



Akustik ile ilgili genel bilgiler

Akustik Bilimi; sesi inceleyen bir bilim dalıdır. Ses dalgalarının oluşumu, iletimi, işitme-algılama-etkilenme, ölçüm, kontrol teknolojileri ve uygulamaları gibi konuları inceleyen ve uygulama olanaklarını araştıran bir bilim dalıdır.

Akustik bilimi dalları:

- Konuşma iletişimi
- Fizyolojik ve Psikolojik Akustik
- Gürültü, Etkileri ve Kontrolü
- Şok ve Vibrasyon
- Mimari Akustik ve Yapı Akustiği
- Bioakustik
- Sualtı Akustiği
- Ses üstü (ultrasonik), Ses Altı ve Kuantum Akustiği
- Fiziksel akustik
- Aeroakustik (atmosferik akustik)
- Müzik akustiği ve Müzik Aletleri
- Ses iletişimi (komünikasyon) ve Elektroakustik
- Akustik Ölçümler ve Araçlar (sinyal işleme)

I



Ses olayının ortaya çıkması için;

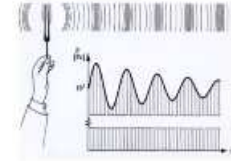
- Periyodik titreşim yapan bir kaynak,
- Esnek bir ortam (titreşimleri iletebilecek) gereklidir (katı, sıvı, gaz).

Yukarıda açıklanan modelde görüldüğü gibi ortaya çıkan mekanizmanın (hareketin) iki yönü vardır:

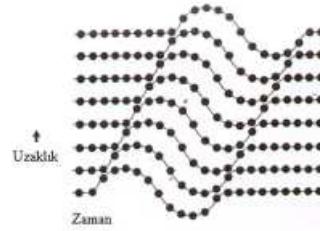
Esnek ortam parçacıklarının kaynağın titreşim hareketini tekrarlaması

Esnek ortam içinde parçacıkların hareketi sırasında ortaya çıkan sıkışma ve gevşeme bölgelerinin (basıncın arttığı ve azaldığı) ilerlemesi (ses dalgalarının yayılması)

Sesi kısaca şöylece tanımlanabilir; insan kulağında işitsel duyulanma oluşturan maddesel ortam titreşimlerine ses denir.



Şekil 1 Diyapozon örneği ile ses yayılımı modeli



Şekil 2 Ortam parçacıklarının zamana ve uzama (uzaklığa-yere) bağlı hareketleri



Sesin üç bileşeni vardır;

İncelik-kalınlık

Azlık-çokluk

Tını

Bir topluluğa seslenen konuşmacının salondaki gürültüden ötürü sesini yükseltmesi durumunda, konuşmacının ses bileşenlerinin değişimi konusunda ne söyleyebilirsiniz?

Konuşmacının sesini yükseltmesi durumunda

Sesin frekansı değişmez

Sesin tınısı değişmez

Sesin düzeyi değişir (artar)



- Titreşen bir nesne önündeki havayı iter ve sıkıştırır.
- Aynı anda, titreşen nesnenin arkasında ani bir basınç azlığı oluşur ve arkadaki bu boşluğu hava hızla doldurur.
- Bu yolla, havadaki basınç değişimleri uzak noktalara iletilir yani ses dalgaları oluşur.





Sesin Spektral Yapısı

Frekans, f (Hz, sn^{-1}):

1 saniyede oluşan ses dalgası sayısına frekans denir. Veya ses titreşimlerinin bir saniyedeki devir (bir gidiş geliş) sayısına frekans denir. Frekans birimi Hertz (Hz) veya sn^{-1} dir. Bir kaynaktan bir saniyede üretilen dalga sayısı ne kadar fazla ise sesin frekansı o kadar büyük olur. Dalga sayısı arttıkça frekans artar, frekans arttıkça ses inceler. Dalga sayısı azaldıkça frekans azalır, frekans azaldıkça ses kalınlaşır. Bir cisim ne kadar hızlı titreşirse o kadar yüksek frekanslı ses üretir. 1 Hertz = saniyede 1 adet titreşim demektir.

İnsanların üretebilecekleri ve duyabilecekleri belli frekans değerleri vardır. Normal bir insan kulağı 16 ile 16.000 Hz veya 20 – 20.000 Hz frekansları arasındaki sesleri duyabilir. Frekans değerlerine göre ultrasonik ses ve infrasonik ses olarak iki ses çeşidi vardır.



Ultrasonik Ses (Ultrason):

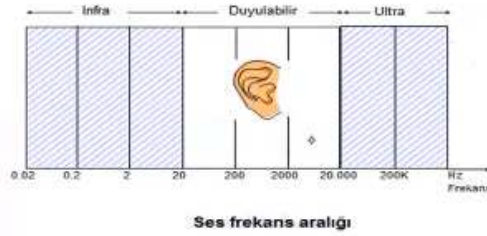
Frekansı 20.000 Hz'in üstünde (20.000 Hz – 1 GHz) olan seslere ultrasonik ses veya ses üstü ses veya ultrason (ultrasound) denir. Ultrasonik ses, normal sese göre daha fazla enerjiye sahiptir ve bu sesler insanlar tarafından duyulamaz. Fakat Ultrasonik sesler birçok hayvan tarafından duyulabilir. (Köpek, yunus, yarasası). Ultrasonik sesteki teknolojide yararlanır.

- İnsan ve hayvanlarda hastalıklı bölgenin yeri ve büyüklüğü belirlenir.
- Cisimler dezenfekte edilir.
- Boruların kalınlığı veya çatlak olup olmadığı tespit edilir.
- Yarasalar çıkardıkları ve duyabildikleri ultrasonik ses sayesinde, sesin yansıması özelliğini kullanarak yönlerini bulabilir ve avlanırlar).



İnfrasonik Ses: Frekansı 20 Hz'in altında olan seslere infrasonik ses veya ses altı ses denir. İnfrasonik ses normal sese göre daha az enerjiye sahiptir ve bu sesler insanlar tarafından duyulamaz. İnfrason bilim dalı 20 Hz ile 0,0001 Hz arası ses dalgalarını inceler.

Bu ses frekans aralığı, depremleri izlemek ve yeraltında bulunan kaya ve petrol formasyonlarını haritalamak amacıyla kullanılırlar. İnsanlar bu seslerden olumsuz etkilenir ve uzun süre bu titreşimlerin etkisinde kalan insanlarda sağırliklar görülebilir.



Not: İnsan kulağının en duyarlı olduğu frekans aralığı 1.000 - 4.000 Hz arasındır.



Ses Kaynağı	Frekans (Hz)
İnsan Kulağının Duyabileceği En Yüksek Ses	20.000
Düşük Ses	10.000
Şarkıcının Tiz Sesi	1000
Şarkıcının Pes Sesi	100
Davul Sesi	20
Bas Ses	87 (Min) – 340 (Max)
Bariton Ses	90 (Min) – 400 (Max)
Tenor Ses	125 (Min) – 500 (Max)
Alto Ses	130 (Min) – 700 (Max)
Soprano Ses	225 (Min) – 1100 (Max)
Kadın Konuşma Sesi	150 (Min) – 10000 (Max)
Erkek Konuşma Sesi	100 (Min) – 8500 (Max)
Alkışlama	100 (Min) – 20000 (Max)



OKTAV BANDLAR

İşitilen seslerin sahip oldukları frekansları geniş bir aralığı kapsadığından dolayı ses (gürültü) analizlerinde frekans aralıkları aralığı oktav bandı adı verilen kısımlara bölünür. Bu ölçekte; sürekli bir spektrum ardarda gelen frekans aralıklarında (bantlarında) ölçülmekte ve analiz edilmektedir. 1/1 veya 1 oktav bandında bandın üst sınır değeri, alt sınır değerinin 2 katıdır. Her bandın merkez frekansı ise alt ve üst sınır değerlerinin geometrik ortalamasıdır; dolayısıyla her üst frekansla alt frekansın geometrik ortalaması olan bir orta değeri vardır ve bantlar bu orta değer ile isimlendirilir. ISO tarafından standardize edilmiş frekans aralıkları (bantları); alt ve üst bant sınırlarının oranına bağlı olarak 1 oktav ve 1/3 oktav bantlar olarak adlandırılırlar. Ses 10 oktav banttandır.



1/1 Oktav bantlar:

En geniş aralıktır. Bandın üst frekansı alt frekans değerinin iki katıdır.

63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 (örneğin 50-10000 Hz arasında 8 adet 1/1 oktav bant bulunur)

$$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

$$f_2 = 2f_1$$

$$f = \sqrt{2}f_1 = f_2 \cdot 1/\sqrt{2}$$

f : Merkez veya orta frekans

f_1 : Oktav bandın alt sınır frekansı

f_2 : Oktav bandın üst sınır frekansı

Bant genişliği alt ve üst sınır frekansının farkıdır.

Bant genişliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir.

$$bw = f_2 - f_1$$



$$f_2 = 2^n f_1$$

$$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

n : oktavlar için kat sayı ve değeri aşağıda verilmiştir.

$n=1$ 1 oktav bant için

$n=1/3$ 1/3 oktav bant için

$n=1/10$ 1/10 oktav bant için

Mimari akustikte 50 Hz'ten düşük ve 10 kHz'den büyük frekanslar genelde önemsizdir. Uygulamada merkez frekanslar kullanılmaktadır. Özellikle 63 – 4000 Hz arasındaki merkez frekanslar önemlidir. Bazı çalışmalarda 1 oktav yerine 1/3 oktav merkez frekanslar veya 1/10 oktav bant merkez frekanslar önem kazanmaktadır.



Not:

1/1 Oktav bantlarda gerek merkez ve gerekse alt ve üst frekanslar hep iki katıyla artar veya azalır. Bu oktav bantta merkez frekansın alt ve üstü ise $F_{\text{cntr}} = 2^{1/2} * F_1$ veya $F_{\text{cntr}} = F_2 / 2^{1/2}$ ile hesaplanır.

1/2 oktav bantlarda ise gerek merkez ve gerekse alt ve üst frekanslar hep $2^{1/2}$ katı ile artar veya azalır. Bu oktav bantta merkez frekansın alt ve üstü ise $F_{\text{cntr}} = 2^{1/4} * F_1$ veya $F_{\text{cntr}} = F_2 / 2^{1/4}$ ile hesaplanır.

1/3 oktav bantlarda ise gerek merkez ve gerekse alt ve üst frekanslar hep $2^{1/3}$ katı ile artar veya azalır. Bu oktav bantta merkez frekansın alt ve üstü ise $F_{\text{cntr}} = 2^{1/6} * F_1$ veya $F_{\text{cntr}} = F_2 / 2^{1/6}$ ile hesaplanır.



$$f_2 = 2^n f_1$$
$$f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

n : oktavlar için kat sayısı ve değeri aşağıda verilmiştir.

$n=1$ 1 oktav bant için

$n=1/3$ 1/3 oktav bant için

$n=1/10$ 1/10 oktav bant için

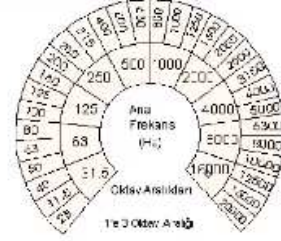
Mimari akustikte 50 Hz'ten düşük ve 10 kHz'den büyük frekanslar genelde önemsizdir. Uygulamada merkez frekanslar kullanılmaktadır. Özellikle 63 – 4000 Hz arasındaki merkez frekanslar önemlidir. Bazı çalışmalarda 1 oktav yerine 1/3 oktav merkez frekanslar veya 1/10 oktav bant merkez frekanslar önem kazanmaktadır.



1/3 Oktav bantlar:

63, 80, 100, 125, 160, 200, 250,

50-10000 Hz arasında 24 adet 1/3 oktav bant bulunur.



f_c : bantın orta frekansı (banda adını veren frekans, merkez frekans),

$\Delta f = f_2 - f_1$ bant genişliği,

f_2 bantın üst frekansı,

f_1 bantın alt frekansı.

Bant	$f_c/\Delta f$	f_2/f_1
1 oktav	1,41	2
1/2 oktav	2,87	$\sqrt{2}$
1/3 oktav	4,37	$\sqrt[3]{2}$



Örneğin: Hemen yandaki tabloya göre, 125 merkez oktav bant için hesap yapalım. 1000 Hz'in alt ve üst merkez oktav bantları olan 500 Hz ile 2000 Hz'leri çarpıp karekök içinde yazarsak 1000 Hz merkez oktav bant bulunur.

$$f_{ctr} = 1000 = (500 \cdot 2000)^{1/2}$$

1000 Hz'in alt sınır değeri

$$f_1 \text{ (yandaki tabloda } f_{lo}) = f_{ctr} / 2^{0,5} \text{ yani}$$

$$1000 = f_1 \cdot 2^{0,5} \Rightarrow f_1 = \mathbf{707,107 \text{ Hz}}$$

Üst sınır değeri ise

$$f_2 \text{ (yandaki tabloda } f_{hi}) = f \cdot 2^{0,5} \Rightarrow f_2 = \mathbf{1414,214 \text{ Hz}} \text{ olarak bulunur.}$$

Bant genişliği oranı ise 1000 Hz için;

$$b_w = (f_{hi} - f_{low}) / f_{ctr} = (1414,214 - 707,107) / 1000 = 0,7071$$

Octave Bands				
Band #	f lo	f ctr	f hi	%BW
1	11.049	15.625	22.097	70.711
2	22.097	31.250	44.194	70.711
3	44.194	62.500	88.388	70.711
4	88.388	125.000	176.777	70.711
5	176.777	250.000	353.553	70.711
6	353.553	500.000	707.107	70.711
7	707.107	1000.000	1414.214	70.711
8	1414.214	2000.000	2828.427	70.711
9	2828.427	4000.000	5656.854	70.711
10	5656.854	8000.000	11313.708	70.711
11	11313.708	16000.000	22627.417	70.711



Örneğin Yukarıda sağdaki 1/3 oktav bant olan için ise verilen değerler şöylece bulunmuştur. Alt ve üst **merkez** oktav bantlar için örneğin 1000 Hz merkez oktav bantın **merkez** üst değeri;

$$1000 = f_2 / 2^{1/3} \Rightarrow f_2 = \mathbf{1259,921 \text{ Hz}} \text{ olurken,}$$

$$\text{Yine 1000 Hz'in } \underline{\text{merkez}} \text{ alt değeri ise } 1000 = f_1 * (2^{1/3}) \Rightarrow f_1 = \mathbf{793,701 \text{ Hz}} \text{ olur.}$$

1000 Hz'in alt sınır değeri olan 890,899 Hz ise şöyle bulunmuştur:

$$1000 = 1/2^{1/6} * f_1 \Rightarrow f_1 = \mathbf{890,899 \text{ Hz}} \text{ olur}$$

1000 Hz'in üst sınır değeri ise

$$1000 = f_2 / 2^{1/6} \Rightarrow$$

$$f_2 = \mathbf{1122,462 \text{ Hz}} \text{ olarak bulunur.}$$

Yüzde bant genişliği ise hepsinde aynı olup,

$$b_w = (f_{hi} - f_{low}) / f_{ctr} \Rightarrow \text{örneğin 1000 Hz için } (1122,462 - 890,899) / 1000 = 0,23156$$

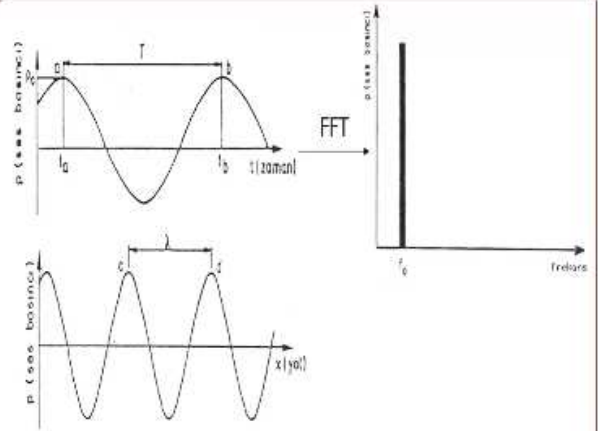
1/3 Octave Bands				
Band #	f _{lo}	f _{ctr}	f _{hi}	%BW
1	13,920	15,625	17,538	23,156
2	17,538	19,686	22,097	23,156
3	22,097	24,803	27,841	23,156
4	27,841	31,250	35,077	23,156
5	35,077	39,373	44,194	23,156
6	44,194	49,666	55,681	23,156
7	55,681	62,500	70,154	23,156
8	70,154	78,745	88,388	23,156
9	88,388	99,213	111,362	23,156
10	111,362	125,000	140,308	23,156
11	140,308	157,450	176,777	23,156
12	176,777	198,425	222,725	23,156
13	222,725	250,000	280,616	23,156
14	280,616	314,989	353,553	23,156
15	353,553	396,850	445,449	23,156
16	445,449	500,000	561,231	23,156
17	561,231	629,961	707,107	23,156
18	707,107	793,701	890,899	23,156
19	890,899	1000,000	1122,462	23,156
20	1122,462	1259,921	1414,214	23,156
21	1414,214	1587,401	1781,797	23,156
22	1781,797	2000,000	2244,924	23,156
23	2244,924	2519,842	2828,427	23,156
24	2828,427	3174,802	3563,595	23,156
25	3563,595	4000,000	4489,848	23,156
26	4489,848	5039,684	5656,854	23,156
27	5656,854	6349,604	7127,190	23,156
28	7127,190	8000,000	8979,696	23,156
29	8979,696	10079,368	11313,708	23,156
30	11313,708	12699,208	14254,379	23,156
31	14254,379	16000,000	17959,393	23,156
32	17959,393	20158,737	22627,417	23,156



Arı Ses

Harmonik ses basınç değişiminin oluşturduğu seslere **arı ses** denir. Diğer bir deyişle matematiksel olarak sinüs veya kosinüs fonksiyonu biçiminde temel bir frekansla kendini tekrarlayan ve basit bir harmonik hareket oluşturan periyodik dalgadır. Doğada arı ses diye nitelediğimiz tek bir harmonikten oluşan seslere ender rastlarız. Özellikle endüstride böyle bir sese rastlamak imkansızdır.

Diyapozon, Piyano tuşu v.s arı sese bir örnektir.





Periyodik ses

Değişik frekanslardaki iki veya daha fazla arı sesin birleşmesi sonucu harmonik olmayan periyodik sesler elde edilir.

Periyodik sesler, kendisini oluşturan arı seslere ayrılabilirler.

Periyodik seslere doğada rastlamak mümkündür. Dizel bir motor periyodik sese örnektir.



Karmaşık ses

Karmaşık sesler harmonik olmadıkları gibi periyodikte değildir. Yani oluşturdukları ses basıncının zamanla değişimi gelişigüzedir. Trafik gürültüsü karmaşık seslere bir örnek teşkil eder.

Harmonik olmayan ses dalgalarında ses basıncının yüksekliğini, rms değeri adı verilen ortalama kare değerinin karekökü verir. Ses basıncının zamanla değişimi $p(t)$ ise bu ses basıncının T süresindeki rms değeri:

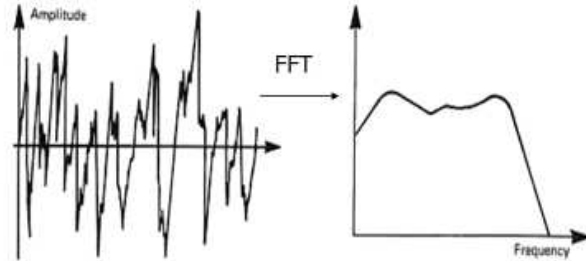
$$P_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt \right]^{1/2}$$

$p(t)$ = Ses basıncının zamana bağlı değerleri,

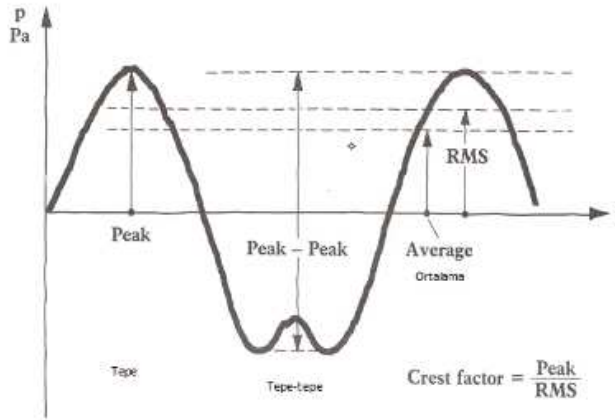
T = Toplam süre, periyodik dalgalar için periyot.

Bir ortamı temsil eden basınç; zaman içindeki değişimlerden ötürü; basınç değişimlerinin ortalamasının karekökü ile (P_{rms}) tanımlanır.

$$P_{rms} = \sqrt{p^2}, \quad N/m^2 (Pa)$$



Harmonik olmayan ses dalgaları



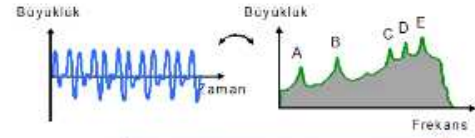
Şekil. Bir ses dalgasında tepe, ortalama ve karesel ortalama ölçümler



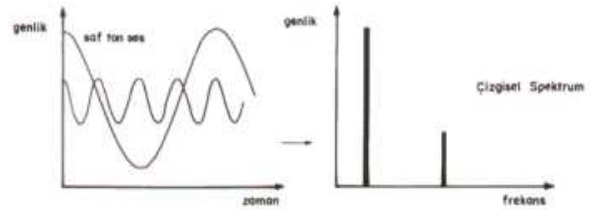
Frekans spektrumu analizi

Bir ses dalgasında basınç düzeyleri ile frekansları arası ilişkiyi gösteren grafiğe (diyagrama) "frekans spektrumu" adı verilir. Diğer bir deyişle frekans spektrumu; bir ses dalgasının içinde bulunan çeşitli tonal bileşenlerin basınçlarını gösterir.

Frekans spektrumu bir ses dalgasında ses basınç düzeyleri ile frekanslar arası ilişkiyi gösteren grafiktir. Doğadaki sesler genellikle karmaşık sesler olduğundan bu seslerin frekans analizi yapılarak daha çok hangi frekanslarda seslerin olduğu gürültü kontrolü açısından bilinmesi gerekir.



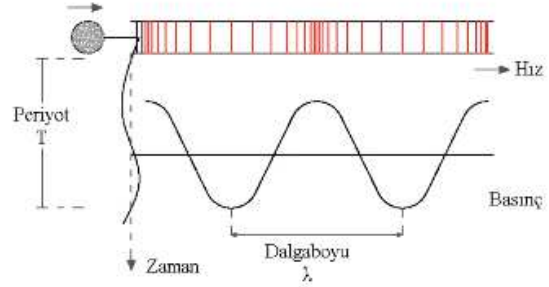
Zaman ekseninde birbirine karışmış olarak gözükken olaylar, frekans ekseninde ayrıştırılabilmektedir





Periyot, T (sn):

Bir titreşim için geçen zamandır. Birimi saniyedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi iki sıkışma (max basınç) veya iki gevşeme (min. basınç) bölgesi arasındaki zaman süresine ya da bir titreşim için geçen süreye, periyot denir. Şekilde zaman ekseninde periyot görülmektedir, birimi sn'dir.



Periyot frekansın tersidir. $T = 1/f$ şeklinde hesaplanabilir. Buna göre duyabildiğimiz seslerin sahip olduğu periyot değerleri: $1/16 = 0,0625$ sn ile $1/20000 = 0,00005$ sn arasında değişmektedir.



Dalga boyu, l (m):

Ses kaynağından çıkan titreşim enerjisinin oluşturduğu sarsıntıya veya şekil değişikliğine ses dalgası denir. Ses te dalgalar halinde yayılabilen bir enerji türüdür. 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 dalgalarının frekans, genlik ve periyot gibi özellikleri vardır.

- Ses Dalgalarının Tepe Noktası (Dalga Tepesi)
- Ses Dalgalarının Çukur Noktası (Dalga Çukuru)

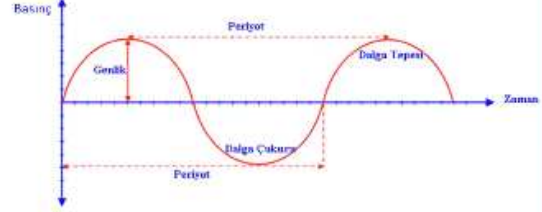
Her sesin sahip olduğu bir dalga boyu değeri vardır. İki sıkışma veya iki gevşeme bölgesi arasındaki uzaklığa dalga boyu denir. Genelde bir periyot boyunca alınan yol olarak ta tanımlanmaktadır ve l şeklinde gösterilir. Birimi uzunluk birimi cinsindedir.

Frekans büyüdükçe dalga boyu küçülmekte
Frekans küçüldükçe dalga boyu büyümektedir.



Genlik (A, μm):

Ses dalgasının en yüksek (tepe) noktası ve en düşük (çukur) noktası arasındaki mesafenin yarısı, genlik olarak isimlendirilir. Bir ses titreşiminde, genliğin azlığı veya çokluğu ses şiddetinin azlığı veya çokluğu anlamındadır. Örneğin bir piyano tuşuna daha hızlı vurmakla, o tuşla ilgili tel daha fazla titreşir, yani genliği artar ve ses daha kuvvetli çıkar. İnsan kulağının algılayabileceği en düşük ses genliği $0.1\mu\text{m}$, en yüksek ses genliği ise $100\mu\text{m}$ dir. $100\mu\text{m}$ de insan kulağı zarar görmektedir. Bir ses dalgasının genliği ne kadar büyükse sesin de şiddeti o kadar büyük olur.



Sesin Hızı, C (m/sn):

Sesin yayılması için ortam bulunan yapılarda sesin yayılma hızı farklı olabilmektedir. Katı, sıvı ve gazlarda uzunluğuna ses dalgalarının yayılma hızı frekanstan bağımsızdır. Ancak ortamın sertliği (rijitliği), yoğunluğu ve sıcaklığına bağlıdır.

$C = \lambda \cdot f$ şeklinde ifade edilebilir veya

$$C = 331,5 \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad T = ^\circ\text{C} \text{ cinsinden hava sıcaklığı}$$

Buna göre duyabildiğimiz seslerin sahip olduğu dalga boyu değeri, atmosferde $20\text{ }^\circ\text{C}$ için yaklaşık olarak; $344/16 = 21,5\text{ m}$ ile $344/20000 = 0,0172\text{ m}$ arasında değişmektedir denebilir.



21°C için bazı ortamlarda sesin yayılma hızları

Ortam	Yayıma Hızı (m/s)
Hava	344
Mantar	500
Kurşun	1200
Su	1400
Sert Kauçuk	1400-2400
Beton	3000-3400
Tahta	3300-4300
Dökme demir	3700
Çelik Alüminyum	5100
Cam	5200

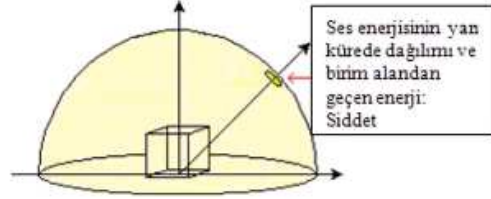


SES GÜCÜ, W (watt):

Güç bir ses kaynağının enerji üretiminin temel ölçüsüdür ve kaynağın emisyon değeri olarak adlandırılır. Ses gücü; ses kaynağının birim zamanda küresel bir düzlem üzerinde yaydığı toplam ses enerjisidir. Birimi Watt'dır. Ses kaynakları serbest bir alanda (etrafta engel veya yansıtıcı yüzeyin bulunmadığı alan) yaydığı güçle tanımlanır.

Ses gücü çevreden bağımsız olarak sabittir. Birim yüzey elemanından geçen akustik enerji kaynaktan uzaklaştıkça azalır ancak yüzeyin toplamı üzerinde sabit kalır. Bir kaynağın şiddet ve basıncı uzaklıkla değişir ancak gücü değişmez, bu yüzden bir kaynağın ses gücü tek bir değerdir. Özel yansımaz odalarda ölçülür.

Ses gücünün yayılımı



Bazı kaynakların ses güç seviyeleri

Ses kaynağı	Ses gücü (watt)
Fısıltı-Normal konuşma	10^{-3} - 10^{-2}
Bulaşık makinesi	10^4
Otomobil	10^4
4 pervaneli uçak	100



SES ŞİDDETİ, I (Yegınlığı, (watt/m²):

Bir ses alanında, belirli bir yönde ve bđım zamanda birim alandan geçen ses enerjisidir. (Ses kaynağı merkezli küresel bir düzlem üzerinde bulunan birim alandan birim zamanda geçen bir ses dalgasının taşıdığı sürekli güç akışı) Küresel bir kaynak her yöne eşit ses düzeyi yayır. Akustik şiddet; akustik gücün küre alanına oranıdır.

Ses şiddeti vektörel bir büyüklük olup, bir noktadaki akustik enerjinin akış yönünü ve büyüklüğünü tanımlar. Bir ses kaynağı tarafından ses gücü üretildiğinde, kaynaktan komşu hava moleküllerine doğru bir enerji akışı meydana gelir. Bu şekilde enerji, gölde dalgaların büyüyen daireler şeklinde uzaklaşmasına benzer bir şekilde ortama yayılır. Yayılan bu enerjinin belli bir yönde birim zamanda birim alandan geçen miktarına ses şiddeti (I) adı verilir. Yayılmakta olan enerji, geçtiği her noktada ses basıncına sebebiyet verir.

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad W / m^2$$

W= Ses kaynağının gücü, watt
r= Kaynaktan uzaklık, m

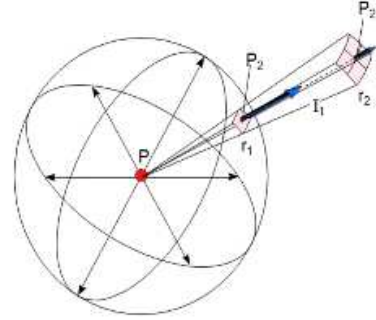
veya

I= P²/ρ*C şeklinde de hesaplanabilir.

P= basınç, N/m²

ρ: Havanın yoğunluğu, (1,204 kg/m³ 20 °C)

C: Ses hızı, m/sn



SES BASINCI, P (Pa, N/m²):

Ses dalgalarından ötürü hava moleküllerinin titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan değişime, ses basıncı denir. Birimi N/m², dyne/cm² veya mikrobar olabilir. Ses basıncı, kulakta ses duyumunu oluşturur. Sesin yayılması sırasında, belirli bir zaman içinde, herhangi bir noktadaki hava basıncının atmosferin denge basıncından olan farkı olarak ta tanımlanabilmektedir.



SES KAYNAĞI	SES BASINCI, Pa
1 atm. basıncıdaki ses dalgasının teorik limiti	101325
Krakatoa Yanardağı Patlaması (160 km, Havadan)	20000
Ticari Jet 30 metreden	630
Standart Tüfek 1 metreden	200
Acı Sınırı	100
Kısa zamanda kalıcı zarar sınırı	20
Ticari Jet 100 metreden	6 – 200
Pnömatik çekiç 1 metre	2
Uzun zamanda kalıcı zarar oluşabilme sınırı	6×10^{-1}
Ana Yol 10 metreden	$2 \times 10^{-1} - 6 \times 10^{-1}$
Otomobil 10 metreden	$2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-1}$
Televizyon 1 metreden	2×10^{-2}
Standart Konuşma 1 metreden	$2 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2}$
Sessiz oda	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$
Ağaç yaprak sesi, sakin nefes alma	6×10^{-5}
2 kHz'de belirlenen duyuma eşliği	2×10^{-5}



SES DÜZEYİ, dB:

Ölçülen seslerin güç, şiddet ve basınçlarının, bir referans düzeye göre (işitilebilen en hafif ses) karşılaştırılarak sonuç logaritmik olarak ifade edildiğinde "düzey" adını alır. Düzeyin birimi; "desibel"dir. Çevre gürültüsü için daha çok "ses basınç düzeyleri" veya kısaca "ses düzeyleri" tanımları kullanılmaktadır.

Bel ise: Bir telefon hattında 1.6 km sonra oluşan ses sinyalindeki kaybı ifade eder. Orijinal adı Transmission Unit olan bu büyüklük daha sonraları yukarıda da ifade edildiği gibi Alexander Graham Bell anısına BEL olacak şekilde değiştirilmiştir.

Ses düzeyi birimi Alexander Graham Bell anısına geliştirilmiş ve dB (Decibel) olarak ifade edilmektedir. Desibel = 1/10 Bel'dir. Bel yerine dB olarak elde edilmesinin nedeni, bu oranın çok yüksek olmasından dolayı **desibel** adı verilen ve oranların logaritmasınının 10 katı olarak tanımlanan birim kullanılması tercih edilmiştir.

Gerçekte ses; güç, şiddet ve basınç değerleri gibi kendi fiziksel birimleri (Watt, Watt/m² ve Pa) ile verildiğinde çok küçük değerlerdir, bu nedenle logaritmik (sıkıştırılmış) ölçek yardımıyla ses büyüklüklerini daha basit sayılar ile belirtmek pratikte daha uygundur.



SES KAYNAĞI	SES BASINCI, Pa	SES BASINÇ SEVİYESİ, dB
1 atmosfer basıncındaki ses dalgasının teorik limiti	101325	194
Krakatoa Yanardağı Patlaması (160 km, Havadan)	20000	180
Ticari Jet 30 metreden	630	150
Standart Tufek 1 metreden	200	140
Acı Sınırı	100	134
Kısa zamanda kalıcı zarar sınırı	20	Yaklaşık 120
Ticari Jet 100 metreden	6 - 200	110 - 140
Pnömatik çekiç 1 metre	2	Yaklaşık 100
Uzun zamanda kalıcı zarar oluşabilme sınırı	6×10^{-1}	Yaklaşık 90
Ana Yol 10 metreden	$2 \times 10^{-1} - 8 \times 10^{-1}$	80 - 90
Otomobil 10 metreden	$2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-1}$	60 - 80
Televizyon 1 metreden	2×10^{-2}	Yaklaşık 80 d
Standart Konuşma 1 metreden	$2 \times 10^{-2} - 2 \times 10^{-1}$	40 - 60
Sessiz oda	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	20 - 30
Ağaç yaprak sesi, sakin nefes alma	6×10^{-5}	10
2 kHz'de belirlenen duyma eşiği	2×10^{-6}	0

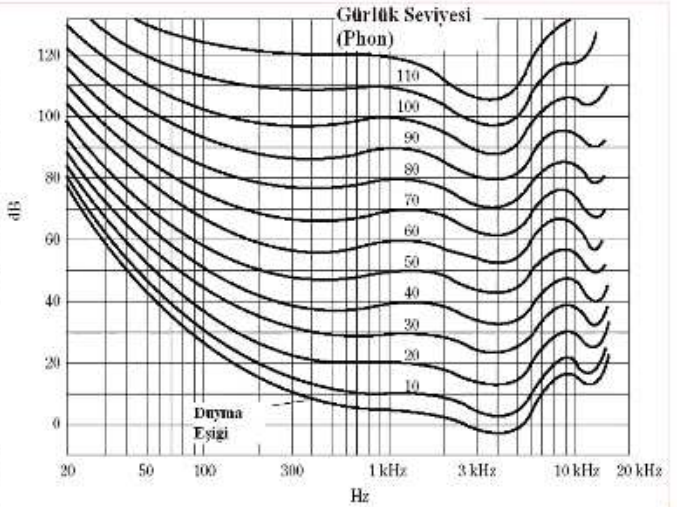


Ses Yüksekliği Düzeyi (Eş Gürültü Eğrileri)

Sesin yüksekliği üzerinde ses basınç düzeyi ve frekans etkilidir. Sesin yüksekliği frekanslara göre değişmektedir. Çeşitli çok sayıda insanlarla yapılan istatistiksel sonuçlara dayanarak ses yüksekliği ile ses basıncı ve frekansı arasındaki ilişki bulunmuştur. Aynı yükseklikte duyulan değişik frekanslardaki saf tonların ses basıncı düzeylerinin frekansla değişimleri çizilerek **eş yükseklik eğrileri** elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda değişik frekanslardaki aynı yüksekliği veren noktalar birleştirilerek eğriler oluşturulmuştur. Bu eğrilerin frekansları ve ses basınç düzeyleri farklı olmasına rağmen ses yükseklik düzeyleri aynıdır. Eğrilerin 1000 Hz ile kesin noktasındaki ses basınç düzeyinin sayısal değerine "ses yükseklik düzeyi" ya da "eş gürültü düzeyi" denilmektedir. Birimi phon fon)'dur.

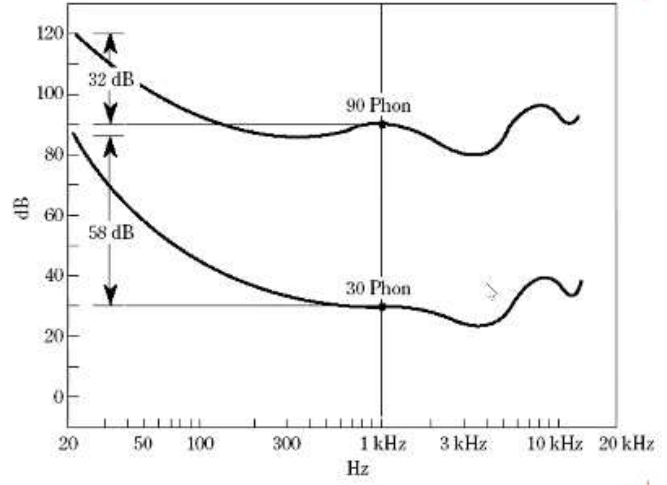
10 Phon eğrisi altındaki eğri ise insan kulağının duyabileceği en al sınır çizgisidir.

Bu grafik insan işitme sisteminin ne kadar lineer olmayan bir yapıya sahip olduğu da ortaya çıkarmaktadır. Örneğin 20Hz'de duyduğumuz bir sesin yüksekliğinin 3-4 kHz'de duyduğumuz ses ile aynı yüksekliğe sahip olabilmesi için ondan 80dB daha yüksek bir ses basınç düzeyine sahip olması gerekmektedir.





30 phon eğrisine göre 1000 Hz'i 30 dB olarak değerlendirirken 20 Hz'de aynı duyulanmayı sağlamak için 58 dB'e daha ihtiyaç duyulmaktadır, aynı frekanslar için 90 phon eğrisi üzerinde 32 dB'e ihtiyaç duyulmaktadır.



Ses düzeyi ifadesinde üç tip ağırlık eğrisi vardır. A eğrisi düşük düzeyde; C eğrisi ise yüksek düzeyde sesler için kullanılır, bununla birlikte günümüzde A eğrisi her yükseklikte ses düzeyleri için kullanılmaktadır. Bunun nedeni A eğrisi kulak duyarlılık eğrisiyle doğrudan olan ilişkisidir. A, B, ve C eğrileri kullanılarak gürültü ölçümleri yapılabilir.

dB (A): İnsan kulağına eşdeğer yapılamayan ve fiziksel düzeyleri dB cinsinden ölçen ses ölçme araçlarının duyarlılıkları yaklaşık olarak 40, 70 ve 100 Fonu gösteren eğrilere göre ayarlanmıştır. 40 Fon eğrisine (A) eğrisi denilir ve 55 dB'den daha az sesler için kullanılır.

dB (B): 70 Fon eğrisine ise (B) eğrisi denir. 55-85 dB arasındaki sesler için kullanılır.

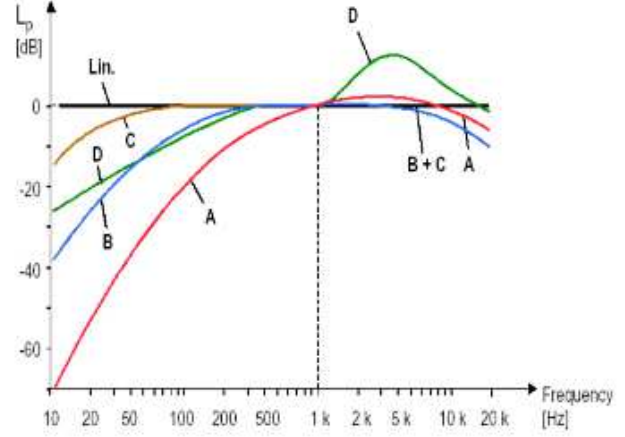
dB (C): 100 Fon eğrisine ise (C) eğrisi denilir ve 85 dB'den daha fazla olan sesler için kullanılır. Ayrıca bu ağırlıklanma, 31.5-8000 Hz frekansları arasındaki tüm frekanslara eşit önem verilir. Yaklaşık olarak düz bir frekans tepkisi vardır.

dB (D): Uçak gürültüsü ölçümlerinde kullanılır. 1 KHz- 10 kHz aralığındaki frekansları ekstra vurgu vermektedir.

Not: dB değeri cihazın ölçtüğü değerdir. dBA ise kulağımızın algıladığı sesi ifade eder.



Frekans (Hz)	A-ölçümü (dB)	B-ölçümü (dB)	C-ölçümü (dB)
30	-70.4	-38.2	14.3
31.5	-69.4	-37.2	-11.2
35	-66.7	-36.5	-8.5
40	-59.5	-24.2	-0.2
45	-44.7	-20.4	-4.6
50	-39.4	-17.1	-3.0
56	-34.5	-14.2	-2.0
63	-30.2	-9.8	-0.8
70	-27.5	-7.6	-0.5
80	-24.1	-5.8	-0.3
90	-20.1	-4.2	-0.2
100	-13.4	-3.0	-0.1
125	10.5	2.0	0
150	-8.6	-1.3	0
175	-6.8	-0.6	0
200	-4.8	0.5	0
300	-1.2	-0.3	0
315	1.9	0.1	0
350	-0.8	0	0
400	0	0	0
450	10.5	0	0
500	1.0	0	-0.1
600	1.1	0.1	0.2
700	1.1	0.2	0.3
800	1.1	-0.1	-0.5
900	1.0	0.7	0.8
1000	0.5	1.2	1.3
1200	-0.1	1.9	2.0
1400	1.1	2.0	3.0
1600	2.5	4.3	4.4
1800	4.3	6.1	6.2
2000	0.6	8.4	8.5
2500	-5.1	-11.1	-11.2



A-ölçümlü ses basınç düzeyi sık kullanılır. Devamlı gürültüye maruz kalma durumlarında ortaya çıkan işitme kaybının değerlendirilmesinde, insanları rahatsız eden gürültülerin azaltılmasında kullanılır. A- ölçümlü ses basınç düzeyinin birimi dBA'dır. İnsan kulağının işitme sistemi en çok 1000-4000 Hz arasındaki orta frekans aralıklarında duyarlıdır. İnsan kulağı, çok alçak ve çok yüksek frekanslara karşı çok duyarlı değildir. İnsanın işitme sisteminin frekans tepkisini yansıtır. Bu sebeple, gürültüye maruz kalma durumlarında sıkça kullanılır.

C-ölçümlü ses basınç düzeyi de sıkça kullanılır. 31.5 -8000 Hz frekansları arasındaki tüm frekanslara eşit önem verilir. Yaklaşık olarak düz bir frekans tepkisi vardır. Yukarıda bahsedilen nedenlerin dışında, frekans analizinin mümkün olmadığı durumlarda, A-ölçümlü ve C-ölçümlü düzeyler arasındaki fark, sesin içeriğindeki düşük frekans yoğunluğunu verir. Özellikle karayolu gürültüsünün içeriğindeki düşük frekans yoğunluğunu da dikkate almak için, ek olarak C-ölçümlü ses basınç düzeyi kullanılabilir.



Eşdeğer Sürekli Gürültü Düzeyi (Leq)

L_{eq} 'nin fonksiyonu belirlenmiş bir periyot için zaman değişkenine göre tek sayı ölçüler elde etmek içindir. Topluluk içindeki sesler, kamyon otomobil gürültüsü, hava alanı gürültüsü ve birçok sanayi gürültüsü L_{eq} değerini analiz edebilecek tipik örneklerdir.

$$\text{Devamlı Süre İntegrali} \quad L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \left[\int_{t_1}^{t_2} 10^{L_A(t)/10} dt \right] \right]$$

$t_2 - t_1$ = integralin süresi

L_A = anlık A-ağırlıklı ses düzeyi

$$\text{Anlık Örnekleme} \quad L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n 10^{L_{A(j)}/10} \right] \right]$$

$L_{A(j)}$ = j'inci numunedeki anlık A-ağırlıklı ses düzeyi

n = gözlem süresi boyunca alınan numune sayısı



Gündüz-Akşam-Gece Gürültü Düzeyi (Lgag)

Uzun süreli ses ortamı hesabı için gün, gece ve gündüz bazlı 24 saatlik eşdeğer ses düzeyine ihtiyaç duyulmaktadır.

$L_{gündüz}$ = ISO 1996-2: 1987'de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün gündüz periyotlarında elde edilmiş olan, A - ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

$L_{akşam}$ = ISO 1996-2: 1987'de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün akşam periyotlarında elde edilmiş olan, A - ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

L_{gece} = ISO 1996-2: 1987'de kabul edilmiş olan, bir senenin bütün gece periyotlarında elde edilmiş olan, A - ölçümlü ortalama ses düzeyidir.

Bu kabulde, gündüz 12 saat, akşam 4 saat ve gece de 8 saat olarak alınmıştır. Geçerli saat aralıkları da 07:00 -19:00, 19:00 -23:00 ve 23:00 - 07:00'dir.



Ses Etkilenim Düzeyi, (SEL, L_E)

Kısa süren ve yükseldikten sonra alçalan tekil gürültü olaylarının tek bir değerle ifade edilebilmesinde ses etkilenim seviyesi (SEL, L_E) kullanılır. SEL parametresi her zaman için 1 saniyeye normalize edildiğinden ölçüm süreleri farklı olan olayların karşılaştırılabilmesinde de kullanılabilir. Ölçüm cihazlarının gelişmesiyle beraber SEL parametresi doğrudan doğruya cihaz üzerinden takip edilebilir bir hale gelmiş ve farklı noktadaki gürültülerin birleştirilmesi veya karşılaştırılması amacıyla da kullanılmaya başlanmıştır.

Anlık Örnekleme

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_{A(i)}/10} \Delta t \right]$$

Devamlı Süre İntegrall

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} 10^{L_A(t)/10} dt}{1 \text{ s}} \right]$$

$L_{A(i)}$ = i'inci numunedeki anlık A ağırlıklı ses düzeyi
n = gözlem süresi boyunca alınan numune sayısı
 Δt = numuneler arasındaki zaman aralığı
SEL ile L_{eq} arasındaki bağıntı aşağıda verilmektedir.

$$L_{eq} = 10 \log \sum 10^{SEL_i / 10} - 10 \log t$$

t : süre, s.

$$SEL = L_{eq} + 10 \log \left(\frac{t}{1 \text{ s}} \right)$$



İstatistiksel Ses Seviyeleri (L_n) (L_{10} , L_{50} , L_{90})

L_n olarak gösterilen istatistiksel ses seviyesi, belirli bir zaman dilimi içinde ölçülmüş gürültü ortamını anlatmakta olup, zamanın yüzde N'inde aşımış gürültü seviyesi anlamına gelmektedir. Çevresel gürültünün değerlendirilmesinde, istatistiksel dağılımların ölçülmesi ve incelenmesi oldukça faydalıdır.

İstatistiksel ses seviyesi, belirli bir olay sırasında (örneğin araç trafiği) dalgalanan gürültü seviyelerini belirtir. Kapsadığı zaman herhangi bir uzunlukta olabilir, fakat genellikle bir saat ya da daha fazla olur. Değişik ağırlık faktörleri de kullanılabilir ama genellikle A-ağırlıklı ses seviyesi kullanılır.

L_{10} , L_{50} , L_{90} en çok kullanılan istatistiksel değerlerdir. L_{10} , yüksek düzey ve kısa süreli gürültülerin ortalama bir ölçümünü verir. L_{50} , orta ses seviyesidir ve zamanın %50'sinde aşılan ses seviyesini gösterir. L_{90} ise zamanın %90'ında aşılan ses seviyesini gösterir.

L_{10} ile L_{90} arasındaki fark, gürültü seviyelerinin zamanın yüzde 80'inde geçirdiği alanı gösterir. Belirli bir zamanda, gürültü seviyelerinin standart sapması, istatistiksel dalgalanmayı gösterir.

L_{10} , toplam gürültü, ölçüm süresinin %10'u kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. Geri kalan %90'lık sürede, gürültü seviyesi bu seviyenin altında kalmıştır. Bu parametre, ölçülen gürültünün maksimum seviyesi hakkında bilgi içerir.

L_{50} , toplam gürültü, ölçüm süresinin %50'si kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. Bu parametre, ölçümü yapılan çevresel gürültünün ortalama seviyesi hakkında bilgi içerir.

L_{90} , toplam gürültü, ölçüm süresinin %90'ı kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. Geri kalan %10'luk sürede, gürültü seviyesi bu seviyenin altında kalmıştır. Bu parametre, ölçümü yapılan çevresel gürültünün arka plan seviyesi hakkında bilgi içerir.

Sayet bir ölçüm bölgesinde arka plan gürültüsü ölçümü yapılamıyorsa bu durumda o bölge için L_{90} değeri arka plan gürültüsü yerine kullanılabilir.



L10, toplam gürültü, ölçüm süresinin %10'u kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. Geri kalan %90'lık sürede, gürültü seviyesi bu seviyenin altında kalmıştır. *Bu parametre, ölçülen gürültünün maksimum seviyesi hakkında bilgi içerir.*

L50, toplam gürültü, ölçüm süresinin %50'si kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. *Bu parametre, ölçümü yapılan çevresel gürültünün ortalama seviyesi hakkında bilgi içerir.*

L90, toplam gürültü, ölçüm süresinin %90'ı kadar bir süre içinde aşılan gürültü seviyesini gösterir. Geri kalan %10'luk sürede, gürültü seviyesi bu seviyenin altında kalmıştır. *Bu parametre, ölçümü yapılan çevresel gürültünün arka plan seviyesi hakkında bilgi içerir.*

Örnek: Tabloda, 1 saat içinde yapılan 6 ölçüm yer almaktadır. L_{eq} değerini bulunuz.

Numuneler (n)	L_A (dB)	$10^{L_A/10}$
1	55	0.32×10^6
2	61	1.26×10^6
3	85	316.23×10^6
4	76	39.81×10^6
5	81	125.89×10^6
6	63	2.00×10^6
Toplam =		485.51×10^6

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_{A(i)}/10} \right] \right]$$

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{6} (485.51 \times 10^6) \right)$$

$$L_{eq} = 79.1 \text{ dB bulunur.}$$



$$\left. \begin{aligned} L_{\text{gündüz}} &= 78,2 \text{ dBA} = L_{\text{eqA}} \\ L_{\text{akşam}} &= L_{\text{eqA}} = 68,7 \text{ dBA} \\ L_{\text{gece}} &= L_{\text{eqA}} = 59,3 \text{ dBA} \end{aligned} \right\} L_{\text{gag}} = ?$$

$$L_{\text{gag}} = 10 \log \frac{1}{24} \left[(12 \cdot 10^{\frac{78,2}{10}}) + (4 \cdot 10^{\frac{(68,7+5)}{10}}) + (8 \cdot 10^{\frac{(59,3+10)}{10}}) \right]$$

$$L_{\text{gag}} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left[(12 \cdot 10^{\frac{78,2}{10}}) + (4 \cdot 10^{\frac{(68,7+5)}{10}}) + (8 \cdot 10^{\frac{(59,3+10)}{10}}) \right]$$

$$L_{\text{gag}} = 76 \text{ dBA}$$



SEL, $L_E = 100 \text{ dBA}$ A makinesini günde 50 kez

SEL, $L_E = 110 \text{ dBA}$ B " " 10 kez

SEL, $L_E = 90 \text{ dBA}$ C " " 70 kez

$L_{\text{eq}} = ?$

Görün $L_{\text{eq}} = 10 \log \sum 10^{\frac{\text{SEL}}{10}} - 10 \log T$

$$L_{\text{eq}} = 10 \log (50 \cdot 10^{\frac{100}{10}} + 10 \cdot 10^{\frac{110}{10}} + 70 \cdot 10^{\frac{90}{10}}) - 10 \log (8 \cdot 3600)$$

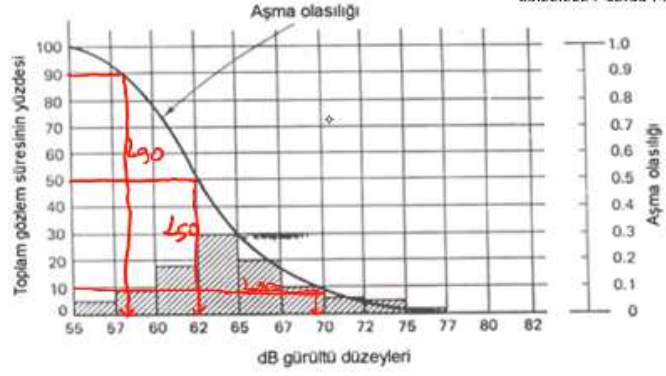
$$L_{\text{eq}} = 72,9 \text{ dBA}$$



- Soru $L_n \Rightarrow L_{50}, L_{90}, L_{10}$
- a) Zamanın %10'unda
 b) " %50'sinde
 c) " %90'ında aşılacak ses düzeyi??

Çözüm

- a) $L_{10} \approx 69 \text{ dBA}$
 b) $L_{50} \approx 63 \text{ dBA}$
 c) $L_{90} \approx 58 \text{ dBA}$

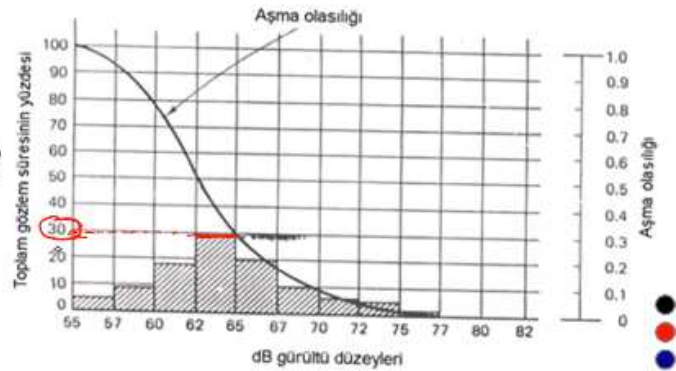


- Soru $L_n \Rightarrow L_{50}, L_{90}, L_{10}$
- a) Zamanın %10'unda
 b) " %50'sinde
 c) " %90'ında aşılacak ses düzeyi??

Çözüm

- a) $L_{10} \approx 69 \text{ dBA}$
 b) $L_{50} \approx 63 \text{ dBA}$
 c) $L_{90} \approx 58 \text{ dBA}$

- d) 62 dBA ile 65 dBA arasında o bölgedeki toplam gözlem süresinin yüzdesi ne kadar?



Soru Ses düzeylerinde toplama yapmak

A. iki kaynağın Ses düzeyi eşit ise; kaynaqlardan bir tanesine 3dBa eklenir.

$$L_1 + L_1 = \underline{\underline{L_1 + 3\text{dB}}}$$

$$90\text{dB} + 90\text{dB} = \underline{\underline{180\text{dB}}}$$

Yanlış

$$90\text{dB} + 90\text{dB} = \underline{\underline{93\text{dB}}}$$

Ses düzeyi aynı ama 10'den fazla kaynağın...

05.22.24

n tane L_i	Ses kaynağı, n Sayısı	Toplam düzey, dB
	1	L_i
	2	$L_i + 3$
	3	$L_i + 5$
	4	$L_i + 6$
	5	$L_i + 7$
	6	$L_i + 8$
	7	$L_i + 8,5$
	8	$L_i + 9$
	9	$L_i + 9,5$
	10	$L_i + 10$
	...	
	n	$L_i + 10 \cdot \log n$

$$\frac{30\text{dB} + 30\text{dB} + 30\text{dB}}{1 \quad 2 \quad ?} = \underline{\underline{35\text{dB}}}$$



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI

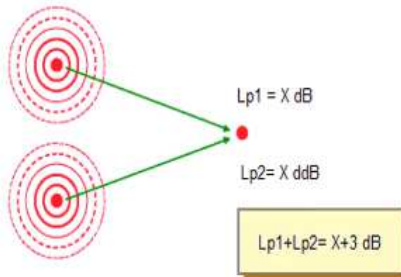
TEMEL AKUSTİK EĞİTİMİ VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ

Ses Düzeylerinde Toplama

İki Ses Düzeyi eşit seviyede ise

İki veya daha fazla ses kaynağının eşit seviyede ses düzeyine sahip olması durumunda aşağıdaki işlemlerden yararlanılarak nihai düzey hakkında hesap yapılabilir.

Ses Kaynağı sayısı	Toplam Düzey, dB
1	L_1
2	$L_1 + 3$
3	$L_1 + 5$
4	$L_1 + 6$
5	$L_1 + 7$
6	$L_1 + 8$
7	$L_1 + 8,5$
8	$L_1 + 9$
9	$L_1 + 9,5$
10	$L_1 + 10$
n	$L_1 + 10 \log n$



L_i	Ses kaynağı, n Sayısı	Toplam düzey, dB
	1	L_i
	2	$L_i + 3$
	3	$L_i + 5$
	4	$L_i + 6$
	5	$L_i + 7$
	6	$L_i + 8$
	7	$L_i + 8.5$
	8	$L_i + 9$
	9	$L_i + 9.5$
	10	$L_i + 10$
	...	
	n	$L_i + 10 \cdot \log n$

$L_i = 35 \text{ dB}$
 $L_T = 83 \text{ dB}$
 $L_T = L_i + 10 \log(20)$
 $L_T = 35 + 10 \cdot 1.3$
 $L_T = 78 \text{ dB}$

20 adet 65 dB fan aynı anda çalışırsa $L_T = ?$

$L_T = 65 + 10 \log 20$
 $L_T = 65 + 10 \cdot 1.3$
 $L_T = 78 \text{ dB}$

B) Ses düzeyleri farklı kaynakların toplamı

$L_1 = 90$
 $L_2 = 90$
 $L_1 - L_2 = 0 \Rightarrow$
 $L_T = 3$

90
 89
 100
 90
 $\Delta L = 10 \text{ dB}$

95
 96
 $L_T \approx 96 \text{ dBA}$





İki Ses Düzeyi Farklı Seviyelerde ise

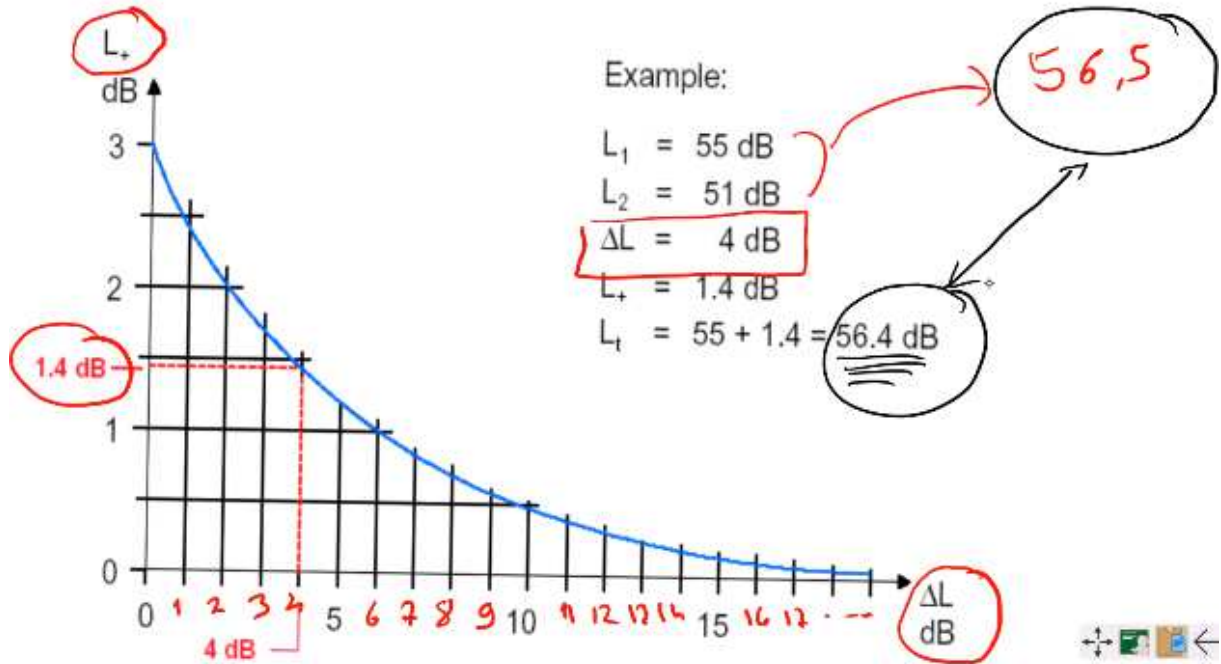
İki ses düzeyinin farklı seviyelerde olması durumunda ise aşağıda verilen tablo değerleri kullanılarak gerekli toplama işlemi yapılabilir.

İki sesin düzey farkı (dB) Yüksek düzeyli olana eklenecek değer (dB)

3 <	0	3.0
1	1	2.5
2 <	2	2.1
3	3	1.8
4	4	1.5
5	5	1.2
6	6	1.0
7	7	0.8
8	8	0.6
0,5 <	9	0.5
10	10	0.4

İnsan kulağının ses düzeyine duyarlılığı yarı düzeyi farklı iki sesi birbirinden ayırtma aralığı 1 - 2 dB dolaylarındadır. Bu nedenle çok büyük kesinlik gerektirmeyen hesaplamalarda 1 dB'lik yaklaşıklık yeterli sayılır.

05.22.20



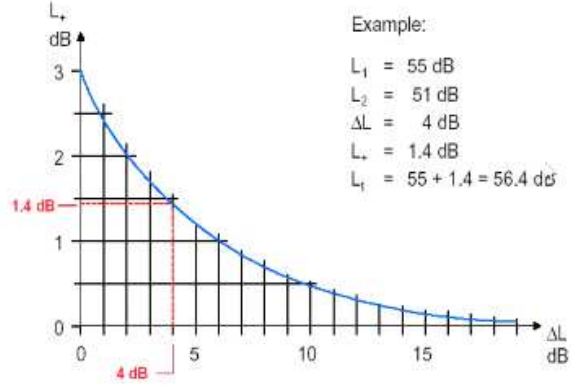


1. İki ses basınç düzeyi arasındaki fark (ΔL) hesaplanır.
2. L_+ değerini bulmak için eğri kullanılır.
3. L_+ (toplam) değerini bulmak için L_1 değeri, büyük olan ses basınç düzeyine eklenir.

Buradaki örnekte $\Delta L = 4$ dB verilmiş, dolayısıyla eğriden L_+ değeri 1.4 dB ve $L_+ = 56.4$ dB olarak hesaplanabilir.

$\Delta L = 0$ olması durumunda $L = 3$ dB bulunur ki bu bir önceki sayfada kaynakların eş büyüklükte olması halinde tek kaynaktan elde edilen değere 3 dB eklenmesine karşılık gelir.

Eğer iki kaynağın belirli bir noktada oluşturdukları ses basınç düzeylerinin farkı 10 dB'den büyükse, küçük kaynağın o noktaya katkısı göz ardı edilebilir.



$$\begin{aligned} \Delta L = 0-1 & \Rightarrow L_{\text{Toplam}} \text{ yüksek} +3 \\ \Delta L = 2-3 & \Rightarrow \text{''} +2 \\ \Delta L = 4-8 & \Rightarrow \text{''} +1 \\ \Delta L = 9-10 & \Rightarrow \text{''} +0,5 \\ \underline{\Delta L > 10} & \Rightarrow L_{\text{yüksek}} \end{aligned}$$

Soru
 $L_1 = 90$
 $L_2 = 95$
 $L_3 = 75$) $\Rightarrow \Delta L = 20$
+
 $95 + 75 = \underline{\underline{95 \text{ dB}^*}}$

$$90 + 95 \Rightarrow \Delta L = 5 \text{ dB}$$

$$L_{\text{Toplam}} = 95 + 1 \Rightarrow \underline{\underline{96 \text{ dB}}}$$

Soru

102,6
~~90dB~~ ~~95dB~~ ~~100dB~~ ~~93dB~~ ~~92dB~~ ~~75dB~~ ~~70dB~~ ~~70dB~~

101,9

$\Delta L = 8,5$

93,4

$101,9 + 0,6 = 102,5 \text{ dB}$

İki sesin düzey farkı (dB): Yüksek düzeyli olanı eklemek değil (dB)

3 <	3.0
1	2.5
2 <	2.1
3	1.8
4	1.5
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.6
9	0.5
10 <	0.4

İnsan kulağının ses düzeyine duyarlılığı yarı düzeyi farkı iki sesi birbirinden ayırtmaya yeterli: 1 - 2 dB düzeylerindedir. Bu nedenle tek büyük kesidekiler gerektirmeyen hesaplanırlar! dB'lik yaklaşıklık yeterli sayılır.

Soru

$$c = m/sn$$

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \text{frekans (Hz, 1/sn)}$$

↓
Dalgaboyu (m)

$$c = 331,5 \cdot \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \rightarrow ^\circ C$$

$$T = 20^\circ C \Rightarrow c_{20} = 331,5 \cdot \sqrt{1 + \frac{20}{273}} \approx 344 \text{ m/sn}$$

$$T = 50^\circ C \Rightarrow c_{50} = 331,5 \cdot \sqrt{1 + \frac{50}{273}} \approx 360,5 \text{ m/sn}$$

Soru

1 dakikalık gürültü ölçüm süresinde zamanın $0/10'$ 'inde 65dBA , $0/10'$ 'inde 72dBA , geriye kalan kısmında ise $76,5\text{dBA SPL}$ ölçüm cihazı 1 sn'de impuls aldığına göre, ölçüm süresi sonunda $L_{eq} = ?$

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_1 - t_0} \left(\int_{t_0}^{t_1} 10^{L_{si}/10} \cdot dt \right) \right]$$

$$\Rightarrow L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{60} \left(\underbrace{0,4 \cdot 60 \cdot 10^{65/10}}_{24} + \underbrace{0,35 \cdot 60 \cdot 10^{72/10}}_{21} + \underbrace{0,25 \cdot 60 \cdot 10^{76,5/10}}_{15} \right) \right]$$

$$L_{eq} = 72,5 \text{ dBA}$$

Soru

Bir kaynağın ses gücü $17,8 \cdot 10^2 \text{ watt}$

a) Ses gücü düzeyi, $L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \rightarrow$ Kaynağın gücü 10^{-12} watt

$$L_w = 10 \cdot \log \left(\frac{17,8 \cdot 10^2}{10^{-12}} \right) = 112,5 \text{ dB}$$

b) 75m uzaklıkta a sıklığında verilen gürültü kaynağının ses şiddeti düzeyini bulunuz

$$I, L_I = \frac{I}{I_0 \rightarrow 10^{-12} \text{ watt/m}^2}$$

Örnek

$$L_{\text{Toplam}} = 10 \cdot \log \left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + \dots + 10^{L_n/10} \right)$$

$$L_1 = 65 \text{ dB}$$

$$L_2 = 60 \text{ dB}$$

$$L_3 = 59 \text{ dB}$$

$$L_T = 10 \cdot \log \left(10^{6,5} + 10^6 + 10^{5,9} \right)$$

$$L_T = 66,9 \text{ dB}$$

Ses Düzeylerinde Gıkarma

ölçülen $\Rightarrow L_s + L_n \rightarrow$ Fon gürültüsü

\downarrow
Kaynak gürültüsü

I. Ölçülen = $L_s + L_n$

II. Ölçülen = L_n

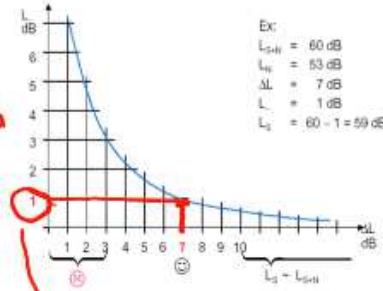
örnek

I. $L_s + L_n = 60 \text{ dB}$

II. $L_n = 53 \text{ dB}$

$$\Delta L = 60 - 53 = 7 \text{ dB}$$

$$L_s = 60 - 1 = 59 \text{ dB}$$



İki düzey arasındaki farkı

$$L_p = 10 \cdot \log \left(10^{(L_s + L_n)/10} - 10^{L_n/10} \right)$$

Soru

Bir yerde iki kaynak birlikte çalışırken SPL = 90 dB'dir. Bu kaynaklardan birisinin Ses basınç düzeyi (SPL) 80 dB

$$L_p = 10 \log \left(10^{90/10} - 10^{80/10} \right) \approx 89.5 \text{ dB}$$



SORU

Aşağıda verilmiş olan tablodaki oktav-bant ses basınç düzeylerinin, toplam A ağırlıklı ses düzeyini, L, bulunuz.

31.5 Hz	74 dB
63 Hz	66 dB
125 Hz	71 dB
250 Hz	61 dB
500 Hz	60 dB
1000 Hz	75 dB
2000 Hz	82 dB
4000 Hz	80 dB
8000 Hz	87 dB
16000 Hz	90 dB

Çözüm

Oktaf bant orta frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ağırlık katsayısı	-20	-16	-8.5	-3	0	-1	+1	-1

Verilen tabloda her bant için dB değerinin dBA değerine çevrilme katsayıları kullanılarak,

31.5 Hz deki	74 dB = 74 - 39.4 = 34.6
63 Hz deki	66 dB = 66 - 26.2 = 39.8
125 Hz deki	71 dB = 71 - 16.1 = 54.9
250 Hz deki	61 dB = 61 - 8.6 = 52.4
500 Hz deki	60 dB = 60 - 3.2 = 56.8
1000 Hz deki	75 dB = 75 + 0 = 75
2000 Hz deki	82 dB = 82 + 1.2 = 83.2
4000 Hz deki	80 dB = 80 + 1.0 = 81
8000 Hz deki	87 dB = 87 - 1.1 = 85.9
16000 Hz deki	90 dB = 90 - 6.6 = 83.4 değerleri bulunur.

Daha sonra her bantdaki dBA değerini toplam ses düzeyini bulmak için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$L_p = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \text{ dBA}$$

$$L_p = 10 \log (10^{34.6/10} + 10^{39.8/10} + 10^{54.9/10} + 10^{52.4/10} + 10^{56.8/10} + 10^{75.0/10} + 10^{83.2/10} + 10^{81.0/10} + 10^{85.9/10} + 10^{83.4/10}) \text{ dBA} = 89.9 \text{ dBA}$$



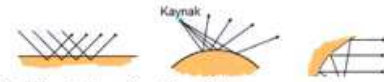
SESİN YANSIMASI

Hava içinde yayılan ses enerjisi, duvar, döşeme kapı, camlı bölme v.s bir engelle çarptığında bu enerjinin bir bölümü yansır, bir bölümü engeli geçer, bir bölümü ise yutulur. Yansıyan ses enerjisi düzgün ya da dağınık olabilir. Düzgün yansımada gelen ses ışınları yüzeyin normali ile eşit açı yaparak geri yansır. Dağınık yansımada yansıyan ses ışını yüzeyin normali ile değişik açılar yaparak dağılır.

Ses, dalga boyundan daha büyük ençellere çarptığında yansımaya meydana gelir.

250 Hz	61 dB
500 Hz	60 dB
1000 Hz	75 dB
2000 Hz	82 dB
4000 Hz	80 dB
8000 Hz	87 dB

Sesin Yansımaları



250 Hz deki	61 dB = 61 - 8.6 = 52.4
500 Hz deki	60 dB = 60 - 3.2 = 56.8
1000 Hz deki	75 dB = 75 + 0 = 75
2000 Hz deki	82 dB = 82 + 1.2 = 83.2
4000 Hz deki	80 dB = 80 + 1.0 = 81
8000 Hz deki	87 dB = 87 - 1.1 = 85.9
16000 Hz deki	90 dB = 90 - 6.6 = 83.4 değerleri bulunur.

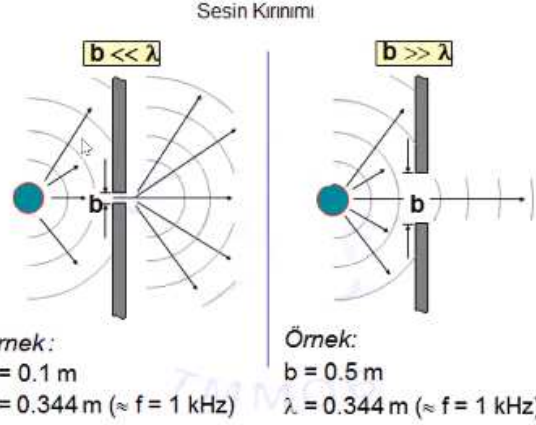
Daha sonra her bantdaki dBA değerini toplam ses düzeyini bulmak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

Bir engelle ses dalgalarını gönderip, engelden yansıyan sesin tekrar geri dönmesi arasında geçen süreden engelin uzaklığı tespit edilir. Yankı olayının gerçekleşmesi için gerekli en küçük uzaklık 20°C de 17 m'dir. Engelle aramızdaki uzaklık 17 metreden küçük ise yansıyıp geri dönen sesi ayırt edemeyiz.



SESİN KIRINIMI

Kırınım ses dalgalarının bir aralıktan geçerken yön değiştirmesi olayıdır. Sesin yayılma alanı içerisinde bulunan nesnelere kırınım yolu açar. Kırınımın etkisini hesaplayabilmek için engelin boyutlarının sesin dalga boyuna oranını karşılaştırmak gerekir. Kırılma olayının olması için sesin dalga boyu her bir küçük elemanın boyutlarından büyük olması gerekir. Eğer aralığın genişliği sesin dalga boyundan daha küçükse, ses bu aralığın çıkışında gerçek bir kaynakmış gibi davranır ve her doğrultuda ses yayılır. Aralığın genişliği sesin dalga boyundan büyükse bu durumda ses herhangi bir etkiye uğramadan yoluna devam eder.



SESİN YUTULMASI

Gelen ses enerjisi bir engele çarptığında bu enerjinin bir kısmı engel tarafından yutulur. Bu yutum engelin özelliğine bağlıdır. Kumaş, pamuk, cam yünü gibi maddeler ses enerjisinin çoğunu yutar azını yansıtır mermer, demir v.s gibi maddeler ise tam tersine ses enerjisinin azını yutar çoğunu yansıtır.

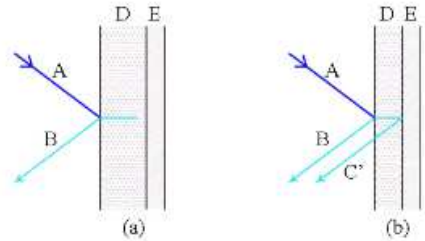
Sesin yutulması özelliğinden yararlanılarak çeşitli izolasyon malzemeleri üretilir ve bunlar gürültü kontrolünde büyük rol oynar.

$\alpha = E_y / E_t$ burada

E_y = Yüzeyde tutulan enerji

α = Ses yutma katsayısı

E_t = Yüzeye gelen toplam enerji



Gözenekli Bir Tabakadaki Yutuculuğun Şematik Gösterimi

A: Gelen ses

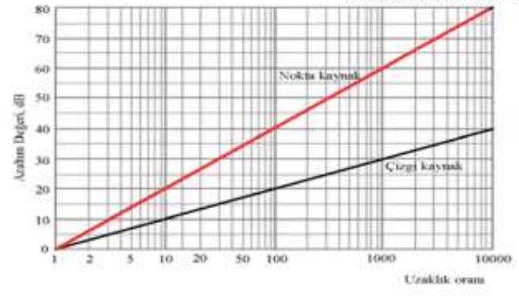
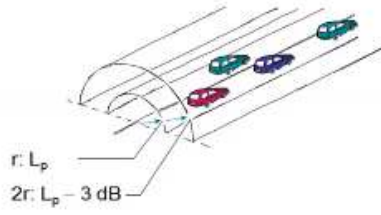
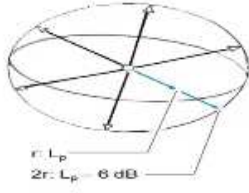
B: Yansımış ses

C: Tabaka tarafından yutulan ses;

C' : Arka duvar tarafından yansıtılan ses;

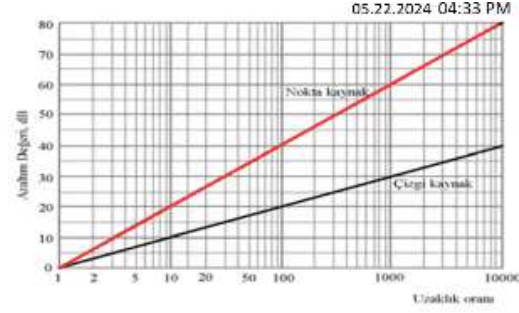
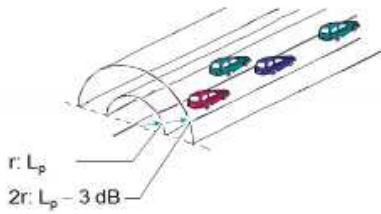
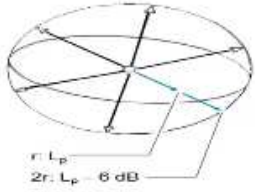
D: Gözenekli tabaka;

E: Rijit arka duvar.



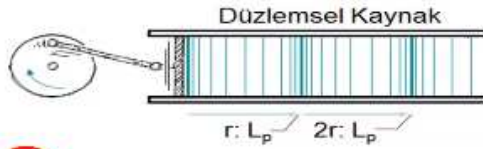
Acık Alanda

- Alıcı- Kaynak uzaklığı
- Sınırlı yol görüşü
- Meteorolojik Faktörler (Rüzgar, Rüzgar yönü, sıcaklık, nem vs.)
- Havanın yutuculuğu
- Zemin faktörü
- Engel Faktörü



Ses Kaynakları

- 1- Noktasal Kaynaklar
- 2- Çizgisel Kaynaklar
- 3- Düzlemsel "



SPL = Ses Basınç Düzeyi



$$SPL_2 = SPL_1 - 6 \text{ dB}$$

$$L_2 = L_1 - 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

$$L_2 = L_1 - 20 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$L_2 = L_1 - 20 \log \left(\frac{2}{1} \right) \Rightarrow L_2 = L_1 - 20 \log 2$$

$$L_2 = L_1 - 20 \cdot 0,3$$

$$L_2 = L_1 - 6$$

Soru

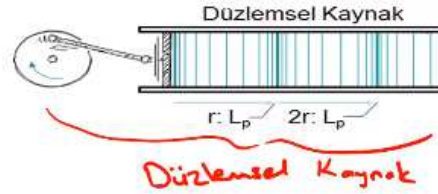
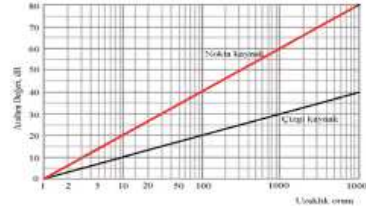
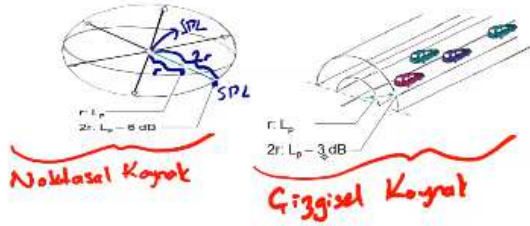
Bir kaynaktan 1m uzaklıkta ölçülen SPL = 80 dBA'dır

noktasal

Bu noktasal kaynaktan 8m uzaklıkta SPL = ?

$$L_p = 80 - 20 \log \left(\frac{8}{1} \right)$$

$$L_p = 80 - 20 \cdot 0,9 = 80 - 18 = 62 \text{ dBA}$$



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI

TEMEL AKUSTİK EĞİTİMİ VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ

Sesin Yayılmasında Uzaklık Faktörünün Etkisi

Ses kaynakları normalde;

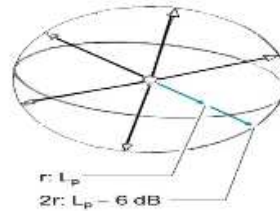
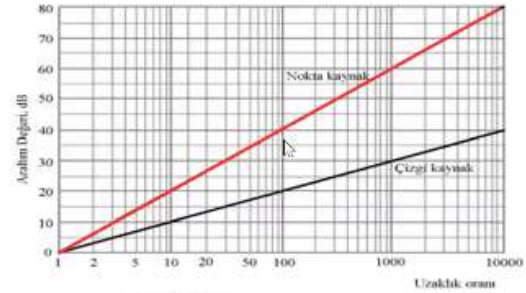
- Noktasal kaynaklar
- Çizgisel Kaynaklar ve
- Düzlemsel Kaynaklar olmak üzere üçe ayrılır.

Bir ses basıncının yandaki şekilde uzaklık azaltımı ile kaynağın türüne göre nasıl bir azalım gösterdiği verilmektedir.

Noktasal Kaynak:

Boyutları ürettikleri sesin dalga boyundan daha küçük olup küresel dalgalar yayan kaynaklardır. Fiziksel olarak statik veya hareketli olabilirler. Çeşitli noktasal kaynaklar vardır. Bu kaynaklardan çıkan ses dalgaları küresel şekilde yayılırlar. Ve mesafenin ikiye katlanması ile ses basınç değerinde 6 dB'lik bir azalım sağlanır.

$$L_2 = L_1 - 10 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2$$



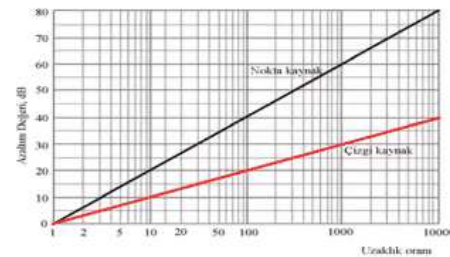
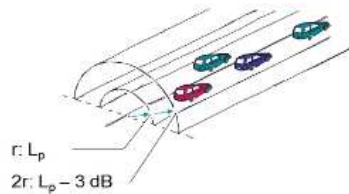
T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI

TEMEL AKUSTİK EĞİTİMİ VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ

Çizgisel Kaynak:

Birden fazla eşit düzeyde noktasal kaynağın bir doğrultu üzerinde birbirine çok yakın bulunması ile oluşur. Çizgisel kaynaklar sonsuz uzunluklu veya sınırlı uzunluklu silindirik dalgalar yayarlar. Çizgisel kaynaklarda ses basınç düzeyi mesafenin ikiye katlanması ile birlikte 3 dB azalıma uğrar.

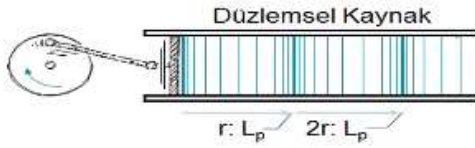
$$L_2 = L_1 - 10 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$





Düzlemsel Kaynak:

Eşit düzeyde noktasal (monopol) kaynakların bir düzlem üzerinde bir araya gelmeleri ile oluşur. Örneğin bir binanın tüm duvarları ve tavanı ses yayıyorsa r yarıçaplı bir yarı küre üzerinde ses enerjisi hesaplanabilir. Düzlemsel kaynaklar için o yapı içinde ses basınç düzeyinin çok bir değişim göstermediği kabul edilir. (Örn. Asansör boşluklarında en alttaki asansör kapısının kapandığında çıkardığı ses basınç düzeyi üst katlara kadar çok fazla bir azalmı göstermeksizin ulaşabilir.



Q Yönelme katsayısı

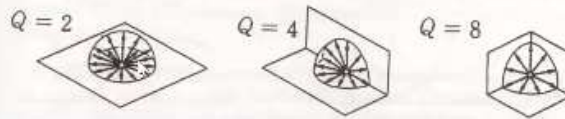
Noktasal bir ses kaynağından ses küresel dalgalar şeklinde yayılır. Ancak ses kaynağından çıkan ses dalgaları her yönde farklılık gösterir. Örneğin bir hoparlörden çıkan ses hoparlörün yüzüne dik yönde diğer yönlerdekinden daha yüksek olacaktır. Bir noktadaki yönelme katsayısı Q , o noktadaki ses şiddetinin sesin düzgün yayılması durumunda aynı noktada oluşturacağı ses şiddetine oranı olarak tanımlanır.

Yönelme Karakteristiği:

Mikrofon her doğrultu ve açıdan gelen sese aynı cevabı veremez. Düşük frekanslarda her yönden gelen sese verilen cevabın hemen hemen aynı olmasına rağmen yüksek frekanslarda mikrofonun arka tarafından gelen sesin algılanmasında kayıplar olmaktadır.

Çizelge Yönelme Durumu

Ses Kaynağı	Yönelme Faktörü, Q	Yönelme İndeksi, dB	
Açık alanda	1	0	$L = L_p$
Düz bir yüzeyde	2	3	$L = L_p + 3$ dB
İki düzlemin kesişiminde	4	6	$L = L_p + 6$ dB
Üç düzlemin kesişiminde	8	9	$L = L_p + 9$ dB





Kaynak güç seviyesine göre ses basınç seviyelerinin hesabı

Ses basınç düzeyi ile ses güç düzeyi arasındaki ilişki aşağıda verilen denklem yardımı ile hesaplanabilir. Bu hesaplama türü özellikle Çevre Mühendisliğinde ÇED raporu hazırlanırken raporun eklerinden olan Akustik Rapor kısmında oldukça önemlidir. Buna göre herhangi bir yere yapılacak ve ÇED raporu hazırlama ekine tabi tesisler için, bu tesislerin hem inşaat aşamasında (çalışacak dozer, ekskavatör, kamyon vs. sayıları) hem de işletmeye alındıktan sonra tesiste kullanılacak ekipmanlar (tür ve sayı itibarıyla dikkate alınarak) dikkate alınarak, henüz ortada bir inşaa ve tesis yokken buradan kaynaklanacak ses basınç seviyelerinin hesabına yönelik önemli bir yaklaşımdır. Dolayısıyla tesisin yapılacağı yerdeki en yakın yerleşim yerinin mesafesi dikkate alınarak (alıcı olarak en riskli durum) buradaki ses basınç seviyelerinin hesaplanmasında önemli role sahiptir.

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right), \text{ dB}$$



Örnek

Açık bir alanda çalışan kompresörün çıkarmış olduğu ses gücü değeri 10^{-3} Watt olarak katalogdan bulunmuştur. Bu kaynaktan 35 m uzaktaki alıcıdaki ses basınç düzeyi değerini hesaplayınız.

Çözüm:

$$L_p = 10 \log (10^{-3} / 10^{-12}) + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi \cdot 35^2} \right) = 48,1 \text{ dB}$$

Soru

$5 \cdot 10^{-3}$ Watt ses gücüne sahip bir kaynağın 200 m uzaktaki ses şiddeti yeğlinliğini hesaplayınız

Çözüm

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = 5 \cdot 10^{-3} / 4 \cdot 3,14 \cdot 200^2 = 9,95 \cdot 10^{-9} \text{ Watt/m}^2$$

Soru

Yukarıdaki soru için aynı uzaklıktaki ses basıncı değeri kaç dB olur (yönelme katsayısını 1 kabul ediniz)?

Çözüm

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) = 10 \log (5 \cdot 10^{-3} / 10^{-12}) + 10 \log [1 / (4 \cdot 3,14 \cdot 200^2)] = 97 \text{ dB} - 57 \text{ dB} = \mathbf{40 \text{ dB olarak bulunur.}}$$



Kapalı ortamlarda sesin yayılımı

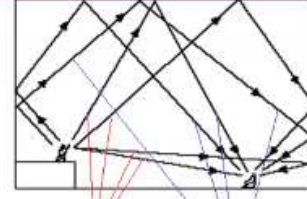
Sesin bir kapalı ortamda kaynaktan çıktıktan sonraki yayılımı;

- Kaynağın ses yapısına (Tayfsal ve düzey olarak)
- Kapalı mekanın geometrisine
- Kapalı mekanın iç ortam hacmine
- Kapalı mekanın iç döşeme türü ve büyüklüklerine
- Kapalı ortamdaki sesi absorbe edecek diğer malzemelerin olup olmamasına göre farklılık arz edecektir.

Yukarıda sayılan özelliklere göre sesin kapalı ortamlarda kaynaktan çıktıktan sonra doğrudan ve dolaylı (yansımış) olarak kapalı mekan içinde farklı noktalarda farklı değerlere sahip olabilecektir.

Kapalı bir ortamda yüzeylerden yansıyan seslerin bir araya gelmesine **reverberasyon** denir. Veya, ses kaynağı sustuktan sonra ses şiddetinin almış olduğu en yüksek değer bir milyonda birine düşmesi veya ses düzeyinin en yüksek değerinde 60 desibel aşağı düşmesi için saniye cinsinden geçen süreye o hacmin **reverberasyon süresi** denir.

Çok yüksek reverberasyon süresine sahip kapalı ortamlarda dinleyici, farklı doğrultulardan bir çok sesin olduğunu zanneder. Bu durum kaynağın yerinin belirlenmesinde güçlüğü neden olur.



Doğrudan ses

Yansımış ses veya



Reverberasyon süresi kapalı ortamlar için saniyeler mertebesinde dir. İnsan beyni sesi hafızasında 0,1 saniyeye kadar tutabilir. Eğer bir ses meydana geldikten sonra bu sesin yansımış olan hali 0,1 saniye içerisinde tekrar kulağa ulaşırsa kişi bu sesi uzamış ya da yankılanmış olarak hisseder.

17 metrelik bir odada sesin meydana gelip sonra yansıyıp tekrar kulağa gelmesi için 17+17=34 metrelik bir yol alması gerekir. Sesin oda sıcaklığında hızı 340 m/sn olduğundan 34 metrenin 340m/s'ye bölünmesiyle 0,1 s'ye elde edilir.

$$\text{Reverberasyon süresi (RT)} = (0,16 \cdot V) / A$$

şeklinde hesaplanabilir.

Burada V kabuğun hacmi (m³)

A ise iç mekandaki sesin yutulması ile ilgili bir değer kabuktaki toplam soğurma olarak tanımlanmaktadır.



GÜRÜLTÜ VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Gürültünün Tanımı

"Bir gün gelecek insanlar kolera ve veba gibi gürültüye karşı da amansız bir mücadele verecekler." Robert KOCH (1910)

Gürültü, "gelişigüzel bir yapısı olan ses spektrumu olup, sübjektif olarak istenmeyen ses", zaman içerisinde bir sesin tayfsal yapısında (sesin frekans özelliğinde) gelişigüzel düzensizliklerin olması ve genel olarak ta, beğenilmeyen, hoşla gitmeyen veya dinlenilmesine tahammül edilemeyen kısaca herhangi bir değeri olmayan sese veya seslere gürültü denilmektedir.

Çünkü hoşla giden rahatlatıcı seslere insanların ihtiyacı vardır. Sesin uyumsuz, düzensiz, kabul edilebilir olmaması ve istenen düzeyden yüksek çıkması o sesin gürültü olarak tanımlanması için yeterlidir.



Değişik gürültü düzeylerinin duyulanmaları kulakta farklı şekilde hissedilmektedir. Örneğin 0 dB insan kulağı için duyma eşiği değerini oluştururken, 130 dB kulak için ağır duyma eşiği olarak belirlenmiştir. Genelde, 85 dB'in üstü gürültü düzeylerinde, zamanla meydana gelen işitme rahatsızlıkları oluşmaktadır. Değişik konuşma türleri ve bunların sahip oldukları ses düzeyi değerleri ise aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge Farklı konuşma türlerinin sahip oldukları gürültü düzeyleri (Milli Prodüktivite Merkezi, 1974)

Ses düzeyi (dB)	Konuşma türü ve konumu
45	10 m'den normal konuşma
65	3 m'de normal konuşma, 6 m'de yüksek ses, 10 m'de çok yüksek ses ve 15 m' de bağırma
75	1 m'den çok yüksek ses, 2 veya 3 m'den bağırma
85	1 m'den bağırma



Nasıl Duyarız,

Yandaki Şekil A, insan kulağının şematik bir gösterimidir. Hava basınç dalgaları öncelikle kulak zarına (Timpanik membran) çarpar ve zarın titrer. Kulak zarına giden boşluk ve kulak zarının kendisi dış kulak olarak tarif edilmektedir. Kulak zarı fiziksel olarak orta kulakta bulunan ve kulak zarının titremesi ile hareket eden üç küçük kemiğe bağlıdır.

Konuşma dilinde sahip oldukları şekillere göre çekik, örs ve üzengi diye adlandırılan bu kemiklerin amacı fiziksel sinyali arttırmaktır.

Şekilde havayla dolu boşluk ise orta kulaktır. Sinyal gücü yükseltilmiş uyarı daha sonra koklea olarak adlandırılan salyangoz şeklindeki boşluğa bitişik yuvarlak pencere zarı vasıtasıyla iç kulağa iletilir.



Şekil B'de gösterilmiş olan ve içi sıvı ile dolu olan kokleanın içerisinde yuvarlak pencere zarına bitişik diğer bir zar olan baziler zar bulunmaktadır. Baziler zarlara tutunmuş ve karşılıklı şekilde konuşlanmış iki set halinde ince tüy hücreleri bulunmaktadır. Yuvarlak pencere zarı titrediğinde iç kulak sıvısı harekete geçer ve kokleadaki binlerce tüy hücresi elektrik sinyallerini birbirlerine ileterek bu sinyalleri işitsel sinirler boyunca beyne iletirler. Sesin frekansı bu tüy hücrelerini hangilerinin hareket edeceğini belirlemektedir. Yuvarlak pencere zarına yakın olan tüy hücreleri yüksek frekanslar için daha hassas olup bunlara cevap verirken, kokleanın uzağında sondaki tüyler ise düşük frekanslar için hassastırlar.





İnsan kulağında meydana gelen hasar değişik yollarla olmaktadır. İlk, anlık yüksek gürültü kulak zarını yırtabilir ve çoğu durumda yırtık kulak zarının iyileşmesi zayıf olur ve bunun neticesinde işitmede geçici veya kalıcı zararlar oluşabilir.

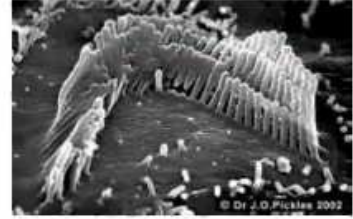
Orta kulaktaki kemik genelde yüksek gürültü düzeyinden zarar görmemesine rağmen, enfeksiyon neticesinde zarar görebilir. Denge duygusu genelde en çok orta kulağa bağlı olduğundan dolayı, bir orta kulak enfeksiyonu genelde insanı güçten düşürebilir.

Sonuçta en önemli ve çoğu kalıcı hasarlar ise iç kulaktaki tüy hücrelerinde meydana gelir. Oldukça yüksek sesler bu tüy hücrelerini yıpratır ve onların fonksiyonelliğinin durmasına neden olur. Gerekli tedavi imkanları ile çoğu zaman bu geçici bir durumdur. Maalesef iç kulaktaki hasarın uzaması durumunda, bu zarar kalıcı olmaya dönüşebilir. Bu hasar ne bir operasyonla ne de bir işitme cihazı yardımı ile düzeltilemez. Yüksek sesle müziğe maruz kalmak, genç insanlardaki kalıcı hasarın en çok karşılaşılan gizli ve üzücü kısmıdır.

Kulak zarı yırtılmalarında; ağrı, işitme kaybı, vertigo ve kusma hissi uyanırken, iç kulak membran yırtılmalarında ise; ani ileri derecede işitme kaybı vertigo ve bulantı kusma görülebilmektedir.



Normal sağlıklı kulaktaki tüy hücreleri



İşitme kaybına uğramış kulaktaki tüy hücreleri



Gürültünün Olumsuz Etkileri

Gürültüden duyulan rahatsızlığın başlıca şu faktörlere bağlı olduğu bilinmektedir. Bunlar:

- Gürültüye neden olan sesin frekansı
- Gürültü düzeyi
- Gürültüye maruz kalma süresi
- Gün boyu maruz kalınan gürültünün zamana göre dağılımı
- Çalışma hayatı boyunca maruz kalınan toplam süre
- Ferdin cinsiyeti ve yaşı

A.B.D'de İş Güvenliği ve Sağlığı Biriminin (Occupational Safety and Health Act) yapmış olduğu çalışmaya göre insanların gürültü düzeyine göre gürültüye maruz kalma süreleri arasında bir yaklaşım geliştirmiştir. Buna göre çalışan bir insan için günlük çalışma süresinin 8 saat ve bu sekiz saatlik çalışma periyodundan en fazla 90 dBA gürültü düzeyine maruz kalabileceğini beyan etmişlerdir.

Ülkemiz mevzuatlarında ise halihazırda 28.07.2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan «Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik» yönetmelik mevcuttur.



Yüksek gürültü düzeyi; rahatı, emniyet hissini ve dolaylı olarak da çalışma verimliliğini olumsuz etkiler. Gürültünün giderek artması kişiler üzerinde önce rahatsızlık duygusuna neden olmakta, arkasından konuşmayı zorlaştırmakta ve en sonunda da işitme yeteneğini azaltmaktadır.

Düzeği yüksek gürültü içinde uzun süre çalışmanın veya bulunmanın işitme gücü üzerinde olumsuz ve onarılamayacak sonuçlar doğurduğu bilinmektedir. Güvenli gürültü düzeyinin belirlenmesinde veya yüksek gürültü düzeylerine ne kadar süre dayanılabileceğinin ortaya konulmasında ise çeşitli nedenler rol oynamaktadır. Bunlar şöylece özetlenebilir:

- Aşırı gürültüye kısa süreli maruz kalma bile geçici sağırılığa yol açabilmektedir. Bu tür sağırılık birkaç dakika içinde ortadan kalkabildiği gibi haftalarca, hatta aylarca da sürebilir. Bu gibi geçici sağırılıklar, daha önceden var olan işitme duygusu eksilmelerinin de üzerine eklenik biçimde olumsuz katkı sağlayacaktır.
- İleri yaşlarda, özellikle tiz seslere karşı olmak üzere işitme duygusunda bir eksilme söz konusudur. Yaşlılıktan ileri gelen sağırılıkla yüksek gürültü düzeylerinin yol açtığı sağırılık arasında bir ilişki yoktur.
- Sürekli sağırılık doğuran gürültü düzeyleri bakımından kişiler arasında da önemli farklılıklar bulunabilmektedir (cinsiyet, motivasyon, vs.)



Müsaade edilen 85 dB şiddetindeki ses düzeyinin üzerinde gürültüye maruz kalan kişilerde gürültü, sağırılığa neden olabilir. Yıllara göre işitmede meydana gelen kayıplar aşağıda verildiği şekilde meydana gelebilir.

dB	5 yıl sonra	10 yıl sonra	20 yıl sonra
80	0	0	0
90	4	10	16
100	12	29	42
110	26	55	78



Gürültü, ilk bakışta önemsiz gibi görünse de, günlük hayatımızda en yoğun olarak karşı karşıya kaldığımız kirlilik türlerinden biridir. Gürültü etkisinde kalan insanların uyku saatleri bozulur, iş verimleri düşer. Konuşulanların anlaşılabilmesi, işitme duyarlılığında geçici olarak azalma, yorgunluk, bezginlik gibi psikolojik problemler ortaya çıkarmaktadır. Ani gürültüye maruz kalan insan vücudunda ani bir kas gerilmesi oluşur ve böylesi bir refleksin önlenmesi mümkün değildir. Dolayısıyla gürültülü bir ortamda bulunan canlıların rahat etmesi mümkün değildir. Aynı zamanda fiziki dayanıklılığı da olumsuz yönde etkilediğinden, gürültü vücut direncini de azaltır.

Kulak kısa süreli yüksek seviyeli bir gürültüye maruz kaldığında, geçici olarak işitme eşiğinde bir kayıp oluşabilir. İşitme eşiği, belirli bir frekansta kulak tarafından hissedilebilen en düşük ses basınç düzeyi olarak tanımlanır. Bazı frekanslardaki çok kısa süreli gürültüye maruz kalmalarda bile, işitme eşiği 20 dB'e kadar yükselebilir. Ancak bu durum kalıcı değildir ve kısa bir süre sonra kulak önceki hassasiyetine ulaşır.

12



Gürültünün bir diğer zararı da insan kalbine verdiği rahatsızlıktır. Araştırmacılar gürültünün kalp atışlarını düzensizleştirdiğini, kanı koyulaştırdığını ve kan damarlarını kasıldığını ispatlamışlardır.

Gürültünün kronik baş ağrısı yaptığı, insanı alinganlaştırdığı ve öfkeli yaptığı da yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir. Gürültünün insan üzerindeki olumsuz etkileri aşağıda belirtildiği gibidir;

- Fizyolojik etkiler,
- Performans değişimleri,
- Psikolojik rahatsızlıklar,
- İşitme kayıpları



Gürültünün fizyolojik etkileri, etkinin zaman içindeki sürekliliğine göre, kısa ve uzun süreli etkiler olarak geçici bir sınıflandırmaya tabii tutulmuştur. Kısa süreli etkiler, gürültü kesildikten hemen sonra kalkarken, uzun süreli etkiler ise saatler, günler hatta daha uzun süreler bile devam edebilir. Gürültünün belli başlı bilinen fizyolojik rahatsızlıkların meydana geldiği yerler aşağıda sıralanmıştır:

- Sinir sistemi
- Kalp damar sistemi
- Solunum sistemi
- Kemik adale sistemi
- Kan yapısının koyulaşması
- Göz bebeğinin büyümesi,
- Uyku bozuklukları,
- Erken bebek doğumlarına yol açabildiği saptanmıştır.



Gürültünün iş verimi, okuma, öğrenme gibi konularda yol açtığı performans değişimleri üzerinde 1930'lu yıllardan beri araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar performans düşüklüğüne yol açan gürültü tipleri ve kritik gürültü seviyelerinin belirlenmesinin mümkün olmadığını ortaya koymuştur. Ancak bazı genellemeler yapılabilmektedir.

Tanınmayan (alışılmadık) sesler: Performans, bir gürültünün aniden kesilmesi ve başlaması ile orantılı olarak değişmektedir.

Tanınan aralıklı gürültü: Düzenli aralıklı sesler, sürekli olanlara göre performansı daha az etkilemektedir.

Düzensiz ve tayfsal yapı: 95 dB'in üzerindeki değerlerde performans düşüşü daha belirgindir. Ayrıca yüksek frekansların, performansı, alçak frekanslara göre daha olumsuz etkilediğini gösteren bulgular vardır.

Yapılan araştırmalarda; havaalanı veya yoğun trafik gürültüsüne maruz kalan sınıflarda eğitim gören öğrencilerin dersi anlamada zorlandıkları, bulmaca çözme gibi yoğun düşünce gerektiren durumlarda sessiz ortamlarda eğitim gören öğrencilere göre daha az başarılı oldukları ve genel motivasyonlarının daha düşük olduğu bulgularını ortaya çıkarmıştır.

Gece saatlerinde duyulan bir ses, insanı gündüz saatlerinde duyulandan daha fazla rahatsız etmektedir veya düzensiz bir yapıya sahip ses, kişileri düzenli yapıya sahip olan sestən daha fazla rahatsız etmektedir. Ayrıca anlamsız olduğuna inanılan sesler de yine rahatsızlık unsuru olma özelliğine daha yatkındırlar.



Gürültünün çalışma aktivitesi üzerindeki olumsuz etkisi

Konuşmanın gerçekleştirildiği kapalı mekanlarda, eğer mevcut gürültü düzeyi, kullanım amacına göre o mekan için önerilen değerin üzerinde ise, bu durumda konuşma gürültü tarafından maskelenerek konuşulanın anlaşılabilmesi gibi bir problem meydana gelmektedir. Fertlerin hareketleri oldukça komplike bir yapıda olduğundan, hangi düzeyde gürültü seviyesinin hangi insanlarda ne kadar düzeyde bir olumsuz etki oluşturduğunu belirlemek oldukça güçtür. Buna rağmen yine birtakım genel sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz. Yüksek frekanslı seslerden oluşan (1000-2000 Hz'in üzerinde) gürültüler daha düşük frekanslı seslerin oluşturduğu gürültülerden daha fazla olumsuz girişim yapmaktadırlar. Yüksek düzeylerdeki gürültü seviyeleri iş miktarının azaltılmasından ziyade yapılan işlerde istenilen hedefe ulaşmada problem oluşturmakta ve yapılan işin doğruluk derecesi azalmaktadır. Buna ilaveten daha komplike işler daha basit işlere göre gürültüden daha fazla olumsuz yönde etkilenmektedir (WHO, 1980).



Gürültünün psikolojik etkisi ise kişilerin duygusal yapısıyla yakından ilgilidir. Sürekli gerilim, sinirlilik, şüphecilik gibi durumlara neden olabilmektedir. Moral düşüklüğüne neden olur ve çalışma verimini de azaltır. Gürültünün verdiği bu rahatsızlıklar kişilere ve durumlara göre değişebilir.

Aniden meydana gelen gürültü insanların korkmasına ve kızgın olmasına neden olabilir. Gürültü; sinirlilik, korku, dil dolanması gibi hastalıklara neden olabilmektedir. Dinlenme ve uykuda aksaklık da bunlara dahildir. Gürültünün neden olduğu yorgunluk bazı çalışmalarda endüstriyel kazalara neden olmaktadır.

Belirli bir düzendeki seslerin yavaş hızda tekrarı, hızlı tekrarından daha rahatsız edici olmaktadır. Gürültünün şiddetine göre etkilerini sınıflandırdığımızda, istenmeyen gürültünün 30-60 dBA arasında psikolojik, 60-90A dB arasında hem psikolojik hem de insan fizyolojisi üzerine olumsuz etkileri, 90-120A dB arasında da önceliklere ek olarak kulakla ilgili etkileri özellikle fiziksel ölçekte olumsuz olmaktadır.



Gürültünün işitme duyusunda meydana getirdiği etkiler

Gürültünün en yaygın olarak bilinen etkilerinden biri işitme kayıplarıdır. Gürültünün neden olduğu olumsuz etkiler, gürültü düzeyi, etki süresi, frekansı, tayfsal yapısı başta olmak üzere, pek çok etkiye bağlı olarak değişik derecelerde kayıplar olarak ortaya çıkar. Duyulan bir sesin insan kulağında gürültü olarak tanımlanması, sesin özellikleri ile alıcı dediğimiz insanların bazı özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu özellikler başlıca şu etmenlere bağlıdır;

- Gürültünün şiddetine
- Gürültünün frekans spektrumuna
- Gürültünün şekline
- Gürültünün mekanik vibrasyon ve ultrasonik dalgalarına
- Günlük maruziyet zamanına
- Total günlük maruziyet zamanına
- Maruziyet süresi zaman aralıklarına
- Gürültü kaynağından kişinin uzaklığına
- İş yeri ve çalışma ortamının özelliklerine
- Bünyesel hassasiyete
- Yaş ve cinse
- Her iki kulağın durumuna
- Mevcut kulak hastalıklarına bağlıdır



Tablo Gürültülerin Sınıflandırılması

I. Derecedeki Gürültüler 30 – 65 dBA	<ul style="list-style-type: none">• Konforsuzluk• Rahatsızlık• Sıkılma duygusu• Kızgınlık• Konsantrasyon• Uyku Bozukluğu
II. Derecedeki Gürültüler 65 – 90 dBA	<ul style="list-style-type: none">• Fizyolojik gürültü• Kalp atışının değişimi• Solunum hızlanması• Beyindeki basıncın azalması
III. Derecedeki Gürültüler 90 – 120 dBA	<ul style="list-style-type: none">• Fizyolojik gürültü• Baş ağrısı
IV. Derecedeki Gürültüler 120 – 140 dBA	<ul style="list-style-type: none">• İç kulakta bozukluk
V. Derecedeki Gürültüler 140 > dBA	<ul style="list-style-type: none">• Kulak zarının patlaması

Tablo Gürültü Açısından Etkiler

1) Fiziksel Etkiler	<ul style="list-style-type: none">• İşitme Hasarlılığı
2) Fizyolojik Etkiler	<ul style="list-style-type: none">• Vücudtaki Bozukluklar• Kalp atışının bozulması• Kesiklik• Metabolizmada bozukluk• Uyku bozukluğu
3) Psikolojik Etkiler	<ul style="list-style-type: none">• Sinir sistemi dejenere olur• Aşırı tepkiler• Hoşnutsuzluk, tedirginlik duygusu
4) Performans Etkileri	<ul style="list-style-type: none">• Eylem üzerindeki etkisi• Konuşma ile girişim olayının olması konuşmanın kesilmesi• Dinleme ve anlaşma güçlüğü• Konsantrasyonun kesilmesi• Dinlenmenin etkilenmesi
5) Dinlenme ve bozukluğu	



Nasıl ki kirlenmiş, hoş gitmeyen, istenmeyen bir ses gürültü olarak tanımlanmakta ise, bu durumun tam tersi de yani hoş giden sesler de insan sağlığı için bir terapi yöntemi olarak bilinmektedir.

Özellikle müzikle ruhsal tedavi yöntemi çok eski dönemlerde Orta Asya Türk Kültürü içerisinde başlamış, çok yönlü görevleri olan kişiler tarafından uygulanmış, günümüzde halen uygulanmasına rastlanmaktadır.

Selçuklu ve Osmanlı hekimlerinin ısrarla üzerinde durdukları; makam-mizaç, makam-vakit gibi ilişkileri ortaya çıkardıkları tarihsel olarak ta bilinmektedir.

Müzik sadece bir takım hastalarda terapi aracı olarak kullanılmakla kalmayıp, koruyucu olarak ta insanlara büyük faydalar sağlayabilmektedir. Örneğin kent yaşantısındaki stresli insan tipi için, fabrikada işçilerin iş üretim miktarını artırabilmek için ve hatta hayvanların süt ve yumurta gibi üretimlerini artırabilmek için seçilecek uygun müzik türleri olumlu etkiler oluşturabilmektedir.

İslam Medeniyeti tarihinde de akli ve asabi hastalıkların müzik ile tedavi edildiğinden bahsedilmektedir. Bu dönemde yaşamış büyük Türk-İslam alimleri ve hekimleri Zekeriya Er-Razi (854-932), Farabi (870-950) ve İbni Sina (980-1037) müzikle tedavinin bilhassa müziğin psikişik hastalıkların tedavisinde ilmi esaslarını kurmuşlardır.



Türk Müziği makamlarının ruha olan etkileri Farabi'ye göre şöyle sınıflandırılmıştır:

Rast makamı:	İnsana sefa (neşe-huzur) verir.
Rehavi makamı:	İnsana beka (sonsuzluk fikri) verir.
Büzürk makamı:	İnsana havf (korku) verir.
Kuçek makamı:	İnsana hüznün ve elem verir.
İsfahan makamı:	İnsana hareket kabiliyeti, güven hissi verir.
Neva makamı:	İnsana lezzet ve ferahlık verir.
Uşşak makamı:	İnsana gülme hissi verir.
Zirgüle makamı:	İnsana uyku verir.
Saba makamı:	İnsana cesaret, kuvvet verir.
Buselik makamı:	İnsana kuvvet verir.
Hüseyni makamı:	İnsana sükûnet, rahatlık verir.
Hicaz makamı:	İnsana tevazu (alçak gönüllülük) verir.

Türk müziği makamlarının zamana göre psikolojik etkilerini de şu şekilde göstermiştir:

Rehavi makamı:	yalancı sabah vaktinde etkili
Hüseyni makamı:	sabahleyin etkili
Rast makamı:	güneş iki mızrak boyu etkili
Buselik makamı:	kuşluk vaktinde etkili
Zirgüle makamı:	öğleye doğru etkili
Uşşak makamı:	öğle vakti etkili
Hicaz makamı:	ikinci vakti etkili
Irak makamı:	akşam üstü etkili
İsfahan makama:	mı: gün batarken etkili
Neva makamı:	akşam vakti etkili
Büzürk makamı:	yatsıdan sonra etkili
Zirefkend makamı:	uyku zamanı etkilidir



Yüksek gürültüye maruz kalınan ortamlarda; iş veriminin düşmesi, iş kazalarının olma olasılığının daha yüksek olması, eğitim yapılarında öğrencilerin eğitim kalitelerinin düşerek başarılarının olumsuz etkilenmesi, işitme sağlığının bozularak sağlık sistemine getirilecek aşırı yüklenme gibi nedenlerden dolayı gürültünün yadsınamaz bir ağır ekonomik boyutunun olduğu da bir gerçektir.

Özellikle yapılardaki uygun olmayan akustik tasarımlar neticesinde yapı kullanımının tekrardan akustik konfor parametresi açısından kabul edilebilir seviyelere çekilmesi amacıyla sonradan yapılacak tasarımlar aynı zamanda yüksek maliyetleri de beraberinde getirmektedir.

Özellikle yerleşim yerlerine yakın geçen ulaşım akslarına yönelik gürültü bariyerlerinin tasarımı ve inşaatı yüksek maliyetli işler arasında gelmektedir.

Gürültünün bu olumsuz ağır ekonomik yükü dikkate alındığında, şehirlerin tasarımlarının proje aşamasında nasıl ki diğer çevresel parametreler göz önüne alınarak bazı önlemler alınıyorsa, bu önlemlere aynı zamanda gürültünün katılması, sonradan alınacak tedbirlere göre daha ucuz ve işlevsel olacaktır.

Şu unutulmamalıdır ki sonradan alınan tedbirler, kaynağında ve başlangıçta alınan tedbirlere göre çok daha uzun süreçlere, iş gücüne ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bazen sonradan alınan tüm bu zorlu tedbirlere rağmen yine de kabul edilebilir sonuçlara ulaşılamadığı da olabilmektedir.



ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ

Genel olarak A grubu sertifika eğitimlerinde (Temel Akustik Eğitimi ve Çevresel Gürültü/Titreşim Ölçümleri) çevresel gürültüler ilgili kısım için farklı standartlar olsa da temelde en çok başvurulan özellikle iki temel standart vardır. Bunlar;

TS ISO 1996-1 Akustik - Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi -bölüm 1: Temel büyüklükler ve değerlendirme işlemleri (09.11.2020)

TS ISO 1996-2 Akustik - Çevresel gürültünün tanımı, ölçümü ve değerlendirilmesi - Bölüm 2: Ses basıncı seviyelerinin belirlenmesi (09.11.2020)

Yukarıda verilen standartların dışında aşağıdaki standartlardan faydalanılmaktadır.

TS ISO 9613-1 Akustik - Sesin dışarıda yayılırken azalması - Bölüm 1: Sesin atmosfer tarafından soğurulmasının hesaplanması (02.02.2006)

TS ISO 9613-2 Akustik - Sesin dışarıda yayılırken azalması - Bölüm 2: Genel hesaplama yöntemi (04.03.2024)



ÇEVRESEL GÜRÜLTÜNÜN TANIMI

Endüstriyel faaliyetler, ulaşım araçları, eğlence ve rekreasyon, inşaat ve işyerlerinden kaynaklanan istenmeyen seslerin tamamına çevresel gürültü denilmektedir.

Uluslar arası literatürde ise "çevre gürültüsü" kavramı genel olarak uzun bir etkileme süresine sahip yüksek düzeyli olmadıkça işitme kaybı yaratmamakla birlikte, kısa, orta ve uzun vadede çeşitli sağlık sorunları oluşturan genellikle yapıların dış çevresinde bulunan kaynakların toplam **gürültüsü** olarak tanımlanır.

Çevresel Gürültülerin Ölçüm Amacı Nedir?

- Bir ses kaynağının gürültüsünün yönetmelik ve şartnamelere uygunluğunun kontrolü
- Bir çevrenin akustik ortamının gürültü kriterleri ile karşılaştırılarak kabul edilebilirliğinin kontrolü
- Bir çevrede gürültü konturlarının (haritalarının) elde edilmesi ve fiziksel çevre koşullarının etkisinin bulunması
- Toplumsal şikâyetlerin olması durumunda noktasal ölçmelerin yapılması
- Mevcut ve gelecekteki kararlar için çevresel etki değerlendirmelerinin yapılması
- Değişik kullanımlar için arazi uygunluğunun saptanması
- Bir çevrede gürültü kontrolü için önlemlerin ve etkinliklerinin saptanması
- Toplumun gürültüye karşı tepkilerinin araştırılması ve gürültü kriterlerini ortaya koymak üzere gürültü düzeyi ve etkilenme ilişkilerinin kurulması
- Bir çevrede kaynak belirlemesi ve etki alanlarının bulunması
- Gürültü tahmin modellerinin değerlendirilmesi



Başlıca çevresel gürültüyü oluşturan faktörler ana başlıklar altında aşağıda verildiği gibidir:

Ulaşım gürültüsü

Karayolu Trafik Gürültüsü (Ana kara yolu: Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği kara yolu),

Demiryolu Gürültüsü (Ana demir yolu: Yılda otuz binden fazla trenin geçtiği demir yolu),

Havayolu Trafik Gürültüsü (Ana havalimanı: Hafif uçaklarla tamamen eğitim amacıyla yapılanlar hariç olmak üzere, yılda elli binden fazla kalkış ve inişin gerçekleştiği sivil havalimanı),

Denizyolu Trafik Gürültüsü

Sanayi tesisleri dış gürültüsü

Şantiye gürültüsü:

Komşuluk gürültüsü ölçümleri

Rekreasyon ve eğlence gürültüsü

Diğer



Örneğin karayolu taşıtlarından kaynaklanan gürültüye neden olan temel bileşenler şöylece özetlenebilir:

- motor,
- egzoz,
- aerodinamik gürültü,
- lastik ve yol yüzeyi sürtünme sesleri,
- klakson sesleri olup
- ayrıca araçların hızı, motor devir sayısı ve ivmeye bağlı olarak değişkenlik gösteren gürültülerdir.

Karayolu taşıtlarından kaynaklı bir yol için yaklaşık ortalama bir değer verilecek olursa, bir karayolundan kaynaklanan gürültü düzeyinin yoldan 7,5 m geride yapılan ölçümlere göre ortalama 80 dBA civarında bir düzeye sahip olduğu beklenebilir. Bu değer standart bir değer olmayıp yaklaşık bir değerdir. Bu değer; klakson kullanımı, yolun eğimli olması, araçların hızları, ağır taşıt oranları vs. gibi durumlara göre farklılık gösterebilecektir.



Çizelge Çevresel gürültü düzeyi sınır değerleri

Gürültü Kaynağı	Ölçülen Parametre	Çevresel Gürültü Düzeyi		
		Gündüz	Akşam	Gece
Endüstri tesisleri, ulaşım kaynakları	$LA_{eq,5min}$	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
Müzik yayını yapan işyerleri ⁽¹⁾	$LA_{eq,63-250 Hz}$	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
İşyerleri ⁽²⁾	$LA_{eq,5min}$	Arka plan + 5 dB(A)		Arka plan + 3 dB(A)
Birden çok işyeri olması halinde ⁽³⁾	$LA_{eq,5min}$	Arka plan + 7 dB(A)		Arka plan + 5 dB(A)
Tüm kaynaklar	LC_{max}	100 dB(C)		

⁽¹⁾: Bu sınır değerler 31.12.2023 tarihinden itibaren geçerlidir. Belirlenen frekans aralığının her 1/3 oktav bandında bu sınır değerler sağlanır. Bu tarihe kadar hazırlanan akustik raporlarda; çevresel gürültü ölçüm sonuçlarına ve alınan ölçüm sonucu neticesinde belirlenen tedbirlere yer verilir.

⁽²⁾: Müzik yayını yapan işyerleri ve deniz araçları dâhildir.

⁽³⁾: Bu sınır değerinin sağlanmasından arka plan gürüllü seviyesine katkısı olan her bir işyeri eş sorumludur. Gürültüye kalkı oranlarına göre her bir işyeri gerekli tedbirleri alır.



Ses Gösterimleri:

Toplam Ses (Çevre Gürültüsü): Verilmiş bir zaman ve koşulda yakında ve uzakta çeşitli kaynaklardan gelen seslerin toplamıdır.

Belirli Ses (Özel Sesler): Çevresel gürültü içinde tanımlanabilen özel bir kaynağın sesidir. Veya özel olarak tanımlanabilen ve belirli bir kaynakla ilişkilendirilen toplam ses bileşeni.

Artık Ses (Arka plan gürültüsü): Bir çevrede verilen bir zaman ve koşulda incelenilen özel gürültüler çıkarıldıktan sonra çevrede kalan gürültüdür (Fon gürültüsü, artık gürültü ve rezidüel ses de denir). Diğer bir tabirle tetkik edilen belirli sesler bastırıldığında verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam sestir.

Başlangıç Ses: Mevcut durum değiştirilmeden önceki çevre gürültüsüdür (Örneğin; gürültü kontrolü yapılmadan önceki durum).

Dalgalı Ses: Gözleme süresi boyunca ses basıncı sürekli değişen ancak darbeli olmayan gürültü türüdür.

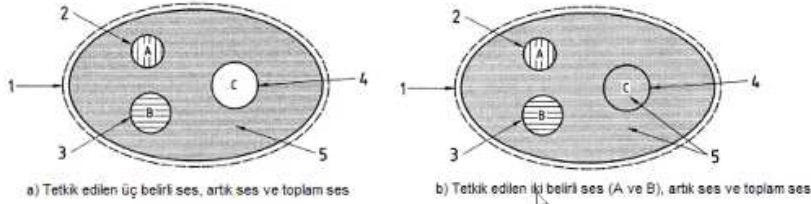
Kesikli Ses: Düzenli veya düzenli olmayan zaman aralıklarında ortaya çıkan ve süresi 5 saniyeden daha fazla süren gürültülerdir. Örneğin; az yoğunluklu yolda motosiklet sesi, uçak veya kompresör sesi gibi seslerdir.

Tonal Ses: Tek bir frekans bileşeni ile veya toplam ses içinde işitilebilen dar-band bileşenleri hakim olduğu seslerdir.

Darbeli ses: Bu tarz seslerin kesikli seslerden farkı her ses anının darbe sesinden çok daha kısa sürelerde (1 saniyenin altında) olmasıdır.

Yüksek enerjili anı oluşturan ses: Burada ses kaynağı 50 gr'lık eşdeğer TNT kütlelerini aşan herhangi bir patlayıcı kaynak veya karşılaştırılabilir özelliklere veya etkinlik derecesine sahip kaynaklar. Örneğin yüksek oranda patlayıcı kullanılan, taş ocağı ve maden patlatmaları, sonik patlatmalar, yıkım veya endüstriyel işlemler, askerî mühimmat (silah, top, havan ateşi, bombalar, roketler ve füzelerin patlayıcı ateşlemesi gibi.)

Ses perdesi: Toplam sesteki işitilebilecek şekilde yayılan tek frekans bileşeni veya dar band (Frekans dağılımı belli bir frekans bandında yoğun olarak yer alan gürültüdür) bileşenlerle nitelenen ses.



Şekil Toplam, belirli ve artık ses gösterimleri

Açıklama

- 1 Toplam ses
- 2 Belirli ses A
- 3 Belirli ses B
- 4 Belirli ses C
- 5 Artık ses

Not 1 - En düşük artık ses seviyesi bütün belirli sesler bastırıldığında elde edilir.

Not 2 - A, B ve C sesleri bastırıldığı zaman noktalı alan artık sesi gösterir.

Not 3 - b)'de artık ses düşünülmediğinden, belirli ses C'yi kapsar.



Derecelendirme

Gürültüye toplumun tepkisi, aynı akustik seviyelerine sahip olduğu gözlemlenen çeşitli ses kaynakları arasında önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. "Derecelendirme seviyesi" terimi, fiziksel ses tahminleri veya bir ya da daha fazla düzenlemeye ilâve edilen ölçmeleri açıklamak için kullanılır.

TS ISO 1996-1 kapsamında derecelendirme amacıyla bazı ses tanımlamaları için düzenlemeler yapılır. Günün herhangi bir zamanını veya kaynak tipi gibi bazı ses özelliklerini hesaba katmak için, tahmin edilmiş veya ölçülmüş akustik seviyelere ilâve edilen pozitif veya negatif, sabit veya değişken herhangi bir büyüklük bu düzenleme tanımı içine girmektedir.

Derecelendirme seviyesi bir düzenlemeye ilâve edilmiş tahmin edilen veya ölçülen herhangi bir akustik seviyeyi ifade eder. Örneğin gündüz ve gece ses basınç seviyesi veya gündüz/akşam/gece ses basınç seviyeleri gibi ölçmeler, derecelendirme seviyelerine örneklerdir. Çünkü bu ölçmeler farklı referans zaman aralıkları üzerinde ölçülmüş veya tahmin edilmiş sestten hesaplanır ve düzenlemeler, günün herhangi bir zamanına bağlı olarak referans zaman aralığı eşdeğer devamlı ses basınç seviyelerine ilâve edilir.

Veya bir derecelendirme seviyesi, kaynak tipleri arasındaki farklılıkları hesaba katmak için ölçülmüş veya tahmin edilmiş seviyelere düzenlemeler ilâve edilerek oluşturulabilir. Örneğin temel ses kaynağı olarak kara yolu trafiğinde kullanılan düzenlemeler, uçak veya demir yolu kaynakları seviyelerine uygulanabilir.



Tonal Düzeltmeler

Gürültünün tonal özelliği ve alçak frekans bileşenleri: Bu durum kulakla fark edilebilir veya kısa süreli bir oktav band analizi yapılarak durum belirlenir. Alıcının konumundaki gürültü karakteristikleri işitilebilir ses tonu/tonları içeriyorsa, bu tonların belirginliğinin nesnel ölçmesi yapılmalıdır. İşitilebilir tonların en fazla bulunduğu mikrofon konumları seçilmeli ve bu analizler TS ISO 1996-2 standardının Ek C de tarif edildiği gibi standart metot ile ve Ek D' de tarif edildiği gibi basitleştirilmiş metot ile yapılmalıdır.

Araştırmalar, düşük frekanslardaki seslerin (*ilgili frekans bandı aralığının 5 Hz ile 100 Hz olduğu görülmektedir*) orta veya yüksek frekanslardaki seslerle karşılaştırıldığında algılanma ve etkilerinin oldukça farklı olduğunu göstermiştir. Bu farklılıkların temel nedeni aşağıdaki gibidir:

- Ses frekansı 60 Hz'in altına düşerken vurgulama duygusu zayıflamakta,
- Seslerin darbeli ve dalgalı olarak algılanmasına neden olmakta,
- Düşük frekanslarda artan ses basınç seviyeleriyle gürültü ve rahatsızlıktaki orta veya yüksek frekanslara göre daha fazla hızlı artış olmakta,
- Kulakta basınç hissiyatına dair şikâyetler artmakta,
- Bina ses yalıtım fonksiyonu düşük frekanslarda, orta veya yüksek frekanslara göre azalmakta.

Çoğunluğun düşük frekanslardan oluştuğu seslerin değerlendirilmesi için derecelendirme işlemleri değiştirilmelidir. Ölçme yeri değiştirilebilir ve çoğunluğun düşük frekanslardan oluştuğu sesler, A ağırlıklı ses basınç seviyesiyle tahmin edilenden daha büyük rahatsızlık verecektir.



Tonalite için TS ISO 1996-2 Ek-D'sinde verilen gürültü içerisindeki işitilebilir tonların değerlendirilmesi için nesnel metot veya basitleştirilmiş bir metot olarak aşağıdaki prosedür takip edilebilir.

Önemli ayırık frekanslı spektrum bileşeninin (ton) mevcudiyetinin tespiti için deney, tipik olarak, 1/3 oktav bandının bir kısmındaki zaman ortalamalı ses basınç seviyesi ile iki komşu 1/3 oktav bantlarındaki zaman ortalamalı ses basınç seviyelerinin karşılaştırılması suretiyle yapılır. Önemli ayırık frekanslı spektrum bileşeninin mevcudiyetini göstermek için ilgilenilen 1/3 oktav bandındaki zaman ortalamalı ses basınç seviyesi iki komşu 1/3 oktav bantlarındaki zaman ortalamalı ses basınç seviyelerini belirli bir sabit seviye farkı ile aşmalıdır. Sabit seviye farkı frekansa göre değişebilir. Seviye farkları için muhtemel seçenekler aşağıda verilmiştir. Her iki komşu 1/3 oktav band frekans aralığında aşağıdaki düzey farkları varsa burada bir tonalite olduğu anlamı çıkarılabilir.

- Düşük frekanslı 1/3 oktav bantlarında (25 Hz -125 Hz) 15 dB.
- Orta frekans bantlarında (160 Hz - 400 Hz) 8 dB.
- Yüksek frekans bantlarında (500 Hz-10000 Hz) 5 dB.



ÖLÇÜM CİHAZLARININ İSTENEN ÖZELLİKLERİ:

Ölçüm ekipmanı tipik özellikleri

Genel olarak bir ölçüm ekipmanının aşağıdaki özelliklere sahip olması tercih edilmektedir:

- $L_{Aeq,T}$ ölçebilmeli
- TS EN 61672-1 Elektroakustik - Ses seviye ölçerleri - Bölüm 1: Özellikler
 - IEC 61672-1'de belirtilen Sınıf 1 cihaz kuralları,
 - IEC 61672-1'de belirtilen Sınıf 2 cihaz kuralları.

Yukarıdaki ilgili standarda göre mikrofon Tip 1 mikrofon olmalı

Not 1 – IEC 61672-1'e göre Sınıf 1 cihazlar için hava sıcaklığı aralığı -10 °C - +50 °C ve IEC 61672-1 Sınıf 2 cihazlar için hava sıcaklığı aralığı 0 °C - +40 °C'dir. Sınıf 1 cihazların farklı oktav bantlardaki ölçüm hassasiyeti (sapma aralığı), sınıf 2 cihazlara göre daha iyidir.

Not 2 – IEC 60651 ve IEC 60804 kurallarını sağlayan ses seviyesi ölçme cihazlarının çoğu IEC 61672-1'in akustiğe ilişkin kurallarını da sağlar. Oktav veya 1/3 oktav bantlarındaki ölçmelerde, Sınıf 1 ve Sınıf 2 ölçme sistemleri, sırasıyla IEC 61260'da belirtilen Sınıf 1 veya Sınıf 2 filtre kurallarını karşılamalıdır.

- Mikrofon, kablo, rüzgar siperi ve kayıt cihazları (bulduklarında) dahil ölçme sistemleri aşağıdaki kurallardan birine uygun olmalıdır.
- Rüzgar siperi dış ortamlarda yapılan ölçmelerde her zaman kullanılmalıdır. Uzman kişiler IEC 61672-1 Sınıf 1'e uygun cihaz kullanılmasını isteyebilir.



- Frekans ağırlıklı: A ve C ağırlıklı
- Standart frekans ağırlıkları IEC 61672-1'de belirtildiği gibi A ağırlıklı ve C ağırlıklı olmalı,
- Zaman ağırlıkları IEC 61672-1'de belirtildiği gibi Fast (F), Slow (S) ve Impulse (I) ağırlıklı olmalı,
- F:** 1 saniyede 8 ölçüm (125 mili saniyede bir ölçüm) kaydının yapıldığı, hızlı ölçüm modu olarak anılan, çabuk değişim gösterebilen gürültünün değerlendirilmesinde kullanılan moddur.
- S:** 1 saniyede bir ölçüm kaydının yapıldığı, zamanla fazla değişmeyen gürültüler için veya ani ve istenmeyen gürültülerin (kapı çarpması gibi) ölçümü etkilememesi için değişim göstermeyen kararlı gürültünün değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm modudur
- I:** 35 mili saniyede bir ölçüm kaydının yapıldığı ve patlama, darbe gibi çok ani olarak değişim gösteren gürültülerin değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm modudur.
- Darbeli, dalgalı ve periyodik sesler için A ve C frekans ağırlıklı entegral (toplama işlemi) ve ortalama alma işlemi yapabilmeli (IEC 804 de P kategorisi).
- L_{AE} ölçülebilmeli (sınırlı gürültü olayları için)
- Zaman ağırlıkları: Yavaş ve hızlı tepkili olabilmeli
- Darbe sesleri için I fonksiyonu bulunmalı
- 1/1 ve 1/3 oktav bant analizi yapabilmeli
- İstatistiksel dağılım vermeli $L_{AN,T}$
- Dinamik aralığı yeterince büyük olmalı (90 dBA)
- Sesli sessiz kayıt depolama ve yeniden dinleme yapabilmeli
- Yılda bir kez kalibrasyon yapılmalı.



Aksesuarlar/Yardımcı elemanlar

Mikrofon

Ölçüm ekipmanının en önemli parçasıdır.

Mikrofon Uzatma Kablosu

Özellikle hassas ölçümlerde ses ölçerın mikrofonun hassasiyetine etki etmemesi için uzaktan kumanda etmek amacıyla kullanılan bir aksesuardır.

Mikrofon Koruma Köpüğü

Özellikle rüzgârlı havalarda rüzgârın oluşturduğu ekstra gürültü ile toz gibi mikrofonu zarar verecek etkilerden korumak amacıyla kullanılan bir parçadır.

Ayaklık

Çevresel gürültü ölçümlerinde mikrofonun yerden yüksekliğinde sabitletilmesi sırasında kullanılan etkili bir parçadır. Elle yapılan çok uzun ölçümlerde ses ölçerın sabitliği belli bir süre sonra sağlanamama durumuna yönelik olarak kullanılması kaçınılmaz olan aksesuarlardandır.

Genel olarak, mikrofonun ölçüm ekipmanına bağlı olarak bulundurulması tavsiye edilmekle birlikte, çok düşük ses seviyelerinde ise operatörün ölçümler üzerindeki etkisini minimize etmek için mikrofonun desteğe sabitletililip bir ölçüm kablosu yardımıyla ekipmana bağlantısı gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle, başkaca belirtilmediği ve uygun olduğu sürece ölçüm ekipmanının bir destek üzerine konulması gerekmektedir.

Veri Transfer Kablosu:

Verilerin PC gibi ortamına aktarılmasının ihtiyaç olduğu durumlarda kullanılan parçadır.



Ölçüm sistemleri genel itibariyle dört ana bileşenden oluşur:

- 1) Mikrofon ya da dönüştürücü: Basınca hassas bir diyafram sayesinde, ses basıncındaki değişimleri, değişik elektrik akımlarına dönüştürür.
- 2) Amplifikatör: Çok küçük elektrik akımı sinyallerini kullanılabilir bir seviyeye yükseltir.
- 3) A-ağırlıklı Gebeke ya da diğer elektronik filtreler: Elektrik sinyalini analiz eder.
- 4) Sayaç: Elektrik sinyallerinin analog ya da dijital değerlerini dB olarak gösterir.

Bir ses seviyesi ölçer genellikle hızlı ve yavaş konumda çalışabilir. Hızlı konum, saniyenin 8"de 1"inde ortama gürültü seviyesini oldukça doğru bir şekilde verir. Böylece bir akustik sinyalin zamana bağlı kalitesi kolayca analiz edilebilir. Ama doğru ölçüm yapabilmek için zaman çok kısa olabilir. Yavaş konum, 1 saniyelik bir zaman için ölçüm yapar. Birçok ses seviyesi ölçerde A, B ve C ağırlıklı şebeke bulunur. Bunlar sesin yüksekliğini insan kulağının hassaslığına göre ayarlamak için geliştirilmişlerdir. Günümüzde B - ağırlıklı ölçümler tercih edilmemektedir. A-ağırlıklı şebeke, 500 Hz'in altındaki ses seviyelerinin ağırlığını azaltır, 1000-4000 Hz arasındaki ses seviyelerinin ağırlığını arttırır. Bu, insan kulağının sese tepkisine göre ayarlanmıştır ve yüksek frekans seslerinin alçak frekans seslerden daha rahatsız edici olmasına göre tasarlanmıştır.



Kalibratör

Her ölçüm öncesi ve sonrasında ses ölçerin doğru sonuçlar verdiğini teyit etmek amacıyla kullanılan bir cihazdır. Kalibratör, tek ya da çok tonlu, mikrofon üzerine yerleştirildiğinde belirli bir ses üreten bir alettir. Kalibrasyonda esas olarak yapılan işlem, spesifik bir frekansta ses ölçerin hassasiyetini kontrol etmektir. (özellikle 1kHz ve 94 dBA).

Bu işlem, cihazın çalışmasının bir kontrolü olmasının yanı sıra, yüksek hassasiyetle doğru sonuçların elde edilmesini ve daha önce yapılmış olan ölçümlerle de karşılaştırılabilirliği sağlamaktadır. Bu sebeple kalibrasyon ölçümlerden önce ve sonra yapılmalıdır. Saatler sürebilecek ölçümlerde kalibrasyon daha sık kontrol edilmelidir.

Esasında ses ölçerler yapılan itibari ile dayanıklı olmalarına rağmen ses ölçümlerinde kullanılan ekipmanın en önemli parçası olan mikrofonun çok hassas olması nedeniyle kalibrasyon işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Yapılan ölçümlerin doğruluğunu sürekli teyit etmek amacıyla her bir ölçüm serisinden önce ve sonra cihaz mikrofonunun kalibre edilmesi gerekmektedir

Neden Kalibrasyon Yapılmalı?

Kalibrasyon o günün çalışmalarının kaybolmadığını gösterir.

Herhangi bir görülr arızanın olup olmadığı tespit edilir.

Standartlar ve yönetmelikler kalibrasyon verilerini istemektedir.

Çok olağandışı çevre koşulları ölçüm sonuçlarını etkileyebilir

Yapılan ölçümlerin doğruluğu ve birçok değerlendirme (planlı / programsız denetimler v.b.) sonucunun adil makamlara taşınabileceği durumlarının göz önünde bulundurulması kalibrasyon ve kontrollerin yapılması gerekmektedir. İlgili standartlar kapsamında genel olarak ses ölçer kalibratörlerin yılda bir kez, ses ölçerlerin ise 2 yılda bir yetkili laboratuvarlarda kalibre edilmesi tavsiye edilmektedir.



GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ

Gürültü ölçümleri genel anlamda aşağıdaki durumlar için gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

- o Gelen Bir Şikâyeti Değerlendirme,
- o Yasalara Uygunluğu Denetleme,
- o Maruz Kalan Kişi Sayısını Belirleme,
- o Araştırmalar,
- o Kalibrasyon Doğrulama,
- o Arazi Kullanım Planlaması veya Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED),
- o Gürültü Haritalama, o Önlemlerin Etkinliğini Değerlendirme,



Şayet açık bir alanda çevresel gürültü ölçümleri yapılmayacak *sadece kaynak durumuna göre hesapla bir tahmin gerçekleştirilecek ise* (ÇED Raporlarında belirtilen Akustik Raporda yaygın olarak kullanılmaktadır.) aşağıdaki hususlara yönelik hesaplar yapılmalıdır. *Bu konu B tipi sertifika eğitimlerinin konusu içerisinde emisyon - imisyon hesapları kısmında anlatılacaktır.*

$$L_p = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{gro} - A_{scr} - A_{abs}$$

L_p : Ses basınç düzeyi, dB

L_w : Ses gücü , dB

A_{div} : Uzaktan dolayı azalım değeri, dB

A_{atm} : Havanın ses yutuculuğundan dolayı azalım, dB/km

A_{gro} : Zemin yutuculuğundan dolayı ses azalımı, dB (meteorolojik faktörlerin etkisi dahil)

A_{dif} : Engeller nedeniyle olan kırılmadan dolayı azalım, dB (meteorolojik faktörlerin etkisi dahil)

A_{abs} : Düşey yüzeylerden olan ses yutulması nedeniyle azalım, dB

100m için değer düşmeleri	
fr	dB
63	0
125	0.1
250	0.1
500	0.3
1000	0.5
2000	1.1
4000	2.8
8000	6.9



ÖLÇÜM NOKTALARI

Ölçüm noktaları, mümkün olduğu sürece serbest alan özelliklerini gösteren noktalarda seçilmelidir. Bir aktiviteden yayılan gürültü sadece bir parsel alanında ölçülecekse, ölçüm noktası o alandaki en yüksek gürültü seviyesinin ölçüldüğü nokta olmalıdır. Gürültünün yayıldığı alanlardan gürültüye duyarlı alanlarda noktalar seçilebilir. Ancak, gürültüye hassas tüm noktalarda ölçüm yapılamadığı durumda, ölçüm yapılan noktalar diğer noktalar hakkında fikir verebilir. Daha önceden değerlendirilen bir kaynaktan yayılan gürültünün tekrar değerlendirilmesi durumunda; daha önce seçilen ölçüm noktalarının aynen seçilmesi, daha önceki ölçümlerle bir kıyaslama imkanı sunmuş olacaktır. Tüm ölçüm noktalarında bu şartın sağlanamaması durumunda en az bir noktada ölçüm yapılarak yine bir kıyaslama yapılmaya çalışılmalıdır.



Dış mekânda mikrofon konumu:

Ölçüm noktaları kaynaktan yayılan gürültünün açıkça duyulduğu noktalarda seçilmelidir ki kaynaktan gelen gürültü değerlendirilebilsin. Ölçüm noktaları yer dışındaki yansıtıcı yüzeylerden 3,5 m uzakta konumlandırılmalıdır. Eğer bu konum için yeterli alan yoksa yüzeye 1 m de konumlandırma yapılmalıdır. (Yansıtıcı yüzeyden 1 m uzakta ölçülen değer 3,5 m mesafede ölçülen değerden 2,5 dB fazladır. Bu yüzden bir düzeltme yapılmalıdır.

ISO 1996 uluslararası standardı, iç ve dış mekanlarda yapılan ses ölçümleri sırasında mikrofonun konumu ile ilgili yönlendirici bilgiler içermektedir. Her ne kadar mikrofonun yerleştirileceği pozisyon ölçümün amacına bağlı olarak değişkenlik gösterse de, genel bir kural olarak gerek iç gerekse dış mekan ölçümlerinde mikrofonun yerden 1.2 ila 1.5 metre yüksekte olması gerektiği söylenebilir buna göre mikrofonun zeminden yüksekliği 1,2-1,5 m (kulak hizasında) olmalıdır.





Ölçüm noktaları öyle belirlenmelidir ki yakın bina veya topoğrafik yapı akustik bir etki oluşturmamalı, bazı etkiler açık alandaki yayılımında ses basınç seviyesini artırabilmektedir. Engelleme v.b. etkilerin oluşmasını önleyecek şekilde bir konumlandırma yapılmalıdır.

Mikrofonun konumlandırılacağı alanın önünde veya civarında bir engel teşkil edebilecek duvar, çit v.s. gibi yapıların olması durumunda mikrofona, o engel üzerinden itibaren maksimum 2,5 m yükseklikte olacak şekilde konumlandırılabilir.

Mikrofon Konumu; Yansıtıcı yüzeyden en az 3-3,5 m mesafede, Yerden 1,2-1,5m yüksekte olmalı, Açık bir pencerenin en az 0,5 m önünde olmalıdır. Ölçümler; birkaç değişik noktada yapılmalı, noktalar arası düzey farkı 5 dBA'yı geçmeyecek şekilde ölçüm noktaları belirlenmelidir.



İç Mekân Ölçümleri

İç mekânlarda ölçümler yapılırken, odada etkilenen insanların zaman geçirdiği, eşit olarak dağılmış en az **3 nokta** seçilmelidir. Genel olarak, yüzeylerden en az **0,5-1,0 m** uzakta, pencere ya da hava alma boşlukları gibi önemli ses geçiş elemanlarından en az **1,0-1,5 m** uzaklıkta, diğer mikrofona noktalarından ise en az **0,7 m** uzaklıkta yerleştirilmelidir.

- Sürekli gürültü varsa döner mikrofona kullanılır.
- Etkin alçak frekans gürültüsü varsa mikrofona lardan biri odanın köşesinde konuşlandırılır ve döner mikrofona kullanılmaz.
- Mikrofonun yeri köşede her iki duvardan **0,5 m** uzakta olmalıdır.
- Açık pencere ve kapı varsa mikrofona **1,0 m** uzakta olmalıdır.
- Art arda 2 ölçüm noktası arasındaki uzaklık **0,7 m** olmalıdır.
- Döner mikrofona kullanıldığında tarama yarıçapı **0,7 m** olmalıdır.
- Mikrofonun dönme hızı **15 s** den az olmamalıdır.
- Sadece A-ağırlık ölçüm yapılıyorsa ve alçak frekanslarda katkı az ise tek bir noktada ölçüm yeterlidir.

Not: Bu kurallar oda hacminin **300 m³** den az olduğu mekânlara için geçerlidir.

Şayet kapalı mekân hacmi **300 m³** den büyük ise daha fazla mikrofona yeri seçilir.

300 m³'ten daha büyük odalar için daha fazla mikrofona pozisyonu belirlenmeli ve alçak frekanslı gürültüler için üçte biri köşe noktalarda bulunmalıdır.



Bina Durumu

- Komşu aktiviteleri normal seyrinde olmalı,
- Bina içi havalandırma, soğutma, asansör vb sistemler normal seyrinde olmalı,
- Havalandırma bölümlerinden en az yarısı ölçüm sırasında açık olmalı,

Ölçümler, birkaç değişik noktada (en az 3 nokta) ölçüm yapılmalı, noktalar arası fark 5dBA'yı geçmemelidir.

Mümkün olduğu sürece; Kaynak çalışırken ve çalışmazken yapılan ölçümler aynı noktalarda olmalıdır.

Mümkün olmadığı (kaynağın çalışmasının durdurulmadığı zamanlar gibi) durumlarda; Yörenin akustik özelliklerini aynen yansıtacak şekilde seçilen noktalarda arka plan ölçümleri yapılmalıdır.



Ölçümler ne zaman yapılmalıdır?

Çevresel gürültü ölçümlerinin yapılacağı zamanlar ölçüm amacına uygun olarak belirlenmelidir.

Planlı bir denetim esnasında; yapılacak ölçümler denetimlerin vukuu bulunduğu zaman diliminde gerçekleşmelidir. Yalnız, yapılan bu ölçümlerin sonuçları, ölçümlerin yapıldığı zaman dilimini kapsadığından dolayı genellikle (özellikle de arka planı belli bir seviyede aşılması ön görülerek konulan sınır değerler için) arka plan değerinin yüksek olmasına bağlı olarak gerçek maruz kalmayı belirleyememektedir.

Plansız olarak yapılan denetimler (genellikle şikâyetlerin değerlendirilmesi işlemleri) esnasında ise ölçüm zamanları, Şikâyetlerin yaşandığı zaman diliminde gerçekleştirilmelidir. Zira gece zaman diliminde bir gürültü kaynağına yönelik yapılan şikâyetin değerlendirilmesi amacıyla gündüz zaman diliminde ölçümlerin yapılması arka plan değerinin değişebilme ihtimaline bağlı olarak gerçek değer ve maruz kalmanın belirlenmesini mümkün kılmayacaktır. Bu hususa özellikle dikkat edilmeli, durumun sağlanmadığı anlarda ölçüm raporuna gerekli bilgiler ve açıklamalar girilmelidir.



Ne Kadar Süre ile Ölçüm Yapılmalıdır?

- Ölçüm amacına,
- Ölçüm türüne,
- Ölçüm moduna,
- Ölçüm konumuna,
- Gürültü türüne,
- Gürültü kaynağına, bağlı olarak değişim gösterebilmektedir.

Ölçüm yapılan günün zaman dilimi iyi seçilmelidir. Bu çerçevede; faaliyetin işlem saatleri (gürültü kaynağının çalışma saatleri), gürültü seviyesindeki değişimler, hava ve ulaşım aktivitelerinden dolayı gün içerisindeki gürültü seviyesinin değişimi, gündüz, akşam ve gece zamanlarında gürültüyü değerlendirmek için olası ihtiyaçlar, göz önüne alınarak değerlendirme yapılmalıdır. Özellikle, Ses basınç seviyeleri hava şartlarına bağlı olarak değişir. Meteorolojik şartlar ölçüm süresince gürültü etkileme durumunu temsil edecek şekilde olmalıdır. Meto göz ardı edilirse o zaman yol ve demiryolu yüzeyi kuru olmalı zemin karsız, buzsuz ve fazla su emmemiş olmalıdır. Yumuşak zeminler için meteorolojik faktörlerin ölçümler üzerindeki etkisine bağlı olarak aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir.

$$\frac{h_s + h_r}{r} \geq 0,1$$

Burada; h_s : kaynağın yüksekliği, h_r : alıcının yüksekliği, r : kaynak ile alıcı arasındaki mesafedir. Sert zeminlerde daha büyük mesafeler kullanılabilir.



Nerede Ölçüm Yapıyoruz?

Genel olarak; çevresel gürültü ölçümleri alıcıya en yakın noktalarda (şikâyet mahallinde yapılması veya belli noktalarda yapılması) tavsiye edilmektedir.

- Şikâyet Mahallinde,
- Kaynağa Bakan Yönde,
- Kaynağı Görecek Şekilde,
- Yansımaların etkisini en aza indirmek için yansıtıcı yüzeylerden uzakta,
- Kaynağın etkilerini tam olarak yansıtacak birkaç noktada, ölçüm yapmak gerekmektedir.

Ölçüm noktası seçilirken kaynağı açıkça görecek şekilde bir konumlandırma yapılmalıdır. Böylelikle sesin mikrofona ulaşırken engellenmesinin önüne geçilmiş olacaktır. Örneğin; Bir eğlence gürültüsünün ölçümü en çok maruz kalınan cephede yapılmalıdır.



Leq'nun normal ölçümü için, eğer trafik yoğunluğu düşük veya arka plan gürültüsü yüksek ise, Leq seviyeleri tekil olay ölçümleri, Ses Etkilenim Seviyesi (SEL, L_E)'den hesaplanmalıdır.

Kısa dönem ortalamalar için, eğer bir önceki denklem geçerli değil ise, yayılım yolundaki hava koşulları değişimlerinin ortalanması için en az 10 dakika ölçüm yapılmalıdır.

Eğer bir önceki denklem karşılanıyorsa, 5 dakikalık ölçümler yeterli olmakta, fakat mutlaka sürenin kaynak işletim zamanına (periyodik olmasına bağlı olarak en az birkaç işletme periyodunu kapsayacak süreye) uyması gerekmektedir.

Ses etkilenim seviyesi, SEL (L_E), ölçerken, tüm önemli gürültü katkılarını içerecek kadar uzun ölçüm yapılmalı ve ölçülen olay geçiş olayı ise, ses basınç seviyesi, maksimum seviyenin en az 10 dB altına düşene kadar ölçüm yapılmalıdır.

Tavsiye edilen minimum ölçüm süresi **5 dakikadır**. Bu süreden az olacak şekilde yapılan ölçümler sağlıklı sonuç oluşturmayacaktır. Genel uygulamalarda (yurtdışı uygulamalar dâhil), tavsiye edilen süre 5-15 dakika arasında değişmekle birlikte tercihen 10 dakikadır.

Özellikle kararlı bir gürültü yapısı sergilemeyen eğlence gürültüsünün ölçülmesi mümkün olduğu sürece 10 dakikanın altına inmemelidir.

Gürültünün frekans içeriği gerekiyorsa, başka türlü belirtilmediği takdirde 63, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 ve 8.000 Hz oktav bantlarında ses basınç seviyesi ölçümü yapılabilir.

İsteğe bağlı olarak, 1/3 oktav bantlarda ve orta bant frekansları 50 Hz'den 10.000 Hz'e ölçüm yapılabilir.



Arka plan Gürültüsünün (Fon gürültüsü, Background noise) Ölçüm İlke ve Esasları :

Bir çevrede incelenen sesler bastırıldığında verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam sesi ifade etmektedir.

o Arka plan gürültüsü, ölçülen ses basınç seviyesinden 10 dB ya da daha fazla düşükse herhangi bir düzeltme yapmaya gerek kalmaz. Ölçülen değer, direk olarak kaynak gürültüsü değerini vermektedir.

o Arka plan gürültüsü ile ölçülen ses basınç seviyesi arasındaki fark 3-10 dB aralığındaysa aşağıdaki denklemde verildiği gibi logaritmik çıkartma yapılarak saf kaynak gürültüsü hesaplanmalıdır.

o Arka plan gürültüsü, ölçülen ses basınç seviyesinden 3 dB den az ise belirsizlik çok yüksek olduğu için düzeltme tavsiye edilmemektedir. Böyle durumlarda, ölçüm noktalarının değiştirilerek ölçümlerin yenilenmesi daha sağlıklı olacaktır.

Gözlem altındaki bir gürültü kaynağının yaydığı gürültü seviyesinin tespitinde; ölçülen değerden arka plan gürültü değeri logaritmik olarak çıkarılarak kaynağın sahip olduğu gürültü seviyesi belirlenmelidir.

$$L_{\text{düzeltmiş}} = 10 \log(10^{L_{\text{ölçülmüş}}/10} - 10^{L_{\text{arkaplan}}/10}) \text{ dB}$$



Kaynağın çalışmasının durdurulması mümkün olduğu sürece; kaynak gürültüsünün değerlendirildiği zaman dilimi zarfında ölçümlerin yapılması en uygun yöntem olmakla birlikte kaynağın durdurulamadığı anlarda da ihtiyaç duyulan koşulların sağlanabildiği an ve mekânlarda ölçümler yapılabilmektedir.

Gürültü kaynağının susturulamadığı durumlarda arka plan gürültüsünün ölçülmesi: Eğer faaliyet saatleri biliniyorsa, faaliyete geçmeden hemen önce veya faaliyet sonrasında çevredeki durumun da gözlemlenmesi şartıyla arka plan ölçümleri alınabilir.

Arka plan gürültüsü, değerlendirilen alanın genel karakteristik bir göstergesi olduğundan dolayı esas itibarı ile kısa sürelerde ve yer değişimlerinde büyük farklılıklar göstermemektedir. Genel olarak 5-15 dakikalık ölçümler yeterli olabilmekle beraber kaynak çalışmasının durdurulamadığı ve/veya çok kısa süreli durdurulabildiği (özellikle eğlence sektöründe) durumlarda 5-8 dakika gibi kısa süreli olabilmektedir. Öte yandan, dış kaynaklı seslerin olması durumunda (tekil ulaşım aracı geçişi ve/veya hayvan sesleri v.b.) ise dış kaynaklı etkilerin minimize edilmesi için ölçümlerin duraklatılması sonucu ölçüm süreleri daha uzun olabilmektedir. Bu durumların ve oluşturabileceği etkilerin nitel/nicel gözlemleri ölçüm raporunda değerlendirilmek üzere ölçümler sırasında not edilmelidir.

Not: Kaynağın susturulamadığı ve yukarıda ifade edilen durumların uygulanmadığı anlarda, L_{90} parametre değeri yol gösterici olabilmektedir. L_{90} değeri, diğer birçok ülkede arka plan gürültüsü olarak değerlendirilmektedir. Kaynak gürültüsünün L_{90} değerinden belli seviyede yüksek olduğu durumlarda, (kaynak çalışırken; ölçülen L_{eq} değerinin, ölçülen L_{90} değerinden 10 dB'den daha büyük olması durumunda) L_{90} değeri arka plan değeri olarak ele alınarak gerekli işlemler yapılabilir.



L₉₀ parametresinin kullanımı için gerekli Şartlar:

o Birden çok işletme varlığında, hâlihazırda her bir işletmenin arkaplanına olan katkısının hesaplanması gerektiği, bu çerçevede de değerlendirilen gürültü kaynaklarının susturulması gerektiğinden hareketle sadece tekil gürültü kaynaklarının (tek eğlence yeri, tek işyeri gibi) çevresel gürültü ölçüm ve değerlendirmelerinde kullanılmalıdır.

o Arka plan gürültüsünün çok değişken olabileceği durumlarda (özellikle trafik kaynaklı) L₉₀ parametresinin kullanılması için trafikten etkilenmeyecek bir konumda ölçüm yapılması gerekmektedir.

o Tercihen eğlence, inşaat (şantiye) gürültüsü gibi zamanla çok değişkenlik gösterebilen gürültülerin değerlendirmesinde oldukça başarılı bir yöntemdir.

o Kararlı (sürekli) gürültü sergileyen (havalandırma sistemleri, soğutucular, jeneratör gibi kaynakların) değerlendirilmesinde kullanılmamalıdır. Zira kararlı gürültülerde L₉₀ değeri ile L_{eq} değeri birbirine çok yakın değerler olabilmekte olup gerçek maruz kalmanın bu yöntemle tespit edilemeyeceği olasıdır.



YEREL METEOROLOJİK KOŞULLAR

Rüzgâr

Rüzgâr hızının yüksek olduğu durumlarda rüzgârın da bir gürültü kaynağı olarak ölçülen gürültü değerini yükseltebileceği öngörüsüyle rüzgâr hızının 5 m/sn'yi geçtiği durumlarda ölçümlerin yapılmaması gerekir.

Rüzgâr etkisi, rüzgârın estiği yönde yapılan ölçüm değerlerinde bir artış sağlarken rüzgâr tersi yönünde ise bir gölge alanı oluşturur.

Rüzgâr hızı elle tutulan bir anemometre aracılığı ile ölçülebilirken yönü kumpas aracılığıyla tayin edilebilir. Rüzgârın zemine yakın (örneğin, zemin üzerinden iki metre yükseklikte) yatay doğrultuda değişiklikleri düşey doğrultudaki değişikliklerinden yaklaşık olarak %50 daha kuvvetlidir. Rüzgâr hızı ve sıcaklık, zeminin seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak değişir, sesin hızının da yükseklikle değişmesine yol açarlar.

Rüzgâr varken ölçümlerde mikrofonda gürültü oluşabilir. Bir mikrofonu hava üflenmesi, basınç farkı ve türbülans oluşur, oluşan bu basınç değişimi ilave gürültü oluşturur. Kullanılan ses seviyesi ölçere, bir rüzgârlık eklenmesi basıncı ve türbülansı mikrofondan uzaklaştırır ve havanın düzgün akışını sağlar. Bu nedenle dış alan ölçümlerinde mümkün olduğu sürece mikrofona koruma köpüğü (rüzgârlık) kullanılmalıdır.

Neden rüzgâr yönünde ölçüm yapmalıyız?

o Düşük mesafelerde (yaklaşık 50 m ye kadar) ölçülen ses seviyesine rüzgârın etkisi azdır. Daha büyük mesafelerde ise etki oldukça yüksek olabilmektedir.

o Aynı yöndeki ölçümler, rüzgâr hızına bağlı olarak, genellikle 2-3 dB lik bir artışa neden olurken, rüzgârın aksi veya yan yöndeki ölçümlerde, rüzgârın hızı ve mesafeye bağlı olarak, 20 dB üzeri (daha az) bir etki oluşturabilmektedir. Bu yüzden aynı yön tercih edilir, sapma az olup sonuçlar koruyucudur.



Sıcaklık:

Sıcaklıktan en çok etkilenen ses ölçüm sistemleri mikrofonlar ve pillerdir. Ortam sıcaklığı azaldıkça, pillerin kullanım ömrü de azalır. Özellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda 8 saatlik bir pil ömrü 6 saate kadar inebilir. Bunu önlemek için özel kutular vardır. Bazı mikrofonlar eğer çok yüksek ortam sıcaklığına maruz kalırsa zarar görebilir.

Nem:

Aşırı durumlarda, bazı mikrofonlar neme karşı hassas olabilirler. Eğer nem, diyaframın arkasında sıkışır ve sıvılaşırsa, çatırdama ya da küçük bir patlama sesi duyulabilir. Bu, ölçüm cihazının içnesinin hareketinden anlaşılabilir. Bu aşırı nem durumu, mikrofonu 5-10 dakika kadar sıcak bir ampulün altına koymakla düzeltilebilir.

Yağış:

Yağışlı havalardaki yağışın oluşturduğu ekstra sesler, yüksek nem ve yağışın ekipmanın duyarlılığına zarar verme ihtimaline karşı yağışlı havalarda ölçüm yapılmamalıdır.



Ölçüm Belirsizlikleri

Ölçümlerde temel amaç doğru ölçümler yapmak olduğuna göre, ölçümlerin bazı etkenlere bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bir ölçümün sonucu raporlandığında, sonucun kalitesinin ve güvenilirliğinin belirtildiği sayısal bir gösterge olmalıdır. Ölçüm kalitesinin ve ölçüm sonuçlarının güvenilirliğinin göstergesi belirsizlik değeridir.

Gürültü kaynakları için gerek laboratuvarında yapılan emisyon ölçümlerinde, gerekse alanda yapılan emisyon ölçümlerinde elde edilen sonuçların doğruluğun ortaya konması gerekmektedir.

- Ölçümler tekrarlandığı zaman aynı sonuç değerler elde edilip edilmediğinin kontrolü,
- Ölçülen değerlerin gerçeği ne kadar temsil ettiği
- Ölçümlerin başka yerde ve başkası tarafından yapıldığında çıkan farkın nedeni ve hangisinin doğru olduğuna karar verilmesi

için gürültü ölçümlerinin rapor edilmesinde uygulanacak ilkelerden birisi belirsizlik tahminleridir ki bu tahminlerde ölçüm sonuçları elde edildikten sonra belirsizlik hesaplamaları yapılır ve sonuçlar raporlarda gösterilir. Herhangi bir ölçümde sonuçlar şayet doğru görünmüyorsa, olası hata kaynaklarını incelemek gerekir.



Ölçümlere doğru yaklaşmak için her bir ölçümün kesinliğini, hata payını anlamak gerekir.

- Ölçülen olay
- Ölçülmekte olan olay üzerinde ölçümün etkisi
- Çevresel koşullar
- Kullanılan aletlerin özellikleri
- Aletlerin kullanım şekli
- Ölçüm yapan kişi vs.

Genel olarak belirsizlikler, ISO 1996-2 standardı kapsamında belirtilen ses basınç düzeylerinin belirsizliği sırası ile şu şekildedir;

- Ses kaynağından kaynaklanan belirsizlik
- Ölçüm süresinden kaynaklanan belirsizlik
- Hava koşullarından kaynaklanan belirsizlik
- Ölçüm yönteminden kaynaklanan belirsizlik
- Kaynaktan uzaklığa bağlı kaynaklanan belirsizlik
- Cihazlardan kaynaklanan belirsizlik

Ölçülen ses basınç düzeylerinin belirsizliği; ses kaynağına, ölçüm sürelerine, hava koşullarına, kaynaktan uzaklığa, ölçüm yöntemine ve cihazlara bağlı olarak tanımlanmıştır. Belirsizlik; istatistiksel olarak standart sapmanın elde edilmesine bağlıdır. ISO 1996-2 standardı; standart sapmanın iki katını (2σ) alarak ölçüm doğruluk (güvenilirlik) düzeyini %95 olarak önermektedir. Ölçülmüş düzeyler arası farklar analiz edilerek standart sapma aşağıdaki formüller yardımı ile elde edilebilir.



BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ

Standart Belirsizlik U(x)

Standart Belirsizliklerin Hesabı: Her bir belirsizlik bileşeninden gelen belirsizlik standart belirsizlik (u(x)) olarak hesaplanır. Tekrarlanan ölçümlerden elde edilen bir dizi sonuç rastgele hata sebebi ile birbirinden az da olsa fark gösterir. Her bir değer in ortalamadan farklarının dağılımı kabaca ölçümün belirsizliğini verir. Dağılım ne kadar büyükse belirsizlik de o kadar fazladır. Standart sapma (s) büyüdükçe dağılım yaygınlaşır. Standart sapma ortalamadan sapmaların karelerinin toplamının serbestlik derecesine (n-1) bölümünün kareköküdür.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N}$$

σ : Standart sapma

\bar{x} : Ölçüm sonuçlarının ortalaması

N : Ölçüm sayısı

Xi : Her ölçümde elde edilen değer

Standart belirsizlik U_x , aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$U_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Rölatif Standart Sapma (\% RSD)} = 100 \cdot \frac{\sigma}{x_{\text{ort}}}$$



BİLEŞİK ve GENİŞLETİLMİŞ BELİRSİZLİK

A tipi ve B tipi bileşenlerden elde edilen belirsizlikler ya da bütün belirsizlik bileşenlerinin birleştirilmesiyle "birleşik standart belirsizlik (U_c)" hesaplanır. Bu birleşik belirsizliğin, kapsam faktörü (k) ile çarpılması ile elde edilen belirsizliğe ise **Genişletilmiş Belirsizlik (U)** denir.

$$U = k \cdot U_c$$

Metroloji alanında genellikle kapsam faktörü (k) olarak, güvenilirlik seviyesi %95,45 olan 2 çarpanı kullanılmaktadır.

Güvenilirlik Düzeyi p (%)	Kapsam Faktörü (k)
68,27	1,000
90	1,645
95,45	2,000
99	2,576
99,73	3,000



Ölçüm belirsizlik hesaplarının sonucuna göre genel mühendislik yaklaşımlarında olduğu üzere en az %95 güven aralığı veya bunun üzerinde bir oranın sağlanmış olması yeterli görülebilmektedir. Aşağıdaki çizelgede verilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği; kaynağın işletilme koşulları, meteo ve zemindeki farklılıklar, arka plan gürültüsü değişimlerine bağlı belirsizliklerin toplamıdır. Tablo 1 sadece A ağırlıklı eşdeğer sürekli ses basınç düzeyleri için uygulanır.

Tekrarlanabilirliğin standart sapması, dB	Kaynağın işletilme koşulları nedeni ile standart belirsizlik, dB	Meteo ve zemin koşulları standart belirsizlik, dB	Artık ses standart belirsizlik, dB	Birleşik standart belirsizlik, dB	Genişletilmiş ölçüm belirsizliği, dB
Farklı teknisyen Farklı cihaz Aynı yerde Aynı yöntem Tip-1 cihazı ile yapılan ölçüm	Kısa süreli ölçümlerde 3 veya 5 adet ölçümden elde edilir. Aynı ölçüm tekniği Aynı cihazlar Aynı operatör Aynı yer. İhmal edilebilir meteo şartlarında yapılması gerek Uzun süreli ölçümlerde fazla sayıda ölçüm gerekir.	Y değeri ölçüm uzaklığı ve meteo şartlarına bağlıdır. Ek-A da verilmiş durumda $Y = \sigma_{II}$ olur. Uzun süreli ölçümlerde farklı meteo şartlarında çalışılır sonra sonuçlar birleştirilir. Uzun süreli ölçümlerde zemindeki farklılıktan belirsizlik artar	Bu değer: Ölçülmüş toplam değer ve artık gürültü arasındaki farka göre saptanır.		
1.0	X	Y	Z _{art}	$\sqrt{1.0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2.0 \sigma_t$



Örnek Uygulama:

Aşağıda bir kaynaktan farklı zamanlarda (aynı gözlem zaman aralığında) alınmış beş adet ölçüm sonucu verilmiştir. Görüldüğü üzere her 5 ölçümden birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu kaynak için ses basınç seviyesinin saptanması için bu değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanır. (Belirsizlik bileşenleri deneysel olarak tekrarlı ölçümlerden değerlendiriliyor ise, kolaylıkla standart sapma standart belirsizlik olarak açıklanabilir. Belirsizlik bütçesine katkısını değerlendirmede, ortalama ölçümlerin standart sapması kullanılır)

Ölçüm No:	1	2	3	4	5
Ölçümler, dBA:	66.4	67.8	66	68	65.9

$$\bar{x} = \frac{66.4 + 67.8 + 66 + 68 + 65.9}{5} = 66.82 \text{ dBA}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{5-1} [(66.4 - 66.82)^2 + (67.8 - 66.82)^2 + (66 - 66.82)^2 + (68 - 66.82)^2 + (65.9 - 66.82)^2]}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} [4.048]} \approx 1 \text{ dBA}$$



Standart sapma (σ) yukarıdaki işlem sonucundan 1 dBA olarak hesaplanmıştır. Bu değer ölçümlerin ortalama değerden + ve - yönde ne kadar sapabileceğini belirtir.

ISO 1996-2 standardı ölçümler için güven aralığını %95 olarak tanımlamıştır. Buna göre standart sapmanın 2 katı alınır. Bu değer ortalamaya toplanır ve çıkarılır ise elde edilen değerler % 95 güven aralığında kabul edilebilecek alt ve üst limit değerleri olacaktır.

$$66.82 \text{ dBA} \pm 2$$
$$66.82 \text{ dBA} \pm 2 \text{ dBA}$$

Yani ölçüm ortalamasının 64,82 dBA ile 68,82 dBA arasında bir değer alma olasılığı %95'tir. Bu ölçüm belirsizlik çalışması raporda belirtilmelidir.



SES ÖLÇERİN BAKIMI

Ses ölçerlerin çok hassas yapıya sahip olması ve oldukça pahalı olmaları sebebiyle düzenli olarak bakımlarının yapılmasının yanında aşağıda yer alan basit uygulamalarla da söz konusu cihazların kullanım ömürleri uzatılabilmektedir.

Bir ses ölçerlerin uzun süreli kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- o Gereksiz yere on/off yapılmamalı
- o Zayıf bataryalar değiştirilmeli
- o Kalibrasyonuna özen gösterilmeli
- o Aşağıda sıralanan etkilere maruz bırakılmamalı:
 - Yüksek Sıcaklık
 - Nem
 - Yüksek toz (özellikle de mikروفon)
 - Elektromanyetik Alan Oluşturan Ekipmanlar
- o Kullanım sonucunda özel çantasında muhafaza edilmeli



RAPORLAMA, ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLANDIRILMASI

Sonuçların Raporlanması

Raporlamada aşağıda verilen bilgilere yer verilmesi değerlendirmede büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

o Gürültü Kaynağına Ait Bilgiler

Adresi, bulunduğu alanın niteliği İşletmecisi/sorumlu kişi adı soyadı unvanı Faaliyet türü (endüstri tesisi, işyeri, atölye v.b.) Mekanın boyutları, alanı ve kapalı/açık /yarı açık durumu Tesis/işletme/faaliyetin çalışma süresi İşletme içinde gürültüye neden olan kaynağın tanımı (gürültü türü, kaynak sayısı, çalışma saatleri v.b.)

o Maruz Kalan Alana Ait Bilgiler

Mahallin tanımı Alıcının bulunduğu yapının kullanım amacı Alıcının bulunduğu mekânın tesis/işletme/faaliyete uzaklığı Gürültüden etkilenen çevredeki tahmini kişi sayısı Şikâyetçi veya gürültüye maruz kalan sahadaki yapının yasal olma durumu

o Yapılan Ölçümlere Ait Bilgiler

Ölçüm yapılacak noktalar, yerleri ve sayısı (kroki üzerinde gösterimi) Ölçüm süreleri, parametreleri ve ölçülen değerler (düzeltme gerekiyorsa yapılan işlem) v.b. Ölçüm nedeni (şikâyet, planlı denetim vb) Şikâyetin yaşandığı veya denetimin yapıldığı zaman dilimi Şikâyetin oluşma sıklığı

o Sonuçların Değerlendirilmesi

Çevre Kanunu ve diğer mevcut mer'î mevzuat çerçevesinde (Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği) gerekli Akustik Raporlar hazırlanmalıdır. İhlal olması durumunda uygulanacak idari yaptırım ve izleme süreci (İhlalin giderilmesine yönelik verilen süre sonunda alınan kontrol tedbirlerinin gözlemlenmesi) geliştirilmelidir.



GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Gürültü kontrolü; Herhangi bir ses kaynağından yayılan gürültüyü:

- Kabul edilebilir seviyeye indirmek
- Akustik özelliğini değiştirmek veya etki süresini azaltmak
- Hoşa giden veya daha az rahatsız edici ses ile maskelemek, gibi yöntemler ile sakıncalı etkileri tamamen veya kısmen gidermeye denir. Temel gürültü kontrolü aşağıda verildiği gibi üç temel şekilde yapılmaktadır.

1- Gürültü kaynağında kontrol:

- Yapısal tasarım
- İşletme tekniği, çalışma zamanı, süreler
- Bakım ve onarım

2-Çevrede kontrol:

- Şehir planlaması, arazi planı
- Yerleşim ve yapı tasarımı
- Yapı elemanı yalıtımı
- Hacim organizasyonu

3- Alıcıda kontrol:

- Kullanıcının eğitimi
- Kişisel korunma (kulak tıkacı, tamponu v.s)
- Etkilenme süresi kontrolü (doz etki süresi)
- Yakın çevrede maskeleme



Kaynakta Karayolu kaynaklı gürültü azaltımı

Yol yüzey kaplamaları ve trafik gürültü düzeyinin azaltılmasındaki etkisi üzerine çalışmalar

Yol yüzeyi ile taşıt arasındaki temastan doğan ve özellikle yüksek hızlarda hakim olan yuvarlanma gürültüsü, kullanılacak farklı yol yüzey malzemesi ile düşürülebilmektedir. Şehir içinde kullanılan normal asfalt betonu ile poroz asfalt betonu arasında 80 km/saat olan bir araç için OECD (1995) raporuna göre 4 dBA fark doğmaktadır. Bazı çalışmalarda poroz asfalt uygulamalarının trafik gürültüsünü azaltmada klasik yüzeylere göre 3 ila 7 dBA düzeyinde bir gürültü azaltımı sağladığı belirtilmiştir. Dolayısıyla genel trafik hızları ve trafik yükü için *yol malzemesinin poroz asfalt türünde yapılması ile ortalama olarak 5 dBA gürültü azaltılması elde edileceği kabul edilebilir.*

Araçlardan kaynaklanan gürültüler

Dizel motorlarda, motor hızı on katına çıktığında, gürültü 30 dBA artar.

Yüksek hızlarda, lastiğin yol yüzeyiyle teması sonucu oluşan aerodinamik gürültü daha önemli hale gelir ve bazı araçlarda en baskın gürültüyü oluşturur. *Arabalar ve diğer hafif araçlar göz önüne alındığında, yağışlı havalarda, yol yüzeyi üzerindeki suyun oluşturduğu gürültü spektrumu, 1000 Hz frekansın üstünde baskın karakterdedir. Islak asfalt yol yüzeylerinde oluşan gürültü, kuruyken oluşan gürültüden 10 dBA fazladır.*



Ayrıca:

- Yol kaplamasında uygun standartların gözetilmesi
- Yol genişliğinin yeterliliği
- Yol eğiminin ayarlanması
- Kavşak, ışık, dönemeçlerin düzenlenmesi
- Yükseltilmiş veya çöktürülmüş yol yapısı gibi hususlarla kaynakta ilave tedbirler alınabilir.

Ulaşım akışına ilişkin tedbirler olarak ta:

- Duraksız trafik akışının sağlanması
- Ağır taşıtların belirli yollar için sınırlandırılması
- Ulaşım hacminin belirli yollar için sınırlandırılması
- Hız sınırlaması denetimi

Gibi yaklaşımlar da trafik kaynaklı gürültülerin azaltılmasında kaynakta alınabilecek tedbirlerden sayılabilir.



Demiryolu Gürültüsü

Tren yolu hızları kural gereği güvenlik ve kapasite içerikli olarak sıkı şekilde kontrol edilmektedir. Demir yollarındaki tüm bu yeniliklere rağmen trenlerin hızları özellikle oluşan gürültü ile doğru orantılıdır. Gürültüyü 3 dB kadar düşürmek için tren hızının %30 düşürülmesi, 6 dB düşürmek için ise hızın %50 düşürülmesi gerekecektir.

Dökme demirli takozlu vagonlara göre diskli frenli veya lastik takozlu araçlar, gürültü emisyonlarının yaklaşık olarak 6 ila 9 dB(A) civarında azalmasına yol açmaktadır (alt değer ortalama pürüzsüz raylar için, üst değer ise çok daha pürüzsüz raylar için geçerlidir).

Tekerlek soğurucuların kullanılması ile tekerleklerin yayılmış emisyonları azalacaktır, öyle ki geçişin toplam gürültüsü uygulamanın şekline ve kullanım yerine göre 4,5 dB(A)'ya kadar azaltılacaktır.

Akustik olarak raylardaki pürüzlülüğün iyileştirilerek parlatma işleminin ve programlarının uygulamaya konması ile 6 dBA düzeyinde bir azaltım sağlanabilmektedir.



Ayrıca demiryolu gürültüsü için kaynakta alınacak tedbirlere ilaveten aşağıdaki hususlar da dikkate alınabilir:

- Virajların uygun şekilde biçimlendirilmesi
- Banketlerin titreşim söndürücü malzeme ile kaplanması
- Tünellerin sıklaştırılması
- Trenyolu şevlerinin iç yüzeylerinin ses yutuculuğunun artırılması
- Tren geçişlerinin günün saatlerine göre düzenlenmesi (gece geçişlerinin azaltılması)
- Tren hızlarının ayarlanması
- Gece siren yasağı v.s



Raylar için gizlenmiş soğurucular



Uçaklarda yapısal tedbirler;

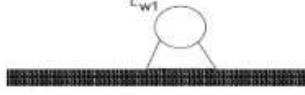
- Motor yapısında tedbir alınması
- Kalkış ağırlığının ayarlanması
- Uçuş profilleri(kalkış, iniş önlemleri)
- İniş-kalkış pist boyutları ve yönlendirme
- Bakım onarım yerlerin planlanması
- Yer işlemlerinin düzenlenmesi
- Uçak tiplerinin sınırlandırılması
- Tarife kısıtlamaları



Hamburg-Fuhlsbüttel Hava Limanındaki gürültü hangarı (hangar kapısı kapalı)

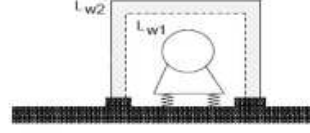


Endüstriyel Gürültülerin Kaynağında Azaltımı



Birincil ses koruma

- Ses oluşumunu "sessiz yapılandırma" sayesinde engellemek
- Makine ve makine parçalarının değişimi ve yedeği
- Gürültüsü azaltılmış makinelerin kullanımı



İkincil Ses koruma

- Ses geçirmez makine kapstülleri
- Ses soğurucu (emici)
- Cephe gürültüsü - yalıtım levhaları ve titreşim yalıtım elemanları
- Mekân içindeki izolasyon
- Dış alandaki izolasyon
- Binalardaki ses yayılımının azaltımına yönelik yapısal önlemler



Şantiye Gürültüleri

a) Makine ve araçların yapısı ve çalışmasına ilişkin tedbirler;

- Sessiz araç ve makinelerin kullanımı
- Sabit makinelerde kılıf ve engel kullanılması
- Araç ve makinelerin periyodik onarımı ve bakımı
- Makinelerin işleme tekniğinde değişiklik

b) Şantiye yerleşim tedbirleri;

- Şantiye planlaması, uygun yer seçimi
- Gürültülü işlerin şantiye dışında yapılması
- Gürültülü araçların ve makinelerin Arka plan gürültüsünün yüksek olduğu zaman çalıştırılması
- Gürültülü araç ve makinelerin yakınlarına yansıtıcı yüzeyli malzemeler konulmaması



KAYNAK – ALICI ARASINDA (ÇEVREDE) GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Şehirlerde en çok karşılaşılan trafik gürültüsü için kaynak ile alıcı arasında aşağıdaki hususlar dikkate alındığında alıcıya gelen gürültü düzeyinde azalmalar elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Alıcı-yol arasına yerleştirilen bariyerlerin etkisi üzerine çalışmalar

Alıcı ile kaynak arasına yerleştirilecek bariyerlerin; kaynağa veya alıcıya yakın olması, yüksekliği ve uzunluğu, geçirgenliği ve yansıtıcılık gibi özellikleri, gürültünün azaltılmasında önemli rol oynayan kriterler arasındadır. Gürültü bariyerleri özelliklerinden dolayı; doğal, yapay ve kompozit bariyerler olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Araştırmalar yapay gürültü bariyerlerinin doğal bariyerlere göre daha fazla gürültü azalımı sağladığını ortaya koymuştur. Doğal bariyerlerle ortalama 3-7 dBA civarında gürültü azaltımı sağlanırken, yapay bariyerlerin gürültü azaltımına katkısı 10-15 dBA'ya kadar çıkabilmektedir (OECD, 1995).



Doğal gürültü bariyerleri

Doğal gürültü bariyerleri alıcı ile kaynak arasına yerleştirilecek değişik tür, ebat ve mesafedeki bitki kuşağını içine almaktadır. Bitki kuşağının yoğun olarak yerleştirilmesi, geniş yapraklı ve uzun boylu bitkilerden seçilmiş olması, gürültüyü azaltmada etkin rol oynayan parametrelerdendir.

Genelde yola paralel olarak 30m uzunluğunda sık ve yüksek boylu dikilmiş ağaçlardan ibaret bariyerler, 5 dBA gürültü azaltımı sağlamaktadır. Yola paralel olarak 60 m uzunluğunda sık ve yüksek dikilmiş ağaçlardan ibaret bariyerler, 10 dBA gürültü azaltımı sağlamaktadır. Yolu kenarına en az 50 m uzunluğunda sık ve 1-1,5 m yüksekliğinde dikilmiş çalı topluluğundan oluşan bariyerler, 3 dBA düzeyinde bir gürültü azaltımı sağlamaktadır.

Çizelge Bitkisel bariyerlerin gürültü azaltımındaki rolü

Tür	Boyutlar m	Akustik fonksiyonu	Gürültü azaltımı, dBA	(+): Avantaj (-): Dezavantajı
Ağaç ve çalılıklar	L: En az 10 H: 8-9	Absorbtif	3-4	(+): Göze hoş gözükmede ve egzoz gazlarını da absorbe edebilmektedir. (-): Sınırlı düzeyde akustik iyileştirme sağlamaktadır
Toprak set üzerine çalılık	L: 15-18 H: 3-4	Absorbtif ve yansıtıcı	15-16	(+): Göze hoş gözükmede ve akustik azaltım açısından etkin (-): Geniş alanlara ihtiyaç vardır

L: Uzunluk, m
H: Yükseklik, m



Yapay gürültü bariyerleri

Bilinen ve yaygın olarak kullanılan yapay gürültü bariyerlerinin başında sırasıyla beton, ahşap ve metal malzemeli duvarlar gelmektedir. Son yıllarda, estetik açıdan göze daha hoş gelen şeffaf cam türü malzemeler ile boyanmış beton veya metal malzemeler de yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. OECD'nin kriterlerine göre; bir yapay gürültü bariyerinin birim metre karesinin ağırlığı minimum 20 kg/m² olmalı, her 1m bariyer yüksekliği gürültü düzeyinde 1,5 dBA bir azalma sağlamalı ve gürültü bariyerinin boyu en az bariyer ile alıcı arasındaki mesafenin 4 katı uzunluğunda olmalıdır.

Çizelge Değişik tür gürültü bariyerleri ve gürültü azaltım değerleri

Tür	Boyutlar, m	Akustik fonksiyonu	Gürültü azaltımı, dBA	(+): Avantaj (-): Dezavantajı
Boşluklu briket	L:0,5 H:2,5	Yansıtıcı, absorplayıcı	15-16	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Estetik açıdan uygunsuz
Güçlendirilmiş beton panel	L:0,35 H:3-4	Yansıtıcı, absorplayıcı	17-19	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Ahşap panel	L:0,30 H:2-3	Absorplayıcı	18-19	(+): İyi akustik verim özelliği (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Alüminyum veya çelik panel	L:0,3 H:4-5	Yansıtıcı, absorplayıcı	20-22	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli
Polikarbonlu malzeme	L:0,5 H:3-4	Yansıtıcı	16-17	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli

•Yaklaşık olarak değişik türden yapay gürültü bariyerleri ile 15-22 dBA arasında bir gürültü azaltımı sağlanabilmektedir.

•Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bahçe duvarı yapı tarzı 2 m yüksekliğinde betonarme türden olup, ortalama 10 dBA gürültü azaltımı sağlayabilmektedir.

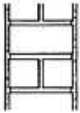



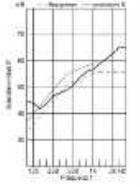
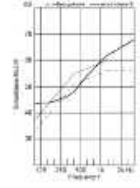
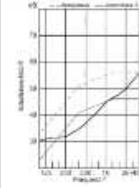
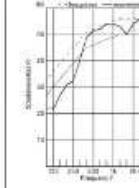
Tür	Boyutlar, m	Akustik fonksiyonu	Gürültü azaltımı, dBA	(+): Avantaj (-): Dezavantajı
Boşluklu briket	L:0,5 H:2,5	Yansıtıcı, absorplayıcı	15-16	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Estetik açıdan uygunsuz
Güçlendirilmiş beton panel	L:0,35 H:3-4	Yansıtıcı, absorplayıcı	17-19	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Ahşap panel	L:0,30 H:2-3	Absorplayıcı	18-19	(+): İyi akustik verim özelliği (-): Yüksek maliyetli ve bol alan ihtiyacı var
Alüminyum veya çelik panel	L:0,3 H:4-5	Yansıtıcı, absorplayıcı	20-22	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli
Polikarbonlu malzeme	L:0,5 H:3-4	Yansıtıcı	16-17	(+): İyi akustik verim özelliği ve yangına dayanıklılık (-): Yüksek maliyetli



ALICIDA GÜRÜLTÜ KONTROLÜ

Gürültü kontrolünün bir diğer yöntemi ise kaynaktan ve çevrede gürültü azaltımının yetersiz olduğu durumlarda, gürültünün zararlı etkilerini en aza indirebilmek için alıcıda bir takım koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu bölümde alınabilecek en kötü azaltım önlemi türü ele alınmaktadır: alıcıda alınabilecek önlemler. Bunlar en kötü önlemler olarak adlandırılmaktadır çünkü bu şekilde sadece binaların iç mekanlarının gürültüsü üzerinde etkili olurken maalesef çevresel gürültü aynı şekilde kalmaktadır.

			
Her iki tarafı 15 mm iç sıvalı kireçli kum taşı	Sıvasız çelik beton duvar	Gaz beton levhaları tavani yüksek, sıvasız	1-mm-çelik sac-100 mm'lik mineral lif levhali çift trapez profili
240 mm	180 mm	200 mm	190 mm
54 dB	53 dB	42 dB	46 dB
			

Değişik duvar kurulumları (konstrüksiyon, duvar kalınlığı) ve onlara ait havadaki ses yalıtım örnekleri



Alıcıda gürültüye en hassas kısımlar kapı ve pencerelerdir. Çünkü bu üniteler diğer betonarme yapılar ile aynı formda olmayıp, temas noktalarında sesin geçebilmesi açısından en olumsuz koşulları oluşturabilmektedir.

Örneğin pencereler için cam uygulamalarına bakıldığında şunlar söylenebilir genel teknik bilgiler olarak. Pratikte tek camın ve ikili ya da üçlü cam ünitesinin ses yalıtımı pratikte laboratuvar ölçümleri ile belirlenebilmektedir. Genel olarak ise pencere camları için şunlar söylenebilir.:

- Camın kalınlığı arttıkça ses yalıtımı doğrusal olarak artar.
- Yoğunluğu normal camdan daha fazla olan camların ses yalıtımı daha iyidir.
- Çift cam ünitesinin, iki camın toplam kalınlığına eşit tek cama göre ses yalıtımı daima daha iyidir denemez. Ara mesafe az ve cam kalınlıkları küçük ise, tek cam daha iyidir; belirli bir kalınlık ve ara mesafeden sonra çift cam ünitesi daha iyi ses yalıtımı sağlar.
- Çift cam ünitesinde ara mesafe arttıkça, cam kalınlıklarının artmamasına rağmen ses yalıtımı iyileşir.
- Çift cam ünitesinde, toplam cam kalınlığını eşit olarak ikiye bölmek yerine farklı kalınlık uygulanırsa (örnek olarak 6+6 yerine 4+8), daha iyi ses yalıtımı elde edilir.
- Çift cam ünitesinde ara boşluk hava yerine yoğunluğu daha büyük bir gazla (örnek olarak SF) doldurulursa ses yalıtımı iyileşir.



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI

ÇEVRESEL TİTREŞİMLER

Doç.Dr. Ercan ARPAZ
Kocaeli Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü



İÇERİK

- Mekanik titreşim oluşumu ve genel titreşim parametreleri
- Titreşim kaynakları ve özellikleri
- Titreşim ölçümleri, frekans analizleri ve örnek uygulamalar
- Titreşim ölçümünde kullanılan ekipman ve kalibrasyonları
- Titreşimin insanlar ve yapılar üzerindeki olumsuz etkileri (genel)
- TS ISO 4866: Mekanik Titreşim ve Şok- Binaların Titreşim-Titreşimin Ölçülmesi ve Binalara Etkilerinin Değerlendirilmesi konulu standardı
- TS 10354: Madencilik – Hava Şoku ve Yer Titreşim Ölçümü Standardının açıklanması



- **Günümüzde artan nüfus ve şehirleşmelerin etkisiyle çevresel faktörlerin insan sağlığı ve refahı üzerindeki etkileri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle son yıllarda dikkat çeken faktörlerden biri de çevresel titreşimlerdir. Çevresel titreşimler, çevremizdeki fiziksel ortamda meydana gelen titreşimlerdir. Sebepleri ve sonuçları itibarıyla birçok şekilde karşımıza çıkabilmektedir.**
- **Özellikle endüstriyel faaliyetler, trafik, madencilik, inşaat çalışmaları ve doğal olaylar gibi faktörler çevresel titreşimlerin oluşumuna ve şikayetlerin oluşmasına neden olabilir. Bu titreşimler, oluşum özelliklerine, fiziksel büyüklüğüne ve etkilenen ortam özelliklerine bağlı olarak yapısal hasarlara ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilmektedirler.**



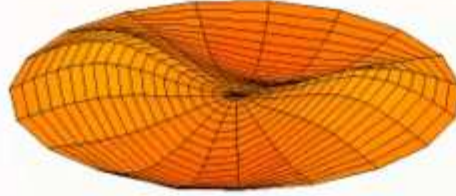
- Çevresel titreşimler yapılarda hasara, makine ekipmanlarda çalışma koşullarının bozulmasına ve arızalara sebep olmakla birlikte insanlar üzerinde de tedirginlik, stres, uyku bozukluğu gibi etkilerin yanı sıra fizyolojik bozukluklara ve rahatsızlıklara sebep olabilmektedir.
- Çevresel titreşimlerin önemi ve etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bu konunun üzerinde titizlikle durulması ve gerekli önlemlerin alınması gerektiği açıktır. Sağlıklı bir çevre ve yaşam için çevresel titreşimlerin kontrol altına alınması ve azaltılması önemli bir adımdır. Bu nedenle, çevresel titreşimlerle ilgili farkındalığın artırılması ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.



- Çevresel titreşimlerin kontrol altına alınması ve azaltılması için çeşitli önlemler alınabilir. Fakat burada önemli olan titreşim ve titreşimden etkilenen/etkilenebilecek unsur arasındaki ilişkinin doğru bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.
- Örneğin, yapıdaki titreşimlerin kontrol altına alınması amacıyla kaynak modellemelerinin yapılması ve hasar vermeyecek titreşim seviyelerine indirilecek uygulamaların ve sınırlandırmaların uygulanması ön plana çıkarken makine ekipman titreşimlerinde titreşim yalıtımı ve titreşimli ekipmanların düzenli bakımı önlem olarak uygulanabilir. Burada en önemli husus titreşimden etkilenecek unsur ve etkilenme seviyelerinin ilişkisine bağlı olarak uygun ekipmanların titreşim seviyelerini ölçmek ve izlemek için kullanılmasıdır.



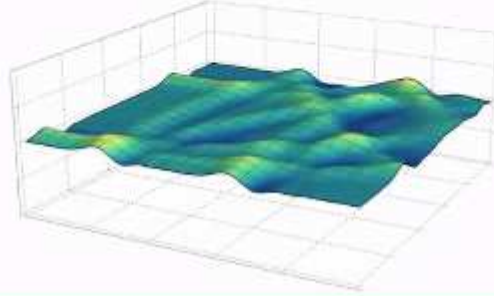
- Mekanik titreşimler, bir nesnenin veya sistemin dengesizliği veya uyarılması sonucunda ortaya çıkan düzenli veya düzensiz hareketlerdir.
- Bu titreşimler genellikle nesnenin denge pozisyonundan belirli bir mesafe ile salınımı veya hareketi olarak tanımlanır.



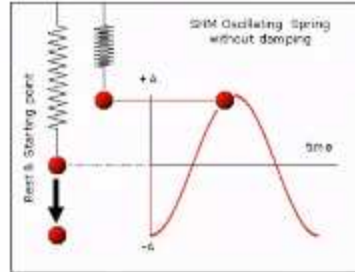
- Mekanik titreşimlerin oluşumu ve özellikleri genellikle aşağıdaki faktörlerle ilişkilidir:
 - Kuvvet Uygulaması
 - Esneklik ve Kütle Etkisi
 - Doğrusal ve Dairesel Hareketler
 - Frekans ve Genlik
 - Zorlama ve Doğal Frekans



- **Kuvvet Uygulaması:** Bir nesneye uygulanan bir kuvvet, denge durumunu bozabilir ve nesnenin titreşmesine yol açabilir. Örneğin, bir yayı çekip bırakmak veya bir taşa vurmak, nesnenin titreşimine sebep olabilir.



- **Esneklik ve Kütlenin Etkisi:** Bir nesnenin esnekliği (örneğin, bir yay veya elastik bir malzeme) ve kütlesi, titreşim davranışını etkiler. Esnek bir nesne, belirli bir kuvvet uygulandığında kolayca titreşebilir.





- **Doğrusal ve Dairesel Hareketler:** Mekanik titreşimler genellikle doğrusal (ileri-geri) veya dairesel (dönme) hareketler olarak gerçekleşir. Bir yayın bir ucunu sabit bir noktaya bağlayarak diğer ucuna kuvvet uygularsanız, yay belirli bir frekansta ileri-geri hareket eder. Benzer şekilde, dairesel bir hareketle de titreşimler oluşturabilirsiniz.

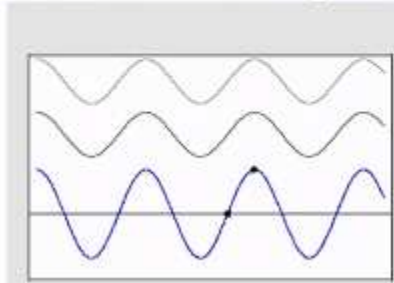


- **Frekans ve Genlik:** Bir titreşimin frekansı (salınım sayısı) ve genliği (salınımın büyüklüğü) titreşimin özelliklerini belirler. Düşük frekanslı titreşimler genellikle yavaş ve daha büyük salınımlara yol açarken, yüksek frekanslı titreşimler daha hızlı ve daha küçük salınımlar üretir.



- **Zorlama ve Doğal Frekans:** Bir nesnenin doğal frekansı, kendi kendine titreşim yapma eğilimidir. Dış bir kuvvet tarafından düzenli olarak zorlanan bir nesne, zorlamanın frekansına (dış kuvvetin salınım sayısı) yakın bir doğal frekansa sahipse, rezonans denilen yüksek titreşim seviyeleri meydana gelebilir.

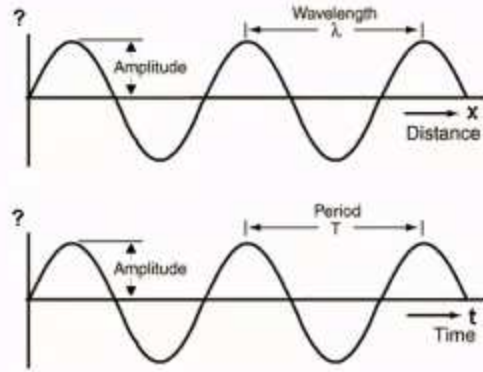
Resonance chambers and standing waves:



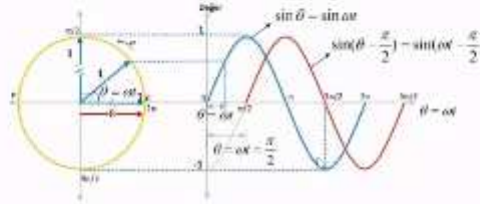


• **Mekanik titreşimlerin incelenmesi ve analiz edilmesi için çeşitli parametreler kullanılır:**

- **Frekans (f):** Titreşimdeki tekrar sayısıdır ve genellikle Hertz (Hz) cinsinden ölçülür. Frekans, titreşimin hızını ve dinamik tepkisini belirler.
- **Periyot (T):** Bir titreşim döngüsünün tamamlanması için gereken süredir. Frekans ve periyot ters orantılıdır ($T = 1/f$).
- **Genlik (A):** En büyük titreşim boyutudur. Genlik, bir yapı veya sistemin titreşim gücünü ve potansiyel hasarını belirler.



- **Faz (Φ):** İki veya daha fazla titreşimli sistemin aynı anda nasıl davrandığını belirtir. Faz, titreşimler arasındaki zamanlama farkını tanımlar.



- **Titreşim Modları:** Bir sistemdeki doğal titreşim şekillerini ve bunların frekanslarını ifade eder. Titreşim modları, bir sistemdeki titreşim davranışını belirleyen kritik özelliklerdir.
- **Dış Kuvvetler ve Uyarıcılar:** Titreşime neden olan harici kuvvetler veya uyarıcılar, titreşim parametrelerini etkileyebilir ve sistemdeki titreşimlerin karakterini değiştirebilir.



- **Titreşim kaynakları, fiziksel sistemlerde titreşim oluşturan veya tetikleyen unsurlardır. Bu kaynaklar çeşitli fiziksel olaylar veya mekanizmalar aracılığıyla titreşimleri başlatabilir veya destekleyebilir. Yaygın titreşim kaynakları ve özellikleri:**

• **Mekanik Titreşim Kaynakları:**

- **Denge Dışı Kuvvetler:** Mekanik sistemlerde dengesiz kuvvetler, titreşimleri başlatan önemli bir kaynaktır. Örneğin, makine parçalarındaki dengesiz ağırlıklar veya eksik dengeleyiciler titreşimlere neden olabilir.
- **Makine ve Motorlar:** İşleyen bir makine veya motor, içindeki parçaların hareketinden kaynaklanan titreşimlere sebep olabilir.
- **Dişli Kutular ve Aktarma Organları:** Dişli kutuları gibi mekanik iletim organları, dişli çarkların temasından kaynaklanan düzenli titreşimlere neden olabilir.



- **Elektriksel Titreşim Kaynakları:**
 - **Elektrik Motorları:** Motorların içindeki manyetik alan değişimleri ve dönme hareketleri titreşimlere sebep olabilir.
 - **Transformatörler ve Bobinler:** Elektrik akımlarının manyetik alanlarını değiştiren bileşenler titreşimlere neden olabilir.
- **Akustik Titreşim Kaynakları:**
 - **Ses Dalgaları:** Yüksek ses basınçları, titreşimli bir ortam oluşturabilir.
 - **Hoparlörler ve Ses Sistemleri:** Hoparlörlerin titreşimleri, ses dalgalarını oluşturur.



- **Kimyasal Titreşim Kaynakları:**
 - **Kimyasal Reaksiyonlar:** Bazı hızlı veya patlayıcı kimyasal reaksiyonlar titreşimlere sebep olabilir.
- **Termal Titreşim Kaynakları:**
 - **Isıtma ve Soğutma Sistemleri:** Termal genişleme veya sıcaklık değişiklikleri, malzemelerde titreşimlere neden olabilir.



- Titreşim ölçümleri, genellikle titreşimli bir sistemin hareketini veya dinamik davranışını belirlemek için yapılan ölçümlerdir. Bu ölçümler genellikle şu adımları içerir:
- **Titreşim Sensörleri:** Titreşim sensörleri, hız, ivme veya deplasman gibi titreşim parametrelerini ölçmek için kullanılır. Örneğin, ivme ölçerler bir sistemin ivmesini ölçer ve bu veriler titreşim analizlerinde kullanılır.
- **Veri Toplama:** Titreşim verileri, uygun sensörler aracılığıyla toplanır. Bu veriler genellikle zaman serisi olarak kaydedilir.
- **Veri Analizi:** Toplanan veriler, zaman ve frekans alanlarında analiz edilir. Analiz teknikleri, titreşim kaynaklarını belirleme, sistem doğrulama ve performans değerlendirmesi gibi amaçlarla kullanılır.



- **Frekans analizi**, titreşim verilerini frekans alanında analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu analizler genellikle Fourier dönüşümü gibi matematiksel yöntemlerle gerçekleştirilir. Frekans analizleri şunları sağlar:
- **Frekans Bileşenleri:** Titreşim verileri, farklı frekans bileşenlerine ayrıştırılarak incelenir. Bu, sistemdeki belirli titreşim kaynaklarını tanımlamayı sağlar.
- **Doğal Frekanslar:** Sistemin doğal titreşim frekansları, yapısal özellikleri ve titreşim modları hakkında bilgi sağlar.



- **Makine Sağlığı İzleme:** Endüstriyel makinelerde titreşim ölçümleri, makine sağlığı ve durumu hakkında bilgi sağlamak için kullanılır. Anormal titreşimler, arızaları veya sorunları belirlemeye yardımcı olabilir.
- **Yapısal Analiz:** Yapısal sistemlerde titreşim ölçümleri ve frekans analizleri, binaların veya köprülerin titreşim davranışlarını değerlendirmek için kullanılır. Bu analizler, yapısal güvenilirlik ve dayanıklılığı değerlendirmek için önemlidir.
- **İş Sağlığı ve Güvenliği:** Çalışanların maruz kaldığı titreşimlerin çalışana verebileceği zararları kontrol altına almak için tüm vücut ve el-kol titreşimi şeklinde titreşim ölçümleri kullanılır.



- **Araç Dinamiği:** Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, araçların titreşim özellikleri ve sürüş konforunu değerlendirmek için titreşim ölçümleri yapılır.
- **Elektronik Cihazlar:** Elektronik cihazların titreşim özellikleri, dayanıklılık ve performans testleri için değerlendirilir.
- **Yeraltı Kaynakları İzleme:** Jeofizik alanında, yeraltı kaynaklarının (petrol, maden vb.) belirlenmesi için titreşim ölçümleri kullanılır.



• Yaygın olarak kullanılan titreşim ölçüm ekipmanları :

1. **İvme Ölçerler:** İvme ölçerler, bir sistemin ivme (titreşim) seviyelerini ölçmek için kullanılır. Piezoelektrik veya kapasitif tip ivmeölçerler yaygın olarak kullanılır.
2. **Hız Ölçerler:** Hız ölçerler, bir sistemin hız (ivme integrali) seviyelerini ölçmek için kullanılır. Genellikle piezoelektrik sensörler kullanılarak yapılır.
3. **Deplasman Sensörleri:** Deplasman sensörleri, bir sistemin mekanik deplasmanlarını ölçmek için kullanılır. LVDT (Lineer Voltaj Diferans Transdüser) veya kapasitif tip sensörler bu amaçla kullanılabilir.



4. **Veri Toplama Cihazları:** Titreşim verilerini kaydetmek için veri toplama cihazları (data logger) kullanılır. Bu cihazlar, analog veya dijital veriyi kaydedebilen ve genellikle bilgisayar veya veri toplama yazılımı ile entegre olan özel cihazlardır.
5. **Spektrum Analizatörleri:** Titreşim verilerini frekans alanında analiz etmek için spektrum analizatörleri kullanılır. Bu cihazlar, titreşim sinyallerinin frekans bileşenlerini belirlemek için kullanılır.

Titreşim ölçüm ekipmanlarının kalibrasyonu, düzenli aralıklarla yapılmalıdır ve ölçüm doğruluğunu sağlamak için önemlidir. Kalibrasyon süreci genellikle belirli standartlara göre gerçekleştirilir ve doğru kalibrasyon laboratuvarlarında yapılmalıdır. Kalibre edilmemiş ekipmanlar, yanlış veya güvenilmez ölçümlere neden olabilir ve bu da yanıltıcı sonuçlara yol açabilir.



• **Titreşimin İnsan Sağlığına Etkileri**

- **Sağlık Sorunları:** Sürekli veya yüksek düzeyde titreşime maruz kalmak, insanlarda baş ağrısı, yorgunluk, uyku bozuklukları, stres ve sinirlilik gibi sağlık sorunlarına yol açabilir.
- **İç Organ Etkileri:** Titreşim, iç organlarda rahatsızlıklara neden olabilir ve uzun vadeli maruziyet, sindirim veya dolaşım sistemi üzerinde olumsuz etkiler yapabilir.
- **İskelet ve Kas Sistemi:** Titreşime maruz kalan çalışanlar, eklem ağrıları, kas gerginliği ve iskelet sistemi problemleri gibi fiziksel rahatsızlıklar yaşayabilirler.
- **İş Performansı:** Yüksek düzeyde titreşime maruz kalmak, iş performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve iş güvenliği risklerini artırabilir.



• **Titreşimin Yapılara Etkileri**

- **Yapısal Hasar:** Yapılar, sürekli titreşimlerden kaynaklanan yorgunluk çatlakları, malzeme zayıflamaları veya yapısal deformasyonlar gibi hasarlarla karşı karşıya kalabilirler.
- **Konfor Kaybı:** Yüksek düzeyde titreşim, bina sakinleri veya kullanıcıları için rahatsızlık ve konfor kaybına neden olabilir.
- **Ekipman ve Malzeme Hasarı:** Hassas ekipmanlar veya malzemeler, sürekli titreşimler nedeniyle işlevlerini kaybedebilir veya kullanılamaz hale gelebilir.



- **TS ISO 4866:** Mekanik Titreşim ve Şok - Binaların Titreşimi -Titreşimin Ölçülmesi ve Binalara Etkilerinin Değerlendirilmesi İçin Kılavuz
- **TS 10354:** Madencilik Hava Şoku ve Yer Titreşimi Ölçümü



- Bir yapıdaki titreşimin ölçümü çeşitli amaçlar için gerçekleştirilir:
 - a) Bir yapının, bina sakinleri ve ekipman için endişeye neden olacak bir seviyede titreştiğinin bildirildiği ve muhtemelen seviyelerin yapısal bütünlük için endişe gerektirip gerektirmediğinin belirlenmesini gerekli kıldığı durumlarda problem tanıma;
 - b) Bir kurum tarafından izin verilen maksimum titreşim seviyelerinin belirlendiği ve bu titreşimlerin ölçülmesi ve raporlanması gereken kontrol izleme;
 - c) Dinamik yüklemenin tasarımda tanındığı ve yanıt tahminlerini doğrulamak ve yeni tasarım parametreleri sağlamak için ölçümlerin yapıldığı belgeler (Bunlar, ortam veya empoze edilen yüklemeyi kullanabilir. Örneğin, depreme verilen tepkilerin bir yapıdaki çalışma prosedüründe değişiklik gerektirip gerektirmediğini belirtmek için güçlü hareketli sismograflar kurulabilir);
 - d) Teşhis, titreşim seviyelerinin daha fazla araştırma gerektirdiği tespit edildiğinde, azaltma prosedürleri için bilgi sağlamak amacıyla ölçümler yapılır (başka bir teşhis prosedürü, örneğin deprem gibi şiddetli bir yüklemeden sonra, yapısal durumu belirlemek için ortamdaki veya empoze edilen yüklemeye yapısal tepkiyi kullanmaktır).



1. KAPSAM

- Bu Uluslararası Standart, yapılar üzerindeki titreşim etkilerinin değerlendirilmesi ile ilgili olarak titreşim ölçümünün gerçekleştirilmesi ve verilerin işlenmesi için ilkeler belirler. Kaynağın dinamik aralık, frekans veya diğer ilgili parametreleri belirlediği durumlar dışında, uyarma kaynağını kapsamaz. Yapısal titreşimin etkilerinin değerlendirilmesi, öncelikle frekans, süre ve genişliğin tanımlanabileceği uygun analitik yöntemler kullanılarak yapının tepkisinden elde edilir. Bu Uluslararası Standart, yalnızca yapısal titreşimin ölçümü ile ilgilidir ve bu tür uyarımlara verilen yanıt dikkate alınmasına rağmen, havadaki ses basıncının ve diğer basınç dalgalarının ölçümünü hariç tutar.
- Bu Uluslararası Standart, yerin üstünde veya altında inşa edilen tüm yapılar için geçerlidir. Bu tür yapılar kullanılır veya korunur ve binaları, arkeolojik ve tarihi değeri olan yapıları (kültürel miras), köprüleri ve tünelleri, boru hatları dahil gaz ve sıvı tesisatlarını, toprak yapıları (örneğin bentler ve setler) ve sabit deniz tesisatlarını (örneğin rıhtımlar ve rıhtımlar) içerir.
- Bu Uluslararası Standart, nükleer santraller ve barajlar dahil olmak üzere bazı özel yapılar için geçerli değildir.
- Yapıların tepkisi uyarıma bağlıdır. Bu Uluslararası Standart, uyarma kaynağından etkilenen ölçüm yöntemlerini, yani herhangi bir kaynak tarafından indüklenen frekans, süre ve genişliği inceler (örneğin deprem, kasırga, patlama, rüzgar yükü, havadan yayılan gürültü, sonik patlama, dahili makineler, trafik ve inşaat faaliyetleri).



Olayların sürelerine göre sınıflandırılması

- Kalıcı
- Aralıklı
- Tek oluşum

Olayların genliklerinin zamanla değişimine göre sınıflandırılması

- Sabit
- Çevrimsel (tekrarlayan)
- Diğer olaylar

Kaynak tarafından yayılan sinyallerin kategorisine göre sınıflandırma

- Sabit (örn. jeneratörler);
- Durağan olmayan (örn. trenler);
- Ayrılmış (örn. patlatma) veya tekrarlanan darbelerle (örn. dövme çekiçleri) geçici veya dürtüsel titreşimler.



Frekans aralığı ve titreşim genişliği

- İlgilenilen frekans aralığı, uyarımın spektral içeriğine ve yapının mekanik tepkisine bağlıdır. Basitlik için, bu Uluslararası Standart, doğal (rüzgarlar ve depremler) ve insan yapımı (inşaat, patlatma ve trafik) uyarma kaynaklarına maruz kalan çok çeşitli yapıları kapsayan 0,1 Hz ile 500 Hz arasında değişen frekanslarla ilgilidir. Dahili makineler, daha geniş bir frekans aralığında ölçüm gerektirebilir.
- İnsan yapımı kaynaklardan kaynaklanan yapısal hasarların çoğu, 1 Hz ile 150 Hz frekans aralığında meydana gelir. Depremler ve rüzgar uyarımı gibi doğal kaynaklar, genellikle 0,1 Hz ile 30 Hz aralığında daha düşük frekanslarda hasar düzeyinde enerji içerir.
- Yapısal tepkilerin analizi ve karakterizasyonu için ilgilenilen titreşim seviyeleri, frekansa bağlı olarak saniyede birkaç ila birkaç yüz milimetre arasında değişir (Tablo A.1 ve A.2, çeşitli kaynaklar için yapısal tepki aralıklarını ve tipik değerleri ve ölçüm koşullarını gösterir).



Vibration source	Frequency range* Hz	Amplitude range µm	Particle velocity range mm/s	Particle acceleration range m/s ²	Time characteristic
Traffic road, rail, ground-borne	1 to 100	1 to 200	0,2 to 50	0,02 to 1	C/T
Blasting vibration ground-borne	1 to 300	100 to 2 500	0,2 to 100	0,02 to 50	T
Air over pressure	1 to 40	1 to 30	0,2 to 3	0,02 to 0,5	T
Pile driving ground-borne	1 to 100	10 to 50	0,2 to 100	0,02 to 2	T
Machinery outside ground-borne	1 to 100	10 to 1 000	0,2 to 100	0,02 to 1	C/T
Machinery inside	1 to 300	1 to 100	0,2 to 30	0,02 to 1	C/T
Human activities inside	0,1 to 30	5 to 500	0,2 to 20	0,02 to 0,2	T
Earthquakes	0,1 to 30	10 to 10 ⁶	0,2 to 400	0,02 to 20	T
Wind	0,1 to 10	10 to 10 ⁶	—	—	T
Acoustic (inside)	5 to 500	—	—	—	C/T

C: Continuous T: Transient.

NOT 1 - Belirtilen aralıklar çok yüksektir, ancak yine de yaşanabilecek ve ölçülmesi gerekebilecek değerleri gösterir (ayrıca bakınız Not 2). Aşırı yer değiştirme genlikleri ve frekansları aralıkları, parçacık hızlarını ve ivmelerini üretmek için kullanılmamıştır. 0,2 mm/sn'den düşük değerler de dikkate alınabilir. Bina güvenliği ve insan rahatsızlığı için bu değerler önemsiz olabilir, ancak hassas ekipmanlar için önemlidir.

NOT 2 - Verilen aralıklardaki titreşim değerleri endişeye neden olabilir. Tüm yapı çeşitlerini, koşulları ve maruz kalma sürelerini kapsayan bir standart yoktur, ancak birçok ulusal kod, görünür (veya başka bir şekilde fark edilebilir) etkilerin eşliğini, saniyede birkaç milimetreden daha büyük bir yapının temelindeki en yüksek parçacık hızlarıyla ilişkilendirir. Önemli bir hasar, saniyede birkaç yüz milimetrelilik en yüksek parçacık hızlarıyla bağlantılıdır. İnsan algısı eşliğinin altındaki titreşim seviyeleri, hassas ve endüstriyel süreçlerde endişe verici olabilir.



• Ölçülecek Büyüklükler

- Hem titreşim girişinin doğasının hem de tepkinin karakterizasyonu, çeşitli yer değiştirme, hız veya ivme transdüserleri tarafından gerçekleştirilebilir. Hızlar ve ivmeler, yaygın olarak ölçülen kinematik büyüklüklerdir. Algılama sisteminin uygun transfer fonksiyonunun bilgisinden, her bir miktar diğerinden integrasyon veya türev yoluyla türetilir. Gerekli miktardan doğrudan ölçmek için uygun dönüştürücünün kullanılması tavsiye edilir, böylece integrasyon veya türev süreçlerinden kaçınılır. Veri toplama, işleme ve sunma gereksinimleri karşılandığı sürece, herhangi bir büyüklük ölçülebilir. Deneyimler, farklı durumlar için tercih edilen büyüklükler olduğunu göstermektedir.



- Bu standart madenlerde patlama tesiriyle meydana gelen hava şoku ve yer titreşimi ölçümü ve ölçümde kullanılan cihazların kalibrasyonuna dairdir.



- **30 Kasım 2022 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği"nde;**
- **Çevresel titreşim:** Maden ve taş ocakları, ulaşım araçları, sanayi ve inşaat makineleri gibi işlemlerden doğan ve yapıarda kullanım alanı dışında başka amaçlarla kullanılan hacimlerdeki faaliyetler sırasında oluşan genellikle katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılan ve insan vücudunca hissedilen mekanik salınım hareketleri **olarak tanımlanmaktadır.**



- 30 Kasım 2022 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren “Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği”nde;
- **Çevresel titreşim değerlendirme yöntemleri**
- **MADDE 15- (1) Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmalarda; oluşacak hava şoku, taş savrulması, titreşim gibi çevresel etkilerin asgari düzeyde tutulacağı bir patlatma paterni uygulanır. Ek-2’deki Tablo 3’te yer alan usul ve esaslara göre, patlatma yapılan alanın yakınındaki bina ve yapıların korunması için alınan tedbirler hazırlanan akustik raporlar içerisinde detaylı olarak açıklanır.**
- (2) Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların, çevredeki yapılarda oluşturduğu zemin titreşim düzeyi Ek-2’deki Tablo 3’te yer alan sınır değerleri sağlar.



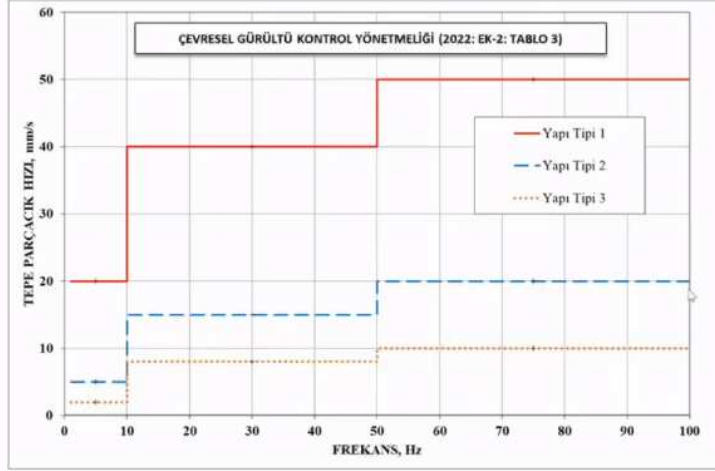
Tablo 3. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapıda yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

Yapı Tipi	Binaların Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı, (mm/s) (frekansa göre, f=Hz)			Tüm Frekanslar için en üst katın döşemesinde (tabanında) ⁽²⁾
	f = 1-10	f =10-50	f =50-100 ⁽¹⁾	
1 Endüstriyel binalar	20	40	50	40
2 Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar	5	15	20	15
3 Titreşime duyarlı olup 1. ve 2. maddenin dışında kalan binalar, tarihi ve doğal yapılar ⁽³⁾	2	8	10	8

⁽¹⁾ 100 denir/s büyük frekanslar için, büyük titreşim düzeyine izin verilebilir.

⁽²⁾ Birden fazla katlı binalar için, ölçümlerin hem binaların temelinde hem de en üst katın döşemesinde alınması gerekir.

⁽³⁾ Tarihi ve doğal yapılar için belirlenen bu sınır değerler, yeryüzde yapılacak hassas, kapsamlı titreşim ölçümleri ve bilimsel çalışmalar ile kullanılabilir.



- (3) Demir yolu ve kara yolu ulaşım araçları, işyerleri ve endüstri tesislerinin en yakın yapıda oluşturacağı titreşim düzeyi ile konut ve ofis olarak kullanılan binalarda, bina içindeki makine ve teçhizatın oluşturacağı zemin titreşim düzeyi Ek-2'deki Tablo 4'te yer alan sınır değerleri sağlar.
- (4) Şantiyelerde gerçekleşen faaliyetlerin çevredeki yapılarda oluşturacağı zemin titreşim düzeyi Ek-2'deki Tablo 5'te yer alan sınır değerleri sağlar.
- (5) Titreşim düzeylerinin sınır değerleri sağlanmasını teminen başta titreşim yalıtımı olmak üzere gerekli teknik tedbirler alınır/aldırılır.



- Tablo-4: Demir yolu ve kara yolu ulaşım araçları, işyerleri ve endüstri tesislerinin en yakın yapıda oluşturacağı zemin titreşimleri ile bina içindeki makine ve teçhizatın oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

	Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (rms değeri (mm/s))
Konutlarda	1 ⁽¹⁾	1.5
	8-100	0.3
Ofislerde	1 ⁽²⁾	3.5
	8-100	0.6
Tarihi ve doğal yapılarda ⁽⁴⁾	1 ⁽³⁾	0.8
	8-100	0.1

⁽¹⁾ İzin verilen en yüksek titreşim hızı belirtilen değerlerle logaritmik çizilen grafikte, titreşim frekansına göre belirlenir. Örneğin 1 Hz-8 Hz arasında, 1.5 mm/sn'den 0.3 mm/sn'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır.

⁽²⁾ İzin verilen en yüksek titreşim hızı belirtilen değerlerle logaritmik çizilen grafikte, titreşim frekansına göre belirlenir. Örneğin 1 Hz-8 Hz arasında, 3.5 mm/sn'den 0.6 mm/sn'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır.

⁽³⁾ İzin verilen en yüksek titreşim hızı belirtilen değerlerle logaritmik çizilen grafikte, titreşim frekansına göre belirlenir. Örneğin 1 Hz-8 Hz arasında, 0.8 mm/sn'den 0.1 mm/sn'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır.

⁽⁴⁾ Tarihi ve doğal yapılar için belirlenen bu sınır değerler, yerinde yapılacak hassas, kapsamlı titreşim ölçümleri ve ilgili bilimsel çalışmalar ile kıstlanabilir.



- Tablo-5: İnşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratan operasyonların ve inşaat makinelerinin en yakın yapının dışında oluşturacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (1 Hz- 80 Hz arasındaki frekans bantlarında)

	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)	
	Sürekli Titreşim	Kesikli Titreşim
Yerleşim Alanlarında	5	10
Ticari Alanlarda	15	30
Tarihi ve doğal yapılarda ⁽¹⁾	2	5

(1) :Tarihi ve doğal yapılar için belirlenen bu sınır değerler, yerinde yapılacak hassas, kapsamlı titreşim ölçümleri ve bilimsel çalışmalar ile kısıtlanabilir.



- “Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği” nde farklı iş kolları ile ilgili sınır değerler yer alırken, patlatma sonucu oluşan hava şoku ile ilgili herhangi bir kriter belirtilmemiştir. Her ne kadar çeşitli çalışmalarda $L_{cmax} = 100$ dB sınır değeri kullanılır gibi ifade edilse de bu değer işitilebilir çevresel gürültü (20-20.000 Hz) tanımı için geçerlidir. Patlatma kaynaklı hava şoku için geçerli değildir. Bu durum yönetmeliklerin uygulanmasında yardımcı kaynak olarak 2018 yılında T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu”nda açıkça görülmektedir. Bu kılavuzda ABD tüzüğünde yer alan sınır değerler kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu tüzüğe göre sınır gürültü değerleri Tablo’da verilmiştir.



Çizelge 1. Cihazın frekans bandına uygun olarak izin verilen en yüksek gürültü düzeyleri

Ölçüm sisteminin düşük frekans limiti (Hz)	Maksimum gürültü seviyesi (dB)
≤ 2 Hz	En yüksek 133
≤ 6 Hz	En yüksek 129





- Günümüzde gerek madencilik gerekse inşaat sektörlerinin en önemli süreçlerinden biri kazı işlemleridir. Bu kazı işlemlerinde bazen alternatif yöntemler kullanılsa da patlatma halen en önemli ve bazen de vazgeçilmez unsurlardandır.
- Bu vazgeçilmezlik öncelikle ekonomik unsurlardan sonrada sırasıyla zaman ve ardışık işlemlerin neden olduğu kısıtlamalarından kaynaklanmaktadır.



MADENCİLİK SEKTÖRÜ

- **Maden Arama Faaliyetleri**
 - Sismik aramalar
 - Yarma
 - Yol ve lokasyon hazırlığı
 - Arama kuyu ve galerileri
- **Açık İşletme Faaliyetleri**
 - Genel hazırlıklar
 - Gevşetme patlatmaları
 - Basamak patlatması(cevher ve dekapaj)
 - Yapıtaşı üretimi ve taşocakları
- **Yeraltı İşletme Faaliyetleri**
 - Hazırlık işleri
 - Üretim işleri
 - Tavan göçertme çalışmaları
- **Özel Üretim Yöntemleri**
 - Rezervin kütleli olarak gevşetilmesi
 - Rezervuar ve yantaşların kırılması ve çatlatılması
- **Tünel Açma Faaliyetleri**
 - Karayolu tünelleri
 - Demiryolu tünelleri
 - Toplu ulaşım (metro) tünel ve istasyonları
 - Su ve kanalizasyon tünelleri
 - Derivasyon tünelleri



İNŞAAT SEKTÖRÜ

- Hammadde temini
- Temel kazıları
- Kanal açma çalışmaları
- Yol yapımı
- Baraj ve gölet yapımı
- Kontrollü yıkımlar
 - Bina ve beton yapılar
 - Çelik konstruksiyon
 - Köprü
 - Yüksek fırın bacaları
- Yeraltında ev, çarşı, depo, ve büro yapımı

PETROL SEKTÖRÜ

- Sismik aramalar
- Rezervuarların genişletilmesi
- Boru hatlarının açılması

ENERJİ SEKTÖRÜ

- Yeraltı güç santralleri
- Yeraltı petrol ve gaz depoları
- Yeraltı nükleer atık depoları
- Yeraltı basınçlı hava depoları



TARIM VE ORMANCILIK SEKTÖRÜ

- Tabakalara su geçirme özelliği sağlayacak çatlak oluşturma çalışmaları
- Ağaç köklerinin çıkarılması
- Ağaç kesimi
- Orman yangınlarının önlenmesi

ASKERİ SİĞINAK VE FAALİYETLER

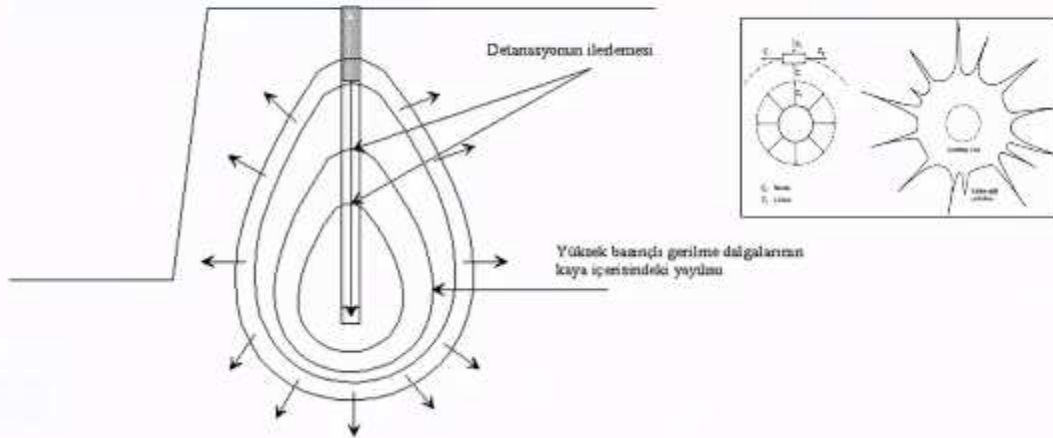
- Tahrip ve imha faaliyetleri
- Mevzilerin hazırlanması
- Stratejik füzeler için yeraltı üsleri
- Korunmaya yönelik yeraltı boşluk ve sığınakları

DİĞER FAALİYETLER

- Su altı atımları
- Buz ve buz altı çalışmaları
- Zemin stabilizasyon işlemleri
- Metal yapıştırma ve kaynaklama işlemleri
- Endüstride sıcak atımlar
- Kuyu ve silo tıkanıklıklarının giderilmesi
- Nükleer atımlar yaparak işletilebilir yeni hammadde kaynaklarının oluşturulması
- Çığ ile mücadele

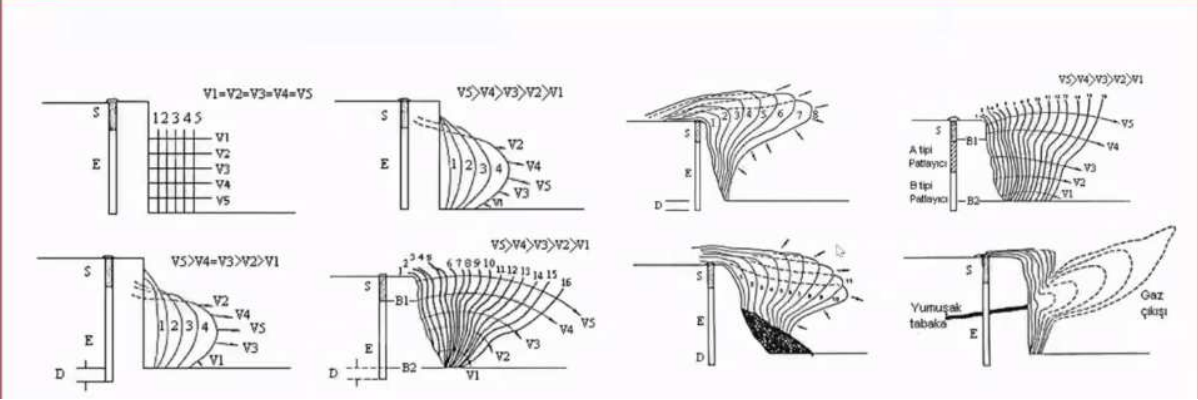


- Delişe konulup sıkılması yapıldıktan sonra patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen olayları dört temel aşamada incelenebilmektedir.
 - Detonasyon
 - Şok yada birim deformasyon dalgalarının yayılımı
 - Gaz basıncının yayılımı
 - Kütle taşınması

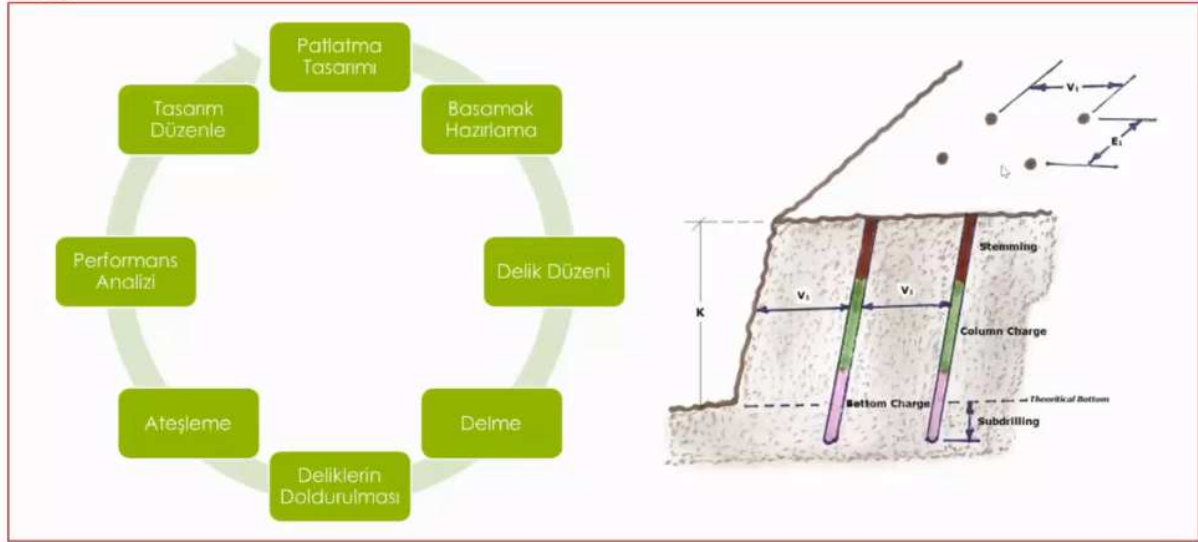




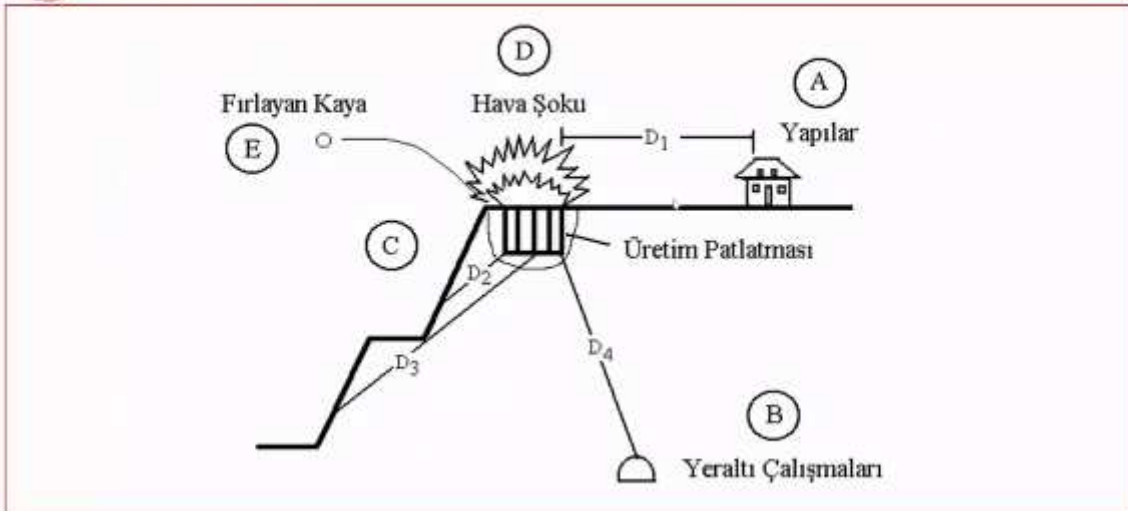
TEORİSİ



TEORİSİ

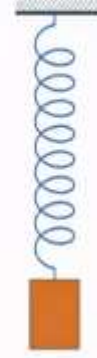
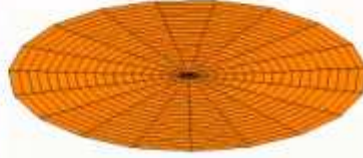


ÇEVRESEL ETKİLER





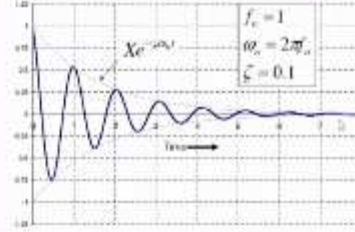
- Titreşim bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır.
- Bu salınımlar bir sarkaçın hareketi gibi periyodik olabileceği gibi çakıllı bir yolda tekerleğin hareketi gibi rastgele de olabilir.



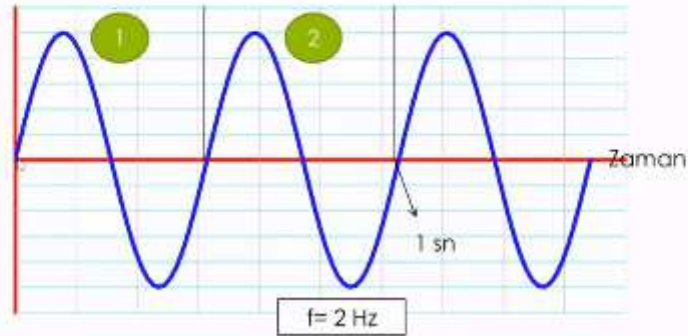
- Dinamik sistemlerdeki titreşimler, dış kuvvetler ve sistemin bu dış kuvvetlere cevap verme özelliğinden kaynaklanır.
- Dolayısıyla dış kuvvetler veya sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliği değiştirilerek sistemin titreşim özelliği değiştirilmiş olur.
- Uyarıcı kuvvetler ya sistemin bağlı olduğu temelden gelen bir kuvvet veya herhangi bir dış kuvvet dönen sistemlerde dengelenmiş kütle, motorlarda gidip gelen kütleler, darbe kuvvetli deprem vs. gibi titreştirici özellikteki kuvvetler olabilir



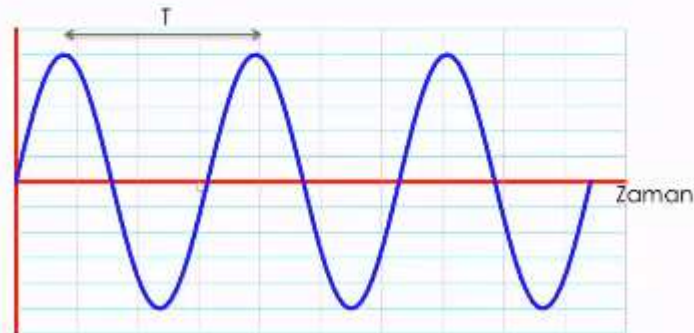
- **Serbest titreşim**, bir başlangıç hareketi verilen ve daha sonra serbestçe salınmaya bırakılan sistemlerde meydana gelen titreşim türüdür. Bir çocuğu salıncakta sallanırken ardından itirmek ve daha sonra serbest bırakmak veya bir akort çatalına vurmak ve daha sonra salınmaya bırakmak bu titreşim türünün örnekleridir. Mekanik sistem daha sonra kendi frekansı veya frekanslarında titreşecek ve sifıra gidecektir.



- **Frekans** : Titreşim hareketinin bir saniyedeki tekrarlama sayısıdır. (f, Hz)

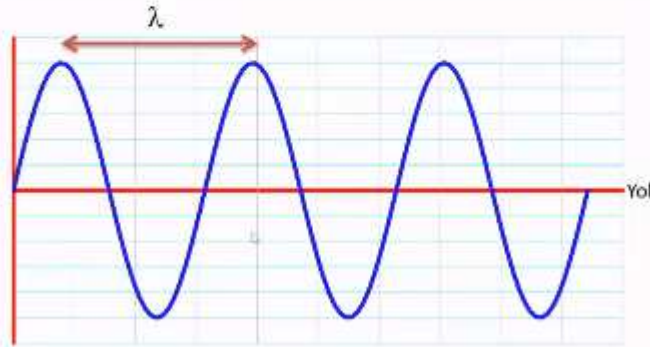


- **Periyod** : Titreşim hareketinin kendini tekrarlama süresidir. (T=1/f, sn)

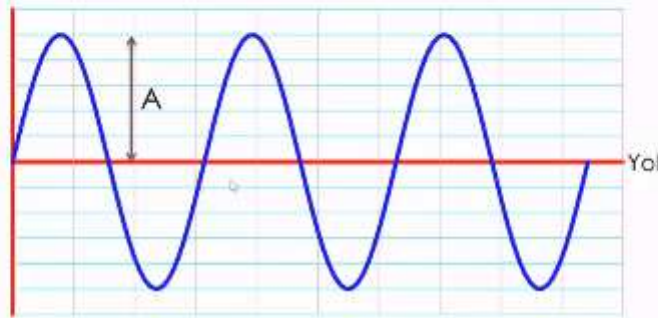




- **Dalga Boyu :** Titreşim hareketinin bir döngüsünün aldığı yoldur. ($\lambda = c/f$, m)



- **Genlik:** Bir periyodluk harekette maksimum düzey olarak tanımlanabilir. (A, değişken)



- **Harmonik Titreşim:** Bir sinüs dalgası şeklinde değişen titreşim hareketidir.

$$x = x_0 \sin \omega t$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

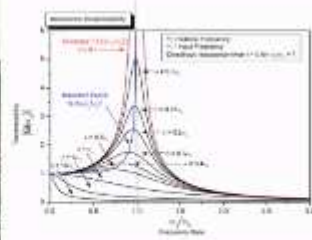
x_0 : Titreşimin genliği
 ω : Açısal frekans (Radyan/sn)
 t : Zaman



- **Zorlamalı Titreşim:** Değişen bir kuvvet veya hareket bir mekanik sisteme uygulandığında oluşan titreşim türüdür.
- Balanssızlık dolayısıyla çamaşır makinesinin titreşimi, araç titreşimleri (motordan, yaylardan veya yoldan kaynaklanan), veya deprem sırasında bir binanın titreşimleri bu titreşim türünün örneklerine dahildir.
- Zorlamalı titreşimde titreşimin frekansı uygulanan zorlamanın veya hareketin frekansına bağlıdır, fakat titreşimin genliği ise sistemin mekanik davranışına bağlıdır.



- **Rezonans:** Mühendislikte teknik olarak; "genliğin sonsuza gitmesi" şeklinde açıklanır. Periyodik bir etkinin altında olan sistemde salınımlar olduğunu biliriz. Bu salınımların frekansı eğer sistemin doğal frekansına eşit olursa, sistemin genliği sonsuza dek artma eğilimi gösterir; bu olaya rezonans denir.



- **Titreşim Düzeyi:**

$$V_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{v}{v_{ref}} \right)$$

V_{dB} : Titreşim düzeyi

v : rms titreşim genliği

v_{ref} : referans titreşim genliği

(USA=1.10⁶ in/sn, 1.10⁸ m/sn, diğer ülkeler 5.10⁸ m/sn)

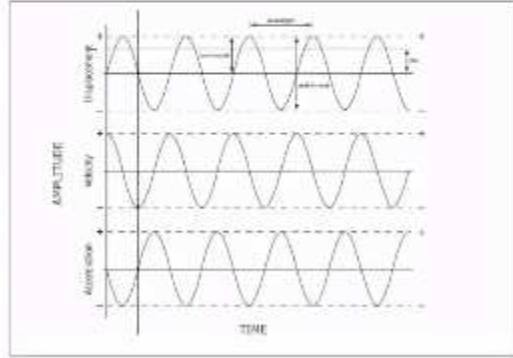


- Patlatma kaynaklı titreşimlerin (hava şoku ve yersarsıntısı) incelenmesinde göz önüne alınması gereken temel parametreler aşağıdaki gibidir.
 - Genlik (ivme ve/veya hız),
 - Frekans,
 - Zamana göre değişim
 - Frekansa göre dağılım



- Titreşimlerin ölçülmesi esnasında değerlendirme amacına bağlı olarak farklı büyüklükler ölçülebilmektedir. Ölçülen bu büyüklükler bir birleri arasında matematiksel yöntemlerle çevrimi de mümkündür.

	Deplasman	Hız	İvme
Deplasman Ölçer	Ölçülen	Hesap	Hesap
Hız Ölçer	Hesap	Ölçülen	Hesap
İvme Ölçer	Hesap	Hesap	Ölçülen



- Hava şokları patlatmadan kaynaklanan hava basınç dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Temel birimi paskal (Pa) olup sıklıkla desibel (dB) olarak raporlanmaktadır.

$$L_p = 20 + \text{Log}_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ dB}$$

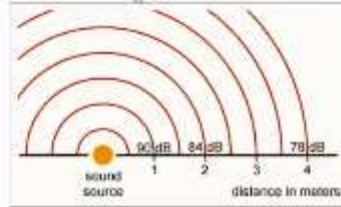
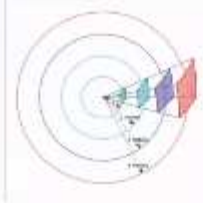
p_0 : Referans basınç değeri ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

p : Ses basıncı (Pa)

- Yüksek frekanslı basınç dalgaları duyulabilmektedir. Düşük frekanslı olanlar ise ancak etki ettiği yapılarda tıkırtılar oluşturduğunda duyulabilmektedir.
- Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır.



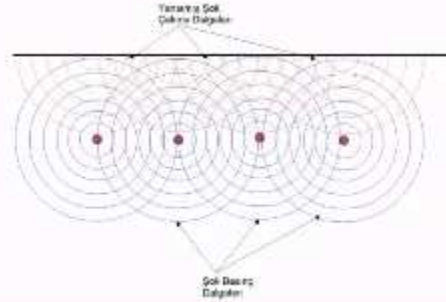
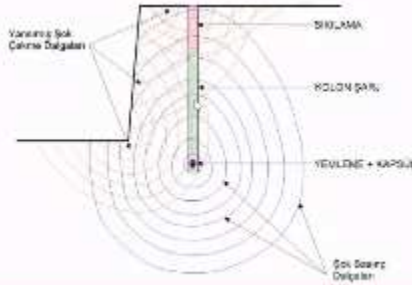
- Patlatmadan kaynaklanan hava şokları yapılarda kırık ve çatlaklara, pencerelerde kırılmalara ve insanların rahatsız olmasına neden olabilmektedir.
- Hava şoklarının insanları rahatsız etmesi, insanların yapı içerisinde ve yapı dışında olmalarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık hava şoklarının binaya ulaşması sonrasında binanın yapısal özellikleri nedeniyle çıkardığı seslerden kaynaklanmaktadır.



133 dB Sınır değer
164 dB Pencerelerde kırılma
176 dB Sıva çatlakları
180 dB Yapısal hasar



- Kayacın içinde patlatılan patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir.
- İlk başta ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır.



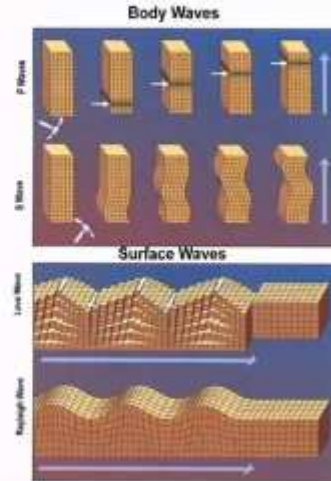
- Eğer, ortam yeni gelen enerjiye elastik özellik göstermezse, enerji sönümlenmekte ve sadece titreşimi azalmış dalgalar yansımaktadır.
- Elastik özellik gösterdiğinde ise bozulan ortamın sonucu olarak komşu ortamlar denge konumundan ayrılarak yay-ağırlık mekanizmasına benzer bir şekilde salınım meydana getirmektedir.
- Böylece bozulan ortamın her elementi, salınımın özelliklerini diğer elementlere de geçirerek ortamda dalga hareketi oluşmaktadır.
- Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket söz konusu olmamaktadır.
- Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketi yapmakta ve ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır.



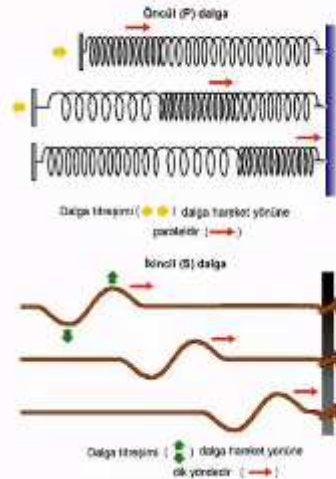
- Bu özellikleri taşıyan olayda iki hız bulunmaktadır. Birincisi bozulan ortamın yoğunluğuna bağlı olarak dalga veya faz hızı, ikincisi ise dalga enerjisini etkileyerek denge durumunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızı olmaktadır.
- **Parçacık hızı** her zaman dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin analizinde, dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- Kaya kütlesi sürekli ve homojen bir ortam olmadığından sismik dalgaların yayılımı farklı yönlerde farklı şekillerde sönümlenerek devam etmektedir.
- Bu farklı sönmenin başlıca iki nedeni bulunmaktadır. Bunlardan biri, kaya yapısının malzeme ve kütle özelliklerine bağlı olarak gösterdiği direnç, diğeri ise dalganın kaynağından uzaklaştıkça geometrik olarak daha geniş bir alana yayılması olmaktadır.



- Yersarsıntıları ilerleme bölgesine göre gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.
- Gövde dalgaları, kaya yada toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir.



- **GÖVDE DALGALARI:** Kaya kütlesi içerisinde yol alan dalgalardır. Basınç ve kesme dalgaları olmak üzere iki tipi vardır.
- **Basınç Dalgaları (P-Dalgası):** Tekrarlanan yapıda sıkışma ve genişleme şeklinde ilerler.
- **Kesme Dalgaları (S-Dalgası):** Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik yada çaprazdır.





Malzeme	P-Dalga Hızı (m/s)	S-Dalga Hızı (m/s)
Hava	332	
Su	1400-1500	
Petrol	1300-1400	
Çelik	6100	3500
Çimento	3600	2000
Granit	5500-5900	2800-3000
Bazalt	6400	3200
Kumtaşı	1400-4300	700-2800
Kireçtaşı	5900-6100	2800-3000
Kum (Kuru)	200-1000	80-400
Kum (Islak)	800-2200	320-880
Kil	1000-2500	400-1000



- **YÜZEY DALGALARI:** Bu dalgalar, gövde dalgalarının formasyon sınırları veya süreksizliklerle karşılaşmalarını takiben oluşurlar. Yüze dalgaları kaya kütlesi ve tabakalarının dış yüzeyleri boyunca yayılırlar ve iç kısımlarına dalmazlar.
- Yüze dalgaları gövde dalgalarından genlik olarak daha büyük olmakla beraber onlardan daha yavaşlırlar.
- Patlatma sonucu oluşan titreşimler açısından, daha büyük enerji taşıyıcısı olduklarından daha büyük titreşime sebep olurlar.
- Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere iki tipi vardır.

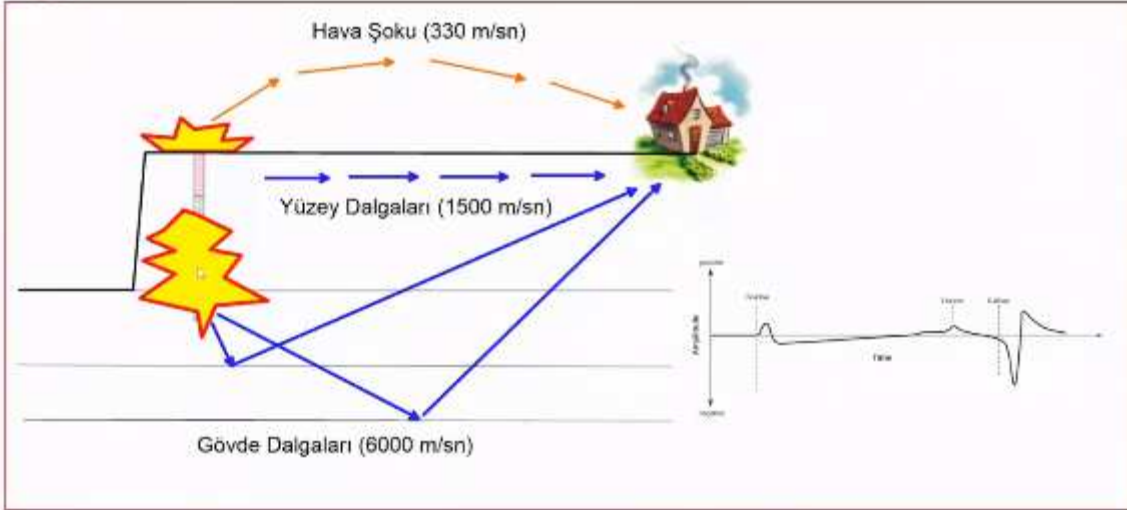


- **Love dalgasında,** düşey doğrultuda parçacık hareketi gözlenmez. Parçacık hareketi yatay düzlemde ve dalga yayılım yönüne dik olarak gerçekleşir. Bundan dolayı düşey sensörler love dalgası kaydedemezler.

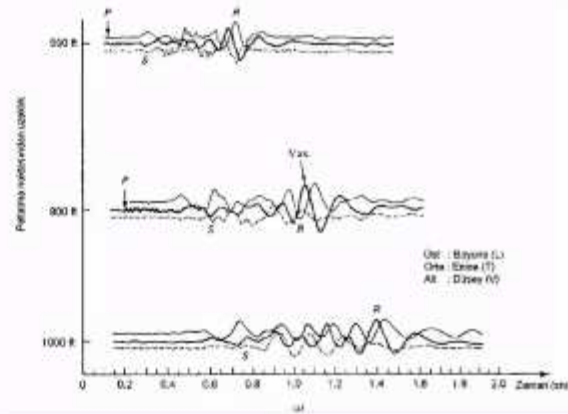
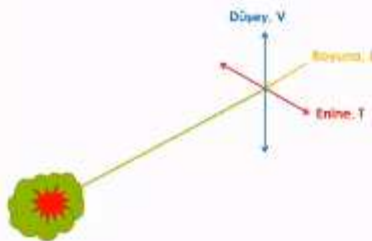




- Rayleigh dalgalarında, parçacık hareketi, dalga yayılım yönüne dik düzlemde olmak üzere, saat yönünün tersi bir eliptik yörüngede gerçekleşir.
- Titreşimlerin zararı açısından Rayleigh dalgası en önemli dalgadır. Çünkü bu dalga yüzeyden hareket etmekte ve genliği ulaştıkları mesafeye göre P ve S dalgalarına göre daha geç sönmektedir

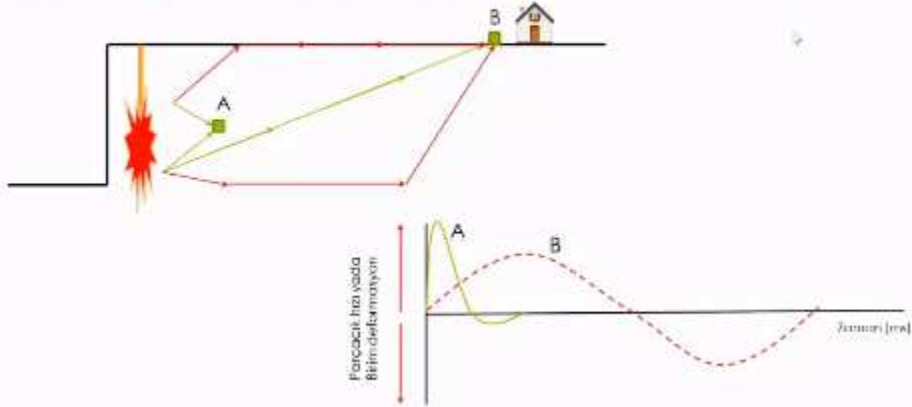


PARÇACIK HIZI BİLEŞENLERİ





• İki Noktadan Patlatma Titreşimlerinin İzlenmesi



• Yersarsıntılarının Parametre Aralığı

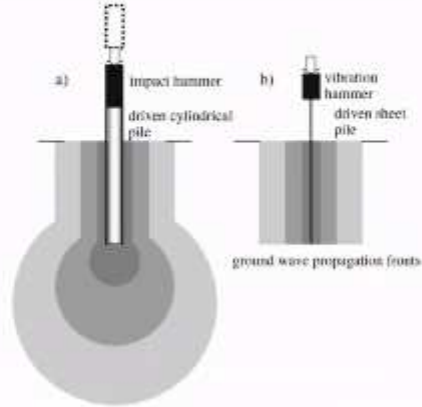
Parametre	Değişim Aralığı
Yer değiştirme	$10^{-4} - 10$ mm
Parçacık hızı	$10^{-4} - 10^3$ mm/s
Parçacık ivmesi	$10 - 10^5$ mm/s ²
Atım sürekliliği	0.5 – 2 s
Dalga boyu	30 – 1500 m
Frekans	0.5 – 200 Hz
Birim deformasyon	3.0 – 5000 μ inç/inç



- Yapım / Yıkım İşleri
 - Kazık sürme
 - Yüzeysel zemin sıkıştırma
 - Bina yıkımı
 - Patlamalı kaya kazıları
 - Derin zemin sıkıştırma (patlatma ile)
- Trafik
 - Demiryolu
 - Karayolu
- Endüstriyel makine



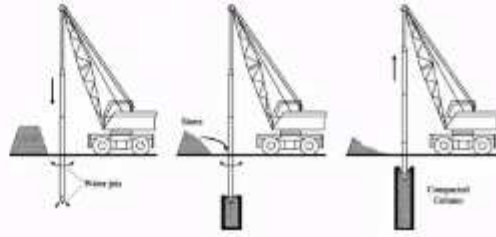
- **Kazık sürme:** Darbeli ve titreşimli olmak üzere iki temel tipi vardır.



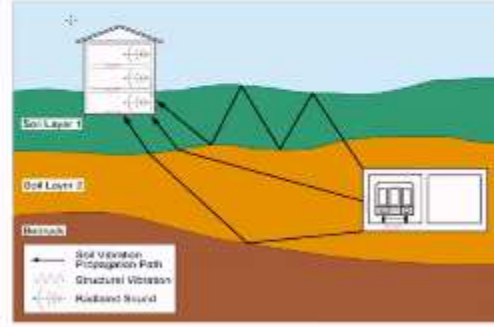
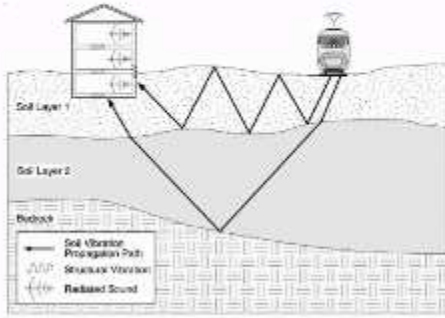


• **Yüzeysel Zemin Sıkıştırma:**

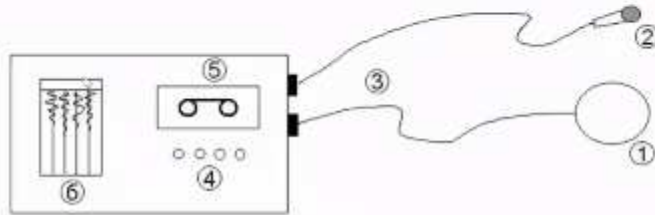
- Titreşimli silindirler tarafından dolgu katmanlarının sıkıştırılması
- Ağır kütleleri bırakarak (dinamik kompaksiyon)
- Titreşimli yüzey ve titreşimli çubuk
- Sıkıştırma kazıkları



• **Demiryolu:**

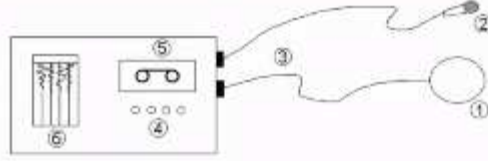


- **Ölçüm Sistemi:** Patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçülmesinde patlatma sismografları adı verilen ve parçacık hızı değerlerini ölçen cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar farklı üreticiler tarafından farklı özelliklerde üretilmesinin yanı sıra temel bileşenleri şekildeki gibidir.





1. Jeofon
2. Mikrofon
3. Bağlantı kabloları
4. Yükseltici ve sinyal düzenleyici
5. Disk
6. Yazıcı (opsiyonel)



- **Ölçüm Yöntemleri:** Patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçülmesinde yöntemler ölçümden beklenen amaca göre değişebilmektedir. Bu bağlamda temelde iki amaç ön plana çıkmaktadır.
 - Kişisel veya noktasal hasar oluşum olasılığının belirlenmesi,
 - Titreşimlerin kontrol altına alınması amacıyla saha karakteristiklerinin belirlenmesi.



- **Noktasal Ölçüm:** Genellikle patlatma kaynaklı titreşimlerden şikayetler ve/veya çekincelerden kaynaklı durumlarda noktasal olarak titreşimin etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümlerdir. Genellikle cihaz çıktıları bu amaca uygun olarak tasarlanmaktadır.
- Burada önemli olan husus şikayet ve/veya çekince sebeplerini idealize eden patlatma tasarımında ölçümlerin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla mutlaka işletme tarafından yapılan atımların söz konusu noktaya en yakın ve kullanılan gecikme başına en yüksek patlayıcı madde miktarları kullanılarak ölçümlerin alınmasıdır.
- Burada karşılaşılabilecek en önemli problem insanların titreşimi algılama seviyelerinin hasar limitlerinin çok altında olması, yersarsıntılarının bina içerisindeki objeleri titreştirerek gürültü çıkarmaları ve buna bağlı oluşan tedirginlik ve ölçüm yapılacağını bilen işletmecinin şarj miktarlarını minimum düzeyde tutarak oluşacak titreşim seviyesini aşağı düşürmesidir.
- Bu problemler elimine edildikten sonra ölçüm nokta/noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.



1. Ölçüm yapılacak nokta yapı içerisinde ve dışarısında olabilir. Dışarıda olacaksa yapının binanın atım bölgesine en yakın noktası seçilmeli
2. Bina içerisinde atım yapılırken tek katlı yapılarda titreşimin alınabileceği zeminle temas halindeki tabana bazen de duvarlara yerleştirilebilir. Bina çok katlı ise mümkünse aynı anda taban ve en üst katların zeminleri veya duvarlarından eş zamanlı olarak ölçüm yapabilecek birden fazla cihazla ölçüm yapmak gerekmektedir.
3. Jeofon ve mikrofon yerleştirilirken yönleri atım yönüne doğru yerleştirilmesi ve ölçüm yapılacak nokta ile birlikte hareket edebilecek şekilde sıkıca tutturulmalıdır.
4. Ölçüm tetikleme seviyesi ve ölçüm kayıt süresi iyi belirlenmelidir.
5. Ölçüm sonuçlarının alınmadan önce şikayetçiden mevcut algılaması ile şikayet algılaması arasında fark olup olmadığı sorgulanmalıdır.
6. Tek atım değeri ile değerlendirme yapılmamalı her noktadaki ölçüm en az üç defa tekrarlanmalıdır. Bu ölçümlerden en yüksek olan değerler kullanılmalıdır.



- **Kontrollü Patlatma Teknikleri İçin Ölçüm:** Kontrollü patlatma tekniği ile amaçlanan çevresel etkileri azaltılmış üretim aksatmayacak patlatma dizaynlarının gerçekleştirilmesidir.
- Bu amaçla çevresel etki muhtemel yönlerde patlatma kaynaklı titreşimlerin yayılma ve yönelme etkilerini belirleyebilmek amacıyla 30 ölçümden az olmamak kaydıyla bir dizi ölçüm çalışması yapmak gerekmektedir.
- Bu ölçümler genellikle üç aşamalı olarak gerçekleştirilir.
 - **Patlatma öncesi :** Atım noktasında tasarım büyüklükleri ve patlayıcı madde miktarları, ölçüm noktasında ölçüm noktası koordinatları,
 - **Patlatma sırasında :** Parçacık hızı bileşenleri ve gürültü ölçümü ve kaya fırlamasına yönelik gözlem,
 - **Patlatma sonrasında :** Patlamamış delik kontrolü ve atımın başarı derecesi.
- Değerlendirme aşamasında ölçekli mesafeye bağlı olarak oluşan tepe parçacık hızı değerleri grafiğe aktararak regresyon analizine tabi tutulur ve saha sabitleri olarak ifade edilen katsayılar belirlenir.
- %95 güvenilirlik hattı belirlenerek oluşan frekans değerlerine bağlı olarak müsaade edilebilir parçacık hızı limitlerini sağlayacak gecikme başına patlayıcı madde miktarları belirlenerek tasarımlar bu miktarı aşmayacak şekilde revize edilir.



• **ÖRNEK:**

