

T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

138051

FARKLI FREKANSLARDAKİ VE ŞİDDETLERDEKİ  
İŞİTSEL UYARANLARIN REAKSİYON  
ZAMANINA ETKİLERİ

İZMİR BOĞAZCIYAZI  
BOKUMANTASYON MERKEZİ  
I.G. YÜKSEKÖĞRETİM MERKEZİ

Biyofizik Anabilim Dalı  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizikçi Erdal BİNBOĞA

DANIŞMAN  
Yard. Doç. Dr. Murat PEHLİVAN

138051

İZMİR

2003

**DEĞERLENDİRME KURULU ÜYELERİ**

**Başkan** : Prof. Dr. Gürbüz ÇELEBİ

*Gurbuz Çelebi*

**Üye** : Doç. Dr. Ersin O. KOYLU

*Ersin O. Koylu*

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Murat PEHLİVAN  
(Tez Danışmanı)

*Murat Pehlivan*

Yüksek Lisans Tezinin kabul edildiği tarih: *24-12-2003*

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans ve tez çalışmalarım sırasında engin tecrübelerinden ve bilgi birikiminden faydalandığım Anabilim Dalı Başkanımız hocam sayın Prof. Dr. Gürbüz ÇELEBİ'ye teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve önerileriyle katkıda bulunarak beni yönlendiren ve tezin bu hale gelmesinde büyük emek sarf eden tez danışmanım sayın Yard. Doç. Dr. Murat PEHLİVAN'a teşekkür ediyorum.

Tez çalışması sırasında gösterdikleri yakınlık ve ilgi nedeniyle araştırma görevlisi arkadaşlarım Aydın ÇİTİLOĞLU, Ahmet AKAY, Erden ASENA ve Füsun ERSAN'a, deney düzeneğinin elektronik kısımlarını oluşturma ve deneyi gerçekleştirme sırasında yardımını esirgemeyen teknisyen sayın Murat SARSAR'a teşekkür ediyorum.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, en çekilmez olduğum anlarda bile sonsuz sabır gösteren çok değerli eşim Yıldız Akış BİNBOĞA, annem Naciye BİNBOĞA ve babam Musa BİNBOĞA'ya teşekkür ediyorum.

İzmir, Aralık, 2003

Erdal BİNBOĞA

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vi
EKLER DİZİNİ.....	vii
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. REAKSİYON ZAMANI .....	3
2.1.1. <i>Reaksiyon zamanı çeşitleri</i> .....	4
2.1.2. <i>Reaksiyon zamanını etkileyen faktörler</i> .....	5
2.2. SESİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ .....	5
2.2.1. <i>Sesin yayılma hızı</i> .....	6
2.2.2. <i>Ses şiddeti</i> .....	6
2.2.3. <i>Ses şiddet düzeyi</i> .....	7
2.2.4. <i>Ses yüksekliği</i> .....	8
2.3. İŞİTME ORGANI VE İŞİTSEL YOLLAR.....	9
2.3.1. <i>Kulak</i> .....	9
2.3.2. <i>İşitme yolları</i> .....	17
2.4. PERİFERİK SİNİR TİPLERİ VE SİNİR İLETİM HIZI.....	18
2.4.1. <i>Sinirlerde iletimi etkileyen faktörler</i> .....	18
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM .....</b>	<b>19</b>
3.1. DENEKLER.....	19
3.2. KAYIT VE ANALİZ SİSTEMİ.....	19
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>24</b>
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>34</b>
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>39</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>40</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>41</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>44</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>48</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İşitme duyarlılık eğrisi ve fon eğrileri.....	9
Şekil 2. Kulak ve iç yapısının anatomisi.....	10
Şekil 3. Orta kulak kemikçikleri ve oluşturdukları kaldıraç sistemi .....	11
Şekil 4. İç kulak ve yapısı.....	12
Şekil 5. Kohleadaki korti organının yapısı.....	14
Şekil 6. Ses frekansları ile baziler membranın titreşim bölgeleri arasındaki ilişki.	16
Şekil 7. Ana işitme yolları .....	17
Şekil 8. Tasarlanan ölçüm düzeneğinin şematik diyagramı. ....	20
Şekil 9. Reaksiyon zamanı kayıt programı modüllerinin çıkışları ile oluşturulmuş sanal cihaz ekranı. ....	21
Şekil 10. Erkeklerde sabit frekanslarda şiddet artışına bağlı olarak RZ'daki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi. ....	27
Şekil 11. Bayanlarda sabit frekanslarda şiddet artışına bağlı olarak RZ'daki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi. ....	28
Şekil 12. Erkeklerde sabit şiddette frekans artışına bağlı olarak RZ'daki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.....	30
Şekil 13. Bayanlarda sabit şiddette frekans artışına bağlı olarak RZ'daki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.....	31
Şekil 14. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın reaksiyon zamanı ile şiddet (a) ve frekans (b) arasındaki değişimin gösterimi. ....	33

## TABLOLAR DİZİNİ

<b>Tablo 1. Bazı ses kaynaklarının şiddet düzeyleri. ....</b>	<b>7</b>
<b>Tablo 2. Kullanılan ses uyaranlarının frekans ve şiddete göre sınıflandırılması. ....</b>	<b>23</b>
<b>Tablo 3. Tüm deneklerin uygulanan seslere reaksiyon zamanlarının ortalamaları</b>	<b>24</b>
<b>Tablo 4. Tekrarlayan ölçümler için varyans analizi sonuçları. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tablo 5. Bonferroni testi sonuçları. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tablo 6. Tüm verilere genel olarak bakıldığında bulunan RZ değerlerinin     bayanlarda ve erkeklerdeki uç değerleri. ....</b>	<b>32</b>



## EKLER DİZİNİ

<b>Ek 1. İşitsel RZ Kayıt Formu .....</b>	<b>42</b>
<b>Ek 2. Tetikleme Cihazının Devre Şeması. ....</b>	<b>43</b>
<b>Ek 3. Amplifikatör Devre Şeması. ....</b>	<b>43</b>



## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

İşitme insanın çevre ile iletişimde en önemli duyu sistemlerinden biridir. Sanayi toplumuna geçişle çeşitli ortamlarda maruz kaldığımız ses uyaranları, çeşitlilik kazanmış ve çoğu zaman da gürültü boyutuna ulaşmış insan sağlığını fizyolojik ve psikolojik yönden etkilemeye başlamıştır.

İnsan sağlığı üzerindeki bu etki, düşünsel beceri ve hızlı karar vermeyi gerektiren durumlarda daha da önem kazanır. Özellikle hızlı (saniyeler hatta milisaniyeler düzeyinde) istemli davranış gerektiren durumlarda, örneğin hızla giden bir aracın aniden durması halinde arkadaki araç sürücüsünün bunu fark edip onun da hemen frene basması veya 100 metrelik bir koşuda koşucuların uyarı sesini algılayıp büyük bir hızla atağa geçmeleri gibi durumlarda ortamda var olan diğer seslerin niteliği (türü) ve niceliği (şiddeti) bu kişileri olumsuz etkileyebilir [20,30,33,40]. Bu gibi durumlarda karar verme mekanizmalarının hangi uyaranlardan nasıl etkilendiğini araştırmak önemli ip uçları sağlamaktadır. Uyarının verildiği an ile kişinin buna istemli olarak verdiği yanıtın başlangıcı arasında geçen süre olarak tanımlanan reaksiyon zamanının [11,39] ölçülmesi bu ip uçlarını elde etmenin en iyi yollarından biridir.

Pek çok araştırmacı değişik amaçlarla reaksiyon zamanını ölçmüşlerdir. Bu çalışmaların bir bölümü işitsel ve görsel uyaran şiddetinin reaksiyon zamanını nasıl etkilediği ile ilgilidir [26,42]. Bazı çalışmalar da ise, reaksiyon zamanının yaş ile nasıl değiştiği incelenmiş [23,45], bir diğer grup çalışmada yorgunluğun reaksiyon zamanı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [10]. Ayrıca sigara, alkol, kahve gibi çeşitli maddelerin reaksiyon zamanı üzerindeki etkileri araştırılmıştır [32,37,40]. Diğer taraftan, bazı çalışmalarda işitsel ve görsel uyaranlara reaksiyon zamanı ile *uyartılmış potansiyeller* (ERP) arasındaki ilişki araştırılmıştır [9].

Yukarıda sözü edilen araştırmalar incelendiğinde işitsel, görsel veya çoğu durumda olduğu gibi iki uyaranın kombine olarak uygulandığı deneylerde işitsel uyaranlar farklı şiddet ve frekanslarda uygulanmıştır. Bu çalışmalarda sadece işitsel uyaranların kullanıldığı durumlar nadirdir. Güncel çalışmaların büyük bir bölümünde ise çeşitli hastalıkların (Parkinson, Şizofreni vb...) işitsel reaksiyon zamanı üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bizim çalışmamızda, sadece işitsel uyaranların kullanıldığı



basit reaksiyon zamanı ölçülmüştür. Çalışmada insan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığında (1-4 kHz) yer alan 1 kHz, 2 kHz ve 4 kHz frekanslı sesler ile bu aralığın dışında kalan 500 Hz frekanslı saf ses tonları üretilip, her biri üç değişik şiddette uygulanmıştır. Deneklerin bu ses uyarılarına sağ elin altına yerleştirilen bir yanıt anahtarına basarak yanıt vermeleri istenmiştir. Denekler cinsiyete ve yaşa göre gruplandırılmış ve her grup için ses şiddeti ve frekansının reaksiyon zamanını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Böylelikle, kullanılan şiddet ve frekans aralıklarında hangi frekans ve şiddetteki uyarıların, bilişsel işlevleri en az aksattığı, ya da dikkatle ilgili merkezi sinir sistemi mekanizmalarını en az etkilediği hakkında bilgi elde etmek amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışmanın bulgularının ve sonuçlarının benzer konularda çalışacak başka araştırmacılar için de bir referans olması hedeflenmiştir.



## 2. GENEL BİLGİLER

Yaptığımız çalışma insanın sese reaksiyon zamanını inceleyen bir araştırma olduğundan reaksiyon zamanı ve onu etkileyen değişkenlerin, fiziksel bir uyarın olarak sesin ve bunu algılayan duyu sistemimizin özelliklerinden kısaca söz etmek yararlı olur.

### 2.1.Reaksiyon Zamanı

Reaksiyon zamanı, 18. yüzyılın ortalarından beri deneysel psikolojinin popüler bir araştırma konusu olmuştur [44]. Beyin araştırmaları beynin organizasyonu hakkında bir çok soru ortaya çıkarmış ve araştırmacılar bunlardan bazılarında reaksiyon zamanı üzerinde yaptıkları çalışmalarla yanıt aramışlardır.

Reaksiyon zamanı (RZ) değişik araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Bir tanıma göre reaksiyon zamanı bir uyarının verilmesi ile bireyin bu uyarana istemli olarak verdiği tepkinin başlangıcı arasında geçen süredir [1]. Drever'e göre, algılama ya da herhangi bir şeyi tanıma veya ayırt etme süresidir [11]. Terzioğlu ise bir duyu organı ya da duyu alanına uyarının verilmesi ile faaliyet organında bir faaliyetin belirmesine veya başlamış olan faaliyetin sona ermesine kadar geçen süreye toplam *refleks zamanı* demektedir [39]

Reaksiyon zamanı karar vermenin hızını ve etkisini gösteren önemli bir performans ölçüsüdür. Reaksiyon zamanı, uyarının sunulmasıyla başlar, buna bir tepki gösterilmesiyle sonlanır. Ayrıca reaksiyon zamanı karar vermenin ve eyleme başlamanın hızını temsil ettiği bir çok etkinliğin parçası olarak da düşünülür [13].

Morgan [28] ise RZ'nı şu şekilde açıklamıştır; her reaksiyon zamanı bir zaman dilimine bağlı olarak bir uyarın gerektirir, bu uyarın ve tepki arasındaki zamana reaksiyon zamanı denir. Reaksiyon zamanı genel olarak duyu ve motor sistemlerinde rol alan sinapsların sayısına bağlıdır. Sinaps sayısı artıka reaksiyon zamanı da artmaktadır. Basit refleks için yaklaşık 1/10 saniye süre geçerken daha karmaşık reaksiyonlar için bu süre 2/10 saniyeyi bulmaktadır [28].

Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı gibi bir uyarına tepki vermede beyin *korteksinin* devreye girmesi zorunludur. Çünkü reaksiyon zamanı öğrenme ve alışma sonucu meydana gelmektedir. *Korteksleri* çıkarılan hayvanların bu faaliyetleri yerine getiremedikleri kanıtlanmıştır [39]. Bir uyarına yanıt verme esnasında sinir sinyalleri

birçok sinapstan geçtiği için reaksiyon zamanının en karmaşık refleks zamanından uzun olması gerekir. Reaksiyon zamanı ölçümleri sinir sinyallerinin büyüklüğünü, dikkat ve uyanıklık gibi süreçleri araştırmak amacı ile de kullanılmaktadır.

Reaksiyon zamanı ölçmek için kişiye görsel, işitsel veya taktik uyarılar uygulanır. Fizyolojik açıdan reaksiyon zamanının beş bileşeni vardır [5]. Bunlar:

1. Uyarının reseptör düzeyinde ortaya çıkardığı değişiklik
2. Bunun merkezi sinir sistemine yayılması (aferent sinyal)
3. Uyarının yüksek merkezlerde değerlendirilerek buna bir yanıt oluşturulması
4. Yanıt sinyalinin (eferent sinyal) merkezi sinir sisteminden kaslara iletilmesi
5. Yanıt sinyali ile uyarılan icra organının aktive edilmesi

### **2.1.1. Reaksiyon zamanı çeşitleri**

Araştırmacılar 3 tip reaksiyon zamanı tanımlamaktadırlar [14,44].

#### **2.1.1.1. Basit reaksiyon zamanı**

Bu tür reaksiyon zamanı deneyinde sadece tek bir uyarı ve buna verilen tek bir yanıt vardır. Örneğin, bilinen bir konumdaki işareti fark etmek, tek bir ses uyarısına reaksiyon göstermek gibi durumlar basit reaksiyon zamanını ölçer.

#### **2.1.1.2. Tanıma reaksiyon zamanı**

Bu reaksiyon zamanı türünde yanıt istenen ve istenmeyen birden fazla uyarı birlikte uygulanır. Fakat yinede tek bir doğru cevap vardır. Sembol tanıma ve ton ayırtma bu reaksiyon zamanı türüne örnektir.

#### **2.1.1.3. Seçimli reaksiyon zamanı**

Deneğin uyarının benzeri olan bir yanıtı seçmesi istenen reaksiyon zamanı türüdür. Örneğin, deneğin monitörde beliren bir harfi görüp benzerini klavye üzerinde seçmesi ve o tuşa basması istenir.

II. ve III. tip deneylerin ikisine birden kompleks reaksiyon zamanı da denmektedir [14,44].

### 2.1.2. Reaksiyon zamanını etkileyen faktörler

Reaksiyon zamanı deneylerinde ölçümleri etkileyen pek çok etken söz konusudur. Bu etkenlerin reaksiyon zamanını nasıl değiştirdiği, araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu amaçla değişik türden bir çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan bazılarının sonuçları aşağıda kısaca şöyle özetlenmiştir.

Düşük şiddetli uyanıların, örneğin çok zayıf bir ışığın ya da düşük şiddetli bir ses uyanınının uzun bir reaksiyon zamanına neden olduğu, fakat belli bir şiddetten sonra reaksiyon zamanının sabit kalma eğilimi gösterdiği görülmüştür [18,42]. Ayrıca, yeterince yüksek şiddetli uyanılar için ışık ve sesle elde edilen reaksiyon zamanları arasındaki farkın ortadan kalktığı sonucuna varılmıştır [26].

Reaksiyon zamanını etkileyen en önemli faktörlerden biri de kas tonusunu da içeren uyanıklık (arousal) durumudur. Orta derecede uyanıklık düzeyinde reaksiyon zamanı en kısadır, denek çok gergin veya çok gevşemiş (relaxed) durumda ise reaksiyon zamanı uzamaktadır [6,17,43].

Reaksiyon zamanı yaş ile de değişmektedir. Çocukluk döneminden 20'li yaşların sonuna doğru reaksiyon zamanı kısalır, 50 ve 60'lı yaşlara doğru yavaş yavaş artar, 70 yaş ve üstünde ise reaksiyon zamanındaki artış çok daha hızlıdır [23,43].

Reaksiyon zamanı çalışmalarında araştırılan önemli bir konu da cinsiyet ile reaksiyon zamanı arasındaki ilişkidir. Hemen her yaş grubunda erkekler kadınlardan daha hızlı reaksiyon zamanına sahiptirler ve kadınların bu dezavantajı pratik yapmak ile de azaltılamamaktadır [2,29,43].

Ayrıca, yorgunluk, dikkati dağıtan faktörlerin varlığı, nefes alıp verme sıklığı ve uyarıcı ilaçlar da reaksiyon zamanını etkiler [6,7,25,27,35,43].

### 2.2.Sesin Fiziksel Özellikleri

Ses sübjektif anlamda uyanık insanın akustik siniri uyarıldığında algıladığı duyumdur. Objektif anlamda ise işitme reseptörlerini uyaraabilen hava basıncı dalgaları olarak tanımlanabilir. Ses bir ortamda yayılırken ortamdaki madde dalga hareketi yönünde yoğunluk ve hacim değişiklikleri geçirerek titreşir. Böylelikle, sıkışma ve genişleme şeklinde yüksek ve alçak basınç bölgeleri oluşur ki, bu da sesin dalga

yönünde ilerlemesini sağlar. Şu halde ses, maddesel bir ortamda boyuna mekanik dalgalar halinde yayılan titreşim enerjisidir. Boyuna mekanik dalgalar frekanslarına göre üç gruba ayrılır [34].

**a) İşitilebilir dalgalar:** Frekansları insan kulağının duyarlılık sınırları içinde olan dalgalardır. Bu dalgalar 20 Hz ile 20 kHz frekans aralığında olup müzik aletleri, boğazdaki ses telleri ve hoparlörler ile üretilebilir [8,34]. İnsan kulağının en duyarlı olduğu frekanslar 1000-4000 Hz aralığında yer alır [3,28,31].

**b) Ses altı (İnfrasonik) dalgalar:** En düşük işitilebilir frekanstan daha düşük frekanslardaki dalgalardır. Deprem dalgaları bu tür dalgalara örnek olarak verilebilir [8,15,31,34].

**c) Ses ötesi (Ultrasonik) dalgalar:** İşitilebilir en yüksek frekanstan daha yüksek yani 20 kHz'den daha yüksek frekanslardaki dalgalardır. Piezoelektrik ve magnetostriktif transdüserler gibi elektrik ve manyetik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren aygıtlarla üretilirler [8,15,31,34].

### 2.2.1. Sesin yayılma hızı

Ses dalgaları boyuna dalgalar olduğundan boşlukta yayılamazlar, mutlaka maddesel bir ortam gerekir. Bu maddesel ortam gaz, sıvı veya katı halde olabilir. Ancak ses bu üç ortamda farklı hızlarda yayılır; en hızlı katı ortamda, daha sonra sıvı ve en yavaş da gaz ortamda hareket eder [8,34].

### 2.2.2. Ses şiddeti

Şiddet, birim zamanda birim alandan geçen enerji miktarına denir ve I harfi ile gösterilir. Buna göre, E=enerji, A=dalğanın geçtiği kesit alanı ve t=zaman olmak üzere şiddet şu bağıntı ile tanımlanır;

$$I = \frac{E}{A \times t} = \frac{\text{Enerji}}{\text{Alan} \times \text{Zaman}} = \frac{\text{Güç}}{\text{Alan}}$$

Şiddet birimi Systeme International (SI) birimleri ile Watt/m<sup>2</sup> dir.

Her hangi bir boru içinde ilerleyen ses dalgaları için şiddetin bir diğer ifadesi de şudur:

$$I = \frac{P^2}{2vd}$$

Burada (P) maksimum ses basıncı, (v) ses hızı, (d) ortamın özkütlesidir. Görüldüğü gibi ses şiddeti, maksimum basıncın karesiyle doğru, ortamın özkütlesi ve ortamdaki ses hızı ile ters orantılıdır [8,15,31,34]. Ses hızı ile özkütlenin çarpımına (vd) ortamın *karakteristik akustik empedansı (Z)* denir.

### 2.2.3. Ses şiddet düzeyi

Normal bir insan kulağı her frekanstaki sesi aynı şiddette algılamaz. 1000 Hz frekanslı sesin normal insanlar tarafından işitilen en düşük şiddeti  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  olup buna 1000 Hz deki işitme eşiği şiddeti denir. Bu şiddet değeri aynı zamanda başka herhangi bir sesin şiddetini ifade etmek için kullanılan referans ses şiddetidir. Pratikte, duyarlılığı frekanstan bağımsız olarak ifade etmek için ses *şiddet düzeyi* denilen bir ölçek geliştirilmiştir. Şiddet düzeyi *Bell (B)* ile ifade edilir. Ses şiddetinin (I) eşik şiddete ( $I_0$ ) oranının on tabanına göre logaritmasına ( $\log I/I_0$ ) **1 Bell** denir. Fakat Bell büyük bir birim olduğundan genellikle bunun onda biri olan *desibel (dB)* ölçeği kullanılır.

$$\text{dB} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Aşağıdaki Tabloda bazı ses kaynaklarının şiddet düzeyleri verilmiştir [10,11,12,14,15,21].

**Tablo 1. Bazı ses kaynaklarının şiddet düzeyleri**

(Pehlivan, 1997'den alınmıştır).

SES KAYNAĞI	B (dB)
Kulak Zarını Patlatan düzey	160
Jet Uçağı (30 m)	140
Yoğun Trafik	80
Normal Konuşma	60
Orta derecede gürültülü oda	40
Fısıltı (1 m)	20
Yaprak Hışirtısı	10
İşitme Eşiği (sivrisinek vızıltısı)	0

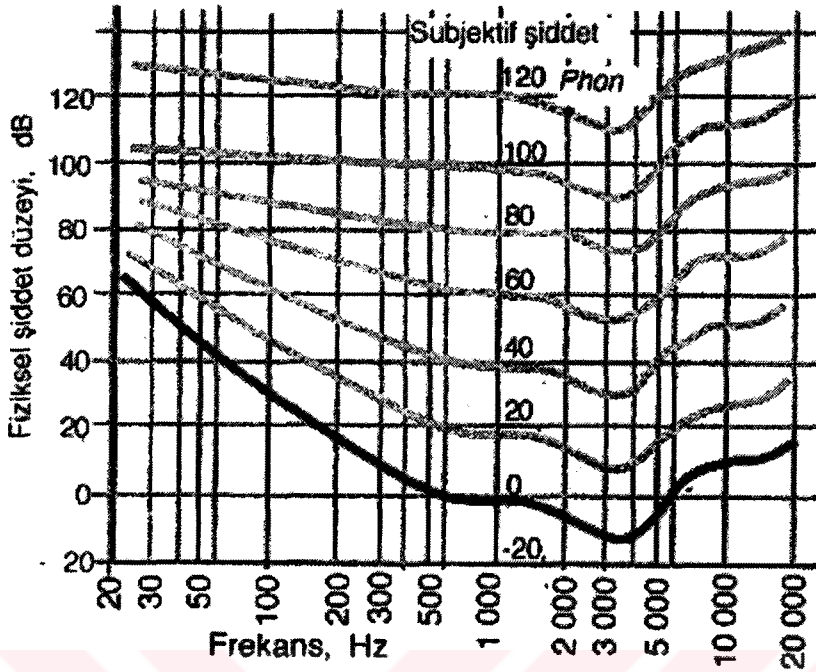
#### 2.2.4. Ses yüksekliği

Yukarda bahsedildiđi gibi ses Őiddet dűzeyi objektif bir Őlçűdűr. Oysa kulak farklı frekanslardaki sesleri Őiddetleri ve basınçları aynı olsa bile farklı Őiddetlerde algılamaktadır. Her kulađa göre deđiŐen bu subjektif ses algılamasına *sesin yüksekliđi* denir ve **fon** denen bir birimle Őlçűlűr. Fon 1 kHz'lik ses tonunun Őiddet ve basınç dűzeyine (dB) eŐit ses yüksekliđi olarak tanımlamıŐtır. Yani, 1 kHz'lik ses tonu için;

$$A \text{ (fon)} = I \text{ (dB)}$$

kabul edilir [8].

Őekil 1'de, çok sayıda normal iŐiten insandan elde edilmiŐ fon eđrilerini içeren ve iŐitme kaybını saptamada referans olarak kullanılan grafik gűsterilmektedir. Grafikteki eđrilerden her biri űzerindeki noktaların temsil ettiđi sesler, dB cinsinden farklı Őiddet dűzeylerine sahip olmalarına karŐın aynı Őiddette algılanmaktadır. Grafik incelendiđinde, çok yűksek ve çok dűŐűk frekanslarda eŐik Őiddetin yűkselmekte, iŐitme duyarlılıđının ise azalmakta olduđu gűrűlűr. Aynı Őekilde, eŐik Őiddetinin 1-4 kHz arasında bir minimumdan, duyarlılıđın ise bir maksimumdan geçtiđi gűrűlmektedir ki bu durum, dıŐ kulak borusunun bu frekans bűlgesinde rezonansa girmesi ile açıklanabilmektedir [8,31].



Şekil 1. İşitme duyarlılık eğrisi ve fon eğrileri (Pehlivan, 1997'den alınmıştır.)

### 2.3. İşitme Organı ve İşitsel Yollar

Ses uyarılarına reaksiyon zamanı işitsel sistemin periferik ve merkezi organizasyonu ile doğrudan ilişkili olduğundan önce işitme organının yapısını ve işitsel yolların merkezi projeksiyonlarını ele alacağız.

#### 2.3.1. Kulak

Kulak *Temporal* kemiğin *pyramis* parçası içinde bulunur. İşitme ve denge olmak üzere iki ayrı duyu organını içerir (Şekil 2). Anatomik olarak kulak üç bölüme ayrılabilir [15, 19].

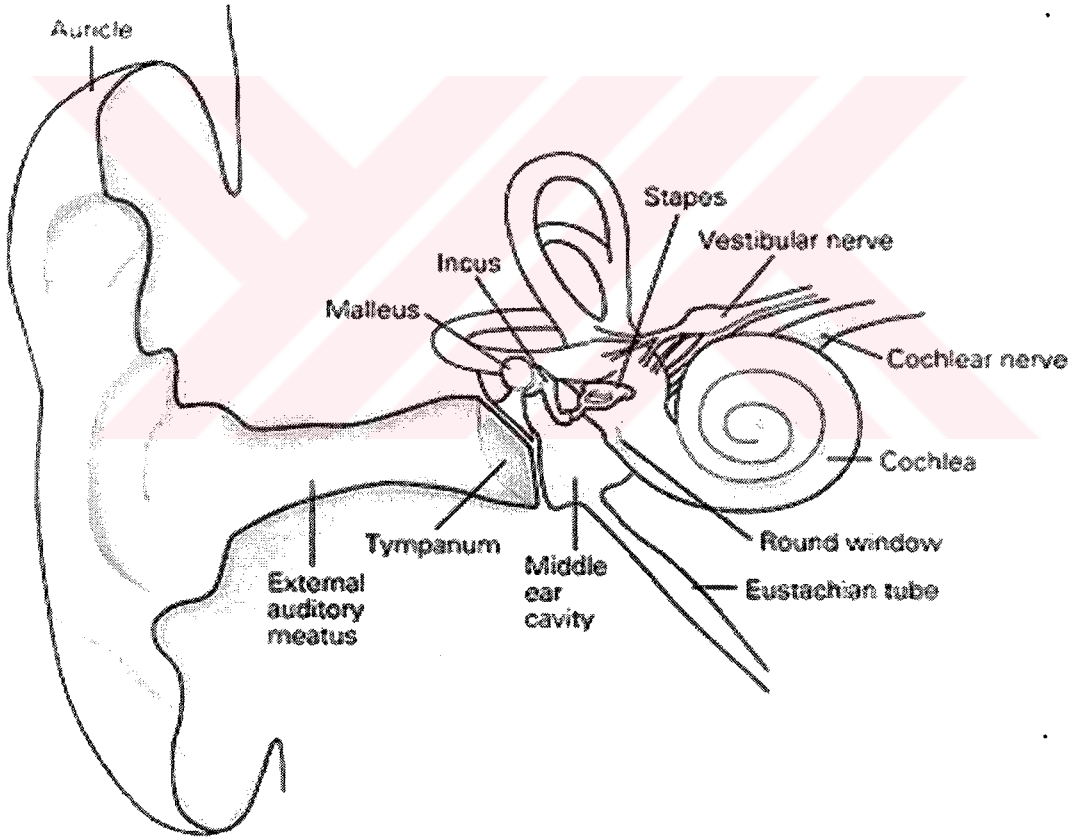
##### 2.3.1.1. Dış kulak

*Auricula* adı verilen kulak kepçesi, erişkinde uzunluğu 2.5 cm olan ve *meatus acusticus externa* denilen dış kulak yolu ile *timpan zarından* oluşur. Kulak kepçesi, çevreden gelen ses dalgalarını toplar, dış kulak yoluyla timpan zarına yönlendirir ve böylece kulak zarının da titreşmesi sağlanır [3,19,22].



### 2.3.1.2. Orta kulak

Orta kulak, *temporal* kemik içinde hava içeren boşluklar, işitme kemikçikleri ve bunlara bağlı kaslardan oluşur. Orta kulak boşluğuna *cavitas tympanica* denir [3]. Dış kulaktan *timpan zarı* ile ayrılır. Orta kulak, östaki borusu ile *nasopharynx*e bağlanır. Bu geçit sayesinde *nasopharynx* ile *timpanik boşluğun* basınçları eşitlenerek kulak zarı çökmeleri ve yırtılmaları önlenir. Orta kulak kemikçikleri 3 adet olup *malleus* (çekiç), *incus* (örs) ve *stapes* (özengi) adları ile anılırlar. *Malleus* tabanı ile *timpan zarına* oturmuştur diğer ucu ise ligamentöz bir yapı ile *incus*'a bağlıdır. Aynı şekilde, *incus* da bir ligament yardımı ile *stapeze* bağlanmıştır. Son kemikçik olan *stapes* ise oval pencereye (*fenestra vestibuli*) tutunarak *kohleanın (cochlea)* kemik kısmını aşır zarsı labirentte sonlanır (Şekil 2) [3,19,22].

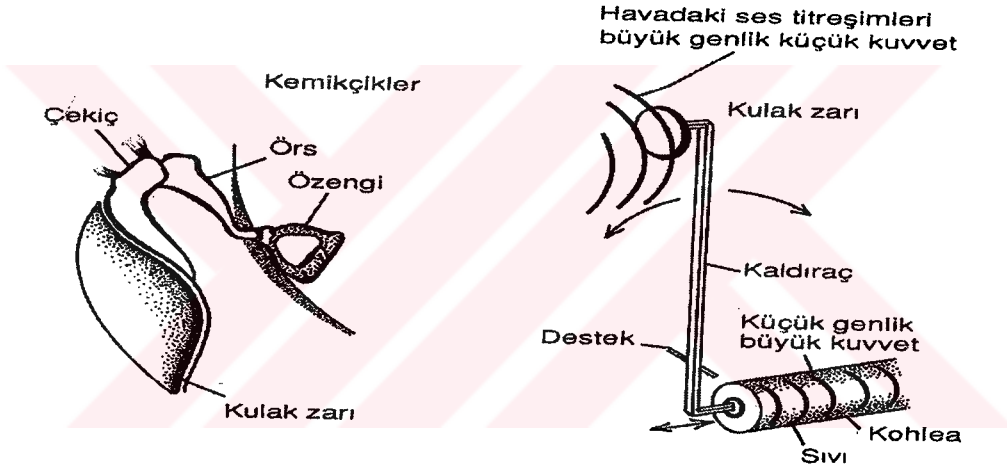


Şekil 2. Kulak ve iç yapısının anatomisi (Noback, 1967'den alınmıştır).

#### 2.3.1.2.1. Orta kulak kemikçiklerinin işlevleri

Orta kulağın temel işlevi hava ortamı ile iç kulaktaki sıvı ortamı arasında empedans uyumunu sağlamaktır. Bunun için ses basıncı orta kulakta bir miktar

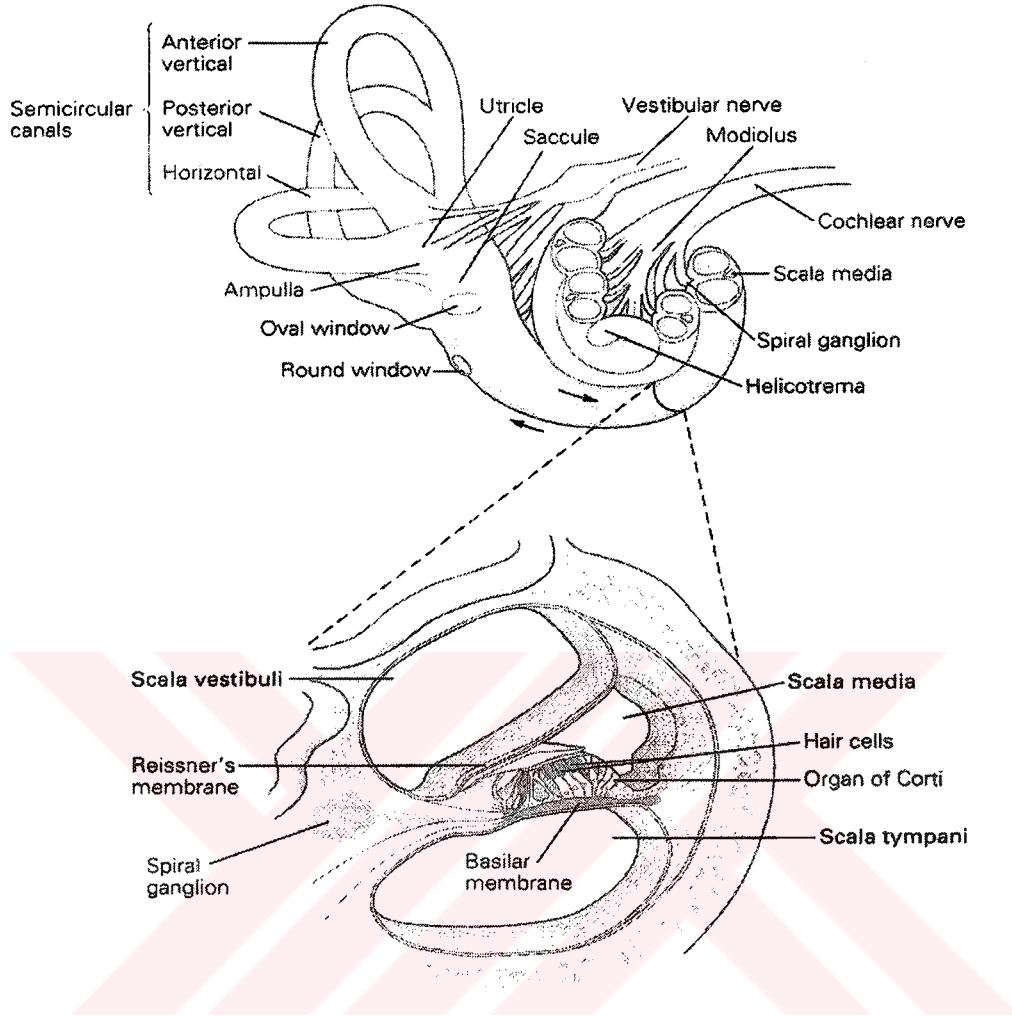
yükseltirken titreşim genliği düşürülür. Bu işlev orta kulağın kemikçiklerinin oluşturduğu kaldıraç sistemi ile gerçekleştirilir. Anatomik verilerden gidilerek yapılan hesaplar insanda kemikçiklerdeki kaldıraç kazancının 1.3 dolayında olduğunu göstermiştir. Ayrıca kulak zarının çekiç ile temas alanı  $55 \text{ mm}^2$ , stapez'in oval pencere ile temas alanı ise  $3.2 \text{ mm}^2$  olduğundan bu iki yüzey alanının birbirine oranı yaklaşık 17'dir. İşte bu iki faktör kohlea sıvısına uygulanan basıncın kulak zarına uygulanan basınçtan yaklaşık  $1.3 \times 17 = 22$  kat daha yüksek olmasını sağlar. Bir başka deyişle orta kulakta ses basıncı 22 kat artırılır ki, bu da 15-25 dB'lik bir kazanç demektir. Kulak zarı ve kemikçik sistemi, havadaki ses dalgaları ile kohlea sıvısı içindeki ses titreşimleri arasında empedans uyumunu sağlar [8,19,22,24,31]. Şekil 3 orta kulak kemikçiklerini ve oluşturdukları kaldıraç sistemini göstermektedir.



**Şekil 3. Orta kulak kemikçikleri ve oluşturdukları kaldıraç sistemi (Greenberg, 1975'den değiştirilerek).**

### 2.3.1.3. İç kulak

İç kulak hem işitme, hem de denge ile ilgili bir yapıdır. İç içe geçmiş birçok dolambaçlı yol ve kanaldan oluşmuştur (Şekil 4). Dış kısımda *labyrinthus osseus* adı verilen ve üç kısımdan oluşan kemik labirent bulunur. Bunlar *vestibulum*, yarı daire kanalları ve kohleadır. Kemik labirent içinde, iç kısmı çepeçevre saran, membranöz labirent olarak adlandırılan ve içinde birbirine karışmayan *endolenfa* ve *perilenfa* sıvılarının bulunduğu kanallardan oluşan bir yapı bulunur [19,22, 24,31].



Şekil 4. İç kulak ve yapısı ( Noback, 1967'den alınmıştır ).

İç kulakta bulunan bazı yapıların anatomik ve fizyolojik özellikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

#### 2.3.1.3.1. Kohlea

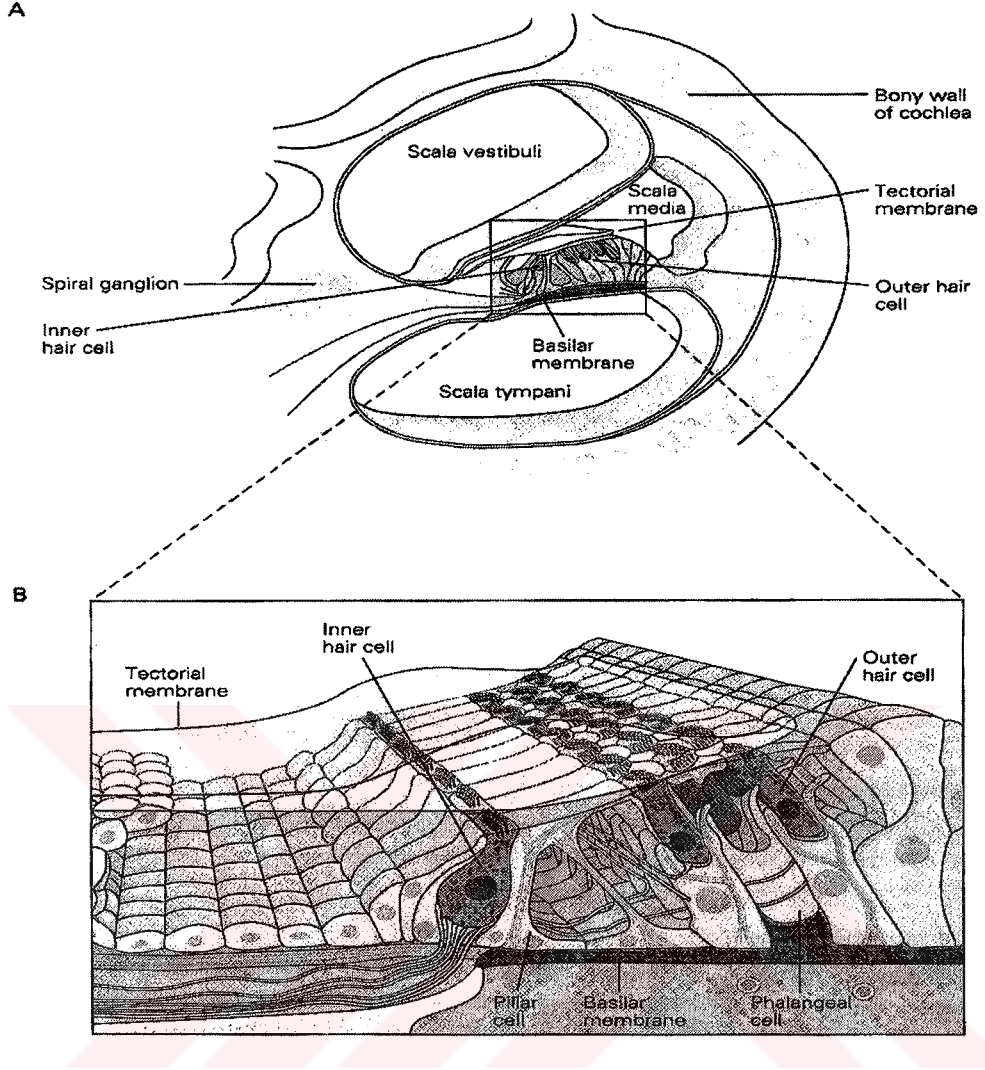
Şekil olarak salyangoza benzer. Vestibulumun ön kısmına açılır ve *modiolusun* etrafında 2.75 kez sarılmış, helezon şeklinde ve 35 mm uzunluğunda bir borudur [19,31]. Borunun çapı her dönüşte küçüldüğü için yapının tamamı koni biçimindedir. Şekil 5'deki enine kesiti incelendiğinde sistemin birbirine komşu üç tüpten oluştuğu görülür. Bunlar, *scala vestibuli*, *scala media* ve *scala tympani* olarak adlandırılır.

Bunlardan üstteki scala vestibuli ile alttaki scala timpani perilenfa sıvısı ile dolu olup kohleanın apeksinde yer alan ve *helicotrema* olarak adlandırılan bir delik ile bir birine bağlanırlar.

Kohleanın orta odası olan scala media üstten *reisner* membranı ile scala vestibuliden ve alttan baziler membran ile scala timpaniden ayrılır; içi endolenfa ile doludur. Endolenfa ve perilenfa sıvıları birbirine karışmazlar. Ayrıca scala media'da *korti organı* adı verilen ve işitmenin gerçekleştiği özelleşmiş bir yapı bulunmaktadır [3,19,22,24,31].

### 2.3.1.3.2. Korti organı

Korti organı, Şekil 5'de gösterildiği gibi baziler membran üzerine yerleşmiş işitme reseptörlerini (tüy hücreleri) ve destek hücrelerini içeren bir yapıdır. Korti organında yaklaşık 16000 tüy hücresi bulunur. Bu hücreler *korti çubuklarının* medialinde ve lateralinde olmak üzere iki tiptirler. Tek sıra halinde yerleşmiş yaklaşık 12 µm çaplı 3500 kadar *internal* (iç) tüy hücresi ile 3-4 sıra halinde yerleşmiş sadece 8 µm çapında yaklaşık 12000 kadar *eksternal* (dış) tüy hücresi vardır. Tüy hücrelerinin uzantıları (*sterosilyalar*) korti çubukları ile desteklenen zara benzer katı bir yapı olan *retiküler laminayı* delerek visköz fakat esnek bir zar olan *tektoriyel membrana* girerler. Tüy hücreleri 30000 kadar afferent nöronla inerve edilmiştir. Bu nöronlar *spiral ganglion* içinde yer alırlar; bunların % 90-95'i iç tüy hücrelerini inerve ederken sadece % 5-10'u dış tüy hücrelerini inerve eder. Dış tüy hücrelerinin sayısının daha fazla olmasına karşın bunları inerve eden nöron sayısının az olmasının nedeni, her bir nöronun birden fazla tüy hücresini inerve ediyor olmasıdır [19,22,24,31].



**Şekil 5. Kohleadaki korti organının yapısı (Kandel, 2000'den alınmıştır).**

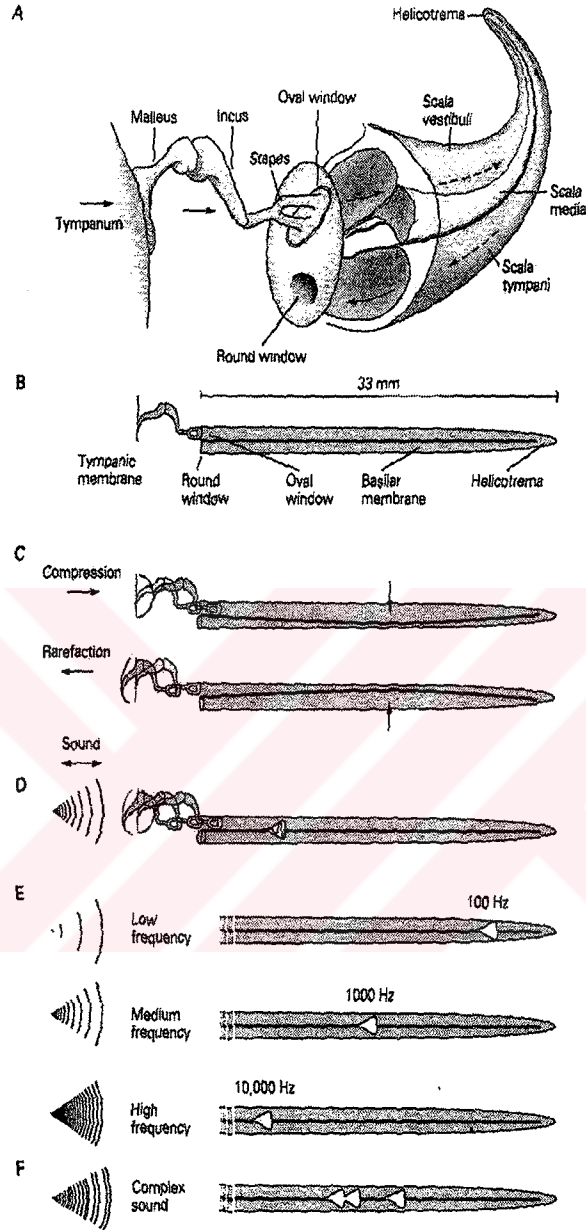
### 2.3.1.3.3. Kohleanın fonksiyonel anatomisi

Baziler membran enine doğrultuda 20000 - 30000 kadar lif içerir. Bu membranın önemli bir özelliği uniform olmamasıdır. Kohlea boyunca değişen mekanik özellikler gösterir. Liflerinin uzunluğu kohleanın tabanından tepesine (helikotrema) doğru gidildikçe artarken çapları ve sertlikleri azalır. Bu nedenle oval pencerenin yakınındaki sert ve kısa lifler yüksek frekanslarda en iyi titreşirlerken helikotermaya yakın uzun ve esnek lifler düşük frekanslarda en iyi titreşirler [19,22,24].

Stapez oval pencereyi içe doğru ittiğinde -kohlea çepeçevre kemik duvarlarla sarılı olduğu için- yuvarlak pencere dışa doğru çıkıntı yapar. Dolayısıyla, oval pencereye ulaşan bir ses dalgasının yaptığı ilk etki yuvarlak pencereyi dışa doğru hareket ettirmektir [24]. Öte yandan, baziler lifler yuvarlak pencereye doğru bükülürken oluşan esnek gerilme baziler membran üzerinde helikotrema'ya doğru ilerleyen bir dalga başlatır (Şekil 6A).

Stapezin timpan zarını içeriye doğru hareketlendirmesi scala vestibulideki basıncın artmasına ve baziler membranın aşağıya doğru hareket etmesine yol açar (Şekil 6B ve C). Baziler membran uzunluğu boyunca farklı mekanik özellikler gösterdiği için stapezin taban kısmının hareketleri scala vestibüli içindeki perilenfte ilerleyen bir dalga serisi başlatır. Bu dalga önce bir noktada doruğuna ulaşır daha sonra hızla düşer. Doruk noktası ile stapez arasındaki uzaklık dalgayı başlatan titreşimlerin frekansı ile değişir (Şekil 6D). Örneğin, düşük frekanslı sesler (100 Hz) baziler membranın apeksinde, orta frekanslı sesler (1000 Hz) ortalarında, yüksek frekanslı sesler ise (10000 Hz) bazal bölümünde dalga oluşumuna yol açar [19,24].

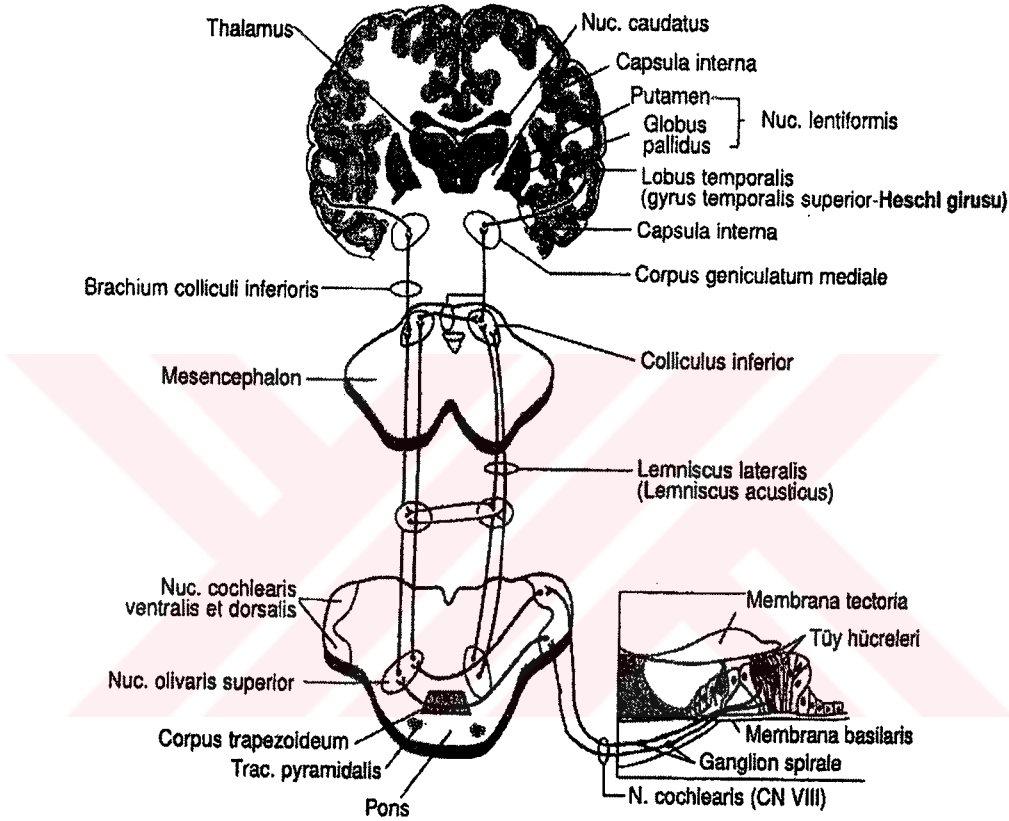
İlerleyen dalganın bir diğer özelliği baziler membranın ilk bölümünde hızlı, kohlea içinde ilerledikçe daha yavaş hareket etmesidir. Bu olayın nedeni stapeze yakın liflerin esneme katsayısının yüksek olması ve ileri doğru gidildikçe küçülmesidir. Baziler membrandaki dalgayı oluşturan ve dalganın ilerlemesini sağlayan enerji membranın altında ve üstündeki sıvının hareketinden kaynaklanır. Sıvıyı hareketlendiren etken ise stapezin oval pencere aracılığı ile bir piston gibi çalışmasıdır [19,21,24]. Baziler membran, kompleks seslerin spektral analizini gerçekleştirir. Şöyle ki, membranın apeks bölgesi en iyi 20 Hz frekansındaki seslere yanıt verirken, bazal bölümü 20 kHz frekansındaki seslere duyarlıdır. Hermann Helmholtz, baziler membranın çalışma prensibini piyanonun tam tersi olarak yorumlamıştır. Piyanoda çok sayıda tel titreşerek saf tonlardan kompleks bir ses oluştururken, kohlea kompleks sesi saf tonlara ayırır (Şekil 6F) [24].



**Şekil 6. Ses frekansları ile baziler membranın titreşim bölgeleri arasındaki ilişki (Kandel, 2000'den alınmıştır).**

### 2.3.2. İşitme yolları

Şekil 7’da ana işitme yolları gösterilmiştir. İşitme organı ile kortikal işitme merkezi arasında kaç nöronun yer aldığı kesin olarak bilinmemekle birlikte bu yol 5 temel bölüme ayrılmakta ve en az 5 nöronun varlığından söz edilmektedir [38,41].



Şekil 7. Ana işitme yolları (Yıldırım, 2000’ den alınmıştır).

Bu bölümler şunlardır;

- 1- *Ganglion cochleare (spirale)* ve *N. cochlearis*
- 2- *Nuc. cochlearis ventralis (anterior)*, *nuclei cochlearis dorsalis (posterior)* ve *lemniscus lateralis*.
- 3- *Nuc. olivaris superior* ve *Nuclei lemniscus lateralis*.
- 4- *Colliculus inferior* ve *brachium colliculi inferior*.
- 5- *Corpus geniculatum mediale* ve temporal lob korteksindeki *Brodman*’nın 41. ve 42. alanları.



## 2.4.Periferik Sinir Tipleri ve Sinir İletim Hızı

Bir uyarıyı algılayıp ona en kısa zamanda bir yanıt verme süreci en başta periferik sinirlerin işlevselliği ve sinyal ileti hızı ile ilgilidir. Periferik sinirlerde miyelinli ve miyelinsiz olmak üzere 2 tip lif vardır. Miyelinli lifler çıplak aksonlardır ve çapları 0.2-2 mikron arasında değişir. Bunlara C tipi lifler de denir; ileti hızları 0,5-2 m/s arasındadır. Miyelinli lifler ise, çapları insanda 1 ile 20 mikron arasında değişen daha kalın liflerdir. Bunlara A tipi lifler adı verilir ve ileti hızları 6-120 m/s arasında değişir. A tipi lifler de kendi aralarında  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve  $\delta$  lifleri şeklinde alt gruplara ayrılırlar [16,22,36].

### 2.4.1. Sinirlerde iletimi etkileyen faktörler

İnsanda motor ve duyuşal sinir ileti hızlarına çeşitli faktörler etki yapar [16,36]. Bunlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

**2.4.1.1. Miyelinli lif çapı ve lif tipi:** Bir sinir lifinin ileti hızı aksonun çapı ile ilişkilidir; kalın lifler ince liflere kıyasla daha hızlı iletirler. Miyelin kılıfının kalınlığı da ileti hızı üzerine etkili olan diğer bir faktördür. Bir sinir lifindeki ileti hızı; en kalın liflerde 120 m/s, en ince liflerde 0.5 m/s'nin altında olmak üzere değişiklik göstermektedir [16,36].

**2.4.1.2. Yaş:** Motor ve duyuşal sinirlerde ileti hızı yaşa bağlı olarak değişir. Motor ileti hızı doğumdan itibaren 3 - 5 yaşına kadar artarak yetişkindeki değerine ulaşır. 50 ve 60 yaşlarında ise yavaşlar [16].

**2.4.1.3. Proksimal ve distal sinir segmentlerinde ileti hızı:** Sinir ileti hızının *proksimal* bölümlerde yüksek, *distalde* daha düşüktür [16].

**2.4.1.4. Kol ve bacakta iletim farkları:** Bacak sinirlerinde motor ve duyuşal ileti hızları kol sinirlerine göre daha yavaştır [16].

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1. Denekler

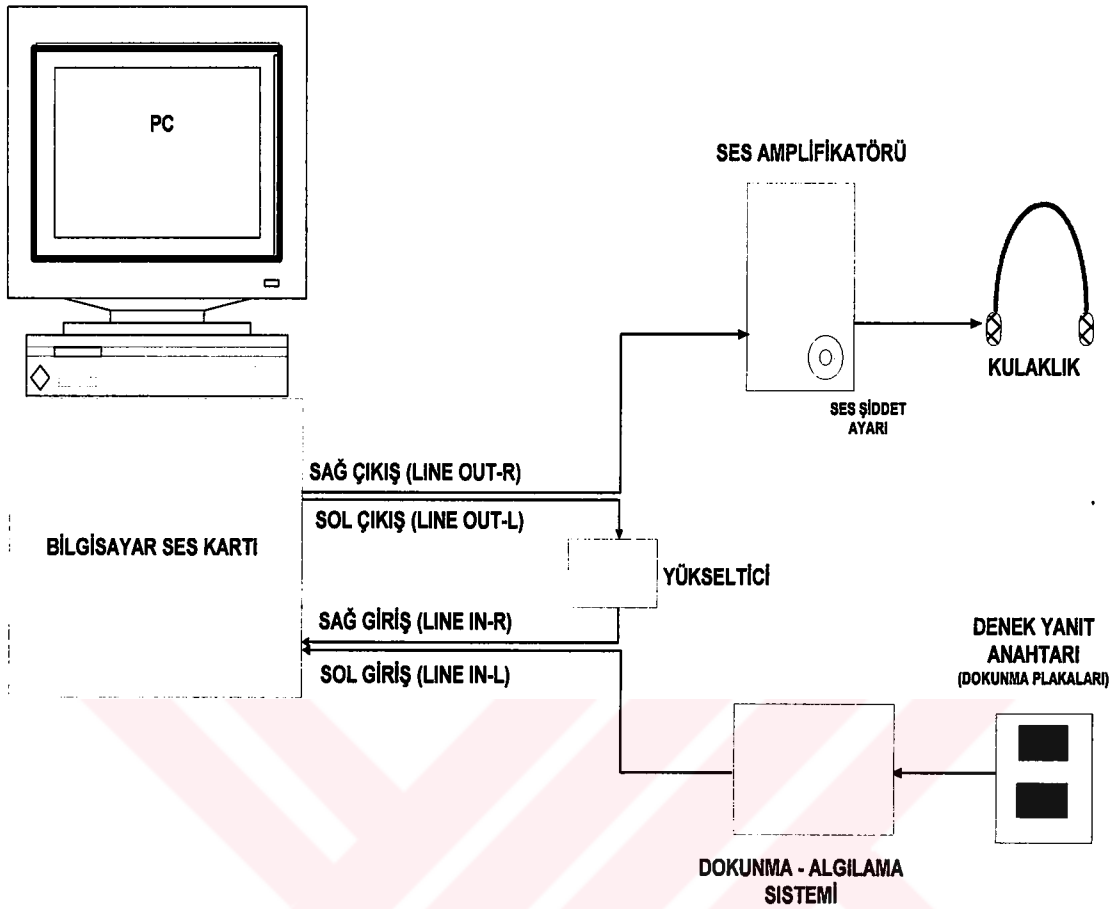
Bu çalışma Ege Üniversitesi'nin çeşitli Fakülte ve Yüksek Okullarında öğrenim gören öğrenciler arasından yaşları 17-24 arasında değişen 20 erkek ve 20 bayan (her iki grupta yaş ortalaması: 20.65) gönüllü öğrenci üzerinde yapılmıştır.

Deneyden önce her deneğin alışkanlıkları ve sağlık durumu ile ilgili bilgiler örneği Ek 1'de verilen "İşitsel RZ Kayıt Formu"na kaydedilmiştir. Deney öncesi yapılan kulak muayenelerinde deneklerin hiçbirinde işitme sorunu saptanmamıştır. Sigara alışkanlığı olan bireyler deneylere dahil edilmemiştir. Deneklerin deneyden önce 7-8 saat uyumaları ve herhangi bir ilaç kullanmadan belirlenen gün ve saatte deneyin yapılacağı yere gelmeleri istenmiştir.

#### 3.2. Kayıt ve Analiz Sistemi

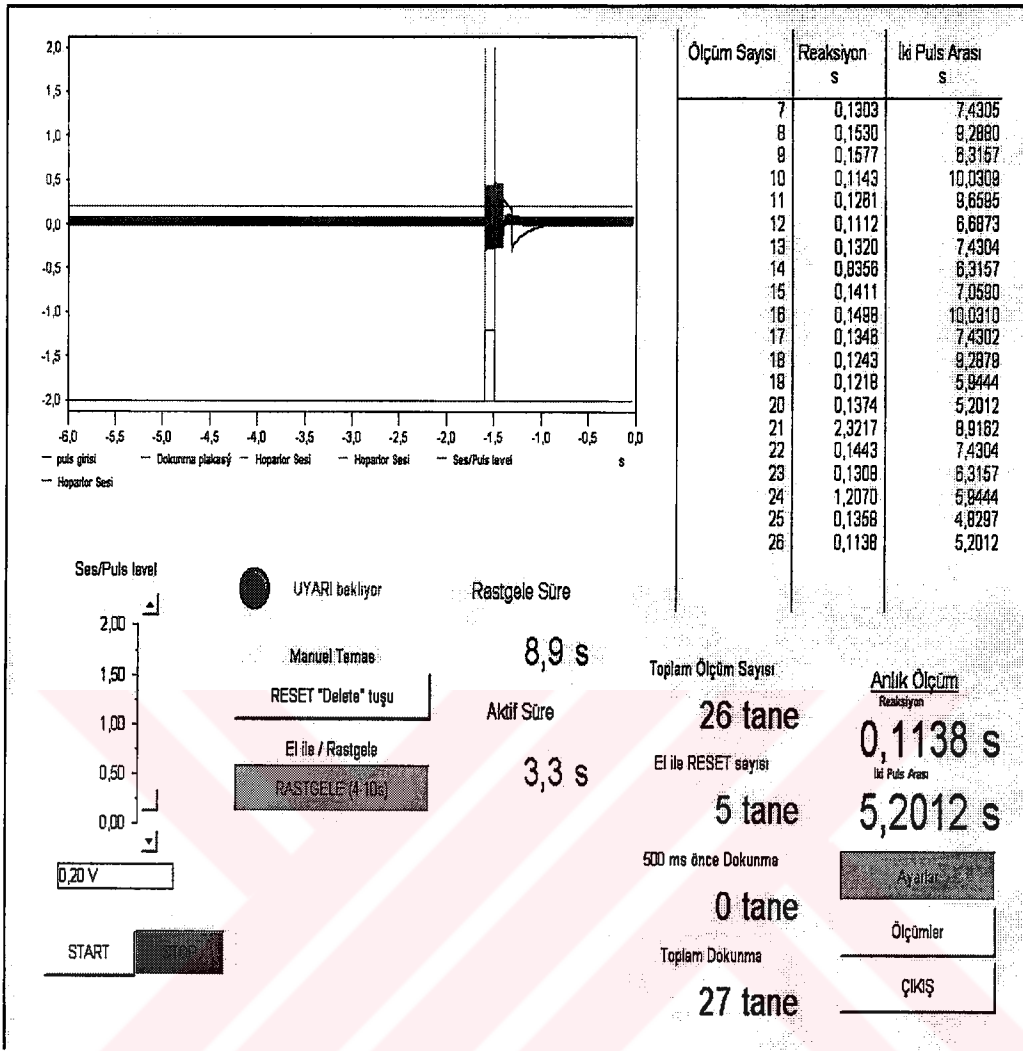
Deney için gerekli olan ses tonu üretici, denek yanıt anahtarı, reaksiyon zamanını doğru ve hassas bir şekilde ölçüp saklayabilecek bilgisayar kayıt programı laboratuvarlarımızda imal edilmiştir. Özetle sistem, bilgisayar içindeki yazılım ve donanım ile bilgisayar dışındaki elektronik ve mekanik bölümler olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Tüm sistem IBM uyumlu bir bilgisayar, DasyLab çok amaçlı laboratuvar paket programı, 32 bitlik bir ses kartı, dokunma algılama sistemi, denek yanıt anahtarı (dokunma plakası), bir desibelmetre (ses şiddet düzeyi ölçer), bir amplifikatör (yükseltici), ses amplifikatörü ve stereo kulaklıktan oluşmuştur. Şekil 8 ölçümlerde kullanılan düzeneğin basitleştirilmiş bir şemasını göstermektedir.

Hazırlanan sistemde kullanılan bilgisayarın işlemci hızı önem taşımaktaydı. Çünkü ilk denemelerde sistem, düşük hızlı bir işlemcide, örneğin Pentium 200MMX işlemcisinde yeterli hızda ve duyarlılıkta çalışmamıştı. Pentium3-800E işlemcisi kullanıldığında sistemin hızlı ve hassas bir şekilde çalıştığı görüldü ve ölçümler bu sistem üzerinde yapıldı.



**Şekil 8. Tasarlanan ölçüm düzeneğinin şematik diyagramı.**

Deneyde kullanılan ses uyarıları DASYLab 5.02.00 (Dasytec USA, 11 Eaton Road, PO box 748, Amherst, NH 03031-0748 USA) çok amaçlı programlanabilir laboratuvar programının amaca uygun şekilde programlanmasıyla üretilmiş ve deneklerin verdiği cevap sinyalleri yine bu program tarafından kaydedilmiştir. Kayıtlar bilgisayarın sabit diskinde saklanmış analizler daha sonra yapılmıştır. DASYLab programı çeşitli fonksiyonlar içeren modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller bilgisayar sabit diskinden kayıtları okuyup istenilen tüm hesaplama ve ölçümleri listeler halinde verebilmektedir. Çeşitli ayar düğmeleri, göstergeler ve uyarı ışıkları ekran üzerine çizdirilerek sanal bir cihaz panosu oluşturulmuştur. Reaksiyon zamanı programında kullanılan böyle bir sanal cihazın ekranlarından biri Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu ekranlardan düzeneğin ayarları yapılabilir, kayıtlar, hesaplamalar gerçek zamanda (real time) görüntülenebilir ve işlemler program üzerindeki butonlarla kontrol edilebilir.



**Şekil 9. Reaksiyon zamanı kayıt programı modüllerinin çıkışları ile oluşturulmuş sanal cihaz ekranı.**

• Bilgisayarın tüm analog ve sayısal giriş-çıkışları 16 bitlik ses kartı ile gerçekleştirilmiştir. Bu ses kartının en önemli özelliği “full duplex” olması yani ses kaydederken aynı zamanda ses verebilmesidir. Oluşturulan sistem, bu özelliği olmayan ses kartları ile çalıştırılmamaktadır.

• Denek yanıt anahtarı (dokunma plakaları), 6 x 5 cm boyutlarında iki nikel plakanın karşı karşıya gelecek şekilde bir tahtanın üzerine monte edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu plakalardan birine denegın el ayası konur, diğer plakaya ise aynı elin işaret parmağı dokunur. İki plaka arası mesafe 2,5 cm dir. Böyle bir yanıt anahtarı

ile denek dominant elini daha rahat kullanabilir ve mekanik olan anahtarlara göre daha hızlı ve gecikmesiz yanıtlar verebilir.

- Deney sırasında sesler rasgele olarak 4 ile 10 s aralıkla deneklere verilmiştir. Deneğin sesi duyduğu anda plakaya dokunması ile verdiği ilk cevap sinyali bilgisayara alınmış ve yeni bir ses duymadan verdiği cevapların bilgisayara sinyal olarak gitmemesi sağlanmıştır. Bu amaçla '*Dokunma Algılama Sistemi*' adı verilen bir düzenek geliştirilmiştir. Düzenek, ilk cevap sinyali gönderildikten sonra 4 s boyunca dokunma ile oluşan istenmeyen sinyalleri kayıt sistemine göndermez. Ancak 4 s sonunda denek yeni bir cevap verirse bu cevap algılanır ve kayıt sistemine iletilir. Bu amaçla uygun *zaman sabiti* (RC) değerleri ile çalıştırılan bir CD4528 entegre devre kullanılmıştır. Devre şeması Ek 2'de gösterilmiştir.

- Üretilen ses sinyalleri tekrar ses kartı girişinden alınmak zorundadır. Böylelikle, reaksiyon zamanını ölçen süre sayım modülü ses kartı girişinin birinden gelen ses sinyali ile tetiklenir, diğerinden gelen cevap sinyaliyle de durdurulur. Ancak bu ses sinyalleri ses kartı tarafından algılanacak kadar yüksek değildir. Bu amaçla bir amplifikatör (yükseltici) imal edilmiş ve çıkan ses sinyali bu yükseltici ile yükseltip, ses kartının giriş kanalına uygulanarak sistemin tetiklenmesi sağlanmıştır. Devre şeması Ek 3'de gösterilmiştir.

- Deneklere uygulanan ses uyarımının işitilebilir olması için bir ses amplifikatörü kullanılmıştır. Amplifikatör çıkışı istenilen ses yüksekliğinde bir stereo kulaklığa gönderilmiştir. Kulaklığın amacı dış ortamdan gelebilecek istenmeyen seslerin deneklere ulaşmasını bir ölçüde engellemektir. Kulaklığın sadece dinlenme aralarında çıkarılmasına izin verilmiştir.

- Ses şiddet düzeyi bir desibelmetre ile kulaklık çıkışından ölçülmüştür. Şiddet düzeyi ölçülürken ses üretici üzerindeki sinyal genliği ayarlanarak kulaklık çıkışındaki ses şiddet düzeyi her frekans için ayrı ayrı ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

RZ ölçümleri Biyofizik Anabilim Dalında bulunan ses geçirimi minimum olan loş bir odada gerçekleştirilmiştir. Oda içinde yalnızca denek ve cevap sinyallerini bilgisayara ileten denek yanıt anahtarı bulunmaktadır. Araştırmacı ve deney düzeneğinin diğer öğeleri bu odanın dışındadır. Araştırmacı deneyin tüm evrelerini

bilgisayar monitörü üzerindeki kontrol ekranı üzerinde izleyebilir ve yine bu ekran üzerindeki kontrol tuşları ile deneyi yönetebilir.

Ses uyarıları deneğe kulaklık takılı olarak oturur pozisyonda iken ve devamlı olarak kullandığı elin işaret parmağı dokunma anahtarına basmaya hazır halde beklerken verilmiştir. Deneğe, her uyarı (bip) duyduğunda işaret parmağı ile hemen dokunarak devreyi kapatması ve ses kesildiğinde işaret parmağını tekrar eski konumuna getirmesi talimatı verilmiştir. Böylece uyarının uygulandığı an ile buna verilen cevap arasında geçen süre reaksiyon zamanı olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, deney başlamadan önce deneğin kan şekeri belirli bir düzeyde tutmak amacıyla bir adet akide şekeri yedirilmiştir. Deneklerin sisteme alışmaları için 1-2 dakikalık alışma süresi tanınmıştır. Deneğe ilk beş cevabının bir ön deneme olduğu bundan sonra asıl ölçümlere başlanacağı bildirilmiştir.

Çalışmada 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, ve 4 kHz frekanslarında olmak üzere 4 ayrı ses tonu kullanılmıştır. Her frekanstaki sesler 60, 70 ve 80 dB olmak üzere 3 ayrı şiddet düzeyinde uygulanmıştır (Tablo 2). Deney boyunca bölümler arasında iki, bölüm içinde ise bir dakikalık dinlenme araları verilmiştir.

**Tablo 2. Kullanılan ses uyarılarının frekans ve şiddete göre sınıflandırılması.**

	1. Bölüm	2. Bölüm	3. Bölüm	4. Bölüm
<i>Frekans</i>	<i>500 Hz</i>	<i>1 kHz</i>	<i>2 kHz</i>	<i>4 kHz</i>
<i>Şiddet (dB)</i>	60	60	60	60
	70	70	70	70
	80	80	80	80

Deneklere ilk olarak 500 Hz'lik ses tonu üç ayrı şiddet düzeyinde uygulanmıştır. Her ses tonunun süresi (bip) 200 ms'dir. Her uyarana reaksiyon zamanı 20 kez ölçülmüştür. Böylece her denekten toplam 240 reaksiyon zamanı ölçülmüştür.

#### 4. BULGULAR

DASYLab programı ile elde edilen reaksiyon zamanı ölçümleri program üzerinde oluşturulmuş 'Add To Clipboard' seçeneği ile otomatik olarak Excel 7.0 sayısal tablolama programına aktarılmıştır. Burada verilerin dökümü yapıldıktan sonra hatalı ölçümler seçilerek çıkartılmış ve deneklerin her bölümdeki RZ'larının ortalamaları alınarak geri kalan tüm istatistiksel işlemler bu ortalamaların SPSS paket istatistik programına aktarılması ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de tüm deneklerin uygulanan seslere karşı verdikleri reaksiyon zamanları ortalamaları gösterilmiştir.

**Tablo 3. Tüm deneklerin uygulanan seslere reaksiyon zamanlarının ortalamaları**

Frekans	Şiddet (dB)	Reaksiyon Zamanı Ortalamaları (ms)	
		Erkekler	Bayanlar
500 Hz	60	177,80 ± 20,00	175,81 ± 17,17
	70	169,53 ± 17,65	170,53 ± 14,26
	80	160,94 ± 17,81	163,94 ± 12,98
1 kHz	60	181,45 ± 17,49	183,45 ± 15,25
	70	171,97 ± 17,43	173,92 ± 16,02
	80	165,79 ± 17,22	165,25 ± 13,76
2 kHz	60	189,79 ± 20,45	190,68 ± 17,40
	70	180,37 ± 20,65	180,05 ± 14,23
	80	173,87 ± 20,31	173,86 ± 14,09
4 kHz	60	190,66 ± 24,1	186,74 ± 21,98
	70	180,77 ± 24,97	177,86 ± 18,62
	80	171,24 ± 19,31	169,18 ± 16,68

Elde edilen veriler incelenirken şiddet, frekans ve cinsiyet gibi değişkenlerin RZ'na olan etkisinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle 'Tekrarlayan Ölçümler İçin Varyans Analizi' yöntemi uygulanıp kayıtlar arasındaki farklılıklar incelenmiş ve daha sonra şiddet ve frekansın kendi içlerindeki ilişkilerini tespit etmek için 'Bonferroni' testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4 ve 5'de verilmiştir.

**Tablo 4. Tekrarlayan ölçümler için varyans analizi sonuçları.**

Varyans Kaynağı	P	
	Frekans	0,000
Frekans * Cinsiyet	0,584	Anlamsız
Şiddet	0,000	Anlamlı
Şiddet * Cinsiyet	0,836	Anlamsız

Tablo 4'den de görüleceği gibi tekrarlayan ölçümler için varyans analizi sonuçlarına göre hem bayanlarda hem de erkeklerde aynı şiddetteki fakat farklı frekanslardaki seslere reaksiyon zamanları anlamlı derecede farklıdır ( $p<0,05$ ). Aynı analize göre hem bayanlarda hem de erkeklerde aynı frekanstaki fakat farklı şiddetlerdeki seslere reaksiyon zamanları da anlamlı derecede farklıdır ( $p<0,05$ ).

**Tablo 5. Bonferroni testi sonuçları.**

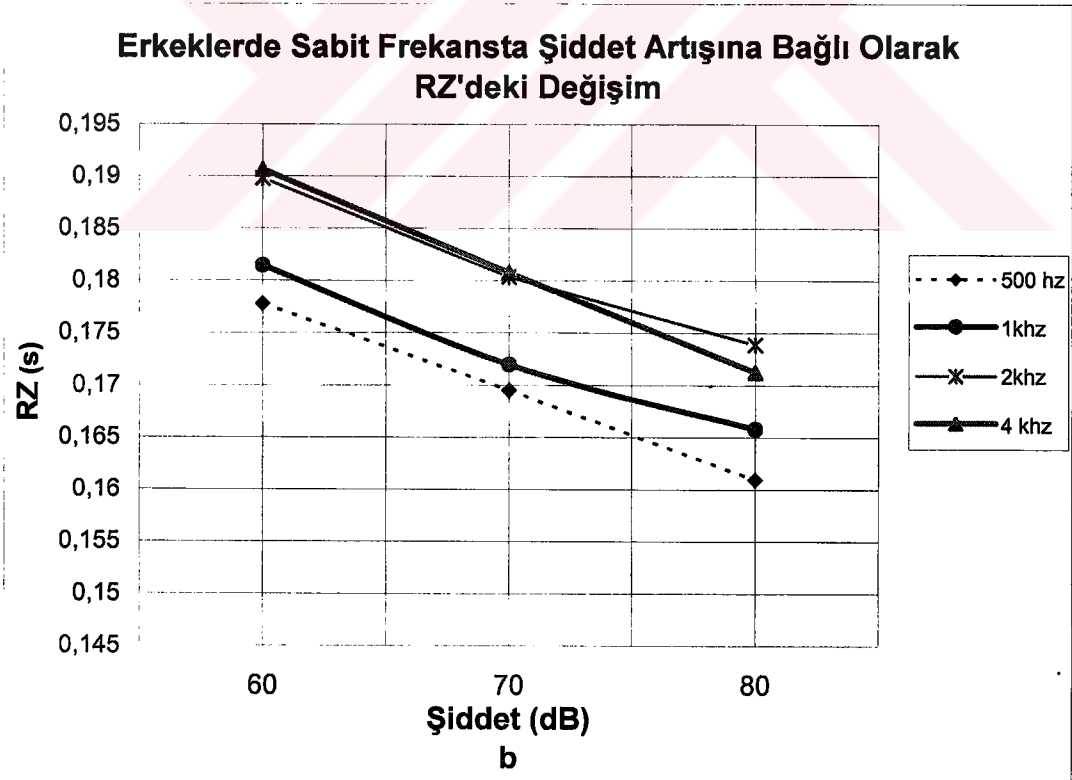
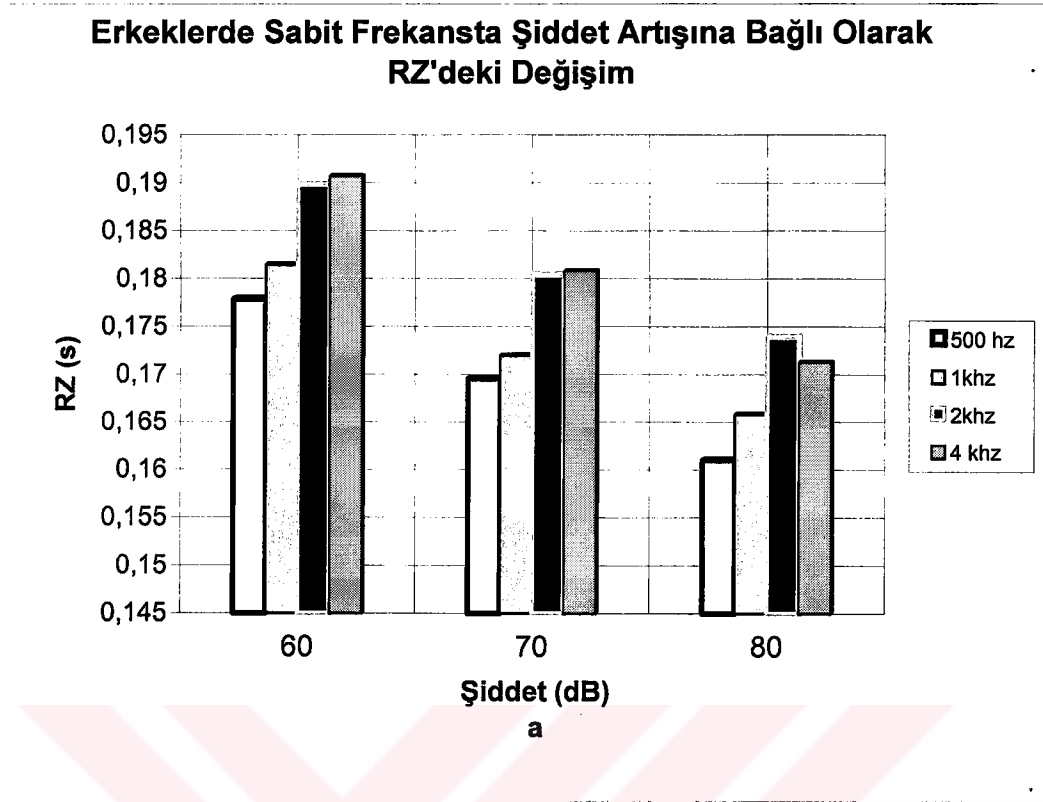
Şiddetler Arasındaki İlişki (Erkek ve Bayanlar)			Frekanslar Arasındaki İlişki (Erkek ve Bayanlar)		
Şiddet (dB)	P		Frekans (kHz)	P	
60 ile 70 arası	0,000	Anlamlı	0,5 ile 1 arası	0,069	Anlamsız
60 ile 80 arası	0,000	Anlamlı	0,5 ile 2 arası	0,000	Anlamlı
70 ile 80 arası	0,000	Anlamlı	0,5 ile 4 arası	0,000	Anlamlı
			1 ile 2 arası	0,000	Anlamlı
			1 ile 4 arası	0,009	Anlamlı
			2 ile 4 arası	1,000	Anlamsız



#### **4.1. Reaksiyon Zamanının Sabit Frekansta Şiddet Artışına Bağlı Olarak Bonferroni Testine Göre İncelenmesi**

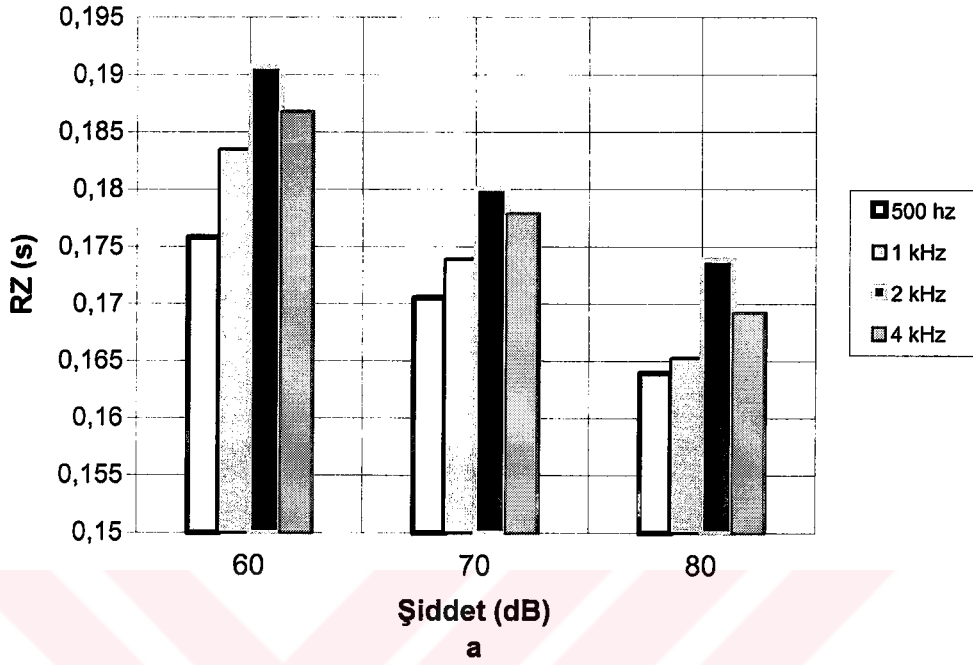
Bonferroni testi sonuçlarına göre her iki cinsiyet için, frekanslar sabit tutulduğunda şiddet artışına bağlı olarak RZ'da anlamlı ölçüde bir kısalma olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). RZ'daki bu kısalma tüm frekanslar için 60 dB'de en kısa, 80 dB'de en uzun ve 70 dB'de bu iki şiddet için elde edilen değerler arasında olduğu görülmüştür. RZ ve şiddet arasındaki ilişkiler Şekil 10 ve 11'deki grafiklerde gösterilmiştir.



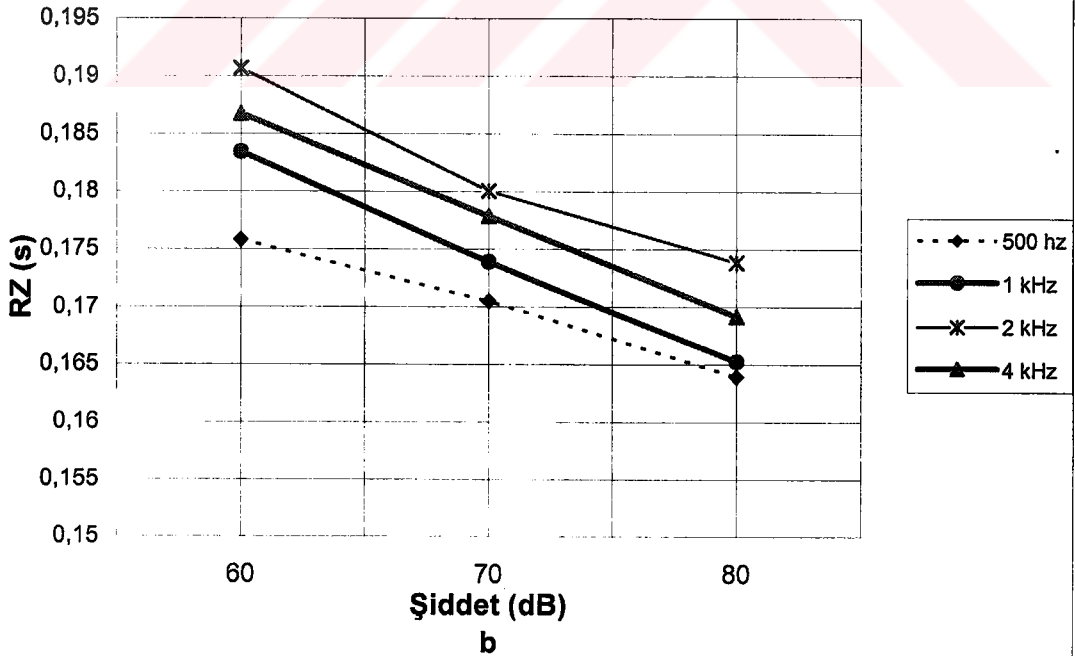


**Şekil 10. Erkeklerde sabit frekanslarda şiddet artışına bağlı olarak RZ'deki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.**

### Bayanlarda Sabit Frekansta Şiddet Artışına Bağlı Olarak RZ'deki Değişim



### Bayanlarda Sabit Frekansta Şiddet Artışına Bağlı Olarak RZ'deki Değişim



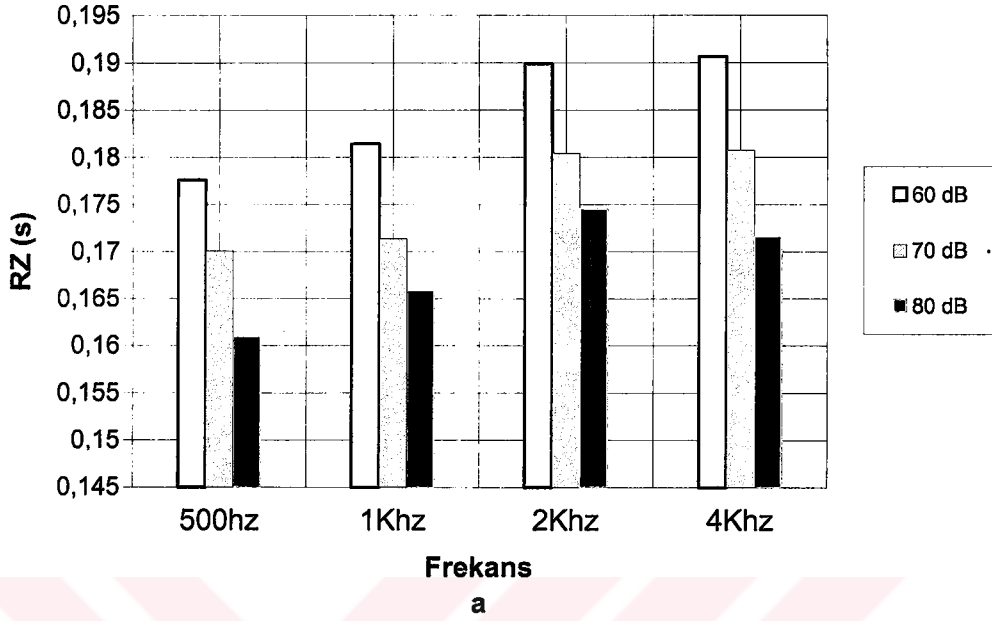
Şekil 11. Bayanlarda sabit frekansta şiddet artışına bağlı olarak RZ'deki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.

#### **4.2. Sabit Şiddette Frekans Artışına Bağlı Olarak Reaksiyon Zamanı Değişiminin Bonferroni Testi ile İncelenmesi**

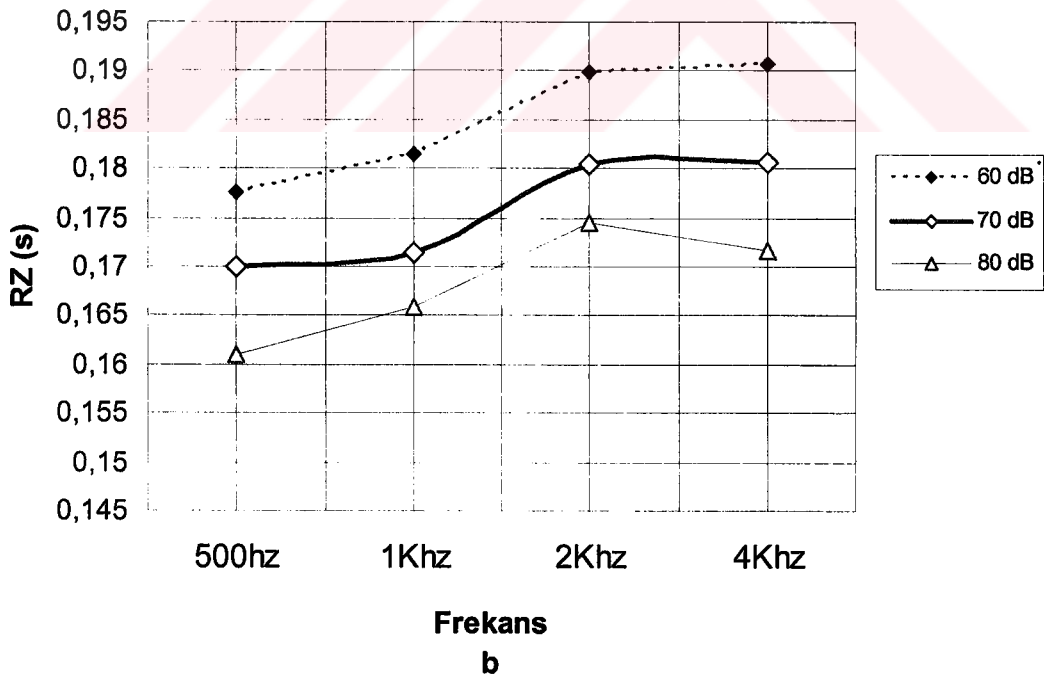
Aynı şiddetteki fakat farklı frekanstaki seslerin reaksiyon zamanına etkisi incelendiğinde gerek erkeklerde gerekse bayanlarda 500 Hz - 1 kHz ve 2 kHz - 4 kHz aralığındaki RZ değerleri artışı istatistiksel olarak anlamsız bulunurken ( $p>0,05$ ), 500Hz - 2kHz , 500 Hz - 4 kHz, 1 kHz - 2 kHz ve 1 kHz - 4kHz aralıklarındaki RZ farkları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Frekansın artırılmasının RZ üzerindeki etkisi incelendiğinde 2 kHz'in altındaki ve üstündeki sesler için bulunan RZ değerleri ilgi çekicidir. Her şiddette ve her iki cinsiyette 500 Hz'lik frekanstan 2 kHz'lik frekansa kadar RZ'da anlamlı bir artış gözlenmektedir ( $p<0,05$ ). Erkeklerde 4 kHz'deki RZ değeri 60 dB ve 70 dB'de 2kHz'deki RZ değerinden biraz yüksek olmasına karşın, 80 dB için bir kısalma gözlenmiştir. Bayanlarda ise her şiddet için 4 kHz'deki RZ değeri 2 kHz'deki RZ değerinden daha küçük bulunmuştur. Fakat bu düşüş istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $P>0,05$ ). Ses frekansı ve RZ arasındaki ilişkiler Şekil 12 ve 13'deki grafiklerde gösterilmiştir.

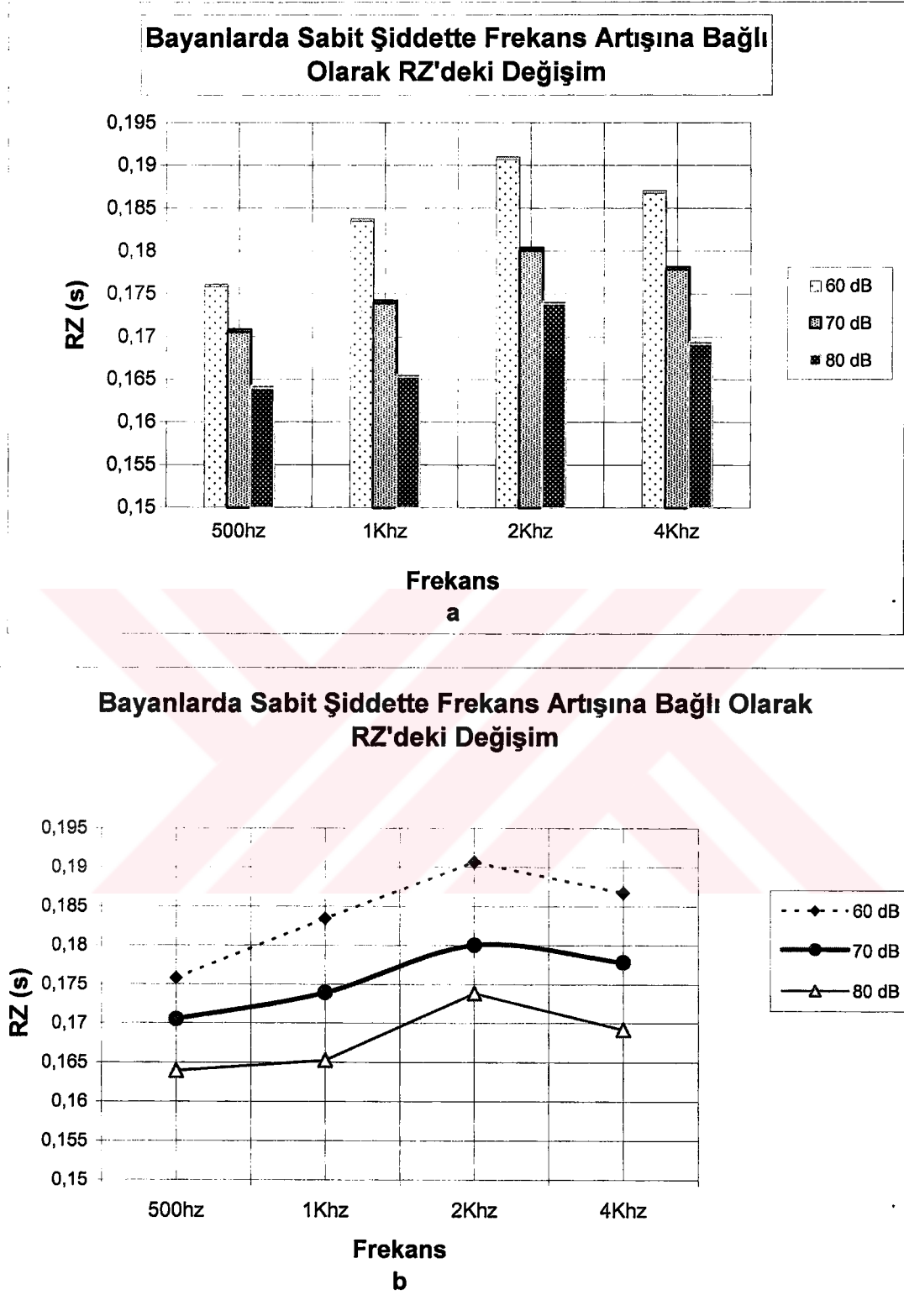
### Erkeklerde Sabit Şiddette Frekans Artışına Bağlı Olarak RZ'deki Değişim



### Erkeklerde Sabit Şiddette Frekans Artışına Bağlı Olarak RZ'deki Değişim



Şekil 12. Erkeklerde sabit şiddette frekans artışına bağlı olarak RZ'deki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.



**Şekil 13. Bayanlarda sabit şiddette frekans artışına bağlı olarak RZ'deki değişimin sütun (a) ve çizgi grafik (b) ile gösterimi.**

Cinsiyet farklılığına bakmaksızın tüm şiddetlerdeki RZ'ların genel ortalaması alınarak frekansa göre değişim incelendiğinde, her bir cinsiyet için gözlenen değerlere hemen hemen paralel bir değişim gözlenmiştir. Şöyle ki, 1 kHz'den 2 kHz'e kadar RZ'da istatistiksel olarak anlamlı bir artış görülmekte ( $p<0,05$ ), fakat 2 kHz'lik frekanstan sonra 4 kHz'de RZ'da kısılma olmaktadır. Fakat bu azalma istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p>0,05$ ).

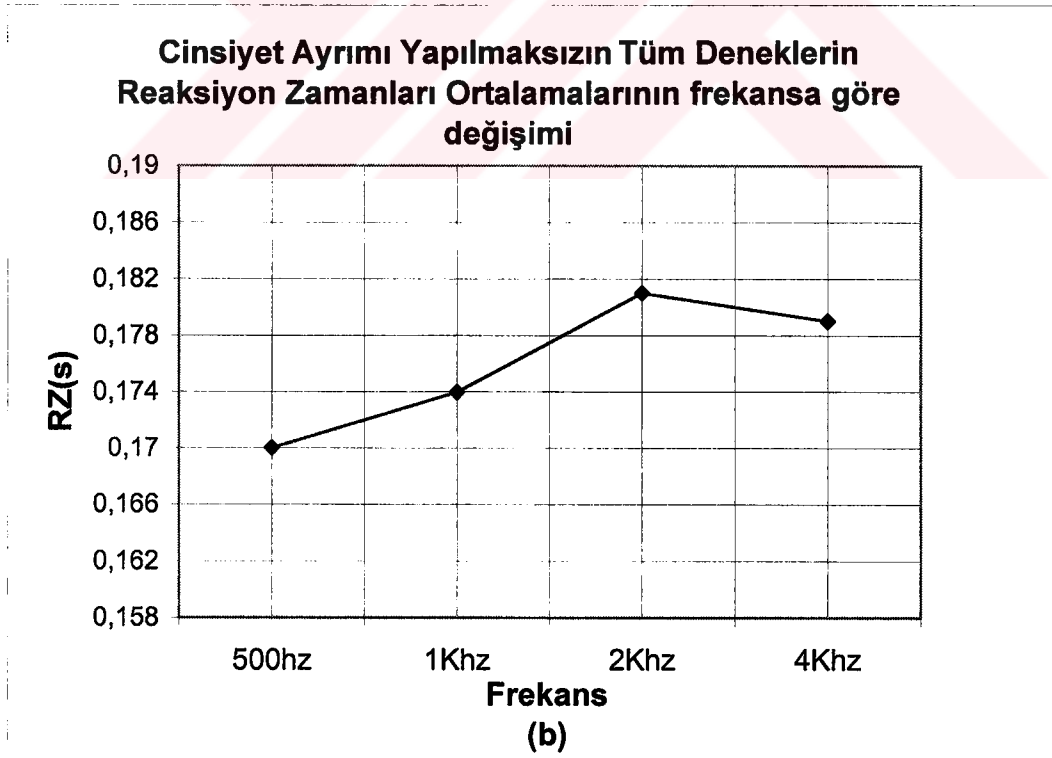
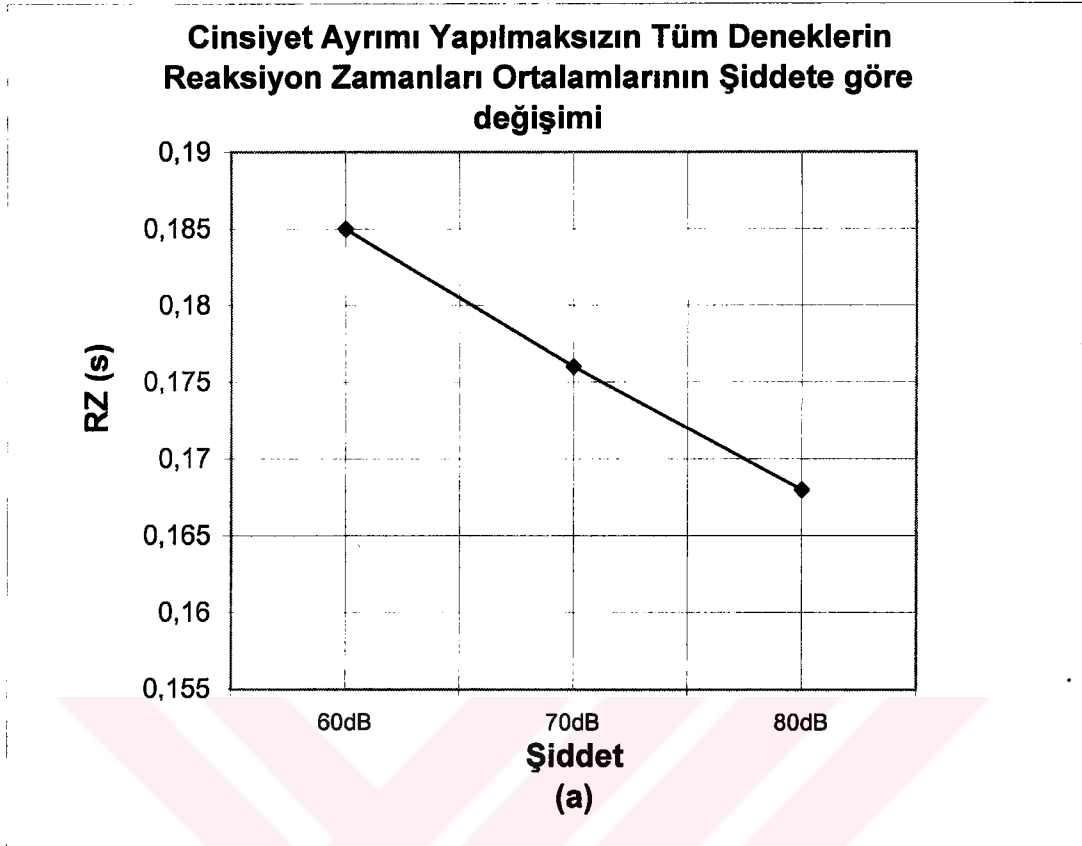
Aynı şekilde cinsiyet farkı gözetmeksizin tüm frekanslardaki RZ'ların genel ortalaması alınarak şiddete göre değişim incelendiğinde, hem erkek hem de bayan deneklerde gözlendiği gibi şiddet artışıyla RZ anlamlı bir şekilde kısılmıştır ( $p<0,05$ ). Şekil 14'de bu ilişkiler gösterilmiştir.

### 4.3. Reaksiyon Zamanı ve Cinsiyet Farkı

Tablo 4'deki sonuçlara göre gerek şiddetin gerekse frekansın sabit tutulduğu durumda cinsiyet farkının reaksiyon zamanını istatistiksel olarak anlamlı derecede etkilemediği görülmektedir ( $p>0,05$ ).

**Tablo 6. Tüm veriler bazında RZ'nın bayanlardaki ve erkeklerdeki uç değerleri.**

	Minimum		Maksimum	
	Frekans - şiddet	RZ <sub>ort</sub> (ms)	Frekans - şiddet	RZ <sub>ort</sub> (ms)
<b>Bayanlar</b>	500 Hz -80 dB	163,94	2 kHz - 60 dB	190,68
<b>Erkekler</b>	500 Hz -80 dB	160,94	4 kHz - 60 dB	190,66



**Şekil 14. Cinsiyet ayrımı yapılmaksızın ortalama reaksiyon zamanının şiddet (a) ve frekansla (b) değişimi**



## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada insan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığında (1-4 kHz) bulunan 1, 2 ve 4 kHz frekanslı ses tonları ile bu aralığın dışında kalan 500 Hz'lik ses tonu 60, 70 ve 80 dB şiddetlerinde insan kulağına uygulanarak işitsel reaksiyon zamanı ölçülmüştür. Aynı ortalama yaş grubundaki kadın ve erkeklerin bu seslere olan basit reaksiyon zamanının (BRZ) ses frekansına, ses şiddetine ve cinsiyete göre nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Basit reaksiyon zamanını ölçmek için laboratuvarımızda hazır bir cihaz bulunmadığından ölçme sistemi laboratuvarımızda geliştirilmiştir. Sistem 5 kHz frekansa kadar saf ses tonlarını üretebilir ve bu seslere verilen cevap sinyallerini kaydedebilir. İsteğe göre sesler deneğe sürekli veya kesikli olarak uygulanabilir. Yazılım üzerinde bazı küçük değişikliklerle 5 kHz'den daha yüksek frekanslarda ses üretmek de mümkündür. Ayrıca sisteme ikinci bir monitörün eklenmesi halinde basit RZ yanında görsel reaksiyon zamanını ölçmeye de uygun hale getirilebilir.

Deneklerin verdikleri cevap sinyalleri, laboratuvarımızda yapılmış *denek yanıt anahtarı* (dokunma plakaları) aracılığı ile kaydedilmiştir. Mekanik bir anahtar tercih edilmemiştir, çünkü bu tip anahtarların yayları dokunmaya direnç gösterir ve dokunma sırasında 2-10 ms süreli arklar üretilebilir. Bu da RZ kaydında gecikmelere yol açar. Bu çalışmada kullanılan dokunma plakaları sayesinde verilen cevaplar 1 ms'den daha az gecikme ile kaydedilebilmiş ve böylelikle RZ daha yüksek bir hassasiyetle ölçülmüştür. Yanıt anahtarı üzerindeki iletken plakalar yeterince geniş alanlı imal edildiği için deneğin elini daha rahat kullanmasına olanak tanımıştır.

Sistemin bilgisayar dışı elektronik kısımlarından biri de *dokunma-algılama* kısmıdır. Uyarının verilmediği bekleme anlarında veya uyarıya verilen cevap sinyalinin hemen akabinde deneğin yanıt anahtarı üzerine elle teması olabilmektedir. Bu temas çok hafif de olsa, yüksek duyarlılık nedeniyle bir cevap sinyali oluşur. Bu nedenle dokunma-algılama sistemi, bir uyarı uygulandıktan sonraki 4 s boyunca bilgisayara sinyal geçişini durduracak şekilde programlanmıştır. Böylelikle, deneklerin arka arkaya verdiği istenmeyen cevap sinyallerinin bilgisayara girişi önlenmiştir.

Ses şiddetleri kulaklık çıkışından bir desibelmetre ile ölçülmüştür. Desibelmetre  $\pm 1,5$  dB'lik hata payına sahipti. Ancak, uygulanan ses şiddetleri 10 dB'lik adımlarla artırıldığından söz konusu  $\pm 1,5$  dB düzeyindeki ölçüm hataları ihmal edilmiştir.

RZ ölçüm sistemimiz optimum performans için bazı donanım özelliklerine sahipti. Bunlardan biri kullanılan ses kartının *full duplex* olması idi. Çünkü sistem, ancak bu tür bir ses kartı ile uyarma sesini ve cevap sinyalini aynı anda okuyup, ikisi arasındaki süre farkından RZ'nı belirleyebilir. Buna ek olarak bilgisayarda hızlı bir işlemci kullanıldı. Bu donanım özelliklerine sahip olmayan bir bilgisayar ise düzgün çalışmaz.

Bir denek için toplam deney süresi 2-3 dakikalık dinlenme araları ile birlikte yaklaşık olarak ortalama 40-45 dakika kadar sürmüştür. Dinlenme aralarının amacı deneklerde bedensel ve işitsel yorgunluğu önlemektir. Aksi durumda RZ değerleri hatalı olabilecekti [43]. Buna ek olarak deney, deneklerin kendilerini iyi hissettikleri ve yorgun olmadıkları günlerde ve saatlerde gerçekleştirilmiştir. Böylece yorgunluğun RZ üzerine olabilecek olumsuz etkisi mümkün olduğunca ortadan kaldırılmıştır.

Tüm deneklere kan şekeri seviyelerinin düşmesini engellemek amacıyla deneyden birkaç dakika önce bir akide şekeri yedirildi. Literatürde hipogliseminin RZ'na olumsuz etkisine dair bir bulguya rastlamadığımız halde ağız yoluyla alınan şekerin kan glikoz düzeyini yükselterek deneklerin performansını artıracaklarını düşündük. Ayrıca, deney süresinin uzunluğunun neden olabileceği açlık önceden şeker verilmesi ile önlenmiştir.

Çalışmamızda ilk incelenen konu basit RZ'nın uyarıcı (ses) şiddetine göre nasıl değiştiydi. Bazı araştırmacılar düşük şiddetli uyarıcıların uzun bir reaksiyon zamanına neden olduğunu fakat şiddetin artırılması ile reaksiyon zamanının kısalacağını ileri sürmüşlerdir [18,42]. Yaptığımız çalışmada reaksiyon zamanının şiddete bağlı değişimi literatürdeki bulgularla uyum içindedir. Uygulanan her ses tonunun şiddeti onar desibellik adımlarla artırıldığında RZ'nın istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde kısalacağı gözlenmiştir ( $p < 0,05$ ) (Şekil 10 ve 11). RZ'daki bu kısalma tüm frekanslar için, 80 dB'de en fazla, 60 dB'de en az, ve 70 dB'de bu ikisinin arasındadır. Şiddet artışıyla RZ arasındaki bu ilişkinin bir çok nedeni olabilir. Ancak kanımızca en olası neden, ses şiddetinin artması ile daha çok sayıda *reseptörün* olaya katılmasıdır. Böylece yüksek şiddetli sesler, düşük şiddetli seslere göre daha kolay algılanmakta ve daha kısa bir reaksiyon zamanına neden olmaktadır. Bu çalışmada 60 ile 80 dB arası şiddetlerdeki

uyaranların RZ'na etkisi araştırılmıştır. Bu aralığın dışındaki şiddetlerin algılama ve cevap verme hızını nasıl değiştireceği konusunda daha ileri çalışmalar yapılması yararlı olacaktır. Ayrıca, ses şiddetinin 10 dB'den daha az adımlarla artırılması halinde RZ'nın nasıl bir değişim göstereceği de incelenmelidir. Diğer taraftan, bizim uyarma ve kayıt sistemimizde yapılacak bazı değişikliklerle uyaranların rasgele anlarda ve karışık şiddet düzeylerinde uygulandığı deneyler yapılabilir.

Bu çalışmada, incelenen bir diğer konu da frekans ile RZ arasındaki ilişkidir. Denekler arasında cinsiyet ayrımı yapmaksızın ortalama RZ'nın şiddetle ve frekansla nasıl değiştiği Şekil 14'de gösterilmiştir. Şekil 14b'den görüldüğü gibi RZ 500 Hz ile 2 kHz arasında artmakta ( $p < 0,05$ ), 2 kHz'den sonra tekrar azalmaktadır ( $p > 0,05$ ). Kadınlar ve erkekler ayrı ayrı ele alındığında ise RZ'nın frekansla değişimi kadınlar için tüm şiddetlerde (Şekil 13b) Şekil 14b'deki paterne uyduğu halde, erkekler için sadece 80 dB'lik şiddette bu patern görülmektedir ( $p < 0,05$ ) (Şekil 12b). Erkeklerle kadınlar arasındaki bu fark açıklanamamıştır. Deneysel hatalardan kaynaklanmış olabilir.

Elde ettiğimiz sonuçlar normal bir bireyde eşik şiddetin frekansla değişimini gösteren Şekil 1'deki *işitme duyarlılık eğrileri* (fon eğrileri) ile çeşitli yönlerden karşılaştırılabilir. Şekil 1, sesin gerçek şiddetinden yüksek ve düşük algılandığı bölgeleri göstermektedir. Bu grafikte dış kulak kanalının anatomik yapısından kaynaklanan rezonans olayı nedeniyle eğrinin 1-4 kHz aralığında bir minimum değerden geçtiği dikkati çeker [8,31]. Şekil 12, 13 ve 14'deki grafikler ise RZ'nın frekansa göre nasıl değiştiğini göstermektedir. İlk bakışta 1-4 kHz aralığında rezonans nedeniyle ses olduğundan yüksek şiddette algılanacağından RZ'nın kısılması [18,42] ve en azından Şekil 1'de olduğu gibi bir minimumdan geçmesi beklenebilir. Ancak, RZ sadece şiddetten değil bir çok değişkenden etkilenir [6,18,22,24,42,43]. Deneylerde RZ'nı etkileyecek değişkenler, (yaş farklılıkları, yorgunluk, dikkati dağıtan faktörler, deneklerin gergin olması vb.) mümkün olduğunca sabit tutulduğuna göre RZ'nı etkileyen başlıca faktörün *frekans* olduğu düşünülebilir. Yani, frekans algılanmasında sübjektiflik söz konusu olabilir. Burada normal denekler için RZ'nın "hangi frekansta minimum olacağı" akla gelebilir. Sonuçlarımız tüm denekler için en kısa RZ'nın 500 Hz ya da 1 kHz de olduğuna işaret etmektedir ( $p > 0,05$ ). Ancak, deneylerimizde kullandığımız frekans sayısı yetersiz olduğu için bu konuda kesin bir sonuca varmak

mümkün gözükmemektedir. Kesin sonuçlara varmak için belki daha küçük adımlarla artırılan daha çok sayıda frekansın incelenmesi gerekecektir.

Araştırılan bir diğer husus ise cinsiyet ile RZ arasında bir ilişkinin olup olmadığı idi. Önceki, çalışmalara göre erkeklerin reaksiyon zamanı kadınlarınkinden daha kısadır [2,29,43]. Çalışmamızda ise RZ ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir ( $p>0.05$ ). Ancak bazı frekans ve şiddetlerde erkeklerin kadınlardan daha kısa bir RZ'na sahip oldukları gözlenmiştir. Bu çalışmada gözlenen RZ'nın cinsiyete bağlı olmaması bulgusu sadece basit RZ'nın incelenmiş olmasından ve yaş ortalamaları birbirine çok yakın genç kadın ve erkeklerin kullanılmasından kaynaklanmış olabilir. Eğer seçmeli (choice) ya da kompleks RZ'ları ölçülmüş olsaydı cinsiyet farkına dayalı RZ farklılıkları görülebilirdi.

Bildiğimiz kadarı ile literatürde bu çalışmanın kapsadığı değişkenler üzerinde duran bir başka çalışma yoktur. Fakat çalışmamızın bulguları ve sonuçları literatürdeki bazı sonuçlarla uyumludur.

Temuçin, sigara ile alınan nikotinin reaksiyon zamanına olan etkisini araştırmış ve RZ'nın her iki cinsiyette anlamlı ölçüde kısaldığı sonucuna varmıştır [37]. Çalışmada işitsel ve görsel uyaranların birlikte verildiği ve bir uyaran kombinasyonunu diğerlerinden ayırt etmeye dayalı *seçmeli* RZ incelenmiştir. Bu açıdan deney kendi çalışmamızdan tamamen farklıdır. Sigara içmeyen kontrol grubu için ortalama RZ erkeklerde 381,9 ms, kadınlarda 446,5 ms bulunmuştur. Deneyde 250 Hz frekanslı saf ses tonu kullanılmış şiddet ise belirtilmemiştir. Yukarıdaki değerler, bizim çalışmamızda elde edilen tüm RZ değerlerinin yaklaşık 2 katı kadardır. RZ'daki bu uzama, beyinde işitsel ve görsel uyaranların birlikte değerlendirilmesinin beynin daha yüksek merkezlerinde gerçekleştiriliyor olmasına atfedilebilir.

Özcan ve arkadaşları motorlu araç kullanan insanlarda ses ve ışığın reaksiyon zamanına olan etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmacılar yaşları 18 ile 50 arasında değişen 619 erkek denekten elde ettikleri işitsel RZ değerlerini kaza yapmamış kontrol grubu için 235,41 ms, kaza yapanlarda 282,76 ms olarak bulmuşlardır [30]. Çalışmada kullanılan sesin frekansı ve şiddeti belirtilmemiştir. Bulunan bu değerler bizim bulgularımızdan yüksektir. Bu farklılıklar deney sistemlerindeki farklılıklardan kaynaklanmış olabilir.

Yalaz ve arkadaşları [40], Özcan ve arkadaşları gibi motorlu araç kullanan insanlar üzerinde RZ incelemesi yapmışlardır. Deneyde, alkol alışkanlığı olmayan 25 erkek denek üzerinde işitsel ve görsel uyarılar kullanarak alkolün RZ'na olan etkisi araştırılmıştır. RZ ölçümü uyarana elle verilen yanıtlardan değil sağ ayakla bir pedala basma yanıtlarından ölçülmüştür. Şiddeti belli olmayan 1250 Hz frekanslı ses ile görsel uyarılar aynı anda verilmiş ve deneklerin alkol alımından 15, 30 ve 45 dakika önceki ve sonraki RZ'ları ölçülmüştür. Alkolün RZ'nı artırdığı görülmüştür. Bu RZ değerleri hem bizim, hem de Özcan'ın bulduğu değerlerden yüksektir. Bacak sinirlerinde motor ileti hızları kol sinirlerine göre daha yavaştır [16]. Olasılıkla bu faktör RZ'nı artıran faktörlerden biridir.

Graham, bir trafik simülasyonu hazırlayarak denekleri bu simülasyonun içine araç kullanıyormuş gibi yerleştirmiştir ve ekranda aniden beliren bir çarpışmada ortamda var olan değişik şiddet ve türdeki seslerin reaksiyon zamanını nasıl etkilediğini araştırmıştır [20]. Çalışmada 355 Hz frekanslı, 59,4 dB şiddetli korna sesine verilen reaksiyon zamanı 740 ms, 600 Hz, 60,1 dB saf tona verilen reaksiyon zamanı 810 ms, 62,9 dB şiddetli kayan tekerlek sesine verilen reaksiyon zamanı 750 ms, 355 Hz, 60,7 dB şiddetli konuşma sesine verilen reaksiyon zamanı 860 ms bulunmuştur. Bu sesler içinde RZ en kısa olanlar araba kornası ve kayan tekerlek sesidir. Söz konusu çalışmada hem kullanılan ses uyarıları, hem de deneyin amacı ve uygulanış biçimi bizim çalışmamızdan çok farklıdır. Dolayısıyla ölçülen RZ değerlerinin kendi çalışmamızdakilere göre bir hayli yüksek olması normaldir. Ancak, çalışmada kullanılan ses şiddetleri de düşüktür. Kendi sonuçlarımıza göre, şiddeti 60 dB'den büyük olan ses tonları için RZ kısalmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Oluşturulan düzenek ve geliştirilen yazılım ile basit RZ 1/1000 s hassasiyetle ölçülebilmektedir. Sistemde yapılacak bazı değişiklikler ve eklemelerle işitsel ve görsel uyaranlar içeren kompleks RZ da ölçülebilir.

- Reaksiyon zamanı şiddetteki artışla anlamlı ölçüde kısalmaktadır. En düşük RZ 80 dB'de, en yüksek RZ 60 dB'de görülmüştür.

- Normal insanlardan elde edilen Fon eğrileri (Şekil 1) 1-4 kHz aralığında bir minimumdan geçerken, çalışmamızda ölçülen RZ değerleri bu aralıkta beklenebileceği gibi bir minimumdan geçmediği gibi tersine bir maksimumdan geçmektedir. Bu anomali frekansın daha küçük adımlarla artırıldığı ölçümlerle açıklığa kavuşturulabilir.

- Aynı şiddetteki fakat farklı frekanslardaki saf ses tonlarına reaksiyon zamanları farklıdır.

- Ses frekansı RZ'nı etkileyen değişkenler arasındadır. Ancak bu konuda kesin sonuçlara varmak için daha çok sayıda ses frekansının ve deneğin kullanılacağı deneyler yapmak gereklidir.

- Cinsiyet farkının basit reaksiyon zamanı üzerinde etkili olmadığı gözlenmiştir.

- Uygulanan ses uyaranları arasında kadınların ve erkeklerin en kısa sürede yanıtladıkları ses tonu aynıdır ve 500 Hz - 80 dB şiddetindedir

(Erkekler  $RZ = 160.94$  ms, Kadınlar  $RZ=163.94$  ms).

- En uzun RZ ise cinsiyete göre farklılık göstermektedir. Bu sesler;

Kadınlarda, 2 kHz - 60 dB ( $RZ = 190.68$  ms)

Erkeklerde, 4 kHz - 60 dB (190.66 ms) dir.

## ÖZET

İşitsel, görsel ve taktil uyaranlara reaksiyon zamanı üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Ancak basit reaksiyon zamanının değişik şiddet ve frekanslardaki işitsel uyaranlardan nasıl etkilendiği ile ilgili çalışmalar nadirdir. Özellikle, ses frekansının reaksiyon zamanına etkisi ile ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışma ile hangi *frekans ve şiddetteki* uyaranların reaksiyon zamanını en çok etkilediğini saptamak amaçlanmıştır. Bu amaçla denekler cinsiyete ve yaşa göre gruplandırılmış ve her grup için *ses şiddeti ve frekansı* değiştirilerek basit reaksiyon zamanları ölçülmüştür.

Deneyde sağlıklı, erişkin ve bilinen bir işitsel rahatsızlığı olmayan yaşları 17-24 arasında değişen (yaş ortalamaları: 20.65), 20 bayan ve 20 erkek denek kullanıldı. RZ ölçüm sistemi kendi laboratuvarımızda imal edildi. Ses uyaranları olarak, insan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığında (1-4 kHz) yer alan 1 kHz, 2 kHz ve 4 kHz frekanslı saf ses tonları ile bu aralığın dışında kalan 500 Hz frekanslı saf ses tonu kullanıldı. Her ses üç değişik şiddette (60, 70 ve 80 dB) uygulandı. Denekler, oturur pozisyonda iken bir kulaklık üzerinden kısa süreli 'bip' (uyaran) sesleri uygulandı ve deneğin işaret parmağı ile dokunarak aktive ettiği bir yanıt anahtarı yardımı ile reaksiyon zamanları kaydedildi.

Reaksiyon zamanının şiddet artışıyla anlamlı ölçüde kısaldığı görüldü. Tüm ses tonları için en uzun RZ'nin 60 dB, en kısa RZ'nin da 80 dB'de olduğu görüldü. RZ'nin frekansa göre anlamlı olarak değiştiği saptandı. Şiddet ve cinsiyet ayırımına gidilmeden tüm verilerin genel ortalaması alındığında RZ'nin en kısa 500 Hz'de, en uzun 2 kHz'de olduğu gözlemlendi. 4 kHz ve üstündeki frekanslar için reaksiyon zamanının tekrar kısaldığı görüldü. Kullanılan uyaranlar arasında *500 Hz - 80 dB* şiddetli sesin insanda işitsel uyaranlara reaksiyon vermede en etkili uyaran olduğu sonucuna varıldı.

## ABSTRACT

Many studies have been done on the reaction time to auditory, visual and tactile stimuli in man. However, studies concerned with how 'Simple Reaction Time' (SRT) is affected by auditory stimuli with different intensities and frequencies are rare. To our knowledge no studies on the effect of sound frequency on SRT have been reported. In this study, we aimed at determining which sound frequency and intensity affected SRT most. For this purpose, the subjects have been classified according to age, sex and SRTs have been measured by changing the intensity and frequency for each group.

In the experiments, healthy male and female adults who did not have an auditory disease, aged between 17 and 24 (mean age: 20,65) were included in the study. The SRT measurement system used in the experiments were designed and constructed in our laboratories. Sound frequencies used were 1 kHz, 2 kHz and 4 kHz, the frequency range to which the human ear is most sensitive, and 500 Hz which is outside this range. Each pure tone was applied at three different intensity levels; 60, 70 and 80 dB. Stimuli (short tone beeps) were applied by way of a headphone as the subject sat in the upright position in a silent dark room. The subject was asked to activate the response switch (a touch plate) by touching one terminal of it with his/her index finger. Switch activation instant was used to measure the reaction time.

It was observed that SRT gets shorter statistically significantly as the stimulus intensity is increased. For all frequencies, the reaction time was longest for the 60 dB level sounds and shortest for the 80 dB level sounds. It has also been determined that RT changes significantly with frequency. The mean reaction time of all subjects regardless of sex for all intensities was calculated. It was found to be shortest for 500 Hz and longest for 2 kHz. Above 4 kHz, RT tended to get shorter again. It has been concluded that among the stimuli used in this study the tone bip with a frequency 500 Hz and intensity level 80 dB is the most effective stimulus to determine the shortest auditory reaction time in humans.



## EKLER

### Ek 1. İşitsel RZ Kayıt Formu

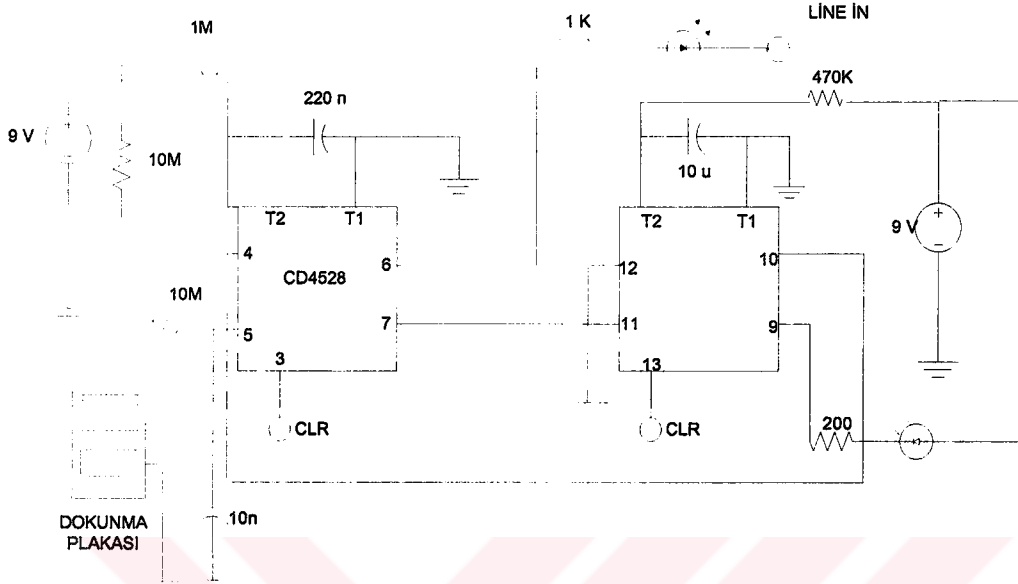
#### E. Ü.TIP FAKÜLTESİ BİYOFİZİK ANABİLİM DALI İŞİTSEL REAKSİYON ZAMANI ÖLÇÜM KAYIT FORMU

<b>Denek Bilgileri</b>	
Adı Soyadı	
Cinsiyeti	
Yaşı	
Adresi	
Telefonu	
<b>Alışkanlıklar ve İşitme Durumu</b>	
Sigara	
Kahve	
Alkol	
İşitme Durumu	
<b>Kayıt Bilgileri</b>	
Kayıt Tarihi	
Kayıt Başlama Saati	
Kayıt Dosya Adı:	

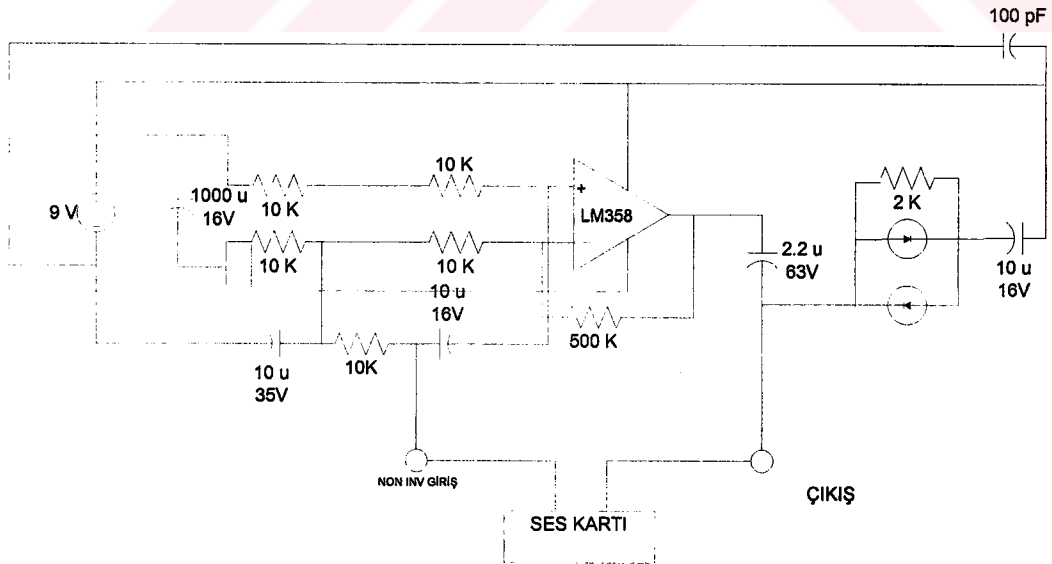
Ölçüm Sonuçları	
Uyaran Tipleri	Reaksiyon zamanı Ort.(ms.)
<b>500 Hz Frekanslı Ses</b>	Reaksiyon zamanı Ort.(ms.)
60 dB	
70 dB	
80 dB	
<b>1 kHz Frekanslı Ses</b>	Reaksiyon zamanı Ort.(ms.)
60 dB	
70 dB	
80 dB	
<b>2 kHz Frekanslı Ses</b>	Reaksiyon zamanı Ort.(ms.)
60 dB	
70 dB	
80 dB	
<b>4 Hz Frekanslı Ses</b>	Reaksiyon zamanı Ort.(ms.)
60 dB	
70 dB	
80 dB	

Notlar:

## Ek 2. Tetikleme Cihazının Devre Şeması.



## Ek 3. Amplifikatör Devre Şeması.



## KAYNAKLAR

- [1] Açıkkada, C., Ergen, E. (1990). Bilim ve Spor, Büro-Tek Ofset, Ankara, 116-117. Kaynak [33] den alınma.
- [2] Adam, J., Paas, F., Buekers, M., Wuyts, I., Spijkers, W., and Wallmeyer, P. (1999). Gender differences in choice reaction time: Evidence for differential strategies, *Ergonomics* 42(2): 327-335
- [3] Arınç, K., Elhan, A. (1997). Anatomi, Güneş Kitabevi, 2. Basım, Ankara, 424-428
- [4] Arkan, N. (1962). Klinik Psikiyatri Semiyolojisi, E.Ü. Matbası, 85-95.
- [5] Bompa, T, O. (1998). Antreman Kuramı ve Yöntemi, Çeviri, Keskin İ., Tuner, A. B., Bağırğan Yayınevi, Ankara, 433.
- [6] Broadbent, D. E. (1971). Decision and Stress, Academic Press, London. Kaynak [44] den alınma.
- [7] Buchsbaum, M., and Callaway E. (1965). Influence of respiratory cycle on simple RT, *Perceptual and Motor Skills* 20: 961-966.
- [8] Çelebi, G. (1995). Biyomedikal Fizik, Barış Yayınları, 2. Baskı, İzmir, 90-117
- [9] Çelebi, G. (1981). The role of stimulus modality and response condition on human event related potentials: *Chemical Senses*, 6(4): 335-342.
- [10] Demirkan, L. (1996). Futbol hakemlerinde yorgunluğun reaksiyon zamanına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Sağlık Bilimleri enstitüsü*, Ege Üniversitesi.
- [11] Drever, J. (1968). Dictionary of Psychology, Penguin Books, Aylesbury, Bucks, 11th. Ed. Kaynak [30] den alınma.
- [12] Doğan, F. (1998). Uygulamalı Çevre Bilimi ve Çevre Epidemiyolojisi, İzmir.
- [13] Durmuş, O. (1995). Futbol, Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 4, Futbol Federasyonu Yayını, Ankara, 15-18.

- [14] English, H.B. ve English A.C. (1958). A Comprehensive Dictionary of Psychological And Psychoanalytical Terms. Logman Green Company. Kaynak [40]'dan alınmıştır.
- [15] Ertaş İ. (1995). Denel Fizik Dersleri I., Ege Üniversitesi Basım Evi, İzmir, 368-394.
- [16] Ertekin, C. (1977). Klinik Elektromiyografi, Ege Üniversitesi Matbası.
- [17] Freeman, G. L. (1933). The facilitative and inhibitory effects of muscular tension upon performance, *American Journal of Psychology*, 26: 602-608.
- [18] Froeberg, S. (1907). The relation between the magnitude of stimulus and the time of reaction, *Archives of Psychology*, No. 8.
- [19] Ganong, W. F. (1995). Review of Medical Physiology, 16. Edition, Prentice-Hall International Inc. ABD.
- [20] Graham, R. (1999). Use of auditory icons as emergency warnings: evaluation within a vehicle collision avoidance application, *Ergonomics*, 42(9): 1233-1248.
- [21] Greenberg, L.H. (1975). Physics for biology and pre-med students. Saunders Golden Series. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 401-2.
- [22] Guyton, A. C., HALL, J. E. (1996). Textbook of Medical Physiology, Nobel Tıp Kitabevi, 9. Edition, İzmir.
- [23] Jevas, S. and Yan, J. H. (2001). The effect of aging on cognitive function: a preliminary quantitative review, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72: A-49.
- [24] Kandel, E.R, Schwartz, J.H., Jessell, T. M. (2000). Principles Of Neural Science, Mc Graw Hill, International Edition, 590-624
- [25] Kleemeier, R. W., Rich, T. A., and Justiss, W. A. (1956). The effects of alpha-(2-piperidyl) benzhydrol hydrochloride (Meratran) on psychomotor performance in a group of aged males, *Journal of Gerontology*, 11: 165-170.
- [26] Kohfeld, D. L. (1971). Simple reaction time as a function of stimulus intensity in decibels of light and sound, *Journal of Experimental Psychology*, 88: 251-257.

- [27] Kroll, W. (1973). Effects of local muscular fatigue due to isotonic and isometric exercise upon fractionated reaction time components, *Journal of Motor Behavior* 5:81-93.
- [28] Morgtan, C.T., (1961). Introduction to Psychology, Mc Graw Holl Book Company, Inc, New York Sec. Ed, 605.
- [29] Noble, C.E., Baker, B.L. and Jones, T.A. (1964). Age and sex parameters in psychomotor learning, *Perceptual and Motor Skills*, 19: 935-945.
- [30] Özcan, T., Alyürük, K., Çakır, Y., (1983). Trafik Kazalarında Aracı Kullanan İnsana Psiko-Nörolojik Yönden Bir Yaklaşım; Sese ve Işığa Reaksiyon Zamanı ve Benton Visual Retention Test İle İki Grup Sürücünün Kıyaslanması: 18. Ulusal Psikiyatri ve Nörolojik Bilimler Kongresi Çalışmaları Kitabı, Türk Nöro-Psikiyatri Derneği, İstanbul, 53-60.
- [31] Pehlivan, F. (1997). Biyofizik, 2.Baskı, Hacettepe - Taş Yayınları, Ankara, 313-327
- [32] Pöğün, Ş., Demirgören, S., Pehlivan, M. (1995). Tobacco smoking induced gender differences in interhemispheric processing: Brain Imaging of Nicotine and Tobacco Smoking, Domino, E. F, NPP Books, Ann Arbor.
- [33] Savaş, S. (2000). 8 Haftalık interval sprint sürat antrenmanının elit basketbolcuların görsel ve işitsel reaksiyon zamanı üzerine etkisi: Kastamonu Eğitim Dergisi, Kastomonu, 8( 2): 239- 246.
- [34] Serway, R. A. (1995). Fen ve Mühendislik için Fizik, Palme Yayıncılık, Çeviri, Kemal Çolakoğlu, 3 Baskı, Ankara, 455-465
- [35] Singleton, W.T. (1953). Deterioration of performance on a short-term perceptual-motor task. In: *Symposium on Fatigue*, W. F. Floyd and A. T. Welford (Eds.), H. K. Lewis and Co., London, 163-172.
- [36] Snell, R. S. (1980). Clinical Neuroanatomy for Medical Students, Litle Brown and Company, Boston, 87-114.

- [37] Temuçin, H. S. (1990). Sigara şeklinde alınan nikotinin bayan ve erkekte reaksiyon zamanı üzerine etkisi, Yüksek Lisans tezi, *Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- [38] Truex, C.R., Carpenter, B.M. (1964). Strond and Elwyn's Human Neuroanatomy, The Williams and Wilkins company, 5. Edition, Baltimore, 291-294.
- [39] Terzioğlu, M. (1974). Fizyoloji Ders Kitabı, Çeltüt Matbası, İstanbul, 161-312.
- [40] Yalaz, G., Hariri, İ. N. (1979). Motorlu araç kullananlarda alkolün reaksiyon zamanına olan etkisinin araştırılması: Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 18(1): 41-55.
- [41] Yıldırım, M., (2000). Temel Nöroanatomı, Nobel Tıp Kitabevi, 1. Baskı, İstanbul, 246-249.
- [42] Wells, G.R. (1913). The influence of stimulus duration on RT, *Psychological Monographs*, 15: 1066. Kaynak [44]'den alınmıştır.
- [43] Welford, A.T. (1980). Choice reaction time: Basic Concepts. In A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times*, Academic Press, New York, 73-128.
- [44] Kosinski, R.J., Clemson Universty (Biology Department). <http://biae.clemson.edu/bpc/bp/Lab/110/reaction.htm>. (5.2 2002).

## ÖZGEÇMİŞ

Erdal BİNBOĞA 1970 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 1991 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne girdi. 1997 yılında *Uygulamalı Fizik Ağırlıklı* Fizik Lisansını tamamlayarak *Fizikçi* olarak mezun oldu. 1997-2001 yılları arasında Kayseri ve İzmir’in çeşitli okullarında Fizik ve Fen Bilgisi öğretmenliği yaptı. 2001 yılında Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı’na yüksek lisans öğrencisi ve araştırma görevlisi olarak kabul edildi. Halen Ege Üniversitesi Tıp Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

1.G. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
BOKLİMANTASVON MERKEZİ