

**T.C**

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**

**İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ**

**Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı**

**BASINÇ ODALARINDA HİPERBARİK OKSİJEN UYGULAMALARI ESNASINDA  
OLUŞAN SES ŞİDDETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dr. Taylan ZAMAN**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Akın S. TOKLU**

**UZMANLIK TEZİ**

**İSTANBUL**

**2017**



**T.C**

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**

**İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ**

**Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı**

**BASINÇ ODALARINDA HİPERBARİK OKSİJEN UYGULAMALARI ESNASINDA  
OLUŞAN SES ŞİDDETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dr. Taylan ZAMAN**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Akın S. TOKLU**

**UZMANLIK TEZİ**

**İSTANBUL**

**2017**

## ÖNSÖZ

Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı'nın kurulması ve gelişmesinde yoğun emekleri olan, beraber çalışma fırsatı bulduğum için kendimi şanslı saydığım sayın hocam Prof. Dr. Maide ÇİMŞİT'e teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimimde karşılaştığım zorluklarda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübesiyle gelişimime büyük katkı sağlayan, kendisiyle yaptığımız bilimsel sohbetlerin her biri bizler için yeni bir ufuk olan Prof. Dr. Şamil Aktaş'a çok teşekkür ederim.

Eğitimim sırasında bilgi ve deneyimlerini bizden esirgemeyen, yurt içi ve yurtdışı araştırma ve çalışmalara teşvik ve yönlendirmeleriyle bizlere her zaman destek olan, bu çalışmanın üretilmesinde ve hayata geçirilmesinde bizzat emeği bulunan tez danışmanı değerli hocam Prof. Dr. Akın Savaş Toklu'ya teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi birikimini her fırsatta bizimle paylaşan, anlayışlı yaklaşımıyla bizlere destek olan, tecrübeleriyle bizlere yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Salih Aydın'a teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi ve becerilerinden her zaman yararlandığım, bizlere büyük bir özveri ve sabırla yaklaşan değerli uzmanımız Uzm. Dr. Bengüsu Mirasoğlu'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamda desteklerini esirgemeyen ve emeği geçen resmi ve özel merkezlerde görevli Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp uzmanlığı yapmakta olan tüm hekimlere teşekkür ederim.

Sadece iş hayatında değil, sosyal hayatta da tanımaktan ve kendileriyle vakit geçirmekten büyük keyif aldığım asistan arkadaşlarım Selçuk Tatar'a, Eylem Koca'ya, Mehmet Emin Akçin'e, Bekir Selim Bağlı'ya, Yavuz Aslan'a, Hasan Sivrikaya'ya, Engin Egeren'e, Ayşegül Şimşek'e, Mehmet Ali Kaplan'a, Eren Olcay'a, Hüseyin Karakaya'ya, K. Kutay Külahcı'ya, Handan Öztürk'e, A. Sena Yumbul'a, Emine Ömür'e, Hilal Ak'a, Ertuğrul Kerimoğlu'na, Abdüsselam Çelebi'ye, Özdiñ Acarlı'ya, Esmâ Demir'e teşekkür ederim.

Anabilim Dalımızda görevli, Başta Vildan Erdem ve Ayşe Keşşaf olmak üzere tüm hemşire arkadaşlarıma bana gösterdikleri sabır ve saygı için teşekkür ederim.

Bilgi ve yardımına ne zaman ihtiyaç duysak bizi geri çevirmeyen, çalışkanlığını takdir ettiğim Fizyoterapist Ali elik'e teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca beraber çalıştığımız Cengiz şimşek başta olmak üzere, Mahir, Ali, Sezgin, Can, Cemil, Refik, Sırma Abla, Derya, Seracettin ve Neşe'ye teşekkür ederim.

Benden arkadaşlıklarını esirgemeyen Sevgi Meydan ve Aslı Akyüz'e teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında verdikleri destek ve gösterdikleri sevgiyle beni bugünlere getiren canımdan çok sevdiğim anne ve babama, ablam ve abime sonsuz teşekkür ederim.

Zorlandığım anlarda benden desteğini hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan ve çok sevdiğim biricik eşim Sueda Zaman'a çok teşekkür ederim.

Bu tez geçen sene aramızdan ayrılan çok değerli anneme ithaf edilmiştir.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
ABSTRACT	2
I. GİRİŞ VE AMAÇ	3
II. GENEL BİLGİLER	5
1. SES VE GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	5
A. TANIMLAR	5
B. SES DÜZEYİ ÖLÇÜMÜ VE STANDARTLAR	9
C. GÜRÜLTÜNÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	14
D. GÜRÜLTÜNÜN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ	19
E. HİPERBARİK ORTAMDA SES ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ	23
2. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ	26
A. Tanım	26
B. Tarihçe	27
C. Hiperbarik Oksijen Tedavisinin Etki Mekanizmaları	29
D. Hiperbarik Oksijen Tedavisinin Endikasyonları	34
E. HBO Tedavisi ve Hiperbarik Ortamda Bulunmanın Komplikasyonları ve Yan Etkileri	38
F. HBO Tedavisinin Kontrendikasyonları	40
III. GEREÇ VE YÖNTEM	41
IV. BULGULAR	42
V. TARTIŞMA	46
VI. SONUÇ	52
VII. KAYNAKLAR	53
VIII. ÖZGEÇMİŞ VE İLETİŞİM BİLGİLERİ	61

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil 1.** Tek kişilik basınç odası

**Şekil 2.** Çok kişilik basınç odası

**Şekil 3.** Basınç ile oksijen çözünürlüğü ilişkisi

**Şekil 4.** Sinyal tanımlama parametreleri

## **TABLolar DİZİNİ**

**Tablo 1.** Ses kaynaklarının oluşturduğu gürültü seviyelerinin dB cinsinden karşılaştırılması

**Tablo 2.** Basınç odalarının operasyonu esnasında meydana gelen ses şiddetleri

**Tablo 3.** Tüm merkezlerdeki en yüksek ve en düşük değerler

**Tablo 4.** Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'teki gürültü düzeylerine göre önerilen maksimum günlük gürültü maruziyet süreleri

**Tablo 5.** Oluşturduğu olumsuz etkilere göre gürültü seviyeleri

**Tablo 6.** UHMS tarafından belirlenen endikasyonlar

**Tablo 7.** Sağlık Bakanlığı endikasyon listesi

**Tablo 8.** 2016 ECHM konsensus kararlarına göre belirlenen endikasyon listesi

**Tablo 9.** HBO tedavisinin göreceli kontrendikasyonları



## GRAFİKLER DİZİNİ

**Grafik 1.** Desibel, pascal dönüşümü

**Grafik 2.** Ses alanları, dB ve uzaklık ilişkisi

## KISALTMALAR

ATA	Mutlak Atmosfer Basıncı
dB	Desibel
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
ECHM	European Committee for Hyperbaric Medicine
EPA	ABD Çevre Koruma Kurumu
EUBS	European Underwater and Baromedical Society
HBO	Hiperbarik Oksijen
Hz	Hertz
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komitesi (International Electrotechnic Committee)
Leq	Eşdeğer gürültü seviyesi
PTS	Kalıcı Eşik Kayması (Permanent Threshold Shift)
RMS	Karekök Ortalama (Root Mean Square)
TTS	Geçici Eşik Kayması (Temporary Threshold Shift)
UHMS	Undersea and Hyperbaric Medicine Society

## ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı hiperbarik oksijen tedavisi uygulanan merkezlerdeki basınç odalarında, kompresyon, tedavi ve dekompresyon aşamalarında ortaya çıkan ses şiddeti ölçülerek, insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek şiddette gürültü açısından değerlendirmektir. Çalışmada özellikle ani işitme kaybı (ani sensörinöral işitme kaybı) nedeniyle hiperbarik oksijen tedavisi görenler olmak üzere, basınç odasına tedavi amaçlı giren hastaların gürültüden olumsuz etkilenmesi önlemek amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem:** Araştırma için hiperbarik oksijen tedavilerinin uygulandığı basınçlarda kalibrasyonu yapılabilen ve hiperbarik ortamlarda doğru ölçüm yapılabilen ses seviyesi ölçen Bruel & Kjaer desibelmetre (ses ölçer) cihazla İstanbulda faaliyet gösteren hiperbarik tedavi merkezlerindeki hiperbarik oksijen uygulamalarının kompresyon, tedavi ve dekompresyon aşamalarında, basınç odası içinde ses şiddeti ölçümleri yapıldı. Elde edilen veriler insan sağlığına olası olumsuz etki açısından değerlendirildi.

**Bulgular:** Çalışmaya İstanbul'da HBO tedavisi uygulayan 11 merkez dâhil edilmiştir. Ölçümlerde "A" ağırlıklı ortalama ve maksimum gürültü düzeyleri ile "C" ağırlıklı peak değerlerine bakılmıştır. Basınç odasının kompresyonu ve dekompresyonu esnasında ses şiddeti, basınç farkına bağlı olarak değişim gösterdiği için cihaz sürekli kalibre edilmiştir. Ölçümler 25 saniyelik aralıklarla yapılmış olup her ölçüm sonunda ortaya çıkan kalibrasyon değerleri not edilmiştir. Her basınç odasında en az 8 kez ölçüm yapılmış olup en yüksek 96,2 dB(A)'lik gürültü şiddeti meydana geldiği gösterilmiştir.

**Sonuç:** Basınç odalarında gürültü kaynakları farklı olup bunlar basınçlı ortamda doğru ölçüm yapabilen ses ölçer cihazıyla tespit edilmeli ve basınç odası üretimi esnasında gürültüyü en aza indirecek önlemler alınmalıdır. Basınç odalarında çalışan sağlık personelleri eğitilmeli ve gürültüden meydana gelebilecek hasarlar için önlem alınmalıdır.

**Anahtar kelimeler:** hiperbarik oksijen tedavisi, gürültü, ses şiddeti

## ABSTRACT

**Objective:** In this study, we aimed to measure and evaluate if the sound level in the hyperbaric chamber used for hyperbaric oxygen therapy HBO, during compression, at treatment pressure and decompression, to check if the loudness affects the health adversely. The study aimed to keep the patients who receive HBO, especially for the ones with sudden sensory neural hearing loss, away from loudness discomfort and acoustic barotrauma.

**Material and methods:** A sound meter, Bruel & Kjaer decibel meter that can be calibrated and measure sound level in hyperbaric condition during hyperbaric oxygen therapy was used to measure sound levels in the hyperbaric chambers used in the hyperbaric centers in Istanbul, during compression, oxygen periods and decompression phases of HBO. The results were evaluated to check if the sound levels were over the limits.

**Results:** Eleven HBO centers in Istanbul were included in the study. The average and maximum A-weighted and C-weighted peak sound levels were evaluated. The decibel meter was calibrated during compression and decompression, since the sound level was changed due to the change in pressure. Measurements were done by 25 seconds intervals and the calibration value after each measurements were recorded. At least eight measurements were performed for each pressure chamber and the highest measured level of sound was 96,2 dB (A).

**Conclusion:** In an hyperbaric chamber sources of louds might be various and these sources should be detected by using a sound meter than can function under hyperbaric conditions, in order to allow prevention of loudness. On the other hand, the staff serve as an attendee in a hyperbaric chamber should be trained about the hazardous effect of loudness in the chamber.

**Key words:** hyperbaric oxygen treatment, loudness, sound level

## I. GİRİŞ VE AMAÇ

Sağlık; bedenen, ruhen ve sosyal yönden tam iyilik olarak tanımlanmaktadır. Gerek iş hayatında, gerekse sosyal yaşantıda sağlığa gereken önem verilmezse insanlarda kalıcı problemler oluşabilmektedir.

Gürültünün insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olup bir halk sağlığı problemi oluşturmaktadır. Gürültü kirliliği günümüzde şehirlerdeki çevresel kirliliğin ana nedenlerinden biri olup, toplumun yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir (51, 52).

Gürültü kavramı ve buna karşı önlemler çok eski zamanlardan beri var olmuştur. M.Ö 600 yıllarında Sybaris kentinde gürültüye karşı önlemler alınmış, kent içinde çalışan araba yapımcıları gibi gürültüye neden olan küçük el sanatlarının şehir dışına çıkarılmaları ile ilgili kanunlar çıkartılmıştır (1).

Gürültü maruziyeti sonrası tespit edilen ilk işitme kaybı yaklaşık olarak 300 yıl önce İtalyan doktor Bernardino Ramazzini tarafından, çeşitli sağlık sorunlarının anlatıldığı “De Morbis Artificum Datriba” adlı kitabında, bakır dövücülerinde görüldüğü bildirilmiştir. Ramazzini bu kitabında yüksek ses seviyelerinin sadece iletişimin sözel kalitesini etkilemekle kalmayıp aynı zamanda, okuma, yazma, konuşma, anlama gibi öğrenme yetilerini sekteye uğratarak zihinsel bazı sorunların oluşmasında etkin bir rol oynadığından bahsetmiştir (53, 54).

Eski zamanlarda gök gürültüsü, sokak satıcılarının bağrırmaları başlıca gürültü kaynakları sayılabilecekken günümüzde endüstriyel ve teknolojik gelişmeler sonucu artan işyeri ve taşıt trafiği, nüfus yoğunluğu ve çarpık kentleşme asıl gürültü kaynaklarını oluşturmaktadır. (55)

Günümüzde gelişmekte olan teknoloji ve sanayileşme, bir taraftan insanlara kolaylık sağlarken diğer taraftan da çevre sorunları, işçi sağlığı ve iş güvenliği sorunlarını da gündeme getirmektedir. Bu sorunların en önemlilerinden biri sayılabilecek gürültü sorunu, günümüzün önemli çevre sorunlarından birisi olmasına karşın, ülkemizde en az bilinen kirlilik türlerinden birisidir. Gürültü, insanların algısını, işitme sağlığını, fizyolojik ve psikolojik dengelerini etkileyerek iş performansını azaltıp, çevrenin sakinliğini yok ederek niteliğini değiştirir. Gürültü, maruziyet süresi ve şiddetine bağlı olarak: yorgunluk, sinirlilik, hipertansiyon, stres, gastrointestinal sistem rahatsızlıkları gibi birçok sistemi etkileyerek olumsuz etkilere yol açar. (55, 56, 57, 58, 59)

Hastanelerde ki ses ortamı ise daha karmaşık ve çeşitlidir. Tıbbi ekipmanlar, alarmlar, taşınabilir araçlar, personel etkinlikleri, iletişim ve çağrı sistemleri, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri bunlar için sadece birkaç örnektir. (60, 61)

Gazlar yüksek basınçtan alçak basınca geçerken genişerek hava dalgalarında titreşimler meydana getirerek ses çıkarırlar. Ortaya çıkan bu ses şiddeti fazla olursa, gürültü oluşur ve insanları rahatsız edebilecek bir hal alır. Bununla birlikte basınç odalarında gürültü oluşturan tek faktör gazların genişmesi de değildir. Ayrıca basınç odalarının dar oluşu sesin yankılanmasına ve meydana gelen gürültünün daha da şiddetli hissedilmesine neden olmaktadır. Sesin iletimi yüksek basınçlı ortamlarda daha hızlı olmaktadır, basınç odalarında hiperbarik şartlarda ses iletimi de daha hızlı olacağı için yine gürültüyü artıran bir diğer etmen olarak önem taşımaktadır. Ayrıca basınç odalarında acil olarak tedaviye alınan ani işitme kaybı tanılı hastalar için yüksek gürültü düzeyleri önemli olup tedavide büyük bir sorun oluşturabilir. Tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda basınç odalarında meydana gelen gürültü hem hastalar hem de yardımcı sağlık personeli için önem taşımaktadır. İnsan hayatında kritik öneme sahip olan hastanelerde ve basınç odalarında söz konusu gürültü kirliliğinin meydana getirebileceği olumsuz durumları tespit edebilmek amacıyla bu araştırma planlanmıştır.

Bu çalışmada sağlık sorunu yaşayan bireylerin tedavi amacıyla geldikleri basınç odalarında maruz kaldıkları gürültü düzeyleri belirlenerek, uluslararası kabul gören standartlarla karşılaştırılması ve belirlenmiş olan bu standartlara çekilebilmesi için alınması gereken önlemlerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

## II. GENEL BİLGİLER

### 1. SES VE GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

#### A. TANIMLAR

##### 1. SES

Titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında meydana getirdiği dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duyusunu uyaran fiziksel bir olaydır (1).

Bir ses kaynağı birim zamanda belli bir ses enerjisi (Joule/sec) açığa çıkarır, yani belli bir güce (Watt = Joule/sec) sahiptir. Bu, o ses kaynağının, çevresel faktörlerden bağımsız olarak ne kadar akustik enerji üretebileceğinin göstergesidir. Üretilen enerji ses basıncını yükselterek ortama yayılır. Ses basıncı kaynağın gücüne, o noktanın ses kaynağına olan uzaklığına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişir.

##### 2. GÜRÜLTÜ

Gürültü uzun zamandan beri bilinen bir problem olup çok farklı tanımlamaları yapılmıştır. Akustik; sesi inceleyen bilim dalı olup, katı, sıvı veya gaz halde bulunan maddelerde dalga yayılımını inceler. Akustikte gürültü, dinlenmekte olan seslere istenmeyen seslerin karışması olarak tanımlanıp armonik olmayan çok sayıda titreşimin birbiri üstüne gelmesiyle müzikten ayrılır. Sesbilimde ise gürültü periyodik olmayan frekanslardan oluşan ses birimlerinin oluşturduğu tayf olarak tanımlanır. Toplum ve sağlık açısından değerlendirildiğinde ise “ Belirgin bir yapısı olmayan, içerdiği öğeler itibariyle kişiyi bedensel ve psikolojik olarak etkileyebilen, toplum ve bireyler üzerinde olumsuz etkiler meydana getiren ve işitme sistemini olumsuz etkileyen istenmeyen sesler” olarak tanımlanmıştır (2,3).

##### 3. FREKANS

Ses dalgalarının birim zamandaki (saniye) titreşim sayısıdır. Birimi Hertz (Hz)'dir. İnsan kulağı belli bir frekans aralığındaki sesleri duyabilmektedir. 20-20.000 Hz. Arasını duyabilir ancak bu frekans dışındaki sesler duyulmuyor olsa da zararlı etkiler meydana getirebilmektedir.

Seslerin 20 Hz altında olanlarına *infrasound* (infrases), 20.000 Hz üzerindekiyle ise *ultrasound* (ultrases) denilmektedir. Bu sesler insanlar tarafından duyulmasalar bile kişide

bulantı, baş ağrısı ve huzursuzluk yapabilmektedir. İnfrasound genel itibariyle teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkar ve zararlı sinsi etkiler meydana getirir (4, 5, 6).

#### 4. VİBRASYON

Genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duyusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik titreşimlerdir (2).

#### 5. SES GÜCÜ

Birim zamanda yayılan toplam ses enerjisidir. Watt (Joule/sec) cinsinden ölçülür. Ses gücü makinaların çıkardıkları gürültüye göre sıralandırılmasında kullanılmaktadır.

#### 6. SES ŞİDDETİ

Bir ses kaynağı tarafından P gibi bir ses gücü üretildiğinde, kaynaktan komşu hava moleküllerine doğru bir enerji akışı meydana gelir. Bu şekilde enerji, suda dalgaların gittikçe büyüyen daireler şeklinde uzaklaşmasına benzer şekilde ortama yayılır. Yayılan bu enerjinin belli bir yönde birim zamanda birim alandan geçen miktarına ses şiddeti (I) adı verilir. Yayılmakta olan bu enerji, geçtiği her noktada ses basıncına sebebiyet verir.

Ses şiddeti gürültü kaynaklarının tespitinde kullanılır.

#### 7. SES BASINCI

Sesin yayılması sırasında belirli bir zaman içinde herhangi bir noktadaki hava basıncının atmosferin denge basıncına olan farkıdır. Birimi Pascal (Newton/m<sup>2</sup>)'dir.

Ses gücü, şiddeti ve basıncı parametrelerini birbirine bağlayan formül şu şekildedir.

$$I = (P/4\pi r^2) = p^2/\rho c$$

P: Watt (Joule/sec)

r: Kaynağa olan uzaklık

p: Basınç (Pa = N/m<sup>2</sup>)

$\rho$ : Havanın yoğunluğu

c: Ses hızı



Ses şiddeti ve ses basıncı uygun cihazlar yardımıyla ölçülebilmektedir. Ses gücü de bu ölçülen değerler ve ölçülen yüzey büyüklüğü yardımıyla hesaplanabilir.

Ses basıncı gürültü kaynaklarının tahribat ve kötü etkileri için izlenmesi gereken en önemli parametredir.

Akustik basınç titreşimleri, yaklaşık değeri 100.000 Pascal (Pa) olan ortam statik basıncının (Atmosfer basıncı) dalgalanmasına sebep olurlar. 20µPa ile 100 Pa arasında değişen duyulabilir ses basınç değişimleri, statik hava basıncıyla karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyedir.

20µPa ortalama bir kişi tarafından duyulabilecek en düşük ses basınç seviyesi olarak kabul edilmiştir ve bu yüzden “duyum eşiği” olarak adlandırılır. 100 Pa ise çok yüksek bir seviyedir ve acıya neden olur, bu yüzden “acı eşiği” olarak adlandırılır. Bu iki seviyenin birbirine oranı bir milyondan daha fazladır, bu yüzden Pa cinsinden lineer bir skala, ölçüm sonuçlarının çok geniş bir aralıkta, çok büyük oranlarda değişmesine yol açacaktır. Bununla birlikte insan kulağı lineer değil, logaritmik artışlara karşı hassastır. Tüm bu sebeplerden ötürü akustik parametrelerin tespitinde, ölçülen değerlerin bir referans seviyeye oranının logaritması olan desibel (dB) ölçüğü kullanılır.

## 8. DESİBEL

Ses basınç düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılan, logaritmik olarak değişim gösteren birimdir. Desibel cinsinden ses basınç düzeyi ( $L_p$ ),  $L_p = 20 \log (p/p_0)$  olarak tanımlanır. Bu denklemde  $p$  ölçülen ses düzeyi (Pa cinsinden),  $p_0$  ise standart kabul edilen referans ses düzeyidir (20µPa). Burada dikkat edilmesi gereken “ses basıncı”nın yanına, bir referansa göre belli bir düzeye sahip olduğunu belirten “düzey” kelimesinin eklenmesidir. Günlük yaşamda ses düzeyi ölçümü denildiğinde kastedilen ses basınç düzeyi ölçümü olup birbirleriyle aynı anlamda kullanılmaktadırlar.

Bir örnekle açıklamak gerekirse: 1 Pa’lık ses basıncı kaç desibele karşılık gelir?

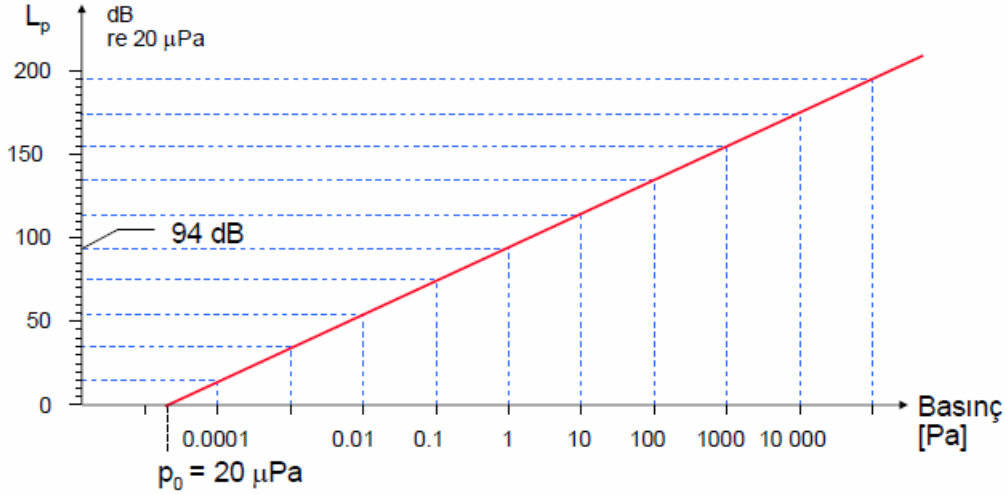
$$L_p = 20 \log (p/p_0) \quad p = 1, \quad p_0 = 20\mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6}$$

$$L_p = 20 \log (1/20 \times 10^{-6})$$

$$L_p = 20 \log 50.000 = 94 \text{ dB (ses ölçüm cihazlarında kullanılan kalibrasyon değeri)}$$

Basınçta oluşacak 3 dB'lik bir değişim ancak hissedilebilir bir düzeydedir. 10 dB'lik bir değişim ise sesin bir kat gürleştiği hissini uyandırır. İnsanların algılayabildiği ses seviyesi ile dB cinsinden belirtilen düzey arasında doğrusal bir bağlantı yoktur, değişimler logaritmiktir.

Desibel, Pascal dönüşümleri için özel hazırlanmış tablolar bulunmaktadır. **Grafik 1'** de desibel, pascal dönüşümü gösterilmiştir.



**Grafik 1:** Desibel, pascal dönüşümü

Desibel ile yapılan değerlendirmelerin bir başka özelliği de birden fazla ses kaynağı olması durumunda kaynakların ses basıncı düzeylerinin aritmetik olarak toplanmamasıdır. İki ses kaynağı aynı düzeyde enerji üretiyorsa ve kaynakların her ikisine de eş uzaklıkta bir nokta söz konusu ise, bu noktadaki “ses şiddeti”, tek bir kaynağın o noktada oluşturacağı ses şiddetinin iki katı olacaktır. Ses şiddeti, “ses basıncının” karesi ile doğru orantılı olduğu için ses basıncının  $\sqrt{2}$  katına çıkmasına ya da 3 dB artmasına yol açacaktır. Örneğin 70 desibel ses basıncı düzeyi olan aynı iki kaynağın oluşturduğu toplam gürültü düzeyi 140 desibel değil, sadece 70+3 dB'dir. Eğer iki kaynak birbirinden farklı seviyelerde ses basıncına neden oluyorsa ve aradaki fark 10 dB den fazla ise küçük kaynağın etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. dB değerlerini ekleyip çıkarmak için hazır tablo veya eğriler kullanılmalı ya da Pa cinsine çevrilip toplanıp tekrar logaritması alınmalıdır.

İnsan kulağı 0-140 dB arası sesleri algılamakta olup, sıfır dB olarak, 20µPa lık ses basıncı değişimi kabul edilmiştir. 120 dB değerindeki bir gürültü, kulakta rahatsızlık hissine yol açarken, 125-135 dB arası sesler kulakta belirgin ağrıya neden olur. 140 dB değerinde ise

ağrının yanında timpanik membran yırtılması da görülebilmekte ve kalıcı hasarlar oluşabilmektedir (5, 8, 9, 11).

## **B. SES DÜZEYİ ÖLÇÜMÜ VE STANDARTLAR**

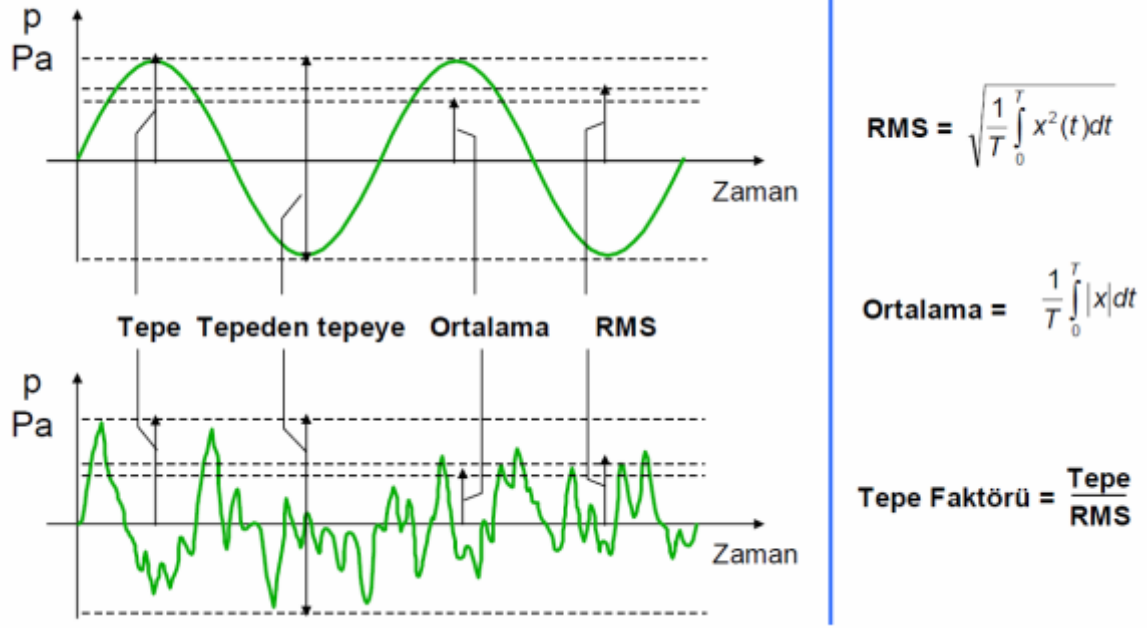
### **1.SES DÜZEYİ ÖLÇÜM CİHAZLARI**

Ses düzeyi, bir ses ölçer cihaz (sonometre, desibelmetre) yardımıyla belirlenebilir. Ses ölçüm cihazı, ortamdaki gürültü düzeyini standart bir şekilde ekranında gösterebilen elektronik bir cihazdır. Bu cihazlar: mikrofon, mikrofon önyükselticisi, RMS (Root Mean Square, Karekök Ortalama) ve tepe değerlerini veren dedektörler, standartlaşmış zaman ağırlıkları ve ekrandan oluşmaktadır.

Gürültü ölçümlerinde genellikle ses düzeyi ölçer cihazları kullanılmaktadır. Ses düzeyi ölçerlerin uyması gereken şartlar, ayrıca ses düzeyi ölçerlerin tip değerlendirme deneyleri ve periyodik testleri sırasıyla, Uluslararası Elektroteknik Komitesi (International Electrotechnic Committee; IEC) tarafından belirlenmiş olan IEC 61672-1, IEC 61672-2 ve IEC 61672-3 standartlarında tanımlanmıştır (12, 13, 14).

Gürültü ölçümlerinde izlenecek yöntemleri tarif eden çok sayıda uluslararası standart ve kılavuz niteliğinde dökümanlar mevcuttur (15,16).

Bir sinyali tanımlamanın birçok farklı yolu mevcuttur. Ses düzeyi ölçümünde en çok kullanılanlar Tepe (Peak) ve RMS değerleridir. Tepe değeri sinyalin ulaştığı maksimum (pozitif veya negatif) değerdir. Ses düzeyi ölçümünde kullanılan sinyal tanımlama parametreleri **Şekil 4**'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Sinyal tanımlama parametreleri

Ses ölçüm cihazlarının sabit tondaki sinyallere karşı vereceği tepkiler IEC tarafından standart hale getirilmiştir.

Alışıla gelen gürültü ölçüm cihazları genellikle saniyenin onda biri süresince gürültünün integrasyonunu yaparak sonuç vermektedir. Bu zaman, işitme sisteminin sesi algılaması için geçen süredir ve psikoakustik deneylerde hesaplanmıştır. Bu merkezi sinir sisteminin integrasyon zamanıdır. Gürültünün en büyük harabiyeti yaptığı organ olan kohleanın integrasyon zamanı bunun çok altındadır ve birkaç milisaniye civarındadır (3).

Ses ölçüm cihazları ortam gürültüsünün ani yükselme ve alçalmalarına anında ulaşamadıkları için bu seviyeyi yakalayabilmeleri için kısa da olsa bir yükselme ve sönümlenme süreleri vardır. Bunun için farklı ağırlıklandırmalar mevcuttur.

Hızlı (F) için yükselme ve sönümlenme süresi eşit ve 124 milisaniyedir. Hızlı zaman ağırlığını kullanan ses ölçüm cihazı ortamda oluşan ses düzeyi değişikliklerine daha kısa sürede cevap verebilmekte ve gerçek sinyali daha hızlı takip edebilmektedir.

Yavaş (S) için yükselme ve sönümlenme süresi eşit ve 1 saniyedir. Fazla değişmeyen gürültüler için veya ani istenmeyen seslerin (kapı çarpması vb.) ölçümü etkilememesi için önerilebilir.

Darbe (I) için yükselme süresi 35 ms gibi kısa fakat sönümlenme süresi 1,5 saniye olup fazladır. Sesin darbeler halinde belirli aralıklarla gelen seviyesini ölçmek için kullanılabilir. Ses sinyalleri yeterince uzun bir süre devam ettiği takdirde tüm ağırlıklandırmalarda aynı seviye görülür.

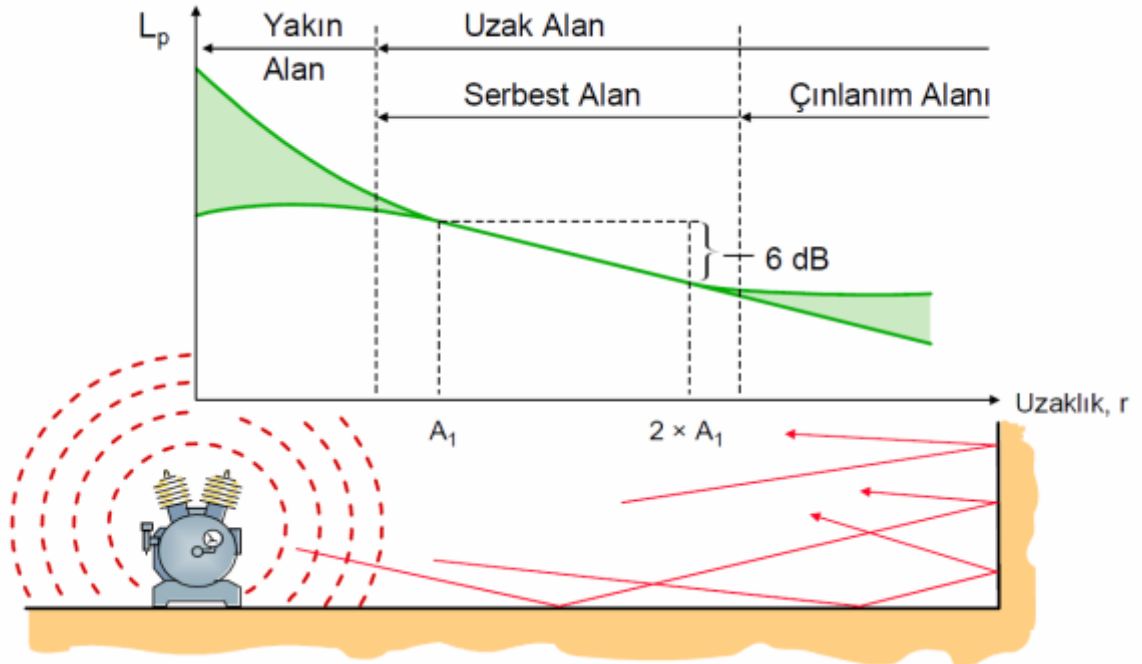
Benzer biçimde, tepe dedektörü de çok kısa yükselme ve sönümlenme sürelerine (mikrosaniye seviyesinde) sahiptir. Ses ölçüm cihazlarının büyük bir çoğunluğu en yüksek tepe değerini (MaxPeak) hafızasında tutabilir.

Ses düzeyi ölçüm cihazının ekranında görülen değer, sürekli olarak değişen RMS seviyesinin belirli zaman aralıklarında örneklenmesi ile elde edilir.

## 2. SES ALANLARI

Pratikte herhangi bir ses kaynağı etrafında dört çeşit ses alanı olduğu kabul edilir. Bunlar;

- Yakın alan,
- Uzak alan,
  - Serbest alan,
  - Yankılanım alanı'dır.



**Grafik 2:** Ses alanları, dB ve uzaklık ilişkisi

Yakın alan, kaynağın çok yakınında bulunan ve uzaklığın çok az değişmesine rağmen ses basınç düzeyinde büyük farklılıkların meydana geldiği alandır. Bu alan, kaynaktan yayılan en düşük frekanslı sesin dalgaboyu kadar bir alanı kapsamaktadır. Bu bölgede ses ölçümü yapılmamalıdır.

Uzak alan ise serbest ve yankılanım alanı olmak üzere iki bölgede incelenebilir. Serbest alanda ses, yayılmasını etkileyecek yansıtıcı yüzeylerle karşılaşmadan açık havadaki gibi ilerler. Noktasal ses kaynaklarından yayılan sesin basıncı, kaynakla arasındaki uzaklık iki katına çıktığında yarıya düşmektedir. Bu düşüş ses basınç düzeyinde 6 dB'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir (**Grafik 2**). Yankılanım alanında ise duvarlar ve çevredeki objelerden gelen yansımalar, kaynaktan gelen ses düzeyi kadar kuvvetli olabilir.

### 3. EŞDEĞER SÜREKLİ SES DÜZEYİ ( $L_{eq}$ )

Eşdeğer sürekli ses düzeyi, belirli bir T zaman aralığında ölçülen anlık ses basınç değerlerinin oluşturduğu toplam akustik enerjinin ölçüm süresine bölünmesi yoluyla elde edilen ve elektronik olarak hesaplanan ortalama RMS düzeyidir. Genellikle “ $L_{eq}$ ” ile gösterilen eşdeğer sürekli ses düzeyi, başka bir deyişle ortamdaki değişken gürültü ile aynı akustik enerjiye sahip olan sabit ses düzeyi anlamına gelmektedir.

Genellikle, anlık ses basıncı A-ağırlıklı frekans filtresinden geçirildiğinden  $L_{eq}$  değerinin büyüklüğü dB(A) şeklinde gösterilir.  $L_{eq}$  değeri ölçümün başlangıcında değişkenlik göstermesine karşın ölçüm devam ettikçe sürekli ortalamayı almaya devam ettiği için sabite yakın bir değere ulaşır ve bu noktadan itibaren ölçümü devam ettirmenin gereği yoktur.

### 4. ÖRNEKLEME

Günümüzde dijital ses ölçüm cihazları gürültü sinyalini çok kısa sürede (saniyede 100 örnek gibi) belirli bir sıklıkta örnekleyerek çalışırlar. Örneklemeye ile alınan bu değerler istatistiksel verilerin hesaplanmasında da kullanılabilir.

### 5. GÜRÜLTÜ DOZU

Gürültü dozu bir insanın, kalıcı bir işitme rahatsızlığı riski taşımadan, 8 saatlik normal çalışma süresi boyunca maruz kaldığı A-ağırlıklı eşdeğer gürültü düzeyidir. İzin verilen en yüksek ses düzeyi ülkeden ülkeye değişiklikler göstermekle birlikte genellikle 85 veya 90 dB'dir (2,17).

Gürültü dozu % cinsinden ifade edilir. Örneğin 8 saat boyunca 85 dB'lik gürültüye maruz kalan bir insan için gürültü dozu % 100 dür. Bu kişi günlük alabileceği maksimum gürültüye maruz kalmıştır. Eğer aynı kişi 4 saat boyunca aynı gürültüye maruz kalsaydı gürültü dozu %50 olurdu. Buradan şu sonucu da çıkarmalıyız ki; gürültü dozu sadece gürültünün seviyesine değil aynı zamanda süresine de bağlıdır.

Uzun süreli gürültüye maruz kalmanın yanı sıra anlık yüksek seviyeli sesler de kulakta kalıcı tahribata neden olabilir (18). Gürültü dozu, günlük kişisel etkilenim düzeyi gibi parametreler gürültü etkileniminin ölçütleri olduğu gibi anlık tepe değeri (Peak) de yüksek seviyeli gürültülerin göstergesidir. Bu sebeple pek çok ülkeler, tepe değeri ile ilgili üst limitleri de ilgili standartlarına eklemişlerdir. Birçok ülke için bu parametre C ağırlıklı tepe (Peak) değeridir ve seviyesi 135 veya 140 dB olarak belirlenmiştir. A ağırlığının yerine C'nin kullanılmasının sebebi insan kulağını yüksek seviyelerdeki gürültü karşısında daha iyi simüle edebilmesidir.

## 6. GÜNLÜK KİŞİSEL ETKİLENİM DÜZEYİ, $L_{EP,d}$

Günlük kişisel etkilenim düzeyi, kısaca  $L_{EP,d}$  olarak gösterilir ve çalışan kişinin aşırı gürültüye maruz kalıp kalmadığını belirlemenin bir diğer yoludur.

Bu parametreyi hesaplayabilmek için mekanda bir ses ölçümü yaparak  $L_{Aeq}$  değerini belirlemek ve çalışan kişinin o mekanda ne kadar zaman geçirdiğini bilmek yeterlidir. Bu yöntemle kişinin gün içerisinde maruz kaldığı gürültüyü 8 saat boyunca sürekli ölçüm yapmadan belirleyebiliriz.

## 7. STANDARTLAR

**ISO 9612:** Uluslararası standardizasyon organizasyonunun çalışma ortamında gürültü etkileniminin ölçülmesi ve hesaplanmasına ilişkin tavsiyeleridir.

**ISO 1999:** Uluslararası standardizasyon organizasyonunun çalışma ortamındaki gürültü etkileniminin belirlenmesi ve gürültü kaynaklı işitme kayıplarının tahminine ilişkin bildirisidir.

**IECC Directive EEC/86/188:** Avrupa birliğinin yayınladığı işçilerin iş yerindeki gürültü etkilenimine bağlı riskten korunmasına yönelik direktifleridir.

**OSHA (Occupational Safety and Health Administration):** Amerika'nın iş güvenliği ve sağlık mevzuatını düzenleyen yapıdır.

Ülkemizde de iş yerlerinde maruz kalınacak gürültü düzeyleriyle ilgili mevzuat, *28.07.2013 tarihli ve 28721 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik*'dir. En yüksek maruziyet eylem değerleri: ( $L_{EX, 8\text{saat}} = 85 \text{ dB(A)}$ ) veya ( $P_{\text{tepe}} = 140 \text{ Pa}$  [ $137 \text{ dB(C)}$  re.  $20 \mu\text{Pa}$ ]) olarak belirlenmiştir.

Ses ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiğini ve ölçümlerde kullanılacak ses ölçüm cihazlarının özelliklerini tarif eden çeşitli standartlar bulunmaktadır. Ölçüm cihazları ile ilgili standartlar arasında iki tanesi önemlidir.

**IEC Standart 651:** Ses ölçüm cihazları

**IEC Standart 804:** İntegral alan ses ölçüm cihazları

Bu standartlar ses ölçüm cihazlarını hassasiyet derecelerine göre dört gruba ayırır. Hassasiyet; temel özellikler, toleranslar, frekans ve zaman ağırlık karakteristikleri ve çeşitli çevresel faktörlere bağlı değişiklikleri içermektedir.

## 8. SES ÖLÇÜM CİHAZLARININ HASSASİYET DERECELERİ

**Tip 0:** Laboratuvar Standardı olarak tespit edilmiştir ve en dar tolerans aralıklarına sahiptir.

**Tip 1:** Büyük bir hassasiyet ve doğrulukla gerek laboratuvar gerekse saha koşullarında ölçümler yapmaya yöneliktir.

**Tip 2:** Genel amaçlı kullanımlar içindir. Sahada kullanılmak üzere düşünülmüştür. Raporlama gerektirmeyen kontrol amaçlı ölçümler için tercih edilebilir.

**Tip 3:** Kontrol ölçümleri için tasarlanmıştır. Elektronikteki gelişmeler nedeniyle piyasada bu tip cihazlara artık rastlanmamaktadır.

## C. GÜRÜLTÜNÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

### 1. GÜRÜLTÜ KAYNAK TÜRLERİ

Gürültü kaynaklarını fiziksel olarak üç sınıfa ayırabiliriz. Bunlar;



- a) **Noktasal Kaynak:** Bu tür kaynaklardan yayılan sesin basıncı uzaklık iki katına çıktığında yarıya düşmektedir. Bu düşüş ses basınç düzeyinde 6 dB'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir.
- b) **Çizgisel Kaynak:** Bu tür kaynağa örnek olarak içerisinde sıvı taşıyan bir boru veya trafik gürültüsü verilebilir. Bu tip kaynaklardan yayılan ses basıncı düzeyinde meydana gelen azalma, uzaklık iki katına çıktığında 3 dB'dir.
- c) **Düzlemsel Kaynak:** Bu tip kaynaklara günlük hayatta pek rastlanmaz. Prensip olarak enerji yayan bir piston ve meydana gelen düzlemsel dalgaların içinde ilerlediği bir tüpten oluştuğunu söyleyebiliriz. Bu tip kaynaktan ses şiddeti kaynağa olan uzaklıktan bağımsız olup, ses basınç düzeyi kaynaktan uzaklaşılmasına rağmen azalmaz.

## 2.GÜRÜLTÜ TİPLERİ

Gürültünün tipi, onun sahip olduğu frekans bantlarına, ses düzeyinin zamanla değişmesine, ses alanlarının yapısına bağlı olarak değişir.

### A. FREKANS BANDINA GÖRE GÜRÜLTÜ TİPLERİ:

- a) **Sürekli bant gürültüsü (Beyaz Gürültü):** Bütün frekans aralıklarına sahip sürekli spektrumlu seslerden oluşmuştur.
- b) **Sürekli dar bant gürültüsü:** Bu seslerde birkaç frekans yoğun olarak yer alır.

### B. ZAMANA BAĞIMLILIĞA GÖRE GÜRÜLTÜ TİPLERİ

- a) **Kararlı Gürültü (Sabit Gürültü):** Gürültü seviyesi ölçüm süresince önemli değişimler göstermeyen gürültülerdir.
- b) **Kararsız Gürültü:** Ölçüm süresince seviyesinde önemli değişiklikler gösteren gürültülerdir.
- **Dalgalı Gürültü:** Ölçüm süresince, seviyesinde sürekli ve önemli ölçüde değişiklikler olan gürültüdür.
  - **Kesikli Gürültü:** Ölçüm süresince gürültü seviyesi aniden ortam gürültü seviyesine düşen ve ortam gürültü seviyesinden yüksek değerlerdeki seviyelerde bir saniyeden fazla veya bir saniye sabit olarak devam eden gürültüdür. (Trafik gürültüsü gibi)
  - **Vurma Gürültüsü (Anlık Gürültü):** Her biri bir saniyeden daha az süren bir veya birden fazla vuruşun çıkardığı gürültüdür. (Çekiç gürültüsü) (3,19).

Ses yoğunluğu (dB)	SES KAYNAĞI
160	Jet motoru
140	Alarm sirenleri
	Prete metal doğrama
	Perçinleme makinaları
120	Yüksek sesli müzik
	Metal delme presleri
100	Konserve kutusu üreten makinalar
	Yoğun trafik
	Otobanlar
90	Fabrika çalışma ortamı
80	Yoğun çalışan ofis ortamı
60	Normal konuşma
40	Evdeki sessizlik
20	Fısıltı ile konuşma
1	Duyulabilir en düşük ses
0	Duyup-duymama eşiği

**Tablo 1:** Çeşitli ses kaynaklarının oluşturduğu gürültü seviyelerinin dB cinsinden karşılaştırılması

### C. OLUŞUM YERİNE GÖRE GÜRÜLTÜ TİPLERİ

- a) **Yapı İçi Çevre Gürültüleri:** Yapıların içinde yer alan her türlü elektronik ve mekanik sistemlerden kaynaklanan gürültülerdir
- b) **Yapı Dışı Çevre Gürültüleri:** Yapıların dışında yer alan gerek yapı içindeki yerlerini, gerekse yapı dışındaki açık alanları kullanan bireyleri etkileyen gürültülerdir. Ulaşım, endüstri, yapım gürültüleri vb.

### D. DİĞER GÜRÜLTÜLER

Yanardağ patlamaları, yağmur, şimşek, rüzgâr gibi doğal olayların meydana getirdiği gürültülerdir.

### 3. GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Gürültü kontrolünün ilk aşaması ses seviyesi ölçümü ve gürültü dozimetreleri ile etkileyen gürültünün frekans ve şiddetinin belirlenmesidir. Bundan sonra zaman ağırlıklı ortalama ayarının yapılması gerekir (time-weighted average, TWA). Bu formül 90 dB'in üzerindeki her ek 5 dB'lik değerde izin verilen etkilenim süresinin yarıya indirilmesini gerektirir. Ses emici ve titreşimi azaltıcı gibi bazı önlemlerle gürültünün azaltılmasına çalışılır. İş yerlerinde kişisel koruyucularla yapılan gürültü önleyici çabaların yanısıra gürültünün kaynaktan azaltılmasına yönelik önlemlerde alınması gerekmektedir (20).

Toplumsal gürültünün azaltılmasında ise kişisel koruyuculardan ziyade gürültünün kaynağında azaltılması ve oluşan gürültünün iş yerleri ve konutlara ulaşımını engellemek daha büyük önem arz etmektedir.

Gürültü kontrolü 3 aşamada yapılabilir:

1. Kaynaktan kontrol,
2. Alıcıda kontrol,
3. Çevrede kontrol

**1.Kaynaktan kontrol:** trafik gürültüsünün azaltılması için araçta gürültünün azaltılmasına yönelik önlemlerin tasarım ve üretim aşamasında alınması gerekmektedir.

Gürültünün kaynaktan kontrol edilebilmesi için araçlara uygun ve etkili susturucuların takılması gerekmektedir. Havalı ve normal kornaların yasaklanması ve denetimi önemlidir. Makinelerin sesini maskeleyen ve azaltan teknolojik müdahaleler iş yerinde gürültünün azaltılmasına yönelik uygulamaların başında gelmektedir.

**2. Etkilenecek kişilerin korunması:** Dış kulak yoluna konulan poliüretan tıkaçlar düşük frekanslardan (25 dB(A)), yüksek frekanslara (40 dB(A)) kadar seslerin şiddetinin azalmasını sağlamaktadır. Kişisel korunmada en etkili yöntem kulaklıklardır. Düşük frekanslarda 30 dB(A), yüksek frekanslarda ise 50 dB(A) azalma sağlamaktadır.

Ancak kulaklıkların gürültüyü önleme derecelerinde önemli değişimler vardır. Köpük kauçuk ve muma batırılmış pamuktan yapılmış olanlar aşağı yukarı 25 dB civarında bir azalma sağlamaktadır. Kulak üstü kulak kepeğine takılarak kullanılanlar 35 dB'lik bir azalma sağlar. İkisi birlikte kullanılacak olursa 45 dB'lik bir koruma olanağı verirler.

**3.Çevresel kontrol:** Çevresel kontrolde en önemli adım kişilerde gürültü bilincinin yaratılmasıdır. Birçok toplumda gürültünün sağlık sorunu olarak algılanması yeterli değildir. Kişilerin toplu olarak karşı çıkmaları gereken şeyler satıcıların yüksek sesle bağırması vb. gibi

gürültüler kimi toplumlarda olağan ve gürültü düzeyine katkıları algılanmayan sorunlar durumundadır. Bu nedenle daha temel eğitimden başlanarak gürültünün çevre kirletici bir öge olarak önemi, sağlıkla ilgili olumsuz etkileri işlenmek zorundadır.

#### **4.GÜRÜLTÜ STANDARTLARI**

Amerikan Oftalmoloji ve Otolaringoloji Akademisinin tanımına göre, kabul edilebilir gürültü seviyesi kişinin sessiz bir ortamda 1,5 metreden günlük konuşmaları anlamakta güçlük çekmeye başladığı nokta olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 500, 1000 ve 2000 Hz frekanslarda ortalama 25 dB değerine karşılık gelmektedir (21).

Gürültü standartları ülkeden ülkeye değişim göstermektedir. Bir çok gelişmiş ülkede, haftada beş gün, sekiz saat etkilenim söz konusu ise “kabul edilebilir maksimum gürültü seviyesi” 85 – 90 dB(A) ‘dır. Ağırlıklı frekans bandı ölçeği kullanan bir ses ölçme cihazında belirlenmiş olan 85 dB(A) değerinde bir sesin günde sekiz saat etkilemesi işitme hasarına neden olabilmektedir.

Yataklı tedavi kurum ve kuruluşları, dispanser, poliklinik, bakım ve huzur evleri ve benzeri alanlar olarak tanımlanan Sağlık Tesis Alanlarında iç ortam gürültü seviyesi maksimum 35 dB(A)’dır (2).

ABD Çevre Koruma Kurumu (EPA) hastane ses düzeylerinin 45 dB’yi aşmaması gerektiğini öne sürerken, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hastane ses düzeylerinin 30 dB’yi aşmaması gerektiğini ve piklerin 40 dB’nin altında olması gerektiğini öne sürmektedir (22,23).

Maruz kalınan gürültü şiddeti dB(A)	Önerilen maksimum maruziyet süresi (saat)
85*	8
87	6
90	4
92	3
95	2
97	1,5
100	1
105	1/2
110	1/4

**Tablo 4:** 28.07.2013 tarihli ve 28721 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik’teki gürültü düzeylerine göre önerilen maksimum günlük gürültü maruziyet süreleri

## D. GÜRÜLTÜNÜN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

İşitme kaybı yalnızca bir iş hastalığı veya kazası değil aynı zamanda kişinin sosyal ilişkilerini etkileyen, öğrenmesini güçleştiren, davranış bozukluklarına yol açan ve kişinin toplum içinde yalnızlaşmasına neden olan sosyal bir olaydır. İşitme güçlüğü yaşayan kişilerde, iş yaşamında okulda, yalnız kalma, öğrenim zorluğu yaşama, sosyal ilişkilerde gerginleşme ortaya çıkabilmektedir (24).

### 1. FİZİKSEL ETKİLERİ

Gürültünün insan sağlığına etkisi temelde işitme üzerine olup bu etki sesin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Sesin şiddeti ve maruz kalma süresi bu etki ile ilişkilidir.

Gürültünün başlıca işitme sistemi üzerindeki etkileri, gürültü nedenli işitme kayıplarıdır (*NIHL – noise induced hearing loss*). Gürültü nedenli işitme kayıpları temel olarak kohleanın duyuşal epiteli üzerindeki harabiyete bağlı olarak meydana gelir. En belirgin hasar, ses enerjisinin elektrokimyasal transduserleri olan **tüy hücresi stereosilyalarda** görülür.

İmpuls gürültünün biyolojik etkisinin, sürekli gürültüden farklı olduğu noktalar vardır. İç kulak kısmen *akustik refleks* nedeniyle sürekli gürültünün etkisinden korunabilmektedir. Bu

refleks 90 desibelin üzerindeki seslerde m.tensor timpani ve m.stapedius iç kulak kaslarının kasılmasına bunun sonucunda ses girişinin azaltılmasına imkan vermektedir. Bu refleks nöral olarak yönlendirildiğinden başlangıcı 25-150 milisaniye kadar gecikebilmektedir. Yüksek şiddetteki impuls gürültü akustik refleksin oluşumundan önce kohleaya ulaşmaktadır. 140 desibel şiddetinde bir darbe gürültüsü ani ve irreversibl işitme kayıplarına neden olabilir (42). Akustik refleksin olmadığı hayvanlarda yapılan çalışmalarda, gürültü nedenli işitme kaybının arttığı gösterilmiştir (43).

Gürültünün belli süre ve şiddette etkilemesinin ilk sonucu işitme eşiğinin yükselmesidir (*elevated hearing threshold*) (25). Etkilenim anından itibaren bu en yüksek düzeydedir ve giderek şiddetinde bir azalma meydana gelmektedir. Eğer gürültü yeterli süre ve şiddette etkilememişse işitme eşiğindeki bu değişim zamanla normale dönmektedir. Bu durum geçici eşik kayması (*temporary threshold shift, TTS*) olarak tanımlanmaktadır. Eğer yeterli şiddet ve sürede etkileme meydana geldiyse bu durumda kalıcı eşik kayması ortaya çıkar (*permanent threshold shift, PTS*). PTS relatif olarak yüksek şiddetteki seslere kısa süreli maruziyet sonucu ortaya çıkabilmektedir. Uzun süreli etkilenimin kümülatif etkisi **tüy hücresi sayısında azalma** olmasıdır. TTS, PTS'ye benzer değerlendirme sonuçları verdiği için zararlı gürültü etkileniminden 12-24 saat sonra kişilerin odyometrik değerlendirmeye alınması gerekmektedir. TTS iç kulak duyu hücrelerinin fonksiyon bozukluğuna bağlı, PTS ise bu hücrelerde meydana gelen geri dönüşümsüz hasara bağlıdır (3).

Hastalar kademe kademe meydana gelen bir işitme kaybından söz etmektedir. En sık rastlanan yakınma özellikle zemin gürültüsü olması durumunda konuşulanların anlaşılmasındaki güçlüktür. Gürültü nedenli işitme kaybı olanlarda yüksek frekanslı seslere karşı etkilenme söz konusu olduğundan, sesli harfleri kolay duyarlar. Özellikle yüksek frekanslı (high pitch) seslerle konuşan kadın ve çocukların konuşmalarının anlaşılmasında güçlükler olabilir. **Zemin gürültüsü** işitmenin korunan bölümünü etkilediğinden anlamayı daha da güçleştirir.

Aynı şiddetteki düşük frekanslı sesler yüksek frekanslı seslere kıyasla daha az harabiyet meydana getirmektedirler. İşitme kaybının oluşumunda önemli bireysel farklılıklar da söz konusudur. Fakat gürültüye daha duyarlı bireylerin tespit edilmesini sağlayacak bir yöntem henüz bulunmamıştır. Farelerde yapılan çalışmalar kan basıncı yüksekliği ile işitme kaybı arasında bağlantı bulunduğunu göstermektedir (26, 27, 33). İnsanda kohlear kan akımı değişimlerinin gürültüye duyarlılığı etkilediği düşünülmektedir (29, 33). Ratlar da

sempatektominin gürültünün neden olduğu işitme kaybını azalttığı belirtilmektedir (30, 31). Gürültünün neden olduğu işitme kaybı kişilerin normal işitme düzeyindeki sesleri algılamaları ile birlikte sesin algılanış biçimini de etkilemektedir. Kişiler işitme araçları aracılığıyla sesleri işitebilseler bile işittiklerini anlama konusundaki yetersizlikleri sürebilmektedir (25).

Yüksek ses basıncı düzeyine bir ya da birkaç kez maruz kalınması halinde **akustik travma** gelişebilir. Nadiren orta kulak yapılarında ve zarda yırtılmalara ve kopmalara yol açar. Çoğunlukla iç kulaktaki basiller membran yırtılmalarına neden olur.

**Akut Akustik Travma:** Şiddeti yüksek, ani sesin işitme organı üzerinde blast etki oluşturması ile meydana gelen, işitme kaybına kadar gidebilen çınlama, ağrı, işitmenin azalması gibi sorunların ortaya çıktığı tabloyu tanımlar.

**Kronik Akustik Travma:** Patlayıcı tarzda olmayan ve sürekliliği devam eden gürültünün meydana getirdiği etkiler sonucu görülen durumdur.

**Tinnitus:** pek çok farklı etyolojik nedene bağlı olarak ortaya çıkabilen fakat çoğu zaman yüksek endüstriyel gürültülere maruz kalınması sonucu meydana gelen bir çınlama gürültüsünün tek veya çift kulakla algılanmasıdır. Aralıklı veya sürekli olabilir, bir hastalık değil yalnızca bir semptomdur (32). Gürültü nedenli işitme kayıplarındaki tinnitusun tedavisi yoktur. Depresyona neden oluyorsa psikiyatri konsültasyonu faydalı olabilir.

Kronik gürültü farklı düzeylerde dejeneratif değişikliklere yol açar. Histopatolojik değişiklikler dış titretilmiş tüylü hücrelerden başlar, buradan iç titretilmiş tüylü hücrelere ve destek hücrelerine geçer. Reissner membranında yırtılma, korti organında tam kaybolma ile sonlanır. Kan damarları, kemik doku, spiral ligaman ve bazal membranda değişiklik saptanmaz. Titretilmiş tüylerde tam harabiyet gerçekleşmeden sinir ve ganglion hücrelerinde değişiklik görülmez (26, 33).

## 2. FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Gürültünün fizyolojik etkileri; insan vücudunun ani, sürekli ve yüksek seslere karşı otonom ve bilinç dışı tepki vermesi olarak tanımlanır. Yapılan fizyolojik parametre incelemeleri ve elektroensefalogramlar (EEG) gürültü kaynaklı fizyolojik etkileri göstermiştir.

Gürültünün fizyolojik etkilerini araştıran çok sayıda araştırma mevcut olmakla birlikte orta ve uzun vadeli etkilenmeler DSÖ tarafından detaylı olarak açıklanmıştır.

Gürültü ve kardiyovasküler hastalıklar arasında ilişkiler konusunda sürdürülen çalışmalar gürültünün; hipertansiyona, taşikardiye, hiperkolestrolemiye, adrenalın yükselmesine, taşipneye, kas spazmlarına, metabolik değişikliklere, gastrointestinal sistem düzensizliğine, yorgunluğa, uyku bozukluğuna neden olabileceği gösterilmiştir. Gürültünün

vücut fonksiyonları üzerindeki etkisi; birçok hipofiz hormonunun gürültüden etkilenmesine bağlı olarak gürültü kan basıncını artırıcı etki yapar. Bunun otonom sinir sistemi aracılığıyla olduğuna inanılmaktadır. Otonomik tepkiler üzerindeki gürültü etkisi şiddetle doğru orantılıdır. Ancak zamanla daha karmaşık bir bağlantısı da bulunmaktadır (34). Alfa ve beta reseptörler üzerinde yapılan çalışmalar her iki bölümün de gürültünün kan basıncı artırıcı etkisinde eşit oranda etkilendiğini göstermiştir (25).

Hamile kadınların çocuklarında malformasyona neden olabileceğini ileri süren ve buna karşı çıkan değişik görüşler vardır. Ancak doğacak çocuğun işitmesiyle ilgili sorunlar olabileceği belirtilmektedir (35).

Gürültülü yerlerde uzun yıllar yaşayan kişiler arasında yapılmış araştırmalarda; uyku kalitesi, psikososyal ve tıbbi belirtiler, duygusal durum araştırılmış ve kişilerde depresyon, yorgunluk, baş ağrısı, nevroz ve mide bozuklukları sıklıkla görülmüştür (36,37) .

Yapılan çalışmalar sesin çocukların okuma yeteneğini büyük oranda etkilediğini göstermektedir. Sokak gürültüsünden uzakta çalışan çocuklar şekilde binaların üst katlarında oturan çocuklarda olduğu gibi okuma yeterliliği testlerinde en büyük değere sahiptir. Sokak gürültüsüne yakın olan çocuklar daha düşük düzeyde değerler vermektedir (38).

### **3.PSİKOLOJİK ETKİLERİ**

Gürültü maruziyeti sonrası değerlendirilen bireylerin büyük çoğunluğunda çeşitli psikolojik problemler tespit edilmiştir. Gürültü şiddeti fazla ve kaynağı belirsiz ise farklı davranış bozuklukları görülebilir. Bunları;

- Öfke kontrolünü kaybetme, ani parlama, heyecanlanma, rahatsızlık, şiddete eğilim gibi aşırı tepki ve davranışlar
- Kendini suçlama, kızgınlık ve aşırı sessizlik ile içe kapanma
- Karakter değişiklikleri, eğilimi olanlarda sorunların ağırlaşması
- Huzursuzluk, hoşgörüyü kaybetme ve sakinleştirici ilaç kullanımı

Şeklinde sıralayabiliriz. Değişken sürede, doğrudan veya dolaylı olarak ortaya çıkabilen olumsuz etkilerin büyüklüğü ve süresi; temel akustik faktörlerle birlikte bireylerin duyarlılığı, yaşam tarzları, çevre koşulları ve zamansal faktörlere bağlıdır.

### **4.PERFORMANS ETKİLERİ**

Gürültünün tipine ve yapılan işe bağlı olarak gürültü, gün içinde iş hatalarına ve kazalarına yol açabilmektedir. İş yerleri ve laboratuvarlarda yapılan çalışmalar gürültünün



dikkat dağıtan uyarıcı bir faktör olduğunu göstermiştir. Kısa sürede gürültünün bu uyarıcı etkisi basit işlerin yapılmasını kolaylaştırır ancak karmaşık işlerdeki kavrama performansı oldukça kötüleşir. Okuma, odaklanma, problem çözme ve hafızaya etkisi kavrayış üzerindeki en önemli etkileridir.

Genel olarak gürültü, yapılan işin miktarını değil, işin doğruluğunu etkiler. Frekans ve zamana ait karakteristikler de önemli rol oynar. Yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslerden daha fazla işi aksatır. Aralıklı gürültüler de, aynı düzeye sahip sürekli gürültülerden daha fazla ters etki yaratır. Aralıklı gürültüler de kendi içinde farklılık gösterir. Periyodik olmayan aralıklı gürültüler, periyodik olanlardan daha rahatsız edicidir ve ani gürültünün etkileri daha fazla olabilir.

Bahsedilen bu etkiler, işin tipine ve diğer faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (39).

SINIFLANDIRMA	GÜRÜLTÜ SEVİYESİ	ORTAYA ÇIKAN OLUMSUZLUKLAR
1. DERECE	30-65 dB(A)	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku ve konsantrasyon bozukluğu
2. DERECE	65-90 dB(A)	Fizyolojik tepkiler; kan basıncının artması, kalp atışı ve solunumun hızlanması, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3. DERECE	90-120 dB(A)	Fizyolojik tepkilerin artması, baş ağrıları
4. DERECE	120-140 dB(A)	İç kulakta sürekli hasar ve dengenin bozulması
5. DERECE	> 140 dB(A)	Ciddi beyin tahribatı

**Tablo 5:** Oluşturduğu olumsuz etkilere göre gürültü seviyeleri (40)

## E. HİPERBARİK ORTAMDA SES ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ

Hiperbarik ortamları başta sualtı olmak üzere şu şekilde listeleyebiliriz:

- Basınç Odaları
- Saturasyon Dalış Çanları
- Hiperbarik Transfer Kabinleri
- Basınçlı Tüneller

İnsan kulağı; sualtında veya basınç odasında, normal atmosfer basıncında meydana gelen ekivalen ses şiddetine göre daha duyarsız hale gelmektedir. Ancak buna rağmen dalgıçlar dalış yapmayan kendi yaşlılarıyla kıyaslandığında daha fazla işitme kaybı tanısı almaktadırlar. Son yıllarda yapılan çalışmalarda görülmüş ki, dalgıçlarda ve hiperbarik ortamda çalışan kişilerde çevredeki şiddetli ses basıncına maruz kalınması sonucunda gürültü kaynaklı işitme kaybı (Noise Induced Hearing Loss – NIHL) meydana gelmektedir (44, 45, 46, 47, 48).

Fizik kurallarına göre sesin iletimi ve insanın işitme mekanizması basınçlı ortamlar ve 1 atm hava ortamı kıyaslandığında birbirinden çok farklıdır. Ortam basıncı sesin hızını etkilediği için oluşturduğu ses basıncını da etkileyecektir. Sualtında ölçüm yapılacaksa ortam daha yoğun olduğundan değişiklik daha büyük olacağı için bu etkilenme daha fazla olacaktır. Sesin farklı ortamlardaki iletim hızı şu şekildedir:

- Hava: 331 m/sn
- Helyum: 840 m/sn
- Su: 1400 m/sn

Basınç altında gürültü ölçümü yapılırken belli başlı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin kaynağını ortam basıncı, ortamın hangi gaz ile komprese edildiği, basınç altında kullanılabilir bir cihaz ve bunun kompresyon ve dekompresyon esnasındaki kalibrasyonu olarak sayabiliriz. Ayrıca basınç odaları dar ve kapalı bir alan olduğu için içerde yansıyan seslere bağlı olarak farklı ses alanları meydana geldiğinden, mikrofon pozisyonuna göre ölçüm değerlerinde değişikliğe neden olacaktır.

Hiperbarik ortamda ses basınç düzeyini ölçmek için kalibre edilmiş mikrofon sistemleri ve basınç altında ölçüm yapabilen cihazlar kullanılmalıdır. Sualtı ölçümleri için ise uzun yıllardır kullanılmakta olan hidrofonder mevcuttur.

Basınç odalarının yapımı esnasında uyulması gereken Avrupa Standartları **EN 14931'** e göre basınç odalarının kompresyonu ve dekompresyonu esnasında oluşabilecek maksimum gürültü seviyesi 90 dB, tedavi basıncında iken maksimum ventilasyon ve hasta sayısında 70 dB olarak belirlenmiştir (7).

İnsanın işitme yanıtı derinlik, frekans ve çevre ortamına (hava, helioks vb.) göre değişiklik göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda hava, helioks ve su altında geçici eşik kaymasının farklı seviyelerde olduğu görülmüştür. İşitme eşiğindeki değişiklik en fazla ilk 1-2 ATA da 30-40 dB olarak saptanmıştır (49).

Basınç odasında artmış çevre basıncına bağlı olarak timpanik membran etkilenecek akustik impedansta artış meydana gelir. Ses basınç dalgalarına karşı hassasiyet etkilenir. İmpedansta meydana gelen bu yanlış eşleşme sonucunda orta kulağa iletilen enerji miktarı azalır ve işitme eşiği yükselir (41).

Dalış ve tünel işlerinde yani hiperbarik ortamlardaki sesler alet kullanımından, soluma aparatlarından ve iletişim sistemlerinden, basınç odasının kompresyonu ve dekompresyonundan, deniz araçlarının pompaları, pervaneleri ve iticilerinden kaynaklı olabilir.

Basınç odası hava ile doldurulurken kompresörden pompalanan yüksek basınçlı gaz boruların çeperine çarparak ses çıkarır. Bu gaz akışından meydana gelen sesi azaltmak için günümüzde basınç odalarında çeşitli susturucular kullanılmaktadır ve bu sayede basınç odasının operasyonu esnasında meydana gelen ses şiddeti azaltılmıştır. Farklı tiplerdeki susturuculara sahip basınç odaları ve saturasyon dalış çanlarında yapılmış önceki çalışmalarda 40 desibeli aşan farklılığa sahip sonuçlar elde edilmiştir (50). Bu çalışma bize basınç odalarında kullanılan susturucu mekanizmasının iyi olması gerektiğini göstermektedir.

Standart TTS'nin basınç altında ölçümüne dayalı Howie'nin çalışması göstermiş ki; insan kulağı yüksek basınç altında şiddetli gürültü düzeyinde aynı 1 atm havadakine eşdeğer TTS kaybı yaşamıştır. Bununla birlikte yüksek basınçlı helioks ortamında ve sığ derinliklerde 4 kHz üzerindeki frekanslarda kulak daha hassas olup daha yüksek risk altındadır (43).

## 2. HİPERBARİK OKSİJEN TEDAVİSİ

### A. Tanım

Hiperbarik Oksijen (HBO) tedavisi, kapalı bir basınç odası içerisinde, 1 mutlak atmosfer basıncından (1 atmosfer absolute = 1 ATA = 1 Bar = 760 mmHg ) daha yüksek basınçlarda, belirli zaman aralıklarıyla %100 oksijen solunması suretiyle yapılan tedavi yöntemidir. Tedavi süresi ve basınçları hastalıklara göre farklılık göstermekle birlikte, 1 ATA'da veya deniz seviyesi basıncında %100 oksijen solunması (normobarik oksijen) ya da vücudun belirli bölgelerinin %100 oksijene maruz bırakıldığı topikal oksijen uygulamaları, HBO tedavisi olarak kabul edilmemektedir. Tedavinin, HBO tedavisi olarak adlandırılabilmesi için, minimum 1,4 ATA veya daha yüksek bir basınç gerektiği belirtilmiştir (62, 63).

HBO tedavisi, sadece bir hastanın tedavi edildiği tek kişilik basınç odalarında (**Şekil 1**) veya aynı anda birden çok hastanın tedavi edilebildiği çok kişilik basınç odalarında (**Şekil 2**) yapılabilir (64). Tek kişilik basınç odaları genellikle %100 oksijen ile basınçlanır ve hasta direk ortam havasını solur. Çok kişilik basınç odaları ise hava ile basınçlanır ve belirli bir basınca ulaştıktan sonra hastalar aralıklı olarak maske, başlık veya endotrakeal tüp ile %100 oksijen solurlar.



**Şekil 1.** Tek kişilik basınç odası



**Şekil 2.** Çok kişilik basınç odası

## B. Tarihçe

HBO tedavisinin geçmişi 17. Yüzyıla dayanmaktadır. 1662 yılında aslen bir rahip olan İngiliz bilim adamı Henshaw tarafından yapılan “Domicilium” isimli yapı, ilk basınç odası olarak kabul edilebilir. Bu sistemde körük ile hava verilerek basınçlanan ortamda akut hastalıklar yüksek basınçta, kronik hastalıklar ise daha düşük basınçlarda tedavi edilmiştir (65, 66).

Oksijen 1775 yılında Priestly tarafından keşfedilmiş olup, oksijenle ilgili araştırmalar günümüze dek süregelmiştir (66, 67). 1830’larda bu tedaviye ilgi tekrar artmış ve Junod, Pravas ve Tabarie tarafından basınç odalarında, çeşitli hastalıklara tedaviler uygulanmıştır (68). 1840’lı yıllarda, Triger tarafından, köprü ve sualtı tünellerinin yapımında kullanılan kezon olarak bilinen basınçlı tünel çalışmaları yapılmıştır. Triger basınçlı tünellerde uzun süre çalışan işçilerde eklem ağrıları ve merkezi sinir sistemi (MSS) bulguları olduğunu bildirmiştir. Daha sonra bu bulguların, dekompresyon hastalığı (vurgun) belirtileri olduğu saptanmıştır (69).

Hiperbarik tıbbın gelişimine en fazla katkı sağlayanlardan biri olan Paul Bert, 1878 yılında yayınladığı “*La Pression Barométrique: Recherches de Physiologie Experimentale*” isimli kitabında, hiperbarik fizyolojinin temellerini, gaz çözünmesi ilişkisini, kabarcık

oluşumunu ve hiperbarik oksijenin etkilerini anlatmıştır. Bert, kezon işçilerinde görülen bu patolojilerde nitrojenin rolünden bahsetmiştir. Ayrıca, basınç düşürülürken geçen sürenin uzatılmasıyla nitrojenin atılımının artacağını ve dekompresyon hastalığının oluşumunda çözünmüş gaz miktarının değil serbest gaz miktarının önemli olduğunu belirtmiştir. Yeniden basınç altına alınan işçilerin bundan fayda gördüğünü gösteren Bert, dekompresyon hastalığı tedavisinde oksijen kullanılmasını söyleyen ilk isimdir. Hiperbarik oksijenin santral sinir sistemi üzerinde meydana getirmiş olduğu toksik etkilere, Paul Bert etkisi adı verilmiştir.

Drager 1917'de, dekompresyon hastalığının tedavisinde, hiperbarik oksijen kullanılmasını önermiştir. Ancak, ilk olarak 1937 yılında Benhke ve Shaw dekompresyon hastalarını hiperbarik oksijen tedavisi uygulayarak tedavi etmişlerdir. (67). 1930 yılından sonra Amerikan ve İngiliz donanmaları, dekompresyon hastalığı tedavisi için, oksijen tedavi tabloları kullanmaya başlamıştır. Almeida ve Costa 1938'de lepra tedavisi için HBO'yu kullanmışlar ve ardından 1942'de End ve Long hayvan deneylerinde CO zehirlenmesini HBO ile tedavi etmişlerdir (65). Sharp ve Smith ise 1960'da insanlarda CO zehirlenmesinde ilk kez HBO tedavisini uygulamışlardır (70).

HBO tedavisinin modern anlamda kullanıma girmesi 1950'li yıllardan sonra olmuştur. Kansersiz hastalarda radyoterapinin etkinliğini arttırmayı hedefleyen Churchill-Davidson, HBO tedavisi ile tümör prognozunu incelemiştir (67). Boerema 1959 yılında, HBO tedavisini kardiyak cerrahide kullanmıştır. Yine Boerema, 1960 yılında çok düşük hemoglobin düzeylerine sahip domuzları basınç odası içerisinde yaşatarak, "*Life Without Blood*" (kansız hayat) isimli çalışmasını yayınlamıştır (71).

Kongre niteliğindeki ilk Hiperbarik Tıp toplantısı 1963 yılında Amsterdam'da gerçekleştirilmiş ve bu alandaki çalışmalar da hız kazanmıştır. Ancak bu süreç sonrasında bilimsel kanıta dayalı olmadan pek çok hastalık basınç odalarında tedavi edilmeye çalışılmış ve HBO tedavisinin gelişiminde gerilemeye neden olmuştur. Bu sebeple, Sualtı ve Hiperbarik Tıp Cemiyeti (Undersea & Hyperbaric Medical Society-UHMS) tarafından, 1970'li yılların sonunda HBO tedavisinin temel ilke ve prensipleri yayınlanmıştır. Avrupa'da kurulmuş olan European Underwater and Baromedical Society (EUBS) ve Avrupa Hiperbarik Tıp Komitesi (European Committee for Hyperbaric Medicine, ECHM) tarafından, yeni bilimsel çalışmalar çerçevesinde HBO tedavisi ile ilgili ortak kararlar alınarak, HBO'nun tedavi endikasyonları daha net olarak belirlenmiştir (72). ECHM 1994 yılında, HBO tedavisi endikasyonlarının da yer aldığı ilk konsensus bildirisini yayınlamıştır.

Ülkemizde HBO tedavisi, ilk olarak, donanma tarafından dekompresyon hastalığının tedavisinde kullanılmıştır. 1976'da yapılan protokolle İstanbul Tıp Fakültesi'nde Deniz ve Sualtı Hekimliği bölümü faaliyete geçmiştir ve 1989 yılından itibaren Anabilim Dalı olarak hizmet vermeye başlamıştır. 1980'lerden itibaren Gülhane Askeri Tıp Akademisi (GATA) ile birlikte kliniğimizde HBO tedavisi dalış hastalıkları haricindeki endikasyonlar için de kullanılmaya başlamıştır. 2002 yılında kabul edilen Tıpta Uzmanlık Tüzüğü ile Deniz ve Sualtı Hekimliği olan ismi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı olarak değiştirilmiştir. 1990'lı yıllardan itibaren özel HBO merkezlerinin yaygınlaşmasıyla bu tedavi yöntemi daha tanınır hale gelip daha fazla insana ulaşmıştır. Günümüzde birçok büyük şehirde basınç odası bulunmakta, resmi ve özel kurumlarda HBO tedavisi uygulanmaktadır (65).

Günümüzde HBO tedavisi ile ilgili eğitim disiplinlerinin geliştirilmesi ve yapılan bilimsel çalışmalar ışığında, HBO tedavisinin tıp alanındaki yeri net olarak belirlenmiştir.

### **C. Hiperbarik Oksijen Tedavisinin Etki Mekanizmaları**

#### **I. Fiziksel Temeller**

HBO tedavisi, kapalı bir sistem içerisinde basıncın artırılması ile oksijen solutulması esasına dayanan bir tedavi yöntemi olduğu için, etkilerinin anlaşılabilmesi için bazı gaz kanunlarının hatırlanmasında fayda vardır. Gaz kanunları, gazların sıcaklık, basınç, hacim ve çözünürlük ilişkilerini açıklamaktadır.

##### **a. Boyle Gaz Kanunu**

Sabit sıcaklık altında, belirli bir kütledeki gazın hacmi, basıncı ile ters orantılıdır. Boyle Gaz Kanunu aşağıdaki formülle bilinir.

$P \cdot V = k$  (T sabit) P: Basınç V: Hacim k: Sabit

Boyle Kanunu'na göre basınç artışı ile gaz kabarcıklarının hacminde küçülme meydana gelir. Arteriyel gaz embolisi ve dekompresyon hastalığı gibi bazı patolojilerin HBO ile tedavi prensibi bu Kanuna dayanır. Ayrıca basınç değişikliklerine bağlı olarak gelişen ve HBO tedavisinin bir yan etkisi olan barotravmalar da Boyle Gaz Kanunu ile açıklanmaktadır (73).

##### **b. Charles ve Gay-Lussac Gaz Kanunları**

Sabit basınç altında, gazların hacimleri ile sıcaklıkları doğru orantılıdır (J. Charles).

Sabit hacimli bir gazın, basıncı ile sıcaklığı doğru orantılıdır (L. Gay-Lussac). Her iki kanun da aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \text{ (V:sabit) P: Basınç V: Hacim T: Sıcaklık}$$

Bu kanuna göre, basınç odalarında hızlı bir kompresyon yapılması ortam sıcaklığını artırır (74). Bu nedenle hiperbarik sistemlerde sıcaklığın kontrol altında tutulması önem arz etmektedir.

### c. Henry Gaz Kanunu

Sabit sıcaklıkta bir sıvı içerisinde çözünen gaz miktarı, o gazın parsiyel basıncı ile doğru orantılıdır. Her bir gazın, farklı sıvılar içindeki çözünürlük kat sayıları farklı olmakla birlikte, sıcaklıkla değişmektedir. Normal şartlar altında, oksijenin, %97'si hemoglobine bağlı olarak, %3'ü ise plazmada çözünmüş halde dokulara taşınmaktadır. Deniz seviyesinde arteriyel oksijen saturasyonu %97,5'dur. 1 gram hemoglobin, 1,34 ml oksijeni bağlayabilir. Sağlıklı bir insanda hemoglobin değeri 15 gr/dl olarak kabul edilirse, 100 ml kanda 19,5 ml oksijen taşınabilir. Kapiller seviyede oksijen saturasyonu %75 civarındadır. Dolayısıyla taşınan oksijen miktarı 14,5 ml'ye düşer ve arteriyel sistemden venöz sisteme geçilirken 100 ml kan ile yaklaşık 5 ml oksijen dokulara transfer edilir. HBO tedavisi ile hemoglobinden bağımsız olarak, plazmada çözünmüş halde bulunan oksijen miktarı artar. 2,8 ATA'da %100 oksijen solunmasıyla, 100 ml kanda çözünen oksijen miktarı 6 ml olmaktadır. Bu değer, hemoglobinden bağımsız olarak, dokuların oksijen ihtiyacını karşılayabilecek miktardadır (74).

### d. Dalton Gaz Kanunu

Bir gaz karışımının basıncı, karışımdaki her bir gazın kısmi basınçlarının toplamına eşit olup aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

P<sub>T</sub>: Gaz karışımının toplam basıncı

P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub> + P<sub>3</sub> + .....+ P<sub>n</sub>: Karışımdaki gazların kısmi basınçları toplamı

Atmosfer havasının yaklaşık %21'ini oksijen, %78'ini nitrojen, kalan %1'ini diğer gazlar oluşturmaktadır. Deniz seviyesinde, atmosfer tarafından uygulanan basınç değeri, 1 kg/cm<sup>2</sup>, 760 mmHg veya 1 ATA'ya eşittir. Dalton Gaz Kanununa göre, havadaki oksijenin parsiyel basıncı 21/100 x 760 mmHg = 159,6 mmHg (yaklaşık 160 mmHg) veya 0,2 ATA olmaktadır. Ortam basıncı 2 katına çıkarılacak olursa, oksijenin parsiyel basıncı da doğru orantılı olarak artarak, 320 mmHg veya 0,4 ATA olur (74).

## II. Fizyolojik Etkileri



HBO'nun etkileri, basıncın doğrudan etkisi ve oksijenin parsiyel basıncının yükselmesi ile oluşan metabolik etkiler olarak iki başlık altında değerlendirilebilir.

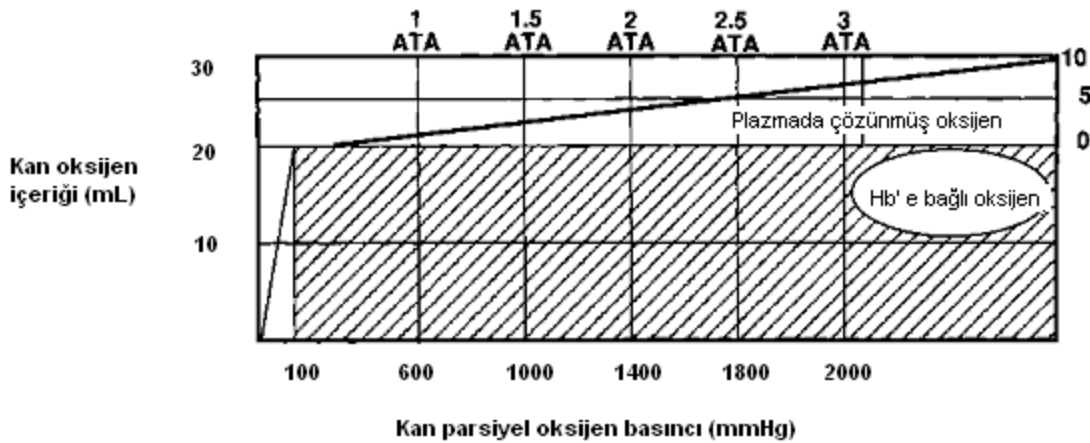
### a. Basıncın Doğrudan Etkileri

Yukarda bahsedilen Boyle kanununa göre gazların hacimleri basıncın artmasıyla küçülür. Bu etki dekompresyon hastalığı, gaz embolisi gibi ana patolojinin doku içerisinde gaz kabarcıklarının olduğu hastalıkların tedavisinde önemli yer tutmaktadır. Kabarcık boyutunun küçülmesiyle yüzey gerilimi artar. Gaz kabarcığı kritik bir çapa kadar küçüldükten sonra, artmış yüzey geriliminin de etkisiyle kollabe olur. Basınç değişimlerine bağlı oluşan barotravmalar da benzer bir mekanizmayla açıklanmaktadır (63).

### b. Artan Parsiyel Oksijen Basıncına Bağlı Etkiler

Hemoglobin normal şartlar altında, %97 oranında oksijen ile satüre durumda bulunur. Bu nedenle, normobarik ortamda %100 oksijen solutmak, hemoglobine bağlı oksijeni belirgin düzeyde arttırmaz ve plazmada çözünen oksijen miktarında da hafif bir artış sağlar. Böylece dokuların oksijenlenmesinde anlamlı bir fark meydana gelmez. Dokuların daha fazla oksijenlenmesi için plazmada çözünen oksijen miktarının artırılması gerekir (63).

Henry Kanunu gereğince ortam basıncının artmasıyla oksijenin plazmada çözünürlüğü artar ve kanda taşınan oksijen kapasitesinde artış meydana gelir (**Şekil 3**). Atmosfer havasının solunması sırasında, 100 ml kanda çözülmüş olan oksijen, 1 ATA'da 0,3 ml, 2 ATA'da 0,8 ml iken, %100 oksijen solunmasıyla bu değer, 1 ATA'da 2 ml, 2 ATA'da 4 ml olmaktadır.



**Şekil 3.** Basınç ile oksijen çözünürlüğü ilişkisi. Basınç arttıkça çözünen oksijen miktarı artmakta, hemoglobine bağlı olan yaklaşık % 20'lik kısım ise hemen hemen sabit kalmaktadır (74).

HBO tedavisinin bu etkisinden CO zehirlenmesi gibi hemoglobinin oksijen taşıyamadığı durumlarda faydalanılır. Kanda çözünen oksijenin artması ile doku hipoksisi azalır ve toksikasyon bulguları geriler. Ayrıca bu etkiyle HBO tedavisi, derin anemilerde, kan transfüzyonunun geciktiği durumlarda ve hipoksinin görüldüğü patolojilerde de kullanılabilir (63).

Plazmada yüksek oranda çözünen oksijenin, çeşitli organ, doku ve biyokimyasal reaksiyonlar üzerinde birçok etkisi mevcuttur. Gazlı gangrende alfa toksin üretimini baskılar, lökositlerin antimikrobiyal etkinliğinde artış yapar, kapiller duvarlarda lökosit adezyonunda azalma ve hipoksik olmayan bölgelerdeki damarlarda vazokonstriksiyon yapabilir. Kapiller proliferasyonda artışa, fibroblast çoğalmasına, kollajen üretiminin uyarılmasına, SOD aktivitesinde artışa neden olabilir. CO zehirlenmesinde lipid peroksidasyonunu engeller. Ayrıca osteoklastik aktivite artışı, oküler lenste esnekliğin azalması, sürfaktan sentezinde azalma da HBO'nun sağladığı etkilerden bir kaçıdır. (63).

### **1) Antiödem Etki**

HBO tedavisi, bozulmuş olan adenozin trifosfat (ATP) üretim dengesinin yeniden sağlanmasıyla doku ödeminde azalma oluşturabilir. Ayrıca parsiyel oksijen basıncını arttırarak vazokonstriksiyona neden olur. Ödemli bölgede oksijen miktarının artması ve vazokonstriksiyon oluşması ödemin azalmasına yardımcı olur. Vazokonstriksiyon sayesinde damar geçirgenliği düzenlenir ve ödemde azalma görülür. Vazokonstriksiyon oluşmasına rağmen, kanda çözünmüş oksijenin artması sayesinde dokulara yeterli miktarda oksijenin taşınması sağlanır (75).

### **2) Kardiyovasküler etkiler**

HBO kardiyovasküler sistemde, en dikkat çekici olarak bradikardiye ve buna bağlı olarak kardiyak outputun azalmasına neden olur (76). Ancak dokulara ulaştırılan oksijen miktarı artmış olduğu için bu durum bir olumsuzluk oluşturmaz. Dokular gerekli oksijeni daha az miktarda kandan alabildiğinden, periferik vazokonstriksiyon görülür ve periferik direnç artar. Kan basıncında da minimal bir artış olur.

Oluşan vazokonstriksiyon da HBO tedavisinin antiödem etkisi ortaya çıkar. Ayrıca, hipoksik ortamda bozulan kapiller geçirgenlik, hiperoksijenizasyon ile düzelir ve damar dışına kaçak azalır. Bu da ödemin artmasını engeller (77). Bir diğer önemli nokta da, HBO'nun normal dokularda vazokonstriksiyon oluşturup, hipoksik dokularda oluşturmamasıdır (76).

### **3) Antitoksik etki**

Gazlı gangren, Clostridium perfringes'in neden olduğu myonekrotik bir enfeksiyondur. Clostridium perfringes'in ürettiği alfa toksin, hücre membranlarına zarar verip, kapiller geçirgenliği artırır. HBO, bu toksinin üretimini inhibe ederek anti toksik etki gösterir (78).

#### **4) Antibakteriyel etki**

HBO tedavisi, bakterilere doğrudan etki ederek, savunma sisteminin bakterilere yanıtını güçlendirerek veya antibiyotiklerin etkilerini arttırarak antibakteriyel etkinlik gösterir. HBO, süperoksit dismutaz gibi antioksidan savunma sisteminden yoksun anaerob olan bakteriler için bakterisidal etki gösterir. Tedavi sırasında artan serbest oksijen radikallerine karşı savunma sistemi olmayan bakterilerin, DNA ve RNA dizileri hasar görür, metabolik aktivitesi bozulur ve bakteri, canlılığını sürdüremez. Polimorfonükleer lökositlerin (PNL) ve makrofajların antibakteriyel işlevleri hipoksiden etkilenir. Lökositlerin oksijene bağlı öldürme mekanizmaları, oksijenin parsiyel basıncı 30 mmHg'nin altına indiğinde durur (78). HBO tedavisi ile bu değer 30-1200 mmHg'ye çıkarılması, konağın savunma sisteminde artmış aktivite ile sonuçlanır.

HBO bazı antibiyotiklerle sinerjistik ya da additif etki gösterir. Örneğin aminoglikozidlerin hücre duvarından geçişi oksijen bağımlıdır. Benzer mekanizmalarla Florokinolon, Vankomisin, Teikoplanin gibi antibiyotiklerin de etkinliği arttırılır (78, 79).

#### **5) Yara iyileşmesine etkisi**

Yara iyileşmesi üç evreden meydana gelir. Bunlar inflamasyon, proliferasyon ve yeniden yapılanma/maturasyon evreleridir.

Yara oluşumuyla başlayan inflamasyonda, damar bütünlüğünün bozulduğu yerde önce fibrin tıkaç oluşur. Ardından kemotaktik faktörlerin etkisiyle bölgeye nötrofil göçü olur. HBO nötrofillerin hem oksidatif hem de non-oksidatif süreçlerdeki fonksiyonlarını arttırır (80).

Proliferasyon evresinde fibroblastlar ve endotel hücreleri ön planda olup, doku matriksi üretimi ve neovaskülarizasyon birlikte gerçekleşir. Vaskülarizasyon olmadan matriksin ana elemanı olan kollajen üretilemez. Kollajen de damar duvarını oluşturan endotel hücrelerine destek doku oluşturur. Kollajenin üçlü heliks yapısının oluşması ve hücreden salınması için pirolin hidroksilasyonu; stabilizasyonu için lizin hidroksilasyonu gereklidir. Bu reaksiyonlar oksijene bağımlıdır ve gerçekleşebilmeleri için en az 30-40 mmHg parsiyel oksijen basıncına ihtiyaç duyarlar. Ancak yara dokusu oksijenizasyonun bozulmasına bağlı olarak hipoksiktir ve yaradaki parsiyel oksijen basıncı 20 mmHg'nin altındadır (81). HBO etkisi ile dokuda hiperoksi oluşur, kollajen yapımı hızlanır. Diğer yandan yaradaki hipoksik durum neovaskülarizasyonu tetikler.

Son aşama olan yeniden yapılanma evresi, üretilen kollajenin düzenlenmesidir. Kollajen lifler arasında çapraz bağlar oluşur ve bağ dokusu güçlenir. Bu çapraz bağların oluşması için gerekli oksijen parsiyel basıncının 20-60 mmHg olduğu gösterilmiştir (82). HBO ile oksijenizasyonun artışı bu evreye de etki etmektedir. Bu esas aşamalardan sonra yaranın epitel dokusu ile kapatılması (reepitelizasyon) evresi gelir. Epitel hücrelerinin granülasyon dokusu üzerine ilerlemesi oksijene ihtiyaç duymaktadır (83). Bu etkileri dışında HBO, ödemi azaltıp, infeksiyonla mücadeleyi arttırarak da yara iyileşmesine katkı sağlar.

#### **D. Hiperbarik Oksijen Tedavisinin Endikasyonları**

HBO tedavisinin birçok hastalıkta etkisi olduğu bilinmekle birlikte, çeşitli organizasyonlar ya da kurumlar tarafından, HBO tedavisi endikasyonları belirlenmiştir. Sualtı ve Hiperbarik Tıp Birliği (Undersea and Hyperbaric Medicine- UHMS) 2003 yılında kesinleşmiş Hiperbarik Oksijen Tedavisi endikasyonlar listesi yayınlamıştır. Bu liste **Tablo 6**'te verilmiştir.

Bunun dışında Avrupa Hiperbarik Tıp Komitesi (European Committee of Hyperbaric Medicine-ECHM) tarafından 2004 yılında düzenlenen 7. Avrupa Hiperbarik Tıp Konsensus Konferansı'nda HBO tedavi endikasyonları "Kuvvetle önerilen", "Önerilen", "Opsiyonel" olmak üzere 3 grupta toplanmıştır (**Tablo 8**). Ayrıca bu üç gruptaki endikasyonlar "kanıta dayalı tıp" kurallarına göre de derecelendirilmiş, 1. Derece kanıtlar A, 2. Derece kanıtlar B, 3. Derece kanıtlar C olarak kabul edilmiştir. Kararları daha açık bir hale getirmek için HBO endikasyonu olarak kabul edilmeyen durumlar da incelenmiştir. Sadece kontrolsüz çalışmalarla desteklenmiş ve üzerinde konsensusa varılmamış durumlar D, fayda sağlanacağına dair kanıt bulunmayan ya da yanlış yorum veya metodolojinin sonuca varmayı engellediği durumlar E, HBO kullanılmaması yönünde kanıtların bulunduğu durumlar F olarak verilmiştir (86).

1. Hava veya gaz embolisi
2. Karbondioksit intoksikasyonu/ siyanür intoksikasyonu
3. Gazlı gangren
4. Akut travmatik iskemiler (crush yaralanması / kompartman sendromu)
5. Dekompresyon hastalığı
6. Seçilmiş problemlili yaralarda yara iyileşmesine destek
7. Aşırı kan kaybı (anemi)
8. İntrakranial apse
9. Nekrotizan yumuşak doku infeksiyonları
10. Osteomyelit (dirençli)
11. Geç radyasyon hasarı (yumuşak doku ve kemik nekrozu)
12. Tutması şüpheli greftler ve flepler
13. Termal yanıklar
14. Ani İşitme Kaybı

**Tablo 6.** UHMS tarafından belirlenen endikasyonlar (84).

Ülkemizde Sağlık Bakanlığı'nın özel hiperbarik oksijen merkezleri için kabul ettiği endikasyon listesi mevcut olup, **Tablo 7**'te verilmiştir.

1. Dekompresyon hastalığı
2. Karbonmonoksit, siyanid zehirlenmesi, akut duman inhalasyonu
3. Gazlı gangren
4. Yumuşak dokunun nekrotizan infeksiyonları (deri-kas-fasya)
5. Yara iyileşmesinin geciktiği durumlar (Diyabetik ve non-diyabetik)
6. Hava veya gaz embolisi
7. Kronik refrakter osteomyelit
8. Kafa kemikleri, sternum ve vertebranın akut osteomyelitleri
9. Ani görme kaybı (Retinal arter oklüzyonu)
10. Ani işitme kaybı
11. Crush yaralanması, kompartman sendromu ve diğer akut travmatik iskemiler
12. Tutması şüpheli deri greft ve flepleri
13. Radyasyon nekrozları
14. Beyin absesi
15. Anoksik ensefalopati
16. Termal yanıklar
17. Aşırı kan kayıpları

**Tablo 7.** Sağlık Bakanlığı endikasyon listesi (85)

	Kamıt Düzeyi		
	A	B	C
<b>Tip 1 Endikasyonlar</b>			
Anaerobik veya karışık bakteriyal enfeksiyonlar			X
CO zehirlenmesi		X	
Dekompresyon hastalığı			X
Gaz embolisi			X
Crush yaralanmasıyla birlikte açık kırıklar		X	
Osteoradyonekroz (Mandibula)		X	
Diş çekimi sonrası osteoradyonekrozun önlenmesi		X	
Yumuşak doku radyonekrozu (sistit, proktit)		X	
Ani işitme kaybı		X	
<b>Tip 2 Endikasyonlar</b>			
Yanıklar (>2. derece veya %20 den geniş)			X
Santral retinal arter oklüzyonu (CRAO)			X
Riskli cilt greftleri ve muskulokutanöz flepler			X
Kırık olmayan crush yaralanmaları			X
Diyabetik ayak lezyonları		X	
Femur başı nekrozu		X	
İskemik ülserler			X
Evre IV nöroblastoma			X
Osteoradyonekroz (Mandibula haricindeki diğer kemikler)			X
Pnömotosis sistoides intestinalis			X
Yumuşak doku radyonekrozu (diğerleri)			X
Refrakter kronik osteomyelit			X
Radyasyon almış dokularda cerrahi veya implant öncesi prevansiyon			X
<b>Tip 3 Endikasyonlar</b>			
Seçilmiş hastalarda beyin hasarı (akut veya kronik travmatik beyin hasarı, kronik inme, post anoksik ensefalopati)			X
İnterstisyel sistit			X
Ekstremitte replantasyonu			X
Damar girişimi sonrası reperfüzyon sendromu			X
Larinks radyonekrozu			X
Radyasyona bağlı santral sinir sistemi lezyonları			X
Sistemik süreçlere sekonder iyileşmeyen yaralar			X
Orak hücre anemisi			X
<b>HBOT kullanılmaması gereken Tip 1 Endikasyonlar</b>			
Otizm spektrum bozukluğu		X	
Serebral palsy		X	
Multipl skleroz		X	
Plesental yetmezlik			X
İnme akut fazı			X
Tinnitus		X	

**Tablo 8.** 2016 ECHM konsensus kararlarına göre belirlenen endikasyon listesi (87)

## **E. HBO Tedavisi ve Hiperbarik Ortamda Bulunmanın Komplikasyonları ve Yan Etkileri**

HBO'nun en sık karşılaşılan yan etkisi barotravmalardır. Barotravma, vücuttaki içi hava dolu boşlukların, basınç değişikliğine bağlı olarak hasarlanmasıdır. Tedaviye alınan hastalarda ve tedavilere eşlik eden sağlık personelinde yan etki olarak en sık orta kulak barotravması görülmektedir. Boyle Gaz Kanununa uygun olarak, orta kulaktaki hava hacmi basınç artışına bağlı olarak küçülür ve orta kulakta negatif basınç meydana gelir. Orta kulakta oluşan negatif basınç, çevre dokular üzerinde vakum etkisi oluşturarak, ödem, eksüdasyon, kanama ve kulak zarında perforasyona varan etkilere sebep olabilir. Valsalva manevrası, yutkunma gibi bazı manevralarla östaki borusundan orta kulağa hava girişinin sağlanması, barotravma oluşumunu engellemektedir. Hasta eğitimi, basınç artış hızının azaltılması ile orta kulak barotravmasının oluşumu engellenebilir. Orta kulak barotravmaları tedavi için kesin kontrendikasyon oluşturmamakla birlikte, endikasyona göre klinisyen tarafından karar verilir. Acil tedavi gerektiren durumlarda, barotravma öyküsüne rağmen tedavi uygulanabilir veya miringotomi seçeneği, alternatif olarak değerlendirilebilir. Barotravma görülebilen bir diğer bölge ise paranazal sinüslerdir. Valsalva manevrası ile paranazal sinüslerde basınç eşitlenmesi sağlanabilir. Ancak hava geçişini engelleyecek mukoza ödemeine sebep olan durumlarda (alerjik rinit, üst solunum yolu infeksiyonu) veya kitle (mukosel vb), ciddi deviasyon varlığında barotravma görülebilir. Nadir görülmekle birlikte, orta kulakta aşırı negatif basınç oluşması veya güçlü valsalva manevrası yapılması durumunda iç kulak barotravması gözlenebilir. Dış kulak yolunda tıkaçıcı lezyon veya buşon oluşumları nedeniyle dış kulak barotravması ve içinde hava boşluğu kalan dış dolgularında da dış barotravması gözlenebilmektedir. Bazı cerrahi işlemlerden sonra, gastrointestinal sistem veya oküler barotravmalar da rapor edilmiştir (87).

Barotravmalar arasında en ciddi ve mortal olanı ise akciğer barotravmasıdır. Tedavi bitiminde basıncın düşürülmesi sırasında, akciğerde hava hapsine neden olan lezyon varlığında (kist, kavern, bül, blep vb), bronşiyal obstrüksiyonda veya glottisin kapalı olduğu durumlarda alveoler rüptür meydana gelebilir. Pnömotoraks, pnömomediastinum, cilt altı amfizem veya gaz embolisine neden olabilecek bu durum acil tedavi gerektirir. Bu nedenle, HBO tedavisi için hasta seçimi yapılırken dikkatli olunmalıdır (88).

Uzun süreli HBO tedavisi ile geçici miyopi olduğu rapor edilmiştir. Bu yan etkinin, lens proteinlerinin oksidasyonuna bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. HBO tedavisi kesildikten sonra kendiliğinden düzelen bir durumdur (88, 89).



HBO'nun 3 ATA ve üzerindeki basınçlarda uygulanması ile MSS'de oksijen toksisitesi görülebilir. Standart HBO tedavi protokolleri bu basınç değerinin altındadır. Ancak, konvülziyona yatkın olan veya epilepsi hikayesi olanlarda, standart tedavi basınçlarında da toksisite bulguları gözlenebilir. Dekompresyon hastalığı gibi uzun süreli HBO tedavisi gerektiren durumlarda, solunum sıkıntısı, substernal ağrı ve öksürük semptomları ile karşımıza çıkan pulmoner toksisite gözlenebilir. Aralıklı oksijen solunması genellikle toksisitenin önüne geçmek için yeterli olmaktadır (88, 90).

Yüksek basınca bağlı işitme kaybının tarihçesine bakacak olursak 1800'lü yılların sonlarında Lester ve Gomez, New East River Bridge'de çalışan kezon işçilerinin işitmeleri üzerinde basınç artışının etkisini araştırmışlardır. İşitmenin hem hava hem kemik yolu ölçümlerinde basınç artışı ile doğru orantılı olarak düştüğü taraflarınca bildirilmiştir (91). Basınçlı havanın kezon işçilerinin işitmeleri üzerindeki etkisi, 1913 yılında Boot tarafından "Kezon İşçisi Sağlığı" olarak adlandırmıştır (92).

1937'de Armstrong ve Heim yaptıkları çalışmada; kulak zarına etki eden artmış veya azalmış basıncın, geri dönüşlü ileti tipi işitme kaybına sebep olduğunu bildirmiştir (93). Van 1941'de ise Dishoeck benzer bulgular elde etmiş ve önceki çalışma sonuçlarını doğrulamıştır (94).

1940'lı yıllarda 2. Dünya Savaşı nedeniyle artan askeri dalgıçlar ve yüksek irtifa uçuşları, basınç değişiminin işitme üzerine zararlı etkilerinin araştırılması konusunu ilgi odağı haline getirmiştir (95, 96). Ancak bu döneme ait veriler birbiriyle çelişkilidir. Bazı araştırmacılar düşük frekanslarda işitme kaybının daha belirgin olduğunu belirtirken diğer bir kısımda yüksek frekanslarda daha belirgin kayıp olduğunu ifade etmiştir.

1966 yılında Fluor ve Adolfson, 26 deneyimli dalgıç üzerinde artmış çevre basıncının işitme üzerine etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Normal hava (1 ATA) ve 4, 7, 10 ve 11 ATA hiperbarik hava ortamlarında yapılan odyogram ölçümlerinde hava yolunda, artan basınçla orantılı olarak 30-40 dB'lik bir eşik artışı görmüş, kemik yolunda bir değişiklik görülmediğini bildirmiştir. Araştırmacılar artan ortam basıncının, orta kulaktan geçen sesin iletiminde azalmaya neden olduğunu öne sürmüştür (97, 98).

Brady ve ark 1976'da Amerikan Donanma dalgıçlarının odyometrik inceleme sonuçlarını yayınlamıştır. İşitme üzerine etkili 4 önemli değişken; donanmada dalış yapılan yıl sayısı, gürültüye maruz kalma öyküsü, barotravma öyküsü ve kullanılan dalış ekipmanı olarak gösterilmiştir. Sonuçta bu değişkenlerin işitme fonksiyonu üzerine etkisi minimal

bulunmuştur. Sonuçlar dalgıç olmayan popülasyonla karşılaştırıldığında da anlamlı fark ortaya konamamıştır (92).

Tarihi özelliği olan bu çalışmaların çoğu dalgıçlar üzerinde yapılmıştır. Her ne kadar basınç maruziyeti yönünden HBO tedavisi bir tür dalış olarak düşünülse de, tedavi sırasında uygulanan protokoller daima belirli sınırlar içindedir. HBO tedavisi gelişim süreci boyunca işitme kaybı konusu değerlendirilmiş olsa da günümüzde daha arka planda kalmıştır. Ayrıca o dönemde çalışmaların yapıldığı basınç odaları ve tedavi protokolleri dikkate alındığında susturucuların olmaması, daha derin ve hızlı kompresyon gürültüyü ve işitme kaybını daha ön plana çıkarmıştır.

### **F. HBO Tedavisinin Kontrendikasyonları**

HBO tedavisinin tek kesin kontrendikasyonu, tedavi edilmemiş pnömotorakstır. Tedavi sırasındaki basınç değişiklikleri ve tansiyon pnömotoraksa dönüşerek yaratabileceği hayati tehlike nedeniyle bu durum mutlak kontrendikasyon olarak kabul edilir. Pnömotoraksı olan bir hastanın mutlaka HBO tedavisi görmesi gerekiyorsa, hastaya basınç odasına alınmadan önce göğüs tüpü takılmalıdır. HBO tedavisinin göreceli kontrendikasyonlarının listesi ise **Tablo 9**'da verilmiştir. Bu durumlarda, hastanın kliniği ve tedavinin sağlayacağı fayda değerlendirilerek, klinisyen tarafından karar verilir.

1. Üst solunum yolu enfeksiyonu
2. Obstrüktif akciğer hastalıkları
3. Grafide asemptomatik akciğer lezyonu, hava hapsine yol açabilecek bül-blep gibi lezyonlar
4. Göğüs ya da kulak cerrahisi öyküsü
5. Kontrolsüz yüksek ateş
6. Hamilelik
7. Klostrorobi
8. Nöbet geçirme

**Tablo 9.** HBO tedavisinin göreceli kontrendikasyonları (88, 90).

Bu listede yer almayan konjestif kalp yetmezliği, spontan pnömotoraks, herediter sferositoz gibi bazı hastalıkların da rölatif kontrendikasyon teşkil ettiği düşünülmektedir. Bu durumlarda hastanın HBO tedavisine alınması gerekliyse, gelişebilecek komplikasyonlara yönelik önlemler alınarak, çok kişilik basınç odasında ve müdahale yapabilecek bir sağlık görevlisinin gözetiminde tedavi uygulanmalıdır (90).

### III. GEREÇ VE YÖNTEM

Yürütülen çalışma “İstanbul Tıp Fakültesi Dekanlığı” tarafından uygun görülen “tanımlayıcı” tipte bir araştırmadır.

Ölçümler, İstanbul’da tedavi uygulayan resmi ve özel hiperbarik tıp merkezlerindeki basınç odalarında, HBO tedavisi seansı esnasında basınç odasında hastalar varken, kompresyon fazında 3 kez, tedavi basıncında ventilasyon açık ve kapalıyken olmak üzere iki kez ve rekompresyon fazında üç kez yapılmıştır.

Gerekli izinler alındıktan sonra, merkezlerdeki sorumlu kişiler ile iletişime geçilmiş ve haftanın hangi günleri müsait oldukları öğrenilmiştir. Ölçüm günü konusunda herhangi bir örneklem yöntemi kullanılmamış olup, rastgele yöntemle ölçüm günü belirlenmiştir.

Çalışma Ekim 2016 – Kasım 2016 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Tedavi merkezlerinde ölçümler, hastaların aktif olarak hizmet aldığı, hafta içi mesai saatleri içinde yapılmıştır.

Ölçümlerin tümü “Bruel & Kjaer Sound Level Meter Type 2240” cihazı ve cihaz ile uyumlu “sound level calibrator type 4231” kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu cihaz entegre edici – ortalama alan klas 1 ses ölçüm cihazı olup, IEC (International Electrotechnical Commission) 61672-1 standartlarında tanımlanmış verilere uygun ölçüm yapabilmektedir. “30 – 140” dB aralığında ve 20 Hz ile 16 kHz arasındaki frekanslarda ölçüm yapabilmekte olup, cihazın çalışma aralığı -10°C ile 50°C arasındadır. Kullanılan cihaz 1,5 Voltluk LR6/AA iki adet alkalin pil ile kesintisiz 16 saat çalışabilmektedir. Cihazın ağırlığı 245 gr olup, kolaylıkla taşınarak ölçüm alanlarında kullanılabilir.

Araştırma sürecinde, tüm ölçümler basınç odası içerisinde kenarlardan en az 1 metre uzaklıkta, yerden 130 cm yükseklikte, tedavi esnasında oturmakta olan iç yardımcı ve hastaların kulak hizası seviyesinden ve her 25 saniyede bir örneklem alacak şekilde elde edilen değerlerin kaydedilmesi yoluyla yürütülmüştür.

#### IV. BULGULAR

İstanbul'da tedavi yapan resmi ve özel hiperbarik oksijen tedavi merkezlerindeki basınç odalarının operasyonu esnasındaki gürültü düzeyini belirlemek amacıyla yapılan ölçüm sonuçlarında ait ortalama ve maksimum değerler **Tablo 2**'de gösterilmektedir.

Çapa	Kompresyon			Tedavi		Dekompresyon		
	I	II	III	v. açık	v. kapalı	I	II	III
<b>10+1 hasta</b>								
Leq	67,7	77,6	77	86,6	69,8	74,4	80	72,5
Lmax	70,6	91,2	84,3	92,5	80,4	79,4	83,6	76,3
Lcpeak	89,7	103,5	101,1	106,9	98	96,9	98	94,2
Kalibrasyon	94	93,9	94	94	94	94,1	94,1	94
<b>Haseki</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>7 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	67,2	64,6	68,6	71,1	68	66,5	64,6	66,6
Lmax	75,2	70,7	77,4	74,2	72,6	71,5	68,7	80,7
Lcpeak	91,4	87,8	95,3	93,2	90	97	85,8	98
Kalibrasyon	93,9	93,9	94	94	94	94,2	94,1	94
<b>Okmeydanı</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>9 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	64,4	65,8	71,8	71,3	64,8	69,3	65,4	72,5
Lmax	74,1	67,5	73,3	73,6	70,9	85,1	68,1	77,9
Lcpeak	88,6	85,4	87,2	89,1	90,1	101,7	89,6	98,4
Kalibrasyon	93,9	93,9	93,9	94	94	94,1	94,1	94,1
<b>Avcılar</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>8 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	77	76,7	80,3	73,6	69,3	78,4	78,6	79,4
Lmax	79,4	80	83,7	79,3	74,2	85,9	83,4	83,4
Lcpeak	94,3	97,2	98	97	90,1	97,3	98,4	96,1
Kalibrasyon	94	93,9	93,9	94	94	94	94	94
<b>Şişli</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>6 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	68,6	67,8	68,4	68,9	65,1	63,6	64,4	56,6

Lmax	74,6	68,8	69,2	72,3	71,9	67	70,4	60,4
Lcpeak	90,9	87,9	88,4	90,5	94,2	86,7	92,7	78,1
Kalibrasyon	93,9	93,9	94	94	94	94	94	94
<b>İncirli</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>13+1 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	63,9	78	80,3	70,2	68,9	67,3	63,2	65,8
Lmax	71,7	79	81,6	76,4	73,6	76	68,3	83,2
Lcpeak	88,1	95	98	90,5	87,1	93,9	82,4	99
Kalibrasyon	93,9	93,9	94	94	94	94	94,1	94
<b>Göztepe</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>13+1 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	69,4	68,9	68,1	72,3	71,7	70,5	69,6	67,2
Lmax	82,3	81,2	72,6	77,2	86,2	77,4	86,7	76,5
Lcpeak	93,6	93,9	90	94	99,1	94,7	101,8	92,2
Kalibrasyon	93,9	94	94	94	94	94,1	94	94
<b>Yenisahra</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>8 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	65,5	58,6	60,6	63,9	63,2	55,8	55,1	63,9
Lmax	80,1	62,8	69,2	70,1	71,2	66,9	60,1	70,1
Lcpeak	92,9	79,2	88,3	92,3	88,8	88	77,5	92,3
Kalibrasyon	94	94	94	94	94	94	94,1	94
<b>Kartal</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>10+1 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	83,5	88,6	88,2	89,2	74,1	72,5	74,8	71,4
Lmax	86,4	90,9	89,5	92,9	83,4	78	80,3	76,4
Lcpeak	99,5	103,7	103,8	103,6	98,1	93	98,7	92,4
Kalibrasyon	93,9	93,9	94	94	94	94	94,1	94
<b>Ümraniye</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>2 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	61,9	69,4	71	77,2	44,2	67,5	61,6	57,9
Lmax	62,9	70,5	72,4	78,5	54,6	69,8	72	72,4
Lcpeak	76	83,5	87	89,7	74,5	86,7	87,6	88,6

Kalibrasyon	93,9	94	94	94	94	94	94,1	94
<b>Haydarpaşa</b>	<b>Kompresyon</b>			<b>Tedavi</b>		<b>Dekompresyon</b>		
<b>10+1 hasta</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>v. açık</b>	<b>v. kapalı</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Leq	90,9	91,1	92,6	83,7	71,5	67,5	70,1	73,9
Lmax	95,1	96,2	95,7	86,4	75,2	79,1	74,6	76,5
Lcpeak	103	105	103,4	98,4	88,5	97,1	90,6	90,5
Kalibrasyon	94	94	94	94	94	94	94	94

**Tablo 2:** Basınç odalarının operasyonu esnasında meydana gelen ses şiddetleri

Bu çalışmada İstanbul'da faaliyet gösteren resmi ve özel hiperbarik tıp merkezlerindeki basınç odalarının gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Ölçümlerde "A" ağırlıklı ortalama ve maksimum gürültü düzeyleri ile "C" ağırlıklı peak değerlerine bakılmıştır. Basınç odasının kompresyonu ve dekompresyonu esnasında ses şiddeti, basınç farkına bağlı olarak değişim gösterdiği için cihaz sürekli kalibre edilmiştir. Ölçümler 25 saniyelik aralıklarla yapılmış olup tabloda belirtilen kalibrasyon değerleri 25 saniyelik ölçüm sonucunda cihazın 94 dB'lik ses oluşturan kalibratörü takıldığında göstermiş olduğu değerleri yansıtmaktadır. Her tedavi seansında kompresyon ve dekompresyonun başlangıcında, ortasında ve sonunda olmak üzere üçer ölçüm yapılmıştır. Tedavi basıncına gelindiğinde ventilasyon açık ve kapalı iken iki ayrı ölçüm yapılmış olup tüm seans esnasında en az 8 kez gürültü düzeyi ölçülmüştür.

Tüm Merkezler		Kompresyon	Tedavi		Dekompresyon
			V. Açık	V. Kapalı	
<b>Leq</b>	<b>En Yüksek</b>	92,6	89,2	74,1	80
	<b>En Düşük</b>	58,6	63,9	44,2	55,1
<b>Lmax</b>	<b>En Yüksek</b>	96,2	92,9	86,2	86,7
	<b>En Düşük</b>	62,8	70,1	54,6	60,1
<b>Lcpeak</b>	<b>En Yüksek</b>	105	106,9	99,1	101,8
	<b>En Düşük</b>	76	89,1	74,5	77,5

**Tablo 3:** Tüm merkezlerdeki en yüksek ve en düşük değerler

*Kompresyon esnasında A ağırlıklı ortalama gürültü düzeyinde (Leq)* en yüksek değer Haydarpaşa'da saptanmış olup 92,6 dB olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise Yenisahra'da ölçülmüş olup 58,6 dB' dir. *A ağırlıklı maksimum gürültü düzeyinde (Lmax)* ölçülen en yüksek değer 96,2 dB ile Haydarpaşa'da ölçülmüştür. En düşük değer 62,8 dB ile

Yenisahra'dadır. **C ağırlıklı peak (Lcpeak)** değerlerinde en yüksek değer 105 dB ile Haydarpaşa'da, en düşük değer 76 dB ile Ümraniye'de ölçülmüştür.

*Tedavi esnasında ventilasyon açık iken* **A ağırlıklı ortalama gürültü düzeyinde (Leq)** en yüksek değer Kartal'da 89,2 dB, en düşük Yenisahra'da 63,9 dB olarak ölçülmüştür. *Ventilasyon kapalı iken* yapılan ölçümlerde ise en yüksek değer 74,1 dB ile Kartal'da, en düşük değer 44,2 dB ile Ümraniye'de saptanmıştır. **A ağırlıklı maksimum gürültü düzeyleri (Lmax)** *ventilasyon açık iken* en yüksek 92,9 dB ile Kartal'da, en düşük 70,1 dB ile Yenisahra'da ölçülmüştür. *Ventilasyon kapalı iken* 86,2 dB ile en yüksek Göztepe'de, en düşük olaraksa 54,6 dB ile Ümraniye'de ölçülmüştür. **C ağırlıklı peak (Lcpeak)** değerleri *ventilasyon açık iken* en yüksek 106,9 dB ile Çapa'da, en düşük 89,1 dB ile Okmeydanı'nda ölçülmüştür. *Ventilasyon kapalı iken* yapılan ölçümlerde ise en yüksek değer 99,1 dB ile Göztepe'de, en düşük olaraksa 74,5 dB ile Ümraniye'de saptanmıştır.

*Dekompresyon esnasında* **A ağırlıklı ortalama gürültü düzeyinde (Leq)** en yüksek değer 80 dB ile Çapa'da, en düşük değer ise 55,1 dB ile Yenisahra'da ölçülmüştür. **A ağırlıklı maksimum gürültü düzeyinde (Lmax)** ölçülen en yüksek değer 86,7 dB ile Göztepe'de, en düşük değer ise 60,1 dB ile Yenisahra'da ölçülmüştür. **C ağırlıklı peak (Lcpeak)** değerlerinde en yüksek değer 101,8 dB ile Göztepe'de, en düşük değer 77,5 dB ile Yenisahra'da ölçülmüştür.

## V. TARTIŞMA

Gürültü çoğunlukla istenmeyen, armonik olmayan ses olarak tanımlanmasına karşın, aynı zamanda iş ortamının ve çalışma performansının zarar görmesine neden olan, mental ve fiziksel etkileri bulunan çevresel kirletici olarak da tanımlanmaktadır. Sağlık sektöründe çalışanların çoğunlukla işte yetersiz, zaman, beceri ve/veya sosyal destek ile eşleşen yüksek beklentilere bağlı mesleki stresten şikâyetçi olduğu bilinmektedir (99).

Sağlık kuruluşlarında gürültü düzeyini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar genellikle yoğun bakım üniteleri üzerine yoğunlaşmış olup, ülkemizde basınç odalarının değerlendirildiği bir çalışma yoktur.

Yataklı tedavi kurum ve kuruluşları, dispanser, poliklinik, bakım ve huzur evleri ve benzeri alanlar olarak tanımlanan Sağlık Tesis Alanlarında iç ortam gürültü seviyesi maksimum 35 dB(A) olmalıdır (2). İç ortam gürültü seviyesi maksimum 35 dB olarak belirlenmişken basınç odalarının operasyonu esnasında, basınç odasının içinde ve dışında meydana gelen ses şiddeti bu değerin oldukça üzerindedir. Bu durum sadece basınç odaları için değil tüm hastane birimleri için geçerlidir.

EPA hastane ses düzeylerinin 45 dB'yi aşmaması gerektiğini öne sürerken, DSÖ hastane ses düzeylerinin 30 dB'yi aşmaması gerektiğini ve piklerin 40 dB'nin altında olması gerektiğini öne sürmektedir (22, 23). Bizim yaptığımız çalışmada çıkan sonuçlar göze alındığında minimum değerlere bakılsa dahi öne sürülen bu değerlerin oldukça üzerinde çıktığı görülmektedir.

Gürültünün “sağlıklı çalışanlar üzerine etkisi” nin değerlendirildiği epidemiyolojik çalışmalarda yüksek ses şiddetine maruz kalınan ortamlarda çalışanların daha yüksek kan basıncı ve miyokard infarktüsü riski taşıdığı gösterilmiştir (100).

İşitme kaybı yetişkinlerde karşılaşılan en sık kronik rahatsızlıklardan birisidir (101). Yaşlanma ve gürültü gelişmiş ülkelerde işitme kaybının en sık nedenidir. Amerika'da işitme kayıplarının %10 undan daha azının gürültü kaynaklı olduğu belirtilirken, gürültüye bağlı işitme kayıplarının sıklıkla 95 dB üzerinde ses şiddetine korunmasız şekilde maruz kalanlarda ortaya çıktığı bildirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde gürültü kaynaklı işitme kaybı, önlenebilir en önemli işitme kaybı nedeni olarak gösterilmektedir. ABD' de 30 milyon çalışan gürültü kaynaklı işitme kaybı riski taşımakta ve 10 milyon kişi de gürültü kaynaklı işitme problemi yaşamaktadır (102).



Gürültüye bağlı işitme kaybı tanımı Ramazzini'nin 1713 te yayınladığı De Morbis Artificum eserine dayanmaktadır. Gürültü nedenli işitme kaybına ait pek çok farklı tanımlama mevcut olup OSHA; 2, 3 ve 4 kHz de odyometride ortalama işitme seviyesinden 10 dB kayıp olarak tanımlamıştır. 1981 de OSHA ABD'de 7,9 milyon insanın çalışma ortamında 80 dB'in üzerinde gürültüye maruz kaldığını bildirmiştir (103). Tak ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış olduğu analizinde 1999-2004 yılları arasında bu sayının 22 milyon olduğunu ve bunlarında %34 ünün işitme koruyucu cihazlar kullanmadığı bildirilmiştir (104).

Basınç odalarında dalış yapan dalgıçlarda geçici ve kalıcı eşik kaymasının olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Summit 1970 de dalgıçlarda geçici eşik kaymasını rutin olarak saptamıştır. Thomas Murry'nin 1971 de yaptığı çalışmasında, basınç odası 100 ft'e komprese edilmiş ve mikrofon iki farklı şekilde konumlandırılarak ölçüm yapılmıştır. Mikrofon her iki durumda da dalgıcın kulak hizası seviyesinde birinde dik diğerinde yatay olarak konumlandırılmış ve yapılan ölçümlerde en yüksek gürültü düzeyinin tespit edildiği anda frekans 300 ve 4800 Hz arasında saptanmıştır. Bu çalışmada ortalama dalış hızı 70 ft/dk, ortalama çıkış hızı ise 33,3 ft/dk'dır. Mikrofon zemine dik konumlandırıldığında kompresyonda 112 dB, dekompresyonda 108 dB; mikrofon zemine paralel olarak konumlandırıldığında ise kompresyonda 120 dB, dekompresyonda 115 dB gürültü meydana geldiği kaydedilmiştir. Bu çalışmada sadece kompresyon ve dekompresyonda ölçüm yapılmış olup dipteyken ve ventilasyon açıkken ölçüm yapılmamıştır. Bizim çalışmamızda ise kompresyon, dekompresyon ve tedavi esnasında ventilasyon açık ve kapalıyken ölçümler yapılarak ses şiddetleri kaydedilmiştir. Esasen HBO tedavileri esnasında seans süresinin büyük bir bölümünü, tedavi basıncında hastaların oksijen soluduğu kısım oluşturmakta, hastalar da daha çok bu aşamada içerideki sese maruz kalmaktadır. Murry'nin çalışmasını yapmış olduğu basınç odasında susturucunun olmaması gürültünün daha yüksek oluşunu açıklamaktadır. Ayrıca çalışmada mikrofonlar "karşılıklı kalibrasyon tekniği" ile kalibre edilmiş olup hatalı sonuçlar vermiş olması da muhtemeldir. Bu çalışmada ölçümler esnasında ses ölçüm cihazı basınç odasının dışında, sadece mikrofonu basınç odası içinde bulundurulmuştur (105). Yapmış olduğumuz çalışmadaki ölçümlerde kullandığımız ses ölçer cihaz ise, basınçlı ortamlarda ölçüm de yapabilecek şekilde üretilmiş ve mikrofon ses ölçüm cihazı ile entegredir.

Summitt ve Reimers'in 1971 de yaptıkları çalışmada basınç odasının ve dalış başlıklarının içinde meydana gelen gürültü şiddetleri raporlanmıştır. Bu çalışmada basınç odası 200 ft derinliğe indirildiğine meydana gelen gürültü seviyeleri kaydedilmiştir. Ölçümler sonucunda dalış başlıkları ve basınç odalarında maruz kalınan süreye bağlı olarak iç yardımcı ve dalgıçlarda riskli gürültü düzeylerine ulaşıldığı belirtilmiştir. 6 farklı dalış başlığı ve basınç odası içerisindeki gürültü düzeyleri 0 – 50 – 100 – 150 ve 200 ft'de ölçülmüş ve dalış başlıkları içindeki tüm ölçümler 90 dB in üzerinde (92-113 dB) saptanmıştır. Basınç odası içindeki ölçümler ise yaşam destek üniteleri açıkken 0 ft de 66 dB, ventilasyon tamamen açıkken 116 – 121 dB arasında, 60 ft/dk hızla komprese edilirken de 107 – 116 dB arasında gürültü olduğu kaydedilmiştir. Amerikan donanmasının o zamandaki kabul edilebilir gürültü seviyeleri 8 saatte 90 dB, 2 saatte 100 dB maksimum ses şiddetine maruziyet olarak belirtilmiş ve bu değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalındığı gösterilmiştir (106). Bizim çalışmamızda ölçümler 0 – 45 ft arasında yapılmış olup bazı merkezlerde 90 dB üzerinde gürültü meydana geldiği gösterilmiştir. Dekompresyon hastalığı ya da arteriyel gaz embolisi gibi endikasyonlarda US Navy TT 6 veya 6A uygulanması gereken durumlarda tedavi tablosunda uzatmalar gündeme geldiğinde, yönetmelikte belirtilmiş olan 8 saatlik 85 dB lik gürültü maruziyet sınırına yaklaşılabilir, hastalarda ve iç yardımcılarda işitme kaybı gibi gürültünün zararlı etkileri meydana gelebilir.

Lie ve arkadaşlarının 2015 yılında yapmış olduğu derleme çalışmasında 187 makale taranmış ve çalışma ortamında maruz kalınan gürültüye bağlı gelişen işitme kayıpları incelenmiştir. İş yerindeki gürültü maruziyeti sonrası ortaya çıkan işitme kayıplarının görülme sıklığı % 7-21 arasında değişmekte olup gelişmekte olan ülkelerde en fazla olduğu bildirilmiştir. Dalgıçlarda ise düşük ve yüksek frekanslarda orta şiddette işitme kaybının normal popülasyondan daha sık görüldüğü belirtilmiştir. Ancak dalgıçlarda görülen işitme kayıplarında, basınç değişikliklerine maruz kalmanın kulağa etkileri de söz konusu olabilir. Aynı zamanda sürekli gürültünün ve anlık yüksek gürültünün işitme kaybı olgularında yüksek kanıt düzeyinde ciddi risk oluşturduğu bildirilmiştir (107).

Anthony ve arkadaşlarının 2010 yılında yayımlanan derleme çalışmasında insan kulağının sualtında 400 Hz ve 1 kHz frekansları arasındaki seslere en hassas olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda sualtında en fazla bu frekanslarda hasar oluşma potansiyeli olduğu söylenmiştir. Hava ortamında ise işitme en hassas 2-6 kHz arasında maksimum da yaklaşık olarak 4 kHz civarındadır. Sualtında insan kulağının hassasiyetinin artıp azalmasına

bağlı olarak daha doğru değerlendirmeler yapabilmek için (Nedwell ve Parvin) tarafından sualtı gürültü ölçüm skalası (underwater noise weighting scale) (dB (UW)) tanımlanmıştır (110). Son yapılan odyometrik çalışmalar hiperbarik ortamlarda işitmenin etkilenmediğini istisna olaraksa yüksek frekanslarda hafif olarak arttığı bildirilmiştir. Yüksek basınç altında olmadan farklı gaz ortamlarında (helioks ve nitroks) da işitmenin etkilenmediğini gösteren çalışmalar mevcuttur (108, 109).

Searle ve Parvin in 1995 te ölçüm yaptıkları Type 1 non-TUP (TUP; transfer under pressure) basınç odasında ortalama gürültü 145,3 dB(A) saptanmış, bir saatlik gürültü dozu hesaplandığında 136,3 dB bulunmuştur. Admiralty Mk1 basınç odasında yaptıkları ölçümlerde ise ortalama gürültü 110,5 dB bulunmuş olup bir saatlik gürültü dozu hesaplandığında 101,5 dB saptanmıştır. 1996 da ölçüm yaptıkları Duocom Holders Variant basınç odasında ise ortalama gürültü 108 dB, bir saatlik gürültü dozu ise 99 dB olarak saptanmıştır. Tüm bu değerler kabul edilebilir gürültü maruziyetinin üzerinde bulunmuştur (108).

Saturasyon dalgıçları sürekli olarak gürültüye maruz kaldıkları için onların gürültü dozları normal standartlara göre hesaplanmamaktadır. Saturasyon dalgıçları için kabul edilebilir devamlı gürültü düzeyi 73 dB olarak belirlenmiştir (108).

Summitt ve arkadaşlarının 1971 de yaptığı ölçümlerde 50 ft de 121 dB gürültü meydana geldiği gösterilmiş (106). Murry 1972, 100 ft e 2 dk da hava ile dalınması esnasında meydana gelen ses şiddetini kaydetmiş ve maksimum 120 dB lik gürültü oluştuğunu raporlamıştır (105). Molvaer ve arkadaşları 1981 saturasyon çanını 200 metreye trimiksle 1,5m/dk hızla daldırırken meydana gelen ses şiddetini ölçmüşlerdir. Maksimum 105,7 dB gürültü oluştuğu tespit edilmiştir (111). Parvin ve Nedwell tarafından basınç odasının giriş valfi tamamen açıkken 50 metreye kompresyonu esnasında meydana gelen ses şiddeti ölçülmüş, maksimum 120-133 dB gürültü oluştuğu kaydedilmiştir (110). Bir başka çalışmada basınç odasının 4 farklı tipteki susturucu ile 5 ata dan dekompresyonu esnasında meydana gelen ses şiddeti ölçülmüş, tip C susturucuda maksimum 82 dB gürültü meydana gelirken, tip D susturucu kullanıldığında maksimum 98 dB'lik bir gürültü meydana geldiği tespit edilmiştir. Edwards'ın yapmış olduğu bu çalışmada susturucu tipinin ne kadar önemli olduğu ortaya koyulmuştur (41, 50).

1936'da New Deal'in bir parçası olarak kabul edilen Walsh-Healey yönetmeliği'ne göre günde 8 saat 90 dB(A) üzerinde gürültüye maruz kalındığında işitme problemi gelişebileceği belirtilmiştir. Harvey, donanma okulu, dalış ve kurtarmada dalgıçlar üzerinde odyometrik değerlendirmeler yapmış ve basınç odası içindeki gürültü düzeyini kompresyon dekompresyon ve ventilasyon esnasında ölçmüştür. Basınca uygun düzeltilmiş sonuçlarda önerilen ventilasyon seviyesinde 108 dB lik gürültü meydana geldiğini tespit etmiştir (112, 113).

Murry, Donanma denizaltı tıp merkezinde 100 ft e dalış ve çıkış esnasında meydana gelen gürültü şiddetini ölçerek, kompresyon esnasında maksimum 120 dB ve dekompresyon esnasında maksimum 115 dB şiddetinde gürültü oluştuğunu kaydetmiştir (28).

Reimers'in çalışmasında donanmanın deneme dalış ünitesinde yapılan ölçümlerde susturucular kullanılmış olup gürültü şiddetini 30 dB azalttığı gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan filtre elemanları yanıcı olduğu için dalış esnasında ölçüm yapılmamıştır ancak tamamen metal susturucularla basınç odalarında meydana gelen ses şiddetinin önemli ölçüde azaltılabileceği gösterilmiştir (10).

Susturucu, havanın serbest akışına izin verirken ses iletimini azaltan özel bir kanal veya boru olarak tanımlanabilir. Basınç odaları için tasarlanmış başarılı bir susturucu bazı kriterlere sahip olmalıdır. Uygun akustik, geometrik, aerodinamik ve yağsız olma kriterlerini taşımalıdır (113).

Basınç odalarında gürültünün azaltılması çeşitli yollarla yapılabilir. Örneğin aşırı gürültü üreten hava besleme ve egzoz sistemindeki bileşenler daha sessiz bileşenlerle değiştirilebilir. Dağıtıcı veya reaktif susturucu modellerinden aerodinamik ve akustik kriterlerin aynı anda karşılanmasına olanak tanıyan geniş akış alanına sahip olanlar kullanılabilir. Günümüzde halen bazı merkezlerde insan kulağına zararlı etkileri olabileceği kanıtlanan düzeylerde gürültü meydana getiren basınç odaları kullanılmaktadır. Yüksek gürültü seviyelerinin azaltılması için gerekli önlemler alınmalıdır. Gürültüden korunmak için üç majör adım gereklidir: personel yüksek şiddetteki gürültünün tehlikeleri hakkında eğitilmeli, gürültü seviyeleri kabul edilebilir sınırları aştığında mümkün olduğunca koruyucu cihazların kullanılması ısrarla belirtilmeli ve üreticilerin basınç odası ve teçhizatlarını, gürültüye engel olacak şekilde güvenli ve rahat olan donanımlardan tercih etmeleri

sağlanmalıdır. Bu amaçla ülkemizde basınç odası üreten firmalara test aşamalarında, basınçlı ortamlarda doğru ses şiddetini ölçebilen elimizdeki cihazla ölçüm yapma teklifi iletilecektir.

## VI. SONUÇ

Bu çalışmada, basınç odalarının operasyonu esnasında meydana gelen gürültünün şiddeti ölçülerek, iç yardımcı ve hastaların işitmelerine olası zararlı etkileri araştırılmıştır. İstanbul'da 11 farklı merkezde ölçüm yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde çoğunluk itibariyle gürültü seviyesinin sınırların altında olduğu saptanmıştır. Birkaç merkezde ise yönetmeliklerde belirtilen üst sınırların üzerine çıktığı kaydedilmiştir.

US Navy TT6 veya 6A gibi uzun süreli tedavi tabloları uygulandığında, uzatmaların da olabileceği göz önünde bulundurularak meydana gelebilecek gürültü kaynaklı patolojileri minimuma indirmek gereklidir.

Basınç odalarında gürültü kaynakları farklı olup bunlar basınçlı ortamda doğru ölçüm yapabilen ses ölçer cihazıyla tespit edilmeli ve basınç odası üretimi esnasında gürültüyü en aza indirecek önlemler alınmalıdır. Basınç odalarında çalışan sağlık personelleri eğitilmeli ve gürültüden meydana gelebilecek hasarlar için önlem alınmalıdır.

## VII. KAYNAKLAR

1. Tekbaş ÖF, Vaizoğlu SA. Gürültü ve Sağlık, Tıbbi Dökümantasyon Merkezi, Toplum Sağlığı Dizisi. Ankara, 2000;s.28-35.
2. Resmi Gazete. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. 04.06.2010; Sayı: 27601.
3. Tekbaş ÖF. Çevre Sağlığı, GATA Basımevi. Ankara, 2010;s.17-25.
4. Güler Ç. Sağlık Boyutuyla Ergonomi, Palme Yayıncılık. Ankara, 2004;s.32-34.
5. Andrews GJA, Kornas B. Ergonomics, Fundamentals of senior pupils. Napier College, Collington Road, Edinburgh. 1982.
6. Moller AR. Hearing: Its Physiology and Pathophysiology. San Diego: Academic Press, 2000.
7. European Committee for Standardization, Pressure vessels for human occupancy (PVHO) - Multi-place pressure chamber systems for hyperbaric therapy - Performance, safety requirements and testing, EN 14931:June 2006;p.10-11.
8. Güler Ç. Ergonomiye Giriş, SSYB Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, Ankara, 1997.
9. Moller AR. Effects of the Physical Environment: Noise as a Health Hazard. in Maxcy-Rosenau-Last, Public Health & Preventive Medicine, (John M. Last, Robert B. Wallace, eds), Prentice Hall, New York, 15th edition, 2007; 755-62.
10. Reimers SD. "Test of Bendix Air Filters Used as Mufflers." Navy Experimental Diving Unit Letter Report, 1971;p.8-71.
11. Özgüven N. "Endüstriyel Gürültü Kontrolü", Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 1986;s.1-17, 37-42.
12. IEC 61672-1, Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2002.
13. IEC 61672-2, Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests, edition 1.0, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2003.
14. IEC 61672-3, Electroacoustics – Sound level meters – Part 3: Periodic tests, edition 1.0, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2006.
15. ISO 1996-2, Acoustics – Description, assessment and measurement of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels, International Standardization Organization, Geneva, 2007.

16. Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA Technical Report, No:11, European Environment Agency, 2010.
17. Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise), Official Journal of the European Union, 2003.
18. Flamme GA, Stephenson MR, Deiters K, Tatro A, VanGessel D, Geda K, et al. Typical noise exposure in daily life. *Int J Audiol* 2012;51 Suppl 1:S3-11.
19. Møller AR. "Occupational noise as a health hazard: Physiological viewpoints." *Scandinavian journal of work, environment & health*, 1977; p.73-79.
20. Dirican R, Bilgeler N. Toplum Hekimliği, 2. Baskı, Bursa, Halk Sağlığı Uludağ Ü. Basımevi, Uludağ Ü. Güçlendirme Vakfı Yayını, No. 70, 1993.
21. American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology, Committee on Conservation of Hearing, Guide for evaluation of Hearing Impairment, 1959.
22. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Guidelines for community noise. World Health Organisation, 1999.
23. <http://www.epa.gov/> online erişim
24. Kryter KD. "The effects of noise on man." by Academic Press, 1985;p.67-74.
25. Moller AR. Noise as Health Hazard in Last, J.M. Public Health and Human Ecology, Appleton-Lange, East Norvvalk, Conneticut, 1987.
26. Borg E, Møller AR. "Noise and blood pressure: effect of lifelong exposure in the rat." *Acta Physiologica Scandinavica* 103.3, 1978;p.340-42.
27. Borg E. Noise, Hearing and Hypertension, *Scand, Audiol* 10, 1981;p.125-26
28. Murry T. "Noise Levels Inside Navy Diving Chambers During Compression and Decompression." U.S. Naval Submarine Medical Center Report Number 643, 1970.
29. Jonsson A, Hansson L. Prolonged exposure to a stressful stimulus (noise) as a cause of raised blood pressure in man. *Lancet*, 1, 1977;p.86-7.
30. Borg E. Susceptibility of the sympatectomized ear to noise induced hearing loss. *Açta Physiol Scandb (Stockh)*. 114, 1982;p.387-91.
31. Borg E. Protective value of symphatectomy of the ear in noise. *Açta Physiol Scandb (Stockh)*. 115, 1982;p.281-82.
32. Moller AR. Hearing: anatomy, physiology, and disorders of the auditory system. Academic Press, 2006.



33. Axelsson A, Borg E, Hornstrand C. "Noise effects on the cochlear vasculature in normotensive and spontaneously hypertensive rats." *Acta oto-laryngologica* 96.3-4, 1983;p.215-25.
34. Welch BL, Welch AS. eds. *Physiological Effects of Noise*, Plenum Press, New-York, 1970.
35. La Dou J. *Occupational Medicine*, A, Lange Medical Book, appleton-Lange, Enlewoodcliffs, 1990.
36. Lindvall BE, Lindvall BI, Lindvall T. eds. *Community noise*. Center for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
37. Mazer SE. "Increase patient safety by creating a quieter hospital environment." *Biomedical instrumentation & technology/Association for the Advancement of Medical Instrumentation* 40.2, 2006;p.145.
38. McFarland, Kay M, Ramstetter V. *Exploring Living Environment*, McKnight Publishing Co. Bloomington, Illinois, 1977.
39. <http://www.ormansu.gov.tr/osb/Files/duyuru/anasayfaDuyurular/Sunu%205%20Prof.Dr.Sevtap%20Y%C4%B1lmaz%20Demirkale.pdf> online erişim.
40. Kurra S. Gürültü. In: *Türkiye'nin Çevre Sorunları*, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara 1991;s.447-84.
41. Simpson ME, Mackenzie J. *Noise Exposure Limits under Hyperbaric Conditions*. HSE Offshore Technology Report No. OTO 2000 074, 2000.
42. Robinson DW. *Noise exposure and hearing: a new look at the experimental data*. HMSO. 1987.
43. Howie R & Gardiner J. *Noise exposure limits for hyperbaric conditions*. HSE Offshore Technology Report No. OTO 98 020, 1998.
44. Molvaer Ol. *Hearing deterioration in Professional divers: an epidemiologic study*. Undersea Biomedical Research Vol.17, No 3. 1990.
45. Edmonds C. *Hearing loss with frequent diving*. Undersea Biomedical Research Vol. 12, No 1. 1985.
46. Kirkland PC, Pence EA, Dobie RA, Yantis PA. *Underwater noise and hearing conservation of divers: a review*. Technical report APL-UW TR8930, Applied Physics Laboratory, Seattle, Washington. 1989.
47. Cudahy E, Avila H. *A retrospective study of diver hearing*. Undersea & Hyperbaric Medicine Vol. 25, Supplement. 1998.

48. Zanninni D, Odaglia G, Sperati G. Auditory changes in Professional divers. Underwater Physiology. Profceedings of the fifth symposium on underwater physiology, ed. Lambertsen CJ. Vol. V. 1976.
49. Robertson DH, Simpson ME. Noise Exposure under Hyperbaric Conditions. HSE Offshore Technology Report No. OTO 95 009, 1995.
50. Edwards I. Measurements of Blowdown Noise under Hyperbaric Conditions. HSE Offshore Technology Report No. OTO 98 026, 1998.
51. Şenocak M. Şehirsel Bölgede Rastlanan Günlük Gürültü Farklılaşmalarının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul 1980.
52. Velicangil S. Koruyucu Hekimlik ve Sosyal Tıp, Filiz Kitabevi, İstanbul 1987.
53. Ramazzini B. De morbis artificum Bernardini Ramazzini diatriba. No. 7. University of Chicago Press, 1940. Republished by: New York: The Classics of Medicine Library, Division of Gryphon Editions, Special edition; 1983.
54. Franco G. "Ramazzini and workers' health." Lancet 4.354, 1999;p.858-61.
55. Vehid, S. İş yeri gürültüsünün kan basıncı üzerine etkisi, Doktora Tezi, İstanbul 1995.
56. Toprak R. Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültünün ölçülmesi ve modellenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2003.
57. Şahin E. Endüstriyel gürültü kontrolüyle üretimin zaman ve miktar performansına ergonomik bir yaklaşım, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1995;s.112.
58. Karabiber Z. "Gürültü-İnsan Etkileşimi". Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu Bildirileri, I. Cilt, İstanbul, 1991;s.457-69.
59. Altaş E. et al. "Endüstriyel Gürültü ve İşitme Kaybı." Journal of Inonu University Medical Faculty 5.2, 3, 2010;p.133-37.
60. Roozbahani M, Mohammadi P, Shalkouhi N, Shalkouhi P. "Risk assessment of workers exposed to noise pollution in a textile plant." International journal of Environmental Science and Technology 6(4), 2009;p.591-6.
61. Ryherd EE, Wayne KP, Ljungkvist L. "Characterizing noise and perceived work environment in a neurological intensive care unit." The Journal of the Acoustical Society of America 123, 2008;p.747.
62. Çimşit M. Hiperbarik Tedavinin Tarihçesi. In: Hiperbarik Tıp 1. Basım. Ankara, Eflatun Yayınevi, Çimşit M. Editor, 2009;s.13-22.

63. Hammarlund C. The Physiologic Effects of Hyperbaric Oxygenation. In: Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company, HT Kindwall EP and Whelan, Editor, 2002;s.37-68.
64. Kemer A, Muth C, Mathieu D. Patient Management. Handbook on Hyperbaric Medicine, Nederlands, Springer 2006;p.651–70.
65. Çimşit M. Hiperbarik Tedavinin Tarihçesi. In: Hiperbarik Tıp 1. Basım. Ankara, Eflatun Yayınevi, Çimşit M. Editor, 2009;s.1-12.
66. Kindwall EP. A history of hyperbaric medicine. In: Hyperbaric Medicine Practice. Best Publishing Co. Kinwall E. Editor, 1995.
67. Jain K K. History Of Hyperbaric Medicine. In: Textbook Of Hyperbaric Medicine 3rd ed. Seattle, Toronto, Bern, Göttingen, Hogrefe&Huber Publishers, Jain K K, Editor, 1999;p.2-10.
68. Edmonds C, Lowry C, Pennefather J. Hyperbaric oxygen therapy. In: Diving and Subaquatic Medicine, A diving medical centre publ. Australia, 1980;p.93-505.
69. Faesecke KP. Arbeit in Überdruck. In: Die Forschungsarbeiten von Arthur und Adele Bornstein beim Bau des ersten Hamburger-Elbtunnels 1909-1910. Dissertation Universität Hamburg (Med. Diss. Hamburg), 1997.
70. Smith G. Carbon monoxide poisoning. Annals of the New York Academy of Sciences 117 (2), 1964;p.684–87.
71. Boerema I, Meyne NG, Brummelkamp WH, Bouma S, Mensch MH, Kamermans F. Et all. Life without blood. Ned Tijdschr Geneesk 1960; 104;p.949-54.
72. Kindwall EP. Chapter 1, A History of Hyperbaric Medicine. Kindwall EP and Whelan HT (editors): Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company 1999;p.1-32.
73. Kindwall EP. The Physics of Diving and Hyperbaric Pressures. In: Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition, USA, Best Publishing Company, Kindwall EP ve HT Whelan, Editors, 2002;p.21-36.
74. Jain K K. Physical, Physiological, and Biochemical Aspects of Hyperbaric Oxygenation. In: Textbook Of Hyperbaric Medicine 3th Edition, Seattle, Toronto, Bern, Göttingen, Hogrefe & Huber Publishers, Jain K K, Editor, 1999;p.9-20.
75. Mader JT. Hyperbaric oxygen therapy: A committee report, in Undersea and Hyperbaric Medical Society, Maryland USA. 1989.

- 76.** Bergo GW, Tyssebotn I. Cardiovascular effects of hyperbaric oxygen with and without addition of carbon dioxide. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80(4), 1999;p.264-75.
- 77.** Çimşit M. Diyabetik Ayak İnfeksiyonu Olan Hastada Hiperbarik Oksijen Tedavisi. In: 9. Ulusal İç Hastalıkları Sempozyumu, Antalya. Program ve Özet Kitabı, 2007;s.76.
- 78.** Park M. Effects of Hyperbaric Oxygen in Infectious Diseases: Basic Mechanisms. In: *Hyperbaric Medicine Practice 2nd Revised Edition*, USA, Best Publishing Company, Kindwall EP ve Whelan HT, Editors, 2002;p.205-44.
- 79.** Çimşit M. Kronik yaralarda hiperbarik oksijen tedavisi ve diğer yardımcı tedaviler. In: 2. Ulusal Yara Bakım Kongresi. İstanbul Özet Kitabı, 2007;s.12.
- 80.** Conway PK, Harding GK. Wound Healing in the Diabetic Foot. In: *The Diabetic Foot 7th Edition*, Philadelphia, Mosby Elsevier, Bowker HJ. Ve Am. Pfeifer, Editors, 2008;p.319-28.
- 81.** Sheffield PJ. Tissue oxygen measurements with respect to soft tissue wound healing with normobaric and hyperbaric oxygen. *HBO Review* 1985; 1:p.18-43.
- 82.** Silver IA. Physiology of wound healing. In: *Wound healing and wound infection: theory and surgical practice*, Hunt TK(ed). Appleton-century-crofts, New York 1980;p.11-31.
- 83.** Tunalı G. Deneysel diyabet oluşturulmuş sıçanlarda yara iyileşmesinde hiperbarik oksijen ve prp(platelet rich plasma) etkilerinin histolojik ve ince yapı araştırması. İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakütesi, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, 2007;s.28
- 84.** Weaver LK. Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS), *Hyperbaric Oxygen Therapy Indications*, 13th Edition. . Weaver LK (chair and editor) North Palm Beach, FL, USA Best Publishing Company, 2014.
- 85.** Resmi Gazete. Hiperbarik oksijen tedavisi uygulanan özel sağlık merkezleri hakkında yönetmelik: 01.08.2001; Sayı: 24480.
- 86.** Orioni G. Acute Indications of HBO Therapy, Final Report. In: *The First European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine*, The ECHM Collection, Volume 1. Best Publishing Company, Flagstaff, AZ USA. 2005;p.49-58.
- 87.** ECHM. Consensus Development Conference. In: *The tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine*, Lille, 2016.

88. Kindwall EP. Contradictions and Side Effects to Hyperbaric Oxygen Treatment. In: Hyperbaric Medicine Practice 2nd revised ed. USA, Best Publishing Company, Kindwall EP ve HT Whelan, Editors, 2002;p.84-96.
89. Palmquist BM, Philipson B, Barr PO. Nuclear cataract and myopia during hyperbaric oxygen therapy. *Br J Ophthalmol* 1984; 68(2):p.113-7.
90. Jain K K. Indications, Contraindications, and Complications of Hyperbaric Oxygen Therapy. In: Textbook of Hyperbaric Medicine 3rd ed. Seattle, Toronto, Bern, Göttingen, Hogrefe&Huber Publishers, Jain K K, Editor, 1999;p.105-8.
91. Lester J, Gomez V. Observations made in the caisson of the New East River Bridge as to effects of compressed air upon the human ear. *Arch Otolaryngol* (1), 1898;p.27.
92. Brady JI Jr, Summitt JK, Berghage TE. An audiometric survey of Navy divers. *Undersea Biomed Res.* 3(1): 1976;p.41-7.
93. Armstrong HG, Heim JW. The effect of flight on the middle ear. *JAMA.* 109(6): 1937;p.417-21.
94. Dishoeck. HAE. Tension and resistance of eustachian tube. *Arch Otolaryngol* 34: 1941;p.596.
95. Behnke AR. Physiologic effect of pressure changes with reference to otolaryngology. *Trans Amer Acad Ophthal Otolaryngol* 49: 1944;p.63-71.
96. Kos CM. Barometric pressure changes. *Trans Am Ac Ophthalmol Otolaryngol* 49: 1986;p.75.
97. Adolfson J, Fluor E. Hearing discrimination in hyperbaric air. *Aerosp Med.* 38(2): 1967;p.174-5.
98. Fitzpatrick DT, Franck BA, Mason KT, et al: Risk factors for symptomatic otic and sinüs barotrauma in a multiplace hyperbaric chamber. *Undersea Hyperb Med* 26: 1999;p.243–47.
99. Choiniere, Denise B. “the effects of hospital noise.” *Nursing administration quarterly* 34.4: 2010;p.327-33
100. Babisch, Wolfgang, and Kamp Iv. “Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension.” *Noise and Health* 11.44: 2009;p.161
101. Cruickshanks KJ, Wiley TL. “Prevalence of hearing loss in older adults in Beaver Dam”, Wisconsin 1998.

102. Dobie RA. "The Burdens of Age-related and Occupational Noise-Induced Hearing Loss in the United States", *DOBIE / EAR & HEARING*, VOL. 29, NO. 4, 2008; p.565–77.
103. Rabinowith PM. The public health significance of noise-induced hearing loss. In: Le Prell CG, Henderson D, Fay RR, Pooper AN, eds. *Noise-Induced Loss Scientific Advances*. New York: Springer; 2012;p.13-25.
104. Tak S, Davis RR, Calvert GM. Exposure to hazardous workplace noise and use of hearing protection devices among US workers—NHANES, 1999–2004. *American Journal of Industrial Medicine*, 52(5), 2009;p.358–71.
105. Thomas M. Noise during a Dive to 100 ft J. *Acoust Soc Am* 51(4): 1972;p.1362-4.
106. Summitt JK, Reimers SD. Noise: a hazard to divers and hyperbaric chamber personnel. *Aerosp Med*. 42(11): 1971;p.1173-7.
107. Arve L. "Occupational noise exposure and hearing: a systematic review" *Int Arch Occup Environ Health* 89: 2016;p.351–72.
108. Anthony TG. "Review of diver noise exposure" *International Journal of the Society for Underwater Technology*, Vol 29, No 1: 2010;p.21-39.
109. Mendel LL, Knafelc ME and Cudahy EA. Hearing function in a hyperbaric environment. *Undersea and Hyperbaric Medicine* 27(2): 2000;p.91-105.
110. Nedwell JR, Parvin SJ. Noise and hearing loss in divers. *Underwater Technology* Vol.20 No.4, 1995.
111. Molvaer I, Gjestland T, Hatlestad S. Noise levels in a living chamber during a 19-day saturation dive to 300 msw. *Norwegian Underwater Institute NUI Report No. 9/81*: 1981.
112. Harvey CA. "Noise Levels in a Hyperbaric Chamber at 41.4 PSI and Associated Hearing Threshold Changes." Report prepared for Qualification as Submarine Medical Officer: 1971.
113. Mulholland LJ. *Suppression of Hyperbaric Chamber Noise*. Library Naval Postgraduate School Monterey, Calif 93940, 1973.

### **VIII. ÖZGEÇMİŞ VE İLETİŞİM BİLGİLERİ**

1989 yılında Denizli’de doğdum. İlköğretimin ilk 5 yılını Merkezefendi İlköğretim Okulu’nda, son 3 yılını da Zaferiye Abalıoğlu İlköğretim Okulu’nda tamamlayarak 2003 te mezun oldum. 2007 de İzmir Fen Lisesi’nden mezun oldum. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi’nden mezun oldum. Şubat 2014’te İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı’nda Tıpta Uzmanlık Öğrencisi olarak çalışmaya başladım. Halen aynı bölümde görevime devam etmekteyim.

e-posta: taylanzaman@gmail.com