

# Ses Dalgaları

Dr. Cahit Karakuş

2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Giriş</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>2. SES DALGALARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ</b>           | <b>4</b>  |
| 2.1. Sesin Temel Özellikleri                              | 6         |
| 2.2. Ses Dalgalarının Yayınımı:                           | 8         |
| 2.3. Akustik                                              | 9         |
| 2.4. Ses dalgaları ile beyin sürekli etkileşim halindedir | 11        |
| <b>3. SES DALGALARINI TANIMLAYAN PARAMETRELER</b>         | <b>13</b> |
| <b>4. ULTRASONİK SES DALGALARI</b>                        | <b>20</b> |
| <b>5. DOPPLER ETKİSİ</b>                                  | <b>21</b> |
| 5.1. Doppler Radarı                                       | 25        |
| <b>6. SONAR</b>                                           | <b>26</b> |
| 6.1. Sonar Kullanım Alanları                              | 28        |
| <b>7. PIEZOELEKTRİK</b>                                   | <b>29</b> |
| <b>8. TERSİNMiŞ SES DALGALARI</b>                         | <b>30</b> |
| 8.1. Malzemeler Stres ve Gerilime Nasıl Yanıt Verir       | 31        |
| 8.2. Akıllı Malzemeler Veya Tasarımlı Malzemeler          | 33        |
| <b>9. KAYNAKLAR</b>                                       | <b>35</b> |

# 1. Giriş

Ses, insan deneyiminin temel bir parçasıdır. Yeryüzündeki varlığımızın tarihi sessiz bir yer değildir.

Ses ruhani bir fenomendir, tarihsel kayıtlarda ve hafızalarda yer edinme eğilimindedir.

Fotoğraflar ve çizimler bir binanın veya sahnenin görsel etkisini koruyabilirken, duygusal bir anın, bir tarihin, bir şehirdeki pazar yerinin ya da bir mekanın ses etkisini belgelemek daha karmaşıktır.

Ses, bir yerde olmanın ne olduğunun bilinmesini sağlar. Gözleriniz kapalıyken, bir odanın küçük mü yoksa yüksek ve büyük mü olduğunu ses dalgaları ile hemen anlayabilirsiniz.

Ses dalgaları yayılmak için maddesel bir ortama ihtiyaç duyarlar. Havanın olmadığı vakum edilmiş ortamda yani boşlukta ses yayılmaz. Su kaynıyormuş gibi fokurdar, fakat kaynamaz; ortamın sıcaklığı artmaz. Boşlukta ses duyulmaz.

Bazen ses dalgalarını duymasanız bile hissedersiniz, hatta transa bile geçebilirsiniz. Unutmayın koku parçacık yayınıdır.

Marcus Vitruvius Pollio (d. MÖ 80-70, ö. MÖ 15 sonra), Romalı yazar, mimar ve mühendis. Vitruvius'e göre ses,

- Dokunma ile algılanan, akan bir nefes havadır.
- Durgun suya bir taş atıldığı zaman oluşan ve dar sınırlarla durdurulmadıkça veya bitimlerine kadar yayılmalarını önleyen bir engel bulunmadıkça merkezden sonsuza değin yayılmayı sürdüren dalgalar gibi bitmeyen sayıda daireler halinde hareket eder.
- İlk dalgalar, engellerle karşılaştıkları zaman, geriye akarak onları izleyen dalgaları kırarlar. Ses, içiçe daireler halinde hareket eder; ancak, su örneğindeki gibi dalgalar düz bir yüzeyde yatay olarak seyrederken, ses yalnızca yatay değil, dikey olarak da düzenli aralıklarla yükselir.
- Bu nedenle, suda oluşan dalgalar örneği ses için de geçerlidir. İlk dalga onu kesecek bir engel olmadığı zaman, ikinci veya onun ardındaki dalgaları kırmadığı için, tümü de yankılanmadan (tiyatroda) en alttaki ve en üstteki seyircilerin kulağına ulaşırlar.

Sesin Fiziksel Doğasını, Belirleyen Formülasyonlar:

- Ses dalgalarının yayılımının ışık dalgaları ve su dalgalarının yayılımına benzediği antik dünyada fark edilmiştir. Bilinen fiziksel kanunlardan biri de, bir aynaya gelen ışık ışınların, geldikleri açıya eşit açıda yansımasıdır.
- Samoslu Pisagor ve onun ustası Miletuslu Thales (yaklaşık MÖ 640-546), antik kültürde, matematiğin öncüleri olmuşlardır. Ses biliminin temelleri, Pisagor (yaklaşık M.Ö. 570-497) tarafından yapılan müzik ve titreşen tel çalışmalarıyla atılmıştır.
- Aristoteles (MÖ 384-322), "Sesin kaynağından ileriye doğru hareketi, havanın hareketi gibidir, ses, değişmez kalitede, zayıflayarak bozulana dek ulaşabileceği uzaklığa seyahat eder" şeklinde özetlemiştir.
- Archytas (MÖ 428 – 347), sesin her zaman bir cismin bir diğerine vurmasıyla üretildiğini belirtmiştir.
- Boethius: "Ses, bir taşın sakin suya düşmesindeki gibi yayılır. Aynı şekilde, hava molekülleri titreştiğinde, bitişindeki molekülleri iter ve hareket halindeki hava, dairesel dalgalar meydana getirerek yayılır. Bunun sonucunda etraftaki kişiler için duyma eş zamanlı olarak meydana gelir."
- Bu çalışmalar, sesin oluşması ve yayılmasının fiziksel mekanizmasının yalın bir tanımı olarak günümüzde de hizmet etmektedir.

## 2. SES DALGALARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Dalgalar genel olarak, mekanik ve elektromanyetik dalgalar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Elektromanyetik dalgalar, yayılmak için bir ortama ihtiyaç duymazlar ve boşlukta da yayılabilirler. Mekanik dalgalar ise, enerjilerini aktarabilmek için ortam taneciklerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden boşlukta (örneğin uzayda) yayılamazlar. Ses dalgaları da mekanik dalgalar olduklarından yayılmak için maddesel bir ortama ihtiyaç duyarlar. Boşlukta (Vakum edilmiş ortamda; havanın olmadığı ortam) su kaynıyormuş gibi fokurdar, fakat kaynamaz; sıcaklığı artmaz. Boşluk ses duyulmaz. Zil çalsa bile işitilmez.

Ses, nesnelerin titreşiminden meydana gelen ve uygun bir ortam içerisinde (hava, su vb.) bir yerden başka bir yere, sıkışma (compressions) ve genleşmeler (rarefactions) şeklinde ilerleyen bir dalgadır. Dolayısıyla ses, bir basınç dalgasıdır. Bir cismin sabit bir nokta etrafında yaptığı ileri – geri gidip gelme hareketine titreşim hareketi denir. Ses kaynakları aldığı çeşitli enerjiler sayesinde titreşim hareketi yapar ve sahip olduğu enerjiyi bulunduğu ortamdaki taneciklere aktararak taneciklerin kinetik enerji kazanmasını sağlar. Kinetik enerji kazanan tanecikler etrafındaki diğer taneciklere çarparak diğer tanecikleri de titreştirir. Sesin yayıldığı ortamdaki taneciklerin titreşim enerjilerini birbirlerine aktarması sonucu ses dalgaları oluşur ve ses dalgaları kinetik enerjinin taşınmasını sağlar.

Ses dalgaları su dalgalarına benzer fakat su dalgaları gibi görünen dairesel dalgalar şeklinde değil, görünmeyen küresel dalgalar şeklinde yayılır. (Tribündeki seyircilerin dalga hareketine benzer). Ses, ses kaynaklarının titreşim hareketi sonucu oluşur ve ses dalgaları halinde yayılır. Ses dalgalarının frekans, genlik ve periyod gibi özellikleri vardır.

Çevremizde insanlar, hayvanlar, taşıtlar, müzik aletleri, şelale, rüzgâr, yağmur ses çıkaran varlıklardır. Kendiliğinden ses çıkaran varlıklara doğal ses kaynakları denir. Ses kaynaklarının ses çıkarabilmesi için titreşim gerekir. Müzik aletlerinde bunu çok net görebiliriz. İnsanların ses çıkarması da titreşimle olur. Gırtlığımızda bulunan ses telleri akciğerlerimizde bulunan hava ile titreşerek ses çıkmasını sağlar.

Ses haberleşmesinde temel kriterler; tanıma, anlama, hissetme ve gecikme olarak sıralanır.

Yoğunluğu=  $10^{-12}$  ile  $10 \text{ Watt/m}^2$ ,

Basıncı=  $2 \times 10^{-5}$  ile  $60 \text{ Newton/m}^2$  =  $2 \times 10^{-10}$  ile  $0.0006$  atmosferdir.

Sesin yayılma hızı sıcaklık ile hızı değişir.

$V_{\text{ses}} (\text{m/san}) = 331.29 + 0.607 \times t^{\circ}$ . (t °C dir.)

#### Sesin fiziksel özellikleri:

- Ses, bir ortam içerisinde sıkışma ve genleşmeler şeklinde ilerleyen mekanik ya da basınç dalgasıdır.
- Dalgalar titreşerek yayılım yaparlar.
- Frekans yayılan bir dalga'nın bir saniyedeki periyodik titreşim sayısıdır.
- İnsan kulağı, nominal olarak 20 Hz ile 20.000 Hz (20 kHz) frekansları arasındaki sesleri duyar.
- Ses dalgaları 4'e ayrılır:
- 30Hz ve altı, ses ötesi (Infrasound),
- 20 - 20 000Hz arası, işitilebilir ses,
- 20KHz'den 15MHz'e kadar olan, ultrases (Ultrasound – Ultrasonik) . Ultrasonik ses, günlük hayatta pek çok teknolojilerde kullanılmaktadır. Algınlabilir olması yönünde çalışmalar bulunmaktadır.
- 15MHz'den yukarı olan, hiperses(Hypersound) ses dalgalarıdır.
- Duymada üst frekans sınırı yaşla azalma eğilimindedir; yetişkinlerin çoğu 12 kHz'in üzerinde duyamaz.
- 4 ila 16 Hz arasındaki tonlar vücudun dokunma duyusuyla algılanabilir. Müzik tonu olarak tanımlanan en düşük frekans 12Hz'dir.
- 300Hz altı frekanslardaki ses dalgaları ise kemik ve dokular tarafından da algılanabilmektedir.
- 110 Hz'deki ses dalgaları beyinde baskın olarak duygusal kaymalara neden olmaktadır.

## 2.1. Sesin Temel Özellikleri

Sesler var olma özellikleri açısından yayılım yaparken zayıflar ve yok olurlar. Yani bir süre sonra bu sesi yeniden duyabilmek imkânsız hale gelir. Ama taşıdıkları enerji açısından yok olmazlar. Ses dalgaları, havayı sıkıştırıp genişleterek yayıldığından, beraberinde bir miktar enerji de taşırlar. ***Ses dalgası yayıldıkça, taşıdıkları enerjinin bir kısmı ortamın ısınmasına neden olacak şekilde "dalgadan ayrılır" (Bu olay bildiğimiz sürtünmeye benzer).*** Bunun dışında, ses dalgaları yayıldıkça, gittikçe kaynaktan uzaklaştığı için genliği (yani sesin yüksekliği) azalır. Bir süre sonra, hem genliğin azalmasından hem de sürtünme kayıplarından dolayı ses o kadar zayıflar ki, artık ortamdaki moleküllerin neden oldukları rastgele sıkışma-genleşme olaylarından fark edilemez duruma gelirler. Bu aşamada dalganın taşıdığı enerji hala ortamda bulunuyor, ama ortada ses olarak algılayabileceğimiz herhangi bir sinyal kalmıyor.

Bilinmesi gerekenler; sesin yayılması için maddesel ortama ihtiyaç vardır. Boşlukta ses yayılmaz. Ses dalgalar halinde yayılır. Ses kaynağından çıkan ses maddenin taneciklerini titreştirir. Rüzgâr sesi uzaklara taşır, gece ve gündüzün sıcaklık farkları ses dalgalarını etkiler. Ses dalgaları katılarda yaklaşık olarak 5000 m/s hızla yayılır. Suda 1453 m/s hızla yol alır. Havada 340 m/s yol alır. Ses kaynakları iki'ye ayrılır bunlar doğal ses kaynakları ve yapay ses kaynaklarıdır.

| Madde Adı | Yayılma Hızı (m/s) |
|-----------|--------------------|
| Hava      | 340                |
| Su        | 1500               |
| Tahta     | 4700               |
| Demir     | 5100               |
| Boşluk    | yayılmaz           |

### Material Speed of Sound

Kauçuk 60 m/s  
Hava 40°C 355 m/s  
Hava 20°C 343 m/s  
Kurşun 1210 m/s  
Altın 3240 m/s  
Cam 4540 m/s  
Bakır 4600 m/s  
Alüminyum 6320 m/s

### **Dalga boyu**

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 1 Hz.de     | 344.00 m            |
| 100 Hz.de   | 3.44 m              |
| 10000 Hz.de | 0.0344 m (3.44 cm); |

Ses, havada yayıldığı gibi sıvılarda da yayılır. Denizde yaşayan bazı canlılar bu sayede iletişim kurarlar. Fakat ses boşlukta yayılmaz. Örneğin: uzaydaki büyük patlamalarda ses duyulmaz. Sesin hızı, ortamın sıcaklığından etkilenir. Sıcaklık arttıkça sesin hızı da artar. Sıcaklık artışı moleküllerin titreşim hızlarını artırır, dolayısıyla sesin yayılma hızının artmasına sebep olur.

Herhangi bir alanda, rüzgâr arkadan eserse ses zemine doğru yönelir. Rüzgâr önden eserse, ses zeminden yukarı doğru yönelir. Gündüz, zemin ısındığı için ses dalgaları ısı etkisi nedeniyle yukarı doğru yönelir. Gece, zemin soğuduğu için ses dalgaları daha uzağa gidecektir ve aşağıya doğru yönelir. Denizde suyun yapısı yansıtıcı bir yüzey oluşturmaktadır. Bu nedenle denizde ses sakin bir ortamda 4-5 km. kadar uzağa gidebilir.

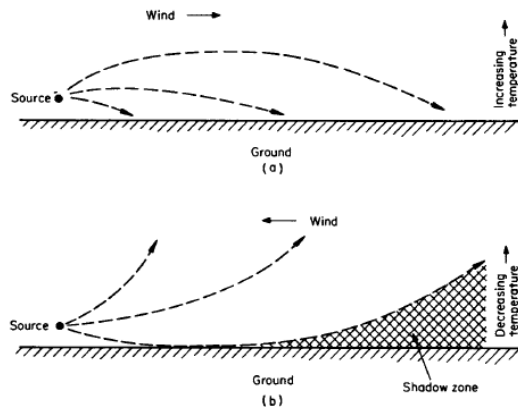


Figure 1.2.6 The refraction of sound by wind and by temperature gradients: (a) downwind or in a temperature inversion, (b) upwind or in a temperature lapse. (From [1]. Used with permission.)

Hareketli ses kaynağının hızı, sesin yayılma hızını geçince, ses, patlama sesi olarak duyulur. Bu durumda dalga ışın gibi konik bir alana yayılır ve şok dalgaları olarak isimlendirilir. Böyle durumlarda sesin yayılma hızının kaynağın yayılma hızına oranına Mach sayısı denir. Ses hızını ilk geçen insan Chuck Yeager olmuştur.

Sesin saklanması en büyük problem, sesin neden olduğu hareketin, mikroskopik harekete, yani ısıya dönüşmesidir. Bir odada konuştuğunuzda, moleküllere verdiğiniz hareket, bir süre sonra odanın ısınmasına neden olacaktır. Yani enerji (kütle) korunuyor, ama hareketin niteliği de değişiyor.

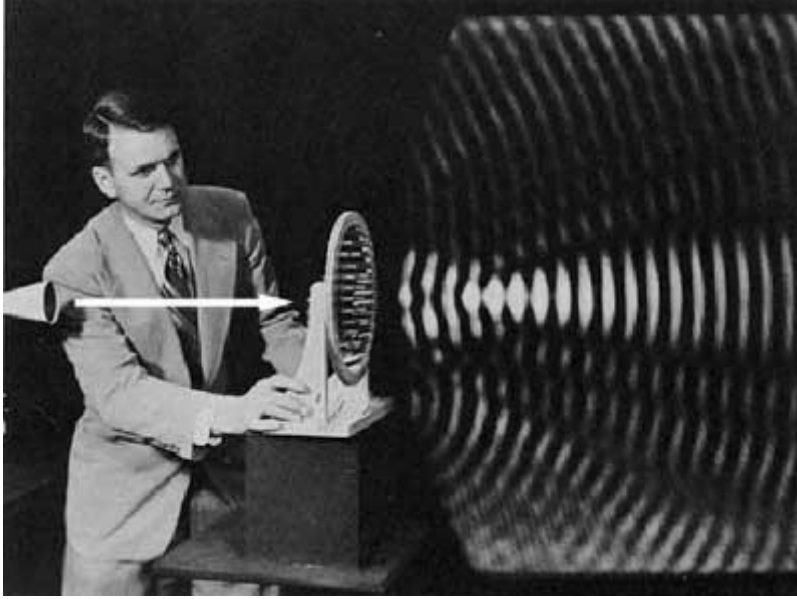
Ses dalgaları 4'e ayrılır;

- Ses ötesi (Infrasound); 20 - 30 hertz ve altındaki ses dalgalarıdır.
- İşitilebilir ses; 20-20 000 hertz arasında olan ses dalgalarıdır.
- Ultra ses (Ultrasound); 20KHz (20.000 hertz) den 15MHz'e kadar olan ses dalgalarıdır.
- Hiperses(Hypersound): frekansları 15MHz'den yukarı olan ses dalgalarıdır.

Saniyedeki titreşim sayısı 20.000 den fazla olan ses titreşimlerine ultrasonik (ses üstü) ses denir. Ultrasonik ses, günlük hayatta ve teknolojiye kullanılır. Ultrasonik ses insan kulağı tarafından duyulamaz. Kapalı mekânlarda yankı oluşumunun engellenmesi için sesi yalıtan

yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır. Sesin yansıma özelliğinden yararlanılarak maden yataklarının yeri belirlenebilir, deprem fayları belirlenebilir, deniz derinliği ölçülebilir. Ses dalgaları kullanarak sudaki cisimlerin yerini ve derinliğini ayrıca denizlerin derinliklerini ölçmek için kullanılan cihaza sonar denir. Sonar cihazı ses dalgalarını gönderir ve ses dalgaları engele çarpıp yansiyarak tekrar cihaza ulaşır. Ses dalgalarının gönderildikten sonra tekrar geri gelmesi süresi hesaplanarak uzaklık ölçülebilir.

## 2.2. Ses Dalgalarının Yayınımı:



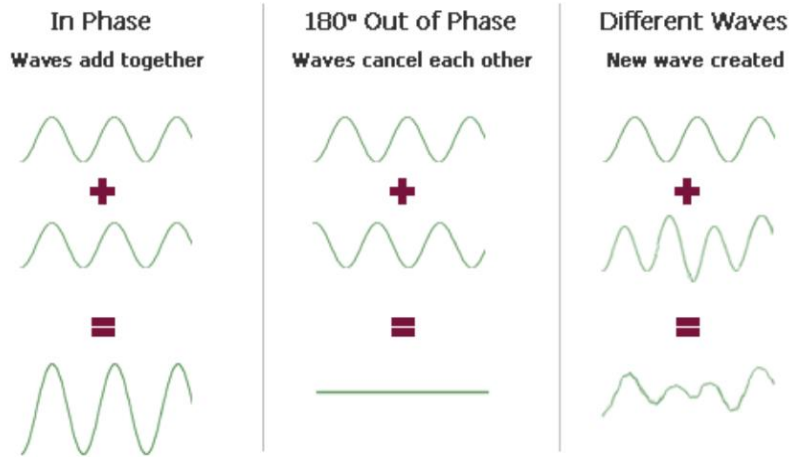
1960 tarihli bu fotoğrafta, özel bir ses merceği ve özel bir görüntüleme yöntemi kullanılarak, sol tarafta görülen kornadan çıkan ses dalgalarının görüntüsü elde edilebilmiştir (Bell Telephone Laboratory).

- Ses dalgaları, havada ve deniz seviyesinde, 20° C sıcaklıkta 340 m/s hızla yayılır. Ses kaynağının arkasından esen rüzgar, sesi uzaklara taşır. Ses dalgaları çelik malzemesinde yaklaşık olarak 5000 m/s hızla yayılır. Suda 1453 m/s hızla yol alır. Sıcaklık yükseldikçe ses hızı artar.
- Ses dalgası kılavuzlu katı ortamlarda kırılıarak veya bükülerek ilerler ve yayılma hızı artar.
- Sesin şiddeti, uzaklığın ve frekans olarak adlandırılan titreşim sıklığının karesi oranında azalır.
- Ses dalgalarının bir ortamda karşılaşması deniz dalgalarınınkine çok benzer. Bu nedenle ses dalgalarının soğurulması ya da kuvvetlenmesi karşılaştıkları ortamların yapısına bağlıdır.



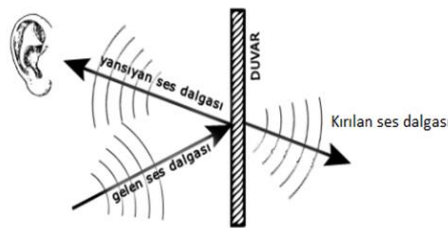
Ses dalgaları yayılırken karşılaştıkları yüzeylerde bir mekanik ya da basınç kuvveti oluşturabilmektedir. 1880’de Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından keşfedilen kristal yapılı piezoelektrik malzemelere ses dalgası gönderildiğinde mekanik kuvvet uygulanma etkisiyle elektrik akımı ürettiği keşfedilmiştir. Kuvars piezoelektrik bir taştır. Piezoelektrik kristaller ve seramikler; mekanik titreşimleri elektrik sinyaline, elektrik sinyalini mekanik titreşimlere dönüştürürler.

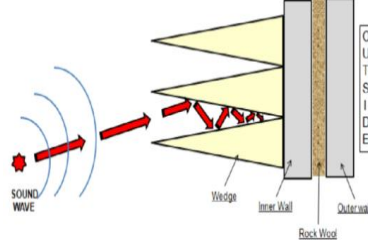
Ses dalgaları yayılırken karşılaştıkları yüzeylerden yansır, bükülür, kırılır, zayıflar, kuvvetlenir, soğurlar.



## 2.3. Akustik

Sesin iletilmesi, net duyulması, yansıması, soğurulması, gürültünün içinde kaybolması ve yankılanması ile ilgilenen ses bilimine akustik denir. Ses dalgaları yayılırken karşılaştıkları yüzeylerin özelliğine bağlı olarak yüzeye ile etkileşimi sonucunda soğurulur (yok edilir), yansır, iletilir hatta kuvvetlenir. Karşılaştığı yüzeyler tarafından emilmesine (tutulmasına) sesin soğurulması denir. Bir yüzeye çarptığında doğrultusunu ve yönünü değiştirebilir, bu olaya sesin yansıması denir. Yansıyıp geri gelen ses dalgalarına eko denir. Sesin farklı ortamlara geçişini ya da yayılımını engellemek için emici özelliğe sahip malzemeler ile yapılan uygulamalara ses yalıtımı denir. Bir iç ortamdaki akustik, sesin yüzeylerden nasıl yansıdığı ile ilgilidir.





#### Ses İletim Ortamlarının Fiziksel Özellikleri:

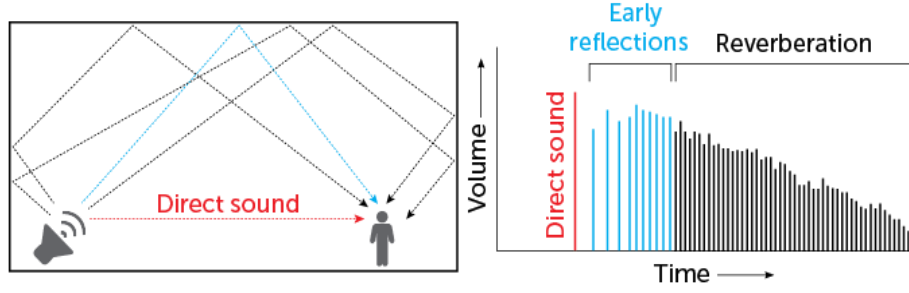
- Soğurma
- Yansıma
- Girişim
- Kırılma
- Kırınım
- Polarizasyon
- Dağılım
- Rezonans
- Yer değiştirme
- Difüzyon

Örneğin, ellerinizi çırdığınızda, hava molekülleri titreşimleri bir dalga halinde hareket ettirerek basınçta değişikliklere neden olur. Bu dalgalardan bazıları doğrudan kulağınıza gelir ve bu da anında hafızanıza bir ses kaydeder. Ancak diğerleri, oda içinde duvar, zemin veya nesne gibi bir yüzeye ulaşana kadar her yöne hareket eder. Ses dalgaları o yüzeylerden yansıyabilir ve daha sonra kulağınıza ulaşabilir.

Sesin yayıldığı kaynak sustuğu andan itibaren devam eden sesin yankılanması süresine reverberasyon olarak adlandırılmaktadır.

Bir ortamın yankılanma süresi, başlangıçtaki yüksek sesin artık duyulamayacak kadar sessiz hale gelmesi için geçen saniye sayısıdır. Spesifik olarak, bir sesin 60 desibel azalmasının ne kadar sürdüğünün bir tahminidir. Tipik bir oturma odası yarım saniyelik bir yankılanma süresine ve bir konser salonu iki saniyelik bir yankılanma süresine sahip olabilirken, mabetlerin yankılanma süreleri beş saniyeyi aşabilir.

İlk ses doğrudan dalgalardır (kırmızı), ardından hızla bir yüzeyden yansıyan dalgalar gelir (mavi). Birden çok kez yansıyan dalgalar ise yankılanma oluşturur (siyah); şiddetleri zamanla yavaş yavaş ölür (altta).



Tek bir yansıtıcı yüzeyi olan bir yerden, yansıyan dalgalar bir yankı, orijinal sesin gecikmeli bir tekrarını üretir. Mabetlerde yankılanma kuraldır. Yankılanma ile hızlı geri dönen binlerce yansıyan ses dalgaları meydana gelir ve birkaç saniye içinde yavaş yavaş sessizleşir. Mermer ve kireçtaşı gibi ses dalgalarını yansıtma ve yankılanmayı artırma eğiliminde olan malzemeler mabetlerde yaygındır. Buna karşılık, halılar, perdeler ve hatta odadaki insanlar gibi ses dalgalarını emen yüzeylere de sahiptir. Daha büyük alanlarda, ses dalgalarının yüzeyler arasında seyahat etmesi daha uzun sürdüğü için sesin kalıcılığını da artırır. Uzun yankılanma süreleriyle, hızlı hareket eden müzik veya konuşmalar, notalar ve kelimeler birbirlerinin üst üste binerler. Yıllar içerisinde mabetlerdeki uzun yankılanmalar nedeniyle müzik mekana uyacak şekilde gelişmeye başlamıştır. Org müziği veya dini ilahiler için akustik yansımali koşullar gerçekten iyidir, böylece bu tür müzikler bu binalar için tasarlanmıştır.

## 2.4. Ses dalgaları ile beyin sürekli etkileşim halindedir

Ses, insan deneyiminin temel bir parçasıdır. Duyduğumuz ya da hissederek ürperdiğimiz **ses dalgaları ile beynimiz sürekli etkileşim halindedir. Özellikle, birbirimize meramımızı anlatırken konuştuğumuz sesin tonu ve şiddetinde kendini bulan anlatımlar,**

- Mabetlerde, meydanlarda, müzik salonlarında **ruhani ve etkileşimli duygusal dinletiler**
- Siren, zil ve korna sesleri ile **uyarılar**
- Anons sistemlerden **bilgilendirmeler**
- Kahinler ve büyücülerin sisler alemindeki görsel ve kokusallar ile birlikte gerçekleştirdikleri **etkileşimli ses efektleri** duygusallıkta inanılmaz etkiler bırakmaktadır.
- Miting meydanlarıda, düşük ve orta frekans ses titreşimleri ile kalabalık ürpertilerek duygusallıklara oynanır.
- Performans mekanlarında düşük ve orta frekans ses titreşimleri ile **kalabalık ürpertilerek belli bir duygusallık seviyelerine erişmeleri sağlanır.**

Şamanın kullandığı davulun sesi ile beyin dalgaları arasında bir uyum olduğu ve okunan dua ile beyine komutlar gönderildiği gözlenmiştir. Günümüzde bu olaya “**Nörolingüistik Programlama**” denilmektedir.

### **Beynin Ürettiği Sinyaller:**

Beynin ürettiği sinyaller ile insanları uzaktan belirli davranışlara yönlendirmek mümkün mü? Elektro Beyin Grafiği, MRI cihazları ve bilgisayar tabanlı görüntü işleme sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak beyin haritası çıkarılabilmekte, beynin hastalıklı çalışan alanları bu şekilde görüntülenmektedir. Vücut sistemini yöneten ve bu sistemler arasında işbirliğini sağlayan beyin, tüm zihinsel faaliyetlere, düşüncelere, duygulara ve hareketlere özgü sinyaller üretmektedir. Beyin kontrol ettiği organlar, elektriksel işaretler ile çalışan bir karmaşık bir elektronik devre olarak düşünülebilir. Bu elektriksel sinyallerin frekanslarının 3Hz ile 30 hertz arasındaki değiştiği belirlenmiştir. Bu sinyallere beynin parmak izi denmekte ve kişiden kişiye değişim göstermektedir. Beynin ürettiği sinyaller kaydedilerek, beynin fonksiyonel olarak görüntülenmesinin yapılabileceği, kişinin uzaktan takip edilebileceği ve hatta yönetileceği de ileri sürülmektedir. Bu frekanslar;

1. Derin uyku sırasında 1-3Hz Delta dalgaları,
2. Yorgunluk veya hafif uyku sırasında 5-7 hertz Teta dalgaları,
3. Alarm veya herhangi bir uyarılma sırasında 8-12 hertz Alfa dalgaları,
4. Çok meşgul olduğumuzda 14-30 hertz Beta dalgaları,
5. 10 hertz civarı ise normal işler yaparken yayılan dalgalar olarak gruplanmaktadır.

İnsanın öfke, acı, endişe, küçümseme, ümitsizlik, dehşet, sıkıntı, kıskançlık, korku, uyku, terör gibi durumlarda yayınım frekansları farklıdır ve kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Yayınım frekansları kişiden kişiye değişiklik gösteriyor ise aynı frekanslarda üretilen sinyaller uzaktan beyne yöneltirirse, insanda aynı duygular oluşturulabilir mi? Bu konuya ışık tutması bakımından kâhin, şaman, hipnozcu ve medyumların müşterilerinin beyinlerini nasıl yönlendirebildiği önemlidir. Araştırmalar sonucunda şamanın, kullandığı davul sesinin yaydığı dalgalar ile tedavi edilen kişinin beyin dalgaları arasında bir uyum oluşturduğu ve bu sırada dua okuyarak onun beynine istediği emirleri yerleştirdiği gözlenmiştir.

### 3. SES DALGALARINI TANIMLAYAN PARAMETRELER

Ses Dalgalarını Tanımlayan Parametreler:

- Frekans
- Genlik
- Dalga boyu
- Şiddet
- Sesin kalitesi (Timbre of Sound) – Ton, Tın ve Harmonikler
- Ses kaynakları
- Ses dalgaları ortamlarda kırılma, yansıma ve girişim gibi özellikler gösterirler.
- Ses dalgaları girişimle birbirini kuvvetlendirip, zayıflatırlar.
- Daha düşük frekanslardaki ses dalgaları, daha yüksek frekanslı ses dalgalarına göre mesafe boyunca daha az zayıflar.

Şimdi, ses dalgalarının genel özelliklerini kısa başlıklar altında inceleyelim:

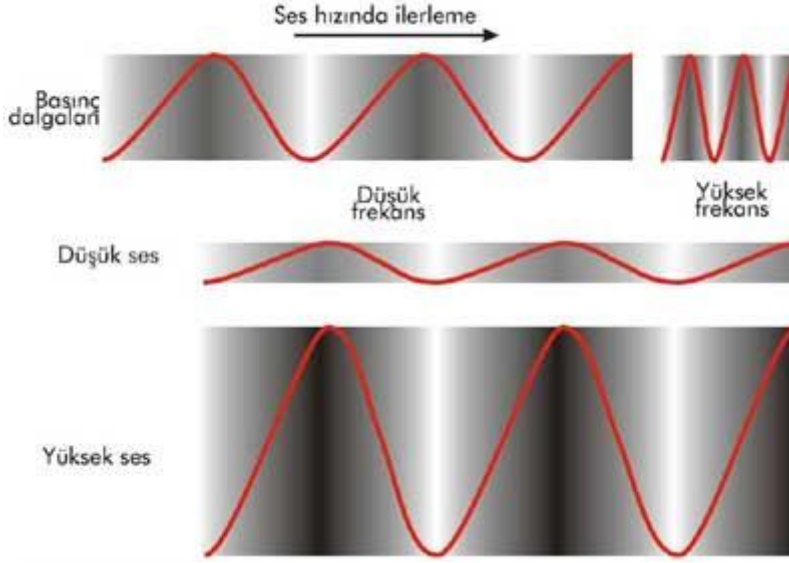
**Frekans (sıklık):** Bir dalganın frekansı, dalganın hava veya başka bir ortam içinden geçerken ortamdaki partiküllerin ne sıklıkta titreştiğine bağlıdır. Frekans ileri geri titreşimlerin zamana bağlı olarak ölçülmesi ile hesaplanır. Saniyedeki titreşim sayısı özel olarak Hertz birimi ile ifade edilir (1 Hertz = 1 döngü/saniye).

Yüksek frekans değerleri için Hertz'in bin katı olan 'kilohertz' (kHz) birimi kullanılır. İnsan kulağının duyabildiği sesler 20 ile 20000 Hz (20kHz) arasında frekansa sahip olabilir. Eğer bir frekans 20 Hz'in altında ise bu tür titreşimlere 'ses altı' titreşimler, frekans 20 kHz' in üzerinde ise bunlara da 'ses üstü' titreşimler denilmektedir.

**Genlik (amplitüd):** Genlik, ses dalgalarının dikey büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Ses dalgalarını oluşturan sıkışma ve genleşmeler arasındaki fark, dalgaların genliğini belirler.

Ses dalgaları havada veya başka bir ortamda titreşen objeler tarafından üretilir. Örneğin titreştirilen bir gitar teli, yaptığı periyodik salınım hareketi ile, hava moleküllerinin belli bir frekansta sıkışmasını ve genleşmesini sağlar. Bu şekilde teldeki enerji havaya iletilmiş olur. Enerjinin miktarı, teldeki titreşim genliğine bağlıdır. Eğer tele fazla enerji yüklenirse, tel daha büyük bir genlikle titreşir. Teldeki titreşim genliği ne kadar fazla ise ortam tanecikleri (örneğin hava molekülleri) tarafından taşınan enerji de o kadar fazladır. Enerji ne kadar fazla ise sesin şiddeti de o kadar büyük olacaktır. Bu ifadeler, titreşen tüm cisimler için geçerlidir.

**Dalga boyu:** Bir dalganın ardışık iki tepe veya iki çukur noktası arasındaki mesafe bize dalga boyunu verir. Dalga boyu ( $\lambda$ ) ile gösterilir.



Bir basınç dalgası olan sesin grafiksel gösterimi. Grafiklerde koyu renkli bölgeler sıkışmaları, açık renkli bölgeler ise genleşmeleri simgelemektedir. Eğriler ise bu sıkışma ve genleşmelerin iki boyutlu grafiksel temsilleridir. Dikkat edilirse, sıkışma miktarı arttıkça (yüksek seste olduğu gibi) sesin şiddeti de artmaktadır.

### Ses Şiddeti

Ses dalgalarının bir santimetrekarelik yüzeydeki güçlerine denir. Birimi watt/cm<sup>2</sup>dir. Ses şiddeti, dalganın frekansına ve dalga genliğinin karesine bağlıdır. Şiddet sebebiyle ses kuvvetli veya zayıf olarak duyulur. İnsan kulağı 1016 watt/cm<sup>2</sup> ile 10<sup>-4</sup> watt/cm<sup>2</sup> şiddet değerleri arasındaki sesleri duyabilir. Duyma şiddeti desibel birimiyle bilinir. Duyulan ses şiddeti alt limite giderken, duyma şiddeti de sıfır desibele gider. Duyulan ses şiddeti üst limite giderken, duyma şiddeti 120 desibele gider. Yani duyma şiddeti, duyulan sesin şiddetinin logaritması ile orantılıdır. Normal insan sesinin duyma şiddeti 70 desibel civarındadır. Kulak zarı en güçsüz sesi işitirken akıllara durgunluk verecek kadar küçük bir genlikle titreşmektedir. Bu ise kulağın ne kadar hassas yaratıldığını göstermektedir. Ses şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır, düşer.

**Ses Şiddeti (volümü):** Ses dalgasının ses yayılma doğrultusuna dik bir düzlem içindeki 1 cm<sup>2</sup> yüzeye 1 saniyede verdiği ses enerjisidir. Başka bir deyişle, ses dalgasının 1 m<sup>2</sup>'lik kesitindeki ses gücüdür. Birimi watt'tır. İki büyüklük arasındaki farktır. Birimi desibel'dir. İnsan kulağının sezebileceği asgari ses şiddeti 1 dB'dir.

Ses şiddeti seviyesi: IL (Intensity Level)

Ses basınç seviyesi: SPL (Sound Pressure Level)

(Ses şiddeti seviyesi [AU1] [AU2] ses basınç seviyesinden 0.1 dB daha küçüktür. Pratikte SPL = IL alınabilir.)

Ses Basıncı: P Her ses dalgası bir P basınç değeriyle nitelendirilmektedir. Birimi 'Bar' dır. Bu basınç, atmosferik basınçtan farklı olarak, uzayda ses dalgası tarafından oluşturulmaktadır. Ses basıncı ile ses şiddeti arasında karesel bir bağ vardır. Ses basıncı iki, üç, dört misli arttırılırsa, ses şiddeti sırayla dört, dokuz, onaltı misli artacaktır.

**Sesin Şiddeti ve Desibel Ölçeği:** Şiddet, ses dalgalarının taşıdıkları enerjiye bağlı olarak birim alan uyguladıkları kuvvettir. Birimi genellikle 'metrekare başına Watt' (W/m<sup>2</sup>) olarak ifade edilir. Sesin şiddeti, ses kaynağına olan uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

**Desibel (dB):** İnsan kulağı çok düşük ve çok yüksek şiddette sesleri duyabilme yeteneğine sahiptir. İnsan kulağının algılayabileceği en düşük ses şiddeti, 'eşik şiddet' olarak bilinir. Kulağa zarar vermeden işitilebilen en yüksek sesin şiddeti ise, eşik şiddetinin yaklaşık 1 milyon katı kadardır. İnsan kulağının şiddet algı aralığı bu kadar geniş olduğundan, şiddet ölçümü için kullanılan ölçek de 10'un katları, yani logaritmik olarak düzenlenmiştir. Biz buna 'desibel ölçeği' adını vermekteyiz. Sıfır desibel mutlak sessizliği değil; işitilemeyecek kadar düşük ses şiddetini (ortalama  $1.10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>) gösterir.

Desibel, bir oranı veya göreceli bir değeri gösterir ve 'bel' biriminin 10 katıdır. Alexander Graham Bell' in anısına bel adı verilen birim, iki farklı büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Yani '1 bel', birbirlerine oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir (örneğin 200/20). Bu oranın çok büyük olmasından dolayı "Desibel" adı verilen ve oranların logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından, Desibel; söz konusu bir büyüklüğün (Pi) referans büyüklüğe (Pref) oranının logaritmasının 10 katıdır ( $dB=10 \cdot \log [Pi/Pref]$ ).

| Kaynak                    | Şiddet                         | dB  | Eşik değer katları |
|---------------------------|--------------------------------|-----|--------------------|
| Eşik şiddeti              | $1.10^{-12}$ W/m <sup>2</sup>  | 0   | $10^0$             |
| Yaprak hışırtısı          | $1.10^{-11}$ W/m <sup>2</sup>  | 10  | $10^1$             |
| Fısıltı                   | $1.10^{-10}$ W/m <sup>2</sup>  | 20  | $10^2$             |
| Normal konuşma            | $1.10^{-6}$ W/m <sup>2</sup>   | 60  | $10^6$             |
| Caddedeki yoğun trafik    | $1.10^{-5}$ W/m <sup>2</sup>   | 70  | $10^7$             |
| Elektrik süpürgesi        | $1.10^{-4}$ W/m <sup>2</sup>   | 80  | $10^8$             |
| Büyük orkestra            | $6,3.10^{-3}$ W/m <sup>2</sup> | 98  | $10^{9.8}$         |
| Walkmenin en yüksek sesi  | $1.10^{-2}$ W/m <sup>2</sup>   | 100 | $10^{10}$          |
| Rock konserinin ön sırası | $1.10^{-1}$ W/m <sup>2</sup>   | 110 | $10^{11}$          |
| Jet uçağının kalkışı      | $1.10^2$ W/m <sup>2</sup>      | 140 | $10^{14}$          |
| Kulak zarı hasarı         | $1.10^4$ W/m <sup>2</sup>      | 160 | $10^{16}$          |

dBA ise insan kulağının en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekansların özellikle vurgulandığı bir ses değerlendirmesi birimidir. Gürültü azaltması veya kontrolünde çok kullanılan dBA birimi, ses yüksekliğinin sübjektif değerlendirmesi ile ilişkili bir kavramdır.

Eşik şiddetindeki ses 'sıfır' desibeldir ve  $1.10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> değerine eşdeğerdir. 10 kat daha şiddetli ses  $1.10^{-11}$  W/m<sup>2</sup>; yani 10 dB iken, 100 kat daha şiddetli ses 20 dB'dir. Aşağıdaki tabloda, günlük hayatta sıklıkla karşılaştığımız bazı ses kaynakları ve bunların ürettiği seslerin desibel olarak şiddetleri karşılaştırma amacıyla verilmiştir.

Ses dalgaları enerjilerini 3 boyutlu ortamda taşıırken, kaynaktan uzaklaştıkça ses dalgalarının şiddeti azalır. Artan uzaklıkla birlikte ses dalgalarının şiddetinin azalması ses dalgalarındaki enerjinin daha geniş alanlara yayılmasından kaynaklanır. Ses dalgaları 2 boyutlu bir ortamda dairesel olarak yayılır. Enerji korunduğu için enerjinin yayıldığı alan arttıkça güç azalmalıdır. Şiddet ve uzaklık arasındaki ilişki ters-kare ilişkisidir. Bu yüzden kaynağa olan uzaklık 2 katına çıktığında şiddet  $\frac{1}{4}$  'üne düşer. Benzer şekilde kaynağa olan uzaklık  $\frac{1}{4}$  'üne düştüğünde şiddet 16 katına çıkar. Uzaklık arttıkça sesin şiddeti, uzaklığın karesi oranında azaltır. Aşağıdaki tabloda şiddet ve uzaklık arasındaki ilişki gösterilmiştir:

| Uzaklık | Şiddet     |
|---------|------------|
| 1m      | 160 birim  |
| 2m      | 40 birim   |
| 3m      | 17.8 birim |
| 4m      | 10 birim   |

#### **Ses Basınç Seviyesi:(Akustik Güç Seviyesi):**

Ses basınç seviyesi simgesi SPL'dir. Birimi dB'dir. Pratikte ses şiddeti seviyesiyle aynı değerde kabul edilir.

Ses kaynağının yaydığı ses gücüne “akustik güç” denir. Birimi Watt'tır. W ya da P simgesiyle gösterilir. Normal basınç ve sıcaklıkta akustik güç seviyesi, ses basınç seviyesinden yaklaşık 0.5 dB daha küçüktür. Pratikte akustik güç seviyesi ses basınç seviyesine, ses basınç seviyesi ses şiddeti seviyesine eşit alınabilir.

#### **Sesin Yüksekliği**

Sesin frekansıdır. İnsan kulağı frekansı yaklaşık 20 ile 20.000 Hz. olan sesleri işitebilir. Sesin frekansına bağlı olarak yüksekliği târif edilir. İnce seslerin frekansları büyük, kalın seslerin ise frekansları küçük değerlerdedir. Frekansları, 20'den küçük olan seslere “İnfrasonik”, 20.000'den büyük olanlara ise “Ultrasonik” denir. Sesin frekansı kaynağın hareketine bağlı olarak kayma gösterir. (Bkz. Doppler Olayı)

#### **Sesin Kalitesi (Timbre of Sound) – Tını ve Harmonikler**

Tını ve harmonikler: Ses kaynakları, genellikle ana ses denilen (en kalın) sesle birlikte, frekansları ana sesin frekansının tam katları olan tâli sesler çıkarırlar. Bu tâli seslere ana sesin harmonikleri denir. Bu sesler etrâfa ana sesle birleşmiş olarak yayılırlar. Tını, bir sesin kulağa tesiridir. Farklı kaynaklardan çıkan sesler aynı yükseklik ve şiddette olsalar da tınıları farklıdır.

**Ses kaynakları:** Gerilmiş teller, metal levhalar veya deri, insan boğazında olduğu gibi etten ses telleri ve kararlı dalga meydana getirebilecek şekilde oyulmuş hava boruları ses kaynaklarıdır.



Bu kaynaklar titreştiğinde etraflarında bulunan hava moleküllerini de titreştirirler. Gerilmiş deri, mesel  davulun verdiği seste büyük frekanslı sesler ana sesin harmonikleri değildir.

**Ton:** Müzikte, diatonik (doğal majör) gamda bir ‘tam aralık’ olarak tanımlanan ton, belli bir frekansta ve perdede üretilen saf ses anlamında kullanılır. Örneğin bir ses çatalı (diyapozon) titreştirildiğinde ortaya çıkan 440 Hz frekansındaki ‘Do (C)’ notası, saf bir tondur. Saf tonlar doğal ortamda fazla karşılaşılmayan ve genellikle müzik aletleri veya ses  rete leri aracılığıyla üretilen seslerdir. Yüksek frekanslı (yüksek perdeden) sesler tiz, düşük frekanslı (düşük perdeden) sesler pes (bas) olarak algılanır.

**Tını:** Sesin ‘rengini’ ifade eden bir terimdir. Aynı oktavda, aynı notayı (tonu) aynı yoğunlukta ve aynı uzunlukta çalan bir kemanla bir flüt arasındaki temel fark, ‘tını farkı’dır. Enstrümanları oluşturan bileşenlerin doğal frekanslarındaki farklılıklar, sonuçta oluşan sesin farklı bir tınıda olmasını sağlar. Bu sayede, farklı müzik aletlerinden çıkan özdeş notaları kolaylıkla ayır edebiliriz. Tını, sesin harmonik yapısına bağlı olarak değişir.

**Ses dalgaları da kırılma, yansıma ve girişim özelliklerini gösterirler.** Kırılma olayı ortam değişikliğiyle olur. Havanın sıcaklık, yoğunluk durumuna göre sesin yayılma hızı değişir. Soğuk havada ses hızı azalır. Ses sıcak havadan soğuk havaya geçerken yayılma doğrultusunu değiştirir. Yayılan ses dalgaları duvar, kayalık gibi sert düz yüzeylere çarpınca doğrultularını değiştirirler. Bu olay yansımadır. Yansıma olayında sesin özellikleri değişmez. Yansımış dalgalar tekrar geriye dönerse ikinci bir ses meydana gelir. Bu sese yankı denir. Yankı ilk sestten yaklaşık 0,1 sn’den daha az bir zamanda gelirse kulak bu sesi, ikinci sesin devamı gibi işitir, buna çınlama denir. İlk ses ile yankı arasındaki zaman farkından yansıtıcı engelin uzaklığı hesap edilebilir. Gemicilikte deniz derinlikleri bu yolla ölçülmektedir. Yarasalar da etraflarındaki engelleri ses dalgaları ile fark ederler.

**Yansıtıcı yüzeylerde aynı zamanda yutulma da olur.** Yutulma veya yansıma maksada göre yüzeyin yapısındaki değişiklikle ayarlanabilir. Camilerde, konferans salonlarında bu işle ilgili hesaplamalar yapılır. Mantar kumaş gibi gözenekli yüzeylerde yutulma fazla olmaktadır. (Bkz. Akustik)

**Ses dalgaları girişimle birbirini kuvvetlendirip, zayıflatabilirler.** Girişim yapan dalgalar arasındaki yol farkının, dalga boyunun yarısına eşit olması şartını sağlayan yerlerde yok edici girişim olur, böyle yerlerde ses işitilmez.

**Vuru (Batman) olayı:** Genlikleri hemen hemen eşit ve frekansları biraz farklı olan iki kaynağın verdiği ses dalgalarının üst üste binmesi neticesinde, frekansı iki frekansın farkına eşit olan ses yükselmeleri meydana gelmesidir. Vuru olayında ses periyodik olarak azalıp, çoğalır.

**Şok dalgaları:** Hareketli ses kaynağının hızı, sesin yayılma hızını geçince, ses, patlama sesi olarak duyulur. Bu durumda dalga ışın gibi konik bir alana yayılır ve şok dalgaları olarak isimlendirilir. Böyle durumlarda sesin yayılma hızının kaynağın yayılma hızına oranına Mach sayısı denir.

### **Sesin Akustik Şekli**

Her enstrümanın harmonik yapısıyla uyumlu halde çalışan bir akustik şekli vardır. Bir dalganın şekli, hassasiyet değişiminin meydana getirdiği maksimum genlik noktaları birleştirilerek oluşturulur. 4 bölümden meydana gelir;

- Çıkış (Attack): Ses dalgasının oluşumunun başladığı ve en yüksek seviyeye ulaştığı zaman dilimidir.
- Düşüş Noktası (Decay): Attack sonrası ses seviyesinin düşüş evresidir.
- Uzama (Sustain): Sesin belli bir hassasiyet derecesinde havada ki varlığını sürdürdüğü evredir.
- Sönme (Release): Ses dalgasının sonlama evresidir.

### **Sesin gürlüğü:**

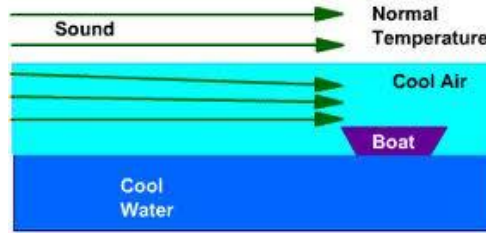
Bu kavram sesin fizyolojik şiddetini tanımlar. Sesler gürlük İnsan kulağı en az 30 mikro-saniyelik zaman farkıyla gelen iki sesi birbirinden ayırt edebilme yetisine sahiptir. Bir başka deyişle, vasat bir kulağa sahip olan bir insan, iki kulağına gelen seslerin zaman farkını yüz binde üç saniye kadar bir değer içinde fark edebilmekte ve bu sayede de, kendisine ulaşan sesin kaynağının uzaklığını kabaca da olsa belirleyebilmektedir.

Kulağın sahip olduğu bir başka özellik ise "seçici algılama"dır.

Ses dalgaları ortak bir noktada buluştuğunda, ortaya çıkan etki, dalgaların birbirleriyle nasıl örtüştüğüne bağlı olarak daha fazla veya daha az gürültülü olabilir. Örtüşme bölgelerindeki enerjinin yeniden dağıtılması, sesin karışmasına neden olur. Bir yönde üretilen ses dalgaları diğer yönlerden duyulabilir. Duvarın diğer tarafındaki bir kişinin sesi duyulabilir ancak kişi görülemez. Sesin köşelerde bükülmesine kırınım denir. Polarizasyon, yalnızca enine dalganın sergileyebileceği bir olgudur ve bu nedenle, uzunlamasına ses dalgaları polarizasyon sergilemez. Daha düşük frekanslardaki ses dalgaları, daha yüksek frekanslı ses dalgalarına göre mesafe boyunca daha az zayıflar.

Tek bir yönde gelen ses yakın kulağa uzaktan kulaktan yaklaşık 1 / 500 saniye önce ulaşacaktır. Beyin bu zaman farkını ayırt edebilmektedir. Uzaklık deneyimle kazanılır.

Bir ses dalgası iki tabaka arasına girdiğinde sanki bir borudan ilerliyormuş gibi, engel tanımaksızın çok uzaklara ulaşabilir. Sound seems to be amplified when it travels over water. The reason is that the water cools the air above its surface, which then slows down the sound waves near the surface. This causes a refraction or bending of the sound wave, such that more sound reaches the boat passenger.



Ses dalgaları hangi tür yüzeylerden en iyi şekilde yansır? Çelik

#### İletim ve ortam Fiziksel özellikler:

- Soğurma
- Yansıma
- Girişim
- Kırılma
- Kırınım
- Polarizasyon
- Dağılım
- Rezonans
- Yer değiştirme
- Difüzyon

Ses dalgaları yansıma, kırılma, girişim ve kırınım geçirebilir. Ancak polarizasyon geçiremezler. Sesin yansıması yankılar şeklinde çevrede belirgindir. Gök gürültüsünün yuvarlanması büyük ölçüde bulutlardan ve kara yüzeylerinden gelen ardışık yansımalarla kaynaklanır. Bir dalga'nın herhangi bir yüzeyden gözle görülür şekilde yansıması için, yüzey alanı üzerine düşen dalgaların dalga boyuna kıyasla oldukça büyük olmalıdır. Sonuç olarak, ses dalgalarının tam yansıması için daha büyük yüzeyler gerekir. Ses dalgaları ışık dalgalarından daha büyük olduğundan, yansıtıcı yüzeyin pürüzsüz olmasını gerektirmez. Bu nedenle, bir tuğla duvar, bir tahta levha ve bir sıra ağaç ses dalgalarının yansıtıcısı olarak işlev görür. Ultrasonik Ses darbelerinin suda yansıması 'Sonar' ilkesidir.

Ses dalgalarının atmosferde kırılması, ses dalgaları değişen hava yoğunluğuna sahip bölgelerden geçtiğinde meydana gelir. Bir gazın yoğunluğu, sıcaklığıyla ters orantılıdır. Bu nedenle, havada bir

Sıcaklık değişimi varsa, ses dalgaları katman sınırlarından geçerken kırılır. Dağılım, sıradan ses dalgaları için ihmal edilebilir bir öneme sahiptir. Işık dalgaları (havada) gibi, ses dalgalarının hızı frekanstan bağımsızdır. Ses ayrıca tam iç yansımaya da uğrayabilir.

Soru: Belirli bir dalga boyuyla gelen ses dalgalarının karşısına aynı dalga boyunda, ses dalgaları gönderirsek o sesi kısar mıyız? Aslında bir ortamda bulunan sesler nasıl kısılır? Konu hakkında çalışırken öncelikle ses yutucu ve emici malzemeleri ve tekniğini iyi araştırılması gerekmektedir. Ses boşlukta yayılmaz. Akustik dalga olarak alırsak ortamlarda (hava, malzeme) yayılır. İkinci aşamada bu ortamları iyi araştırılması gerekmektedir. Üçüncü aşamada ise ses dalgalarının yayılımı elektromanyetik dalga yayılımı ile anlatılır. İlerlediği yol boyunca zayıflama ve girişimde bulunma, yansıma, kırılma ve saçılma özelliklerini araştırılması gerekir. Bir sonraki aşamada ise sesin malzemede ya da ortamda yaptığı tahribat, değişim ve titreşimler ile şiddeti arasında ilişkiyi araştırılması gerekmektedir. Sonuç olarak bu çalışmalar tamamlandıktan sonra iki ses dalgası hangi ortamlarda hangi şiddette ve hangi yönde karşılaşırse kuvvetlenir ya da söner görülmüş olur...

#### 4. ULTRASONİK SES DALGALARI

Saniyedeki titreşim sayısı 20.000 den fazla olan ses titreşimlerine ultrasonik (ses üstü) ses denir. Ultrasonik ses, günlük hayatta ve teknolojiye kullanılır. Ultrasonik ses insan kulağı tarafından duyulamaz.

- Ultrasonik sesler, bazı hayvanlar tarafından (kedi, köpek, yunus) duyulabilir. Bu hayvanların eğitiminde ultrasonik ses çıkartan düdükler kullanılır.
- Ultrasonik seslerin yan etkisi bulunmadığı için hamile bayanların bazı hastalıklarının teşhis ve tedavisinde kullanılır. (Kalp problemi, tümör, böbrek taşı, safra kesesi taşı tespitinde ve böbrek ve safra taşlarının kırılmasında kullanılır).
- Ultrasonik ses, titreşim sayısı fazla olduğu için duyulabilen sese göre 100 bin kat daha fazla enerjiye sahiptir. Bu sesler duyulabilen seslere göre daha kolay yönlendirilir ve bu nedenle de teknolojiye kullanılır. (Borunun kalınlığı veya çatlak olup olmadığı kontrol edilebilir).
- Ultrasonik ses, dezenfekte işlemi için kullanılır. (Gözlük ve takıların temizlenmesi için kullanılır).
- Heterojen karışımların karıştırılması için kullanılır.
- Beton blokların delinmesi için kullanılır.
- Katı maddelere şekil vermek için kullanılır.
- Anne filin çıkardığı ultrasonik ses, yavru filleri bulmak için, erkek filin çıkardığı ultrasonik ses diğer filleri uzaklaştırmak için kullanılır.
- Karanlık ortamlarda uçabilen yarasalar ultrasonik sesler çıkartarak bu seslerin yansıması sonucu yönlerini bulurlar veya avlanırlar.
- Ultrason cihazı, ultrasonik sesin üretilmesi prensibine göre çalışır. Ultrason cihazı sayesinde iç organlara ultrasonik sesler gönderilir ve bu ses dalgaları iç organlara tarafından yansıtılarak bilgisayarlar sayesinde görüntü halinde ekrana düşürülür.

*Ultra ses dalgaları ile insanları uzaktan belirli davranışlara yönlendirmek mümkün mü?*

Ultra ses, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı akustik bir dalgadır. Ultra ses üretiminde piezoelektrik olaylardan yararlanılır. Piezoelektrik, üzerine mekanik bir basınç

uygulandığında bazı kristal ve seramik malzemelerin elektriksel gerilim oluşturmalarıdır. Aynı malzemelere elektriksel işaret uygulandığında ise genişleyip daralarak titreşir ve ultra ses dalgaları oluşturur. Günümüzde ultra ses ile çalışan sistemler;

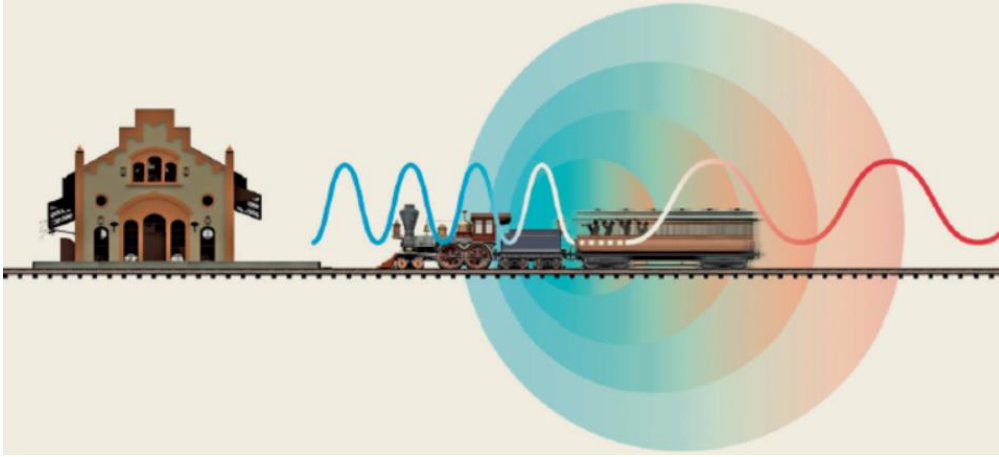
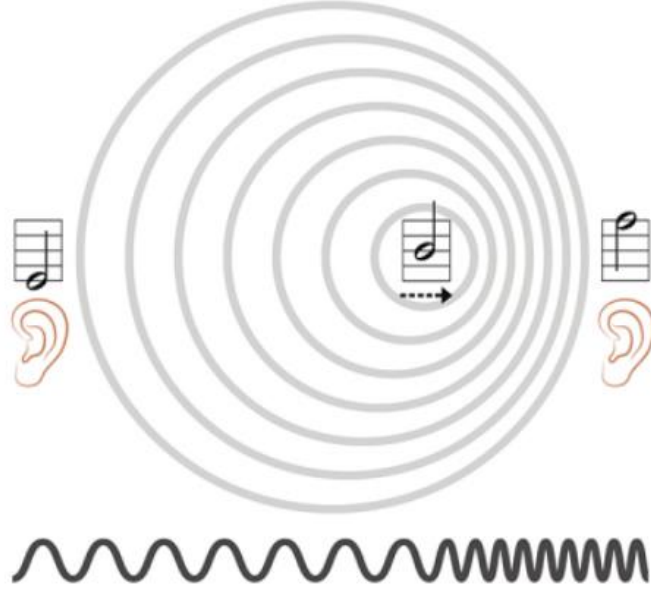
1. Kemirici hayvanların uzaklaştırılmasında,
2. Derinlik ölçümlerinde, sonar ve radar olarak hedef tayinlerinde,
3. Metal ve plastik kaynak yapımında,
4. Diğer tanı sistemlerine göre yumuşak dokuları da görüntülenmesinde
5. İyonize edici etkisinin olmayışı gibi özellikleri nedeniyle görüntülemeye,
6. Fizyoterapi uygulamalarında,
7. Cerrahide,
8. Hipertermi etkisi ile kanserli hücrelerin yok edilmesinde,
9. Kemiklerin kaynamasında, Dişçilikte oyuk açımında, Gözde katarakt tedavisinde, Böbrek taşlarının parçalanmasında, Kan akımının ölçülmesi gibi tedavi amaçlı kullanılmaktadır.

İşitilebilen ses dalgaları, ultra ses dalgalarına dönüştürüldükten sonra insanlara yönlendirildiğinde onların hipnoz edebildiği, bu yöntemle hipnoz edilen insanlarda ani ateş, ağrı, uykusuzluk ya da aniden uykuya dalma etkileri gözlemlendiği ve hatta hipnoz edilen insanların bazı komutları emir olarak algıladıkları da ileri sürülmektedir.

## 5. DOPPLER ETKİSİ

Adını 1842 yılında Avusturyalı fizikçi Christian Doppler'den alan Doppler etkisi (veya Doppler kayması), dalgaların kaynağına göre hareket eden bir gözlemci için gözlenen frekans ile yayılan frekans arasındaki farktır. Genellikle siren çalan bir araç gözlemciye yaklaşırken, geçerken ve uzaklaşırken duyulur. Yaklaşma sırasında alınan frekans (yayılan frekansa kıyasla) daha yüksektir, geçme anında aynıdır ve uzaklaşma sırasında daha düşüktür. Frekanstaki bu değişim, dalga kaynağının gözlemciye göre hareket ettiği yöne de bağlıdır; kaynak gözlemciye doğru veya ondan uzağa doğru hareket ettiğinde maksimumdur ve hareket yönü ile dalgaların yönü arasındaki açı arttıkça azalır, kaynak gözlemciye dik açıyla hareket edene kadar kayma olmaz.

Hareketli hedeflerden geri dönen sinyalin frekansı, sabit hedeflerden geri dönen sinyalin frekansına göre farklılık gösterir. Vericinin ürettiği darbeli dalga örneğin herhangi bir cisme çarptığında, zamana bağımlı elektrik ve magnetik alanlarla eş zamanlı bir moleküler titreşim yaratır. Eğer cisim hareketsiz ya da antene olan uzaklığı sabit kalacak şekilde hareket ediyorsa, cismin frekansı radarın yaydığı frekansla aynı titreşimdedir. Eğer cisim, radara doğru  $V$  hızıyla hareket ediyorsa, titreşim frekansı  $V/\lambda$  kadar artar. Çünkü hedefin molekülleri daha hızlı elektrik ve magnetik alan sapmalarına maruz kalır ve titreşen moleküller kendi kendilerine bir elektromagnetik alan yaratırlar. Hedefin hareketinden kaynaklanan frekanstaki bu değişim, geri dönen sinyalin Doppler Etkisi olarak tanımlanır. Doppler radarların klasik radarlardan en belirgin farkı, sadece meteorolojik hedeflerin yerini değil, aynı zamanda radara yaklaşmakta (mavi renk) mı yoksa uzaklaşmakta (kırmızı renk) mı olduğunu da tespit edebilmesidir.



Doppler etkisini günlük hayatta gözlemleyebiliriz. Örneğin bir yolun kenarında beklerken bize yaklaşan taşıtların motorundan çıkan seslerin frekansının giderek arttığını duyarız. Araç yanımızdan geçip bizden uzaklaşmaya başladığındaysa frekans giderek azalır.

$f_0$ : doppler frekans

$v_0$ : gözlemcinin dalga ortamına göre hızı

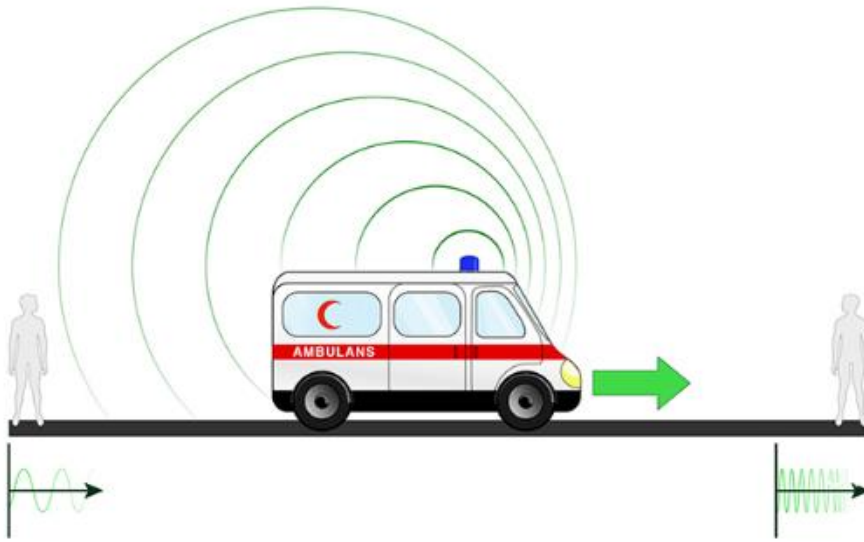
$v$ : Hedefin hızı

Gözlemcinin dalga kaynağından uzaklaşması durumunda ( $v_0$ ) değeri (+) artı, yaklaşması durumunda ise (-) eksi olur.

$\lambda$ : dalga boyu (metre), dalganın ilerlediği yol boyunca maksimum ya da minimum yaptığı yerler arasındaki mesafedir.  $\lambda = v/f = \text{hız/frekans} = \text{m/sec}/1/\text{sec} = \text{metre}$ .

Eğer cisim radara doğru hareket ediyorsa frekansı,  $v/f$  kadar artar. Eğer cisim radardan uzaklaşıyorsa frekansı,  $v/f$  kadar azalır.

$$f = f_0 \left(1 - \frac{v_0}{v}\right)$$



Bir gözlemci ve gözlemcinin yakınlarında sireni çalan bir ambulans olsun. Sirendeki sesler periyodik olarak kendini tekrar eder, yani ambulans belirli bir frekansla (belirli zaman aralıklarıyla) aynı sesleri tekrar tekrar yaymaktadır. Eğer ambulans gözlemciye göre hareket etmiyorsa gözlemcinin duyacağı seslerin kendini tekrar etme sıklığı kaynaktan yayılan seslerin kendini tekrar etme sıklığıyla aynı olacaktır. Dolayısıyla gözlemci ve kaynağın birbirine göre hareket etmediği durumda bir Doppler etkisi görülmez. Ancak ambulans ve gözlemci birbirine göre hareket ediyorsa durum değişir. Öncelikle ambulansın gözlemciye yaklaştığı duruma bakalım. Bu durumda sesler giderek daha yakınlarda bir noktadan yayıldığı için gözlemciye ulaşmaları giderek daha kısa sürecektir. Dolayısıyla ambulansın (kaynağın) gözlemciye yaklaştığı durumda gözlemcinin duyduğu sesler kaynaktan yayılan seslere göre kendini daha sık tekrar eder, yani gözlemcinin duyduğu ses dalgasının frekansı kaynaktan yayılan ses dalgasınınkinden büyüktür. Ambulansın gözlemciden uzaklaştığı durumdaysa tam tersi olur. Dalgalar giderek daha uzak bir konumdan yayıldığı için gözlemciye ulaşmaları giderek daha uzun zaman alır. Dolayısıyla gözlemci tarafından duyulan sesler kaynaktan yayılan seslere göre kendini daha seyrek tekrar eder, yani gözlemcinin duyduğu ses dalgasının frekansı kaynaktan yayılan ses dalgasınınkinden küçüktür.

Gözlemcinin ve kaynağın birbirlerine göre hareket hızları ve kaynaktan yayılan dalganın özellikleri biliniyorsa gözlemlenen dalgada Doppler etkisi nedeniyle meydana gelen değişiklikleri hesaplamak mümkündür. Günlük hayatta Doppler etkisinin en faydalı olduğu alansa hareket hızının belirlenmesidir. Eğer kaynaktan yayılan ve gözlemlenen dalganın özellikleri biliniyorsa kaynağın ve gözlemcinin birbirine göre hangi hızla hareket ettikleri hesaplanabilir. Örneğin taşıtların hızlarını ölçmek için kullanılan radarlarda Doppler etkisinden yararlanılır. Radardan yayılan dalgalar hareket halindeki araca çarparak geri döner. Yayılan dalgaların frekansı ile geri dönen dalgaların frekansı arasındaki farka bakarak aracın hızı hesaplanır. Doppler etkisinden yararlanan bir başka alansa gökbilimdir. Bir gök cisminin Dünya'ya yaklaşma ya da Dünya'dan uzaklaşma hızını hesaplamak için o cisimden Dünya'ya ulaşan ışık analiz edilir. Gök cismindeki atomlardan yayılarak Dünya'ya ulaşan ışığın tayfıyla aynı atomlardan yeryüzünde yayılan ışığın tayfı karşılaştırılarak gök cisminin Dünya'ya göre hızı hesaplanır.

#### Kullanım alanları:

- Alıcıya yaklaşan ya da ondan uzaklaşan hedefin yansıttığı dalga frekansları arasındaki farklardan yararlanarak hedefin hızını ve yönünü tespit edilir.
- Doppler etkisinden ve radarın uzun menzilli olma kabiliyetinden yararlanarak uzaktaki hareketli nesneler saptanır.
- Hareketli nesnenin hem hızını hem de yönünü saptayabilen sistem hem sivil hem askeri amaçlarla kullanılmaktadır.
- Meteorolojide fırtınayı detaylı olarak incelemesine olanak sağlamıştır. Binlerce kilometre menzili olanları vardır.
- Yarasaların avlarını bulmalarını sağlayan meşhur özellikleri de aslında bir tür biyolojik doppler radar sistemidir.
- Polislerin araçların hız sınırını geçip geçmediğini ölçmek için kullandıkları radarlarda doppler etkisi ile çalışır.
- Tıp. Ekokardiyogram , belirli sınırlar içinde, Doppler etkisini kullanarak kan akışının yönünün ve kan ve kalp dokusunun hızının herhangi bir keyfi noktada doğru bir değerlendirmesini üretebilir. Kan akışının hız ölçümleri, obstetrik ultrasonografi ve nöroloji gibi tıbbi ultrasonografinin diğer alanlarında da kullanılır . Doppler etkisine dayalı atardamar ve toplardamarlardaki kan akışının hız ölçümü, stenoza gibi vasküler sorunların teşhisi için etkili bir araçtır .
- Lazer Doppler hızölçeri (LDV) ve akustik Doppler hızölçeri (ADV) gibi cihazlar, bir akışkan akışındaki hızları ölçmek için geliştirilmiştir. Gerçek akış, su hızı ve fazının bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Bu teknik, yüksek hassasiyette ve yüksek frekansta müdahalesiz akış ölçümlerine olanak tanır.
- Ultrasonik Doppler Hız Ölçümü (UDV), toz, gaz kabarcıkları, emülsiyonlar gibi süspansiyon halinde parçacıklar içeren hemen hemen her sıvıda gerçek zamanlı olarak tam hız profilini ölçebilir.



- Uydu navigasyonu. Doppler kayması, Transit ve DORIS gibi uydu navigasyonunda kullanılabilir.
- Doppler'in uydu iletişimde de telafi edilmesi gerekir . Hızlı hareket eden uydular, bir yer istasyonuna göre onlarca kilohertzlik bir Doppler kaymasına sahip olabilir. Hız, dolayısıyla Doppler etkisinin büyüklüğü, Dünya eğriliğinden dolayı değişir. Bir sinyalin frekansının iletim sırasında kademeli olarak değiştirildiği dinamik Doppler telafisi, uydunun sabit bir frekans sinyali alması için kullanılır.
- Robotikte, hareketli engellerin bulunduğu karmaşık bir ortamda robotların hareketine yardımcı olmak için dinamik gerçek zamanlı yol planlaması genellikle Doppler etkisinden yararlanır. Bu tür uygulamalar, robo futbol gibi ortamın sürekli değiştiği rekabetçi robotikte özellikle kullanılır.

## 5.1. Doppler Radarı

Darbe -Doppler radarı, darbe zamanlama tekniklerini kullanarak bir hedefe olan mesafeyi belirleyen ve geri dönen sinyalin Doppler etkisini kullanarak hedef nesnenin hızını ve davranış özelliklerini belirleyen bir radar sistemidir. Pulse-Doppler teknikleri meteoroloji radarlarında da yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır ve radarın havadaki herhangi bir yağış hızından rüzgar hızını belirlemesine olanak tanır. Pulse-Doppler radarı ayrıca radar astronomisinde , uzaktan algılamada ve haritalamada kullanılan sentetik açıklıklı radarın da temelidir. Hava trafik kontrolünde , uçakları kalabalıktan ayırmak için kullanılırlar. Geleneksel gözetim uygulamalarının yanı sıra, pulse-Doppler radarı, düşme riski değerlendirmesi ve düşme tespiti gibi sağlık hizmetlerinde, hemşirelik veya klinik amaçlar için başarıyla uygulanmıştır.

Doppler radarı , uzaktaki nesneler hakkında hız verileri üretmek için Doppler etkisini kullanan özel bir radardır . Bunu, istenen bir hedeften bir mikrodalga sinyali yansıtarak ve nesnenin hareketinin geri dönen sinyalin frekansını nasıl değiştirdiğini analiz ederek yapar. Bu varyasyon, bir hedefin hızının radyal bileşeninin radara göre doğrudan ve oldukça doğru ölçümlerini verir. Havacılık, polis radar dedektörleri , navigasyon , meteoroloji vb. gibi birçok alandaki radar sistemleri için geçerlidir.

Doppler radarları uçak ve uzay araçları için bir navigasyon yardımcısı olarak kullanılır. Radar ile zeminin hareketi doğrudan ölçülerek ve daha sonra bunu uçak aletlerinden dönen hava hızıyla karşılaştırarak, rüzgar hızı ilk kez doğru bir şekilde belirlenebilir. Bu değer daha sonra son derece doğru tahmini hesaplama için kullanılır.

Radar tekniğinde Doppler etkisi aşağıdaki amaçlar için kullanılır:

- 1) Hedef hızlarının ölçülmesi
- 2) Sabit ve hareketli hedeflerin birbirinden ayırt edilmesi (Hareketli Hedef Göstergesi (**Moving Target Indication, MTI**) ).
- 3) Hava- ya da uzaya konuşlanmış radar aygıtlarında yatay menzilin ölçülmesi

## 6. SONAR

SONAR = SOund Navigation And Ranging.

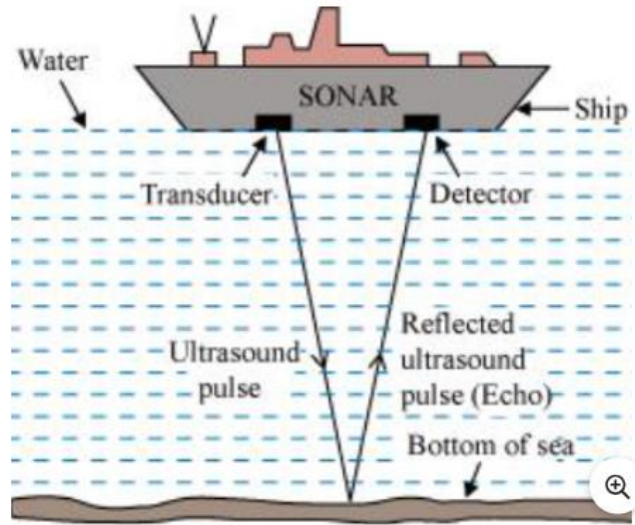
RADAR = RAdio Detection And Ranging

Bazı hayvanlar (yunuslar ve yarasalar) milyonlarca yıldır iletişim ve nesne tespiti için ses kullansalar da suyun insanlar tarafından kullanımı ilk olarak Leonardo da Vinci tarafından 1490'da kaydedildi.

19. yüzyılda, deniz fenerlerine bir tehlike uyarısı yapmak için bir yardımcı sualtı çanı kullanıldı. Kanadalı mühendis Reginald Fessenden, Boston'daki Denizaltı Sinyali Şirketi'nde çalışırken, daha sonra Boston Limanı'nda test edilen bir sistem olan 1912'den başlayarak deneysel bir sistem kurdu. Bu testte Fessenden derinlik sondajı, sualtı haberleşmesi (Morse kodu) ve echo range (3 km'de bir buzdağı tespit etme) gösterdi.

Yarasalar ve yunusların kendilerine ait olan sonarları vardır. Özellikle yarasalar kör olduklarından sonarları sayesinde bir yerlere çarpmadan uçarlar. Yunuslarsa sonar kullanarak sürülerini takip eder ve haberleşirler.

Deniz altı inceleme ya da donanmalarda kullanılan sonar sistemlerse biraz daha farklı çalışırlar. Ses dalgaları yollandıktan sonra, mekanik sistemler aracılığı ile bir oluktan geçirilerek yoğunlaştırılır. Bu nedenle bir dizi transdüktör gemi altına yerleştirilir. Böylece yollanan sinyaller bir araya toplanarak daha güçlü frekans yollarlar.



Sonar , suda görmek için ses dalgalarını kullanır. Su içinde hareket eden sesi gözlem veya iletişim için kullanan bir sisteme sonar sistemi denir. Sonar sistemleri, su altı ve yüzey hedeflerini tespit etmek ve sınıflandırmak için kullanılır. Gözlem ve iletişim, suya yerleştirilen dönüştürücüler (Trandüsürler) tarafından gerçekleştirilir.

Sesin su altında yayılmasını kullanarak su altında/ üstünde haberleşmeyi ve diğer cisimleri tespit etmeyi sağlayan bir tekniktir. Ses dalgalarıyla bir cismin uzaklığını, boyutunu, davranışını, yörüngesini ve diğer verileri hakkında bilgi almak için kullanılan aletin adıdır.

Navigasyon için su altı tehlikelerini belirlemek, gemi enkazları gibi deniz tabanındaki nesneleri aramak ve haritalamak ve deniz tabanının kendisini haritalamak için kullanılır.

Sonar deniz altı haritaları çıkarmakta, deniz altı maden araştırmalarında, balıkçılıkta, donanmalarda sıklıkla kullanılır. Balıkçılıkta, balığın cinsi ve yoğunluğu ve ne derinlikte olduğu sonarlar ile hesaplanır. Her balık farklı bir şekilde yansıma yaratır.

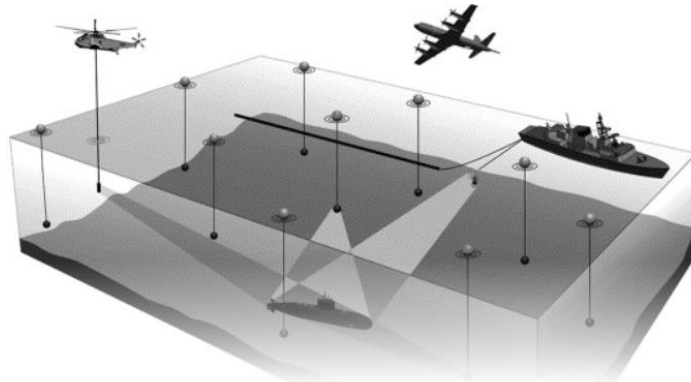
Yandan taramalı sonarlarsa, deniz dibini tam olarak görüntüler. Deniz altı bitki örtüsü, tabanda olan nesneler, deprem faylarını ve maden yataklarını bulur.

"Hidrofon" terimi, dönüştürücünün alım modunda olduğu durumu ifade eder ve "projektor" terimi, dönüştürücünün iletim modunda olduğu durumu ifade eder. Dönüştürücüler genellikle bir dizide yapılandırılır (dizi tiplerine örnek olarak çizgi, geniş kenarlı, gölgeli, düzlemsel, silindirik, konformal, küresel ve hacimsel verilebilir) ve böylece kaynağın bir gürültü arka planına karşı sinyal-gürültü oranı (SNR) iyileştirilir.

İki tür sonar vardır: aktif ve pasif.

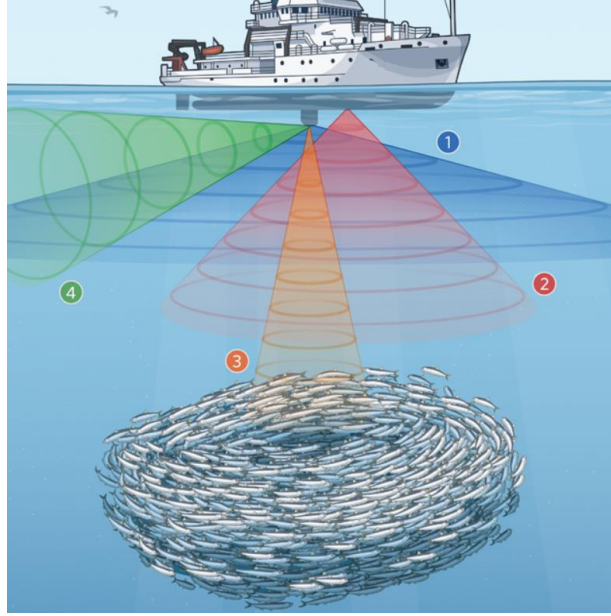
Aktif sonar dönüştürücüler suya akustik bir sinyal veya ses darbesi yayar. Ses darbesinin yolunda bir nesne varsa, ses nesneden sekerek sonar dönüştürücüye bir "eko" gönderir. Dönüştürücü sinyal alma yeteneğiyle donatılmışsa, sinyalin gücünü ölçer. Dönüştürücü, ses darbesinin yayılması ile alınması arasındaki süreyi belirleyerek nesnenin menzilini ve yönünü belirleyebilir. Pasif sonarın aksine, aktif bir sonar sisteminin projektörü, suda istenen hedefe doğru yayılan kısa süreli bir akustik darbe yayar.

Pasif sonar sistemleri öncelikle deniz nesnelerinden (denizaltılar veya gemiler gibi) ve balinalar gibi deniz hayvanlarından gelen gürültüyü tespit etmek için kullanılır. Aktif sonarın aksine, pasif sonar kendi sinyalini yaymaz; bu, bulunmak istemeyen askeri gemiler veya okyanusu sessizce "dinlemeye" odaklanan bilimsel görevler için bir avantajdır. Bunun yerine, yalnızca kendisine doğru gelen ses dalgalarını tespit eder. Pasif sonar, diğer pasif dinleme cihazlarıyla birlikte kullanılmadığı sürece bir nesnenin menzilini ölçemez. Birden fazla pasif sonar cihazı, bir ses kaynağının üçgenlenmesine izin verebilir.



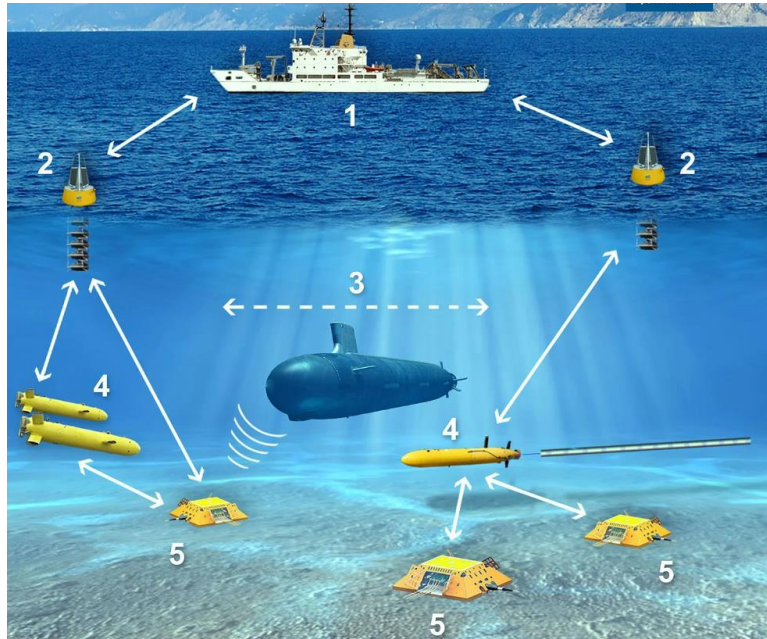
## 6.1. Sonar Kullanım Alanları

- Balık yoğunluğu ve büyüklüğünü belirlemede
- Maden sahalarını belirlemede
- Yeraltı su kaynaklarını
- Denizaltı hareketli ve da hareketsiz cisimlerin görüntülenmesi



### Çok Sensörlü Denizaltı Savunma Harbi:

Çok Sensörlü Denizaltı Savunma Harbi, sonar sinyal ve bilgi işleme, çok sensörlü işleme takibi ve sınıflandırması konusunda bilgi, beceri ve uzmanlık sağlıyor; bu da gelecekteki gelişmiş Denizaltı Savunma Harbi yetenekleri için yeni ve ortaya çıkan tekniklerin araştırılması, geliştirilmesi, prototip gösterimi ve analizinin temelini oluşturuyor.



#### Askeri Sonar Sistemleri:

- Askeri sonarın birincil amacı diğer gemileri tespit etmek ve saldırmaktır.
- Sistemin FM darbeleri için frekans sapması ise 400 Hz – 800 Hz.
- Sistemin aktif tarama bant genişliği 6,2 kHz ilâ 8,9 kHz iken pasif tarama bant genişliği 3 kHz – 10 kHz aralığında.
- Askeri sonar üreten firmalar:
- General Electric ve EDO Corporation
- Raytheon
- Dünyada pek çok firma sonar sistemleri geliştiriyor: Atlas Elektronik, L3HARRIS, Teledyne Marine, GeoSpectrum Technologies gibi firmalar çeşitli çözümler üretiyor.

## 7. PIEZOELEKTRİK

Piezoelektrik özelliği, bazı kristal ve seramik gibi malzemelere uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alan ya da elektrik potansiyel meydana getirme yeteneğidir. Piezoelektrik etkinin ilk ispatı Pierre Curie ve Jacques Curie kardeşler tarafından 1880 yılında yapılmıştır. Piezo olayını meydana getirebilen kristaller arasında kuartz, tormalin, rokel olarak bulunurlar. Tabiatla bulundukları şekliyle kullanılması mümkün değildir. Kristallerin titreşim frekansı ve ürettiği voltaj kesiliş şekilleri, yüzey işlemleriyle yakından ilgilidir. Kristalin merkeze göre kesim yüzeylerinin simetrik olması lazımdır.

Baryum titanat, kurşun zirkonat titanat ve potasyum sodyum niobat gibi bazı seramikler de piezoelektrik olayı meydana getirecek özelliktedir. Bu seramikler çok kristalli malzemeler olup, normal porselen seramikler gibi üretilebilir. Bunlara daha sonra yüksek D.C voltaj tatbikiyle piezoelektrik özellik kazandırılır. Baryum titanat ve kurşun zirkonat titanat malzemelerinde ferroelektrik özellik bulunmaktadır.

Piezoelektrik kristaller ve seramikler; mekanik titreşimlerin elektrik dalgalarına, elektrik dalgalarının mekanik titreşimlere çevrilmesi istenilen elektromanyetik çeviricilerde (transdüserlerde) kullanılır. Kristal mikrofonlar, gemilerde derinlik ve hedef bulmaya yarayan sonar cihazlarında, piezokristallerden faydalanılır. Sonar cihazında piezoelektrik hadisesiyle su içine ses yayımı yapılır. Sesi çıkaran, elektrik enerjisi etkisiyle titreşen kristallerdir. Suya yapılan ses hedefe çarpıp yansıyınca bu defa kristaller, suyun ses dolayısıyla sıkışması ile titreşir. Titreşen kristaller elektrik dalgaları üreterek ses ve ekranda görüntü olarak hedef tespiti yapılır.

#### Piezoelektrik malzemeler

Piezoelektrik etki yalnızca iletken olmayan malzemelerde meydana gelir. Piezoelektrik malzemeler 2 ana gruba ayrılabilir: kristaller ve seramikler. En iyi bilinen piezoelektrik malzeme kuvarstır ( $\text{SiO}_2$ ). Piezoelektrik malzemeler genellikle üzerlerine fiziksel gerilim

uygulandığında elektrik potansiyeli üretme yeteneğine sahip belirli kristal veya seramik sınıflarıdır. Örneğin, elinizde bir piezoelektrik kristali sıkıldığında deforme olur ve üzerine bir voltmetre takılırsa cihaz içinden geçen akımda bir değişiklik olduğunu gösterir. Bu tür birçok kristal bir araya getirildiğinde ve örneğin kaldırımlarda asfaltın altına gömüldüğünde, en azından teoride komşu dükkanları çalıştırmaya yetecek kadar elektrik üretebilirler. Piezoelektrik - Bu malzemelere mekanik bir gerilim uygulanması elektrik akımı üretir. Piezoelektrik mikrofonlar, ses dalgalarının neden olduğu basınç değişikliklerini elektrik sinyaline dönüştürür.

## 8. TERSİNİMİŞ SES DALGALARI

Sorunu bir örnekle açıklamak yerinde olacak: Kare şeklindeki bir kaptaki su dalgalarını düşünelim. Sudaki yüzey dalgaları, yüzeyin hareketini uzak bölgelere ilettiği için havadaki sese çok benziyor. Orta noktaya parmakla dokunduğunuzda ortaya çıkan dalgalar, ilk anlarda duvarlara doğru hızla yayılmaya başlayacaktır. Bu anlar sesin en net duyulabildiği zamanlar. Amacımız bu dalgaların ne kadar "saklanabildiğini" anlamak olduğu için, bir süre bekliyoruz. İlk önce, dalgalar duvarlara çarparak geri yansır. Geri gelen dalgalara eko diyoruz. Bu aşamada da ses hâlâ algılanabilir. Fakat birkaç yansıma olduktan sonra, dalgaların görüntüsü karman çorman bir hal alır. Bu aşamada sesi algılamak mümkün olmaz. Kısacası, birkaç yansıma sonra sesi algılama yeteneğimiz tamamen kayboluyor. Fakat bu aşamada bile sesin korunduğunu söylemek mümkün! ***Zaman göre tersinmiş akustik olarak adlandırılan bir yöntemle bilim adamları, her şeye neden olan orijinal sesi ortaya çıkarabiliyorlar;*** Bunu olanaklı kılan temel özellik şu: Sesin neden olduğu ortalama hareketin yönünü tam tersine çevirirseniz, ses dalgaları izlemiş olduğu yolun tersini izler. Bu, odanın her tarafından konuşmacının ağzına doğru yol alan ses dalgaları demek! Tabii, ***havadaki moleküllerin hepsinin hareket yönünü tam tersine çevirmek pratikte mümkün değil, dolayısıyla doğrudan uygulanabilecek bir yöntem değil bu. Ancak, orijinal sesi elde etmek için uygulanan yöntem basit.*** Yapmanız gereken, odanın duvarlarının her tarafına yüzlerce hassas kayıt cihazı yerleştirmek ve gelen tüm sesleri kaydetmek. Tabii, bizim için bir anlamının olması için tüm ekolar dindikten sonra kayda başlamamız gerekiyor. (Bu arada odanın dışına ses kaybının olmadığını da varsayıyoruz.) Tersinmiş ses dalgalarını elde etmek için, ( Time-Reversed Sound Waves Resonate )tüm bu kayıtlar duvarlardaki aynı yerlerden tersten çalınıyor. Bir süre sonra da tüm bu kayıtlardan gelen sesler kaynağa birleşerek orijinal sesi tekrar oluşturuyorlar. Doğal olarak, orijinal ses tersten oluşacaktır; yani "ABLA" diye bağırırsak, bu işlem sonunda aynı yerde "ALBA" diye bir ses duyarız. Fakat kayıt cihazlarını çalıştırmak için daha uzun süre beklerseniz bu yöntem işe yaramaz, çünkü çok yavaş işleyen bir olay varlığını hissettirmeye başlar. Moleküllerin rastgele hareketi ve bunların neden olduğu çarpışmalar, sesin neden olduğu ortak hareketi yavaş yavaş bozar. Gittikçe daha az sayıda molekül ortak harekete devam ederken, rastgelelik artar. Bu, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşme aşamasıdır. Bir süre sonra ortak hareketten iz kalmaz ve hareket tamamen ısıya dönüşür. Düzenlilikten rastgeleliğe dönüşümün olabileceği,

ama tersinin olamayacağını söyleyen termodinamiğin ikinci yasasına göre, bu "ısı" hareketinden orijinal sesi elde etmek imkânsızdır. Kayıt cihazlarınız ne kadar hassas olursa olsun, bu aşamada geriye dönüş yoktur.

## 8.1. Malzemeler Stres ve Gerilime Nasıl Yanıt Verir

Stres ve Gerilme

- Stres, bir malzeme boyunca dağılmış kuvvet/alan anlamına gelir. Bir sıvıdaki basınç, bir stres biçimidir.
- Gerinim, bir malzemenin stresten kaynaklanan deformasyonudur.

### Malzemeler strese nasıl tepki verir

- Elastik malzemeler stres uygulandığında deforme olur, ancak stres kaldırıldığında orijinal şekillerine geri döner.
- Plastik malzemeler stres uygulandığında deforme olur, ancak stres kaldırıldığında deformasyonun bir kısmı kalır. Kalıcı olarak deforme olurlar.
- Çoğu malzeme farklı miktarda stres uygulandığında farklı davranır. Birçok malzeme az miktarda stres için elastiktir, ancak stres arttığında plastik hale gelir. Bir elbise askısı iyi bir örnektir. Küçük bir stres uygularsanız ve biraz esnetirseniz, esnetmeyi bıraktığınızda orijinal şekline geri döner. Çok fazla esnetirseniz, bükülür ve bükülmüş kalır. Plastik davranması için yeterli stres uygulamış olursunuz. Yüksek sıcaklık ve basınç altında olan alt kabuk ve manto kayaları bu şekilde davranır. Küçük stresler için elastiktirler, ancak jeolojik zamanın uzun dönemleri boyunca büyük kuvvetler uygulandığında bükülür ve plastik gibi akarlar.
- Birçok malzeme az miktarda stres için elastik veya plastiktir, ancak stres çok büyük olduğunda kırılırlar. Malzemeler kırıldığında buna gevrek kırılma diyoruz. Litosferin kayaları gevreklerdir. Stres çok büyük olana kadar elastik ve plastik davranırlar, sonra kırılırlar.
- Elastik malzemeler deforme olurken enerji depolarlar. Bu enerjiye gerinim enerjisi denir ve stres ortadan kalktığında veya malzeme gevrek kırılmaya uğradığında serbest kalır.

### Depremlerin Elastik Geri Tepme Modeli

- Depremler, Dünya'nın litosferinin bir kısmının kırılma bir şekilde kırılması sonucu oluşur. Litosfer, kırılma bir şekilde kırılmaya uğrayabilen Dünya'nın tek mekanik tabakasıdır, bu nedenle tüm depremler litosferde meydana gelir.
- Litosferin levha tektoniği tarafından deforme edilmesiyle oluşan gerinim enerjisi, bu kırılmayla serbest kalır. Levhalar çoğunlukla başka bir levhanın yanından geçtikleri kenarlarında deforme oldukları için, çoğu deprem levha sınırlarında meydana gelir.
- Levha sınırları, orada meydana gelen yoğun deprem bantları tarafından tanımlanır.
- Bir deprem tarafından serbest bırakılan gerinim enerjisinin birikmesi on binlerce yıl alması olabilir. Depremler bu enerjiyi birkaç saniyeden bir dakikaya kadar herhangi bir yerde serbest bırakır. Bu nedenle depremler çok yüksek bir enerji salınım oranını temsil eder.

- Litosferin kırılğan bir şekilde kırılması genellikle düzlemsel kırıklarda meydana gelir. Bu kırıklara, kırığın iki tarafı birbirinin yanından kaymışsa fay denir. Bir fay kolayca kayabiliyorsa, her iki taraftaki kaya deforme olmaz, dolayısıyla gerilim birikimi ve deprem olmaz. Buna asismik kayma veya "fay sürünmesi" denir. Depremlerin meydana gelmesi için, fayın kenarları birbirine yapışmalı veya kilitlenmeli, bu da kayaların deforme olmasına izin vermelidir. Stres yeterince yüksek olduğunda, fay aniden kayar ve depremdeki enerjiyi serbest bırakır.

### **Depremler nerede meydana gelir?**

- Depremler, Dünya'nın litosferinin bir kısmının kırılğan bir şekilde kırılması sonucu oluşur. Litosfer, kırılğan bir şekilde kırılmaya uğrayabilen Dünya'nın tek mekanik tabakasıdır, bu nedenle tüm depremler litosferde meydana gelir.
- Litosferin levha tektoniği tarafından deforme edilmesiyle oluşan gerilme enerjisi, bu kırılmayla serbest kalır. Levhalar çoğunlukla başka bir levhanın yanından geçtikleri kenarlarında deforme oldukları için, çoğu deprem levha sınırlarında meydana gelir.
- Bir depremin odağı, kaymanın başladığı fay üzerindeki noktadır. Bu genellikle dünyanın yüzeyinin altında bir noktadır. Deprem devam ettikçe kayma, odaktan uzağa doğru fay boyunca yayılır. Bu kaymaya fay kırılması denir ve en büyük depremlerde birkaç saniyeden 2 dakikaya kadar sürer. Odak aynı zamanda hiposantr olarak da adlandırılır.
- Bir depremin merkez üssü, odak noktasının hemen üzerindeki dünya yüzeyindeki noktadır.

### **Sismik dalgalar**

Sismik dalgalar, Dünya'nın materyalinde ilerleyen titreşimli dalgalardır. Dalgalar, materyalin bazı yönlerini bozarak yayılır ve materyal, orijinal durumuna geri dönmeye çalışarak yanıt verir. Sismik dalgalar iki biçimde gelir.

### **Gövde dalgaları**

Gövde dalgaları, kaynaktan hedefe en az seyahat süresiyle sonuçlanan Dünya'nın içinden geçen yollar boyunca hareket eder. Gövde dalgaları iki türdedir:

1. Sıkıştırma dalgaları malzemenin hacmini bozar. Malzeme bu hacim değişikliğine direnerek salınımlı dalga hareketine neden olur. Havadaki ses dalgaları sıkıştırma dalgalarıdır.

Sıkıştırma sismik dalgalarına P dalgaları veya birincil dalgalar denir çünkü diğer tüm dalgalardan daha hızlı hareket ederler. P dalgaları kabukta yaklaşık 6 km/sn ve üst mantoda yaklaşık 8 km/sn hızla hareket eder.

2. Kesme dalgaları şekli bozar, ancak malzemenin hacmini bozmaz. Katılar şekil değişikliklerine direnir, bu nedenle kesme dalgaları katılarda yayılır. Sıvılar (sıvılar ve gazlar) şekil değişikliğine direnmez, bu nedenle kesme dalgaları sıvılarda hareket edemez. Kesme sismik dalgalarına S dalgaları veya ikincil dalgalar denir çünkü P dalgalarıyla hemen hemen aynı yolları izlemelerine rağmen daha yavaş hareket ettikleri için daha sonra gelirler. S dalgaları kabuk ve mantoda P dalgalarından yaklaşık %60 daha hızlı hareket eder; kabukta saniyede yaklaşık 4 km, üst mantoda ise saniyede yaklaşık 5 km hızla hareket eder.



## Yüzey dalgaları

Adlarından da anlaşılacağı gibi yüzey dalgaları, Dünya yüzeyi boyunca hareket eder. Uzun dalga boylarına (bir tepe noktasından diğerine olan mesafe) sahip oldukları için L dalgaları olarak adlandırılırlar. Hareketleri Dünya yüzeyinde yoğunlaştığı için yüzey dalgaları genellikle depremlerden kaynaklanan hasarın çoğuna neden olur. Cisim dalgaları gibi sismik yüzey dalgaları da iki türdedir.

1. Rayleigh dalgaları dikey bir düzlemde eliptik yörünge hareketiyle yayılır. Rayleigh dalgaları sıkıştırma içerir. Rayleigh dalgalarına LR dalgaları denir.
2. Love dalgaları, dalga'nın hareket yönüne dik tamamen yatay hareketle yayılır. Love dalgaları yalnızca kesme içerir, sıkıştırma içermez. Love dalgalarına LQ dalgaları denir. Love dalgaları, Rayleigh dalgalarından biraz daha hızlıdır. Bu dalgaların her ikisi de yaklaşık 4 km/sn hızla hareket eder. Hızları S dalgalarıyla hemen hemen aynı olduğundan, deprem yakınsa S dalgalarıyla hemen hemen aynı anda ulaşırlar. Deprem uzaksa, S dalgaları Dünya'nın iç kısmından daha kısa bir yol izlediği için yüzey dalgalarından önce ulaşır.

## 8.2. Akıllı Malzemeler Veya Tasarım Malzemeler

Akıllı malzemeler veya tasarım malzemeler, stres, sıcaklık, nem, pH, elektrik veya manyetik alanlar gibi dış uyaranlar tarafından kontrollü bir şekilde önemli ölçüde değiştirilebilen bir veya daha fazla özelliğe sahip malzemelerdir. Bazıları hâlihazırda yaygın olan bir dizi akıllı malzeme türü vardır. Bazı örnekler şunlardır:

**Piezoelektrik malzemeler**, stres uygulandığında bir voltaj üreten malzemelerdir. Bu etki ters yönde de geçerli olduğundan, numune boyunca bir voltaj numune içinde stres üretecektir. Bu nedenle, bu malzemelerden yapılmış uygun şekilde tasarlanmış yapılar, bir voltaj uygulandığında bükülen, genişleyen veya büzülen şekilde yapılabilir.

**Şekil hafızalı alaşımlar ve şekil hafızalı polimerler**, sıcaklık değişiklikleri veya stres değişiklikleri (psödoelastisite) yoluyla büyük deformasyonun indüklenebildiği ve geri kazanılabildiği malzemelerdir. Büyük deformasyon, martensitik faz değişiminden kaynaklanır.

**Manyetostriktif malzemeler**, manyetik alanın etkisi altında şekil değişikliği gösterir ve ayrıca mekanik stresin etkisi altında manyetizasyonlarında değişiklik gösterir.

**Manyetik şekil hafızalı alaşımlar**, manyetik alanda önemli bir değişikliğe yanıt olarak şekillerini değiştiren malzemelerdir.

**pH'a duyarlı polimerler**, çevreleyen ortamın pH'ı değiştiğinde hacimleri değişen malzemelerdir.

Sıcaklığa duyarlı polimerler, sıcaklıkla birlikte değişikliklere uğrayan malzemelerdir.

**Halokromik malzemeler**, asitliğin değişmesi sonucu renklerini değiştiren yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Önerilen bir uygulama, altındaki metalde korozyonu belirtmek için renk değiştirebilen boyalar içindir.

**Kromojenik sistemler**, elektriksel, optik veya termal değişikliklere yanıt olarak renk değiştirir. Bunlara, bir voltaj uygulandığında renklerini veya opaklıklarını değiştiren elektrokromik malzemeler (örneğin, sıvı kristal ekranlar), sıcaklıklarına bağlı olarak renk değiştiren termokromik malzemeler ve ışığa yanıt olarak renk değiştiren fotokromik malzemeler dahildir; örneğin, parlak güneş ışığına maruz kaldığında koyulaşan ışığa duyarlı güneş gözlükleri.

#### **Ferrofluid:**

**Fotomekanik malzemeler**, ışığa maruz kaldığında şekil değiştirir.

Kendi kendini onaran malzemeler, normal kullanımdan kaynaklanan hasarı onarma konusunda içsel bir yeteneğe sahiptir ve böylece malzemenin ömrünü uzatır.

**Dielektrik elastomerler (DE'ler)**, harici bir elektrik alanının etkisi altında büyük gerilmeler (300%'e kadar) üreten akıllı malzeme sistemleridir.

**Manyetokalorik malzemeler**, değişen bir manyetik alana maruz kaldıklarında sıcaklıkta geri dönüşümlü bir değişime uğrayan bileşiklerdir.

**Termoelektrik malzemeler**, sıcaklık farklarını elektriğe ve tam tersi şekilde dönüştüren cihazlar üretmek için kullanılır.

#### **Akıllı malzeme türleri :**

**Akıllı malzemeler**, etraflarındaki ortamdaki değişiklikleri algılar ve öngörülebilir bir şekilde yanıt verir. Bazı akıllı malzeme türleri şunlardır:

**şekil hafızalı alaşım** (SMA, akıllı metal, hafızalı metal, hafızalı alaşım, kas teli, akıllı alaşım), orijinal, soğuk dövölmüş şeklini "hatırlayan" bir alaşımdır: ısıtarak önceden deforme olmuş şekli geri döndürür. Bu malzeme, hidrolik, pnömatik ve motor tabanlı sistemler gibi geleneksel aktüatörlere hafif, katı hal alternatifidir. şekil hafızalı alaşımların tıp ve havacılık gibi endüstrilerde uygulamaları vardır. şekil hafızası - Bu malzemeler deformasyondan sonra orijinal şekillerini hatırlayabilir ve ısıtıldığında ona geri dönebilir. Uygulamalar arasında şekil hafızalı stentler bulunur - vücut sıcaklığına ısıtıldığında genişleyerek kan akışının artmasına izin veren atardamarlara geçirilen tüpler.

**Termokromik** - Bu malzemeler sıcaklıktaki değişikliklere yanıt olarak renk değiştirir. Su çok sıcak olduğunda renk değiştiren banyo tıkaşlarında kullanılmıştır.

**Fotokromik** - Bu malzemeler ışık koşullarındaki değişikliklere yanıt olarak renk değiştirir. Kullanımları arasında güvenlik mürekkepleri ve güneşte 'bronzlaşan' bebekler bulunur.

**Manyetorheolojik** - Bu sıvılar manyetik bir alana yerleştirildiğinde katılaşır. Titreşimleri bastıran sönümleyiciler inşa etmek için kullanılabilirler. Bunlar, örneğin şiddetli rüzgarların veya depremlerin zararlı etkilerini bastırmak için binalara ve köprülere takılabilir.

## 9. KAYNAKLAR

[http://www.school-for-champions.com/science/sound\\_over\\_water.htm](http://www.school-for-champions.com/science/sound_over_water.htm)

<http://www.unc.edu/~jimlee/soundwavelecture.htm>

<http://www.tutorvista.com/content/physics/physics-iii/waves/sound-propagation.php>

<http://www.kettering.edu/physics/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>

<http://parts.digikey.com/1/parts-cats-toc/index42.html>