

**T.C.**  
**SAĞLIK BAKANLIĞI**  
**İSTANBUL OKMEYDANI EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ**  
**KULAK-BURUN-BOĞAZ KLİNİĞİ**

**ŞEF: DOÇ. DR. İLHAN TOPALOĞLU**

**KABLOSUZ YEREL ALAN AĞLARINDAN KAYNAKLANAN**  
**ELEKTROMANYETİK ALANIN,**  
**İŞİTME ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**(DENEYSEL ÇALIŞMA)**

**DR. HASAN YILMAZ**

**(UZMANLIK TEZİ)**

**İSTANBUL 2007**

## ÖNSÖZ

*Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocam, klinik şefim sayın Doç. Dr. İlhan Topaloğlu'na teşekkürlerimi sunarım.*

*Hastanemiz Başhekimi Sayın Dr. M. Hayri Özgüzel' e eğitime olan katkılarından dolayı teşekkür ederim.*

*Operasyonlar esnasında bitmez bir sabırla başımızda durup tecrübesini bizimle paylaşan, kendisinden hayata yeni bakışaçıları, yaşama dair yeni ufuklar edindiğim değerli Şef Yardımcımız Op.Dr. Önder Doğan'a teşekkür ederim.*

*Kliniğimizde birlikte çalışmaktan onur duyduğum, mesleğimi öğrenmemde bana destek olan çok değerli uzmanlarım Op.Dr. Levent Eker' e, Op.Dr. Mustafa Kuzdere' ye, Op.Dr. Güven Yıldırım' a, Op.Dr. Tamer Haliloğlu' na, Op.Dr. Yalçın Varnalı' ya, Op.Dr. Şenel Beysel'e, Op.Dr. Bennur Çetindağ' a, Op.Dr. Güler Berkiten' e, Op.Dr. Ayşe Hatipoğlu' na ve Op.Dr. Umut Say'a teşekkür ederim.*

*Eğitimim süresince sevgi ve dostluklarını benden esirgemeyen, birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum sevgili asistan arkadaşlarım, Op.Dr. Hüseyin Kadehçi'ye, Op.Dr. Bülent Karapınar'a , Op.Dr. Belgin Tutar'a, Op.Dr.Halil Akgün'e, Op.Dr. A. Onur Göksel'e, Dr. Şenol Baş'a, Dr. Mahmut Babalık'a, Dr. Yavuz Atar'a, Dr. Bunyamin Turhan'a, Dr. A. Enise Tekin Göker'e, Dr. Perihan Taşkale'ye, Dr. Serhat Yaslıkaya'ya, Dr. Burcu Meşe'ye, Dr. Ziya Saltürk'e, Dr. Muhlis Bal'a, Dr. Mehmet Vefa Kılıç'a, Dr. Emrah Çiçek'e teşekkür ederim.*

*Tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerini bana özveriyle aktaran, Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi 1. KBB Kliniği şefi sayın Doç. Dr. Suat Turgut hocamıza, Başasistanları sayın Op.Dr. Burak Ömür Çakır ve Op.Dr. Şenol Civelek'e teşekkür ederim.*

*Tez çalışmamın deneysel aşamasında tüm özverisi ile bana yardımcı olan kliniğimiz odyometristlerinden sayın Hilmi Uğraş'a teşekkür ederim.*

*Deney aşamasındaki yardımları için İstanbul Üniversitesi DETAE' nden sayın Yrd. Doç. Dr. Mutlu Küçük, sayın Vet. Hek. Fatma Tekeli ve değerli personellerine teşekkür ederim.*

*Güleryüzleri ile zor günleri kolaylaştıran, beş yılımı paylaşmaktan mutluluk duyduğum çok değerli KBB kliniği ve ameliyathanesi hemşire ve personeline teşekkür ederim.*

*Hayatın tüm zorluklarına beni hazırlayan, maddi ve manevi desteklerini sürekli arkamda hissettiğim aileme, sevgili eşim Sibel ve biricik kızım Ayşe Sude'ye çok teşekkür ederim.*

*Dr. Hasan Yılmaz*

## İÇİNDEKİLER

ŞEKİL DİZİNİ	4
TABLO DİZİNİ	4
GRAFİK DİZİNİ	5
RESİM DİZİNİ	5
KISALTMALAR	6
1. GİRİŞ	7
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1. Kulak Embriyolojisi	8
2.2. Kulak Anatomisi	10
2.3. Santral İşitme Yolları	19
2.4. İç Kulak Histolojisi	21
2.5. İç Kulak Fizyolojisi	26
2.6. İşitme Fizyolojisi	26
2.7. Sıçan Kulağı Anatomisi	30
2.8. Otoakustik Emisyonlar	33
2.9. Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks)	37
2.10. Elektromanyetik Alanlar	43
3. MATERYAL ve METOT	45
3.1. Deney hayvanları	45
3.2. Elektromanyetik dalgaya maruz bırakma metodu	46
3.2. Distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçüm metodu	47
4. BULGULAR	49
5. TARTIŞMA	54
6. SONUÇLAR	61
ÖZET	62
ABSTRACT	63
KAYNAKLAR	64

## **ŞEKİL DİZİNİ**

*Şekil 1: Kulak embriyolojisi*

*Şekil 2: Kulak yapıları koronal kesit*

*Şekil 3: İç kulak yapıları*

*Şekil 4: Kemik ve membranöz labirent*

*Şekil 5: Koklea*

*Şekil 6: Koklea ve Korti organı*

*Şekil 7: Membranöz Labirent*

*Şekil 8: Santral işitme yolları*

*Şekil 9: Korti organı*

*Şekil 10: İlerleyen Dalga Modeli*

*Şekil 11: Sıçan orta kulağı. Lateralinden, timpanik membran kaldırılmış halde. Sıçan ve diğer mikrotipler, burada gösterildiği gibi, iki adet rotasyon aksına sahiptir.*

*Şekil 12: Büyüklüklerine Göre Kablosuz Ağlar*

*Şekil 13: ISM bant planı*

*Şekil 14: WLAN, temel alt yapı çalışma modeli*

## **TABLO DİZİNİ**

*Tablo 1: Kablosuz İletişim Teknolojileri*

*Tablo 2: Çalışma ve kontrol grupları.*

## **GRAFİK DİZİNİ**

***Grafik 1:** Yetişkin sıçanların ortalama DPgram grafiği.*

***Grafik 2:** Yetişkin sıçanların 3000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 3:** Yetişkin sıçanların 4000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 4:** Yetişkin sıçanların 5000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 5:** Yetişkin sıçanların 6000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 6:** Yenidoğan sıçanların ortalama DPgram grafiği.*

***Grafik 7:** Yenidoğan sıçanların 3000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 8:** Yenidoğan sıçanların 4000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 9:** Yenidoğan sıçanların 5000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

***Grafik 10:** Yenidoğan sıçanların 6000 Hz ortalama I/O değer grafiği.*

## **RESİM DİZİNİ**

***Resim 1:** Fotomikrografta Corti organının radyal kesiti ve içerdiği hücrelerin görüntüsü*

***Resim 2:** Stereosilialar*

***Resim 3:** İç ve Dış Titrek Tüylü Hücreler ve Stereosilyalarının elektronmikroskopik Görünümü*

***Resim 4:** Elektromanyetik dalgaya maruz bırakma yöntemi*

***Resim 5:** OAE ölçüm probu*

***Resim 6:** Sıçanda OAE uygulaması*

***Resim 7:** OAE ölçüm düzeneği*

## KISALTMALAR

AP	Erişim Noktası (Access Point)
Db	Desibel
DPOAE	Distorsiyon Ürünü Otoakustik Emisyon (Distortion Product Otoacoustic Emission)
DKY	Dış kulak yolu
DSH	Dış Saçlı Hücre
EMA	Elektromanyetik Alan
EOAE	Uyarılmış Otoakustik Emisyon (Evoked Otoacoustic Emission)
GHz	Gigahertz ( $10^9$ Hertz)
Hz	Hertz
ICNIRP	Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection)
İSH	İç Saçlı Hücre
kHz	Kilohertz ( $10^3$ Hertz)
LAN	Yerel Alan Ağları (Local Area Networks)
MHz	Megahertz ( $10^6$ Hertz)
OAE	Otoakustik Emisyon
ÖT	Östaki Tüpü
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
SOAE	Spontan Otoakustik Emisyon
SFOAE	Stimulus Frekansı Otoakustik Emisyon
TEOAE	Geçici uyarılmış Otoakustik Emisyonlar (Transient Evoked Otoacoustic Emission)
TM	Kulak Zarı (Timpanik Membran)
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

# 1. GİRİŞ

Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN, Wireless Local Area Networks), iki yönlü geniş bant veri iletişimi sağlayan, iletim ortamı olarak fiber optik veya bakır kablo yerine telsiz frekansı (RF, Radio Frequency) veya kızılötesi ışınları kullanan ve salon, bina veya kampüs gibi sınırlı bir alanda çalışan iletişim ağlarıdır.<sup>80</sup> Kurulum kolaylığı ve hareket serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan WLAN sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir. Kablosuz Yerel Alan Ağları Avrupa düzenlemelerinde Telsiz Yerel Alan Ağları, Radio Local Area Networks (Radio LAN) olarak adlandırılmasına karşın başta ABD olmak üzere birçok ülkede Wi-Fi, Wireless Local Area Networks, Wireless LAN, WLAN olarak adlandırılmaktadır.<sup>80</sup>

WLAN sistemleri iş adamları, yöneticiler, çalışanlar, küçük işletmeler, orta ölçekli işletmeler ve bireysel kullanıcılar gibi büyük bir kesime internet ve üyesi oldukları kurumsal ağa (İntranet) mobil olarak bağlanma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, WLAN sistemleri kullanıcılara mekândan bağımsız olarak kolay bir kablosuz ağ kurulumu ve geniş bant veri iletimi imkânı sunmaktadır.<sup>68,80</sup> Kablolu Local Area Networks'ların tüm özelliklerine sahip olan WLAN sistemleri bu ağların devamı ya da alternatifi olarak kullanılmaktadırlar. Kurumsal ve kişisel kullanımın dışında restoranlar, otobüs terminalleri, oteller, büyük alışveriş merkezleri, tren istasyonları, hava alanları, cadde ve sokaklar gibi kamuya açık alanlarda hotspotlar (erişim alanları) vasıtasıyla verilen kablosuz internet hizmetinin de hızla artmakta olduğu görülmektedir.<sup>68</sup>

Her ne kadar WLAN sistemleri neredeyse günlük yaşamımızın hayatsal bir bölümünü teşkil etse ve sağlığımız üzerinde menfi tesiri olduğuna dair açık bir delil bulunmasa da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu durum, kendileri ve çocukları için güvenli olup olmadığı konusunda kesin bir kanaate sahip olmayan insanlar için gittikçe artan bir endişe kaynağı teşkil etmektedir.

Biz bu çalışmada, WLAN sistemlerinden kaynaklanan elektromanyetik alanın (EMA) sıçanlarda iç kulak ve işitme üzerine olan etkilerini, Otoakustik Emisyon cihazının Distorsiyon ürünü otoakustik emisyon modunu kullanılarak araştırdık.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 KULAK EMBRİYOLOJİSİ

Kulağın üç parçasından en önce gelişimini tamamlayan iç kulaktır. Rhombensephalon'un her iki yanındaki ektodermden gelişir. 3. haftanın sonunda, embriyo 2-4 mm büyüklüğüne ulaştığında, yüzeysel ektodermin kalınlaşması ile lamina otica ortaya çıkar. Lamina oticadaki derin hücrelerin gelişmesi ile bu yapı kısa bir sürede içe doğru çöker. Bu şekilde nöral oluk ve iki tarafında akustiko-fasyal tümsek ortaya çıkar. Bunların birleşmesi ile iç kulak taslağı yüzey epitelden ayrılır ve bir vezikül haline gelir (Otocyst).<sup>2</sup>

Otik vezikül oluşurken bundan ayrılan bir hücre grubu vezikül ile rhombencephalon arasında statoakustik ganglionu yapar. 4. ve 5. haftalarda statoakustik ganglion üst ve alt olarak ikiye bölünür ve spiral ve vestibüler ganglionları yapar. Bir taraf işitme duyusu için Corti organına diğer taraf ise denge duyusu için utrikulus ve duktus semisirkularisin içine doğru ilerler. Embriyo 8 mm olduğunda vestibüler ve koklear taslaklar birbirinden ayrılır. Ventralde yer alan kısımdan Corti organı ve koklea gelişir. Dorsalde kalan kısımdan ise utrikulus, kanalis semisirkularis, duktus endolenfatikus ve duktus utrikulosakkularis gelişir. Koklear kanal 6. haftada gelişmeye başlar. 7. haftada kokleanın birinci turu oluşmuştur ve 8. haftanın sonunda 2+1/2 tur tamamlanmış olur. Bu sırada koklea ile sakkulusun geri kalan kısmı arasındaki bağlantı *ductus reuniens* halini alır. Daha sonra duktus koklearisin skala vestibüliye bakan tarafında membrana vestibularis (*Reissner membranı*), skala timpaniye bakan tarafı ise membrana basillaris oluşturur.<sup>2</sup>

Corti organının gelişmesi bazal turdan apekse doğru olur. Corti organı koklear kanalın duvarındaki hücrelerden gelişir. 22. hafta iç titretili hücreler, dış titretili hücreler, destek hücreleri ve Hensen hücreleri meydana çıkar. Akustikofasiyal ganglion üst ve alt diye ikiye ayrılır. Üstte bulunandan n.vestibularisin superior dalı, altta bulunandan ise inferior dalı doğar. VIII. kranial sinirin alt kısmı kalınlaşır ve koklear siniri meydana getirir.<sup>2</sup>

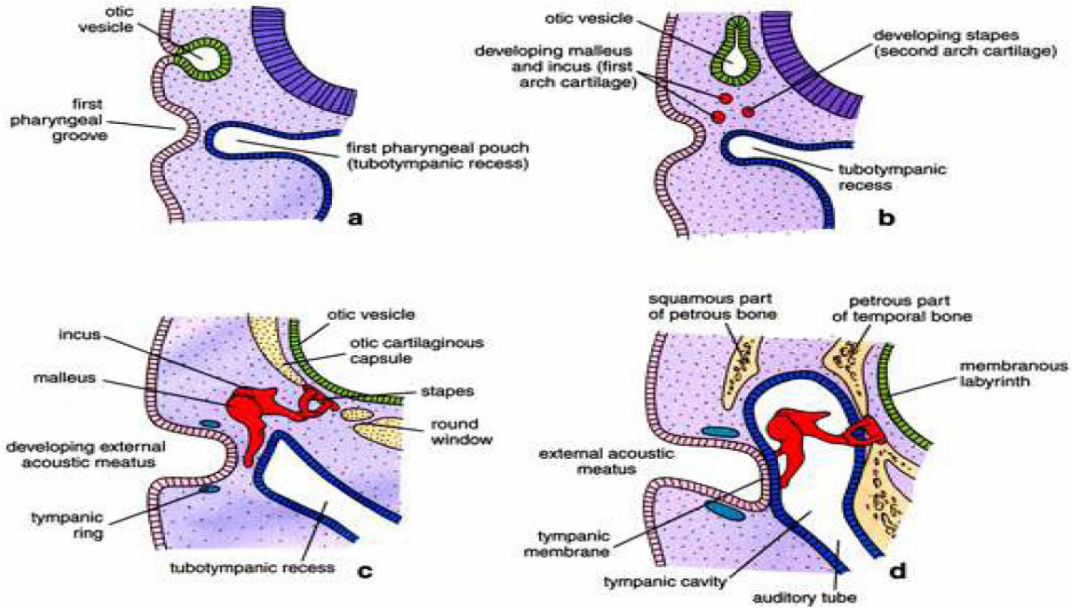
6. haftada otik vezikülün ventral kısmından koklear kanal gelişirken, aynı anda dorsal kısmından iç kulağın denge fonksiyonundan sorumlu kısımları gelişmeye başlar. Bu devrede otokistin iç yüzeyinde endolenfatik duktus ortaya çıkar. 14 mm büyüklüğündeki bir embriyoda (6. haftada) vestibüler parçada poşlar görülmeye başlar ve bunların periferik parçalarından yarım daire kanalları meydana gelir. 20 mm büyüklüğündeki embriyoda (7. haftada) vestibüler parça

utrıkül ve sakküle bölünür ve 30 mm çapındaki bir embriyoda (8. haftada) erişkin iç kulak çaplarına erişilir. 9. haftada vestibüler sistemdeki tüylü hücreler iyice şekillenir ve sinir uçları ile sinapslar yaparlar.

Yarım daire kanalları 6. haftada oluşmaya başlar. 7. haftada kanalların ampullalarında zar labirentteki epitelden crista ampullaris meydana gelir. 11. haftada maküladaki duysal epitel ve destek hücreleri ayrılır ve otolitler oluşur. 22. haftada gelişme tam olarak tamamlanır.

Makülalar 14. ile 16. haftalar arasında gelişirler. Önce otik vezikülün iç yanı kalınlaşır ve ortak maküla oluşur. Daha sonra maküla ikiye bölünür. Üstte bulunandan utikulus ve üst ve horizontal kanalların makülaları ve altta bulunandan sakkülus ve posterior yarım daire kanallarını meydana gelir. Membranöz labirentin geliştiği otik vezikülün etrafı başlangıçta mezenşim ile sarılıdır. Mezenşim zamanla değişerek önce kıkırdak, daha sonra da kemik labirenti (otik kapsül) yapar. Kemik labirent ile zar labirent arasında perilenfatik aralık oluşur.

Membranöz otik kapsül gelişmesini tamamladıktan sonra, otik kapsül kemikleşmeye başlar. Ondört kemikleşme noktası ile kemikleşir. Bu kemikleşme noktaları aynı zamanda meydana çıkmaz. Otik kapsülün kemikleşmesi altıncı ayın sonunda tamamlanır. Modiolusun gelişmesi otik kapsülden bağımsızdır. Kıkırdak modiolus koklear kanalın iç ucu çevresindeki mezenşimden gelişir ve çevrede oluşan otik kapsül kıkırdak ile birleşir. Kemik spiral lamina ise bazal turdan 23. haftada gelişmeye başlar.<sup>2</sup>

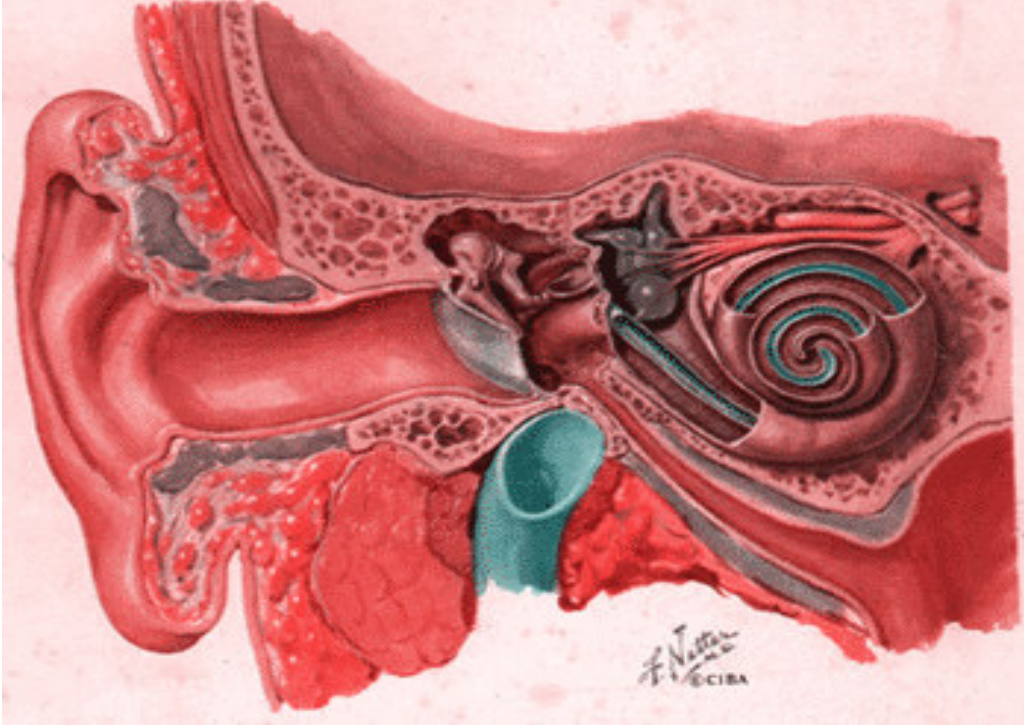


Şekil 1: Kulak embriyolojisi

## 2.2 KULAK ANATOMİSİ

Kulak işitme ve denge fonksiyonlarının periferik organı olup, temporal kemik içine yerleşmiştir. (Şekil 2) Görevleri ve yapı bakımından birbirinden farklı üç parçadan oluşur.

**a-** Dış kulak, **b-** Orta kulak, **c-** İç kulak.



*Şekil 2: Kulak yapıları koronal kesit*

### **Dış Kulak (Auris externa)**

Dış kulak üç kısma ayrılarak incelenir; Kulak kepçesi (*auricula*), dış kulak yolu (*meatus acusticus externus*), kulak zarı (timpanik membran-TM).

Kulak kepçesi, perikondrium ve deri ile örtülmüş ince elastik kartilajdan oluşan bir yapıdır. Kulak kepçesi; deri, dış kulak yolu kıkırdağı, kas ve bağlar aracılığı ile kafatasına yapışmıştır. Kulak kepçesinin beslenmesi *a. temporalis superficialis* ve *a. auricularis posterior* tarafından sağlanır. Venler ise arterlere eşlik ederek, *v. jugularise* dökülürler. Lenfatik akımı preauriküler, retroauriküler ve infraauriküler lenf düğümlerine dökülür. Kulak kepçesinin ön yüzünün duyarlılığını, V. kranial sinirin *n. auriculatemporalis* dalı sağlar. Diğer bölgeleri VII. Kranial sinir ve 2.-3. servikal sinirler inerve eder.<sup>2,7</sup>

Dış kulak yolunun uzunluğu, kulak zarının oblik yerleşmesi nedeniyle, arka duvarda 25mm, ön alt duvarda 31mm'dir. DKY, kıkırdak ve kemik olmak üzere iki parçadan oluşur. DKY'nun 1/3 dış kısmı kıkırdak, 2/3 iç kısmını kemik yapı oluşturur. Çocuklarda timpanik kemik henüz tam gelişmediği için DKY'nun kıkırdak kısmı daha uzundur. DKY'nu örten deride; ter, yağ ve serümen bezleri vardır. Kemik kısmı örten deri ise oldukça ince olup periostun üzerini örter ve bu kısım kıl yağ ve serümen bezleri içermez. Kıkırdak kısmın ön duvarında iki adet santorini fissürleri bulunur.<sup>8,42</sup>

DKY'nun beslenmesi eksternal karotid arterin *a. auricularis posterior* dalı ve *a. temporalis superficialis* dalı tarafından sağlanır. Venöz drenajı; *v. maxillaris* ve *v. jugularis externa* aracılığı ile *plexus pterygoideus*'a olur. Lenfatikleri anterior, posterior ve inferior auriküler lenf nodlarıdır. İnnervasyonunu V. kranial sinir sağlar. Ayrıca VII., IX., X. kranial sinirler ve üçüncü servikal sinir de dal vermektedir. X. kranial sinirden gelen dal Arnold siniri adını alır ve bu sinir DKY'nun temizlenmesi sırasında öksürük refleksine neden olabilir.<sup>7,8,24</sup>

Kulak zarı, DKY'nun sonunda yer alan ve orta kulak boşluğunu DKY'dan ayıran bir perdedir. Vertikal uzunluğu 9–10 mm, horizontal uzunluğu 8-9 mm ve ortalama kalınlığı ise 0,074 mm'dir. Dış yüzde DKY derisinin devamı olan kütanöz tabaka, iç yüzde orta kulak mukozasının devamı olan mukozal tabaka ve arada fibröz tabakadan oluşur. Kulak zarı *sulcus timpanicus* içine Gerlach halkası denen *anulus fibrosus* ile tesbit edilmiştir. Anulus üstte tam değildir. Anterior ve posteror malleolar ligamanlarla devam eder. Kulak zarının bu ligamanların üstünde kalan gevşek kısmına *pars flaccida* (Schrapnell zar), alttaki gergin kısmına da *pars tensa* adı verilir. Pars tensa kulak zarının büyük kısmını oluşturur ve ses dalgaları ile titreşen kısım burasıdır. Pars tensa'da bulunan fibröz tabaka, *pars flaccida* da yoktur. Pars tensa, kan damarları bakımından fakirdir. Bu yüzden dış etkilere olan dayanıklılığı daha azdır. Pars flaccida da sinirler ve zengin bir kapiller ağ bulunur. Pars tensa'nın medial yüzde orta kulak boşluğu ile komşu olup, buna karşılık *pars flaccida*'nın attik bölge ile komşuluğu vardır. Pars tensa'nın orta kısmında, yukarıdan aşağı doğru uzanan malleusun *manibrium mallei* parçası bulunur. Kulak zarının en çukur noktasına umbo denir.<sup>2,7,40</sup>

Kulak zarı *a. maxillaris interna*'nın dalı olan *a. auricularis profundus* dalı ile beslenir. Membranın dış kısmı V. IX. ve X. kranial sinirler tarafından, iç kısmı ise VII. ve IX. kranial sinirler tarafından innerve olur.

## Orta kulak (Auris Media)

Orta kulak, kulak zarı ile kemik labirent arasında bulunan, östaki borusu aracılığı ile dış ortamlarla, aditus yolu ile mastoidin havalı boşlukları ile bağlantısı olan, mukoz membranlarla örtülü bir alandır. Ortalama hacmi 0,5 cm<sup>3</sup> kadardır.

Orta kulak boşluğunun 6 duvarı vardır.<sup>2,42</sup>

- 1- Üst duvar (*Tegmen tympani*): Epitimpanumun tavanını oluşturur ve orta kranial fossa ile komşudur.
- 2- Alt duvar: Hipotimpanumun tabanını oluşturur. Juguler bulbus ve juguler ven ile komşudur. Ayrıca arka kısmında stiloid çıkıntı ile komşuluğu vardır.
- 3- Arka duvar: Mastoid ile ilişkilidir. Arka kısmında ayrıca stapes kası ve stapes tendonunun yapıştığı *eminentia pyramidalis*, facial sinirin ikinci parçası ile çok yakın komşuluk gösterir ve hemen lateralinden *chorda tympani* siniri orta kulak boşluğuna girer. *Eminentia pyramidalis* ile *chorda tympani* arasında *recessus facialis* vardır. *Eminentia pyramidalis* medialinde *sinus tympani* bulunur. *Recessus facialis*'in arka üstünü sınırlayan *fossa incudis* içerisinde inkus kısa kolu yer alır.
- 4- Ön duvar: Karotis internanın yaptığı çıkıntı ile östaki borusu ve tensör timpani kası bulunur. Karotis interna, %2 vakada çıplak olarak orta kulak mukozası altından çıkar. Bu varyasyona ek olarak %20 vakada kemik duvar çok ince olabilir.
- 5- İç duvar: Promontoryumun yaptığı çıkıntı aracılığı ile iç kulakla komşuluk gösterir. Promontoryum üzerinde *membrana tympani secundaria* ile kaplı yuvarlak pencere ve stapes tabanının yerleştiği oval pencere vardır.
- 6- Dış duvar: Yukarıdan aşağı doğru scutum, kulak zarı ve hipotimpanum olmak üzere üç kısma ayrılır.

Orta kulak boşluğunda üç tane hareketli kemikçik vardır. Malleus, inkus ve stapes. Kemikçikler orta kulak boşluğunun üst ve arka kısmına yerleşmişlerdir ve bu boşluğa bağlarla tutunurlar.<sup>2</sup>

Kemikçiklerin en büyüğü malleus adını alır. Malleus baş, boyun ve üç çıkıntıdan (manibrium mallei, anterior ve lateral çıkıntılar) oluşur. Manibrium mallei parçası ile kulak zarına yapışır. Malleusun üç adet asıcı ligamenti bulunur: Anterior malleolar, lateral malleolar ve süperior malleolar ligament. İnkus, bir gövde ve iki koldan oluşur. İnkusun gövde kısmı malleus ile, uzun kolu ise stapes ile eklem yapar. Medial ve lateral inkudomalleolar ligamanlar inkus

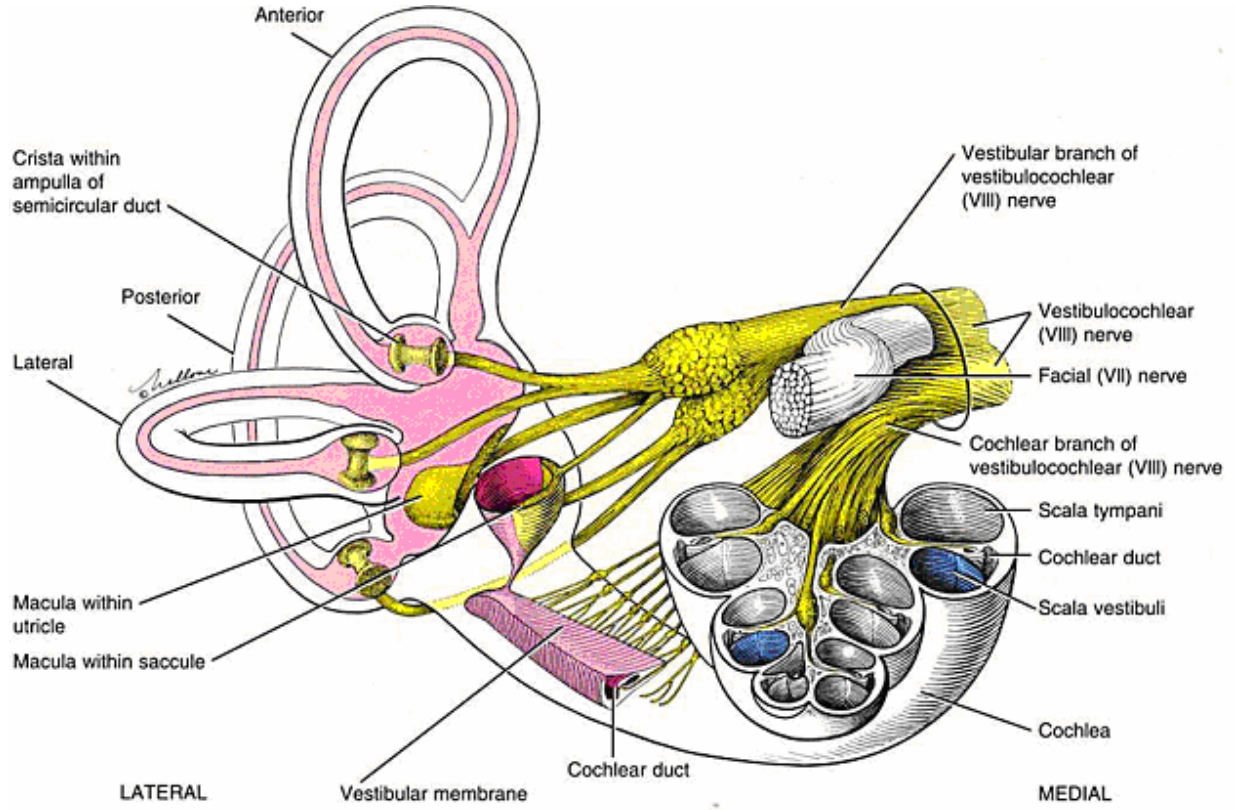
gövdesini malleus başına bağlar. Vücudun en küçük kemiği olan stapes: Baş, boyun, taban ve iki bacadan oluşur. Stapes tabanı *ligamentum annulare* ile oval pencereye sıkıca yapışır. Kemikçiklere yapışan kaslar ise tensör timpani kası ve stapes kasıdır. Tensör timpani kası kasıldığı zaman manibriumu içe ve arkaya çekerek kulak zarını tesbit eder. Stapes kas tendonu, *eminentia pyramidalis*'den çıkar ve stapesin ve stapesin boynuna ya da başına yapışır. Stapes kası fasial sinir tarafından innerve edilir ve kasıldığında yüksek şiddetteki seslerin iç kulağa geçişini engelleyerek koruyucu mekanizmaya yardımcı olur.<sup>7</sup>

Östaki tüpü, orta kulak boşluğu ile nazofarenksi birbirine bağlayan ve nazofarenkse doğru anteroinferolateral seyir gösteren, huni şeklinde bir yapıdır. Çocuklarda daha kısa ve düz bir seyir gösterir. Orta kulak tarafında kalan posterolateral 1/3 kısmı kemik, nazofarenks tarafındaki 2/3 anteromedial kısmı ise kıkırdaktan oluşur. Östaki tüpünün açılıp kapanmasından *m. tensör veli palatini*, *m. levator veli palatini* ve *m. salpingopharyngeus* sorumludur.<sup>7</sup>

Orta kulağın kanlanması hem internal hem eksternal karotid arterden sağlanır. Kulak zarı, malleus, inkus ve kavitenin ön bölümüne *a. maxilaris intena*'nın dalı olan *a. tympanica anterior*, arka bölgeye ve mastoid hava hücrelerine *a. auricularis posterior*'un dalı olan *a. stylomastoidea*'dan gelir. İnternal karotid arterin bir dalı olan *a. caroticotympanica* ön duvarın, *a. meningia media*'dan ayrılan *a. petrosus superficialis* dalı ise fasial sinirin ve genikülat ganglionun kanlanmasını sağlar. *A. temporalis superficialis*, *a. stylomastoidea* ile pleksus oluşturarak inkudostapedial ekleme gider. Venöz drenajı; *sinüs lateralis*, *bulbus jugulare*, *sinus petrosus superior*, *plexus pterygoideus* ve *v. meningea media* ile sağlanır. Sempatik ve duyu sinirleri *n. glossofaringeus*'un dalı *n. tympanicus* (Jacobson siniri) ve *n. caroticotympanicus*'tur. Lenfatik damarları, retrofarengeal lenf nodları ve parotis içindeki lenf nodlarıdır.<sup>24,40</sup>

## İç Kulak (Auris interna)

İç kulak, işitme ve denge ile ilgili reseptörlerin bulunduğu kısımdır ve temporal kemiğin petröz bölümünde yerleşmiştir.<sup>2,21</sup> İşitme ve denge organlarını barındırır. Yuvarlak ve oval pencereler yolu ile orta kulak ile koklear ve vestibüler akuaduktuslar yolu ile kafa içi ile bağlantılıdır. Kemik (*osseöz*) ve zar (*membranöz*) labirent olmak üzere iki kısımdan oluşur.<sup>2,42</sup>



*Şekil 3: İç kulak yapıları*

**Kemik (osseöz) labirent:** Kemik labirenti otik kapsül adı verilen sert kompakt kemik dokusu oluşturur. Zar labirent bunun içinde yer almaktadır. Aralarında perilemf adı verilen sıvı bulunur.<sup>8,72</sup>

Kemik labirent şu kısımlardan oluşur:

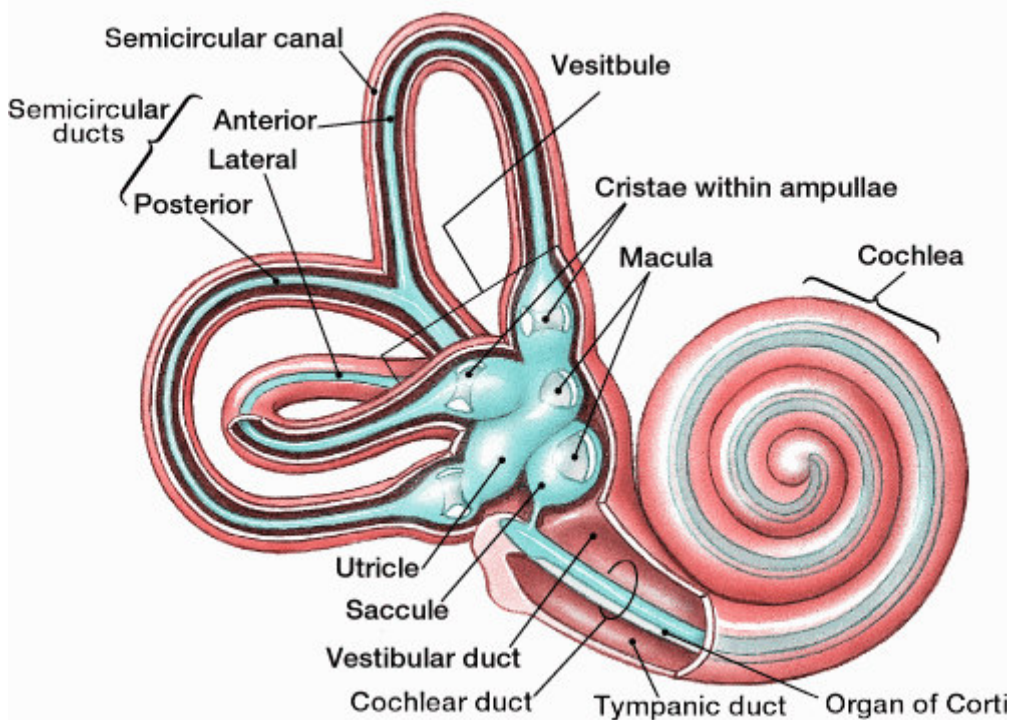
1. Vestibulum
2. Kemik semisirküler kanallar
3. Koklea
4. Aquaduktus vestibuli
5. Aquaduktus koklea

**Zar (membranöz) labirent:** Zar labirent kemik labirentin içinde aynı şekli alır. Zar labirent kemik labirenti tamamen doldurmaz. Onun ancak 1/3 kısmını doldurur.

Zar labirent şu kısımlardan oluşur:

1. Utrikulus
2. Sakkulus

3. Duktus semisirkularis
4. Duktus endolenfatikus
5. Duktus perilenfatikus
6. Duktus koklearis
7. Korti organı



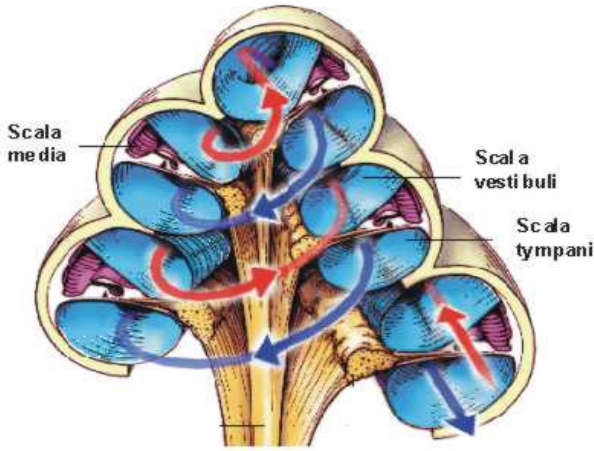
*Şekil 4: Kemik ve membranöz labirent*

### **Kemik (osseöz) labirent**

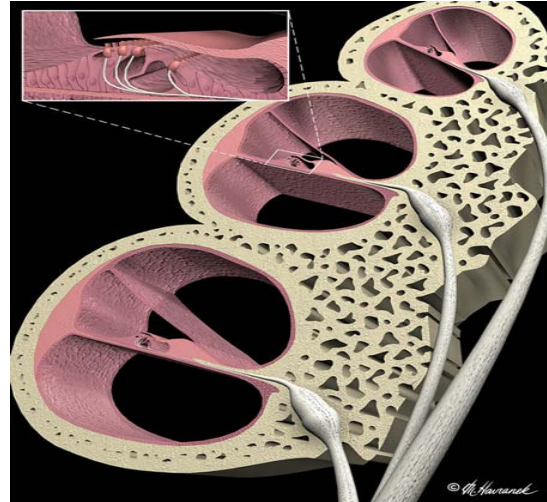
**Vestibulum:** Yaklaşık 4mm çapında düzensiz ovoid bir kavitedir. Dış yan duvarı yuvarlak ve oval pencere aracılığıyla timpanik kaviteye; ön duvar kokleaya komşudur. Üst ve arka duvarda semisirküler kanallarla birleşir. İç yan duvarda ise ön altta *sakkulus*'un yerleştiği *sferikal resess*, arka üstte ise *utrikulus*'un yerleştiği *eliptikal resess* bulunur.<sup>5,8</sup>

**Kemik semisirküler kanallar:** Superior, posterior ve lateral olmak üzere üç adet semisirküler kanal uzayın üç ayrı düzlemine yerleşmiştir. Her biri yaklaşık olarak bir dairenin 2/3'ü kadar olan bu kanallar *vestibulum*'a açılır.<sup>5,8</sup>

**Koklea:** İç kulağın ön kısmında bulunan ve şekli salyangoza benzeyen kemik bir tüptür. (Şekil 5-6) *Modiolus*, *kanalis spiralis koklea* ve *lamina spiralis ossea*'dan oluşur. Modiolus, kokleanın eksenini oluşturur. Modiolus içindeki ince kanallardan koklear damarlar ve VIII. kranial sinirin lifleri geçer. Bu kanalcıkların hepsi modiolusun spiral bir şekilde olmasından dolayı modiolusun spiral kanalı adı da verilen Rosenthall kanalına açılırlar. Bu kanalın içinde ganglion spirale de denilen Korti ganglionu bulunur. *Kanalis spiralis koklea*, modiolusun çevresini iki buçuk defa spiral olarak dolanan kemik bir yoldur. Bu yol, vestibulun ön alt kısmından başlar ve zirve veya kupula adı verilen kapalı bir uçla sonlanır. *Lamina spiralis ossea*, modiolustan uzanan kemik bir laminadır. Baziler membran adı verilen fibröz bir tabaka ile devam eder ve karşı duvara ulaşarak *kanalis spiralis kokleayı* ikiye böler. Vestibulumu açılan üst parçaya *skala vestibuli*, *fenestra koklea* aracılığıyla *kavum timpaniye* açılan alt parçaya *skala tympani* denir. İki skala; kokleanın tepesinde *helikotrema* denilen delikle birleşir. *Lamina spiralis ossea*'nın serbest kenarı ile *kanalis spiralis kokleanın* dış yan duvarı arasındaki baziller membranın üzerinde, korti organı (*organum spirale*) adı verilen işitme organı bulunur.<sup>5,8</sup>



**Şekil 5:** Koklea



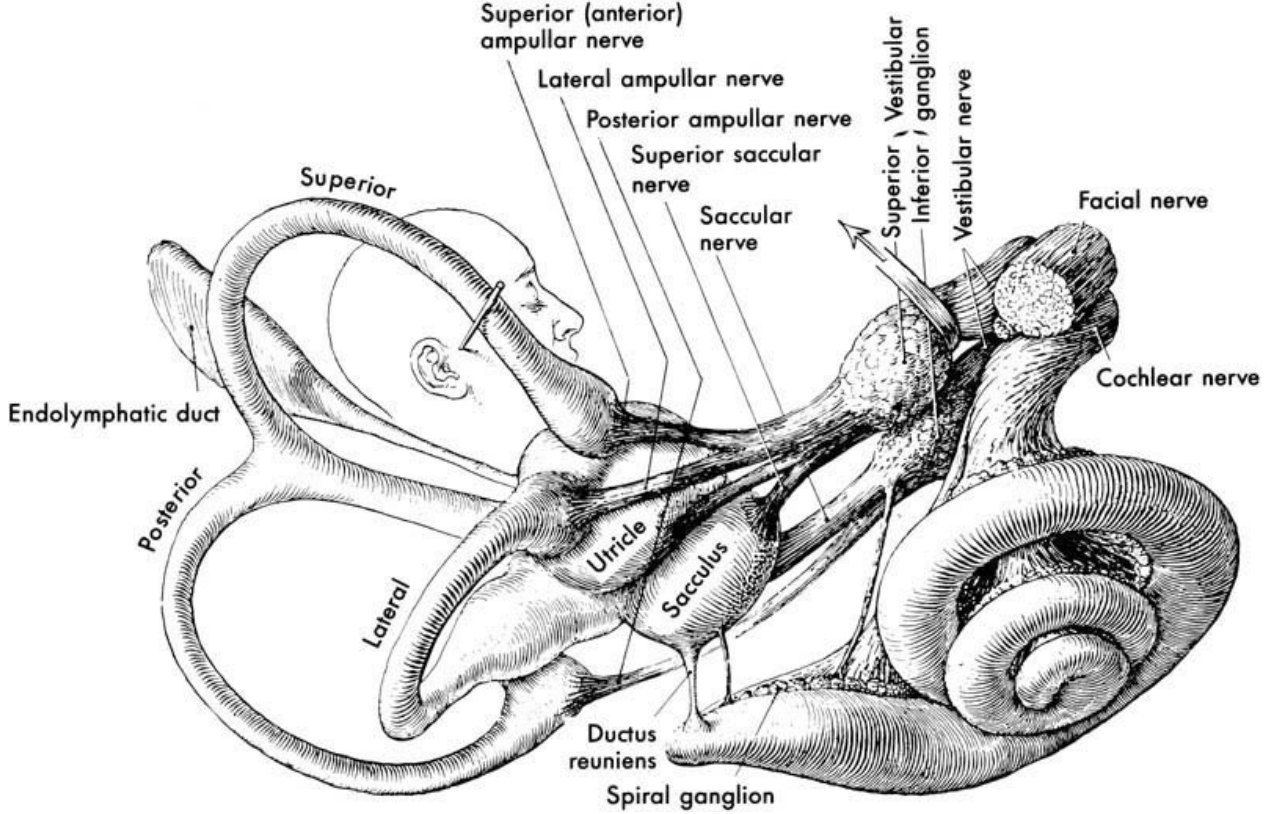
**Şekil 6:** Koklea ve Korti organı

**Aquaduktus vestibuli:** Vestibulumun iç yan duvarından başlayıp petroz kemiğin *fossa subarkuata* denilen çukurunda sonlanır. Bu kanalın içinde zar labirente ait *duktus endolenfatikus* ve onun ucunda *sakkus endolenfatikus* vardır.<sup>5,8,67</sup>

**Aquaduktus koklea:** Skala timpaniden başlayıp petroz kemik alt yüzünde subaraknoidal boşluğa açılan kemik kanaldır. Bu kanal içinde *duktus perilenfatikus* ve *v. kanalikuli koklea* vardır.<sup>5,8,67</sup>

## Zar (membranöz) labirent

**Utrikulus:** Vestibulumun iç yan duvarındaki *eliptikal reseste* bulunur. İç yan duvarında *makula utrikuli* adı verilen kısımda denge hücreleri bulunur ve buradan *n. utrikularis* başlar. Utrikulusta *duktus semisirkularis*'lerin açıldığı beş ve *duktus utrikulosakkularis*'in açıldığı bir adet delik bulunur.<sup>5,8</sup>



*Şekil 7: Membranöz Labirent*

**Sakkulus:** Vestibulumun iç yan duvarındaki *sferikal reseste* bulunur. Bunun da iç yan duvarında *makula sakkuli* adı verilen kısımda denge hücreleri vardır ve buradan *n. sakkularis* başlar. Sakkulusta bir tane *duktus utrikulosakkularis*'e ait, bir tane de sakkulusu *duktus koklearis*'e bağlayan *duktus reuniense* ait iki delik vardır.<sup>5,8</sup>

**Duktus semisirkularis:** Kemik semisirkuler kanalların içerisinde bulunurlar. Ancak kemik kanalların 1/5 kalınlığındadır. Diğer 4/5'lik kısmı perilemf ile doludur. Membranöz kanalların ampullaları içerisinde krista ampullaris adı verilen kabarık bölgelerde duyu epiteli mevcuttur. Buralardan *n. ampullaris anterior*, *n. ampullaris posterior* ve *n. ampullaris lateralis* başlar. Her üç *n. ampullaris* daha sonra *n. utrikularis* ve *n. sakkularis* ile birleşerek *n. vestibularis*'i oluşturur.<sup>5,8</sup>

**Duktus endolenfatikus:** *Duktus utrikulosakkularis* adlı borucuktan doğar. *Aquaduktus vestibuli* adlı kemik kanal içinde ilerler. *Fossa subarkuata*'daki *sakkus endolenfatikus* adlı şişlikte *dura mater* altında sonlanır.<sup>5,8</sup>

**Duktus perilenfatikus:** *Aquaduktus koklea* içerisinde bulunur ve *skala timpani* ile subaraknoid boşluğu birleştirir. İçinde perilenf bulunur.<sup>5,8</sup>

**Duktus koklearis:** İki ucu kapalı üç yüzlü bir boru şeklinde olan duktus koklearisin tepesinde bulunan kör ucuna *çekum kupulare*, taban kısmındaki kör ucuna ise *çekum vestibulare* denir. Çekum vestibulareye yakın bölümünden çıkan *duktus reuniens* aracılığıyla sakkulusa bağlanır. Duktus koklearis koklear kesitlerde üç duvarlı bir yapı olarak görülür.

a. Reissner membranı (*membrana vestibularis*): Duktus koklearisin üst duvarını oluşturur. *Skala vestibuli* ve *skala mediyayı* (*duktus koklearis*) birbirinden ayırır.

b. Ligamentum spirale koklea: Duktus koklearisin dış duvarını oluşturur. Lamina bazillarisin tutunduğu yerdeki çıkıntılı kenarına *krista bazillaris*; hemen yukarısındaki oluğa *sulkus spiralis eksternus*; bu oluşumu yukarıdan sınırlayan çıkıntıya *prominenta spiralis* denir. Dış duvar iç yüzünde *stria vaskularis* denilen damardan çok zengin bir tabaka mevcuttur.

c. Korti organı (*organum spirale*): Duktus koklearin içinde ve alt duvarını oluşturan lamina bazalisin iç üst bölümü üzerine oturur. Çekum kupulaya kadar uzanır.<sup>5,8</sup>

**İç Kulağın Damarları:** Labirentin arter, çoğunlukla *A. cerebelli anterior inferior*'dan ayrılır ve labirenti kanlandırır. Labirentin arter, basiller arterden hatta doğrudan vertebral arterden de çıkabilir. İç kulak kanalına VIII. kranial sinirle birlikte girer ve iki ana dala ayrılır. a. *vestibularis anterior* ve a. *cochlearis communis*. Bu dallardan, vestibülü ve kokleayı besleyecek olan dalcıklar çıkar. a. *vestibulocochlearis* ve a. *cochlearis*.<sup>22,36,72</sup>

Vestibulokoklear ve koklear arter, koklear kanalın lateral duvarında *stria vaskularis* ve spiral laminada kapiller ağ oluşturarak sonlanır. Koklear arter apekse doğru ilerlerken spiral modiolar arter adını alır. Bu arter bir end arterdir ve obstrüksiyonları sağırlığa yol açabilmesinden dolayı önemlidir.<sup>22</sup> Spiral modiolar arterden arterioller ayrılarak kapiller dallar verirler ve koklear beslenmeyi temin ederler

Kokleada damar sistemi, segmental düzene sahiptir. Spiral kapiller sistem, sarmal yapısı nedeni ile anastomozlara olanak tanır. Özellikle bazal kıvrımda anastomozlar sıktır ve kapiller alana geçebilecek şantlar mevcuttur.<sup>36</sup>

İç kulağın venöz dönüşü arterlerle birlikte seyreden yandaş venlerin birleşmesi yolu ile oluşan *v. labirentika* ile olur. Bu da *sinüs petrosus superior ve inferior, sinüs transversus ve v. jugularis interna*'ya dökülür. Lenfatik sistem endolenf ve perilenf olarak kabul edilir. Bunlarda beyin omurilik sıvısına (BOS) dökülürler.<sup>5,52</sup>

**İç kulak sinirleri:** Bipolar afferent sinirlerin hücre gövdeleri Rosenthal kanalındaki spiral ganglionu oluşturur. 2 tip nöron vardır. Tip 1 nöronlar myelinlidir, tüm popülasyonun %95'ini oluşturur ve iç saçlı hücrelere dağılırlar. Tip 2 nöronlar myelinsizdir, toplamın %5'ini oluştururlar ve dış saçlı hücrelere dağılırlar. Lifler kendi myelin tabakalarını kayb ettikleri yer olan habenula perforata yoluyla kemik spiral laminadan corti organına geçerler. Dış saç hücreleri için olan lifler, Deiters hücreleri arasındaki üç grup içerisinde olan spiral ve baziller membran boyunca kortinin tüneline geçerler. Terminal dallar spiral liflerden kaynaklanırlar ve çok sayıda dış saç hücrelerini inerve ederler. Bunun tersine her bir iç saç hücresi çok sayıda tip1 lifler ile inerve edilirler. Tüm sinir sonlanmaları kadeh şeklinde ve vezikülsüzdür. Granülsüz sonları ile birlikte bu afferent liflere ilaveten granüle olmuş birçok sonlanımlar hem dış saç hücreleri ile hem de afferent liflerin terminal sonlanımları ile kontakt yapacak şekilde gözlenmiştir. Bu granüle olmuş sonlar Rasmussen'nin olivokoklear demetindeki beyin kökünden kaynaklanan efferent liflerdir. Hücre gövdeleri *superior olivary kompleks* içerisinde yerleşmiştir. Lifler inferior vestibuler sinir ile birlikte ilk olarak beyin kökünde ilerler fakat vestibulokoklear anastomoz şeklinde kokleaya girerler. İntraganglionik spiral demetlerde lifler, internal spinaldemetler ile iç saç hücrelerini inerve eden afferent liflere dağılırlar. Alternatif olarak lifler korti tüneline ortasından geçerler ve iç saç hücrelerinin gövdelerine dağılırlar. Bu liflerin baskılayıcı olduğu sanılır.<sup>21</sup>

### 2.3. SANTRAL İŞİTME YOLLARI

8. sinir birkaç daldan oluşur; superior vestibüler sinir, sakküler sinir, inferior vestibüler sinir ve koklear sinir. Bu sinirler otik kapsülü değişik kanallardan geçerek iç kulak yoluna girerler ve buradan n. facialis ve n. intermedius ile birlikte seyrederler. Koklear ve vestibüler sinirlerin yaptığı olukta, fasiyal sinirle bu sinirler arasında yerleşmiştir.<sup>2</sup>

**Koklear çekirdekler:** Koklear çekirdekler bütün işitme sinir lifleri için ilk konaktır. Çekirdekler pontomedüller kavşakta bulunurlar ve simetrikler.

**Süperior olivary kompleks ve olivokoklear demet:** Superior olivary kompleks, ponsun gri cevherinin hemen arkasında ve ponsun alt kısmında yerleşmiştir.

**Lateral lemniskus:** En önemli çıkan yoldur. Beyin sapının yan tarafında bulunur. Koklear çekirdekler superior olivary kompleksi inferior kollikulusa bağlar.

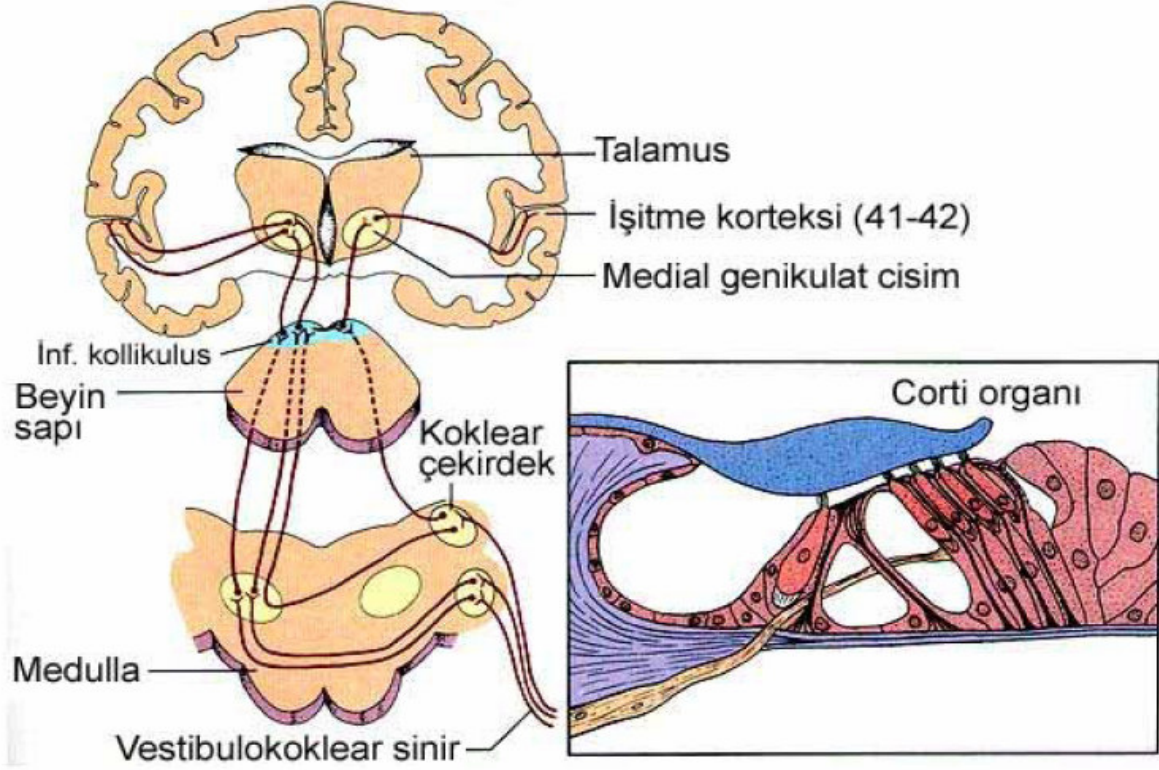
**İnferior kollikulus:** İki taraflıdır ve mezensefalonda yerleşmiştir. Beyin sapının tavanının bir kısmını yapar. Çıkan işitme lifleri için başlıca konağı oluşturur ve akustik bilgileri hazırlar. Alt beyin sapından gelenleri üst kısımdaki medial genikulat cisme ve işitme korteksine gönderir.

**Medial genikulat cisim:** Talamusta bulunur. İnfierior kollikulus ile işitme korteksi arasında bir ara istasyondur.

**İşitme Korteksi:** Primer işitme korteksi ve ilişkili sahalar olmak üzere iki kısma ayrılır. İlişkili sahalar hem akustik hem de diğer duysal girdileri alırlar. Primer işitme korteksi Brodmann sahası adını alır ve 41-42 diye numaralandırılmıştır. Temporal lobun üst kısmında yerleşmiştir. Spesifik ve nonspesifik ilişkili sahalar ile çevrelenmiştir.<sup>2</sup>

Korti organında oluşan uyarılar ganglion spiraledeki (Corti gaglionu) sinir hücrelerinin dendritleri tarafından algılanır. Bu sinir hücrelerinin aksonları *n.cochlearis* adını alarak bu uyarıları ponsdaki koklear çekirdeklere götürür. Koklear nukleuslar, ventral nukleus ve dorsal nukleus olmak üzere iki gruptur. Ventral nukleuslar da, anteroventral koklear nukleus ve posterolateral koklear nukleus olarak ikiye ayrılır. Koklear nukleuslardan çıkan nöronlar işitme yollarının ikinci nöronunu oluştururlar. Bunların çoğu çaprazlaşarak karşı taraf *superior olivary kompleksine* giderler ve az sayıda lifler ise ipsilateral superior olivary komplekse ulaşırlar. Superior olivary kompleks, işitme yolunun ilk merkezi olarak kabul edilebilir. Buradan kalkan lifler lateral lemniskusu oluşturarak inferior kollikusa giderler. İnfierior kollikulus mezensefalonda bulunur. Alt beyin sapından gelen uyarıları üst kısımdaki medial genikulat cisme ve işitme korteksine gönderir. İçerisinde 18 belli başlı hücre tipi ve işitme bakımından özel görevi olan 5 ayrı bölge vardır. Bu bölgenin işitme davranışları ile ilgili olduğu sanılmaktadır. Örneğin frekans ve şiddetin birbirinden ayrılması, gürültü ve stereo işitme gibi birtakım fonksiyonlarda görev yaptığı düşünülmektedir. Bu bakımdan inferior kollikulusun, işitsel uyarı için bir ara konak olmaktan çok daha önemli merkez olduğu kabul edilmektedir. İnfierior kollikulustan kalkan lifler

talamusta bulunan medial genikulat cisme, oradan da işitme korteksine giderler. İşitme korteksi, temporal lobda Sylvian yarığındadır.<sup>2</sup> (Şekil 8)



Şekil 8: Santral işitme yolları

## 2.4. İÇ KULAK HİSTOLOJİSİ

**Koklea:** Kokleanın en önemli ve duysal reseptör hücrelerinin lokalize olduğu yer olan duktus koklearis 3 bölüme ayrılır.

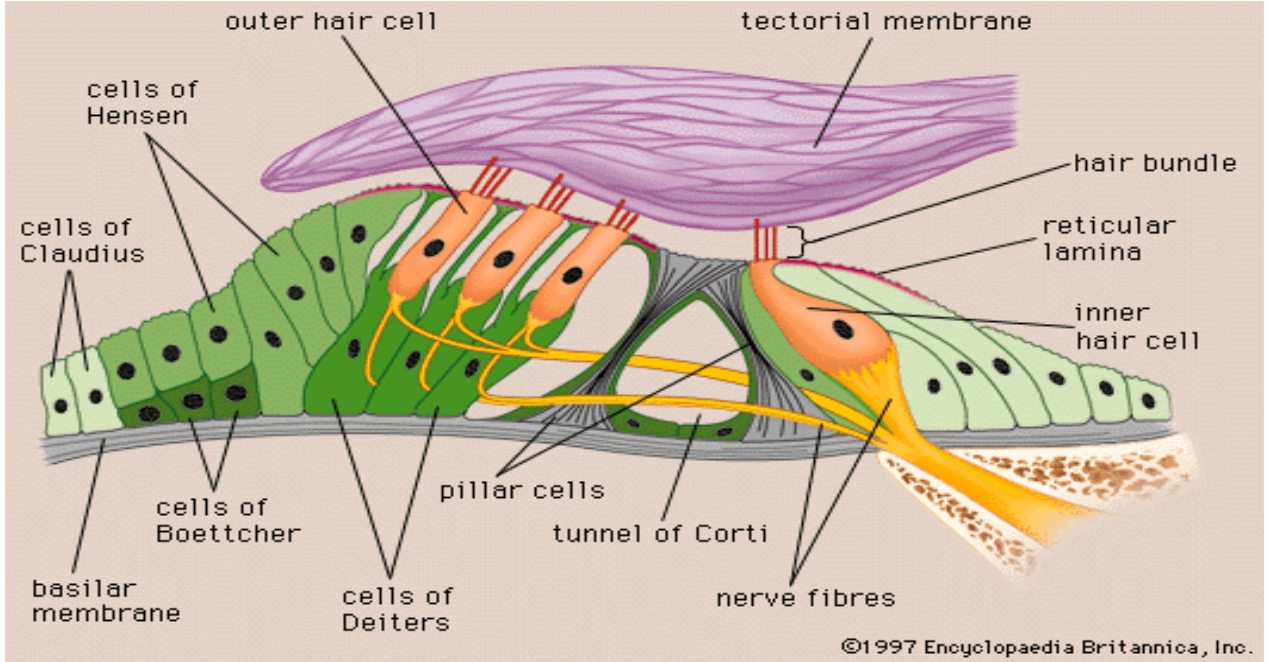
**Reissner membranı:** Skala vestibuli ve skala mediyayı birbirinden ayıran birer sıra hücre arasında yerleşmiş ince bir bazal laminadan yapılmıştır. Endolenfe bakan hücreler küboid yapıda olup apikal mikrovilluslar içerirler. Perilenfe bakan hücreler ise gevşek biçimde birbirlerine bağlı skuamöz yapıya sahiptir.

**Lateral duvar:** Duktus koklearisin yan ve dış duvarının yapar. En dışta çoğunluğu tip 1 fibroblast benzeri hücrelerden oluşmuş spiral ligament bulunur. Spiral ligamentin iç tarafında ise çok katlı yassı epitelden stria vaskularis bulunur. Stria vaskularis endolenfteki yüksek potasyum, düşük sodyum iyon potansiyelini sağlayan marjinal hücreler; fagositoz yeteneği olan intermediate hücreler; epitel ve endotelin bazal membranının birleşmesinden oluşan ve molekül geçişine izin

vermeyen bazal hücrelerden oluşur. Stria vasküaris ile bazal membran arasında iyon ileten enzimler içeren çok sayıdaki tip 2 fibroblast hücrelerinden oluşmuş spiral prominens bulunur.

**Baziller Membran:** Bağ dokusundan oluşan bir membrandır. Membran boyunca genişlik bazal turdan başlayarak apikale doğru artar. Baziller membran hareketlerinin frekansa özel olması, frekans analizi ve ses şiddetinin alınabilmesi, bu sayede olmaktadır. Baziller membranın dış tarafında endolenfle temas eden kübik küçük mikrovilluslu hücrelerden oluşan ve büyük moleküllerin geçişine izin vermeyen Cladius hücreleri; Cladius hücreleri taban kısmı ile baziller membran arasına yerleşmiş, tek katlı küboid hücrelerden oluşan, fibronektin üreten ve karbonik anhidraz içerdiğinden dolayı iyon ve sıvı trasportunda etkili olan Boettcher hücreleri bulunur.<sup>72</sup>

**Korti organı:** Baziller membran ve perilenfteki mekanik titreşimleri sinir liflerini uyaran elektrik akımlarına dönüştürür. Korti organı baziller membran, üzerine dayanmış destek hücreleri, spiral şeklinde dizilmiş çeşitli duyuşal hücreler ve bunların üzerini örten tektorial membrandan oluşur. (Şekil 9)

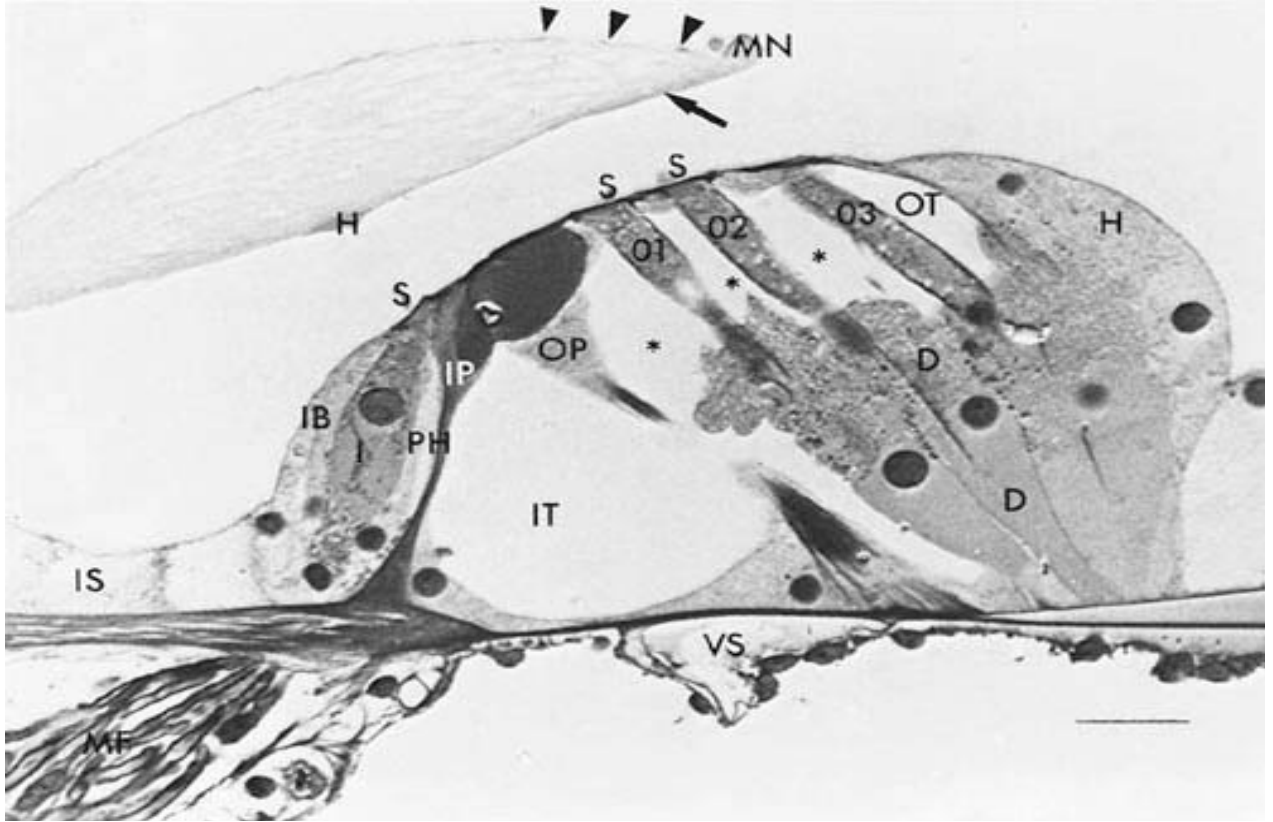


*Şekil 9: Korti organı*

## 1. Destek Hücreler

**Hensen hücreleri:** Korti organının yan sınırını oluşturur. Koklea apeksine doğru uzunlukları artar. Çekirdekleri sitoplâzmanın üst kısmında bulunur. Birkaç dizi halindedirler. Hensen hücreleri ile dış titreşimli hücreler arasında dış korti tüneli bulunur.<sup>2,72</sup>

**Deiters hücreleri:** Dış tüylü hücrelerin destekleyici hücreleridir. Baziller membrana bağlıdır. Dış titrekt tüylü hücrelerin çevresini sararlar. Sadece tabanda açıktır ve buradan da efferent ve afferent sinir lifleri dış titrekt tüylü hücrelere ulaşırlar. Dış titrekt tüylü hücreler ve Deiters hücreleri ve parmaksı çıkıntılarla retiküler membranın oluşmasına katkıda bulunurlar. Dış tüylü hücrelerle Deiters hücrelerinin parmaksı çıkıntıları arasında sıvı dolu boşluğa Nuel boşluğu adı verilir.<sup>2,72</sup>



**Resim 1:** Fotomikrografta Corti organının radyal kesiti ve içerdiği hücrelerin görüntüsü; Hensen hücreleri (H), Corti'nin dış tüneli (OT), Deiters hücreleri (D), Nuel Boşluğu (yıldızlar), üç sıra dış titrekt tüylü hücre (O3, O2, O1), dış sütun hücreleri (OP), Corti'nin iç tüneli (IT), iç sütun hücreleri (IP), iç titrekt tüylü hücre (I), tüylü hücre stereociliaları (S), iç parmaksı hücreler (PH), ve iç sınır hücreleri (IB). Ayrıca iç sulkus hücreleri (IS), myelinli sinir lifleri (MF), vasa spirale (VS), tektoryal membran ve Hensen şeriti (H), Hardesty membranı (ok), marjinal net (MN), ve cover net (okbaşları).

**Sütun hücreleri (pillar hücreler):** Dış ve iç olmak üzere iki tip pillar hücre vardır. Retiküler laminanın bazı kısımları ile korti tünelinin oluşmasına katkıda bulunurlar. Destek hücrelerinin tabanları geniş ve çekirdekleri yuvarlaktır. Aktin filamanlar ve mikrotübüllerden oluşurlar. Hücrelerin apikal uzantısı dikdörtgen biçiminde sonlanır ve retiküler laminanın oluşmasına

yardımlar eder. Ayrıca iç korti tünelinin oluşmasında katkıları vardır. Pillar hücrelerin parmaklı çıkıntıları, hem dış titreşim tüylerinin ve hem de iç titreşim tüylü hücrelerin yan sınırlarını yapar.<sup>2,72</sup>

**İç sınır ve falangeal (parmaklı) hücreler:** İç titreşim tüylü hücrelerle, iç sulkus hücrelerini birbirinden ayırır. İç sınır hücreleri korti organının en medial kenarını yaparlar ve membrana tectoria hücreleri ile devam ederler. İç falangeal hücreler, dış tarafta dış titreşim tüylü hücreleri birbirinden ayırırken iç tarafta iç titreşim tüylü hücrelerle iç sulkus hücrelerinin arasına yerleşir. Tabanda iç falangeal hücreler, iç titreşim tüylü hücrelerle birlikte myelinsiz sinir liflerini çevrelerler.<sup>2,72</sup>

## 2. Duyusal Hücreler

**Stereosilia:** Bunlara sensoriyal hücreler de denir. İç ve dış saçlı hücreler, hücre iletimi için önemli olan apikal stereosilia içerirler. (Resim 2) Uzunlukları tabandan tepeye doğru ve içten dışa doğru gittikçe artar. İç saçlı hücre stereosiliası, küp şeklindeki dış saçlı hücre stereosiliasından aşağı yukarı iki kat kalındır. Stereosiliası gerçek silia olmayıp saçlı hücrelerin kutikuler tabakasından uzanan, uzun ve sert mikrovilluslardır. Stereosilialar yatay ve dikey bağlantılarla birbirlerine bağlanmışlardır. Stereosiliaların rijit yapısı, içerisindeki polarize aktin filamentlerinin aksiyel olarak bulunmasına bağlıdır. Olgun koklear saçlı hücreler, vestibüler saçlı hücrelerin aksine kinosilium içermezler. Dış saçlı hücrelerin stereosiliaları "V" veya "W" şeklinde dizilmişlerdir. Saçlı hücrelerin apikal yüzeyleri altı ya da yedi stereosilia tabakası içerir.



*Resim 2: Stereosilialar*

**Dış saçlı hücreler:** Kortik organı içinde, apikal ya da bazal uçlardan Deiters hücrelerine ve bunların parmaklı çıkıntılarına bağlanır. İnsanda ortalama 13400 dış saçlı hücre vardır. Dış saçlı hücreler retikuler lamina içinde medialden laterale doğru dizilmişlerdir. Hücre uzunluğu apekse doğru artar ve 14 mikrondan 55 mikrona ulaşır. Saç hücrelerinin apikal yüzündeki parmaklı uzantılara stereosilia denir. En uzun dış saç hücrenin stereosiliası, tectorial membranın alt yüzüne



yüzü tektorial membranın limbal bölümü diye adlandırılan ince ekstrasellüler matriksle örtülüdür. Spiral limbus; bağ dokusu fibroblast benzeri hücreler, damarsal elementler ve ekstrasellüler filamentler içerir.<sup>72</sup>

**5. Tektorial Membran:** Spiral limbus, iç sulkus ve korti organının üzerini örten hücresiz, ekstrasellüler bir matrikstir. Temelde fibröz materyalden yapılmış ve endolenfle ıslanmış görülür. Altı bölüme ayrılır: limbal tabaka, fibröz matriks, marjinal bant, ağsı örtü, Hensen çubuğu ve Hardesty membranı. Tektorial membran korti organı seviyesinde dış saçlı hücreleri örter.<sup>72</sup>

**6. Kemiksi spiral lamina:** Modiolustan baziler membranın iç kenarına kadar uzanan ince, spiral bir kemik tabakadır. Spiral laminanın içi korti organına giriş çıkış yapabilen sinir liflerinin myelinizasyonlarını kaybedip korti organına girdikleri yerdeki, habenulae perforata denilen kanallarla delinir.<sup>72</sup>

## 2.5. İÇ KULAK FİZYOLOJİSİ

**İç kulak sıvıları:** İç kulak sıvıları perilenf, endolenf ve kortilenf olmak üzere üç çeşittir.

Perilenf BOS'tan kaynaklanmaktadır. Kimyasal olarak ekstrasellüler sıvıyı andırır,  $\text{Na}^+$  dan zengin ( $\text{Na}^+$  140mEq/L),  $\text{K}^+$  dan fakirdir. ( $\text{K}^+$  5,5-6,25mEq/L).

Endolenf yapımında stria vaskularis rol alır.  $\text{K}^+$  dan zengin ( $\text{K}^+$  140-160mEq/L),  $\text{Na}^+$  dan fakirdir. ( $\text{Na}^+$  12-16 mEq/L).

Kortilenf korti tüneli ve Nuel boşluklarında bulunur. BOS'tan kemiksi spiral laminanın kanalcıkları içinde seyreden akustik sinirin lifleri boyunca gelir. Endolenfin yüksek  $\text{K}^+$  içeriği nöral iletiyi engelleyeceği için korti tünelinin içinden geçen dış saçlı hücrelerin lifleri kimyasal olarak perilenfe benzeyen kortilenf ile sarılmıştır.<sup>20,51</sup>

## 2.6. İŞİTME FİZYOLOJİSİ

### Ses Dalgası ve Özellikleri

Ses enerjisi bir titreşimdir. Yayıldığı ortam moleküllerinin ardışık olarak sıkışmasına ve gevşemesine neden olur. Ses dalgalarının hızı, yayıldığı ortamın yapısına göre değişir. Katı ortamlarda en hızlı, gaz ortamlarda ise en düşük hızla yayılır. Sıvı ortamlarda yayılma hızı ise ikisinin ortasındadır. Deniz seviyesinde 20°C derecelik sıcaklıktaki hava tabakasında sesin hızı

344 m/sn olarak bulunmuştur. Sıvı ortamlarda ise havaya göre 4 kat hızlı olarak yayılır (1437 m/sn). Kemikte ise yayılma hızı 3013 m/sn olarak bulunmuştur.

Sesin saniyedeki titreşim sayısına sesin frekansı, tonu ya da perdesi denir. Sesin frekansı saniyedeki titreşim sayısı, Hertz (Hz) ile ifade edilir. İnsan kulağı 16–20000 Hz aralarında sesleri duyar. Sesin şiddet birimi desibeldir (dB) ve insan kulağı tarafından duyulan en küçük ses şiddeti 20 dB olarak tanımlanır. Bir ortamın ses dalgalarının yayılmasına gösterdiği dirence akustik direnç ya da empedans denmektedir. Empedans, ortam moleküllerinin yoğunluğu ve esnekliği ile orantılıdır. Ses dalgaları ortam değiştirirken her iki ortamın empedansı birbirine ne kadar yakın ise yeni ortama geçen enerji miktarı da o kadar fazla olur.<sup>2</sup>

## İŞİTME

Atmosferde meydana gelen ses dalgalarının kulağımız tarafından toplanmasından beyindeki merkezlerde karakter ve anlam olarak algılanmasına kadar olan süreç işitme olarak adlandırılır ve işitme sistemi denen geniş bir bölgeyi ilgilendirir. Dış, orta ve iç kulak ile merkezi işitme yolları ve işitme merkezi bu sistemin parçalarıdır.<sup>2</sup>

İşitme birbirini izleyen bir kaç fazda gerçekleşir.

**A) İletim (conduction) fazı:** İşitmenin olabilmesi için ilk olarak ses dalgalarının atmosferden dış ve orta kulak aracılığı ile korti organına iletilmesi gereklidir. Bu mekanik olay sesin bizzat kendi enerjisi ile sağlanır.

Aurikula ses dalgalarının toplanmasında, dış kulak yolu da bu dalgaların timpanik membrana iletilmesinde rol oynar.<sup>1</sup>

Sesin atmosferden korti organına iletilmesi sürecinde başın ve vücudun engelleyici, kulak kepçesi, dış kulak yolu ve orta kulağın yönlendirici ve/veya şiddetlendirici etkileri vardır. Ses dalgaları başa çarpınca yansır ya da az miktarda da olsa kırılır. Sesin geliş yönüne göre, ses dalgalarının çarptığı kulak tarafında ses dalgalarının basıncı artar aksi taraftaki kulak bölgesinde basınç düşer. Bu sesin iki kulağa ulaşması arasında 0,6 m/sn. bir fark oluşturur ki sesin geliş yönünü bu şekilde ayırt edebiliriz.

Orta kulak, timpanik membrana ulaşan ses dalgalarının iç kulaktaki sıvı ortama geçmesini sağlar. Ses dalgaları orta kulaktan iç kulağa geçerken yani direnci düşük olan gaz ortamdan direnci daha yüksek olan sıvı ortama geçerken ortalama 30 dB civarın da bir enerji kaybına uğrar.

Orta kulak, bu ses dalgalarındaki enerji azalmasını önlemek amacı ile empedans (direnc) denkleştirme görevi üstlenir.<sup>9,11</sup> Orta kulağın ses yükseltici etkisi üç mekanizmayla olmaktadır.

1. Kulak zarının işitmede rol oynayan pars tensa kısmı, hem kemik anulus içine sıkıca yerleşmiştir hem de manubrium maleiye sıkı bir şekilde yapışıktır. Kulak zarı kemiğe sıkı bir şekilde yapıştığı için anulusta titreşemez, ince olan orta kısımda titreşir ve titreşim enerjisi yarı sabit manubrium mallei'de yoğunlaşır. Bu şekilde ses enerjisi iki katına çıkar.

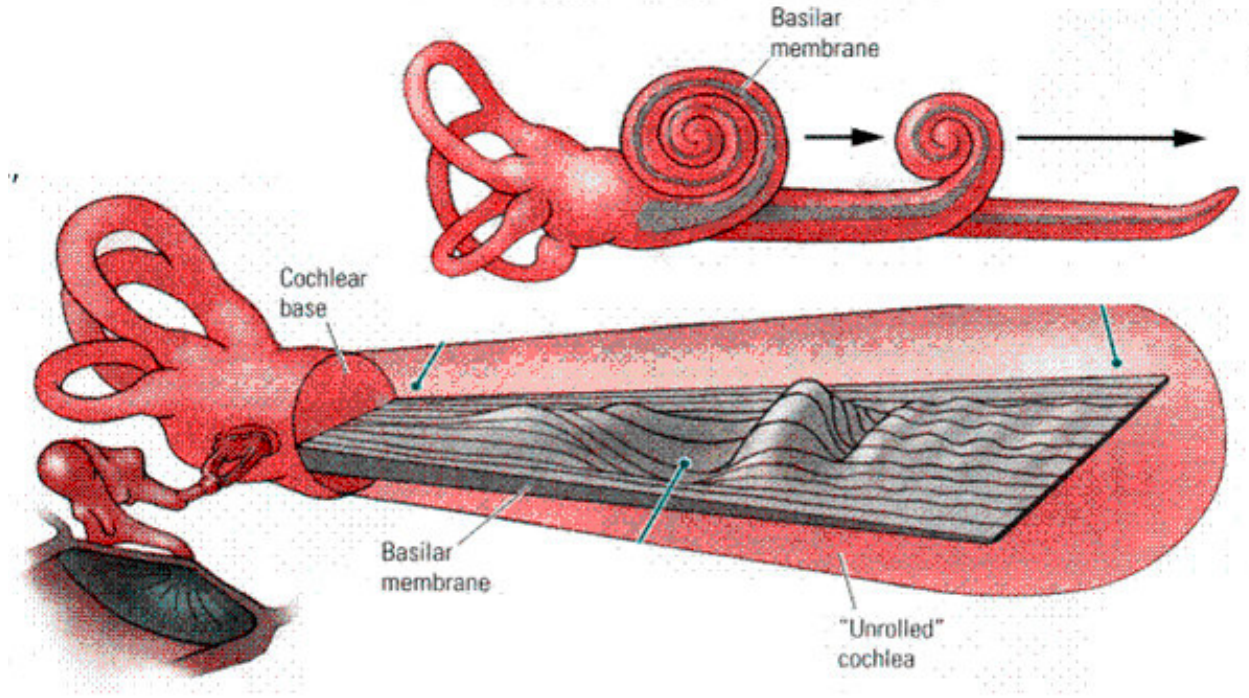
2. Kemikçikler bir kaldıraç gibi etki eder. Bu kaldıraçta, manubrium mallei ve inkusun uzun kolu kaldıracın kollarını, malleus başı da destek noktasını oluşturur. Ses dalgası ile inkudo-malleolar kompleks tek bir ünite gibi hareket eder. Bu şekilde kulak zarını titreştiren ve manubrium üzerinde yoğunlaşan ses enerjisi inkudo-malleolar kompleks aracılığıyla stapesin başına 1.3 kat güçlenerek ulaşmış olur.

3. Kulak zarı ve stapes tabanındaki titreşim alanları arasında ki oran yaklaşık olarak 18/1dir. Kulak zarının en periferik bölgelerinin titreşmediği düşünülürse efektif oran 14/1dir. Ses kulak zarı ile stapes tabanlarının birbirine oranı ile orantılı olarak 14 kat güçlenerek iç kulağa geçer.<sup>2,9,11,30</sup>

**B) Dönüşüm (transduction) fazı:** İç kulakta frekansların periferik analizi yapılır ve corti organında ses enerjisi biyokimyasal olaylarla sinir enerjisi haline dönüştürülür.<sup>11</sup>

**Ses dalgalarının perilenfe iletilmesi:** 1960 yılında Bekesy kobaylarda stroboskopik aydınlatma ile ses dalgalarının baziller membranda meydana getirdiği değişiklikleri araştırdı. Ses dalgalarının perilenfe geçmesi ile perilenf hareketlenir ve baziller membranda titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler bazal turdan başlayarak apikal tura kadar uzanır. Bekesy bu harekete ilerleyen dalga "travelling wave" adını vermiştir (şekil 10). Bazal membran bazal turda dar (0.12 mm), apikal turda daha geniştir (0,5 mm). Bazal turda baziller membran gergindir ve baziller membran genişliği arttıkça gerginlik giderek azalır. Bu fark nedeni ile ses dalgası, bazal turdan apikal tura kadar gezinen dalga ile götürülmüş olur. Bekesy'nin ortaya koyduğu diğer bir nokta da baziller membran amplitüdlerinin her yerde aynı olmadığıdır.

Baziller membran amplitüdü sesin frekansına göre değişiklik gösterir. Genellikle yüksek frekanslı seslerde bazal membran amplitüdüleri bazal turda en yüksektir. Buna karşılık alçak frekanslarda bazal membran amplitüdüleri apikal turda en yüksek seviyeye ulaşır.



**Şekil 10:** İlerleyen Dalga Modeli

Kokleada yaklaşık 3500 iç saçlı hücre (İSH) ve 13000 dış saçlı hücre (DSH) bulunmaktadır. Bu hücreler ses enerjisinin, yani mekanik enerjinin, sinir enerjisine dönüşümünde rol alırlar. En uzun dış saçlı hücre stereosiliyası tektorial membranın alt yüzüne bağlanır. Daha kısa siliyalar ve iç saçlı hücre stereosiliyası tektorial membranın alt yüzüne bağlı olmadığı düşünülmektedir. Bazal membrandaki yer değişimi, tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki DSH'lerini bükerek hareketlendirir. Tektorial membran ve retiküler lamina arasındaki sıvı kayma hareketi İSH'leri hareketlendirir. Böylece İSH hız, DSH yer değiştirme algılayıcısı olarak görev görür. Her saçlı hücrenin titreşim amplitüdünün en yüksek olduğu bir frekans vardır. Bu durum baziller membran amplitütleri için de geçerlidir.<sup>9,11,14,52</sup>

Kokleada 3 tür elektrik potansiyeli vardır.

1. Endokoklear potansiyel: Stria vaskularis tarafından oluşturulur.<sup>52</sup> Anoksiye ve oksidatif metabolizmayı bozan kimyasal ajanlara aşırı duyarlı olduğu için, varlığı stria vaskularisin aktif iyon pompalama sürecine bağlıdır.
2. Koklear mikrofonik: Büyük ölçüde DSH ve bunların meydana getirdiği K iyonu akımına bağlıdır. Baziller membran hareketleri ve ses uyarımları ile direk ilişkilidir. DSH harabiyetinde kaybolur.

3. Sumasyon potansiyeli: İSH içindeki elektriksel potansiyelin yönlendirdiği bir akımdır. Ses uyarısına, frekansına ve şiddetine göre değişir.<sup>2,11</sup>

**C) Sinir şifresi (neural coding) fazı:** İç ve dış saçlı hücrelerde meydana gelen elektriksek akım, kendisi ile ilişkili sinir liflerini uyarır. Bu şekilde sinir enerjisi frekans ve şiddetine göre corti organında kodlanmış olur.<sup>2,11</sup>

İnsanlarda işitme siniri 30000 liften yapılmıştır. Bu liflerin %90-95'i miyelinli, bipolar ve İSH'nde sonlanan tip I nöron şeklindedir. Buna karşılık %5-10'u miyelinsiz, unipolar ve DSH'nde sonlanan tip II nöron şeklindedir. Tıpkı saçlı hücrelerde olduğu gibi her sinir lifinin duyarlı olduğu bir frekans vardır.<sup>1,52</sup>

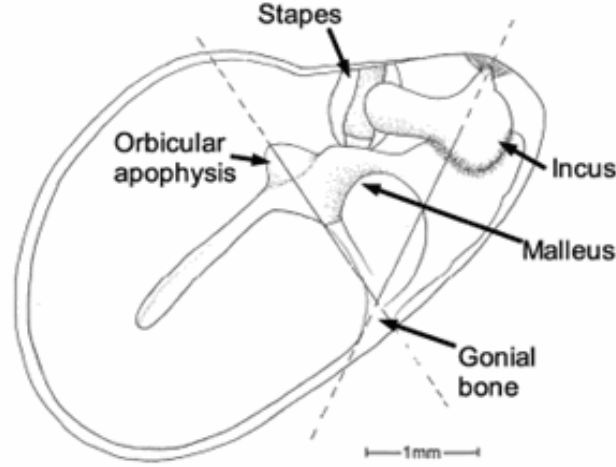
**D) Algı (cognition) – birleştirme (association) fazı:** Tek tek gelen bu sinir iletimleri, işitme merkezinde birleştirilir ve çözülür. Böylece sesin karakteri ve anlamı anlaşılır hale getirilir.<sup>30</sup>

Spiral gangliondaki sinir hücrelerinin aksonları n. koklearis adını alarak poststaki koklear nukleuslara ulaşırlar. Koklear nukleuslar, ventral ve dorsal olmak üzere iki gruptur. Düşük frekanslı seslerle oluşan uyarı ventral nukleusta, yüksek frekanslı seslerle oluşan uyarı dorsal nukleusta sonlanır. Bu liflerin çoğu beyin sapının karşı tarafına geçerek superior olivar komplekse katılırlar. Lifler buradan lateral lemniskus ve inferior kollikulus'a giderler. İnfior kollikulustan çıkan lifler medial genikulat nukleus aracılığı ile temporal loptaki Silvian fissürüne yerleşmiş işitme merkezine gelirler.<sup>1,11</sup>

## 2.7. SIÇAN KULAĞI ANATOMİSİ

Sıçan orta kulağı insan orta kulağındaki tüm anatomik yapıları içerir. Tahmin edileceği üzere, sıçandaki kemikçikler insandakilere göre çok daha küçük olup yaklaşık çeyrek boydadır.<sup>41</sup> Sıçan orta kulak morfolojisi, Fleischer tarafından (1978) mikrotip organizasyon ortaya konularak tanımlanmıştır. Bu dizaynın iki ayırt edici özelliği vardır:

- 1) Malleus, gonial bone bölgesinde timpanik anulusa yapışmıştır.
- 2) Malleus başı üzerinde orbiküler apofiz olarak adlandırılan geniş bir kütle vardır.



**Şekil 11:** Sıçan orta kulağı. Lateralden, timpanik membran kaldırılmış halde. Sıçan ve diğer mikrotipler, burada gösterildiği gibi, iki adet rotasyon aksına sahiptir.

İnsanlarda, timpanik membran alanı  $\sim 66 \text{ mm}^2$  dir. Oysa sıçanlarda yalnızca  $\sim 11 \text{ mm}^2$  dir.<sup>82</sup> Pars tensa ve pars flaksidanın rölatif boyutları da tamamen farklıdır. İnsanlar, timpanik membranın total büyüklüğü ile kıyaslığında çok küçük bir pars flaksidaya sahip iken, sıçanlarda pars flaksida timpanik membranın 1/4 ila 1/3'ünü oluşturur.

Sıçan orta kulağının küçük bullası ve genellikle kapalı olan, horizontale yakın östaki tüpü (ÖT) vardır. ÖT mukozası, büyük yoğunlukta goblet hücreleri, daha az miktarda da muköz glandlar içerir.<sup>17</sup> Sıçan ÖT açılma basıncı insandakine benzerdir.<sup>35</sup> ÖT iki ayrı silyalı ve sekretuar kanal yoluyla epitimpaniuma bağlıdır. Sıçan ve insan mukozası mukosilyer transport sistemi dağılımında benzerlik gösterir.<sup>3</sup> Sıçan orta kulağı temporal kemikte yerleşmiş ve iyi korunmuştur. Ancak timpanik membrana muayene için sıradan bir otomikroskop ile kolayca ulaşılabilir. Sıçan orta kulağının üç boyutlu yapısı insaninkine benzer. Ancak mastoid hücreler yerine kavite tabanından çıkıntı yapan timpanik bulla mevcuttur.<sup>33,34</sup> Pars tensa ve geniş pars flaksidası ile timpanik membran, lateral duvarın büyük kısmını oluşturur. Medial duvarda promontoryum, yuvarlak pencere, stapes ile birlikte oval pencere ve ÖT'nün timpanik ağzı yerleşmiştir. Silyalı ve sekretuar iki kanal dışında timpanik kavite, basit, skuamöz-küboidal, silyasız epitel ile döşelidir. Patolojik koşullar esnasında bu basit epitel değişip, silyalı ve sekretuar hücreler kanallar dışında yüksek sayıda görülür.

İnsanlarda, malleus-inkus kompleksi genellikle, en azından düşük frekanslarda, iki asıcı ligaman doğrultusunda olan rotasyonel aksa sahiptir. Bu iki ligaman; anterior malleolar ve

posterior inkudal ligamanlardır. Fleischer'a (1978) göre, mikrotip kulakta, malleusun timpanik anulusa belirgin fiksasyonuna rağmen kompleks hala rotasyon yapabilir. Bu ilişki ve inkus kısa kolunun bağlantısı insandakine benzer rotasyonel aks oluşturur. Sıçanlar ile insanlar arasındaki farklılardan bir tanesi, sıçanlarda manubriumun, rotasyon aksına paralele yakın yerleşmesidir. Fleischer (1978), genişletilmiş model üzerinde yaptığı çalışmalarda orbiküler apofizin meydana getirdiği ek kitlenin, malleus-inkus kompleksinin yerini değiştirdiğini bulmuştur. Bu da yüksek frekanslarda malleusun transvers bölümü doğrultusunda ikinci bir rotasyon aksı oluşturmaktadır. Bunlara dayanarak, mikrotip kulakların iki tane rotasyon aksı olduğu ve malleusların iki adet net olarak tanımlanmış vibrasyon modu olduğu olduğu sonucuna varmıştır.

**Denge organı:** Diğer memelilerde olduğu gibi, denge organı osseoz labirentle çevrelenen membranöz labirentti içerir. Anterior semisirküler labirentin dorsolaterali gösteren verteksi 7.0 mm uzunluğa (crus commune 1,3 mm) ve 0,21 mm genişliğe sahiptir. Ampullası 0,83 mm uzunluk, 0,61 mm genişliğindedir. Kanal sagittal düzlemde 27,2°, transvers düzlemde 52,7° açı yapar. Kanalı laterale yönelen posterior semisirküler kanalın verteksi 6,0 mm uzunluğunda ve 0,22 mm genişliğindedir. Ampullası 0,83 mm uzunluğunda ve 0,6 mm genişliğindedir. Crista ampullarisin serbest kenarı kaudodorsal yönündedir. Kanalın düzlemi sagittal düzlemde 27,6° ve transvers düzlemle, 60,7° açı yapar.

Lateral semisirküler kanal laterale kıvrılır; uzunluğu 6,1 mm, genişliği 0,22 mm'dir. Ampullası 0,79 mm uzunluğunda, 0,55 mm genişliğindedir. Cristanın serbest kenarı kaudale yönelir. Horizontal düzlemle (okspital kemiğin pars horizontalisi) kanal 28,4° açı yapar. Lateral semisirküler kanalın nonampuller ucu kommunikasyonu sağlamak için posterior kanalın ampuller ucu ucuna ulaşır ve birleşir.

Anterior ve posterior semisirküler kanallar 102,3°'lik bir açı oluştururlar, bu açı anterior ve lateral kanallar arasında 89,7°, posterior ve lateral kanal arasında 89,8° dir.

Utrikulus, bir tarafta anterior ve lateral kanalın ampullasının diğer tarafta commune krusun ve posterior kanalın ampullasının arasında iç şeklinde vesikül (kese) gibi yerleşmiştir. Onun uzun eksenini 1,3 mm, vertikal çapı 0,71 mm, horizontal çapı 0,4 mm'dir. Kaudal bölümün medial duvarından (makula utrikulusun yaklaşık 120-150µ arkasından), endolenfatik kanal (endolenfatik kese ile birlikte 3,3 mm uzunluğunda) çıkar. Aquaductus vestibüli dorsale ve mediale ilerler. Bir valvle desteklenen orgine yakın bölgeden, sacculus doğru ventromedial yönde ilerleyen ductus utrikulosakkularisi oluşturur. Makula utrikuli 0,6 mm uzunluğu ve 0,51

mm genişliğiyle neredeyse sferik (küre) şeklindedir. Utrikulusun ventrolateral duvarında lokalizedir. Yüzeyi dorsomediale yönelmiştir. Sacculus, laterale doğru yassılaştırılmıştır ve kross kesitte üçgen şeklindedir. Yüksekliği 0,95 mm, horizontal uzunluğu 0,44 mm'dir. Ductus reuniens 1mm uzunluğundadır. Kıvrık yüzeyi esasen laterale yönelir. Uzunluğu 0,6 mm, genişliği 0,48 mm'dir.<sup>33</sup>

**İşitme organı:** Kokleanın eksenini daire tam olarak sığital ve horizontal düzlemde yerleşmiştir. Koklea tarafında yapılan dönüş sayısı  $2^{1/4}$  veya  $2^{1/2}$  olarak belirlenmiştir. Koklear kanalın uzunluğu 12,16 mm'dir. Membranöz kokleanın yapısı diğer memeliler gibidir.<sup>33</sup>

## 2.8. OTOAKUSTİK EMİSYONLAR

Otoakustik emisyonlar (OAE), insanların ve hayvanların dış kulak yolundan tespit edilebilen, koklear kaynaklı, hafif şiddette akustik enerji yayılımlarıdır. OAE'lar perinöral bir olay olup, stapes tabanı ile afferent koklear sinir liflerinin sinapları arasında meydana gelir.<sup>66</sup> Oluşumunda, dış tüylü hücrelerin önemli rolleri olduğuna dair bir çok kanıt mevcuttur. İşitme kaybının olduğu frekanslarda emisyonların saptanmayıp, işitmenin normal olduğu frekanslarda emisyonun saptanması, OAE'ların koklear orjinli olduğunu gösteren bulgulardandır.<sup>58</sup>

Bazal membran titreşimleri, uyarı şiddetindeki artışa paralel olarak orta kulaktaki lineer artışa karşın, nonlinear özellikler gösterir. Buna göre orta veya yüksek şiddette olan uyarılar, OAE amplitüdlerinde çok kısıtlı miktarda (nonlinear tarzda) artışa yol açar. OAE amplitüd gelişimi, çoğu kulakta düşük amplitüdü uyarılar için artan uyarı amplitüdü ile lineer artış gösterir. Ancak uyarı amplitüdü arttıkça, OAE oluşumunda non lineer olur. Bu da OAE'ların koklear orjinli olduğunu destekler.<sup>2,44</sup>

Koklear kaynaklı herhangi bir sesin dış kulak yolundan alınarak kaydedilmesi sonucu OAE cevapları ortaya çıkar. OAE'lar iki grupta tanımlanmaktadır.<sup>66</sup>

- 1- Spontan otoakustik emisyonlar.
- 2- Uyarılmış otoakustik emisyonlar.

### Spontan otoakustik emisyonlar

Spontan otoakustik emisyonlar (SOAE), dışarıda akustik uyarı olmadan kendiliğinden oluşan koklear kaynaklı, tonal, düşük seviyedeki dar bant sinyalleridir. SOAE'lar normal işiten kulakların % 40-50'sinde saptanabilen, amplitüdüleri -10 ile +20 dB SPL (Sound Pressure Level)

civarında olan saf tonlardır.<sup>58,66</sup> En yüksek 1-2 kHz arasında alınmasına karşın diğer OAE'lar daha yüksek frekanslarda saptanabilmektedir.<sup>66</sup> SOAE'nun varlığı, emisyonun görüldüğü frekans bölgesinde işitmenin normal sınırlarda olduğunu destekler. Ancak sağlıklı bir popülasyonda, kulakların sadece bir kısmında spontan emisyon alındığı için klinik uygulamalarda fazla kullanılmamaktadır. Ayrıca şiddetli tinnitus vakalarının SOAE'lar ile bağlantısı olduğu varsayılmaktadır.

SOAE'lar diüurnal ritim gösterir. Sabahtan akşama kadar ortalama frekans azalması 3 Hz'i bulur. Bu diüurnal ritim, vücut ısısının sabah en düşük olması ve akşama doğru 1°C artması ile vücuttaki hormonal değişikliklere bağlanabilir. SOAE frekansı menstruasyondan önce en az iken, ovulasyon sonrasında en fazla hale gelirler. BOS basıncının yüksek olduğu yatar pozisyonda SOAE frekansının, dik oturur pozisyondakine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. BOS basıncı, koklear akuadukt yoluyla kokleada ki perilenfatik basıncı etkiler. Bu basınç değişikliği, SOAE'ların frekansını etkileyen önemli bir faktördür.<sup>66</sup>

**Uyarılmış (evoked) otoakustik emisyonlar (EOAE):** EOAE'ların üç tipi vardır:

- a) SFOAE (Stimulus frekansı OAE)
- b) TEOAE (Geçici uyarılmış OAE)
- c) DPOAE (Distorsiyon ürünü OAE)

#### **Stimulus frekansı OAE (SFOAE)**

SFOAE, düşük seviyedeki uzun süreli sabit tonlarla akustik uyarı sonucu oluşan cevaplardır. Frekans spesifikdir, ancak uyarılar sürekli verildiği için cevaplarla uyarıların ayrı olarak algılanmasında güçlük vardır. Bu nedenle ve teknik zorluklardan dolayı klinik kullanımı kısıtlıdır.

#### **Geçici uyarılmış OAE ( TEOAE )**

TEOAE, kısa klik gibi akustik uyarılarla elde edilir. Bu kısa akustik uyarılar sonrası, zaman averajlama yöntemi ile kayıta geçmektedir. Uyarının özelliği ise geçici olmasıdır. Ölçüm için genellikle 80 dB SPL şiddetinde bir ses kaynağı ve 260 adet uyarı kullanılır. TEOAE'ların zayıf olması (30 dB'in altında ) ve uyarı şiddetindeki artışla nonlineer olarak gelişmesi nedeniyle, sinyallerin incelenmesinde nonlineer metod için yazılımlar kullanılır. Oluşan cevaplar uyarılara göre gecikerek ortaya çıktığı için, 20 milisaniyelik kayıt aralığının ilk 2 milisaniyesini sıfırlanarak çizdirilir. TEOAE'lar tüm kokleayı uyaran ve geniş band sinyal olan klik şeklindeki uyarıya cevap olarak meydana geldikleri için, frekanslar hakkında DPOAE'lar kadar spesifik

bilgi verememektedir. TEOAE'lar işitmesi normal olan vakaların % 98-100'ünde vardır. İşitme kaybı 25-30 dB'i geçerse saptanamaz.<sup>25,66</sup>

Yaşlanma ile TEOAE cevabı istatistiksel olarak anlamlı oranda düşmektedir. TEOAE, 60 yaşın üzerinde olan olguların yaklaşık % 35'inde saptanabilir.<sup>58,66</sup> Bu azalma, sadece yaşa bağlı değil, aynı zamanda kişilerin işitme düzeyleri ile de ilgilidir.<sup>29</sup>

### **Distorsiyon ürünü OAE (DPOAE)**

Sağlıklı koklea, bitonal stimuluslar ile intermodülasyon ürünleri denen ek frekansların ortaya çıkması ile sonuçlanan pek çok farklı distorsiyon ürünlerine yol açar. Bu emisyonlar pek çok frekansta ortaya çıkmakla beraber en belirgin emisyon 2f1-f2 frekansı, DPOAE'ların bazal membranda oluşma yerinden kaynaklanmaktadır.<sup>10,53,54,55</sup>

Oluşan DPOAE'nun amplitüdü, stimülasyonda kullanılan tonların şiddetleri ile yakın ilişki gösterir. DPOAE'nun teknik prosedürleri TEOAE'den çok daha komplekstir.<sup>55</sup> Kulak yoluna iki ayrı frekansta ses vermek için iki minyatür speaker ve bir minyatür mikrofon konması gerekir.<sup>54</sup> Uyarıların frekans ve şiddet oranları ölçümlerin sonuçlarını etkilemektedir. Tüm bu zorluklara rağmen DPOAE'lar periferik işitme sistemi ile ilgili çok ayrıntılı bilgiler verebilir. Pek çok çalışmada, 1kHz üzerindeki frekanslarda; pure ton odyogramla, DPOAE arasında frekansa spesifik bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Stimulatör tonların f2 şiddetleri düşürülerek DPOAE amplitüdündeki değişiklikler kaydedilir. Bu durum bize cevapların non-linear olduğunu yani kokleadan kaynaklandığını, enstrumantasyon artefaktı olmadığını kanıtlar.<sup>54,55</sup>

DPOAE ile kulağı test etmek için kısa bir geçici ses verilir, verilen uyarıdan kokleanın kendi sesini ayırt etmek için koklea içindeki tepki her bir geçici ses arasındaki sessiz periyotta ölçülür. Farklı frekanslarda iki sürekli ses ile DPOAE'nun bir parçasını ele geçirmek kolaydır. İç kulağın bu yan ürünü ya da DPOAE potansiyel olarak TEOAE ile aynı klinik değere sahiptir. 60dB SPL seviyesinde ve daha üzerinde DPOAE testinin yüksek özelliği ve düşük hassasiyeti, TEOAE testinin düşük özelliği ve yüksek hassasiyetini tamamlar. 1 kHz altındaki frekanslarda kokleanın cevaplarını kaydetmede TEOAE daha başarılıdır. DPOAE sinyal çıkarma özelliği 4-5kHz üzerindeki frekanslarda, TEOAE'dan daha üstündür ve konuşma frekansı üzerinde işitme kaybı için belirleme yaparken önemlidir.<sup>32</sup>

DPOAE'ların yüksek hassasiyeti ve iyi frekans özelliği normal duyma fonksiyonu olanları, DSH'nin ciddi lezyonu olan olgulardan ayırmaya imkân verir. DSH lezyonu ciddi

olduğunda, özellikle düşük frekanslar için DPOAE, 50 dB üzerinde duyma seviyesi değişimi olanları ayırmaya izin verir.<sup>10</sup>

Bununla birlikte, DPOAE'lar pure ton işitme eşiklerini değerlendirmek için uygun değildirler. DPOAE'lar normal ve normale yakın orta kulak ve koklear fonksiyonun ispatını gösterir, fakat işitme eşiklerini yansıtmaz.<sup>71</sup>

Kemirgenlerde iki tonla uyaran verilmesi sırasında yüksek seviyeli distorsiyon oluşur.<sup>43,50,78</sup>

### **Otoakustik Emisyon Ölçümünün Yararları**

1. Non invaziv: Anestezi gerektirmeyen ağrısız yöntem
2. Pasif kooperasyon gereksinimi: Çocuk ve mental retarde hastalarda kullanılır.
3. Güvenilirliği kesin
4. Duyarlı bir test
5. Koklea için spesifik: DSH'lerini değerlendirir.
6. Kısa test zamanı: geniş hasta grubu taranabilir.<sup>2,4,26,54</sup>

### **Otoakustik Emisyon Kullanım Alanları**

1. İşitme kaybının belirlenmesi için:
  - Yeni doğan, süt çocuğu ve çocuklar (tarama amacı ile)
  - Davranış odyometresinde zor karar verilen olgularda, psikojenik işitme kayıplarında
  - Erişkinlerde
2. Koklea fonksiyonunun moniterizasyonunda:
  - Ototoksisite: Aminoglikozidler, sisplatin, diüretikler vs.
  - Gürültüye bağlı işitme kaybı, prespiakuzide erken tanı
  - Ani işitme kaybı
3. Odyolojik ayırıcı tanı: Koklear lezyonların ayırıcı tanısında.<sup>2,4,46,61,71</sup>

### **OAE ölçüm tekniği**

OAE'ların elde edilmesi için dış kulak yolu, orta kulak ve kokleanın normal olması gerekmektedir. OAE'ların objektif ve noninvaziv olmasının yanı sıra kısa sürede yapılabilmesi odyolojide kullanımını arttırmıştır. Ölçüm sırasında sadece pasif kooperasyona ihtiyaç vardır.

OAE ölçümü için, öncelikle otoskopik muayene yapılarak dış kulak yolu ve kulak zarının normal olup olmadığına bakılmalıdır. Dış kulak yolunu tıkayıcı lezyonlar ve orta kulak

patolojilerine bağı olarak gelişen orta kulakta ki basınç değişiklikleri, OAE cevabını büyük ölçüde etkilemektedir.<sup>15,23</sup>

OAE ölçümleri sessiz bir ortamda yapılmalıdır. Kulağı takılan prob içerisinde iki minyatür hoparlör ve bir mikrofon vardır. Hoparlörden verilen klik şeklindeki ses uyarılarına alınan cevaplar, mikrofon aracılığı ile kayıt edilir. Kullanılan mikrofon, OAE'ların düşük seviyelerde olduğı hallerde önem kazanır. İyi mikrofon sensitif ve ortam gürültüsünden az etkilenir özelliğıe sahip olmalıdır.

## **2.9. WLAN, KABLOSUZ YEREL ALAN AĞLARI (Wireless Local Area Networks)**

Kablosuz iletişim ağıları iki veya daha fazla bilgisayar veya sayısal cihazın birbirleriyle kablosuz veri iletişimi sağlamalarıyla oluşan yapıdır. Bu ağılar; özel amaçlı, eğitim amaçlı, ulusal veya halka açık olarak kurulabilirler. Kablosuz iletişim ağılarını hizmet yapısı, çalışma prensipleri, büyüklük veya mimarisine (topoloji) göre olmak üzere farklı şekillerde gruplandırmak mümkündür.<sup>68</sup> Bu ağıların büyüklüklerine göre sınıflandırılması WLAN sistemlerinin daha iyi incelenebilmesi açısından tercih edilmektedir.

### **Büyüklüklerine Göre Kablosuz Ağılar**

Kablosuz iletişim ağılarını, büyüklüklerine yani hizmet verdikleri fiziksel alanlara göre gruplandırmak mümkündür. Çeşitli kaynakların bu gruplandırmayı farklı şekilde yaptıkları görülmektedir.<sup>68</sup> Genel yaklaşıma göre kablosuz iletişim ağıları, 4 sınıf altında toplanabilir.

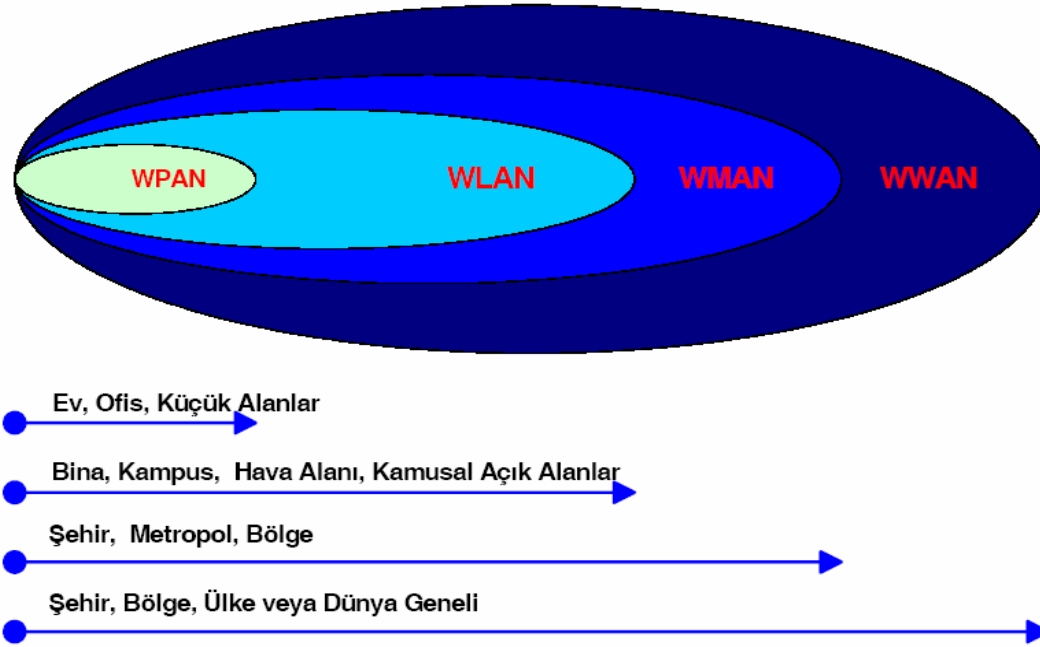
Bunlar; Kablosuz Geniş Alan Ağıları

(Wireless Wide Area Networks, WWAN), Kablosuz Metropol Alan Ağıları

(Wireless Metropolitan Area Networks, WMAN), Kablosuz Yerel Alan Ağıları

(Wireless Local Area Networks, WLAN) ve Kablosuz Kişisel Alan Ağıları

(Wireless Personal Area Networks, WPAN) olarak sıralanabilir. Bu gruplandırma ve her bir grubun hizmet alanları Şekil 12'de verilmiştir.



*Şekil 12: Büyüklüklerine Göre Kablosuz Ağlar*

Bazı teknolojilerin özellikleri itibarıyla birden fazla grupta yer alması söz konusudur. Ancak yaygın kullanımları dikkate alınarak kablosuz iletişim teknolojilerini tablo 1’de belirtildiği şekilde sınıflandırmak mümkündür.<sup>68</sup>

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
<b>Standart</b>	Bluetooth HomeRF	IEEE 802.11 HiperLAN	IEEE 802.16 HiperMAN	GSM, GPRS, CDMA ve 3G
<b>Hız</b>	< 1 Mbps	11-54 Mbps	11-100 Mbps	10-384 Kbps
<b>Mesafe</b>	Kısa	Orta	Orta - Uzun	Uzun
<b>Uygulama</b>	Cihazlar arası bağlantı / Piconet	Cihazdan cihaza/Ağ kurulumu	Kablo yerine / Son kullanıcı erişimi	Mobil telefon / mobil veri

*Tablo 1: Kablosuz İletişim Teknolojileri*

### Kablosuz yerel alan ağları (WLAN)

Yerel alan ağları (Local Area Networks, LAN) bir bina, okul, hastane, kampus gibi sınırlı bir coğrafi alanda kurulan ve çok sayıda kişisel bilgisayarın (PC) yer aldığı ağlardır.<sup>80</sup>

LAN'lar, kamu kurum ve kuruluşlarında, şirketlerde, üniversitelerde, konferans salonlarında ve benzeri pek çok yerde kullanılmaktadır. WLAN'larda bilgisayarlar ve ağ içerisindeki diğer cihazlar arasında iletişimi sağlamak üzere kablo yerine RF veya kızılötesi teknoloji kullanılmaktadır. En kısa tanımıyla WLAN sistemi bir kablosuz LAN'dır. Bu nedenle kablolu LAN'ların tüm özelliklerine sahiptir. WLAN sistemleri; kullanıcılarına kablosuz geniş bant internet erişimi, sunucu üzerindeki uygulamalara (programlara) ulaşım, aynı ağa bağlı kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti ve dosya paylaşımı gibi çeşitli imkanlar sağlamaktadır. Ayrıca kablosuz bir sistem olması nedeniyle cadde, sokak, park, bahçe ve benzeri açık alanlarda WLAN sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yerel (lokal) kullanım amacıyla geliştirilmiş olduklarından WLAN sistemlerinin mesafesi 25-100 metre civarındadır. WLAN sistemleri standartlaşma ile birlikte yaygınlaşmıştır. 2 tür WLAN teknolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi Amerika tabanlı IEEE 802.11x ve diğeri ise Avrupa tabanlı HiperLAN sistemleridir.<sup>68</sup>

Temel olarak WLAN sistemi iki ana unsurdan oluşmaktadır. Birincisi Access point (AP), ikincisi ise kablosuz cihazlardır. Ancak cihazdan-cihaza (peer to peer) çalışma modelinde AP'ye ihtiyaç duyulmaz. Bu durumda kablosuz ağ kartına sahip bilgisayarlar kendi aralarında ilave bir cihaz veya kabloya ihtiyaç olmadan bir ağ oluşturabilirler. Kablosuz cihazlar genellikle bir dizüstü bilgisayar, kişisel bilgisayar (PC), cep bilgisayarı (PDA), veya kablosuz ağ ünitesi (NIC) ile donatılmış benzeri bir cihaz olabilir. NIC'ler RF veya kızılötesi kullanarak takılı bulunduğu cihaz ile AP arasındaki bağlantıyı sağlar. Kablosuz cihazlarda bulunan NIC'ler otomatik frekans tarama özelliğine sahip olduklarından kendilerine ulaşan WLAN sinyalini algılayabilirler. NIC tarafından doğru frekans kanalı bulunduğundan sonra AP ile kablosuz cihazlar arasında bağlantı kurulumu başlatılır.<sup>68</sup>

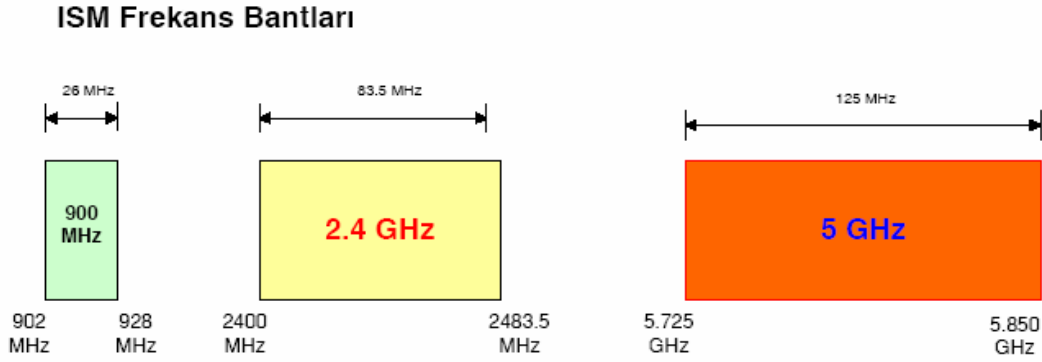
### **WLAN Sistemlerinin Çalışma Prensipleri**

WLAN sistemleri havada yayılan elektromanyetik dalgalarla bir noktadan başka bir noktaya fiziksel bağlantı olmaksızın bilgi iletişimini sağlar. Tipik bir kablosuz yerel ağ konfigürasyonunda, AP olarak isimlendirilen hem alıcı hem verici konumundaki cihaz kablolu ağa bağlanır ve kablolu ağ omurgası ile kablosuz cihazlar arasında veri alışverişini gerçekleştirir. Bir AP kullanılan ortama bağlı olarak dahili uygulamalarda 25-100 metre, harici kullanımda ise 200 metreye kadar yarıçaplı bir alanı kapsayabilir.<sup>60</sup> WLAN sistemlerinde kullanılan yüksek frekanslı RF sinyali (2.4 GHz ve 5 GHz) temel özelliği nedeniyle katı cisimlere

nüfuz edebilir ve geçebilir. Bu özellik görüş hattının sağlanamadığı bina içi kullanımlarda büyük bir avantaj yaratır. Ancak katı cisimler kullanılan maddeye (tahta, çelik, beton gibi) bağlı olarak sinyal zayıflamasına neden olurlar. Bu da sonuçta erişim mesafesini kısaltır.<sup>68</sup>

### WLAN Sistemlerinde Kullanılan Frekanslar

WLAN sistemlerinde genellikle ISM bandı kullanılmaktadır. ISM bantları Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından 13560 kHz, 27120 kHz, 40.6 MHz, 915 MHz, 2450 MHz, 5800 MHz ve 24.125 GHz merkez frekanslarında dünya genelinde tahsis edilmiştir. Bu bantlardan teknik olarak WLAN uygulamasına uygun olan ISM bantları şekil 13’de verilmiştir.<sup>39</sup>



*Şekil 13: ISM bant planı*

### WLAN Sistemlerinin Mimari Yapısı

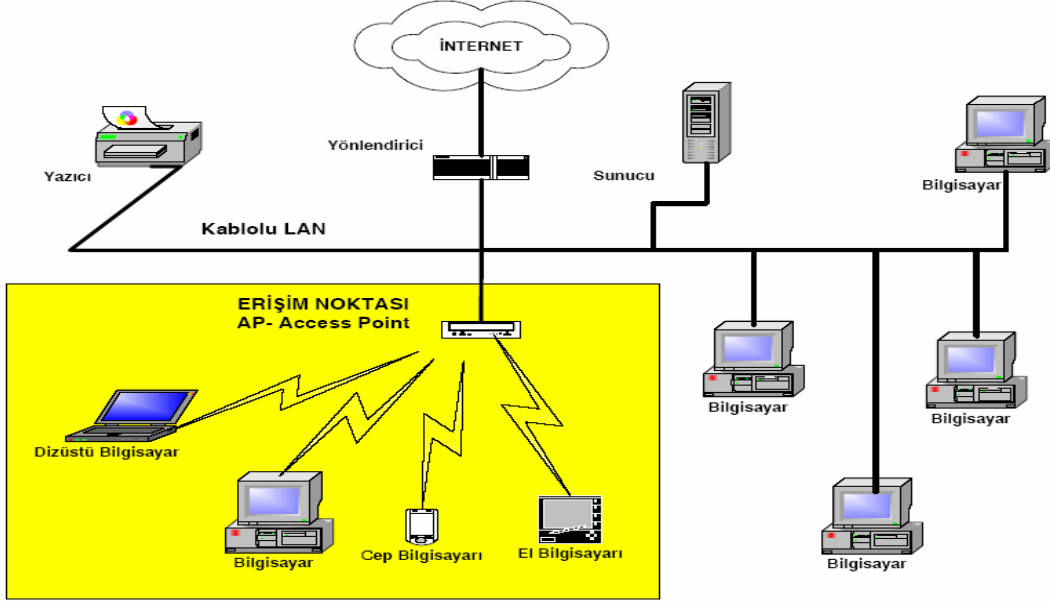
Bilgisayarların birbirleri ile iletişiminin hangi hiyerarşik düzende olduğu mimari yapı (Topology, Topoloji) olarak ifade edilmektedir. WLAN sistemlerinde cihazdan-cihaza (Peer-to-peer, Ad/Hoc) ve altyapı (Infrastructure, Client/Server) olmak üzere 2 çeşit mimari yapı kullanılmaktadır.<sup>37</sup>

#### 1- Cihazdan – cihaza çalışma modeli

Cihazdan-cihaza çalışma modeli; iki ya da daha çok kablosuz iletişim özelliğine sahip bilgisayarın, bir sunucu (server) kavramı olmadan birbirine bağlandığı ağ yapılarıdır. Bu tür ağlarda bulunan bilgisayarların sahip oldukları program, veri, dosya gibi tüm kaynakların ağdaki diğer bilgisayarlar tarafından kullanılabilir.<sup>37</sup> Cihazdan-cihaza çalışma modelinde kablolu bir ağ bağlantısı bulunmaz.<sup>37</sup> Dolayısıyla internet veya intranet bağlantısı söz konusu değildir.

## 2-altyapı çalışma modeli

WLAN sistemlerinin temel ve en yaygın kullanım şekli olan altyapı çalışma modeli; kablolu ağa bağlı bir AP ve istenilen sayıda kablosuz erişim özelliğine sahip cihazdan oluşur.<sup>37,68</sup> Kablolu ağda ihtiyaca göre genellikle bir geniş bant internet erişimi ve sunucu bilgisayar bulunabilir. Bu durumda ağda bulunan tüm bilgisayarlar AP vasıtasıyla kablosuz olarak mevcut kablolu ağa ve internete bağlanabilirler.<sup>68</sup> Temel altyapı çalışma modeli şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14: WLAN, temel alt yapı çalışma modeli

### WLAN Sistemlerinin Avantajları

WLAN Sistemlerinin kullanıcılara sağladığı avantajlar ve geleneksel kablolu yerel ağlara karşı üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

**1- Mobil iletişim:** WLAN Sistemleri kullanıcılarına kapsama alanı dahilinde hangi noktasında olursa olsunlar, hareket halinde dahi gerçek zamanlı bilgi erişimi sağlar.

**2- Hızlı ve kolay kurulum:** WLAN sistemleri kablosuz olmanın avantajlarını kullanarak kablo çekmenin zor, pahalı veya imkansız olduğu yerlerde kolay ve düşük maliyetli iletişim imkanı sağlamaktadır.

**3- İşletme esnekliği ve genişletilebilirlik:** WLAN sisteminde bilgisayarların montaj yerlerini belirlemeye ve kablulamaya ihtiyaç duyulmaz. Çünkü bilgisayarların kapsama alanı içinde olması yeterlidir. Bilgiye her yerden her zaman ulaşabilme vizyonu ile geliştirilen WLAN sistemleri Erişim Alanları vasıtasıyla sunulan kablosuz internet erişimi ile bir ölçüde bunu gerçekleştirmektedir. Özellikle seyahat halindeki kişiler için bu imkan oldukça önemlidir.

**4- Maliyet kazancı:** Kablosuz ağlar kurulacak sisteme göre değişmekle birlikte genellikle kablolu ağlara göre daha düşük maliyetlidir. Çünkü kablo maliyeti ve kablolama işçiliği ücreti yoktur. WLAN sistemlerinde kullanılan AP ve NIC kartlarının maliyeti ise her geçen biraz daha azalmaktadır.<sup>68</sup>

### **WLAN Sistemlerinin Dezavantajları**

WLAN Sistemlerinin pek çok avantajının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır.<sup>68</sup>

**1- Güvenlik:** WLAN Sistemlerinin en önemli problemi güvenlidir. Kablosuz sistemler kullanıcıya büyük avantajlar sunarken güvenlik açısından ise ciddi dezavantajlar yaratmaktadır. Çünkü havada serbestçe yayılan RF'in doğası gereği dinlenmesini önlemek imkansızdır. WLAN sistemleri için 802.11x standartlarında kablolu ağ düzeyinde fiziksel koruma sağlamak üzere Kablololu Eşdeğeri Güvenlik (Wired Equivalent Privacy, WEP) adlı güvenlik mekanizması uygulanmaktadır.

**2- Enterferans:** Kablosuz çalışan tüm sistemler az veya çok enterferansa açıktır. Özel frekans tahsisli sistemlerin enterferansa maruz kalma olasılığı daha düşüktür.

**3- Mesafe:** WLAN Sistemlerinin bir diğer dezavantajı ise kaplama alanı yani iletişim mesafesinin kısa olmasıdır. WLAN sistemlerinin mesafesi 100 m civarındadır.<sup>60</sup> Açık alanlarda bu mesafe 200 m civarına kadar artmaktadır. Ayrıca kazançlı anten kullanılarak bu mesafeyi çok daha fazla artırmak mümkündür. Aynı şekilde duvar ve mobilya gibi fiziksel engellerin fazla olması durumunda bu mesafe 10 metreye kadar da düşebilmektedir.<sup>68</sup>

**4- Dolaşım:** WLAN Sistemlerinin çözüm bekleyen bir diğer sorunu ise ulusal ve uluslararası dolaşımdır (roaming).<sup>68</sup>

**5- Mobil cihaz dezavantajları:** WLAN Sistemlerinde kullanıcıya büyük avantaj sağlayan mobil olma özelliği teknik açıdan önemli sorunlar yaratmaktadır. Sabit sistemlerde çok önemli olmayan güç tüketimi, ekran boyutu, tuş takımı ve diğer teknik özellikler mobil sistemlerde belirgin kısıtlamalara neden olmaktadır. Taşınabilir bilgisayarların kullanım süreleri birkaç saat ile sınırlıdır.<sup>68</sup>

**6- Sağlık üzerine Etkileri:** Sağlığımız üzerinde kötü etkileri olduğuna dair açık bir delil bulunmasa da gittikçe yaygınlaşmasından dolayı kendileri ve çocukları için güvenli olup olmadığı konusunda kesin bir kanaate sahip olmayan insanlar için gittikçe artan bir endişe kaynağı teşkil etmektedir.<sup>75</sup>

## 2.10. ELEKTROMANYETİK ALANLAR

Elektromanyetik dalga bir radyofrekans kaynağından üretilen ve boşlukta yayılan bir alandır. Günlük yaşantımızda ne kadar sık ve uzun süreli kullandığımızın farkına bile varmadığımız elektronik cihazlar elektromanyetik alan (EMA) yaratmaktadır. Ne zaman bir elektrik alanından elektrik akımı geçse bir manyetik alan oluşur ve ikisi bir araya gelince de bir elektromanyetik alan oluştururlar. EMA sadece bize yardımcı değildir. Dünyanın manyetik alanı pusulanın iğnesini kuzey istikametine döndürmekte ve birçok kuş ve balık türünün yolunu bulmalarına yardımcı olmaktadır.<sup>16,75</sup>

Elektromanyetik alanlar terimi; mikrodalgalar dahil olmak üzere 0 Hz ile 300 GHz arasında frekansa sahip statik alanları, dalga boyu çok uzun (ELF, Extremely Low Frequency-Aşırı Derecede Düşük Frekans) alanlar ve Radyofrekansı (RF, Radiofrequency) alanlarını kapsar.<sup>16</sup>

Elektromanyetik dalgalar (EMD) dalga boylarına, frekanslarına ve enerjilerine bağlı olarak; radyo dalgaları, mikrodalgalar, infrared ışınları, görünür ışık, ultraviyole ışınları, x-ışınları, gama-ışınları ve kozmik ışınlar gibi türleri bulunmaktadır.<sup>16,81</sup>

EMD boşlukta yayılma özelliğine sahiptir. Bu tür dalgalar dalga boyları ve frekansları ile belirlenir. Tüm EMD, boşlukta aynı hızla yayılır. Bu hız ışık hızına eşit olup saniyede 300.000 km'dir.<sup>81</sup>

Başlıca radyasyon türleri; iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki grupta toplanabilir.

İyonlaştırıcı radyasyon; madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. Örneğin; x ve gama-ışınları ile  $\alpha$ ,  $\beta$  ve nötron parçacıklarının yayılması gibi.

Yeteri kadar enerjiye sahip olamadıkları için radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık, morötesi ışık (ultraviyole) ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak isimlendirilirler. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon nükleer radyasyon değildir.<sup>16,81</sup>

İyonlaştırıcı özelliğe sahip olmayan; sabit telekomünikasyon cihazları olan baz istasyonları, radyo ve televizyon vericileri ile elektrik iletim hatları, trafo merkezleri ve elektrikli ev aletlerinden (mikrodalga fırınlar, traş makinesi, saç kurutma makinesi v.b.) kaynaklanan

radyasyon ise, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ifade edilen elektromanyetik radyasyon grubunda yer alır.<sup>16,75,81</sup>

Dünyada insan vücudu ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon-elektromanyetik kirlilik arasındaki ilişkiler ve etkilenmelerle ilgili çalışmalar uzun süredir devam etmektedir. Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır.

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection - Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler, birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur.<sup>16</sup>

### 3. MATERİYAL ve METOD

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü (DETAE) hayvan laboratuvarında 4 Ekim 2007 – 15 Kasım 2007 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Çalışma esnasında 5199 numaralı “Hayvanları Koruma Kanunu” ve Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı’nın deneysel ve diğer bilimsel amaçlar için kullanılan deney hayvanlarının korunması, deney hayvanlarının üretim yerleri ile deney yapacak olan laboratuvarların kuruluş, çalışma, denetleme, usul ve esaslarına dair yönetmeliğine uyuldu.

#### 3.1. Deney hayvanları

Çalışma 16 adet sağlıklı erişkin dişi Wistar Albino sıçan ve 16 adet yenidoğan Wistar Albino sıçan üzerinde yapıldı. Otoakustik emisyon ölçümü yapılırken orta kulağın durumu mutlaka değerlendirilmesi gerektiğinden, sıçanların kulakları otoskopik muayene ile değerlendirildi ve DKY’nda buşonu olmayan, akut otit ve adeziv otit tespit edilmeyenler çalışmaya dâhil edildi. Wistar Albino sıçanlara intramuskuler ketamin hidroklorür 45 mg/kg ve xylacine 5 mg/kg ile anestezi sağlandıktan sonra distorsiyon ürünü otoakustik emisyon (DPOAE) ölçümleri yapıldı. Emisyon elde edilemeyen sıçanlar çalışma dışı bırakıldı. Sıçanların ağırlıkları 200–240 gr arasında değişiyordu. Sıçanlar 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık, 21 santigrat derece sıcaklıkta, serbest yemek ve su alabildikleri ve arka plan gürültü seviyesinin 50dB’nin altında olduğu bir ortamda barındırılıyorlardı. Deney sırasında sıçanların oral sıcaklığının 37,5–39,0 santigrat derece arasında olmasına dikkat edildi. Çalışma sırasında arka plandaki ses seviyesi 50dB’ in altında idi. Deneydeki sıçanlar 4 gruba ayrılarak değerlendirildi.

<b>1. Grup</b>	8 Adet yetişkin sıçan	Elektromanyetik dalgaya maruz bırakıldı
<b>2. Grup</b>	8 Adet yetişkin sıçan	1. Grubun kontrol grubu, Elektromanyetik dalgaya maruz bırakılmadı
<b>3. Grup</b>	8 Adet yenidoğan sıçan	Elektromanyetik dalgaya maruz bırakıldı
<b>4. Grup</b>	8 Adet yenidoğan sıçan	3. Grubun kontrol grubu, Elektromanyetik dalgaya maruz bırakılmadı

*Tablo 2: Çalışma ve kontrol grupları.*

1. grup; 8 adet yetişkin sıçan, genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri yapıldıktan sonra, elektromanyetik dalgalara maruz bırakılıp 40 gün sonra genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri tekrarlandı. İlk ve son ölçüm değerleri kendi aralarında ve kontrol grubu ile kıyaslanarak incelendi.

2. grup; 8 adet yetişkin sıçan, genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri yapıldıktan sonra, hiçbir internet vericisinin ve elektromanyetik dalganın olmadığı bir ortamda 40 süre ile tutuldu. 40 gün sonra genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri tekrarlandı. Bu grup 1. grubun kontrol grubu olarak değerlendirildi.

3. grup; 8 adet yenidoğan sıçan, 40 gün süre ile elektromanyetik dalgalara maruz bırakıldı. 40 gün sonra, genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri yapıldı. Ölçümler 4. grubun sonuçları ile karşılaştırıldı.

4. grup; 8 adet yenidoğan sıçan, hiçbir internet vericisinin ve elektromanyetik dalganın olmadığı bir ortamda 40 gün süre ile tutuldu. 40 gün sonra genel anestezi altında distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçümleri yapıldı. Bu grup 3. grubun kontrol grubu olarak değerlendirildi.

### **3.2. Elektromanyetik dalgaya maruz bırakma metodu**

Erişim noktası (Access Point-AP) olarak ZyXEL P-660HW-T1 cihazı kullanıldı. Cihaz IEEE 802.11g standartlarında üretilmişti ve 2400 MHz frekansında yayın yapmaktaydı. Kablolu LAN ile cihaz arasındaki bağlantı ethernet kablosu ile bağlandıktan sonra, cihazın ayarları köprü moduna getirilerek cihazın kablosuz internet yayını yapması sağlandı.

Sıçanlar, AP'e en fazla 1 metre uzaklıkta olacak şekilde AP etrafına yerleştirildi. Sıçanlar, 40 gün süre ile her gün, günde 24 saat AP açık bırakılarak düşük yoğunlukta ve günlük 2 saat süre ile de bir dizüstü bilgisayarla kablosuz internet bağlantısı sağlandıktan sonra internetten yüklü dosyalar indirilerek yüksek yoğunlukta elektromanyetik dalgalara maruz bırakıldı. Elektromanyetik dalgalara maruz bırakma yöntemimiz resim 4'te gösterilmiştir.



*Resim 4: Elektromanyetik dalgaya maruz bırakma yöntemi*

### 3.3 Distorsiyon ürünü otoakustik emisyonla ölçüm metodu

Bu çalışmada emisyonların incelenmesi için DPOAE kullanılmıştır. Distorsiyon ürünü otoakustik emisyonlar Otodynamics Ltd. ILOv6 cihazıyla, cihazın probunun ucuna en küçük boy timpanometri kauçuk probu takılarak ölçüldü (Resim 5). Sıçanın kafası yere yatay pozisyona getirildikten sonra prop sıçanın kulağına iyice yerleştirildi. Cihazdaki prob göstergesi ve uyarın dalga formu uygun konfigürasyonu ile cihazın uygun ölçüm pozisyonunda olduğu görüldükten sonra ölçüme başlandı (Resim 6) ve (Resim 7).



*Resim 5: OAE ölçüm probu*



*Resim 6: Sıçanda OAE uygulaması*



*Resim 7: OAE ölçüm düzeneği*

Distorsiyon ürünü otoakustik emisyonlar ( $2f_1-f_2$  kübik distorsiyon ürünü bileşenleri) General Diagnostic modunda, hem DPgram hem de input-output (I/O) ölçümü olarak yapıldı. DPOAE'lar farklı frekans ve şiddetlerdeki uyarılar kullanılarak ölçüldü. DPgram ölçümünde primer uyarı şiddetleri 65 dB'de eşitlendi ( $L_1=L_2$ ). İki ayrı frekans ( $f_1$  ve  $f_2$ ), en güçlü yanıtların alınabileceği  $f_2/f_1= 1.22$  olacak şekilde düzenlendi DPgram ölçümü 1001, 1184, 1416, 1685, 2002, 2380, 2832, 3369, 4004, 4761, 5652, ve 6726 Hz  $f_2$  frekanslarında yapıldı. I/O ölçümü yapılırken  $f_1=f_2 =65$  olacak şekilde ve uyarı şiddeti azaltılarak alınan yanıtlar kaydedildi. I/O fonksiyonların eşik ve eşik üstü ölçümleri 65dB'den 40 dB' e kadar 5'er dB'lik basamaklar halinde azalan primer ses tonları kullanılarak yapıldı. Ölçümler 3000, 4000, 5000, 6000 Hz frekanslarda yapıldı.

Hem DPgram, hem de I/O fonksiyonlar için gürültü seviyesi DPOAE frekanslarının 50 Hz üzerindeki frekanslarda ölçüldü. Ölçüm sırasında  $2f_1-f_2$  frekansında gürültü şiddetinden 3 dB ve üzerinde olan OAE'lar pozitif kabul edildi. Her iki ölçümde de alınan yanıtlar en yüksek seviyesine kadar kaydedilerek test sonlandırıldı.

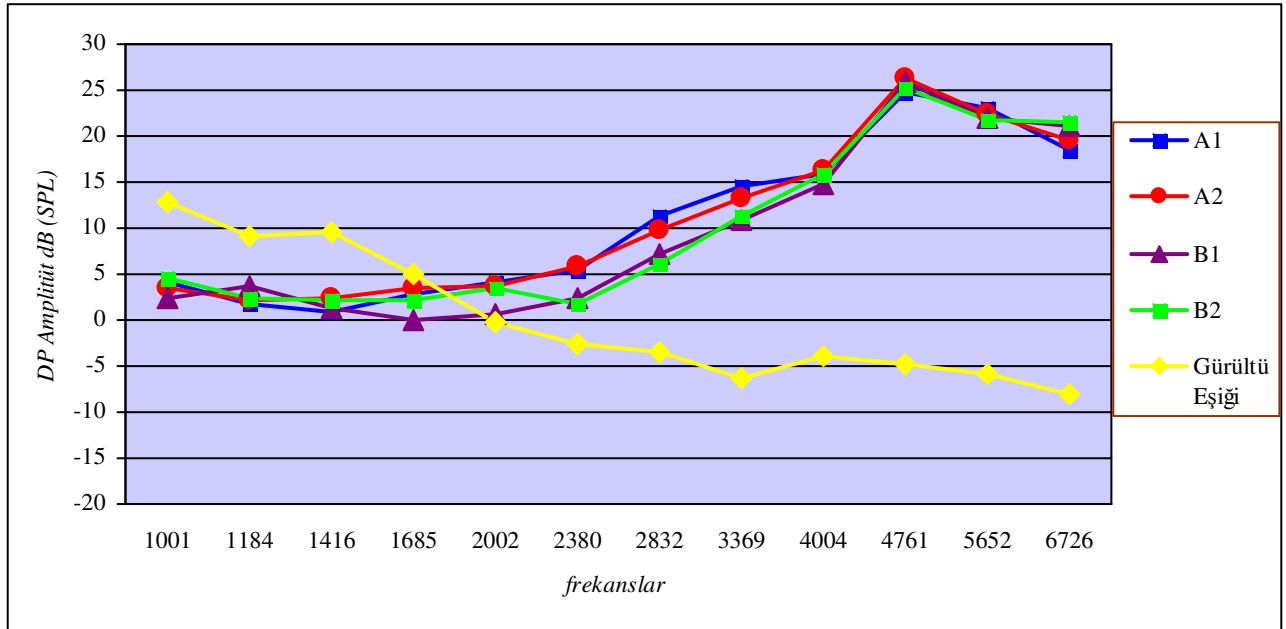
**İstatistiksel yöntem:** Sonuçlar istatistiksel olarak eşleşmiş ve eşleşmemiş örneklerde “student t-test” (SPSS 13.0) ile her bir frekansdaki DPOAE amplitüt ve gürültü eşliğindeki değişimler analiz edildi. Maruziyetin etkileri, grup içi ve gruplar arası değişkenlik bazal ölçümler ve ortalama değerler alınarak, değerlendirildi.

## 4. BULGULAR

Sıçanlar EMA'nı rahat tolere ettiler. Kilo kaybı veya aşırı kilo alımı saptanmadı. Yiyecek ve su tüketiminde fark görülmedi. Yenidoğan sıçanların büyümesi normal seyretti.

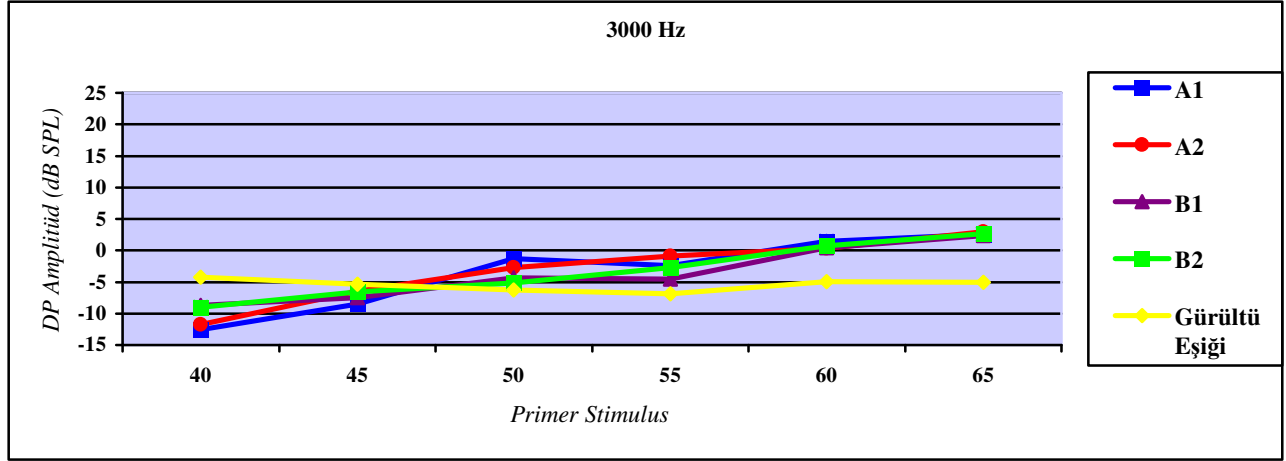
Sıçanlar otoskopik muayene yapılarak deneye dâhil edildiği için, bütün sıçanların DPgram ve I/O seviyeleri kaydedildi.

Yetişkin sıçanlarda: DPgram'larda emisyon seviyeleri 1001, 1184, 1416, 1685 frekanslarında gürültü eşliğinin altındayken diğer test frekanslarında gürültü eşliğinin üstündeydi. I/O ölçümlerinde 3000 ve 4000 Hz frekanslarında, primer stimülusun 40 ve 45 dB olduğu ölçümlerde emisyon seviyeleri; gürültü eşliğinin altındayken diğer primer stimüluslarda gürültü eşliğinin üstündeydi. 5000 ve 6000 Hz frekanslarında tüm primer stimüluslarda gürültü eşliğinin üstündeydi. Yetişkin sıçanların ortalama DPgram değerleri Grafik 1'de ve I/O emisyon değerleri de Grafik 2-3-4-5'te gösterilmiştir. Yetişkin sıçanların maruziyet öncesi ve sonrası DPgram ve I/O emisyon değerlerini, eşleşmiş örneklerde *t*-testi ile analiz ettiğimizde anlamlı fark olmadığı saptandı ( $P>0,05$ ). DPgram ve I/O emisyon değerlerini, eşleşmemiş örneklerde *t*-testi ile analiz ettiğimizde de anlamlı fark olmadığını gördük ( $p>0,05$ ).

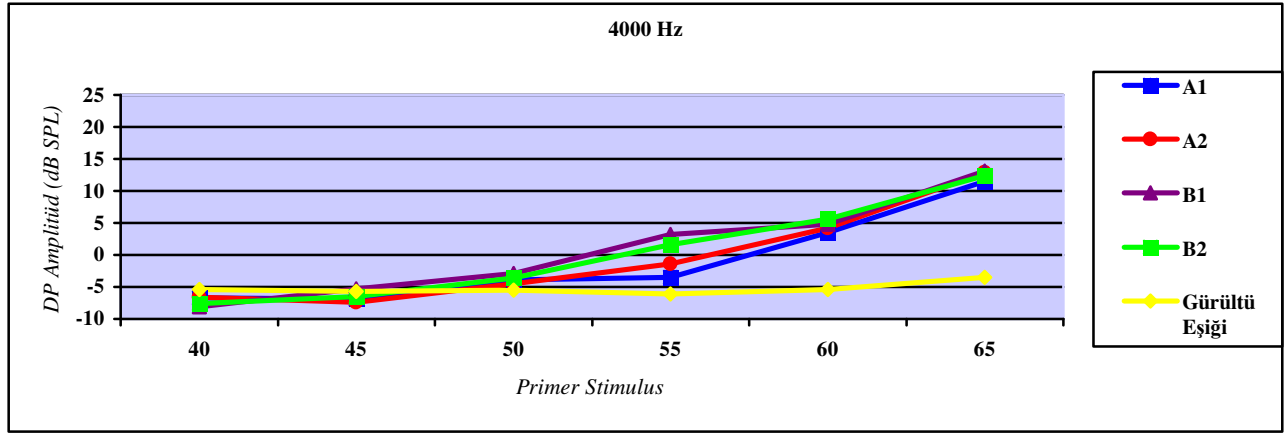


**Grafik 1:** Yetişkin sıçanların ortalama DPgram grafiği;

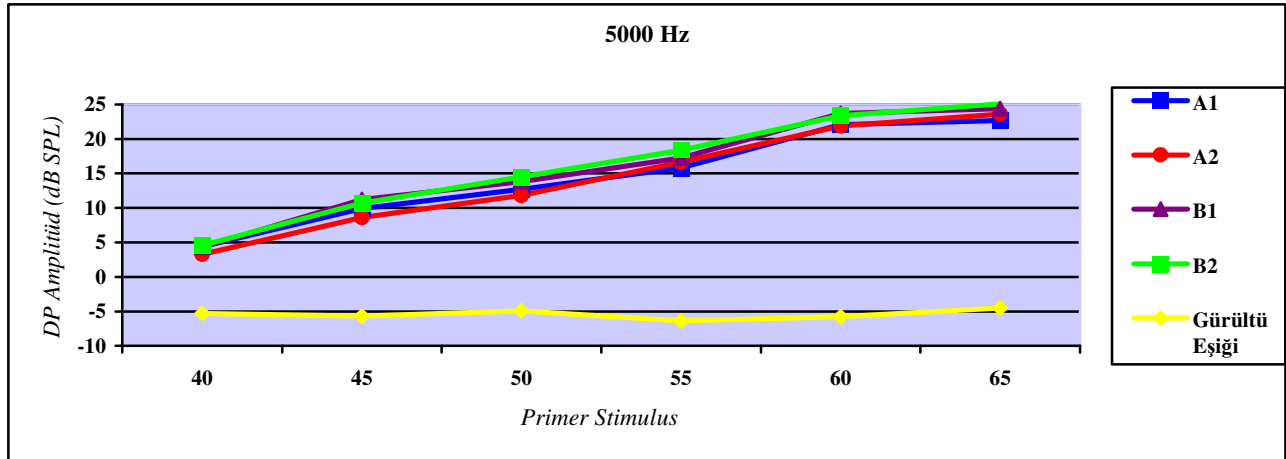
A1:Deney grubu maruziyet öncesi, A2:Deney grubu maruziyet sonrası, B1: Kontrol grubu deney başlangıcı, B2: Kontrol grubu deney sonu



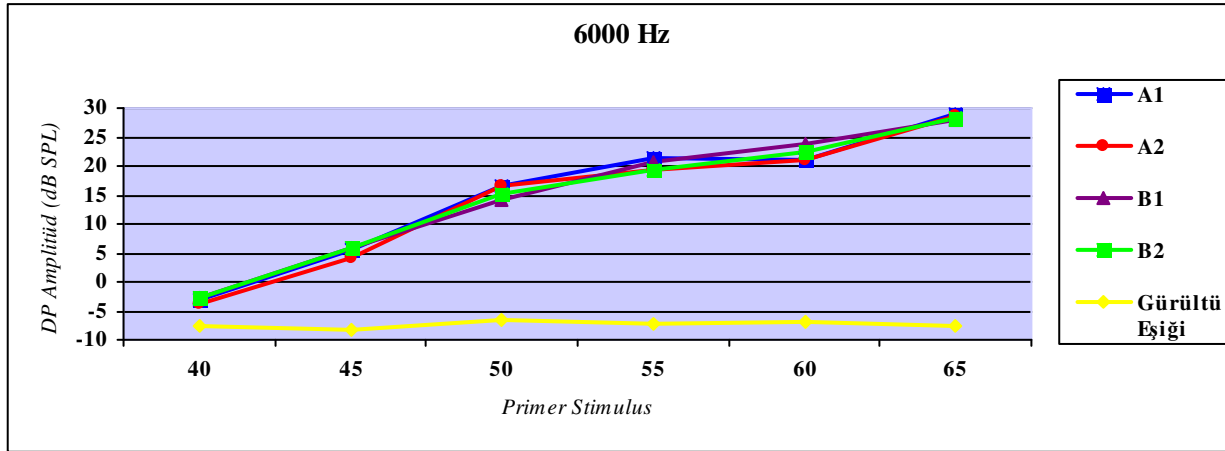
**Grafik 2:** Yetişkin sıçanların 3000 Hz ortalama I/O değer grafiği; A1: Deney grubu maruziyet öncesi, A2: Deney grubu maruziyet sonrası, B1: Kontrol grubu deney başlangıcı, B2: Kontrol grubu deney sonu



**Grafik 3:** Yetişkin sıçanların 4000 Hz ortalama I/O değer grafiği; A1: Deney grubu maruziyet öncesi, A2: Deney grubu maruziyet sonrası, B1: Kontrol grubu deney başlangıcı, B2: Kontrol grubu deney sonu

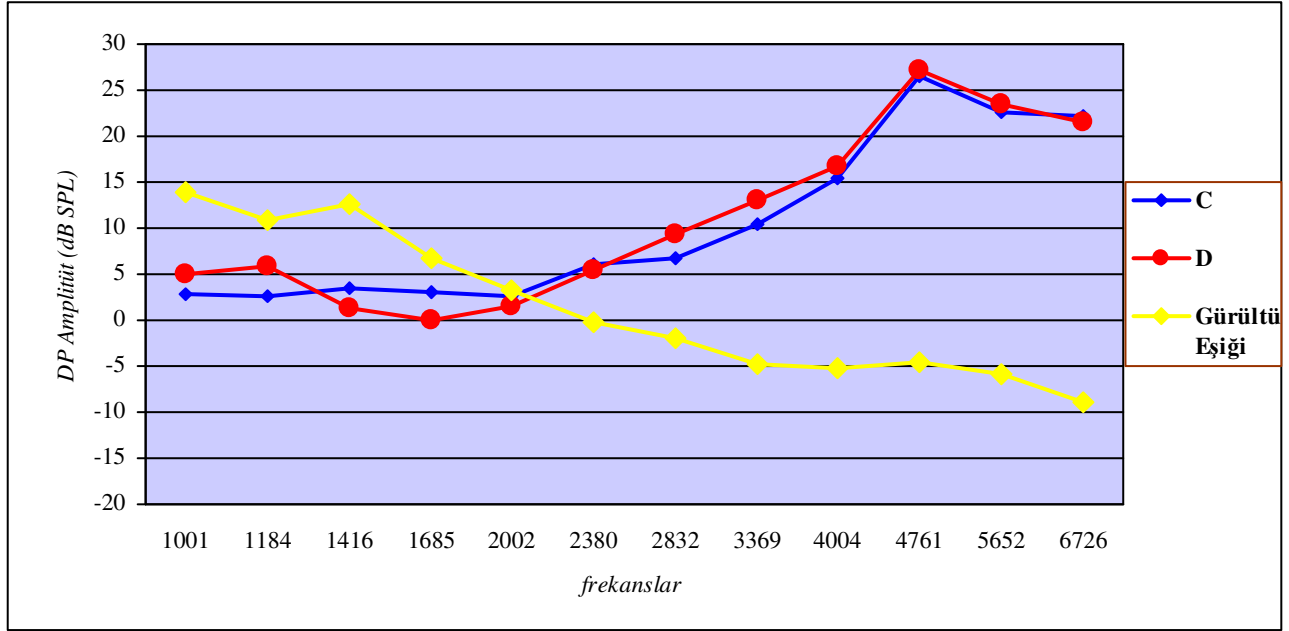


**Grafik 4:** Yetişkin sıçanların 5000 Hz ortalama I/O değer grafiği; A1: Deney grubu maruziyet öncesi, A2: Deney grubu maruziyet sonrası, B1: Kontrol grubu deney başlangıcı, B2: Kontrol grubu deney sonu

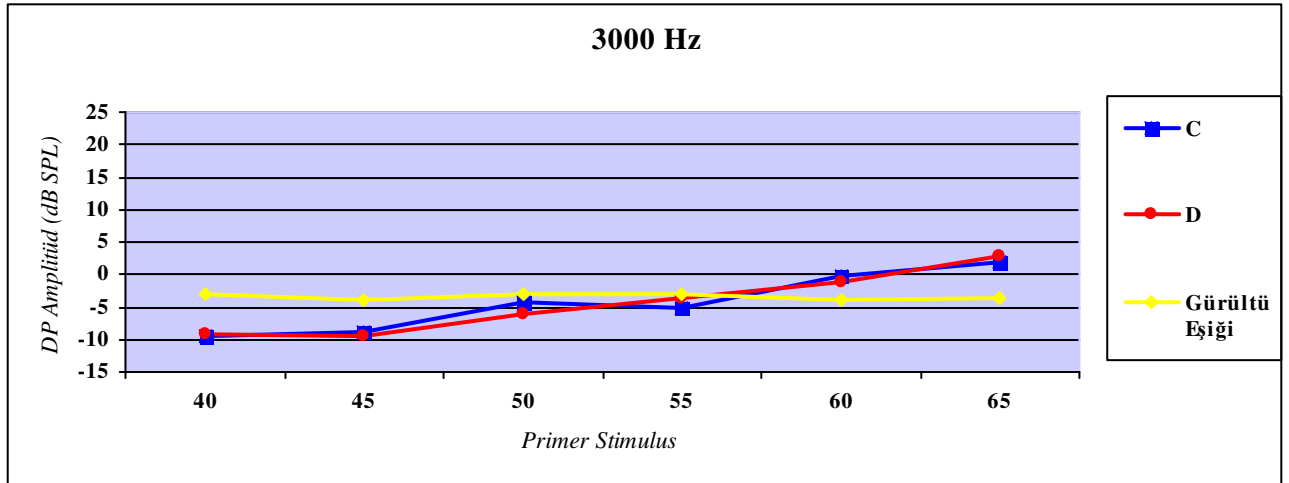


**Grafik 5:** Yetişkin sıçanların 6000 Hz ortalama I/O değer grafiği; A1:Deney grubu maruziyet öncesi, A2:Deney grubu maruziyet sonrası, B1: Kontrol grubu deney başlangıcı, B2: Kontrol grubu deney sonu

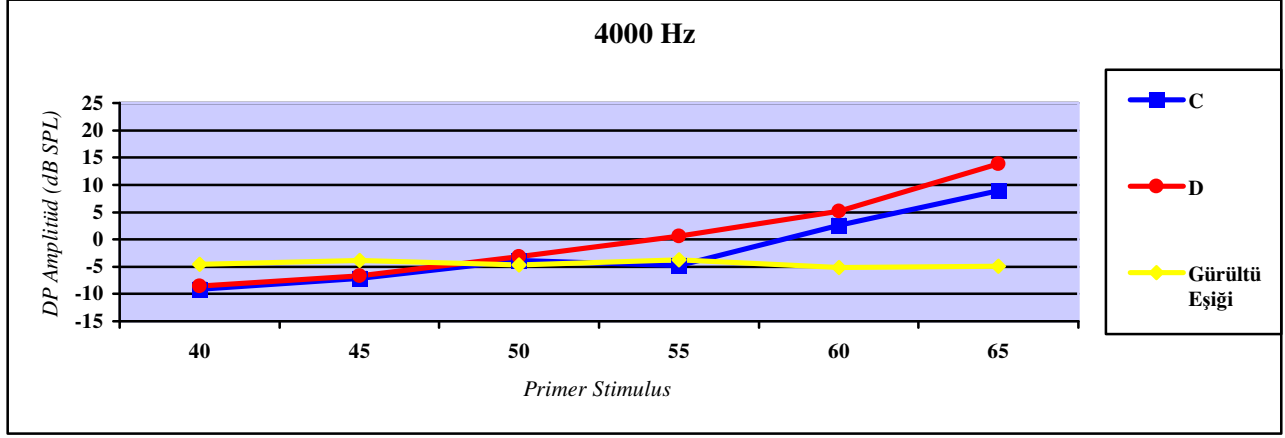
Yenidoğan sıçanlarda: Deney başlangıcında DPOAE yapılmadı. Deney sonunda yapılan DPgram’larda ortalama emisyon seviyeleri 1001, 1184, 1416, 1685, 2002 frekanslarında gürültü eşliğinin altındayken diğer test frekanslarında gürültü eşliğinin üstündeydi. I/O ölçümlerinde 3000 Hz frekansında primer stimülusun 40, 45, 50 ve 55 dB olduğu ölçümlerde ve 4000 Hz frekansında primer stimülusun 40 ve 45 dB olduğu ölçümlerde emisyon seviyeleri; gürültü eşliğinin altındayken diğer primer stimüluslarda gürültü eşliğinin üstündeydi. 5000 ve 6000 Hz frekanslarında tüm primer stimüluslarda emisyon değerleri gürültü eşliğinin üstündeydi. Yenidoğan sıçanların ortalama DPgram değerleri Grafik 6’da ve I/O emisyon değerleri de Grafik 7–8–9–10’da gösterilmiştir. Yenidoğan deney grubu sıçanların EMA maruziyeti sonrası yapılan DPgram ve I/O emisyon değerlerini, EMA’a maruz bırakmadığımız yenidoğan kontrol grubunun DPgram ve I/O emisyon değerleriyle eşleşmemiş örneklerde *t*-test’ini kullanarak karşılaştırdığımızda anlamlı fark olmadığı saptandı ( $p>0,05$ ).



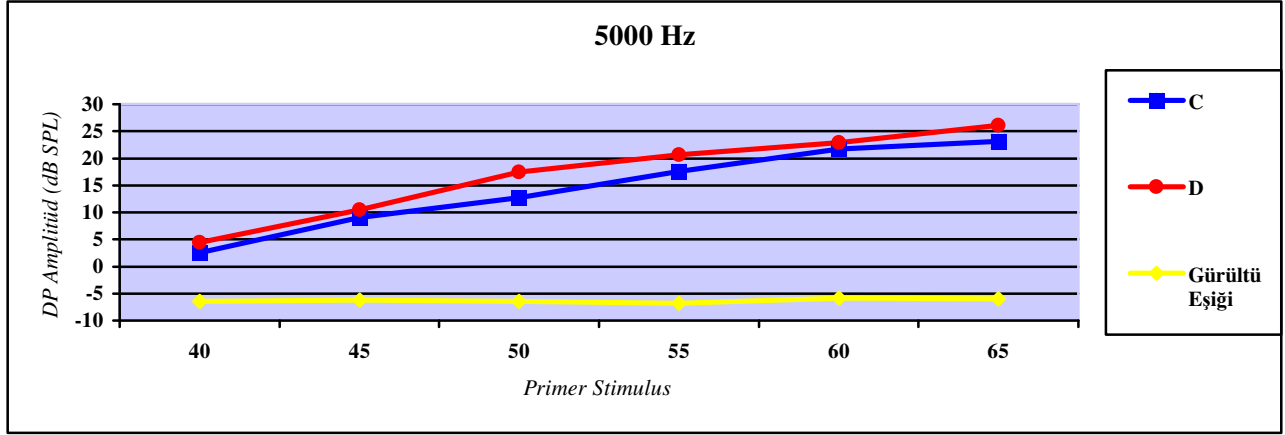
**Grafik 6:** Yenidoğan sıçanların ortalama DPgram grafiği;  
C: Yenidoğan deney grubu D: Yenidoğan kontrol grubu.



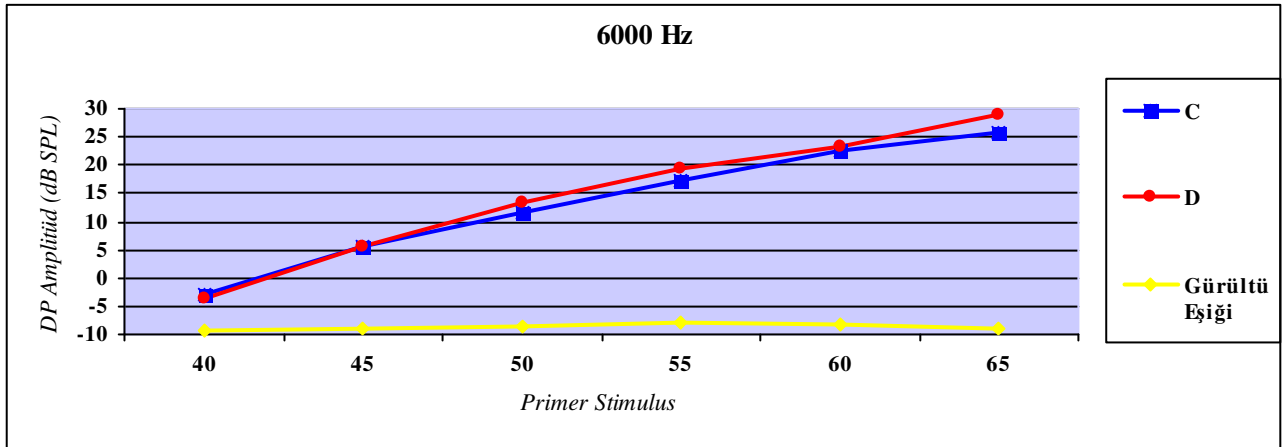
**Grafik 7:** Yenidoğan sıçanların 3000 Hz ortalama I/O değer grafiği, C: Yenidoğan deney grubu D: Yenidoğan kontrol grubu.



**Grafik 8:** Yenidoğan sıçanların 4000 Hz ortalama I/O değer grafiği; ; C: Yenidoğan deney grubu  
D: Yenidoğan kontrol grubu.



**Grafik 9:** Yenidoğan sıçanların 5000 Hz ortalama I/O değer grafiği; ; C: Yenidoğan deney grubu  
D: Yenidoğan kontrol grubu.



**Grafik 10:** Yenidoğan sıçanların 6000 Hz ortalama I/O değer grafiği; ; C: Yenidoğan deney grubu  
D: Yenidoğan kontrol grubu.

## 5. TARTIŞMA

Kablolu iletişim teknolojilerine kıyasla birçok üstünlüğü bulunan kablosuz iletişim teknolojileri 1990'lı yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur. Radyofrekansın yeniden keşfi olarak adlandırılan bu gelişmeler hem GSM gibi ses iletişimde hem de veri iletişimde yaşanmıştır. Özellikle veri iletişimde yüksek veri hızlarına ulaşılması, kablosuz teknolojiyi yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir. Kablosuz iletişim teknolojisini diğerlerinden ayıran nokta iletim ortamı olarak havayı kullanmasıdır. Metal kablolar, elektrik akımını iletirken kablosuz ve optik iletim sistemleri belli frekanstan elektro-manyetik dalga iletmektedir.<sup>68</sup>

Elektrik ve Elektromanyetik alanların (EMA) gündelik yaşama sayısız katkıları bulunmaktadır. Artık onlarsız yapamayacak hale gelindi. Ancak EMA'lara uzun dönemde maruz kalmanın, eğer varsa, sonuçları hakkında da ne yazık ki yeterli bir bilgiye sahip değiliz. Dolayısıyla, riskleri anlayabilmek ve uygun güvenlik standartlarını hayata geçirebilmek için ciddi ve uzun süreli araştırmaların yapılması gereklidir.

EMA'ların biyolojik organizmalar ile içerisinde buldukları etkileşim, EMA'ların enerjisine ve frekansına bağlıdır. İnsan bedeni bazı frekanslar için geçirgenken diğerleri için değildir. Örneğin güneş ışığı sadece "deri seviyesinde" nüfuz edip büyük ölçüde soğurulurken manyetik alanlar insan vücudundan geçebilmektedir.<sup>75</sup>

Elektronik cihazlardan üretilen elektromanyetik dalgaların gücü ister yüksek, ister düşük olsun, bu dalgaların insan vücudunda etkilerinin olduğu düşünülmektedir. EMA'lar, vücuttaki dokulara onlarda ısı oluşturarak ve/veya kimyasal değişimlere yol açarak zarar verir. Yüksek watt'lı elektromanyetik dalga ısıya bağlı zarar verirken, düşük watt'lı elektromanyetik dalganın uzun süre alınmasının dokularda kimyasal değişimlere neden olduğu ve bu şekilde zararlı etkilerin ortaya çıkacağı bazı araştırmalarda bildirilmiştir.<sup>81</sup>

Mobil telefon ve benzer teknolojilerin kullandığı frekanslardaki elektromanyetik dalgalar vücudun derinliklerine kadar penetre olmaz. Alınan enerjinin çoğu doğrudan ciltaltı dokulara geçer. Bu doğrudan geçiş derinin yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle.<sup>62</sup>

Özgül Soğurma Hızı (SAR), elektromanyetik enerjinin vücut dokuları tarafından soğurulma hızıdır. Birimi W/kg'dır. Bugüne dek yapılan araştırmalar, insan vücudunun bir derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve sorunlar yarattığını göstermektedir. İnsan

vücudunda bir derecelik sıcaklık artışı için bir kilogram doku başına 4 W güç soğurulması gerekmektedir. Özgül Soğurma hızının doğrudan ölçülmesi hemen hemen olanaksızdır. Bundan dolayı sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur.<sup>16,62</sup>

EMA maruziyet limitleri “Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu” nca (ICNIRP) bilimsel olarak temellendirilmekte, formüle edilmekte ve revize edilerek periyodik olarak yayınlanmaktadır. SAR limit değerleri, 10MHz-10GHz frekans aralığında meslek dışı maruziyette vücudun tümü için ortalama 0,08 W/kg, baş ve gövde için 2W/kg, uzuvlar için 4 W/kg'dır.<sup>38</sup>

EMA maruziyetine bağlı oluşabilecek sağlık sorunlarında küçük bir riskin bile ciddi halk sağlığı sorununa dönüşebileceğinden yola çıkılarak birçok araştırma yapılmaktadır. Ancak bu çalışmaların bir kısmında EMA lar zararsız bulunurken bazılarında ise zararlı bulunmuştur.

Elektromanyetik dalgaların ve cihazların çevreye yaydığı EMA'nın biyolojik sistemler ve insanlar üzerinde; fiziksel ve nöral asteni (halsizlik), uyku bozuklukları, baş ağrısı, miyalji, ekstremitelerin disestezisi (deri ve mukozaya yönelik uyarıları hissetme yeteneğinde azalma) gibi etkileri yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.<sup>19</sup>

Bazı hayvan ve insan çalışmaları, EMA maruziyetinin endokrin sistemde değişiklikler yaptığını göstermiştir. Mann ve ark. gönüllü bireylerde, 900MHz EMA'nın etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmada, EMA'a maruziyetin ilk bir saati içinde serum kortizol seviyesinde geçici bir yükselmenin olduğunu göstermişlerdir.<sup>57</sup> Lotz ve ark. 1,29 GHz dalga frekanslı EMA'a maruz bırakılan rhesus maymunlarının dolaşımdaki kortizol seviyelerinin EMA'a maruziyetin ilk 2 saati içinde baskılandığını, uygulamanın 3-8 saatinde ise yükseldiğini görmüşlerdir.<sup>56</sup> Koyu ve ark. 900MHz frekansındaki EMA'a maruz bıraktıkları sıçanların serum kortizol ve testesteron seviyelerinin kontrol grubuna göre anlamlı bir şekilde arttığını görmüşlerdir.<sup>48</sup>

Literatürde EMA'nın karsinojen etkisi olmadığına dair çok sayıda çalışma mevcuttur. Örneğin; hücreler üzerinde yapılan birçok çalışmada DNA üzerinde bir etki bulunamamıştır. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar dahil olmak üzere biyolojik veriler, EMA maruziyetinden dolayı kanser riskinin artmadığını göstermektedir (Vijayalaxmi ve Obe, 2004). İngiltere'de dört yıl süren ve 2006'da yayınlanan bir çalışmada, düzenli, uzun süreli mobil telefonu kullanımı ile

en sık görülen beyin tümörü olan glioma arasında bir bağlantı tespit edilmemiştir (Hepworth, 2006).<sup>77</sup>

Bu çalışmalara zıt olarak elektromanyetik alanın hücreleri bölünmeye sevk ederek tümör gelişimini hızlandırdığı, 60Hz frekansındaki EMA'a, çocukluk döneminde uzun süre maruz kalmanın lösemi ve beyin tümörü sıklığını arttırdığını bildiren çalışmalar da mevcuttur.<sup>27,59</sup>

Baz istasyonları ve telsiz ürünler için genel halkın maruz kaldığı tipik seviyeler, radyofrekans enerji akıları, uluslararası radyofrekans kılavuzlarında belirtilen seviyelerden 100 kat veya daha fazla aşağıdadır. Ancak, baz istasyonu antenlerinin çok yakınında (anten bakımı veya işleme alma durumlarında) veya WLAN ve Bluetooth vericilerinin çok yakınında, genel halk için sınır değerlerin aşılma olasılığının olduğu da bildirilmiştir.<sup>77</sup>

Mobil telefonlarının yoğun kullanıldığı 900MHz ve 1800MHz frekanslar su ve bazı organik moleküllerde termal veya nontermal yollarla rotasyona neden olmaktadır.<sup>74</sup> İşitme sistemine yönelik çalışmalar özellikle mobil telefonların olası zararlarını incelemek için yapılmıştır. Literatürde, mobil telefonların uzun süreli kullanımının iç kulak üzerine etkilerinin araştırıldığı hayvan ve insan çalışmaları vardır.<sup>28,45</sup> Bizim çalışmamız ulaşabildiğimiz kadarıyla 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'a uzun süre maruziyetin içkulak ve işitme üzerindeki etkilerinin araştırıldığı ilk çalışmadır.

Sievert ve ark. mobil telefondan yayılan EMA'nın biyolojik etkilerini araştırmak için yaptıkları bir çalışmada, mobil telefon kullanımı ile işitme ve denge sisteminde oluşan ısı artışının, işitme ve vestibüler sistem üzerinde fonksiyonel olarak bir değişime neden olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışmada BERA, Elektronistagmografi ve DPOAE cihazlarından yararlanmışlar ve deney sonunda mobil telefon EMA'larının neden olduğu ısı artışının; içkulaktaki işitme sisteminde, vestibüler reseptörlerde ve beyinsapındaki inferior kollikulus'ta fonksiyonel olarak bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir.<sup>73</sup>

Özturan ve ark. mobil telefon elektromanyetik dalgalarının işitme üzerine etkilerini araştırdıkları ve işitmesi normal olan 30 gönüllü üzerinde yaptıkları bir çalışmada, 10 dakika süre ile cep telefonu elektromanyetik dalgalarına maruz bıraktıkları kişilerin maruziyet öncesi ve sonrası OAE değerlerini karşılaştırmışlar ve 10 dakika süre ile mobil telefon EMA'ına maruz kalmanın işitme ve içkulak üzerinde bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.<sup>64</sup>

Uloziene ve ark., mobil telefon EMA'nın akut etkilerini değerlendirmek için 30 gönüllü üzerinde çift körlü bir çalışma yapmışlardır. Deney ve kontrol grubunun deney öncesi saf ses

ortalama (PTA) ve TEOAE ile işitmeleri değerlendirildikten sonra deney grubunu 10 dakika EMA'ya maruz bırakmışlardır. Maruziyetin hemen sonrasında yapılan ölçümlerde maruziyet öncesi ve sonrası ölçümler ile kontrol grubu ölçümleri arasında anlamlı bir değişiklik tesbit etmemişlerdir.<sup>76</sup>

Davidson ve Lutman İngiltere'de öğrenciler üzerinde yaptıkları bir çalışmada, uzun süredir mobil telefon kullanan öğrencilerde, kullanmayan öğrencilere oranla tinnitus, işitme azlığı ve denge bozukluğu gibi sorunlarda bir artışın olmadığını gözlemlemiştir.<sup>18</sup>

Galloni P. ve ark yapmış olduğu bir çalışmada, mobil telefon elektromanyetik dalgalarına 4 hafta, haftada 5 gün ve günde 2 saat maruz bıraktıkları sıçanların işitmelerini DPOAE kullanarak değerlendirdiklerinde farklı gruplardan kaydedilen emisyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı olabilecek bir fark bulamamışlardır.<sup>28</sup>

Kızılay A. ve ark. Mobil telefon elektromanyetik dalgalarına kronik maruziyetin sıçanlarda işitme üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, 30 gün süre ile günde 1 saat mobil telefon dalgalarına maruz bıraktıkları yetişkin ve yenidoğan sıçanların işitmelerini DPOAE kullanarak değerlendirmişler. Maruziyet öncesi ve sonrası yapılan DPOAE'larda istatistiksel olarak anlamlı sonuç elde etmemişler.<sup>45</sup>

Biz de çalışmamızda, 2400MHz frekansında yayın yapan ve giderek hayatımızda yaygınlaşan kablosuz yerel alan ağlarından (WLAN) kaynaklanan elektromanyetik dalgalara uzun süre maruziyetin, yetişkin ve yenidoğan sıçanlarda içkulak ve işitme üzerine etkilerini araştırdık. Yetişkin ve yenidoğan sıçanların içkulak ve işitmelerini DPOAE kullanarak değerlendirdik. Bu deneydeki maruziyet uzun sayılabilecek bir sürede (40 gün) sürekli maruziyet olup (24 saat) hem erişkin hem yenidoğan sıçanlar üzerinde yapıldı. Gelişmekte olan kulak çevresel etkilere daha açıktır. Sıçanlarda koklea gelişimi postpartum 25. gün civarında tamamlanır. Yaklaşık olarak 11–20 günler arası etkiye en açık dönemdir.<sup>45</sup> Bu nedenle yenidoğan sıçanlar da çalışmaya dâhil edildi. Yenidoğan sıçanlarda maruziyet sonrası yapılan deney ve kontrol grubu DPOAE ölçüm sonuçlarını değerlendirdiğimizde anlamlı bir fark olmadığını gözlemledik. Yetişkin sıçanlar üzerinde yaptığımız çalışmada EMA'ya maruz bırakılan sıçanların maruziyet öncesi ve sonrası ölçüm sonuçlarını kendi içinde ve kontrol grubu ölçümleri ile kıyasladığımızda da elde edilen sonuçlar arasında anlamlı fark olmadığını gördük.

Klinik kullanımda OAE ölçümleri invaziv olmaması, ağrısız olması, anestezi gerektirmemesi, hastanın genel durumundan bağımsız olup çocuk (özellikle yenidoğanlarda

koklear fonksiyonları değerlendirmede faydalıdır) ve mental retarde hastalara rahatlıkla uygulanabilmesi, objektif bir test olması, hassas bir ölçüm olması, sonucun kesin olması, test süresinin kısa olması ve geniş hasta guruplarının taranabilmesi gibi avantajları nedeniyle sık tercih edilmektedir.<sup>2,4,26,54</sup>

Sağlıklı koklea, belli bir uyarı ile akustik enerji yayar. Bu akustik enerji objektif olarak dış kulak yolundan ölçülebilir. Koklear hasarın en sensitif göstergesi olan, kokleanın hassas yapıları dış titreşim tüylü hücrelerin durumu OAE'la monitorize edilebilir.<sup>45</sup>

Otoakustik emisyonların üretim yeri dış titreşim tüylü hücrelerdir. Ototoksik ilaçlar, hipoksi ve akustik travma ile dış titreşim tüylü hücrelerin tahribi otoakustik emisyonların üretimini engelleyecektir. Otoakustik emisyonların elde edilebilmeleri için sağlıklı bir ortakulak yapısı gereklidir. Sağlıklı bir ortakulak yapısında bile kokleadan yansıyan enerjinin yaklaşık 12 dB kayba uğradığı bilinmektedir.<sup>69</sup> Çalışmamıza başlamadan önce yetişkin sıçanların iç kulak fonksiyonlarını ve işitmelerini DPOAE cihazı kullanarak değerlendirdik, yaptığımız ölçümlerde emisyon değerleri normal olan sağlıklı sıçanları çalışma grubumuza dahil ettik.

Uyarılmış otoakustik emisyonlar ototoksik ilaçların etkisini hemen görmek için kullanılabilir.<sup>65</sup> Eğer bir ilaç koklea hasarı yaparsa o frekanstaki etki OAE ile hemen yakalanabilir (frekans spesifiktir).<sup>49</sup> Brown ve arkadaşları, kobaylar üzerinde uzun süreli gentamisin uygulaması sonrası dışkulak kanalından akustik distorsiyonları ölçtüler. İlaç uygulanan ve fonksiyonel değişiklikler gösteren tüm hayvanlarda dış saçlı hücre morfolojisinde değişiklikler buldular. Daha da önemlisi distorsiyon değişikliklerini yüzey saç hücrelerinin morfolojisindeki değişiklikler görülmeden önce saptadılar. Böylece OAE ölçümünün, ototoksitenin erken aşamalarında corti organının hassas kısımlarındaki fonksiyonel bozulmaya eşlik eden altta yatan yapısal değişiklikleri ortaya çıkarmak için gerekli bir yöntem olduğunu ileri sürdüler.<sup>13</sup>

OAE'ların varlığı normal şekilde çalışabilen iç kulağın genel anatomik ve fizyolojik yapısını doğrular. Bu baziller membran, korti organı, stria vaskularis hareketine bağlı endolenfin ve dış saçlı hücrelerin sağlığını gerektirir. OAE'lar bu sistemler zarar gördüğünde baskılanır. Bununla birlikte OAE kullanılarak koklear disfonksiyon veya patolojilerin tipleri arasındaki farklılaşma belirlenemez.<sup>11,70</sup>

Kokleadaki küçük fonksiyon defektleri DPOAE ile daha odyogramda belli olmadan önce yakalanabilir. Arnold ve arkadaşları, azalmış koklear fonksiyonu tespit etmek için DPOAE yeteneğini test ettiler. DPOAE ve ultra yüksek frekans işitme arasındaki ilişkiyi araştırdılar. 4–8

kHz'de DPOAE seviyelerinin pure ton ortalaması (PTA) ile önemli ölçüde bağlantılı olduğunu, bununla birlikte 4–8 kHz için olan PTA'ların DPOAE seviyelerindeki değişikliklerin yaklaşık %14'ünü açıkladığını ortaya çıkardılar. Sonuç olarak ultra yüksek frekans işitmenin DPOAE'ları etkilediğini ve bu bölgede pure ton eşikleri ile henüz tespit edilmemiş olan dış titreşim tüylü hücrelerdeki küçük değişikliklere emisyonların daha hassas olduğunu bildirdiler.<sup>6</sup> Kim ve arkadaşları, bir kulağın test frekansındaki DPOAE seviyesini pure ton duyma eşiğine karşı değerlendirdiler. Testin duyarlılığını, özgünlüğünü ve tahmini yeterliliğini 6000 ve 4000 Hz'de %85–89, 2000 Hz'de %82–83 ve 1000 Hz'de %78–79 olarak buldular. Koklear fonksiyonların değerlendirmesinde DPOAE'nun yararlı frekans özelliği olan objektif bir test olabileceğini bildirdiler.<sup>47</sup> OAE'ların bu özelliklerini göz önünde bulundurarak, bizde çalışmamızda WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'nın içkulak ve işitme üzerine etkilerini araştırırken DPOAE'dan yararlandık.

OAE'lar kokleadan kaynaklanıp kemik zincir, kulak zarı ve dışkulak yolu tarafından iletilen vibratuvar enerjidir. OAE'lar koklear dalgaların güçlü doğal bir yan ürünü olması sebebiyle, kulak zarı hareketi ile birlikte tüm orta kulak kemikçik zincirinin, oval pencere ve stapesin normal hareketini gösterir.<sup>11,70</sup> Ortakulaktaki negatif ve pozitif basınç değişikliklerinde otoakustik emisyon amplitütü ve dalga tekrarlanabilirliği “reproduksibilit” oranlarında belirgin değişiklikler meydana gelir. Bu sebeple herhangi bir nedenle otoakustik emisyon ölçümü yapılırken ortakulağın durumu mutlaka değerlendirilmelidir.<sup>63</sup> Biz de çalışmamızda OAE ölçümü yapmadan önce sıçanlara otoskopik muayene yaptık. Akut otit ve/veya timpanik membran retraksiyonu tesbit edilen sıçanları çalışmaya dâhil etmedik.

Wit ve Ritsma deney hayvanlarında kokleanın kısa olması nedeniyle emisyon latansının çok kısa olacağını ve emisyonların alınamayacağını iddia etmişler.<sup>79</sup> Buna karşılık yapılan diğer çalışmalarda deney hayvanlarında TEOAE başarıyla alınabilmektedir.

DPOAE için ise bu tartışma söz konusu değildir. Küçük deney hayvanlarında bile rahatlıkla alınabilmektedir.<sup>12</sup> Ancak sıçan otoakustik emisyon ölçümü yaparken karşılaşılan en önemli sorun sıçan dış kulak yolunun çok dar olması ve bu nedenle probun yerleştirilmesinde zorlukla karşılaşılmasıdır. Biz de çalışmamızda probu dış kulak yoluna sıkıca oturtabilmek için, cihazın probunun ucuna, en küçük boyda timpanometri probu yerleştirdik ve herhangi bir artefakt olmadan rahatlıkla emisyon alabildik.

Yaptığımız bu çalışmadan, 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'a 40 gün günde 24 saat süre ile maruz kalmanın, yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmelerine bir etkisi olmadığı sonucuna varıldı.

Bu çalışma 40 gün ve günde 24 saatlik maruziyetin yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmeleri üzerine etkisi olmadığını göstermektedir. Fakat 5-10 yıl gibi daha uzun süreler için tahmin yapılamamaktadır. Ayrıca çalışma ticari olarak ulaşılabilen DPOAE'ları kapsamaktadır. Daha yüksek frekanslı ölçümler daha detaylı ve güvenilir bilgi verebilir. WLAN sistemlerinin çok yaygın kullanılır olmaya başlaması nedeniyle, küçük bir sağlık probleminin bile ciddi bir halk sağlığı sorununa dönüşebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle kablosuz yayın yapan modem ve erişim noktası gibi cihazları, sık kullandığımız odalardan mümkün olduğunca uzağa kurmayı, sadece internete bağlanmamız gerektiğinde açık tutmayı ve gereksiz kablosuz internet kullanımından kaçınmayı öneririz.

## 6. SONUÇLAR

Çalışmamız 16 adet yetişkin ve 16 adet yenidoğan sıçan olmak üzerinde toplam 32 sıçan üzerinde yapılmıştır. Çalışmaya dahil ettiğimiz tüm sıçanlardan her hangi bir sorunla karşılaşmadan rahatlıkla OAE alabildik.

Yetişkin sıçanlar iki guruba ayrıldı. 8 sıçan elektromanyetik dalgaya maruz bırakılırken, diğer 8 sıçan kontrol grubu olarak kullanıldı. Maruziyet öncesi ve maruziyet sonrası ile kontrol grubu DPOAE sonuçlarını karşılaştırdığımızda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını gördük.

Yenidoğan sıçanlarda iki gruba ayrıldı. 8 adet yenidoğan sıçan elektromanyetik dalgaya maruz bırakılırken, diğer 8 adet yenidoğan sıçan kontrol grubu olarak ayrıldı. Deney sonunda yapılan DPOAE ölçüm sonuçlarını karşılaştırdığımızda, deney grubu ve kontrol grubu sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı olabilecek bir farkın olmadığını gördük.

Bu nedenle çalışmamızdan, 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'a 40 gün günde 24 saat süre ile maruz kalmanın, yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmelerine herhangi bir etkisi saptanmadı.

## ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmada amacımız, 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'ya uzun süre maruziyetin, yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmelerinde ne gibi bir değişikliğe neden olduğunu araştırmaktır.

**Materyal ve Metod:** Çalışmamızda 16 adet yetişkin ve 16 adet yenidoğan toplam 32 adet sağlıklı Wistar Albino sıçan kullanıldı. Yetişkin sıçanlar DPOAE ile ölçümleri yapıldıktan sonra, 8'i kontrol ve 8'i deney grubu olmak üzere iki gruba ayrıldı. Yenidoğan sıçanlar da kontrol ve deney grubu olmak üzere 8'erli iki gruba ayrıldı. Deney grubu sıçanlar, AP'e en fazla 1 metre uzaklıkta olacak şekilde AP etrafına yerleştirildi. 40 gün süre ile her gün, günde 24 saat AP açık bırakılarak düşük yoğunlukta ve günlük 2 saat süre ile de bir dizüstü bilgisayarla kablosuz internet bağlantısı sağlandıktan sonra internetten yüklü dosyalar indirilerek yüksek yoğunlukta elektromanyetik dalgalara maruz bırakıldı. Bu süre sonunda deney ve kontrol grupları DPOAE ile tekrar değerlendirildi. Çıkan sonuçlar yetişkin deney grubunda, maruziyet öncesi ve sonrası olarak kendi içinde ve kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Yenidoğanlar deney grubu ve kontrol grubu sonuçları karşılaştırılarak değerlendirildi.

**Bulgular:** Yetişkin sıçanlar üzerinde yaptığımız çalışmada EMA' a maruz bırakılan sıçanların maruziyet öncesi ve sonrası ölçüm sonuçlarını kendi içinde ve kontrol grubu ölçümleri ile kıyasladığımızda elde edilen sonuçlar arasında anlamlı fark olmadığını gördük ( $p>0,05$ ). Yenidoğan sıçanların deney ve kontrol grupları arasındaki test sonuçlarının karşılaştırılmasında da istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı ( $p>0,05$ ).

**Sonuç:** Çalışmamızdan, 2400 MHz frekansında yayın yapan WLAN sistemlerinden kaynaklanan EMA'ya 40 gün günde 24 saat süre ile maruz kalmanın, yenidoğan ve yetişkin sıçanların iç kulak ve işitmelerine herhangi bir etkisi saptanmadı.

**Anahtar Kelimeler:** WLAN, Elektromanyetik Alan, Otoakustik Emisyon, İşitme, Sıçan.

## **ABSTRACT**

**Purpose:** This study aims to investigate the possible effects of long-term exposure to EMF generated by WLAN systems operating at a frequency of 2400 MHz on the inner ear and hearing functions of neonatal and adult rats.

**Materials and Method:** A total of 32 healthy Wistar-Albino rats 16 adults, 16 neonatals were used as test animals for the study. After DPOAE measurements, the adult rats were divided into two groups: 8 for the experimental and 8 for the control group. Neonatal rats were also divided into two groups of 8 rats in each group to form an experimental and a control group. The rats in the experimental group were placed around the AP, with a maximum distance of 1 meter to the AP. They were exposed to both low and high-intensity electromagnetic waves continuously for 40 days low-intensity with the AP left turned on for 24 hours a day and high intensity for 2 hours a day with heavy file downloads using a laptop computer with wireless Internet connection. At the end of the forty-day period, both experimental and control groups were reexamined with DPOAE. The obtained pre and post exposure results for the adult experimental group were evaluated both within the group and in comparison to the control group. The results for the neonatals were evaluated comparatively between the experimental and control group.

**Results:** In this study, the pre and post-exposure measurement results for adult rats exposed to EMF were assessed both within the group and in comparison to those for the control group and no significant difference was observed ( $p>0,05$ ). A comparison between the test results for the experimental and control groups of neonatal rats did not yield any statistically significant difference either ( $p>0,05$ ).

**Conclusion:** In this study, it was concluded that 24-hour exposure for 40 days to EMF generated by WLAN systems operating at a frequency of 2400 MHz did not have any determined effect on the inner ear and hearing functions of neonatal and adult rats.

**Keywords:** WLAN, Electromagnetic field, Otoacoustic emission, Hearing, Rat.

## **KAYNAKLAR**

- 1-** Abbas PJ, Miller CA, Physiology of the auditory system. İn Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3 rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book; 1998.p. 2831–74.
- 2-** Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. cilt 1. Ankara: Bilimsel tıp yayınevi; 1998.
- 3-**Albiin N, Hellström S, Stenfors L-E, Cerne A. Middle ear mucosa in rats and humans. Ann Otol Rhinol Laryngol 1986; 126(Suppl): 2–15.
- 4-** Apaydın F, Ege Y, Günhan Ö, Bilgen V. Otoakustik emisyonlarda ilk uygulamalarımız. Türk Otolaringoloji Arşivi 1995; 33: 267–72.
- 5-** Arıncı K, Elhan A. Anatomi. cilt 1. Ankara: Güneş Kitapevi; 1997.
- 6-** Arnold DJ, Losbury-Martin B, Martin GK. High-frequency hearing influences lower-frequency distortion-product otoacoustic emissions. Arch Otolaryngol Head Neck Surgery 1999; 125: 215–22.
- 7-** Aslan A, Belgin E. Kulak anatomisi ve işitme fizyolojisi. Koç C, editör. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş-Boyun Cerrahisinde. Ankara: Güneş Tıp Kitapevi; 2004. p. 45–71.
- 8-** Austin DF. Kulak anatomisi. In Ballenger JJ, Snow JB, editors. Hafız G. çev. ed. Otolaringoloji Baş ve Boyun Cerrahisi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2000. p. 838–57.
- 9-** Bluestone CD. Physiology of the Middle Ear and Eustachian Tube. İn Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhpff WL, editors. Otolaryngology. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1991. p. 163–97.
- 10-** Bonfils P, Avan P. Distortion product otoacoustic emissions alues for clinical use. Arc Otolaryngol Head Neck Surg 1992; 118: 1069–76.

- 11-** Brenda L, Lonsbury-Martin, Martin GK, Luebke AE. İşitme ve vestibüler sistemlerin fizyolojisi. In Ballenger JJ, Snow JB, editors. Şenocak D, çev.ed. Otolaringoloji Baş Boyun cerrahisi. 15. baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 1996. p. 879–929.
- 12-** Brown AM. Acoustic distortion from the rodent ears: A comparison of responses from rats, Guinea Pigs and Gerbils. *Hear Res* 1987; 31: 25–38.
- 13-** Brown AM, McDowell B, Forge A, Acoustic distortion products can be used to monitor the effects of chronic gentamicin treatment. *Hear Res* 1989; 42: 143–56.
- 14-** Brownell WE, Bader CR, Bertrant D, Ribaupierre YD. Evoked Mechanical responses of isolated coclear outter hair cells. *Science* 1984; 227: 194–96.
- 15-** Chang KW, Vohr BR, Norton SJ, Lekas MD. External and middle ear status related to evoked otoacoustic emission in neonates. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1993; 119: 276–82.
- 16-** Çevreorman.gov.tr, Elektromanyetik radyasyon. [www.cevreorman.gov.tr/belgeler/e\\_radyasyon.pdf](http://www.cevreorman.gov.tr/belgeler/e_radyasyon.pdf)
- 17-** Daniel HJ, Fulghum RS, Brinn JE, Barrett KA. Comparative anatomy of eustachian tube and middle ear cavity in animal models for otitis media. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1982; 91: 82–89.
- 18-** Davidson HC, Lutman ME. Survey of mobile phone use and their chronic effects on the hearing of a student population. *Int J Audiol.* 2007; 46: 113–18.
- 19-** De Seze R, Peray PF, Miro L. GSM radiocellular telephones do not disturb to secretion antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 271–78.
- 20-** Dirckx JJ, Daemers K, Somers T, Offeciers FE, Govaerts PJ. Numerical assessment of TOAE screening results: currently used criteria and their effect on TOAE prevalence figures. *Acta Otolarygol* 1996; 116: 672–79.
- 21-** Donaldson JA, Duckert L. Anatomy of the Ear. In Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhoff WL, editors. *Otolarygology*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1991. p. 23–58.

- 22-** Donaldson JA. The ear: adult anatomy. In: Surgical Anatomy of the Temporal Bone. Donaldson JA, Duckert LG, Lambert PM, Rubel EW, editors. New York: Raven Pres;1992. p. 143–75.
- 23-** Doyle KJ, Rodgers P, Fujikawa S, Newman E. External and middle ear effects on infant hearing screening test results. *Otolaryngol Head and Neck Surg* 2000; 122: 477–81.
- 24-** Duckert LG. Anatomy of the skull base, temporal bone, external ear and middle ear. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. *Otolaryngology Head & Neck Surgery*. 3rd ed. St Louis: Mosby-year Book; 1998. p. 2533–46.
- 25-** Erdem T. Otoakustik emisyonların klinikte kullanım alanları (Çeşitli tiplerde işitme kaybı gösteren veya işitme taraması yapılan 166 olgunun 287 kulağı üzerinde yapılan çalışma). Uzmanlık Tezi. İzmir, 1998.
- 26-** Fabiani M. Evoked Otoacoustic Emissions in the study of adult sensorineural hearing loss. *Br J Audiol* 1993; 27: 131–37.
- 27-** Foster KR. Electromagnetic field effects and mechanism. *IEEE Eng Med Biol Mag* 1996; 50–56.
- 28-** Galloni P, Parazzini M, Piscitelli M, Pinto R, Lovisolo GA, Tognola G, Marino C, Ravazzini P. Electromagnetic fields from mobile phones do not affect the inner auditory system of sprague-dowley rats. *Radiation Research* 2005; 164: 798–804.
- 29-** Gates GA, Mills D, Nam B, D’Agostino R, Rubel EW. Effects of age on the distortion product otoacoustic emission growth functions. *Hear Res* 2002;163: 53–60.
- 30-** Guyton AC, Hall JE. *Textbook of Medical Physiology*. 7th ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1986.
- 31-** Hatari T, Hosada Y, Kanzaki J. A study on the vasculature of the internal artery in humans by casts. *Acta Otolaryngology (Stockh)* 1994; 514: 101–107.
- 32-** Haris FP, Probst R. *Otoacoustic emissions clinical applications*. New York: Stuttgart Thieme; 1997.

- 33-** Hebel R, Stromberg MW. Anatomy of the laboratory rat. Baltimore: Williams & Wilkins Co; 1976.
- 34-** Hellström S, Salen B, Stenfors L-E. Anatomy of the rat middle ear. A study under the dissection microscope. Acta Anat 1982; 112: 346–52.
- 35-** Hellström S, Stenfors LE. The pressure equilibrating function of pars flaccida in middle ear mechanics. Acta Physiol Scand 1983; 118: 337–41.
- 36-** Ickleys OJ. Physiology of the ear. In Wright D, editor. Scott-Brown's Otolaryngology. 5th ed. London: Butterworths – Heinemann; 1998. p. 47–80.
- 37-** Intel, IEEE 802.11b High Rate Wireless Local Area Networks, Wireless Technology Today, What is Wireless Networking?  
[http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc\\_library/documents/pdf/wireless\\_lan.pdf](http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc_library/documents/pdf/wireless_lan.pdf)
- 38-** International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic field (up to 300 GHz). Health Phys 1998; 74: 404–522.
- 39-** International Telecommunication Union, Frequencies. Radio Regulations 2001; 2: 72–80.
- 40-** Janfaza P, Nadol JB. Temporal kemik. In Janfaza P, Nadol JB, Gala R, Fabian RL, Montgomery WW, editors, Cansız H, çev. ed. Baş Boyun Cerrahi Anatomisi. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2002. p. 420–79.
- 41-** Judkins RF, Li H. Surgical anatomy of the rat middle ear. Otolaryngol Head Neck Surg 1997; 117: 438–47.
- 42-** Karasalihoğlu AR. Kulak Burun Boğaz Hastalıkları ve Baş Boyun Cerrahisi. 3. baskı. Ankara: Güneş Kitabevi; 2003.
- 43-** Kemp DT, Brown AM. Ear canal acoustic and round window electrical correlates of 2f1-f2 generated in the cochlea. Hear Res 1984; 13: 39–46.
- 44-** Kemp DT. Otoacoustic emissions, travelling waves and cochlear mechanisms. Hear Res 1986; 22: 95–104.

- 45-** Kızılay A, Özturan O, Erdem T, Kalcıoğlu MT, Miman MC. Effects of chronic exposure of electromagnetic fields from mobile phones on hearing in rats. *Auris Nasus Larynx* 2003; 30: 239–45.
- 46-** Kileny PR, Zwolan TA. Diagnostic and rehabilitative audiology. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. *Otolaryngology Head & Neck Surgery*. 3rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book; 1998. p. 2875–93.
- 47-** Kim DO, Paparello J, Jung MD, Smurzynski J, Sun X. Distortion product otoacoustic emission test of sensorineural hearing loss: Performance regarding sensitivity, specificity and receiver operating characteristics. *Acta Otolaryngol* 1996; 116: 3–11.
- 48-** Koyu A, Cesur G, Özgüner F, Elmas O. Cep telefonlarından yayılan 900MHz elektromanyetik alanın serum kortizol ve testosteron hormonu üzerine etkisi. *S.D.Ü. Tıp Fak. Derg* 2005; 12: 52–56.
- 49-** Lafreniere D, Smurzynski J, Jung MS, Leonard G, Kim DO. Otoacoustic emissions in full-term newborns at risk for hearing loss. *Laryngoscope* 1993; 103: 1334- 41.
- 50-** Larsen H, Angelborg C, Hultcrantz E. The effect of glycerol on cochlear blood flow. *Arch Otolaryngol* 1981; 44: 101–107.
- 51-** Lawrence M. Introduction to inner ear (Fluid) physiology. In Paparella MM, Shumrick DA, Gluckman JL, Meyerhof WL, editors. *Otolaryngology*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1991. p. 199–217.
- 52-** Lee KJ. Anatomy of the ear. *Essential Otolaryngology*. Connecticut: Appleton&Lange Company; 1999.
- 53-** Lonsbory-Martin BL, Harris FB, Stagner BB, Hawkins MD; Martin GK. Distortion product otoacoustic emissions in human 2. relations to acoustic immittance and stimulus frequency and spontaneous emissions in normally hearing subjects. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1990; 99: 15–29
- 54-** Lonsbory-Martin BL, Martin G. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1991; 89: 2027–67.

- 55-** Lonsbury-Martin BL, Martin G. The clinical utility of distortion product otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1990; 11: 144–54.
- 56-** Lotz WG. Temperature and adrenocortical responses in rhesus monkeys exposed to microwaves. *J Appl Physiol* 1982; 53: 1565–71.
- 57-** Mann K, Wagner P, Bruun G, Hassan F, Hiemke C, Röschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology* 1998; 67: 139–44.
- 58-** Martin GK, Probsts R, Lonsbury-Martin BL. Otoacoustic emissions in human ears: Normative findings. *Ear Hear* 1990;11: 106–20.
- 59-** Moulder JE, Foster KR. Biological effects of power-frequency fields as they relate to carcinogenesis. *Proc Soc Exp Biol Med* 1995; 209: 309–24.
- 60-** Netsis Com, Kablosuz Teknoloji (Wireless Technology), Fonksiyonellik, Detay bilgi.  
<http://www.netsis.com.tr/goksel/Wireless/Wt.HTM>
- 61-** O’neal J, Finitzo T, Littman TA. Neonatal hearing screening: Follow-up and diagnosis. In Roeser RJ, Valente M, Hosford-Dunn H. *Audiology: Diagnosis*. New York: Thieme Medical Publishers; 2000. p. 527–44.
- 62-** Otto M, Ernst K. Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children’s environmental health (CEH)? *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2007; 210: 635–44.
- 63-** Owens JJ, McCoy MJ, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. Otoacoustic emissions in children with normal ears, middle ear dysfunction, and ventilating tubes. *Am J Otol*. 1993;14: 34–40.
- 64-** Özturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioglu MT, Oncel S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol* 2002; 122: 289–93.
- 65-** Özturan O, Jerger J, Lew H, Lynch GR. Monitoring of cisplatin ototoxicity by distortion product otoacoustic emissions. *Auris Nasus Larynx* 1996; 23: 147–51.

- 66-** Özturan O, Lew H, Jerger J. Otoakustik emisyonlar ve klinik uygulamaları. KBB İhtisas Dergisi 1994; 2: 194–205.
- 67-** Ömür M, Dadaş B. Klinik Baş ve Boyun Anatomisi.1.cilt. İstanbul: Ulusal Tıp Kitapevi; 1996.
- 68-** Öztürk E. WLAN kablosuz yerel alan ağları (wireless local area networks) teknolojisinin incelenmesi, mevcut düzenlemelerin değerlendirilmesi ve ülkemize yönelik düzenleme önerisi. Uzmanlık Tezi. Ankara: 2004.
- 69-** Probst R, Lonsbury, Martin M., Martin GK. A review of otoacoustic emissions. Jou Acous Som 1991; 89: 2027–67.
- 70-** Rahko T, Kumpulainen P, Ihalainen H, Ojala E, Aumala O. A new analysis method for the evaluation of transiently evoked otoacoustic emissions. Acta Otolaryngol 1997; Suppl 529:66–68
- 71-** Robinette MS, Glatke TJ. Otoacoustic Emissions. In Roeser RJ, Valente M, Hosford-Dunn H. Audiology: Diagnosis. New York: Thieme Medical Publishers; 2000. p. 503–26.
- 72-** Santi PA, Mancini P. Cochlear anatomy and central auditory pathways. In Cummings CW, Fredrickson JM, Harker LA, Krause CJ, Richardson MA, Schuller DE, editors. Otolaryngology Head & Neck Surgery. 3 rd ed. St. Louis: Mosby-Year Book; 1998. p. 2803–26.
- 73-** Sievert U, Eggert S, Goltz S, Pau HW. Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phone on auditory and vestibular labyrinth. Laryngorhinootologie 2007; 86: 264–70.
- 74-** Szentpali B. Human exposure to electromagnetic fields from mobile telephones. IEEE 1999; 47: 222–31.
- 75-** Telekomünikasyon Kurumu, Sağlık ve elektromanyetik alanlar. Avrupa komisyonu, topluluk araştırması <http://www.telekomunikasyonkurumu.gov.tr/sas/dokumanlar/word/avkomsaveEMFbro.doc>
- 76-** Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Saferis V. Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. BMC Public Health 2005; 5: 39.

**77-** Valberg PA, van Deventer TE, Repacholi M. Workgroup Report: Base stations and wireless networks - radiofrequency (RF) exposures and health consequences. *Environ Health Perspect* 2007; 115: 416–24.

**78-** Whitehead M, Lonsbory-Martin BL, Martin G. Evidence for two discrete sources of 2f1-f2 distortion product otoacoustic emissions in rabbit. Differential dependence on stimulus parameters. *J Acoust Soc Am* 1992; 91: 1587–607.

**79-** Wit HP, Ritsma RJ. Evoked acoustical emissions from the human ear: Some experimental results. *Hear Res* 1980; 2: 253–61.

**80-** Wlana Org, Education, What is a Wireless LAN? <http://www.wlana.org/learn/educate1.htm>

**81-** Yağmur F, Bozbıyık A, Hancı İH. Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerine etkileri. *Sted* 2003; 12: 296–97.

**82-** Zimmer WM, Deborah FR, Saunders JC. Middle-ear development VI: Structural maturation of the rat conducting apparatus. *Anat Rec* 1994; 239: 475–84.