kalp, Beyin
3.5 MHz	18 cm	Karaciğer, Dalak
5.0 MHz	13 cm	Böbrek, Pankreas, Kas-İskelet
7.5 MHz	8 cm	Tiroit, Endosonografi
10 MHz	5 cm	Göz, Meme, Testis, Parmak
15 MHz	3 cm	Subkutan Dokular
$\geq 20$ MHz	$\leq 2$ cm	İntravasküler Sonografi, Deri

## **2.8. Ultrasonik Ölçüm Yöntemleri**

### **2.8.1. A-Mod (genlik) ultrasonik yöntem**

Dokulardan A-Mod görüntüleme dokulardan yansıyan ses dalgalarının genliğinin zaman olarak görüntülenmesi tekniğidir (Müller, Schaller and Eger, 1999, s. 48). Kesitsel anatomik bilgi veremediği için sadece basit organ boyutlandırması amacıyla yönelik kullanılmaktadır. Günümüzde artık tanısal transsonografik görüntüleme çok sınırlı olarak kullanılmaktadır. En geniş kullanım alanı oftalmolojik tetkiklerdir.

### **2.8.2. B-Mod (parlaklık) ultrasonik yöntemi**

A-modda tek kristalden elde edilen yansıma bilgilerinin her birinin gri skala'da bir gri tona karşılık getirilmesi ve yan yana dizilmiş kristallerin sırayla tetiklenmesi sonucunda alınan bilgilerin birleştirilerek iki boyutlu bir görüntü haline getirtmesine B(Brightness)-mod görüntüleme denir.( Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 19).

Günümüzde tanısal ultrasonografide kullanılan ana tarama metodu B-mod görüntülemedir. İncelenen organın kesitsel anatomik bilgisini çok büyük bir hassasiyetle verebilmektedir. Geliştirilen son teknolojiler yardımıyla B-mod görüntülerin oluşturulmasında sadece kristallerden gelen akustik bilgiler haricinde; bir takım post proses işlemler de kullanılmakta ve görüntü çözünürlükleri de bu oranda artmış bulunmaktadır (Helvacı, 1995, s. 12; Haar, 1999, s. 79).

### **2.8.3. M-Mod (hareket) ultrasonik yöntem**

M-mod görüntüleme esas itibariyle, tek çizgideki B-mod görüntünün zaman ile değişimini incelemek amacı ile kullanılan bir görüntüleme tekniğidir (Akdağ, 2006, s. 78). M-mod görüntüleme tekniğindeki ana amaç anatomik görüntülemeden çok incelenen organın zamana bağlı hareketinin analiz edilmesidir.

Bu bağlamda esas kullanım alanı ekokardiyografi yani kalp incelemeleridir. Özellikle kalp kasının kasılması ve kapakçıkların fonksiyonları kaybedip

kaybetmediğinin incelenmesinde günümüzde kullanılan bir numaralı görüntüleme tekniğidir (Özden, 1981, s. 18-19).

## 2.9. Ultrasonik Dalgalar

Ultrasonik dalgalar frekansı 20 kHz" den daha yüksek olan ses dalgalarıdır. Ultrasonik mesafe ölçerden bir sinyal göndereceğiz ve yansıtılanı geri alacağız. Bunu yapmamızın amacı sinyalin uçuş süresini ölçmektir (Çıkrıkçıoğlu, 1999, s. 12). Mesafeyi ölçmek için sahip olduğumuz tek bilgi ses dalgalarının ve hızıdır.

Ultrasonik vericiler ultrasonik ses sinyallerini göndermek için kullanılır ve sinyalleri geri almak için ultrasonik alıcıya ihtiyacımız vardır. Verici ve alıcıların çalışma frekansı aynı olmalıdır. Bu sırada uçuş süresini sayan zamanlayıcı durur ve değeri kaydetmektedir (Akdağ, 2006, s. 14-15). Bu zamanlayıcı 65.5 ms 'yi saymalı ve sıfırlamalıdır. Böylece zaman hakkında bilgimiz olur ve bunu kullanarak mesafe bilgimizi değiştiririz. Bunu yapmak için bir sabite ihtiyacımız vardır.

## 2.10. Ultrasonik Dalgaların Fiziksel Karakteristikleri

Ultrasonik dalgalar kendilerini tanımlayan belli fiziksel karakteristiklere sahiptir. Düzgün elastik materyal içinde, sabit sıcaklık ve basınç altında, ultrasonun yayılma hızı (c) sabittir ve doğrudan sesin frekansına (f) ve dalga boyuna ( $\lambda$ ) bağlıdır. Ses dalgalarının diğer belirgin özellikleri ise genlik, güç ve dalga yayılım doğrultusudur (Bland, 2007, s. 14).

**Dalga boyu:** Dalga boyu bir bütün dalga çevriminin boyutudur. Bir çevrim, belirli aralıklarla tekrarlayan genlik değişimlerinin sırasındadır. Dalga boyu mesafedeki parçacık yoğunluğu eğrisi çizileceği zaman genlik yoğunluktaki değişimi tanımlar (Akdağ, 2006, s. 12-13). Dalga boyu peş peşe iki dalga arasındaki mesafedir. Metre (m), santimetre(cm) ya da milimetre (mm) birimleri ile ifade edilir.

**Genlik ve Periyot:** Genlik, fiziksel bir varlığın büyüklüğündeki değişimdir. Genlik zamanın bir fonksiyonu olarak çizildiğinde dalganın periyodu (T) bir tüm

çevrimin tamamlanması için geçen zaman ya da iki ardışık sıkışma veya gevşeme bölgesi arasındaki zaman olarak tanımlanır (Fluery and diğ., 2002, s. 79). Periyotun birimi saniyedir (s).

**Frekans:** Dalganın frekansı bir zaman biriminde (genellikle 1 sn) verilen bir noktada meydana gelen çevrimlerin (basınç salınımlarının) sayısıdır. Periyodun terine karşılık gelir. Birimi Hertz (Hz)'dir.

**Akustik Hız:** Bir dalganın bir ortamdaki yayılma hızı akustik hız olarak adlandırılır. Sesin hızı, dalga enerjisinin gönderildiği ortamın yoğunluğu ve sıkıştırılabilirliği ile belirlenir.



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### FİZİK TEDAVİ YÖNTEMLERİ VE KARPAL TÜNEL TEDAVİSİ

#### 3.1.Fizik Tedavi Tanımı ve Tarihçesi

Çeşitli materyallerin ve enerji türlerinin tedavi amacıyla uygulanmasına fizik tedavi denir (Ulus ve diğ., 2012, s. 11). Tıbbi rehabilitasyon sürecinde uygulanan birçok tedavi yönteminden biri olan fiziksel ajanların geçmişi tıp tarihi kadar eskilere dayanır. Binlerce yıl öncesinde insanlar sıcak-soğuk uygulamanın ve ışığın hastalıklar üzerine olan olumlu etkilerini keşfetmişlerdir (Cameron, 2013, s. 41-42).

Milattan önce (M.Ö) 400'lü yıllarda Herodot kaplıca tedavisine bilimsel bir bakış açısıyla yaklaşmıştır. Fizik tedavi ajanları, köklü geçmişlerine rağmen asıl patlamayı dünya savaşlarından sonra yapmış, değişerek ve gelişerek günümüze ulaşmışlardır (Arasıl, 2005, s. 79).

Dünyada fizik tedavi mesleğinin temelleri ilk önce Avrupa'da başlamış; ancak modern fizyoterapi, Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır (Cameron, 2013, s. 17).. Daha sonraki mesleki gelişim ise, meslektaşların bir çatı altında mesleki yapılanmaları ve dernekleşmeleri ile oluşmuştur. Örneğin, profesyonel anlamda fizyoterapi mesleğine ait ilk dernekler, İsveç'te 1813'te, Hollanda'da 1889'da, İngiltere'de 1894'te, Finlandiya'da 1908'de ve Danimarka'da 1918' de kurulmuştur. Aynı şekilde Fransa ve Almanya gibi diğer Avrupa ülkelerinde de mesleki dernekleşmeler bunlardan hemen sonra kurulmuştur

Buna karşılık Amerika, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Hong-Kong ve Japonya gibi ülkelerde mesleki yapılanmalar ve dernekleşmeler, Avrupa'daki ülkelere göre daha geç olduğu halde, meslekte akademisyenlik ve kanıta dayalı bilimsel



araştırmalar daha erken dönemde başlatılmıştır. Örneğin Amerika Fizyoterapi Derneği (American Physical Therapy Association =APTA) 1921 yılında kurulmuştur. Avustralya'da 1908 yılında kurulan Avustralya Masaj Derneği'nden sonra Avustralya Fizyoterapistler Derneği'nin kuruluşu 1939 yılında geręekleřmiřtir (Arasıl, 2005, s. 67). Kanada Fizyoterapistler Derneği ise 1946 yılında kurulmuştur. Bununla beraber, Dünya Fizyoterapi Konfederasyonunun (World Confederation of Physical Therapy=WCPT) kurulması ile, gelişmiş ölkelerdeki mesleki ilerlemeler, yeni uygulamalar ve bilimsel araştırmalar tüm ölkelerdeki fizyoterapistler tarafından paylaşılmış; bir çok ölkede mesleki hak ve yetkilerin sınırları ve akademik yapılanmaların içeriği belirlenmiştir (Tuncer ve diğ., 2012, s. 72).

American Physical Therapy Association, 2016; World Confederation of Physical Therapy, 2016. Masaj ve jimnastik tedavisi özellikle Londra'da çok popöler olmuş ve aynı yıl jimnastik tedavisi konusunda eğitim almış 4 hemşire, İngiltere Fizyoterapistler Derneği'ni kurmuştur (Ulus ve diğ., 2012, s. 81). Fizyoterapi-rehabilitasyondaki en önemli ilerleme, 19. yüzyıl ile başlamıştır.

19 yüzyılın başında, Amerika Birleşik Devletlerinde başlayan Poliomyelit epidemisi sonucu Amerika'lı ortopedistlerin, fiziksel yetersizliği olan poliomyelitli çocukları tedavi etmeye başlamaları, fizyoterapistlik mesleğinin gelişiminde büyük bir çığır açmıştır (Cameron, 2013, s. 17). Bu dönemde ortopedistler, ameliyat ettikleri veya konservatif olarak tedavi ettikleri bu çocukların fiziksel eğitimleri ve egzersizleri için bazı hemşireleri ve öğrencileri görevlendirmeye başlamışlardır.

Çocuklara fiziksel egzersiz yaptırın bu görevlilere orijinal olarak ilk mesleki yardım, ortopedist M. Sanderson'dan gelmiş; daha sonra diğer ortopedistler de bu yardıma katılmışlardır. Ortopedistler ile bu sağlık görevlileri arasındaki mesleki yardımlaşma, fizyoterapistlik mesleğinin temel taşlarını oluşturmuştur. İlk fizyoterapi okulu, 1. Dünya Savaşı sırasında 1914'de, Washington D.C.'de, Walter Reed Ordu Hastanesi'nde (Walter Reed Army Hospital) açılmıştır (Peter and diğ., 2011, s. 19-20).

## **3.2. Fizik Tedavi Yöntemleri**

### **3.2.1. Isı (Sıcak Tedavisi)**

Genellikle tedavi edilen bölgede ağrıyı azaltıcı ve dolaşımı düzenleyici etkisi nedeniyle ısı kullanılır. Isı diğer adıyla sıcak tedavi yönteminde aşağıdaki gibi faydalar elde edilebilir. Bunlar (Tuncer ve diğ., 2012, s. 79);

- Kan akımını, sinir iletim hızını, tendon ve kollajenin uzama kabiliyetini artırır.
- Eklemlerdeki sertliği ve ağrıları azaltır.
- Kısa dalgalı radyasyon, diatermi akımları, infrared lambalar, ultrason dalgaları, sıcak nemli kompresler, sıcak su, erimiş parafin mumu aracılığıyla ısı uygulanır.

### **3.2.2. Soğuk Tedavisi**

Fizik tedavide yüzeysel ısıtıcılar kan dolaşımını, ağrı eşiğini yumuşak doku elastikiyetini ve metabolik aktiviteyi arttırma amacıyla kullanılır. Ayrıca ağrı ve kas spazmını azaltırken doku iyileşmesini olumlu yönde etkiler.

Genellikle kronik patolojilerde kullanılır. Fizik tedavide soğuk uygulamanın amacı, hücrel metabolizmayı, ağrıyı, kas spazmını, kan dolaşımını azaltmak, hücre dayanıklılığını arttırmak ve inflamasyon sürecini yavaşlatmaktır (Cameron, 2013, s. 23-24). Genellikle akut rahatsızlıklarda ve ameliyat sonrası konnektif dokunun iyileşmesi için kullanılır.

### **3.2.3. Masaj Tedavisi**

Elle ve aletlerle yapılan bir tedavi yöntemidir. Yapışıklıkları giderir, sertlikleri yumuşatır, ruhen ve bedenen zindelik verir.

### **3.2.4. Lazer Tedavisi**

Uyarılmış radyasyon yayılımı ile ışığın güçlendirilmesi anlamına gelmektedir ve güçlendirilen bu ışık Fizik tedavialarında tedavi amaçlı olarak kullanılabilir. Lazer tedavisi dokularda önemli bir ısı artışı oluşturmayacak kadar düşük dozlardadır. Bu yüzden lazer uygulaması sırasında hastalar uygulanan bölgede çok az bir ısı artışı hissedebilirler veya hiçbir şey hissetmeyebilirler.

Lazer uygulaması hastalarda yara iyileşmesi, çeşitli kas-iskelet sistemi hastalıkları, fibromyalji / myofasial ağrı sendromu, lateral / medial epikondilit (tenisçi dirseği / golfçü dirseği), karpal tünel sendromu, artritler, kronik ağrının giderilmesi gibi birçok hastalıkların tedavisi için kullanılabilir.

### **3.2.5. Hidroterapi Tedavisi**

Hidroterapi suyun kaldırma kuvveti, hidrostatik basınç, direnç gibi fiziksel özelliklerinden yararlanarak eklem mobilitesini, kan dolaşımını, aerobik kapasiteyi artırarak ağrıları azaltmak amacıyla kullanılır (Peter and diğ., 2011, s. 79-80).

Fizyoterapistler tarafından kişiye özel hazırlanan hidroterapi egzersiz programı havuz içi veya whirlpool gibi girdaplı su banyosu içinde uygulanabilir (Ulus and diğ., 2012, s. 81). Bu tedavi lokomotor sisteme ve suyun rahatlatıcı etkilerinden dolayı kişinin psikolojik durumuna olumlu katkılar sağlar.

### **3.2.6. Elektrik Akımları Tedavisi**

Çeşitli frekanslardaki elektrik akımının fiziksel etkilerinden tedavi amacıyla yararlanılması elektroterapi adını alır. Kronik veya akut ağrılı hastalıklarda dolaşımı arttırmak, ödemi azaltmak ve analjezi oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir (Cameron, 2013, s. 79). Direkt düşük şiddette bir akım oluşturarak duyu sinirlerinin uyarılması ile ağrı taşınması bloke edilir. Genel olarak süresi 20-30 dk dır.

### **3.2.7. Ultrason Tedavisi**

Ultrason (ultra-sound) insanın işitebileceği seslerden çok daha yüksek frekansa sahip ses dalgalarıdır (Tuncer ve diğ., 2012, s. 78). Fizyoterapide yumuşak dokular üzerine uygulanan terapötik ultrason dokuda mekanik titreşim (vibrasyon) sağlar. Ses dalgaları ayarlanan parametreye göre dokular tarafından absorbe edilirken, termal ve non-termal etkiler ortaya çıkarır.

Ortaya çıkan etkiler dokunun absorpsiyon özelliğine, uygulama süresine, uygulama çeşidine (kesikli, sabit ultrason) bağlı olarak değişir. Ses dalgalarının mikromasaj etkisi ile patolojik dokunun dolaşımı artar ve ağrıları azalır. Son dönemlerde cryo- ultrason gibi cihazlar soğuk ve ultrasonun etkilerini birleştirerek tedavi etkinliğini arttırmıştır (Arasıl, 2005, s. 91-82).

### **3.3. Ultrasonik Dalgaların Fizik Tedavideki Rolü**

Ultrason, ses enerjisidir ve Fizik tedavide derin sıcaklık ve ağrı giderici etkilerinden dolayı kullanılmaktadır (Peter and diğ., 2011, s. 14). Ses dalgalarının frekansları belirlenen mekanik basınç dalgalarıdır. Tedavi amacı ile kullanılan ultrason piezo-elektrik yolla elde edilmektedir.

Ultrason tedavisinde dalgalar absorbe edildiği zaman ısı oluşur. Isı etkisi yağ, kas ve periost gibi dokuların ara yüzeylerinde daha çok olur. Ortam yoğunluğunun değiştiği yerlerde kısmi yansıma meydana geldiğinden bu noktalarda ısı yayılımı olur. Dokularda ki ısı artımı hücre aktivasyonunu artırır. Vazodilatasyon oluşturarak kan akımında artma meydana getirir. Metabolizmanın artması sonucu metabolitlerin atılımını sağlar ve bu sayede enflamasyonları azaltır.

Ultrason dalgaları dokularda basınç değişikliklerine neden olur bunun sonucunda da dokudaki mekanik reaksiyonlar mikromasaj etkisi gösterir. Kollajen liflerin birbirinden ayrılması ve bağ dokunun yumuşaması ile adhezyonları çözer. Ayrıca ultrason; mikroskobik olarak hücre yapısını serbestleştirir, kan yapımını hızlandırır, analjezik etkisi vardır, otonom sinir sistemi üzerinde etkisi vardır ve yumuşak doku yaralanmalarını iyileştirir.

Tedavinin dozajı tedavi edilecek bölgenin büyüklüğü, tedavi şiddeti, tedavi süresi gibi unsurlar göz önüne alınarak planlanmalıdır. İlk tedaviye diğer tedavilerden daha kısa süreyle başlanmalı, ortalama tedavi süresi 5 dakika olarak ayarlanmalıdır. Ultrason deriye direk temas yerine bir jel üzerinden ya da su içi uygulama teknikleri ile uygulanmalıdır (Cameron, 2013, s. 74). Üst üste binen sirküler çizgiler, üst üste binen 8 çizimleri ya da üst üste binen transvers çizgiler şeklinde ultrason başlığı vücut üzerinde gezdirilmelidir.

Ultrason kontraktürlerde, osteartirlerde, romatoid artirlerde, kas incinmelerinde, fibrosit ve myositlerde, nöromalarda, plantar siğillerde, açık yaralarda, sudek atrofilerinde kullanılabilir (Ulus ve diğ., 2012, s. 79). Kalp pili olanlarda, hamilelerde karın üzerinde, tümörlerde, enfekte bölgelerde, büyüyen kemiklerin epifiz plakları üzerinde, medulla spinalis üzerinde, gözler ve beyin üzerinde, genital organlar üzerinde ve kalp üzerinde uygulanmaz.

### **3.4. Karpal Tünel Tedavisi**

#### **3.4.1. Tanımı**

Karpal tünel tedavisi; median sinirin en sık görülen tuzak nöropatisi olup, sinirin karpal tünel seviyesinde sıkışmasıyla meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, Karpal tünel tedavisi median sinirin el bilek hizasında bası altında kalarak tuzaklanması sonucu ortaya çıkmaktadır ve en sık görülen tuzak nöropatisidir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, ). En sık görülme yaşı 40-60 yaş arası olup kadınlarda 2 ile 5 kat daha sıktır., s. 295).

Karpal tünel sendromu el parmaklarında hissizlik, uyuşma, parestezi, özellikle başparmak, 2 ve 3. parmaklarda ağrı gibi duyuşsal semptomlara ve güçsüzlük, elin beceri ve fonksiyonunda azalma gibi motor semptomlara neden olabilmektedir (Szabo, 1989, s. 45). Birçok sebep karpal tünel sendromuna neden olabilmesine rağmen en sık idiyopatik karpal tünel tedavisi görülür.

Karpal tünelin sınırları; dorsal, medial ve lateralde karpal kemikler, volar yüzde ise transvers karpal ligaman tarafından oluşturulmaktadır. Altta yatan patolojik süreç;

karpal tünel içindeki boşlukta bir azalma ya da içerik hacminin artmasıyla gelişen tünel içerisindeki basınç artışına bağlıdır (Katz and Simmans, 2002, s. 19). Periferik sinirlerin anatomik olarak tuzaklanmaya elverişli bölgeleri olmakla birlikte tuzaklanma bu sinirlerin seyri boyunca herhangi bir bölgede oluşabilmektedir (Atroshi, 1999, s. 17).

Median sinirin karpal tünelde bu şekilde tuzaklanmasıyla Karpal Tünel tedavisi işaretleri ve semptomları gelişmektedir. Karpal tünel seviyesinde median sinir %94 duyuşal ve %6 kadar motor lifler içermektedir (Schmidt, 2001, s. 47). Median sinirin motor lifleri değişik varyasyonlar gösterebildiği için Karpal Tünel Tedavisinde olgulardaki semptomlar da farklı olabilmektedir. Tuzaklanmanın distalindeki bölgede median sinir dermatomunda parestezi, belirgin ağrı ve huzursuzluk karpal tünel tedavisinde en önemli semptomlardır (Tanako and Diğ., 1994, s. 45). Duyusal semptomlar tipik olarak geceleri artış göstermektedir. El bileğinin tekrarlayan fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri semptomları arttırmaktadır.

Karpal Tünel Tedavisinde olguların %34'nde ulnar sinir tutulum bulguları da bildirilmektedir. Bu hastalarda tenar atrofi görülebilir ve median sinirin motor fonksiyonlarında zayıflamaya bağlı olarak yaşam aktivitelerinde kısıtlanma ve işgücü kaybı gelişebilir. Karpal Tünel Tedavisinde görülen olguların yaklaşık %55'i bilateraldir ve dominant eldeki semptomlar sıklıkla daha önce görülmekte ve daha şiddetli olmaktadır (Szabo, 1989, s. 72).

Tek taraflı tutulumda da yine sıklıkla dominant el tutulumu görülmektedir. Median sinirin karpal tünelde sıkışması içerik hacmi ile kanal genişliği arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır (Boz, zmenoğlu, Altunayoğlu, Velilu ve Alilu, 2004, s. 48). Nihai ortak yol intersitisyel sıvı basıncının artışıdır. Bu durum intrensek veya ekstrensek mekanizmalar sonrası ortaya çıkabilir fakat asıl neden henüz tam olarak ortaya konulamamıştır.

Karpal Tünel Tedavisinde semptomlarının ortaya çıkmasına yol açabilecek biyokimyasal değişiklikler hakkında bazı çalışmalar yapılmıştır (Schmidt, 2001, s. 45). Bu konuda bir çok hayvan deneyleri de yapılmış ve insanlara benzer şekilde patolojik değişiklikler gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalarda idiopatik Karpal Tünel Tedavisinde; fleksör tenosinovit, vasküler skleroz, fibröz hipertrofi ve sinoviyada ödem gibi patolojik süreçler öne sürülmektedir (Bland, 2007, s. 79). Fakat günümüzde idiopatik karpal tünel sendromunun kesin etyolojisi tam olarak aydınlatılmış değildir.

### **3.4.2. Tarihçesi**

Karpal Tünel Tedavisi; ilk kez Sir James Paget tarafından 1854 yılında; biri otopsi yapılmış olan iki ayrı vakada median sinirin el bileği seviyesinde basıya uğrayabileceği şeklinde tanımlanmıştır (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 18-19). Esas klinik tablo ise 1911 yılında Ramsey Hunt tarafından tanımlanmıştır.

1913 yılında Marie ve Foix 80 yaşında tenar atrofisi olan bir kadavranın otopsisinde median sinirin kronik kompresyonu sonrası gelişen patolojik değişiklikleri göstermiş ve median sinirin fleksör retinakulum altında bariz olarak sıkışmasıyla nodüler genişleme oluştuğunu buna ilaveten hem interfasiküler hem de intrafasiküler bağ dokusundaki artışı ve sinirin retinakulum altındaki bölge ile distalinde myelin liflerinin azalmış olduğunu göstermişlerdir (Einhorn and Leddy, 1996, s. 48).

İlk cerrahi dekompresyon 1933 yılında Learmonth tarafından posttravmatik osteofit gelişimi nedeniyle median siniri basıya uğramış olan bir hastada uygulanmıştır (Szabo, 1989, s. 45). 1938 yılında Moersch bu sendroma adını verdikten sonra, Gaynor ve Hart direkt grafilerle 1941 yılında karpal tüneli incelemişlerdir. 1946 yılında ise Canon ve Love Mayo klinikten median sinir kompresyonu tanısı konulan ve cerrahi olarak transvers karpal ligamanları kesilen 9 hastadan başarılı sonuçlar bildirilmiştir (Bland, 2007, s. 79).

Karpal Tünel Sendromu terimi ise ilk kez 1947 yılında Brain Wright ve Wilkinson tarafından tipik klinik semptomları bulunan ve cerrahi tedaviye yanıt veren bir hasta grubunda kullanılmıştır (Katz and Simmans, 2002, s. 14-15). Phalen 1966 yılında cerrahi yapılan 654 hastadan oluşan vaka serisini bildirmiştir.

1981 yılında Pinkoff ve ark. bilgisayarlı tomografi (BT) ile karpal tüneli görüntülemişler ardından Fornage ve ark. karpal tüneli ultrasonografi (USG) ile

gözlemleridir (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 79). 1986 yılında KTS'de manyetik rezonans görüntüleme kullanılarak ilk görüntülemeler yapılmıştır.

### **3.4.3. Epidemiyoloji**

Karpal Tünel Tedavisinde gibi yapılan çalışmalarda genel popülasyonda 0,1-5 arasında değişen oranlarda bulunmuştur. Karpal Tünel tedavisi'nin insidansına dair oldukça değişken veriler vardır, sıklık değerleri vakaların dahil edilme kriterlerine ve mesleki faktörlere bağlıdır (Atroshi, 1999, s. 74). Üçüncü ve beşinci dekatlar arasında daha sıktır ve prevalansı yaşla birlikte artar. Kadınlarda erkeklere göre daha sık görülür.

Karpal Tünel Tedavisi'nin %40–60 oranında bilateral başlayabileceği bildirilmiştir (Szabo, 1989, s. 75). Bilateral olgularda dominant el genellikle daha önce ve daha şiddetli olarak tutulur. Unilateral olgularda ise sıklıkla dominant el tutulur.

### **3.4.4. Patofizyoloji**

Karpal tünel sendromu kronik kompresyon nöropatisinin en yaygın ve klasik örneğidir. Karpal tünel tedavisi patogenezi açık değildir. Semptom ve sinir hasarını açıklamak için birçok teori öne sürülmüştür. En popüler olanları vasküler staza bağlı ödem, mekanik kompresyon, mikro-vasküler yetmezlik ve vibrasyon teorileridir.

Karpal tünel rölatif olarak esnek olmayan bir yapıdır ve karpal tünel içindeki basınç değişikliklerine çok iyi uyum sağlayamamaktadır. Uzun süreli artmış basıncın, sinovyal kalınlaşmaya yol açarak tünel alanını daralttığı gösterilmiştir (Katz and Simmons, 2002, s. 41).

Kompresyon nöropatisinde iskemik hasarın üç evresi tanımlanmıştır (Szabo, 1989, s. 45):

- İntrafunikuler basınçta artış
- Kapiller hasar sonrası sızıntı ve ödem



- Arteriel akımın kesilmesi

Akut kompresyon çalışmalarında; lokal iskemi, vasa nervosumlarında kollaps, sinirin oksijenlenmesinde azalma ve iletim bloklarına neden olan ani basınç artışları oluşturmuştur (Schmidt, 2001, s. 45). Bu geri dönüşlü bir durumdur ve basınç kaldırılırsa fonksiyonlar geri dönmektedir. Hayvan çalışmalarında kompresyonun myelin kılıfta mekanik hasar oluşturduğu ve iletim hızında yavaşlamaya, iletim bloğuna yol açtığı gösterilmiştir. Uzun süreli basılar latanslarda uzamaya neden olmuştur. Miyelindeki hasarlanmanın kompresyon şiddetinin yüksek olduğu kısımlarda daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Bland, 2007, s. 49).

Kronik sinir kompresyonunda kompresyon süresi ve nöral hasar arasında doz-yanıt ilişkisi vardır. Karpal Tünel tedavisinde median sinirdeki ilk lezyon tüneldeki basınç artışı nedeni ile venöz dönüşün engellenmesine bağlı intrafuniküler anoksidir (Atroshi, 1999, s. 12). Anoksiye de bağlı giderek ödem oluşmakta ve intrafuniküler basınç daha da artarak hem kan akımı bozulmakta hem de kompresyon ortaya çıkmaktadır.

Erken dönemde artan karpal tünel basıncına bağlı kan akımı bozulmakta, orta derecede intrafuniküler basınç artmaktadır. Dolaşım düzeldiğinde bulgular hızla geriye dönebilmektedir. Bu dönemde nokturnal paretezilerve ağrılar oluşmaktadır. İkinci dönemde ise kapiller dolaşım yavaşlamakta ve ödem artmaktadır. Endonöral boşluklarda protein birikimi olmakta ve bazı liflerde şişme görülmektedir. Hastalığın geç döneminde ise protein birikimi artmakta, fibroblastlar prolifer olmakta ve buna bağlı intrafuniküler fibrozis gelişmektedir (Szabo, 1989, s. 71).

Bu evredeki değişiklikler geri dönüşümsüzdür. Bu patolojik süreçte bazı liflerde iletim bloğu, sinir iletiminde lokalize yavaşlama, bazı sinir liflerinde ise aksonal dejenerasyon gelişmektedir. Ekstranöral basınç uygulanarak, mikroskopik olarak intranöral kan akımı değerlendirildiğinde 20 mmHg basınçla epinöral venöz akımın bozulduğu, 30 mmHg basınçla antegrad ve retrograd aksonal transportun inhibe olduğu, 30-40 mmHg basınçla kompresyon uygulandığında nörofizyolojik değişiklikler ve parestezi gözlenmiştir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, 2004, s. 296).

Üst ekstremitte sinirlerinin sinir boyunca anlamlı mobiliteleri vardır. Kompresyon sinirin gerilmesine ve mobilitelerinin azalmasına yol açarak eklem hareketiyle traksiyona uğramasına neden olabilir. Tek başına traksiyon iletim bloğuna neden olabilmektedir. Henüz tam kanıtlanmamış olmasına rağmen traksiyon karpal tünel tedavisi patofizyolojisinde rol oynayan bir faktör olarak düşünülmektedir (Szabo, 1989, s. 40).

Sinir hücresinde aksonun canlılığı ve fonksiyonları için gerekli olan enzimler, polipeptidler, polisakkaritler, serbest aminoasitler, nörosekretuar granüller ve tubulin subünitleri sentezlenir. Bu maddeler akson boyunca hızlı ve yavaş aksoplazmik akımla ilerler ve parçalanmış ürünler retrograd aksoplazmik akımla geri alınır. Bu maddelerin sentezlenmesi ya da transpotunda oluşan aksama, siniri kompresyona meyilli hale getirir.

Böylece sinirin bir noktada kompresyona uğraması, aksonal transport kinetiğinin bozulmasına yol açarak, farklı lokalizasyonlarda (hasarın proksimalinde ya da distalinde) kompresyon nöropatisi oluşma eşiğinde düşmeye neden olabilir. Buna 'double crush fenomeni' adı verilir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu ve Alioğlu, 2004, s. 298). Bu tip vakalarda her iki sinir tuzaklanmasının tedavisinin yapılmaması durumunda, cerrahi dekompresyon sonuçları yüz güldürücü olmayabilir.

Karpal tünelin hacmi dinamiktir ve el bilek hareketlerinden etkilenir. Normal karpal tünel iç basıncı 2-10 mmHg arasında değişmektedir. El bilek fleksiyonu ile 31 mmHg, bilek ekstansiyonu ile 30 mmHg'ya kadar çıkar. Karpal tünel tedavisi hastalarında basıncın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleriyle 110 ve 90 mmHg'a çıktığı bilinmektedir (Tanako and Diğ., 1994, s. 47).. El bileğinin ekstansiyonu ile kanal içindeki yapılar dorsal taraftan kompresyona uğrarken, fleksiyonu ise volar karpal ligamanın tünel içindeki yapıları aşağı bastırması ile kompresyona uğratmaktadır.

Bu basınç artışları volar ligamanın hemen yanında bulunan median siniri etkileyerek epinöral kan akımının azalmasına ve sonuçta ödem oluşumuna neden olabilmektedir. Tekrarlayan el hareketlerinin karpal tüneldeki tendonların sinoviyal kılıflarını kalınlaştırdığı ve karpal tünel tedavisi gelişimine yatkınlık oluşturduğu

gösterilmiştir. Bağ dokunun aralıklı perfüzyonu, iskemi ve serbest oksijen radikalleri oluşumuna neden olur. Oksidatif stres devam ederse normal antioksidan savunma mekanizmaları yetersiz kalır ve hücrel hasar oluşur.

Karpal Tünel Tedavisinde, bu açıdan aynı zamanda bir kümülatif travma bozukluğu olarak da değerlendirilir. Bilgisayar klavyesi kullananlar gibi el bileğinin nötral olmayan pozisyonlarında çalışanlar için bir meslek hastalığı olarak kabul edilebilir.

Kanalda yer kaplayıcı lezyonlar, anatomik kalıntılar veya anomaliler gibi başka nedenlerden doku hacmi artışı da kanal içerisindeki basıncın artışına neden olarak KTS gelişimine neden olabilir. Uykuda ve inaktivite durumunda periferik vazodilatasyon ve venöz staza bağlı fleksör sinovyumda ödem oluşur ve bu durum median sinir üzerindeki basıncı arttırmaktadır. Parmakların ve bileğin hareket ettirilmesi venöz dolgunluğu azaltarak semptomları azaltabilir.

Bu mekanizma Karpal Tünel Tedavi'nin karakteristik bulgularından olan gece ağrısını açıklayabilir. Bunun dışında gece semptomları, anormal bilek pozisyonu ile median sinirde kıvrılma ile de açıklanmaya çalışılmıştır (Szabo, 1989, s. 41). Vibrasyona maruziyet karpal tünel tedavisini gelişimiyle ilişkilidir. Birçok araştırmada vibrasyona maruziyetin periferik nöropatiye neden olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, epidemiyolojik çalışmalar, vibrasyona maruziyetin karpal tünel tedavisinin de gelişimiyle güçlü ilişki içinde olduğunu göstermektedir (Atroshi, 1999, s. 43).

### **3.4.5. Etyoloji**

Karpal Tünel Tedavisi'nin en sık nedeni, herhangi bir etyolojik etkenin saptanamadığı idiyopatik Karpal Tünel Tedavisi'dir. İdiyopatik Karpal Tünel Tedavisi; konnektif dokunun vasküler skleroz, ödem ve fibrozis nedeniyle oluşan fleksör tendon sinoviyal membranlarının hipertrofisi ile koreledir. İdiyopatik Karpal Tünel Tedavisiyle ailesel yatkınlık, obezite, vücut kitle indeksinin fazla olması, kare şeklinde bilek yapısı gibi kişisel etmenlerinde neden olduğu düşünülmektedir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, 2004, s. 299).

İş yerindeki mekanik nedenler idiopatik Karpal Tünel Tedavisi’de etkin rol oynamaktadır. Montaj işinde çalışan işçiler, fabrika çalışanları, klavye ve bilgisayar kullananlarda olduğugibi belli hareketlerin çok sık tekrarlanması Karpal Tünel Tedavisin ile ilişkili bulunmuştur. Karpal Tünel Tedavisi nedenleri aşağıda sıralanmıştır (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 72).

A. İdiopatik (en sık)

B. Anatomik

- Küçük karpal tünel
- Kalın transvers karpak ligaman
- Sinir, kas, bursa anomalileri (Örn: Bifid median sinir)
- Aberran arter (Aberran persistan median arter)

C. Travma

- Akut travma: Fraktür ve dislokasyonlar, bilekte oluşan hematomlar ve benzeri.
- Kronik travma (Tekrarlayıcı el bilek fleksiyon, ekstansiyon hareketleri)

D. Yer kaplayıcı oluşumlar:

- Ganglion / Sinovyal Kist
- Lipom - Fibrom - Nörinom

E. Sinovit yapan faktörler

- Romatoit Artrit
- Skleroderma
- Sistemik Lupus Eritematozus
- Dermatomiyozit
- Seronegatif Spondilartropatiler
- Granülomatoz ve non-granülomatoz infeksiyonlar
- Kristal depo hastalıkları

*F. Sistemik hastalıklar*

- Diabetes Mellitus
- Tiroid hastalıkları
- Hipoparatiroidizm
- Amiloidoz
- Akromegali
- Mukopolisakkaridozlar
- Polimiyaljia Romatika
- Osteoartroz
- Gebelik
- Oral kontraseptif kullanımı
- Piridoksin eksikliği
- Gut
- Sarkoidoz
- Kronik böbrek yetmezliği
- Paget hastalığı

#### **3.4.6. Semptomlar ve Fizik Muayene**

Karpal tünel sendromunda klasik semptom olarak elde median sinir innervasyonlu 2. 3. parmaklar ve 4. parmak lateralinde daha çok geceleri ortaya çıkan, eli sallamakla veya pozisyonunu değiştirmekle azalan ‘brakialjia nokturna’ adı verilen parestezi ve ağrı görülür. Elin ve el bileğinin sallanması ile semptomların azalması ‘flick belirtisi’ olarak adlandırılmaktadır (Schmidt, 2001, s. 71).

Ağrı ön kola ve hatta omuza kadar yayılabilir. Flick belirtisi karpal tünel tedavisi tanısı için yüksek duyarlılık ve özgülüğe sahiptir. Yine başlangıç evresinde ellerde iyi lokalize edilemeyen şişlik, sertlik hissi gibi spesifik olmayan yakınmalarda olabilir. Erken evrelerde geceleri var olan şikayetlerin ilerleyen evrelerde sıklığı artar, gün içinde de şikayetler ortaya çıkabilir. Ellerin kullanılmasını gerektiren aktiviteler (kitap sayfası açmak, yazı yazmak, örgü örmek, araba sürmek vs.) semptomları

arttırmaktadır (Bland, 2007, s. 49). Ellerde zımpara kağıdı gibi duyu veya eldiven giymis gibi dizestetik yakınmalar ortaya çıkabilir.

Bu durum duysal liflerin demiyelinizasyonu sonucudur. Bu dönemde sikayetlere elektrofizyolojik bulgular da eşlik edebilmektedir. Tenar alanın duysal median sinirin karpal tünelden geçmeyen palmar kutanöz dalıyla innerve olduğu için genellikle sağlam kalır. Hastalar kuvvetsizlik ve el becerisinde azalma, elde şişlik hissinden yakınabilirler. Hastalar ileri dönemde ellerinden cisimleri düşürdüklerini söyleyebilirler. Bazı hastalarda duyu liflerinin korunması sonucu sadece motor semptomlar görülür.

Bu tip karpal tünel tedavisi'nin en kötü prognozlu formudur. Çünkü duysal semptomlar olmadığı için hasta belirgin tenar atrofi ve motor defisit olmadan problemin farkına varamayacaktır. Fizik muayenede erken dönemde median sinir innervasyon alanında duyu kaybı olabilir. Duyu muayenesi hafif dokunma, iğne batırma, sıcak soğuk ayırımına bakılarak yapılabilir. Kıyaslama karşı elle veya aynı el hipotenar eminensiyle yapılır. Motor kayıp tenar kasların kuvvetini değerlendirilerek test edilmelidir.

Kronik median sinir kompresyonunda tenar atrofi ve abduktor pollicis brevis, opponens pollicis ya da fleksör pollicis brevis kaslarında güçsüzlük saptanabilir. İncelemede tenar kaslarda atrofinin varlığı araştırılmalıdır. Başparmak fleksiyon, abduksiyon ve oppozisyon kuvvet muayenelerinden en değerli olan abduktör kuvvet muayenesidir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, velioğlu ve alioğlu, 2004, s. 301).

Testi en kolay olan kas abduktor pollicis brevis kasıdır. Başparmak beşinci parmağa doğru yaklaştırıldıktan sonra hastadan dirence karşı başparmağı açması istenir. Opponens pollicisin testinde ise başparmağın beşinci parmağın ucuna dokundurulmasından sonra uygulayıcı iki parmağı açmaya çalışır. Karpal Tünel Tedavi muayenesi median sinirin karpal tünel seviyesindeki kompresyonunun provakasyonu esasına dayanmaktadır (Szabo, 1989, s. 72).

Karpal Tünel Tedavisi tanısında pek çok klinik test geliştirilmesine rağmen en çok tinnel ve phalen testleri kullanılmaktadır. Tinnel testi karpal tünel düzeyinde

median sinir trasesine perküsyon uygulanmasıdır. Median sinirle innerve olan parmaklarda uyuşma meydana gelir. Karpal Tünel Tedavisi olguların %45'inde pozitif bulunmuştur (Szabo, 1989, s. 93).

Karpal Tünel Tedavisi için %67-89 oranında duyarlılığı, %68-91 oranında özgülüğü olduğu bildirilmiştir. Phalen testinde 60 saniye boyunca el bileği tam fleksiyon halinde tutulmaktadır (Tanako and diğ., 1994, s. 14). Buda testinde (el bileği ekstansiyon testi) ise aynı süre için el bileği ekstansiyonda tutulur.

Her iki pozisyonda pareteziler ve ağrı ortaya çıkması veya mevcut parestezi artması durumunda test pozitif kabul edilir. Karpal kompresyon testinde muayene eden kişi iki parmağı ile bilekte median sinir üzerine 60 saniye boyunca bastırır. Median sinir alanında uyuşma, parestezi ve ağrı meydana gelmesi KTS tanısı lehinedir.

Karpal Tünel Tedavi tanısında %64 oranında duyarlı, %83 oranında özgül bir test olduğu bildirilmiştir (Boz., Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve alioğlu, 2004, 302). Genellikle tinel ve phalen testlerinin kullanımının klinikte pratik ve yararlı olduğu düşünülmektedir. İki testin birlikte pozitif olmaları durumunda özgülük artar. Ancak provokasyon testlerinin negatif olması KTS tanısını dışlamaz.

### **3.4.7. Elektrofizyolojik Yöntemler**

Karpal tünel sendromunun standart inceleme yöntemi; sinir iletim çalışmaları ve iğne elektromiyografisinden (EMG) oluşan elektrofizyolojik incelemelerdir. KTS'de median sinir motor ve duysal dallarının işlevsel durumunu değerlendirmede elektrofizyolojik testler son derece önemlidir (Einhorn and Leddy, 1996, s. 12). Elektrofizyolojik testlerin duyarlılığı %56-%85 arasında, özgülüğü ise %94 ve üzerindedir (Szabo, 1989, s. 12; Atroshi, 1999, s. 73).

Elektrofizyolojik değerlendirmeler yüksek duyarlılık ve özgülüğü nedeniyle KTS tansında altın standart olarak kabul edilmektedir. Sinir iletim çalışmasında fokal demiyelinizasyon ve aksonal dejenerayona ait bulgular gözlenir. En duyarlı tanısal test, karpal tünel boyunca duysal sinir iletim hızının ölçülmesidir.

Karpal Tünel Tedavisinde olgularda elektrofizyolojik çalışmalarda normal bireylerle veya aynı bireyin etkilenmemiş sinirleri ile kıyaslandığında median sinirin duysal veya motor komponentlerinde veya her iki komponentinde sıklıkla uzamış distal latans ve gecikmiş iletim hızı saptanır.

Uzun süreli bası ya da kısa süreli ve yoğun sinir tuzaklanması aksonal dejenerasyondan dolayı olabilmektedir.

Elektrotanısalsal çalışmalarda KTS tanısında aşağıdaki kriterlerden bir ya da birkaçı bulunmalıdır (Bland, 2007, s. 72-73):

- 3. parmak-bilek segmentinde anormal duyu sinir iletim çalışması
- Avuç içi- bilek segmentinde anormal duyu sinir iletim çalışması
- Distal motor latansta uzama

İğne EMG'de ise fibrilasyon ve pozitif keskin dalga (PKD) potansiyelleri, motor ünit potansiyellerinde (MÜP) morfolojik anormalliklerin ve rekrutman paternindeki değişikliklerin olup olmadığı değerlendirilir (Szabo, 1989, s. 72). İğne EMG aksonal dejenerasyonun varlığını ve şiddetini göstermede yardımcıdır.

Karpal tünel tedavisinin hafif ve orta evrelerinde iğne EMG değişikliği sıklıkla gözlenmezken, ileri vakalarda abdutor pollicis brevis kasında rekrutman paterninde azalma, MÜP konfigürasyon bozukluğu, fibrilasyon ve PKD gibi denervasyon potansiyelleri görülebilir. İğne EMG, KTS'yi radikülopati ve diğer periferik sinir lezyonları ayırmada da yardımcıdır.

Karpal tünel sendromunun şiddeti elektrofizyolojik olarak değerlendirildiğinde 3 gruba ayrılır (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioglu ve Alioglu, 2004, s. 303).

**Hafif KTS:** Distal duyu latanslarının (DDL) uzaması ± Birleşik sinir aksiyon potansiyelinin (BSAP) normal değerlerinin altında olması



**Orta KTS:** Yukarıda bahsedilen uzamış DDL ve ek olarak uzamış distal motor latans (DML)

**İleri KTS:** Uzamış DDL ve DML'ye ek olarak duyu amplütüdlerinin elde edilememesi veya düşük BKAP amplitüdü veya yokluğu. Ayrıca iğne EMG'sinde sıklıkla fibrilasyon, rekrutman paterninde azalma ve MÜP değişikliklerinin bulunması şeklinde tanımlanmıştır

### 3.4.8. Ultrasonografik İnceleme

Periferik sinir lezyonlarında tanıya yönelik ultrasonografik (USG) değerlendirmeler son 20 yılda önemli bir yol almıştır. USG, ses dalgalarının geçtiği bölgeden yansımaya dayalı bir görüntüleme yöntemi olup dokuların akustik özelliklerini kullanır. Ultrasonografide cihazın ses dalgalarını gönderen elemanı transdüserdir (Atroshi, 1999, s. 10). Transdüser, incelenen bölgeye ses dalgalarını gönderir ve yansıyanı geri alır.

Son yıllarda 7–15 MHz'lik yüksek rezolüsyonlu probların kullanıma girmesi ile median sinir daha iyi gözlemlenebilmekte ve karpal tünel morfolojisi ve kompresyona neden olabilecek median sinir ve çevre dokularda anatomik varyasyonlar hakkında bilgi sağlanmaktadır (Tanako and diğ., 1994, s. 71). USG, rölatif olarak düşük maliyetli, kolay ulaşılır, kısa inceleme süresine izin veren, invaziv olmayan, gerçek zamanlı ve dinamik incelemeye olanak sağlayan bir yöntemdir (Finsen and Zeintlmann, 2006, s. 71).

Yapılan çalışmalarda karpal tünel sendomu değerlendirmesinde USG'nin duyarlılığının %71-83, özgüllüğünün %78.9-94.8 arasında değiştiği gösterilmiştir (Atroshi, 1999, s. 72). USG median sinirin boyutu, vaskülaritesi ve mobilitesi gibi birçok parametrenin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Median sinir ultrasonografik transvers görüntülemelerde fleksör tendonların hemen üzerinde hiperekoik çizgi ile çevrelenmiş hipoekoik sinir lifleri olarak görülür.

Median sinirin transvers kesit alanı ölçümü birçok çalışmada kontrol grubuna göre daha büyük saptanmıştır. Bunun karpal tünel tedavisi'nde inflamasyona bağlı

median sinirin ödemi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. USG ile KTS derecesini değerlendirmede nörofizyolojik çalışmalarla karşılaştırıldığında yakın benzerlik saptanmıştır (Boz., Özmenoğlu, Altunayoğlu, Veliöglu ve Alioğlu, 2004, s. 308). Ayrıca karpal tünel tedavisi'nin derecesi arttıkça median sinir TKA'nın da arttığı bildirilmiştir.

Median sinir TKA'nın ölçümü radioulnar bileşke, pisiform veya hamatum seviyesinden yapılabilmektedir. TKA karpal tünel girişinde ve pisiform kemik seviyesinde ölçümleri Karpal tünel tedavisinde en duyarlı ve özgül ultrasonografik ölçüm olarak saptanmıştır (Szabo, 1989, s. 82). Çeşitli çalışmalarda median sinirin TKA'nın normal kişilerde 7- 9,5 mm2 aralığında iken, KTS'li bireylerde 9-15 mm2 aralığında olduğu gösterilmiştir.

Ancak günümüzde sonografik KTS tanısı için belirlenmiş bir median sinir TKA cut-off değeri olmayıp, TKA'nın genişlemesi her ne kadar oldukça önemli bir bulgu olsa da tanı için tek başına yeterli kabul edilmemektedir. Yassılaşıma oranı, median sinirin tranvers çapı ve anteroposterior çapının oranı ile hesaplanır.

Kartal Tünel Tedavisindeki uzamış bası ve inflamasyona bağlı median sinirde fibroblastik aktivite artışı ve skar formasyonu gelişmektedir. Buna bağlı olarak median sinirin yassılaşıma oranında normal popülasyona göre artış gözlenmektedir. Çalışmalarda yassılaşıma oranının 3 mm ve üzerinde olmasının kartal tünel tedavisi için anlamlı olduğu bildirilmesine rağmen bazı çalışmalarda tanısal değerinin düşük olduğu raporlanmıştır.

Karpal Tünel Tedavisinde, hastalarda artmış karpal tünel basıncına bağlı olarak daha konveks şekilde ve normale göre daha kalın olarak gözlenebilir. Bu karpal tünel sendromunun ultrasonografik değerlendirilmesinde fleksör retinakulumun palmar yaylanmasında artış olarak görülür.

Fleksör retinakulumun palmar yaylanması (palmar bowing); trapezium tüberkülünden hamatum çengeli arasında çizilen çizginin orta noktasının fleksör retüküluma olan uzaklığı ölçülerek hesaplanır. Palmar yaylanma ölçümünün Karpal Tünel Tedavisinde tanısında kullanışlı olduğu belirtilmesine rağmen 2.5 ve 4 mm

üzerinde olmasının anlamlı olduğunu belirten farklı sonuçlar mevcuttur (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioglu ve Alioglu, 2004, s. 309)..

KTS patofizyolojisi değerlendirildiğinde inflamasyon ve kompresyona bağlı median sinir intranöral mikrovaskülarizasyonunda artış beklenir. KTS tanısında median sinir vaskülaritesinin power doppler ile değerlendirmesi son zamanlarda revaçtadır. Yapılan çalışmalarda Karpal Tünel Tedavisinde hastaların %48'inde dopplerde sinyal artışı görülürken kontrol grubunda görülmemiştir. Power doppler skoru ile TKA arasında pozitif korelasyon bulunmuştur (Schmidt, 2001, s. 14)

Karpal tünel tedavisi alanında yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin sınırlı olması nedeniyle literatürde Karpal tünel tedavisinde kesin kabul görmüş bir tedavi yöntemi bulunmamaktadır. Semptomların kısa süredir devam ettiği, şiddetli olmayan olgularda genellikle konservatif tedavi yöntemleri tercih edilmektedir. KTS'de uygulanan başlıca konservatif tedavi yöntemleri splintleme, lokal kortikosteroid enjeksiyonu, tendon kaydırma egzersizleri, ultrason, kısa dalga diatermi, parafin, kontrast banyo, fonoforez, transkutanöz elektriksel nöral stimülasyon (TENS), laser gibi fizik tedavi modaliteleridir (Szabo, 1989, s. 101; Bland, 2007, s. 77).

Çoğu hastada ilk ve en etkili tedavi yöntemi el bileğinin nötral pozisyonda splintlenmesidir. Semptomları yeni başlamış ve çok şiddetli olmayan hastalarda splintleme bazen tek başına yeterli tedavi yöntemi olabilir. Yapılan çalışmalar el bileği splintinin KTS'deki tedavi edici etkisinin eli nötral pozisyonda tutarak karpal tünel içi basıncı azaltıcı etkisinden kaynaklandığını göstermiştir (Schmidt, 2001, s. 11; Katz and diğ., Leddy, 1996, s. 12). Nötral splintlerin 6 hafta boyunca geceleri takılması önerilmekle beraber tam zamanlı splint kullanımının daha etkili olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur.

Lokal kortikosteroid enjeksiyonlarının KTS'li hastaların yaklaşık %75'inde semptomatik düzelme sağladığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bu rahatlama birkaç haftayla 4-6 ay arasında devam eder. Hastaların %10 ile 20'sinde ise rahatlama kısmidir. Enjeksiyondan 1-2 gün sonra semptomlarda hafifleme görülse de tam fayda görülmesi için 2-3 haftanın geçmesi gerekebilmektedir (Tanako and diğ., 1994, s. 76).

Steroid olmayan antiinflamatuvar ilaçlar (SOAİİ) ve diüretiklerin kullanımının yararıyla ilgili yüksek kalitede randomize kontrollü bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca KTS patofizyolojisinde inflamasyonun anlamlı bir yeri yoktur. Bu nedenle KTS tedavisinde kullanımları mantıklı görünmemektedir.

Karpal tünel sendromunda cerrahi tedavi konservatif tedavilerin etkisiz kaldığı, ilerleyici ya da kalıcı nörolojik değişikliklerin bulunduğu durumlarda düşünülmelidir. Cerrahi tedavi açık veya endoskopik olarak TKL'nin serbestleştirilmesi şeklinde yapılabilir. Cerrahi tedavinin komplikasyonları ise; enfeksiyon gelişmesi, akut hematoma, arter yaralanması, median sinirin yaralanması, refleks sempatik distrofi sendromu ve KTS'nin nüks etmesidir (Szabo, 1989, s. 12-13). Cerrahi ilk dönemlerde faydalı olsa da hastaların %7-30'unda semptomlar tekrarlayabilir. Endoskopik cerrahi yaklaşım ile işe dönme zamanını kısaltmakla beraber geç dönem sonuçları açık cerrahi ile aynıdır.

### **3.5. Karpal Tünel Sendromu Tedavisinde Fizik Tedavinin Yeri ve Önemi**

Karpal tünel tedavisi, median sinirin karpal tünelde kompresyonu sonucu gelişen semptomlar topluluğu olup, en sık görülen tuzak nöropatidir. Ellerde uyuşma, karıncalanma, ağrı, kuvvetsizlik ve beceriksizlik gibi semptomlarla seyredir. Başlangıçta tek belirti nokturnal ağrı ve parestezi olabilirken, ileri dönemde tenar kaslarda atrofi ve güçsüzlük tabloya eklenebilir. Kadınlarda erkeklere oranla 3 kat daha siktir. İnsidansı ve prevalansı yapılan çalışmalarda değişkenlik göstermekle birlikte, birçok çalışmada insidansının %0,125 ile 1 arasında olduğu bildirilmiştir. Prevalansı ise kadınlarda %3-%3,4, erkeklerde %0,6-%2,7 arasındadır (Atroshi, 1999, s. 14).

Literatürde karpal tünel tedavisi etyolojisi ile ilgili olarak endokrin sistem hastalıkları, karpal tüneldeki infiltratif lezyonlar, tümoral oluşumlar, travmatik olaylar, bağ dokusu ve romatizmal hastalıklar, amiloidoz, hemodializ ve gebelik gibi sekonder nedenler yer almaktadır. Karpal Tünel Tedavisi yapan birçok hastalık olsa da vakaların yaklaşık yarısında neden idiyopattir.

İdiyopatik olgularda patofizyolojide transvers karpal ligamanın tenosinoviti suçlanmış, ancak yapılan patolojik incelemelerde çok az inflamasyon bulgusu izlenmiştir. Bağ dokusunun tekrarlayıcı strese maruz kalması sonucu oluşan ödem, vasküler skleroz ve fibrozisin median sinir üzerinde mekanik basıya neden olduğu düşünülmektedir (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, 2004, s. 311). Median sinirin kompresyonu, iskemi ve fokal demyelinizasyon ile sonuçlanmaktadır. Şiddetli olgularda ise aksonal kayıp olur ve “wallerien dejenerasyon” gelişir.

Karpal tünel tedavi (KTT)’sinde birçok konservatif ve cerrahi yöntem kullanılmaktadır. Cerrahi tedavi etkin bir yöntem olmakla birlikte, komplikasyon gelişebilmesi, rekürrens olabilmesi ve başarısızlıkla sonuçlanabilmesi nedeni ile, tedavide öncelikle invaziv olmayan yöntemler tercih edilmektedir (Szabo, 1989, s. 71).

Konservatif tedavi yöntemleri arasında; istirahat splintleri, iş ve aktivite modifikasyonu, steroid olmayan anti-inflamatuvar ilaçlar, diüretikler, lokal ve sistemik steroid kullanımı, piridoksin kullanımı, fizik tedavi modaliteleri, tendon ve sinir kaydırma egzersizleri, yoga teknikleri ile önkola germe uygulanması ve manuel terapi sayılabilir.

Özellikle gece şikayetleri yoğun olan hastalarda nötral pozisyonda el bilek splintlerinin, diğer konservatif tedavi uygulamalarına ek olarak gece kullanımı önerilmektedir. Bileğin nötral pozisyonda splintlenmesinde amaç, karpal tünel hacminin artırılması ve median sinir üzerindeki basıncın azaltılmasıdır. Splintin semptomların başlangıcından itibaren 3 ay içinde kullanılmasının ve nötral açıda olmasının semptomları gidermede daha etkili olduğu gösterilmiştir (Boz, Özneoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, 2004, s. 312; Szabo, 1989, s. 78). Tendon ve sinir kaydırma egzersizlerini içeren mobilizasyon egzersizlerinin ise aksonal transportu arttırdığı ve sinir iletimlerinde düzelme sağladığı düşünülmektedir.

Literatürde mobilizasyon egzersizlerinin etkinliği ve güvenli olup olmadığı ile ilgili yeterli çalışma bulunmamakla birlikte, mevcut çalışmalarda istirahat splinti ve diğer konservatif tedavi yöntemleri ile birlikte uygulanması önerilmektedir. Ancak hastalara mobilizasyon egzersizleri uygulandığında, etkinliği ile ilgili verilerin yetersiz olduğu konusunda hastaların bilgilendirilmesi önerilmiştir. Fizik tedavi modaliteleri

içinde literatürde en fazla ön plana çıkanlar, düşük doz lazer tedavisi ve terapötik ultrason (US) tedavisidir (Atrishi, 1999, s. 12).

Bu yöntemlerde patofizyolojide rol oynayan mikrovasküler dolaşım bozukluğunun düzeltilerek, iskemiye bağlı oluşan epinöral ve endonöral ödemin azaltılması ve sinovyal inflamasyon ile tünel çevresi ödemin giderilerek sinir üzerindeki kompresyonun azaltılması amaçlanmaktadır (Katz and Simmans, 2002, s. 79). Ancak çok araştırılan bir konu olmasına rağmen bu tedavi yöntemlerinin etkinlikleri tartışmalıdır.

Karpal Tünel Tedavisinde kullanılan konservatif tedavi yöntemlerinin değerlendirildiği sistematik bir incelemede; lokal ve sistemik steroidler etkili vitamin B6 etkisiz, splintler etkili steroid olmayan antiinflamatuvar ilaçlar, diüretikler, yoga, lazer ve US etkili, egzersiz tedavisi ve botulinum toksin B enjeksiyonu etkisiz bulunmuştur (Bland, 2007, s. 78).

Bu çalışmada, karpal tünel tedavisinde uygulanan konservatif tedavi seçenekleri arasından fizik tedavi modaliteleri ve bunların etkinlikleri incelenerek, etkin tedavi yöntemlerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

### **3.6. Karpal Tünel Tedavisinde Uygulanan Fizik Tedavi Yöntemleri**

Karpal tünel tedavisinde başarılı olabilmek için erken tanı koymak önemlidir. Erken tanının sadece klinik semptomlarla değil, ultrason, EMG, MRG kullanılarak konulması önerilir. KTS’de erken evrede koruyucu hareketlerin dışında noninvaziv bir yöntem olan fizik tedavi modaliteleri de kullanılmaktadır (Schmidt, 2001, s. 12-13). Dirençli semptomların varlığında ise operasyon önerilmektedir.

Konservatif tedavi yöntemleri arasında istirahat splintleri, iş ve aktivite modifikasyonu, lokal ve sistemik steroid kullanımı, steroid olmayan antiinflamatuvar ilaçlar, piridoksin kullanımı, fizik tedavi modaliteleri, tendon ve sinir kaydırma egzersizleri, yoga, manuel terapi sayılabilir.

Literatürde, KTS’de uygulanan konservatif tedavi yöntemlerinden Düşük Doz Lazer Tedavisi, terapötik Ultrason, fonofrez ve TENS özellikle uygulama alanı bulmuştur. Bu tedavi yöntemlerini içeren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

### **3.6.1. Düşük Doz Lazer Tedavisi**

Düşük Doz Lazer Tedavisi’nin primer etkilerinin, fototermal etkilerden ziyade fotobiyolojik etkileri olduğu düşünülmektedir. Deneysel çalışmalarda anti-inflamatuvar ve analjezik etkileri gösterilmiş ve bu etkilerin periferik sinirlerde nosiseptif aktivasyonun selektif inhibisyonuna bağlı olabileceği ileri sürülmüştür (Atroshi, 1999, s. 14). Aynı zamanda kollojen sentezini hızlandırdığı, anjiogenezi aktive ettiği ve mikrosirkülasyonu arttırdığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalar Düşük Doz Lazer Tedavisi’nin sinir dokusunda da biyofiziksel etkiye sahip olduğunu ve bu tedavi ile sinir iyileşmesinin facilitate edilebileceğini desteklemektedir. Düşük Doz Lazer Tedavisi’nin terapötik etkisi doz bağımlıdır ve yapılan çalışmalarda anti-inflamatuvar etki için optimal doz 0,7-19 J olarak önerilmiştir. Minimal etkili doz ve optimal dalga boyu ise bilinmemektedir.

Literatürde karpal tünel tedavisinde, düşük doz lazer tedavisi’nin etkilerinin değerlendirildiği plasebo kontrollü çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmalarda farklı dozlarda ve dalga boyunda lazer uygulanmış ve çelişkili sonuçlar elde edilmiştir (Szabo, 1989, s. 41). Karpal Tünel Tedavisi olan küçük bir hasta grubunda, karpal tünel bölgesine tek noktada lazer uygulayarak, tedavinin sonunda hem tedavi hem de kontrol grubunda klinik ve elektrofizyolojik parametrelerde gelişme olduğunu belirtmişlerdir.

### **3.6.2. Terapötik Ultrason Tedavisi**

Kas-iskelet sistemi hastalıklarının tedavisinde sıklıkla kullanılan bir fizik tedavi ajanı olan terapötik US, termal ve mekanik etkileri olan akustik yüksek frekanslı vibrasyon üretir. Oluşan ses dalgaları dokulardan geçerken doku dirençlerine göre ısı

oluşturur. Öne sürülen etki mekanizmalarından biri, ısı artışı ile damarlarda vazodilatasyon oluşması, buna bağlı olarak metabolik aktivite ve doku oksijenizasyonda artış olmasıdır (Einhorn and Leddy, 1996, s. 10-11). Metabolik aktivite artışı ile metabolik atıklar uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca hücre membran permeabilitesinde ve konnektif dokuların elastikiyetinde de artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Ultrason'un diğer bir önemli etkisi ise, doku iyileşmesini uyarması ve anti-inflamatuvar etkisidir. Bu etkileri birçok deneysel ve klinik araştırmada gösterilmiştir. US'un inflamasyonun normal iyileşme sürecini hızlandırma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Terapötik ultrason kesikli uygulandığında ise ısıtıcı etkisi ortadan kalkmakta ve mikroakım etkisi ile hücrelerin membran yapısı ve geçirgenliği değişebilmektedir. İnvitro çalışmalarda akustik mikroakım ve dengeli kavitasyonun, fibroblastların onarımını, kollojen sentezini ve doku rejenerasyonunu arttırdığı görülmüştür (Szabo, 1989, s. 72). Mikroakım etkisi ile hücre zarının sodyum iyonlarına geçirgenliğinin değişmesinin sinirlerde elektriksel aktivite değişiklik oluşturabileceği ve bu şekilde ağrıyı azaltabileceği belirtilmiştir.

Ultrason'un periferik sinirler üzerine olan etkilerinin mekanizması ise tam olarak açıklanamamıştır. Yapılan çalışmalarda US uygulaması sırasında periferik sinirlerin selektif olarak ısındığı ve küçük çaplı C tipi sinir liflerinin US'a daha hassas olduğu görülmüş ve bu selektif absorpsiyonun ağrı transmisyonunda azalmayı açıklamak açısından anlamlı olabileceği ileri sürülmüştür. Ultrason'un sinir iletimleri üzerindeki etkisinin de doz bağımlı olduğu, termal ve termal olmayan etkilere bağlı olarak değişebileceği belirtilmiştir (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 49). Düşük doz US tedavisi ile lokal kan akımının arttığı, bunun sinir rejenerasyonu ve sinir iletimlerinde düzelme sağladığı bildirilmiştir (Akdağ, 2006, s. 11).

Yüksek doz US'un ise yüksek ısı veya mekanik hasar nedeniyle rejenerasyonu inhibe ettiği ve sonuç olarak sinir iletimlerinde bozulma olduğu düşünülmektedir. Literatürde KTS'de sürekli veya kesikli US tedavisinin etkinliğini değerlendiren sınırlı sayıda plasebo kontrollü çalışma bulunmaktadır.



Elektrofizyolojik açıdan ise aktif ultrason gruplarında istatistiksel olarak anlamlı olmayan motor iletim hızı azalması ve distal motor latansta artış izlenmiştir. Karpal tünel tedavisin’de ultrason tedavisinin plaseboya üstünlük göstermediğini belirterek, plasebo grubunda izlenen semptomatik iyileşmeyi ise lokal masaj etkisine bağlamışlardır (Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioglu ve Alioğlu, 2004, s. 318).

### **3.6.3. Fonoforez Tedavisi**

Fonoforez; kortikosteroid, salisilat ve lokal anestezi gibi farmakolojik ajanların transdermal olarak uygulandığı spesifik bir US uygulama yöntemidir (Szabo, 1989, s. 12; Bland, 2007, s. 39). Fonoforez, genellikle kronik ağrılı inflamatuvar durumlarda kullanılır.

Farmakolojik ajanların transdermal olarak penetrasyonu, US’un hem termal hem de mekanik etkilerine bağlıdır. Akustik basınç dalgasıyla birlikte hücre geçirgenliğinde artma ve lokal vazodilatasyon olması topikal olarak uygulanan ajanın difüzyonunun artmasıyla sonuçlanır.

### **3.6.4. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS)**

Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS), akut ve kronik ağrı tedavisinde uzun süredir kullanılan etkin bir fizik tedavi yöntemidir (Katz and Simmans, 2002, s. 79). Etki mekanizmasını açıklamak amacıyla bazı görüşler öne sürülmüştür. Bunlar; Melzack ve Wall’un kapı kontrol teorisi, endojen opiatların açığa çıkması, sempatik blokaj ve tekrarlayan stimülasyonlarla eksitabilitenin değişmesidir.

### **3.7. Karpal Tünel Sendromunda Splintleme**

Splint yaygın olarak reçete edilen, nispeten ucuz, nonoperatif bir tedavi şeklidir. Zorlayıcı ve tekrarlayıcı el ve bilek hareketleriyle ilişkilendirilmiş olan karpal tünel tedavisinde amaç bilek hareketlerinin splintle azaltılarak ağrı ve uyuşukluğun azalmasını sağlamaktır (Bland, 2007, s. 79; Fluery and diğ., 2002, s. 12).

Uyku esnasındaki aşırı bilek fleksiyonu ve ekstansiyonunun süresini sınırlayarak, yaygın bir semptom olan gece parastezisine fayda sağlar. El bileğindeki

aşırı fleksiyon ve ekstansiyonun splint ile immobilize edilmesi yaygın kullanılan bir tedavi olmasına rağmen, hangi spesifik tip splintin kullanılacağı açık değildir.

Çalışmalarda fleksiyon ve ekstansiyonla karşılaştırıldığında nötral pozisyonda karpal tünel basıncının düşük olduğu gösterildiğinden sıklıkla nötral el bilek splinti önerilir. Bundan dolayı özellikle gece semptomları yoğun olan hastalarda nötral pozisyonda el bilek splintlerinin diğer konservatif tedavi uygulamalarına ek olarak geceleri kullanılması tavsiye edilir.

Tüm gün ve sadece gece splint kullanımı karşılaştırıldığında her iki grupta da klinik iyileşme olduğu, ancak motor distal latansın tam gün kullanımda daha fazla azaldığı gösterilmiştir. El bileği ve parmakların 0 derecede pozisyonlamanın mantığı lumbrikal kasların biyomekaniğine dayanır. Lumbrikaller elin intrinsik kas grubudur, parmaklar ekstansiyonda iken lumbrikaller flexör karpal ligamanın distalinde pozisyonlanır.

Metakarpofalangeal eklem fleksiyonunda lumbrikal kasların karpal tünele hareketi nedeniyle karpal tünel basıncının arttığı gösterilmiştir. Yumuşak olarak tasarlanmış el splintleri MKP eklemlerin ekstansiyonunu düzenleyerek, lumbrikal kasların hareketine engel olur ve karpal tünel basıncının azalmasını sağlar (5-9). Splintlerin semptomların başlangıcından itibaren 3 ay içinde ve nötral pozisyonda kullanılmasının semptomları gidermede daha etkili olduğu gösterilmiştir. Çoğu splint çalışmasında bileğin 0 ile 20 derece ekstansiyon arasındaki pozisyonda olduğu ve parmakların desteksiz olarak kaldığı cock-up splint önerilmiştir (Szabo, 1989, s. 109).

Boz, Özmenoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu' nun yaptığı çalışmada daha önceden muayene ve elektrodiagnostik çalışmalar ile KTS tanısı almış 83 hasta 2 gruba randomize edilmiş. 1. gruba 4 hafta boyunca geceleri yumuşak el splinti verilmiş, 2. grup olan kontrol grubuna tedavi verilmemiş; splint verilen grupta semptom ve fonksiyonel kısıtlılığının azaldığı bildirilmesine rağmen elektrofizyolojik verilerde anlamlı bir değişiklik görülmemiştir (2004, s. 46-47).

Tanako ve Ark. Göre ,elektrofizyolojik inceleme ve fizik muayene ile KTS tanısı alan 120 hastayı 2 gruba randomize etmiş. 1. gruba yumuşak el splinti; 2. gruba

geleneksel bilek splinti verilmiş ve tedavide hastalara 3 ay boyunca geceleri yumuşak el splinti ve bilek splinti kullanılmış. Her iki grupta da semptomlarda ve fonksiyonel kısıtlılıkta 3. ayda azalma görülmesine rağmen 9. ay sonunda bu düzelme giderek azalmış, iki grup arasında belirgin farklılık görülmemiştir (1994, s. 147).

Katz and Simmans'a göre klinik ve elektrofizyolojik olarak KTS tanısı alan 176 hasta 2 gruba randomize edilerek, bir gruba 6 hafta boyunca gece splintleme, diğer gruba cerrahi olarak KTS serbestleştirme operasyonu yapılmış. Çalışmada her iki grupta da iyileşme saptanmasına rağmen cerrahi yöntem kısa ve uzun dönemde daha etkili bulunmuştur (2002, s. 14-15).

Randomize kontrollü diğer bir çalışmada özel üretilmiş el bileği ve MKP eklemleri nötral pozisyonda destekleyen bir splint ile el bilek cock-up splinti karşılaştırılmış. İki gruba da tendon ve sinir kaydırma egzersizleri günde üç defa uygulanmış, tüm gruplar 4 hafta boyunca gece splint takılması yönünde bilgilendirilmiş. Sonuçta el bileği ve MKP eklemleri nötralde destekleyen splintin bilek cock-up splintine göre daha etkili olabileceği görüşüne varılmıştır (2002, s. 16-17)..

Nötral volar statik bilek splinti ile nötral volar statik bilek+MKP splintinin karşılaştırıldığı ve elli dört elin incelendiği diğer bir çalışmada hastalar KTS-Q fonksiyonel kapasite skoru, kavrama kuvveti, elektrofizyolojik test, ağrı şiddeti için VAS ile başlangıçta ve 4 hafta sonra değerlendirilmiş. Başlangıçta gruplar arası fark yokken, sonraki değerlendirmede bilek MKP splinti lehine anlamlı farklılık gözlenmiştir. Tedavi sonrası duyuusal amplitüdde ve motor gecikmede her iki grupta önemli gelişmeler olmasına rağmen gruplar arasındaki farklılığın anlamlı düzeyde olmadığı görülmüştür (Szabo, 1989, s. 12).

Einhorn and diğ., göre düşük doz lazer tedavisi ile splinti karşılaştırdıkları çalışmalarında, kontrol grubuna geceleri ve gündüz mümkün olduğu kadar istirahat splinti kullanmalarını önermişler. Takipte 1. ve 3. aylarda VAS, parmak kavrama gücü ve fonksiyonel kapasitede iki grupta da anlamlı düzelme saptanmış, el kavrama gücünde iyileşme sadece düşük doz lazer tedavisi alan grupta gözlenirken, splint

grubunda tam tersine el kavrama gücünde azalma saptanmış. Bu azalmanın nedenini ise devamlı splint kullanımına bağlamışlardır (1996, s. 79-80).

Yapılan diğer bir randomize klinik çalışmada lumbriyal kaslara yapılan germe ve splint kombinasyonunun karpal tünel tedavisinde ki semptom ve fonksiyonlara olan etkinliği karşılaştırılmış; çalışmaya tenar atrofisi olmayan, 2 nokta diskriminasyonu 5mm veya daha az olan orta, hafif şiddette karpal tünel tedavis olan 124 hasta dahil edilmiş. Hastalar genel splint+genel germe, lumbriyal splint+lumbriyal germe, genel splint +lumbriyal germe, lumbriyal splint+genel germe olarak 4 gruba ayrılmıştır (Bland, 2007, s. 79-80).

Hastalara genel splint olarak cock-up splint, lumbriyal splint olarak bileğin 0 derece ekstansiyonda, MKP eklemlerin 0 ile 10 derece fleksiyonda pozisyonlandığı splint verilmiş ve 4 hafta boyunca geceleri kullanmaları konusunda bilgilendirilmişler. Gruplar genel germe ve lumbriyal germe egzersizlerini günde 6 defa yapmışlar. Cock-up splint+lumbriyal yoğun germe yapılan grupta 24. haftadaki kontrolde fonksiyonel kazanç açısından en efektif iyileşme elde edilmiştir.

Karpal Tünel tedavisinde kullanılan izole bilek splint tedavisinin uzun dönem sonuçlarının ve hasta bildirimlerinin değerlendirildiği bir başka çalışmada, 75 KTS tanılı hastaya 3 ay boyunca gece bilek splinti verilmiştir (Bland, 2007, s. 79). 52 hasta bilek splint tedavisinden sonra opere olmak istememiş. Başlangıç ağrı ve uyuşma düzeyi VAS ile değerlendirilmiş. 33 ay sonra hastaların takiplerinin bir anketle sonlandırıldığı çalışmada tek başına splint tedavisi %43 hastada başarılı olmuştur (Schmidt, 2001, s. 71). Başlangıç ve 36 ay sonunda ağrı ve uyuşmayı içeren VAS skorlarında anlamlı bir fark görülmemiştir.

Sistemik derlemeler kısa vadede KTS semptomlarının azaltılmasında konservatif tedavi olarak splinti önermektedir. Uzun vadede ise cerrahi tedavi semptomların rahatlaması açısından splintten daha iyi gözükmektedir.

### 3.8. Karpal Tünel Sendromunda Egzersiz

Tenosinovyal ödemi azaltmak ve sinir demetlerinde venöz dönüşümü sağlamak için yapılacak egzersizler fleksor tendon kaydırma, bilek ve parmaklara fleksiyonekstansiyon egzersizleridir (Boz, Özneoğlu, Altunayoğlu, Velioglu,ve Alioğlu, 2004, s. 319). Tendon kaydırma egzersizleri parmaklar kanca tutma pozisyonundayken bilek ekstansiyonu yapmak, parmaklar gevşekken bilek fleksiyonu yapmak, tam yumruk yapmak, distal interfalangeal (DİF) eklemler ekstansiyondayken yarım yumruk yapmak, masa üstü pozisyona getirme (MKP eklemler fleksiyonda, interfalangeal eklemler ekstansiyonda), distal, proksimal ve MKP eklemi izole olarak fleksiyona getirmek şeklinde yapılır. El, getirilen pozisyonda 5 saniye tutulur.

Egzersizler günde 5 seans, 10'ar kez tekrarlanır. Nöral mobilizasyon da denen medyan sinir kaydırma egzersizlerinde bilek nötral pozisyondayken parmaklar ekstansiyona, başparmak nötrdeyken bilek ve parmaklar ekstansiyona getirilir. Ön kol supinasyonda, bilek ekstansiyondayken başparmağa germe uygulanır. Egzersiz aralarında hasta sıkça (örneğin iki haftada bir) yeniden değerlendirilmeli, yakınmalarının artıp artmadığı sorgulanmalıdır (Szabo, 1989, s. 71).

Postoperatif dönemde ki rehabilitasyon programında sinir ve tendon kaydırma egzersizlerine yer verilmesi önemlidir. Bu prosedür median sinirin hareket kabiliyetini düzenler, ağrı, uyuşma, şişlik, kontraktürlerde azalma , kas gücü ve dokunma hissinde ise artma sağlamaktadır (Bland, 2007, s. 17).

Karpal tünel tedavisi operasyonu geçiren hastalarda selektif fiziksel egzersizlerin iyileşmeye olan etkisinin değerlendirildiği bir çalışma örneğinde karpal tünel tedavisi için açık cerrahi prosedür uygulanan toplam 112 hasta çalışmaya alınmıştır. 1. gruptaki (n=67 hasta) hastalara sinir ve tendon kaydırma egzersizleri operasyon sonrası ertesi gün günde 1-2 saat ara ile , 5 ila 10 set halinde başlanmış; 2. gruba egzersiz önerilmemiş. Tedavi öncesi ve 6 hafta sonrasında başlangıçtaki bulgularla karşılaştırıldığında tüm hastalarda el fonksiyon bozukluğu yapan semptomların sayısında azalma gözlenmiş; postoperatif egzersiz yapmayan hastalarda yapılanlara göre fonksiyon bozukluğunun daha fazla olduğu görülmüştür.

Tek taraflı açık karpal tünel serbestleştirme operasyonu yapılan toplam 43 hastanın olduğu randomize prospektif başka bir çalışmada operasyon öncesi hastalar egzersiz ve kontrol grubu olmak üzere iki gruba ayrılmış. Operasyon sonrası egzersiz grubunda 21 hasta 3. hafta başında tendon ve sinir kaydırma egzersizlerine başlamışlar. Hastalar operasyon sonrası 3. ve 6. aylarda Boston Anketi (BA), kavrama gücü, lateral, u, l kavrama ölçümleri, iki nokta diskriminasyon, semmes weinstein monofilamen testi ve Nine Hole Peg Test (NHPT) ve elektrofizyolojik parametreler ile değerlendirilmiş.

Her iki grupta 3. ve 6. Ay kontrolünde BA, NHPT ve median motor sinir distal latansında istatistiksel olarak anlamlı düzelme saptanmış. 6. ay kontrollerinde avuç içi bilek segmenti median duysal sinir ileti hızı ve aksiyon potansiyeli amplitüdünde her iki grupta istatistiksel anlamlı düzeyde artış görülmüştür (Szabo, 1989, s. 141).

KTS operasyonu sonrası yapılan sinir tendon kaydırma egzersizlerinin hastaların duysal ve motor fonksiyonlarına katkı sağlamadığı sonucuna varılmıştır. 2 yıldır takip edilen ve KTS operasyonu bekleyen, toplam 197 hastanın dahil edildiği bir çalışmada ek olarak tendon ve sinir kaydırma egzersizi yapan kişilerde cerrahi ihtiyacının %71,2'den %43'e düştüğü görülmüştür.

Hafif ve orta derecede KTS'li hastalarda B vitamini tedavisi ve tendon-sinir germe egzersizlerinin klinik ve elektrofizyolojik parametrelere etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada toplam 45 hastanın 77 eli değerlendirilmiştir (Schmidt, 2001, s. 79). Hastalar 1.grup B vitamini + splint ve 2. grup tendon ve sinir germe egzersizleri + splint olarak ayrılmış.

Her iki gruba da el bileğini 30 derece dorsifleksiyonda tutan statik splint geceleri devamlı, gündüzleri mümkün olduğu kadar her fırsatta takmaları önerilmiş. Olgularda tedavi etkinliği 3.ayın sonunda Fonksiyonel Durum Skalası, Semptom şiddet Skalası (SSS), VAS ve EMG ile değerlendirilmiş. Tedavi ncesi ve sonrası EMG'de iki grup arasında anlamlı fark saptanmamıştır (Atroschi, 1999, s. 13). Her iki grupta tedavi öncesine göre tedavi sonrası SSS, FDS, VAS'daki düşüş anlamlı bulunurken tedavi sonrası VAS ortalaması B vitamini grubunda egzersiz grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur (Katz and Simmans, 2002, s. 79)

Karpal tünel tedavisinde median sinirdeki intranöral ödeme splint ve egzersizin etkisini araştıran bir çalışmada, elektrodiagnostik olarak orta ve hafif karpal tünel tedavisi tanısı alan hastalar 10'ar kişilik splint ve egzersiz grubuna randomize edilmiştir. Hemen öncesinde 10 dakikalık yapılan splintleme ve egzersizin hemen sonrasında ve 1 hafta sonrasında el bileğinin MR görüntüleri alınmıştır.

Hastalarda intranöral ödemin göstergesi olarak el bileğinde median sinirde sinyal yoğunluğu ve Karpal ligaman palmar eğimi ölçülmüştür. Hastalara Boston Karpal Tünel Anketi, ağrı ve uyuşma için VAS uygulanmıştır. Tüm hastalar gruplar arası ayırım yapılmaksızın normal günlük aktivitelerini devam ettirmeleri konusunda bilgilendirilmiştir (Szabo, 1989, s. 12).

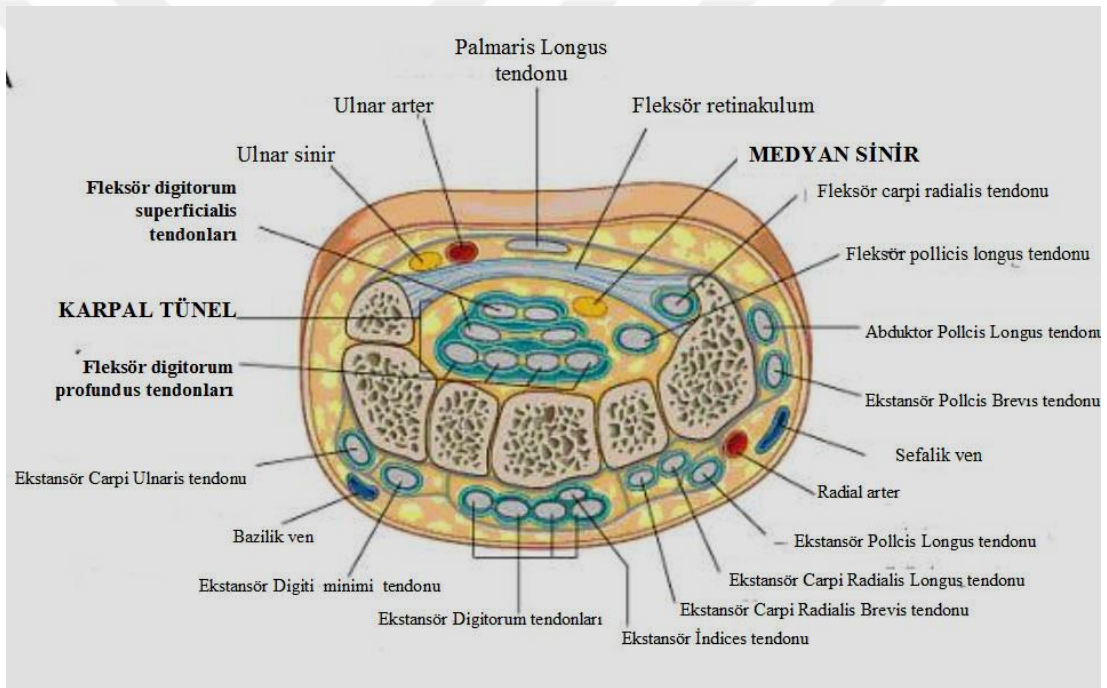
Karpal tünel tedavili hastalarda karpal tüneldeki median sinirde splint ve sinir tendon kaydırma egzersizleri sonrası sinyal yoğunluğunda azalma tespit edilmiş; bu da intranöral ödemin azaldığı şeklinde yorumlanmıştır. Her iki müdahalede de sinyal yoğunluğu %11 oranında azalmış; bununla birlikte herhangi bir tedavi verilmeyen hastalarda sinyal yoğunluğunda azalma tespit edilmemiştir (Boz, zneoğlu, Altunayoğlu, Velioğlu ve Alioğlu, 2008, s. 321).

Karpal tünel tedavili hastalarda tedavi ardından intranöral ödemin azaldığı en olası bölge karpal tünel girişidir ve median sinirde sinyal yoğunluğundaki en belirgin artma bariz olarak yine bu seviyededir. Bu hastalarda median sinir intensitesindeki azalma yoğunlukla demdeki azalmaya dayanmaktadır. Ancak intranöral kan dolaşımında refleks olarak azalma görülür. Median sinir sinyal azalmasına refleks olarak intranöral kan akımının azalmasının fonksiyon ve semptomlarda kötüleşmeye neden olması beklenirken aksine semptom şiddeti ve fonksiyonlarda hafif bir iyileşme rapor edilmiştir (Bland, 2001, s. 17).

Başka bir çalışmada ise karpal tünel tedavisinde tanılı 741 hastayı içeren 16 çalışma gözden geçirilmiş; egzersiz ve mobilizasyon müdahalelerinin faydası için sınırlı, çok düşük kalitede kanıtın mevcut olduğu ileri sürülmüştür. Çalışmalarda semptomlarda ve fonksiyonel becerilerde düzelme, yaşam kalitesinde ve nörofizyolojik parametrelerde artma, yan etki insidansında ve karpal tünel tedavisi için operasyon ihtiyacında azalma görülmekle birlikte derlemede; yapılan egzersiz ve

mobilizasyon uygulamalarının özellikle sürekliliğini ve uzun dönem etkilerini içeren daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu kanaatine varılmıştır (Bland, 2007, s. 78).

**Şekil 3:** Karpal tünel düzeyinin kesitsel şematik görüntüsü





## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### KARPAL TÜNEL TEDAVİSİNDE KLİNİK SEMPTOMLAR VE BULGULAR

#### 4.1. Klinik

Karpal tünel tedavisi sıklıkla idiyopatik olarak görülür. Daha çok dominant elde oluşmakla beraber sıklıkla bilateral görülebilir. Dominant elde görülmesinin nedeni sıklıkla aktivitelerde bu tarafın kullanılması ve anatomik olarak dominant taraf karpal tünelin daha dar olmasına bağlanabilir.

Karpal tünel tedavisinden şüphelenildiğinde hastanın şikayeti unilateral olsa bile yapılan değerlendirmeler bilateral olmalıdır (Szabo and Chidgey, 1989, s. 41-42). Erkeklerle göre bayanlarda görülme sıklığı daha fazladır. Karpal tünel tedavi seviyeleri şu şekilde açıklanabilir (Atroshi, 1999, s. 79).

**Hafif:** Aralıklı fonksiyonel zorluklar, rahatsızlık hissi. EMG bulgusu olarak duysal veya miks distal latansta uzama ve/veya duysal aksiyon potansiyeli amplitüdünde düşüklük.

**Orta:** Ağrı, temel işlerde performansın kısıtlanması. EMG'de yukarıdaki bulgulara ek olarak median motor distal latansta uzama.

**Şiddetli:** Kısıtlayıcı ağrı, çoğu aktiviteleri yapmada yeteneksizlik EMG'de median motor ve duysal latanslarda uzamayla birlikte duysal veya miks aksiyon potansiyellerinin alınamayışı veya düşük amplitüdü ya da alınamayan birleşik kas aksiyon potansiyeli. İğne EMG'de sıklıkla fibrilasyonlar, motor ünite potansiyellerinde değişiklikler izlenmesi.

#### 4.2. Karpal Tünel Tedavisinde Tanı Kriterleri

Karpal tünel tedavisi tanısı klinik olarak konur. Tanıdan şüphelenilen

durumlarda, cerrahi öncesi, ek bir nöropatinin ekartasyonu için elektrofizyolojik yöntemlerden yararlanılabilir. Her ne kadar ENMG, KTS tanısındaki altın standart olsa da iletim çalışmalarındaki duyarlılık hiçbir zaman %100 olmamaktadır (Katz and Simmons, 2002, s. 91). Semptomları şiddetli olmayan erken evredeki hastalarda elektrofizyolojik testler normal olabilir.

Karpal tünel tedavisinin elektrofizyolojik tanısında median sinir duysal ve motor iletim çalışmaları ve distal motor latans en sık kullanılan yöntemlerdir (Szabo and Chidgey, 1989, s. 47-48). Duysal iletim çalışmaları, motor iletim çalışmalarından daha duyarlıdır.

Karpal tünel tedavisi için en tipik elektrofizyolojik bulgular, 2. parmak median duysal yanıt latansının, 5. parmak ulnar duysal yanıt latansından 1 milisaniye veya daha üstünde uzama göstermesi, bilek ile ikinci parmak arasındaki duysal iletim hızının patolojik yavaşlama göstermesi, 2. parmak duysal yanıt amplitüdünün 10 mikrovoltun altında olması ve yine 4. parmak medianulnar duysal yanıt latans farkının 0.4 milisaniyenin üzerinde olması, median sinir motor iletim hızının ön kol segmentinde normal olduğu halde, bilek ile tenar kaslar arasındaki distal motor iletim zamanının patolojik uzama göstermesi; Median sinirin duysal sinir ileti hızı, 40 ile 67,3m/sn arasında normal kabul edilmektedir (Tanaka, Wild, Seligman, Behrens, Cameron and Putz, 1994, s. 43-44).

#### **4.2.1. Anamnez (Hikaye)**

Klasik semptom ve provokatif faktörler bulunduğunda karpal tünel tedavisi tanısı konma olasılığı artar. Semptomlar; elde uyuşma karıncalanma, elde ve kola doğru yayılabilen ağrı, rahatsızlık hissi, gece parestezi oluşması, güçsüzlük ilerleyen aşamalarda tenar atrofi, elin derisinde kuruluk, şişlik vazomotor değişiklikler şeklindedir (Bland, 2007, s. 75).

Provokatif faktörler; uyku, el ya da kolun tekrarlayıcı yük bindiren hareketleri, el ya da kolun uzun süre zorlayıcı olarak aynı pozisyonda kalmasıdır. Rahatlatıcı faktörler; el ya da kolun pozisyonunu değiştirme, eli silkelemedir.

#### 4.2.2. Fizik Muayene

Karpal tünel sendromu tanısında başvurulan muayene yöntemleri median sinirin karpal tünel düzeyinde kompresyonunun provakasyonu esasına dayanır. Karpal tünel tedavisi tanısında değerli olabilecek diğer muayene bulguları ise tenar atrofi ve median sinir innervasyonlu deride iki nokta diskriminasyonunun uzamasıdır (Finsen and Zeitlman, 2006, s. 79-80). Ayrıca işaret parmağının 5. parmağa göre palmar yüz boyunca ağrıya azalmış duyarlılık olması veya dirence karşı başparmak abduksiyonunda azalma olması tanıya yardımcı diğer bulgulardır.

Tanı, elektrofizyolojik yöntemler ve görüntüleme ile desteklenmelidir. Karpal Tünel Tedavisinin bu tanı yöntemleri ile doğrulanması takip ve tedavinin düzenlenmesi açısından önemlidir. şu gibi etkiler görülebilir (Tanaka, Wild, Seligham, Behrens, Cameron and Putz, 1994, s. 19-20).

- Tünel zerine vurulduğunda (Tinel testi) ya da eller zorlayıcı fleksiyona getirildiğinde (Phalen testi) ellerde uyuşma ve ağrı oluşması,
- İlk üç parmakta uyuşma, karıncalanma, ağrı hissinin oluşması,
- Median sinir dermatomunda duyuşsal kayıp,
- Tenar bölge kaslarının zayıflığından ötürü kavramada güçsüzlük,
- Gece uykudan uyandırabilecek derecede parestezi oluşabilmesi,
- Sempatik tutulum görülürse ilk üç parmakta deri kuruluğu, şişlik, vazomotor değişiklikler görülebilmektedir.

Klasik olarak görülebilecek semptomlarla beraber elektrodagnostik sonuçlar da büyük öneme sahiptir. Her iki yöntem birden birbirini desteklemektedir. Elektrodagnostik sonuçlara göre kesin tanıya gidilmesi önerilmemektedir.

Hastanın sadece semptomları göz önüne alınarak ya da laboratuvar bulgularındaki sonuçlara göre tedavi edilmemesi gerekir.

### **4.2.3. Elektrofizyolojik Yöntemler**

Elektromiyografi, hareket halindeki bir adale tarafından meydana getirilen elektrik akımlarının yazılı olarak kaydedilmesi esasına dayanan bir tanı yöntemidir (Akdağ, 2006, s. 79) Karpal Tünel tedavi tanısında konvansiyonel elektrodiagnostik testlerin duyarlılığı %49-%84, özgüllüğü ise %95 ve üzerindedir.

EMG'nin temel prensibi sıkışma sonucu sinir içindeki fokal demiyelinizasyon gelişen liflerde aksonal iletim hızlarındaki azalmaların tesbitidir (Çıkrıkçıoğlu, 1999, s. 42). Esas olarak duysal yanıt latansı, amplitüdü, iletim hızı; distal motor yanıt latansı, amplitüdü ve iletim hızları değerlendirilir.

Distal latans, verilen elektrik uyarının alıcı elektrod tarafından kaydedilen amplitüde kadar geçen süredir. Karpal tünel sendromunda standart konsantrik iğne EMG uygulanır. Karpal Tünel tedavisi için en tipik elektrofizyolojik bulgular, 2. parmak median duysal yanıt latansının, 5. parmak ulnar duysal yanıt latansından 1 milisaniye veya daha üstünde uzama göstermesi, bilek ile ikinci parmak arasındaki duysal iletim hızının patolojik yavaşlama göstermesi, 2. parmak duysal yanıt amplitüdünün 10 mikrovoltun altında olması ve yine 4. parmak median-ulnar duysal yanıt latans farkının 0.4 milisaniyenin üzerinde olması, median sinir motor ileti hızının ön kol segmentinde normal olduğu halde, bilek ile tenar kaslar arasındaki distal motor ileti zamanının patolojik uzama göstermesi; standart konsantrik iğne EMG'sinde diğer kaslar normalken abduktor pollicis brevis kasında aktif denervasyon ve tam kası da seyrelme ve kronik nörojenik bulgular göstermesidir (Bland, 2007, s. 79; Haar, 1999, 78).

Her ne kadar EMG, KTS tanısındaki altın standart olsa da iletim çalışmalarında duyarlılık hiçbir zaman %100 olmamaktadır (Haar, 1999, s. 13). Semptomları şiddetli olmayan başlangıç evresindeki olgularda elektrofizyolojik çalışmaların sonuçları normal olabilir.

### **4.2.4. Radyolojik Yöntemler**

#### **4.2.4.1. Direkt Grafi**

Karpal tüneli oluşturan kemik yapılar ve bunları ilgilendiren lezyonlar incelenebilir. Ancak median sinir ve yumuşak dokular hakkında detaylı bilgi sağlamaz.

#### **4.2.4.2. Bilgisayarlı Tomografi**

Bu görüntüleme tekniğinde kırıklar ve kemik anomalileri daha iyi görülebilmekteyse de karpal tünel derinliği, çapı ve transvers karpal ligamanın kalınlığı hakkında da sayısal bilgilere ulaşılabilmektedir

#### **4.2.4.3. Manyetik Rezonans Görüntüleme**

Manyetik Rezonans görüntüleme, kas-iskelet sistemi hastalıklarının ve yumuşak dokuların değerlendirilmesinde etkinliği kanıtlanmış ve farklı pek çok endikasyon için başvurulan yöntem olmuştur (Bland, 2007, s. 48). MRG yüksek kontrast rezolüsyonu ve multi-planar kesitsel inceleme gücü ile lezyonların saptanmasında ve karakterize edilmesinde önemli rol oynar. MRG ile karpal tünelin sınırlarını, boyutlarını, retinakulumların yapışma yerlerini, median sinirdeki ödemi yüksek çözünürlükte göstermek mümkündür.

Median siniri etkileyebilen intrinsik faktörlerin yanı sıra median sinire bası yaparak karpal tünel tedavisinde neden olabilecek yer kaplayıcı lezyonlar veya anatomik varyasyonlar gibi diğer durumları da belirleyerek etyolojik ayrımın sağlanmasında büyük rol oynar. 137 kişi üzerinde yapılan bir çalışmada MRG ile 4 hastada hamulus hamatum hipoplazisi, 2 hastada karpal kanala uzanım gösteren kas dokusu, 5 hastada atipik seyir gösteren median sinir, 14 hastada ikiye dallanmış median sinir, 1 hastada aberran persistan median arter tesbit edilmiştir (Szabo and Childgey, 1989, s. 72).

Ayrıca MRG ile cerrahi sonrası gelişebilecek komplikasyonların takibinin yapılmasında mümkündür. Normal kişilerde yapılan ölçümlerde median sinirin proksimal karpal kemikler düzeyinde ve radiocarpal eklem düzeyinde ölçülen çapları ve hesaplanan kesitsel alanları arasında belirgin farklılık yoktur.

Karpal tünel tedavisinde proksimal karpal kemikler düzeyindeki median sinir çapı radiocarpal eklem düzeyine göre 2-3 kat artmaktadır (Akdoğan, 2006, s. 79; Atroshi, 1999, s. 48). bu düzeylerde kesit alanı hesaplamalarında ise 1.6-3.5 kez artış olmaktadır.

#### **4.2.4.4. Ultrasonografi**

Ultrasonografik görüntülemenin temeli vücut parçaları içine gönderilen ses enerjisinin yankılanması ve bu yankıların dinlenerek elektrik sinyallerine dnstrlmesidir (Akdoğan, 2006, s. 47). Bu görüntüde eŐik değerin altında kaldığı için dikkate alınmayan, eŐik değerden yüksek olduğu için de değerı önem arz etmeyip hepsi aynı olarak yorumlanan bilgilerin karmaŐası ve eksikliği söz konusu olduğundan bunu gidermek için Gri Skala denilen yöntem geliştirilmiştir (ıkırıkioğlu, 1999, s. 41).

Buna göre yansıyan her eko, Şiddetine göre farklı bir tonla eŐlendirilip ekrana aktarılır. Başlangıçta 16 olan gri tonlar sonradan 32, 64, 128 ve daha fazla gri tonlara taŐınmıŐtır. Oluşturulan görüntü 1 sn'de 16 veya daha fazla sayıda tekrarlanırsa, insan gözü tıpkı sinema filminde olduğu gibi, görüntüleri kesikli değer devamlı olarak algılar. Buna Real-time US denir.

Bu yöntem tanısals radyoloji rutininde en yaygın kullanılan inceleme Şeklidir. Ancak US'nin kolay ulaŐılabilir, maliyeti düşük ve noninvaziv bir tanı yöntemi olmasına karşın kullanıcıya bağımlı olması gibi dezavantajları da vardır.

Periferik sinirlerle ilgili çalışmalar ilk olarak 1985 yılında Solbiati ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. 1993 yılında Amerikan Nöroloji Akademisi kalite standartları alt komitesi tarafından KTS tanısında US'nin yeterliliği kabul edilmiştir. Son zamanlarda 1-3 MHz'lik yüksek rezolüsyonlu problemlerin kullanılması ile etkilenen periferik sinirler direkt olarak gözlemlenebilmekte ve basıya bağlı olarak Şeklinde ve içyapısında oluşan değeriklikler tesbit edilebilmektedir (Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 49).

Periferik sinir gövdesini en dışta sinir kılıfı sarar, gövde içerisinde pek çok nöral fasikül bulunur, bunlar da epinörium adlı kılıflar ile çevrilidir. Yüksek rezolüsyonlu US ile bu kılıflar hiperekojen çizgiler şeklinde izlenirken sinir lifleri ise bu çizgiler içerisinde yerleşen hipoekoik alanlar şeklinde görülmektedir (Güler ve Savaş, 1989, s. 17). Longitudünel kesitlerde iki kalın ekojen çizgi içerisinde yer alan daha ince ekojenik çizgiler halinde görülen periferik sinirler transvers kesitlerde adeta balpeteğini andıran, hiperekojenik çizgilerle çevrili yuvarlak hipoekoik alanlar şeklindeki retiküler görünüme neden olur.

Ses demeti incelenen yapılara tam dik olarak geldiğinde median sinirin ekojenitesi komşu kas planlarından biraz yüksek; tendon yapılarından ise biraz daha düşüktür. Tendon reflektivitesi ses demetinin açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ses demeti dik açıyla geldiğinde tendonlar hiperekojen izlenmekteyken açıdaki değişiklikler tendonların hipoekoik olarak izlenmesine neden olabilir.

Periferik sinir basıya uğramışsa meydana gelen intranöronal ödem nedeni ile öncelikle gövde içindeki ekojenik çizgilenmeler kaybolur ve çapı artmış tümüyle hipoekoik yapıda bir sinir segmenti görülmektedir. Aksiyel planda ise retiküler patern kaybolur ve sinir ekojenitesinde belirgin azalma izlenir.

Ultrasonografik incelemede; Karpal tünel tedavisi vakalarında aksial planda transvers karpal ligament ile fleksör tendonlar arasında sıkışan median sinir elips şeklini kaybederek yassılaştır, sagittal kesitlerde ise diffüz incelleme yada lokalize konstriksiyon izlenir (Akdağ, 2006, s. 19).

Median sinirin karpal tünel girişi ile radiokarpal eklem düzeyinden ölçülen boyutları karşılaştırıldığında oluşan ödem nedeni ile tünel girişinde sinir çapında ve kesitsel alanında artış olmaktadır (Çıkrıkçıoğlu, 1999, s. 46). Normal kişilerde ise iki düzey arasında sinir boyutlarında belirgin değişiklik saptanmaz. Bazı vakalarda sinirde bulböz şekilde şişlik olur bu “psödonöroma” olarak isimlendirilir (Helvacı, 1995, s. 93). Ayrıca fleksör retinakulumda palmar yaylanma saptanabilir.

Ultrasonografi ile median sinirde basıya neden olabilecek anatomik varyasyonlar yer kaplayıcı lezyonlar, tenosinovitis gibi spesifik nedenleri saptanabilir ve bu tedavi planlamasında önemli katkılar sağlar.

### **4.3. İğne İMGE İncelemesi**

İğne EMG Karpal tünel tedavi tanısında sinir ileti çalışmaları kadar bilgi vermez. EMG anormallikleri aksonotmezis varlığında ortaya çıkabilir. İğne EMG bulguları olarak fibrilasyon, pozitif keskin dalga, fasikülasyon, polifazik motor ünitler, kompleks tekrarlayıcı deşarjlar, inkomplet interferans paternleri saptanabilir. Elektrofizyolojinin karpal tünel tedavisi tanısındaki duyarlılığını ve özgüllüğünü artırmak için pek çok başka yöntem de kullanılmıştır (Akdağ, 2006, s. 49).

### **4.4. Karpal Tünel Sendromunda Tedavi**

Karpal tünel tedavisi iki unsurludur: Altta yatan hastalığın tedavisi ve karpal tünel tedavisine yönelik tedavi. İdiyopatik karpal tünel tedavisinde ki hastaların büyük çoğunluğu böyledir öncelikli olarak konservatif tedaviler denenmelidir. Gece uyanmalarını önlemek üzere, hastaya sadece geceleri kullanması için bilek ateli verilir. Bu atel eli bilekten 15 derece dorsifleksiyonda sabitler ve gece boyunca istemsiz bilek fleksiyonlarını önleyerek hastanın semptomlarını rahatlatır.

Semptomları gidermek için non-steroid antiinflamatuvar ilaçların yanı sıra ultrason ve elektriksel sinir uyarısı gibi fizik tedavi yöntemleri kullanılabilir (Bland, 2007, s. 82). Cerrahi dekompresyon ağrı ve uyuşmanın dayanılmaz olduğu durumlarda veya motor kayıp varsa düşünülmelidir. Açık ya da endoskopik dekompresyon cerrahisinin başarısı yüksektir. Komplikasyonlar seyrek veya hafiftir. Yetersiz serbestleştirme yüzünden nadiren nüks görülür.

Karpal tünel tedavisinde semptomların rahatlatılması amacıyla steroid preparatlarının lokal enjeksiyon şeklinde kullanılması ilk olarak 1958 yılında Kapell, Richmand ve Vanderbrant tarafından tanımlanmıştır (Bland, 2007, s. 84-85). O zamandan beri, lokal steroid enjeksiyonları karpal tünel tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, kortikosteroid enjeksiyonlarının sadece geçici



rahatlama sağladığı bildirilmiş ve bu dönemden sonra yüksek nüks oranı saptanmıştır (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 49). Literatürde steroid enjeksiyonu sonrası nüks oranı % 8–94 olarak bulunmuştur.

Median sinirin steroid enjeksiyonu sonucu yaralanması oldukça nadirdir. Sinir enjeksiyon yaralanmalarının karakteristik bir klinik görünümü vardır. Nörolojik defisitler enjeksiyon sırasında veya dakikalar içinde gelişir. Birçok hastada yaralanma şiddetlidir ve motor fonksiyon, duysal fonksiyondan daha fazla etkilenir. Spontan iyileşme olabilmekle birlikte kalıcı nörolojik defisit sıktır. Elektronörofizyolojik olarak komplet olan bu yaralanma primer anastomoz yapılarak, rezeksiyon ve greftleme ile tedavi edilir (Akdağ, 2006, s. 14-15).

KTS tedavisinde splint kullanımı bir diğer konservatif yaklaşımdır ve amacı, artmış kanal içi basıncını azaltmaktır. Nötral pozisyonda, volar destekli splintleme ile karpal tünel boşluğu maksimale gelir ve kanal içi basıncı azalarak semptomatik rahatlama sağlanır. Splint, özellikle geceleri kullanılır. Splint kullanma kriterleri tam olarak belli değildir. Nörolojik defisiti olmayan erken vakalarda daha iyi sonuçlar alınmasına karşın, literatürde splint tedavisi sonrası nüks oranının % 10 ile % 90 arasında olduğu belirtilmiştir (Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 41-42).

#### **4.4.1. Medikal Tedavi**

Medikal tedavide amaç el bileğinin tekrarlayıcı travmalardan korunması ve semptomların giderilmeye çalışılmasıdır. El bileğini tekrarlayıcı hareketlerden korumak için istirahat atelleri kullanılır. Semptomları gidermek için non-steroid antienflamatuar ilaçların yanı sıra ultrason ve elektriksel sinir uyarısı gibi fizik tedavi yöntemleri kullanılabilir (Güler ve Savaş, 1989, s. 14).

Özellikle premenstruel dönemde oluşabilecek ağrılar için diüretikler de denenebilir. Median sinire yönelik lokal steroid uygulamaları geçmişte kullanılmışsa da günümüzde nörotoksik özellikleri nedeniyle tercih edilmemektedir.

#### **4.4.2. Cerrahi Tedavi**

Tıbbi tedavi hafif olgularda rahatlama sağlasa da orta ve şiddetli KTS olgularında esas tedaviyi cerrahi oluşturmaktadır (Bland, 2007, s. 79). Ancak cerrahi sonrası %1-25 oranlarında kötü sonuç alınabileceği bildirilmektedir.

KTS cerrahisinde karpal tünelin median sinire ve dallarına zarar verilmeden bütünüyle gevşetilmesi çok önemlidir. Bu nedenle el bileğinde önemli oranda anormal dallanmalar gösterdiği için median sinir anatomisi iyi bilinmelidir.

#### **4.5. Karpal Tünel Tedavisinde Klinik Semptomlar ve Klinik Bulgular**

Karpal tünel tedavisinin ilk göze çarpan ve klasik semptomu ilk üç parmak ile 4.parmağın radial yarısında uyuşma ve karıncalanmanın görülmesidir (Tanaka, Wild, Seligman, Behrens, Cameron and Putz, 1994, s. 48-49). Gün boyu hissedilen karıncalanma ve uykudan uyandıracak kadar şiddetli ağrı, sabah tutukluğu, ince motor fonksiyonlarda kayıp gözlenir. İlk aşamada duyuusal semptomlar motor semptomlardan daha fazladır. Yakınlmalar erken evrelerde ara sıra ve sıklıkla uykuda gözlenmekteyken ilerleyen evrelerde sıklığı artar.

Median sinirin sıkışması arttıkça motor semptomlar da açığa çıkar hastalık daha kronik bir hal alır. Elde özellikle tenar kasların güçsüzlüğünden kaynaklanan kavramada zayıflık oluşmaya başlar. Primer olarak tenar grup kaslardan abduktor pollisis brevis, ikincil olarak da opponens pollisis kasları etkilenir (Helvacı, 1995, s. 47). Vakaların çoğu başparmak oppozisyonu yapmakta güçlük çekerler. Hastalar genellikle ellerinde tutukluktan şikayet ederler.

Bu tenar kaslardaki güçsüzlükten kaynaklanabileceği gibi çoğu zaman kas kuvveti normaldir, asıl neden parmak uçlarındaki duyu kaybıdır. Hastalar için gece oluşan uyuşma, parestezi uyku düzensizliğine yol açtığı için sorun teşkil eder. Bu belirti “uyandıran uyuşma” olarak adlandırılır (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 23). Gece uyuşmasına dair farklı görüşleri şu şekilde sıralayabiliriz (Atroshi, 1999, s. 92-93):

- Hasta taraf üzerine yatılması sonucunda aksillar venin basısı ve ödem oluşması,
- Geceleri ödemin tekrar yayılması,
- Fleksör sinovyal dokuda damar genişlemesi sonucu karpal tünel alanının daralması ve median sinir basısının artması,
- Uyku esnasında venöz staz ve vazodilatasyon ile birlikte inaktivite halinin oluşması,
- Geceleri bazı hastalar el bileklerini fleksiyon pozisyonuna getirirler. Buna bağlı olarak da median sinir trasesinde bükülme oluşur.

Bu tip hastalara el bileğini nötral pozisyonda tutucu splint tavsiye edilir. Hastalar sabahları ellerinde sertlik ve şişlikle uyanabilirler, yaklaşık 30-45 dakika içerisinde hareket ettirdikçe bu şikayetler de azalma görülür (Akdağ, 2006, s. 46). Gün boyunca zaman zaman ellerini sallayarak veya ovarak şikayetlerini hafifletmeye çalışırlar. Eli ve kolu; araba kullanmak, gazete okumak, telefonla konuşmak, örgü örmek gibi sabit pozisyonlarda uzun süreli tutmak da bu sendromu tetikler.

Semptomlar gün içerisinde yaptıkları işlerin yoğunluğuna göre artış gösterir. Daha çok el bileğini fleksiyona zorlayıcı tekrarlayıcı aktivitelerde şikayetler artar. Gün içerisindeki yoğunluğa bağlı olarak gece semptom artışı da daha fazla olur. El ve kolun postürünün değiştirilmesi ve dinlendirilmesi rahatlatıcıdır. Ağrı bazı durumlarda dirseğe hatta omuza kadar yayılabilir. Başlangıç evresinde ellerde şişlik hissi gibi nonspesifik iyi lokalize edilemeyen yakınmalar tanımlanır; bu hissin anormal impulslardan da kaynaklandığı düşünülebilir (Çıkrıkçıoğlu, 1999, s. 15).

Ele giden sempatik sinirlerin çoğu median sinirle taşınır. Median sinir hasarında da vazomotor değişiklikler ve kozalji açığa çıkabilir. Ağrının proksimale doğru yayılımı da sempatik tutulumla bağlanabilir. Karpal tünel sendromuna reynaud fenomeni, arkosiyanoz da eşlik edebilir.

Median sinirin taşıdığı otonom liflerden dolayı innerve ettiği cilt alanında kuruma, kabuklanma, terleme ve beslenme bozukları, tırnaklarda distrofi gibi bozukluklar ortaya çıkmaktadır (Szabo and Chidgey, 1989, s. 79).

#### 4.5.1. Duyusal bozukluklar

Elin ilk üç parmağında ve dördüncü parmağın radial yarısında duyu kusuru görülmektedir. Duyu kusuru hipoestezi şeklindedir. En belirgin olarak ikinci parmağın palmar yüzünde görülür. Hafif dokunma duyusuna pamuk ya da benzeri bir materyalle bakılabilir.

Karpal tünel tedavisinde elin dorsal kısmı ve avuç içinde duyu kusuru görülmez. Bunun nedeni median sinirin elin avuç içi ve dorsal kısmını innerve eden dallarının tünele girmeden ayrılmasıdır (Tanaka, Wild, Seligman, Behrens, Carmen and Putz, 1994, s. 45). Duyu testlerinde sonuçlar normal olduğu halde duyu kaybı hisseden hastalarda subjektif hipoestezi görülmektedir. Bu durumların erken dönemde sempatik sinir liflerinin etkilenmesinden de kaynaklandığı düşünülebilir.

Karpal tünel tedavisinde beşinci parmakta da semptomatik olarak duyu kaybı görülebilmektedir. Böyle durumlarda karpal tünel tedavisinde servikal radikülopati ya da ulnar kompresyon sendromunun eşlik ettiği düşünülebilir. İki nokta diskriminasyonu hafif ve orta düzeydeki karpal tünel tedavilerde genellikle normal sınırlardadır (Bland, 2007, s. 75). İlerleyen evrelerde diskriminasyon duyusunda kayıp gözlenebilir. İki nokta diskriminasyonu karpal tünel tedavisi teşhisi için çok önemli bir yere sahip değilse de destekleyici bir ölçümdür.

Bu testin duyarlılığı yaklaşık olarak %22, özgüllüğü ise %82 olarak rapor edilmiştir (Finsen and Zeitlmann, 2006, s. 41). İki nokta diskriminatör ile bu duyu test edilir. İkinci parmak ile beşinci parmak arasındaki fark incelenir. İki nokta diskriminasyonunda anormallik elektrofizyolojik testlere göre duyuusal amplitütte yaklaşık %70'lik azalma olduğunda meydana gelmektedir.

Bu testte de ikinci ile beşinci parmak distal interfalangeal eklemleri arasındaki farka bakılır. Duyusal kaybı olmayan kişilerde normal değer 2,83 monofilament olduğu görülmektedir. Anormal vibrasyon duyusu da bir diğer semptomdur. Statik ya da dinamik olarak test edilebilir. Bunda da ikinci parmak distal interfalangeal eklem ile beşinci parmak distal interfalangeal eklem arasındaki vibrasyon hissi farkına bakılır.

#### **4.5.2. Motor bozukluklar**

Motor bozukluklardan primer olarak iki semptom görülebilir: A. Abduktor pollisis kası güçsüzlüğüne bağlı başparmak abduksiyon gücünde azalma görülebilir. B. Tenar kaslarda atrofi oluşmaktadır (Bland, 2007, s. 79). Başparmakta en sık abduktor pollisis brevis daha az sıklıkta opponens pollisis kasları etkilenir. Bu nedenle oppozisyon ve fleksiyondan ziyade abduksiyon gücü test edilir.

Hastaların çoğunda tek başına abduktor kas güçsüzlüğü belirgin olmayabilir ancak klinik değerlendirmelerle daha da netleşir. Başparmak abduksiyon testi: Hasta elinin dorsal kısmını sabit bir yere dayar. Daha sonra başparmağını yukarı radial tarafa doğru kaldırır. Değerlendirmeyi yapan kişi distal falanks üzerinden ters yöne doğru direnç uygular ve abduksiyon gücü test edilmiş olur.

Tenar atrofi karpal tünel tedavisinin ilerleyen dönemlerinde ya da ihmal edilmiş durumlarda açığa çıkar. Hastanın kavrama gücünde önemli derecede azalma oluşmuştur. İnspeksiyonda tenar bölgede çukurlaşma görülebilir. Ayrıca atrofi, nöropatilerde ya da servikal radikülopatide de açığa çıkabilir.

#### **4.6. Karpal Tünel Tedavisinde Provokatif Testler**

Tanıyı destekleyici testlerdir. Amaç, median siniri sıkıştırarak klasik semptomların açığa çıkmasını sağlamaktır. Bu testler şu şekilde sıralanabilir; Tinel, phalen, ters phalen, karpal kompresyon, turnike testi, yumruk sıkma testi şeklinde sıralanabilir (Szabo and Chidgey, 1989, s. 17; Atroshi, 1999, s. 13-14).

##### **4.6.1. Phalen Testi**

1951'de Phalen tarafından tanımlanmıştır. Her iki el bileği tam fleksiyondayken dorsal kısımları birbirine yaslı bir şekilde 30-60 saniye kadar tutulur (Bland, 2007, s. 79). Elde ağrı ya da uyuşma açığa çıkarsa test pozitifdir. Çoğu çalışmada bu testin duyarlılığı ve özgüllüğü %40-80 arasında bulunmuştur. Tanaka ve Ark., Testin duyarlılığının %75, özgüllüğünün %95 olduğunu düşünmektedirler (1994, s. 19). Ancak duyu kusuru olan ve ellerini fleksiyona getirmekte zorlanan hastalarda yalancı pozitiflik söz konusu olabilir.

Sağlıklı kişilerde de uzun süreli ellerin fleksiyonda tutulmasıyla uyuşmanın oluşabilmesi bu durumu desteklemektedir. Sonuç olarak phalen testinde hastaların %83 ve %85'inde test doğrulanmıştır (Katz and Simmons, 2002, s. 47). Ters phalen testinde ise avuç içleri birbirine yaslanarak eller tam ekstansiyondayken 30-60 saniye beklenecek semptomların oluşması test edilmektedir (Tanaka, Wild, Seligman, Behrens, Cameron and Putz, 1994, s. 14-15). Yapılan çalışmalara göre Karpal tünel tedavili hastaların %50'sinde bu test pozitif çıkmaktadır.

#### **4.6.2. Tinel Testi**

1915'te Tinel tarafından tanımlanmıştır. Median sinirin trasesini izleyecek şekilde el bileğinde transvers karpal ligament üzerinden başlayarak üçüncü parmak ucuna kadar gidilip tekrar aynı şekilde geri dönülerek vuruşlar yapılır. Bu sırada hasta uyuşma ya da elektriklenme hissederse test pozitifdir.

Tanaka, Wild, Seligman, Behrens, Cameron and Katz, tinel testinin duyarlılığını %25-60, özgünlüğünü %67-87 olarak belirlemiştir. Bland, testin duyarlılığının %64, özgüllüğünün %99 olduğunu düşünmüşlerdir. Katz and Simmons, 2002 yılındaki araştırmalarında tinel testinin duyarlılığını %38-100, özgüllüğünü %55-100 aralıklarındaki değerlerde sunmuşlardır.

#### **4.6.3. Karpal Kompresyon Testi**

1991'de Durkan tarafından tanımlanmıştır. Hastanın eli rahat bir pozisyondayken her iki elin başparmağı transvers karpal ligament üzerine yerleştirilerek 30-60 saniye bastırılır ve klasik semptomların açığa çıkması beklenir. Kaul ve ark. 269 hastanın 135'inde karpal kompresyon testiyle semptomların provokasyonunu tespit etmişlerdir (Szabo and Chidgey, 1989, s. 40).

Karpal kompresyon testinin duyarlılığı %52,5 özgüllüğü %61,8 tahmini pozitif değeri %66,6, negatif değeri ise % 47,2 olarak bulunmakla beraber karpal tünel teşhisini destekleyici önemli kriterler arasında yer almaktadır (Atroschi, 1999, s. 14-15).

#### **4.6.4. Turnike Testi**

1953'te Gilliat tarafından tanımlanmıştır. Tansiyon aletinin manşonu önkola bağlanarak 60 saniye boyunca sistolik basınç üzerinde tutularak semptomların açığa çıkması beklenir

#### **4.6.5. Yumruk Sıkma Testi**

Hasta 60 saniye boyunca parmaklarını fleksiyonda tutarak parestezi açığa çıkması beklenir. Yapılan çalışmaların birinde duyarlılığı %61, özgüllüğü %92 bulunmuştur (Szabo and, Chidgey, 1989, s. 39). Diğer testlerden daha az sıklıkta kullanılmaktadır. KTS tanısı için provokatif testler ek bir elektrodiagnostik değere sahip değildir.

### **4.7. Karpal Tünel Tedavisinde Bulgular**

#### **4.7.1. Elektrodiagnostik Test**

Median sinir disfonksiyonu oldukça sensitif olduğu gösterilmiş olan sinir ileti çalışmaları ile belirlenebilir. Sinir iletim çalışmaları karpal tünel tedavisinde en fazla kesin tanı koydurucu testtir. Fakat bazı durumlarda EMG'nin; klinik ve anamneze göre karpal tünel tedavi tanısı almış hastalarda; laboratuvar testi olarak tanıyı desteklemeyebileceği akılda tutulmalıdır (Atroshi, 1999, s. 42).

Median sinirin karpal tünel düzeyinde elektrodiagnostik değerlendirmesi aşağıdaki durumlar için endikedir (Akdağ, 2006, s. 79):

- KTS'de şüphe edilen olgularda tanıyı doğrulamak için
- Periferik nöropatisi olan olgularda KTS'yi tespit etmek için
- Diğer bir patolojiyi dışlamak için
- Klinik olarak KTS tanısı almış konservatif veya cerrahi olarak takip edilmiş ancak elektrodiagnostik olarak bir değerlendirme yapılmamış olan olguları takip etmek
- Median sinir tutulumunun şiddetini belirlemek için

- Prognozu belirlemek için Semptom ve bulgularına göre klinik olarak tanı almış hastaların ortalama % 95’inde pozitif olarak bulunur.

Sinir iletim çalışmaları fokal demiyelinizasyonu göstermektedir. Sensitivitesi en yüksek olan tanı koydurucu test duysal sinir iletim çalışmalarıdır. Parmak-el bileği segmentinde duysal sinir iletim çalışmalarında bozulma hastaların % 63 ile 97’sinde bildirilmiştir (Szabo and Chidgey, 1989, s. 93).

Sinir iletim hızı;

- Hastanın yaşı,
- Odanın sıcaklığı,
- Sinir aksonunun çapı ile değişir.

Bu üç faktördeki artış ile iletimde de artış gözlenir. İletim hızı 40 milisaniyenin altına düşerse akson hastalığı olduğu düşünülür. Ön boynuz hücrelerinin harabiyetinde sinir iletim hızı değişmez.

#### **4.7.2. Manyetik Rezonans Görüntüleme**

KTS’de oluşan manyetik rezonans görüntüleme (MRG) bulguları 1986 yılında Reinus, Weiss, Koenig ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. MRG, bilek ekstansiyondayken pisiform hizasına yerleştirilerek, bilek fleksiyonda ise pisiform ile hamatum çengeli hizasına yerleştirilerek median sinir kompresyonu görüntülenebilir. Anormal kas lifleri, kan damarları, hücreler arası boşlukların görüntülenmesinde ultrason ve MRG teknikleri kullanılabilir (Bland, 2007, s. 79).

Karpal tünel tedavisindeki anatomik anormalliklerin detaylı olarak yapısal değişikliklerin, komşu yapıların görüntülenmesini sağlar. Bu tekniğin kullanımı, yüksek maliyetli olması ve çekiminin uzun sürmesi nedeniyle kısıtlanmaktadır. Sinir kompresyon belirtileri bulunmayarak görülen karpal tünel tedavisinde MRG ile sinir çevresinde fibröz doku ya da skarlaşma olduğu tespit edilebilir.



### 4.7.3. Ultrasonografi

Ultrasonografi, karpal tünel tedavisi hakkında önemli bilgiler veren çabuk uygulanabilen ve pahalı olmayan bir yöntemdir (Akdağ, 2006, s. 14). Yüksek znrlkteki USG ile karpal tünel distalinde median sinirin ezilmesi, proksimal kısmında kompresyonu ve transvers karpal ligament kalınlaşmasındaki artış görüntülenebilmektedir.

Ultrason, işitilebilir sınırın üzerindeki frekanslarda olan akustik vibrasyon dalgaları olarak tanımlanır (ıkırıkioğlu, 1999, s. 21). Günümüzde Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon nitelerinin çoğunda kullanılmakta olan fiziksel bir modalitedir. Ultrason dalgası yüksek frekanslı alternatif akım kullanılarak, elektrik enerjisini mekanik ossilasyon enerjisine dönüştüren bir çevirici aracılığıyla oluşur.

Bu dönüşüme “piezoelektrik olay” denirken, bu şekilde elektriği mekanik enerjiye eviren kristallere de “piezoelektrik kristal” denir. Ultrason cihazında genellikle, kuartz ya da baryum titanat kristalleri kullanılmaktadır. Tipik bir ultrason cihazının  değişkeni vardır (Fluery, Berriet and Huguenin, 2002, s. 41-42):

Sesin dönüş süresi ikiye bölünüp sesin hızı ile çarpılması sonucunda sesin yankıların hangi derinlikten geldiği saptanmaktadır. Çalışmamızda, 1 - 3 mhz frekansında 150 w cm<sup>2</sup> yoğunluğunda US Doku içerisinde surat ile ilerler ve partikullerde yer değiştirmesine sebep olmaktadır. Ultrasonun şiddeti W/cm<sup>2</sup> birimiyle ölçülür. Toplam gücün uygulama başlığı alanına bölünmesiyle bulunur. Dalga şekli, Sürekli ya da aralıklı dalga şeklinde uygulanabilir.

Ses ve ultrason sıkıştırılabilen bir ortamda boyuna dalgalar şeklinde yayılır. İnsan dokularında bu dalgaların yayılma hızı, yaklaşık olarak 1500m/sn'dir (Akdağ, 2006, s. 14). Dokularda ultrason enerjisinin yayılması, biyolojik ortamın absorbsiyon özelliklerine ve dokular arası yüzeyden ultrason enerjisinin yayılmasına bağlıdır. Ortamın akustik dalgalara karşı geçirgenliğine “akustik empedans” denir (Haar, 1999, s. 17).

Ortamın yoğunluğu ne kadar çoksa, akustik empedans da o kadar çoktur.

Akustik empedansları farklı olan dokular arasındaki ortak yüzeylerde enerjinin yansıdığı görülür. Lehmann ve Johnson, ultrason enerjisinin yumuşak dokulardan çok az oranda yansıdığı halde, kemik dokusunda % 30 oranında yansıdığını göstermişlerdir.

Böylece, yansıma ve kesme dalgalarının oluşması ve absorpsiyon katsayısı yüksek olan yüzeyel doku tabakalarındaki yüksek selektif absorpsiyon nedeniyle ultrason en etkili derin ısı araçlarındandır.

#### 4.8. Karpal Tünel sendromunda frekansa göre difüzyon derinliğinin hesaplanması

Değişik frekanslarda difüzyon derinliği ( skin depth) in nasıl olduğunu görebilmek için aşağıda detayları verilen Python yazılım kodları kullanıldı. Frekansı 1Mhz den 3 Mhz e kadar değiştirerek hangi frekansta hangi skin depth değerini aldığı hesaplandı.

Bu hesaplamaları yaparken aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$\alpha$  = attenuation constant

$$= \omega \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon'} \right)^2} - 1 \right)} \quad (\text{Np/m})$$

$\omega$  = Açısal frekans =  $2 * \pi * f$

f = frekans

$$\alpha = \text{soğrulma katsayısı} = \frac{1}{\text{Skin Depth}(\text{difüzyon derinliği})}$$

$\epsilon' = \epsilon_0 \epsilon_r$

$\epsilon_0$  = Boşluğun dielektrik sabiti

$\epsilon_r$  = Bağlı Dielektrik sabiti

$\epsilon'$  = Dielektrik sabiti

$\sigma$  = maddenin elektrik iletkenliği

$\mu' = \mu_0 \mu_r$

$\mu'$  = elektromanyetik geçirgenlik

$\mu_0$  = Boşluğun elektromanyetik geçirgenliği =  $4\pi 10^{-7}$  [Henry/meter]

$\mu_r$  = Bağıl elektromanyetik geçirgenlik = 1 [ henry /meter ]

```
#!/usr/bin/env python2
```

```
from __future__ import division
```

```
from math import *
```

```
import string
```

```
import cmath
```

```
import math
```

```
from math import log10
```

```
def calculate_skin_depth(conductivity,frequency,permittivity,permeability):
```

```
permittivity = permittivity * 8.854187817 * 10**(-12)
```

```
permeability = permeability * 4 * pi * 10**(-7)
```

```
resistivity = 1 / conductivity
```

```
angular_frequency = 2*pi* frequency
```

```
A = sqrt((2*resistivity)/(angular_frequency*permeability))
```

```
C = resistivity*angular_frequency*permittivity
```

```
B = cmath.sqrt(cmath.sqrt(1+(C)**2)+C)
```

```
data = A*B
```

```
if data.imag == 0.0:
```

```
    return data.real
```

```
else:
```

```
    return data
```

```
def calculate_skin_depth_real(conductivity,frequency,permittivity,permeability):
```

```
    data = calculate_skin_depth(conductivity,frequency,permittivity,permeability)
```

```
    return data.real
```

```
for frequency in range(10**6,3*10**6+10000 ,10000):
```

```
skin_depth = calculate_skin_depth(2,frequency,109,1) * 100
```

```
output = "SKIN DEPTH:\t" + str(skin_depth) + "\tFREKANS:\t" + str(frequency)
```

```
output = output.replace(".",",")
```

```
print output
```

Bunun çıktısı ise ;

**Tablo 2:** Değişik Frekanslara Göre Difüzyon Derinliği

SKIN DEPTH:	35,6421190952	FREKANS:	1000000
SKIN DEPTH:	35,4657716871	FREKANS:	1010000
SKIN DEPTH:	35,2920266715	FREKANS:	1020000
SKIN DEPTH:	35,1208207163	FREKANS:	1030000
SKIN DEPTH:	34,952092626	FREKANS:	1040000
SKIN DEPTH:	34,7857832499	FREKANS:	1050000
SKIN DEPTH:	34,6218353955	FREKANS:	1060000
SKIN DEPTH:	34,4601937455	FREKANS:	1070000
SKIN DEPTH:	34,3008047796	FREKANS:	1080000

SKIN DEPTH:	34,1436167003	FREKANS:	1090000
SKIN DEPTH:	33,9885793621	FREKANS:	1100000
SKIN DEPTH:	33,8356442043	FREKANS:	1110000
SKIN DEPTH:	33,6847641874	FREKANS:	1120000
SKIN DEPTH:	33,5358937322	FREKANS:	1130000
SKIN DEPTH:	33,3889886621	FREKANS:	1140000
SKIN DEPTH:	33,2440061482	FREKANS:	1150000
SKIN DEPTH:	33,1009046566	FREKANS:	1160000
SKIN DEPTH:	32,9596438988	FREKANS:	1170000
SKIN DEPTH:	32,8201847839	FREKANS:	1180000
SKIN DEPTH:	32,6824893733	FREKANS:	1190000
SKIN DEPTH:	32,5465208374	FREKANS:	1200000
SKIN DEPTH:	32,4122434143	FREKANS:	1210000
SKIN DEPTH:	32,2796223701	FREKANS:	1220000
SKIN DEPTH:	32,1486239616	FREKANS:	1230000
SKIN DEPTH:	32,0192153999	FREKANS:	1240000
SKIN DEPTH:	31,8913648162	FREKANS:	1250000
SKIN DEPTH:	31,7650412289	FREKANS:	1260000

SKIN DEPTH:	31,6402145118	FREKANS:	1270000
SKIN DEPTH:	31,5168553645	FREKANS:	1280000
SKIN DEPTH:	31,3949352828	FREKANS:	1290000
SKIN DEPTH:	31,2744265318	FREKANS:	1300000
SKIN DEPTH:	31,155302119	FREKANS:	1310000
SKIN DEPTH:	31,0375357691	FREKANS:	1320000
SKIN DEPTH:	30,9211018995	FREKANS:	1330000
SKIN DEPTH:	30,8059755974	FREKANS:	1340000
SKIN DEPTH:	30,692132597	FREKANS:	1350000
SKIN DEPTH:	30,5795492582	FREKANS:	1360000
SKIN DEPTH:	30,468202546	FREKANS:	1370000
SKIN DEPTH:	30,3580700108	FREKANS:	1380000
SKIN DEPTH:	30,2491297695	FREKANS:	1390000
SKIN DEPTH:	30,1413604869	FREKANS:	1400000
SKIN DEPTH:	30,0347413585	FREKANS:	1410000
SKIN DEPTH:	29,9292520937	FREKANS:	1420000
SKIN DEPTH:	29,8248728991	FREKANS:	1430000
SKIN DEPTH:	29,7215844638	FREKANS:	1440000

SKIN DEPTH:	29,6193679434	FREKANS:	1450000
SKIN DEPTH:	29,5182049463	FREKANS:	1460000
SKIN DEPTH:	29,4180775197	FREKANS:	1470000
SKIN DEPTH:	29,3189681359	FREKANS:	1480000
SKIN DEPTH:	29,2208596798	FREKANS:	1490000
SKIN DEPTH:	29,1237354365	FREKANS:	1500000
SKIN DEPTH:	29,027579079	FREKANS:	1510000
SKIN DEPTH:	28,932374657	FREKANS:	1520000
SKIN DEPTH:	28,8381065858	FREKANS:	1530000
SKIN DEPTH:	28,7447596354	FREKANS:	1540000
SKIN DEPTH:	28,6523189205	FREKANS:	1550000
SKIN DEPTH:	28,56076989	FREKANS:	1560000
SKIN DEPTH:	28,4700983181	FREKANS:	1570000
SKIN DEPTH:	28,3802902946	FREKANS:	1580000
SKIN DEPTH:	28,2913322158	FREKANS:	1590000
SKIN DEPTH:	28,2032107764	FREKANS:	1600000
SKIN DEPTH:	28,1159129606	FREKANS:	1610000
SKIN DEPTH:	28,0294260344	FREKANS:	1620000



SKIN DEPTH:	27,9437375377	FREKANS:	1630000
SKIN DEPTH:	27,8588352766	FREKANS:	1640000
SKIN DEPTH:	27,7747073166	FREKANS:	1650000
SKIN DEPTH:	27,6913419749	FREKANS:	1660000
SKIN DEPTH:	27,6087278141	FREKANS:	1670000
SKIN DEPTH:	27,5268536357	FREKANS:	1680000
SKIN DEPTH:	27,445708473	FREKANS:	1690000
SKIN DEPTH:	27,3652815859	FREKANS:	1700000
SKIN DEPTH:	27,2855624543	FREKANS:	1710000
SKIN DEPTH:	27,2065407725	FREKANS:	1720000
SKIN DEPTH:	27,1282064436	FREKANS:	1730000
SKIN DEPTH:	27,0505495743	FREKANS:	1740000
SKIN DEPTH:	26,9735604693	FREKANS:	1750000
SKIN DEPTH:	26,8972296265	FREKANS:	1760000
SKIN DEPTH:	26,8215477319	FREKANS:	1770000
SKIN DEPTH:	26,7465056551	FREKANS:	1780000
SKIN DEPTH:	26,6720944443	FREKANS:	1790000
SKIN DEPTH:	26,5983053221	FREKANS:	1800000

SKIN DEPTH:	26,5251296811	FREKANS:	1810000
SKIN DEPTH:	26,4525590799	FREKANS:	1820000
SKIN DEPTH:	26,3805852383	FREKANS:	1830000
SKIN DEPTH:	26,3092000344	FREKANS:	1840000
SKIN DEPTH:	26,2383954997	FREKANS:	1850000
SKIN DEPTH:	26,1681638163	FREKANS:	1860000
SKIN DEPTH:	26,0984973124	FREKANS:	1870000
SKIN DEPTH:	26,0293884598	FREKANS:	1880000
SKIN DEPTH:	25,9608298693	FREKANS:	1890000
SKIN DEPTH:	25,8928142884	FREKANS:	1900000
SKIN DEPTH:	25,8253345977	FREKANS:	1910000
SKIN DEPTH:	25,7583838077	FREKANS:	1920000
SKIN DEPTH:	25,6919550557	FREKANS:	1930000
SKIN DEPTH:	25,6260416031	FREKANS:	1940000
SKIN DEPTH:	25,5606368326	FREKANS:	1950000
SKIN DEPTH:	25,495734245	FREKANS:	1960000
SKIN DEPTH:	25,4313274568	FREKANS:	1970000
SKIN DEPTH:	25,3674101974	FREKANS:	1980000

SKIN DEPTH:	25,303976307	FREKANS:	1990000
SKIN DEPTH:	25,2410197334	FREKANS:	2000000
SKIN DEPTH:	25,1785345299	FREKANS:	2010000
SKIN DEPTH:	25,1165148534	FREKANS:	2020000
SKIN DEPTH:	25,0549549612	FREKANS:	2030000
SKIN DEPTH:	24,9938492096	FREKANS:	2040000
SKIN DEPTH:	24,9331920511	FREKANS:	2050000
SKIN DEPTH:	24,872978033	FREKANS:	2060000
SKIN DEPTH:	24,8132017945	FREKANS:	2070000
SKIN DEPTH:	24,7538580654	FREKANS:	2080000
SKIN DEPTH:	24,6949416637	FREKANS:	2090000
SKIN DEPTH:	24,6364474941	FREKANS:	2100000
SKIN DEPTH:	24,5783705456	FREKANS:	2110000
SKIN DEPTH:	24,5207058905	FREKANS:	2120000
SKIN DEPTH:	24,4634486818	FREKANS:	2130000
SKIN DEPTH:	24,406594152	FREKANS:	2140000
SKIN DEPTH:	24,3501376113	FREKANS:	2150000
SKIN DEPTH:	24,2940744461	FREKANS:	2160000

SKIN DEPTH:	24,2384001172	FREKANS:	2170000
SKIN DEPTH:	24,1831101584	FREKANS:	2180000
SKIN DEPTH:	24,1282001751	FREKANS:	2190000
SKIN DEPTH:	24,0736658424	FREKANS:	2200000
SKIN DEPTH:	24,0195029042	FREKANS:	2210000
SKIN DEPTH:	23,9657071717	FREKANS:	2220000
SKIN DEPTH:	23,9122745217	FREKANS:	2230000
SKIN DEPTH:	23,8592008956	FREKANS:	2240000
SKIN DEPTH:	23,8064822981	FREKANS:	2250000
SKIN DEPTH:	23,7541147957	FREKANS:	2260000
SKIN DEPTH:	23,7020945156	FREKANS:	2270000
SKIN DEPTH:	23,6504176448	FREKANS:	2280000
SKIN DEPTH:	23,5990804284	FREKANS:	2290000
SKIN DEPTH:	23,5480791689	FREKANS:	2300000
SKIN DEPTH:	23,4974102246	FREKANS:	2310000
SKIN DEPTH:	23,4470700091	FREKANS:	2320000
SKIN DEPTH:	23,3970549899	FREKANS:	2330000
SKIN DEPTH:	23,3473616873	FREKANS:	2340000

SKIN DEPTH:	23,2979866734	FREKANS:	2350000
SKIN DEPTH:	23,2489265716	FREKANS:	2360000
SKIN DEPTH:	23,2001780547	FREKANS:	2370000
SKIN DEPTH:	23,1517378449	FREKANS:	2380000
SKIN DEPTH:	23,1036027124	FREKANS:	2390000
SKIN DEPTH:	23,0557694743	FREKANS:	2400000
SKIN DEPTH:	23,0082349942	FREKANS:	2410000
SKIN DEPTH:	22,9609961811	FREKANS:	2420000
SKIN DEPTH:	22,9140499887	FREKANS:	2430000
SKIN DEPTH:	22,867393414	FREKANS:	2440000
SKIN DEPTH:	22,8210234975	FREKANS:	2450000
SKIN DEPTH:	22,7749373216	FREKANS:	2460000
SKIN DEPTH:	22,72913201	FREKANS:	2470000
SKIN DEPTH:	22,6836047272	FREKANS:	2480000
SKIN DEPTH:	22,6383526776	FREKANS:	2490000
SKIN DEPTH:	22,5933731046	FREKANS:	2500000
SKIN DEPTH:	22,5486632904	FREKANS:	2510000
SKIN DEPTH:	22,5042205548	FREKANS:	2520000

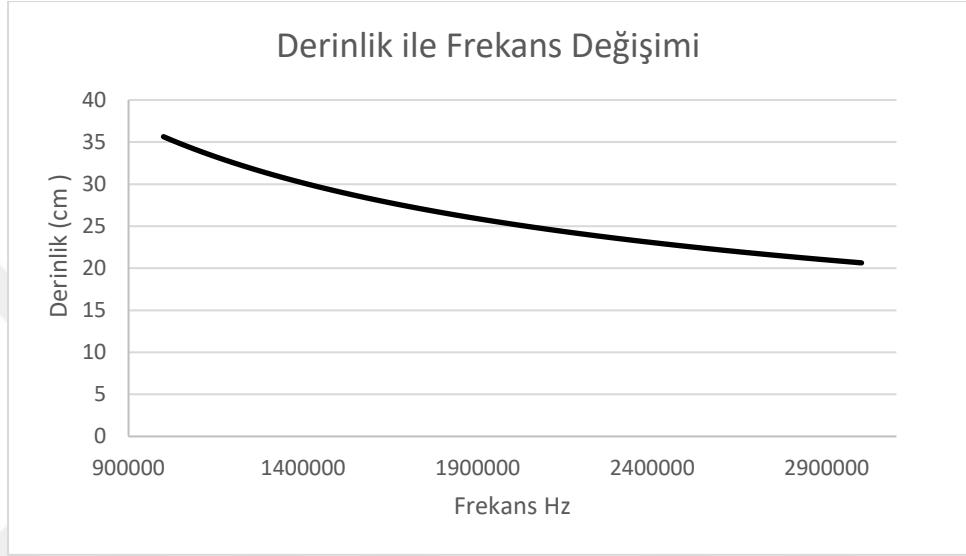
SKIN DEPTH:	22,4600422546	FREKANS:	2530000
SKIN DEPTH:	22,4161257834	FREKANS:	2540000
SKIN DEPTH:	22,3724685703	FREKANS:	2550000
SKIN DEPTH:	22,3290680797	FREKANS:	2560000
SKIN DEPTH:	22,2859218107	FREKANS:	2570000
SKIN DEPTH:	22,2430272962	FREKANS:	2580000
SKIN DEPTH:	22,2003821025	FREKANS:	2590000
SKIN DEPTH:	22,1579838287	FREKANS:	2600000
SKIN DEPTH:	22,1158301064	FREKANS:	2610000
SKIN DEPTH:	22,0739185984	FREKANS:	2620000
SKIN DEPTH:	22,032246999	FREKANS:	2630000
SKIN DEPTH:	21,9908130329	FREKANS:	2640000
SKIN DEPTH:	21,9496144552	FREKANS:	2650000
SKIN DEPTH:	21,9086490501	FREKANS:	2660000
SKIN DEPTH:	21,8679146312	FREKANS:	2670000
SKIN DEPTH:	21,8274090407	FREKANS:	2680000
SKIN DEPTH:	21,7871301488	FREKANS:	2690000
SKIN DEPTH:	21,7470758533	FREKANS:	2700000

SKIN DEPTH:	21,7072440792	FREKANS:	2710000
SKIN DEPTH:	21,6676327785	FREKANS:	2720000
SKIN DEPTH:	21,6282399291	FREKANS:	2730000
SKIN DEPTH:	21,5890635349	FREKANS:	2740000
SKIN DEPTH:	21,5501016253	FREKANS:	2750000
SKIN DEPTH:	21,5113522548	FREKANS:	2760000
SKIN DEPTH:	21,4728135022	FREKANS:	2770000
SKIN DEPTH:	21,4344834708	FREKANS:	2780000
SKIN DEPTH:	21,3963602876	FREKANS:	2790000
SKIN DEPTH:	21,3584421031	FREKANS:	2800000
SKIN DEPTH:	21,3207270907	FREKANS:	2810000
SKIN DEPTH:	21,2832134468	FREKANS:	2820000
SKIN DEPTH:	21,2458993899	FREKANS:	2830000
SKIN DEPTH:	21,2087831604	FREKANS:	2840000
SKIN DEPTH:	21,1718630206	FREKANS:	2850000
SKIN DEPTH:	21,1351372539	FREKANS:	2860000
SKIN DEPTH:	21,0986041648	FREKANS:	2870000
SKIN DEPTH:	21,0622620782	FREKANS:	2880000

SKIN DEPTH:	21,0261093396	FREKANS:	2890000
SKIN DEPTH:	20,9901443142	FREKANS:	2900000
SKIN DEPTH:	20,9543653871	FREKANS:	2910000
SKIN DEPTH:	20,9187709627	FREKANS:	2920000
SKIN DEPTH:	20,8833594644	FREKANS:	2930000
SKIN DEPTH:	20,8481293347	FREKANS:	2940000
SKIN DEPTH:	20,8130790341	FREKANS:	2950000
SKIN DEPTH:	20,7782070417	FREKANS:	2960000
SKIN DEPTH:	20,7435118545	FREKANS:	2970000
SKIN DEPTH:	20,7089919871	FREKANS:	2980000
SKIN DEPTH:	20,6746459715	FREKANS:	2990000
SKIN DEPTH:	20,6404723568	FREKANS:	3000000



**Şekil 4:** Frekans ile Derinlik İlişkisi



## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ultrasonik Dalga Tıp alanında çok sayıda uygulamada yer almaktadır. Bu uygulamaların en önemlilerinden birisi de Ultrasonik dalgalar yardımıyla Karpal Tünel Sendromu rahatsızlığının tedavi edilmesidir. Bu konu ile ilgili olarak hastanelerde yapılan araştırmalarda Karpal Tünel sendromu rahatsızlığını tedavi etmek amacıyla halen kullanılan ve sadece 1 Mhz ve 3 Mhz de çalışan cihazlar olduğu tespit edilmiştir. Bu tedaviyi alan /alabilecek bireylerin bilek kalınlıklarının farklılığı, el bilek kas ve kemik yapılarının farklı özelliklere sahip olması Ultrasonik dalgaların difüzyon derinliğini etkilemektedir.

Hastanelerde yapılan araştırmalarda halen kullanılan cihazların sadece 1 Mhz ve 3 Mhz frekanslarında çalışacak şekilde tasarlandığı , fakat yukarıda sözü edilen bireysel yapı farklılıklarını dikkate alınmadığı anlaşılmaktadır.

Ultrasonik Fizik tedavi cihazlarının 1 Mhz ve 3 Mhz aralıklarındaki etki alanı yani başka bir deyişle difüzyon derinliğinin nasıl olduğunu ortaya koymak amacıyla Python yazılım kodları kullanıldı. Kullanılan bu yazılım kodları sayesinde 1 Mhz ve 3 Mhz aralığındaki farklı Ultrasonik frekans değerleri hesaplandı .Bu hesaplamalar sonucunda Ultrasonik frekans arttıkça difüzyon derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Buna ilişkin değerler Tablo 2 ve Şekil 4 de gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akdağ C., (2006). Ultrasonik terapi cihazı tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çıkırıkçioğlu, M., (1999). ” Elektrokoter ve ultrasonik koter ile çıkartılan insan radial arterlerinde vazomotor fonksiyonlarının ve endotel yapısının karşılaştırılması”, Uzmanlık Tezi, Ege Üniversitesi Kalp Damar Cerrahisi Anabilim Dalı, İzmir.
- Haar, Gail Ter., (1999). “Therapeutic Ultrasound”, European Journal Of Ultrasound.
- Yazgan, E. ve Korürek, M., (1996). “Tıp Elektroniği”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Fluery, G., R. Berriet, O.Le B. Huguenin, (2002). “New Piezocomposite Transducers For Therapeutic Ultrasound” 2nd International Symposium On Therapeutic Ultrasound – Seattle.
- Özden, N., (1981). Ses ötesi (Ultrasonik) İle Muayene, Segem Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın no.48, Ankara.
- Boz C, Ozmenoglu M, Altunayoglu V, Velioglu S, Alioglu Z. (2004). Individual risk factors for carpal tunnel syndrome: an evaluation of body mass index, wrist index and hand anthropometric measurements. Clin Neurol Neurosurg.
- Szabo RM, Chidgey LK. (1989). Stress carpal tunnel pressures in patients with carpal tunnel syndrome and normal patients. J Hand Surg [Am].
- Atroshi I. (1999). Prevalence of Carpal Tunnel Syndrome in A General Population. Journal of the American Medical Association.
- Tuncer T, Çay HF, Kaçar C. (2012). Evidence-based recommendations for the management of knee osteoarthritis: a consensus report of the Turkish League against Rheumatism. Turk J Rheumatol.
- Cameron MH. (2013). Physical agents in rehabilitation: from research to practice. Missouri WB Saunders Company.
- Peter WF, Jansen MJ, Hurkmans EJ, Bloo H, Dekker J. (2011). Guideline steering committee - hip and knee osteoarthritis. Physiotherapy in hip and knee

osteoarthritis: development of a practice guideline concerning initial assessment, treatment and evaluation. *Acta Reumatol Port.*

Ulus Y, Tander B, Akyol Y, Durmus D, Buyukakıncak O. (2012). Therapeutic ultrasound versus sham ultrasound for the management of patients with knee osteoarthritis: a randomized double-blind controlled clinical study. *Int J Rheum Dis.*

Katz JN, Simmons BP.(2002). Clinical practice. Carpal tunnel syndrome. *N Engl J Med.*

Arasıl T.(2005). Türkiye’de ve Dünya’da fiziksel tıp ve rehabilitasyonun durumu. *Türk Fiz Tıp Rehab Derg.*

Tanaka S, Wild DK, Seligman PJ, Behrens V, Cameron L, Putz- Anderson V. (1994). The US prevalence of self-reported carpal tunnel syndrome: 1988 National Health Interview Survey data. *Am J Public Health.*

Einhorn N, Leddy JP. (1996). Pitfalls of endoscopic carpal tunnel release. *Orthop Clin North Am.*

Helvacı, E., (1995). Ultrasonik Kontrol Yönteminde Hata Değerlendirmesi, *Oerlikon Kaynak Bilimi, Sayı: 2, İstanbul.*

Finsen V, Zeitlmann H. (2006). Carpal tunnel syndrome during pregnancy. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.*

Bland JD. (2007). Treatment of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.*

Schmidt H-M., (2001). Lanz. Anatomy of the median nerve in the carpal tunnel, operative nerve repair and reconstruction. Gelberman, RH, editor. Volume II. Philadelphia: JB Lippincott.

Güler, İ. ve Savaş, Y., (1998). “Design parameters of pulsed wave ultrasonic doppler blood flowmeter”, *Journal of Medical System, 22(4).*

Güler, İ. ve Güler, N.F., (1990). “ The electronic detail of a pulsed doppler blood flow measurement system”, *Measurement Science and Technology, 1(10).*

Durak Kavutçu, A., (2006). “Ultrason Dalgalarının Fare Böbrek Dokusuna Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Hedrick, W.R., Hykes, D.L., Starchman, D.E., (1995). "Ultrasound Physics and Instrumentation", Mosby-Year Book, America.

Ghorayeb, S.R., Bertoncini, C.A., Hinders, M.K., (2008). "Ultrasonography in Dentistry", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 55(6).

Müller, H.P., Schaller, N., Eger, T., (1999). "Ultrasonic determination of thickness of masticatory mucosa: A methodologic study", Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology.

Tsiolis, F.I., Needleman, I.G., Griffiths, G., (2003). "Periodontal ultrasonography", Journal of Clinical Periodontology, 30(10).



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

**ADI VE SOYADI:** Orhan EROL

**DOĞUM YERİ VE TARİHİ:** Mainz ,1980

**MEDENİ HALİ:** Evli

**E- MAİL:** [orhan\\_erol@hotmail.com](mailto:orhan_erol@hotmail.com)

**ADRES (İŞ):** Reşitpaşa Caddesi No:41 Avcılar- İstanbul

## EĞİTİM DURUMU

**2016 –** :İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

**1995 - 1999 :**Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

**1992 – 1995:** Avcılar 50.Yıl İNSA Lisesi

**YABANCI DİL :** İngilizce

## İŞ TECRÜBESİ

2002- 2003 Tes Elektrik

2007- Fen Bilimleri Merkezi