

Gürültü: Temel Kavramlar

Prof. Dr. Mehmet Çabfkan; Mak. Yük. Müh.

ÖZET

Tesisat Mühendisliği uygulamalarında akustik konfor kofullarının yeri ve önemi yadsınamaz. Bu çalışmada ses ve gürültü ile ilgili temel kavramlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sesin fiziksel özellikleri ile insan işitme sistemi tarafından algılanması arasındaki ilişkiler vurgulanmıştır. Düzey kavramı tanımlanmış ve akustik alanındaki uygulamalar açıklanmıştır. Gürültünün insanlar üzerindeki etkileri çeşitli boyutlar ile tartışılmıştır.

Noise: Fundamentals

ABSTRACT

Fundamental concepts and terminology associated with noise have been discussed in detail from engineering standpoint. Emphasis has been placed on the difference between physical phenomena and assessment of noise. Level concept has been explained and relevant levels used in noise studies are explained. Effects of noise on humans have been discussed in several aspects.

1. Temel Kavramlar

Elastik bir ortamda işitme duyusunun algılayabildiği küçük basınç dalgalanmalarının ya da değişimlerinin oluşturduğu duyuma ses denir. Ortamın denge basıncı civarında oluşan bu basınç dalgalanmalarının ses olarak algılanabilmesi için belirli özelliklere (büyüklük ve dalgalanma hızları açısından) sahip olması gerekir. Sesin oluşumu için bir ses kaynağına ve basınç dalgalanmalarının içinde yayılacağı kütlesi olan bir elastik ortama gereksinim vardır. Örneğin, vakumda ya da boşlukta sesin yayılması olanaksızdır. Bu tür elastik ortamlarda açıklanan basınç dalgalanmalarını ses olarak algılayacak bir algılayıcının varlığının gerekliliğinin de yadsınamayacağı açıktır. Genelde hava, sesin tanımında referans ortam olarak kullanılmakla birlikte, ses dalgaları çelik, beton vb., katı maddelerle su vb., akışkanlar içinde, bu ortamların elastik olmaları nedeniyle, yayılabilmektedir. Raylardan yayılan sesi dinleyerek trenin hareketinin izlenmesi buna en güzel örnektir. İstenmeyen ya da etkilenene bir anlam ifade etmeyen sesler gürültü olarak nitelendirilir.

Bir kişinin müzik olarak algıladığı bir ses, diğer bir kişi tarafından gürültü olarak tanımlanabilir. Örneğin, beğenisi klasik müzik olan bir kişi diğer müzik türlerini gürültü olarak değerlendirebilir. Bu nedenle gürültünün öznel (sübjektif) bir yanının bulunduğunu söylemek mümkündür. Ancak, endüstriyel gürültü vb. gürültü türleri kişilerin beğenisine bağlı olmaksızın her koşulda gürültü olarak değerlendirilir.

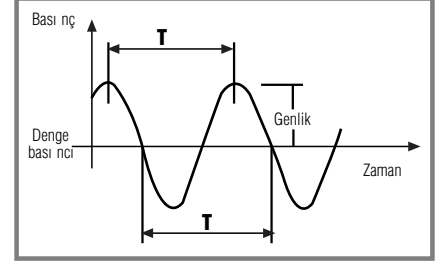
Basınç dalgalanmalarının büyüklüğünü ifade etmek için genlik terimi kullanılır. Şekil 1.'de elastik ortam içindeki sabit bir noktada ya da konumda zamanla değişen basit harmonik bir dalganın genliği gösterilmiştir. Denge basıncı etrafında ölçülen en büyük sapma ya da değişim değeri olarak tanımlanabilen dalga genliği, basınç birimi olan Pascal (kısaltılmış Pa) ya da (N/m²) cinsinden ifade edilir. Ses duyumuna yol açan basınç dalgalanmalarının ya da kısaca ses dalgalarının genlikleri, 100000 Pa dolayında bulunan atmosferik denge basıncının değerine oranla çok küçüktür.

Ses dalgasının kendisini yinelemesi için geçen süreye periyot denir. Şekil 1'de gösterilen basit harmonik ses dalgasının periyodunun, dalganın peşpeşe birbirinin aynısı iki konuma, örneğin iki tepe noktasına, ulaşması arasında geçen süre olduğu anlaşılır. Periyot genellikle saniye (s) cinsinden ifade edilir. Dalganın bir periyotluk süre içinde kalan kısmına ise dalganın devri denir.

Basınç dalgalanmalarının birim zamanda (genellikle bir saniyede) uğradıkları değişim ya da devir sayısı frekans olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle frekans, basınç dalgalanmasının kendini yineleme hızı olarak da nitelendirilebilir. Frekansı yüksek olan sesler tiz, düşük olanlar ise pes ya da bas olarak tanımlanır. Ses dalgasının frekansı (f), dalganın periyodunun (T) tersine eşit olup,

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Eşitliğiyle verilir. Frekans bir saniyede tamamlanan dalga devir ya da periyot sayısı olarak da tanımlanır ve Hertz (kısaltılmış Hz) cinsinden ifade edilir. Buradan pes seslerin periyotlarının uzun, tiz seslerin periyotlarının ise kısa olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Basit harmonik ses dalgasının zamanla değişimi.

İnsan işitme duyusunun algılayabildiği basınç dalgalanmalarının frekansları, işitme aralığı olarak tanımlanan 20 Hz ile 20000 Hz arasında bulunmaktadır. Burada verilen alt ve üst frekans sınır değerleri ortalama değerler olup, işitme yetenekleri bu sınırları her iki yönden de aşan kişiler bulunduğu gibi, ilerlemiş yaşları, fiziksel özürleri ve etkisinde kaldıkları gürültünün oluşturduğu kalıcı hasarlar nedeniyle işitme aralığı belirtilenden daha da dar olan kişiler mevcuttur.

Ses dalgalarının zamanla değişimini ifade etmekte kullanılan rms değeri, basınç dalgalanmasının karesel ortalamasının kareköküne eşittir. P_{rms} olarak gösterilen bu değer, dalga şekline bağlı olup, Şekil 1'de verilen basit harmonik ses dalgası için genlik değerinin %70.7'sine eşittir. Bu değer, ortamda sabit bir noktada oluşan basınç dalgalanmasının zaman fonksiyonu $p(t)$ cinsinden

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} p^2(t) dt} \quad (2)$$

ifade edilebilir. Burada T_0 ölçüm ya da hesaplama süresini, t ise zaman değişkenini gösterir. Periyodik basınç dalgalanmaları için hesaplama süresi ses dalgasının periyoduna eşit olarak alınır.

İnsan işitme sisteminin algılayabileceği en küçük basınç dalgalanmasının rms değeri olarak tanımlanan işitme eşiğinin ortalama değeri $2(10^{-5})$ Pa'dır. Bu değer, ses ile ilgili uluslararası standartlarda temel olarak alınmaktadır. İşitme eşiği seslerin frekanslarına bağlı olarak değişir. Düşük frekanslarda (pes seslerde) eşik değeri yüksek, orta ve yüksek frekanslarda ise düşüktür. Buradan işitme duyusunun hassasiyetinin düşük frekanslarda daha az olduğu sonucu çıkarılabilir.

İnsan kulağının dayanabileceği en büyük basınç dalgalanmasının rms değeri olarak tanımlanan ağırlı eşiğinin sayısal değeri ortalama 200 Pa olarak bulunmuştur. Bu büyüklükte bir ses dalgalanmasının etkisinde kalan kişilerde kulakta ağrı oluşmakta, bundan daha büyük genliklere sahip dalgalanmalarda ise kulakta fiziksel hasar meydana gelmektedir.

Ses dalgaları elastik ortamda, ortamın özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilen belli bir hızda yayılırlar. Sesin yayılma hızı ya da ses hızı olarak nitelendirilen bu hız ses dalgasının frekansından bağımsızdır ve ortamın elastik özellikleri ile yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Örneğin havada sesin yayılma hızı, hava sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olup, oda koşullarında (20°C sıcaklıkta) yaklaşık 343 m/s olarak bulunmuştur. Bu değer 1235 km/h olarak ta ifade edilebilir. Havada sesin yayılma hızının (c- m/s cinsinden) sıcaklığa (°C-celcius) bağlı olarak değişimi yaklaşık

$$c = 332 + 0,6 \cdot (273 + ^\circ\text{C}) \quad (3)$$

olarak tanımlıdır. Sıvılarda sesin yayılma hızının hesaplanması daha karmaşıktır. Örneğin deniz suyunda sesin yayılma hızı, sıcaklığın yanı sıra ortamın denge basıncı, tuzluluk oranı, sudaki asılı gaz miktarı vb. değişkenlere bağlıdır.

Harmonik bir ses dalgasının bir periyoduna eşit süre içinde aldığı yola sesin dalga boyu adı verilir ve λ ile gösterilir. Dalga boyu uzunluk birimleriyle (metre, milimetre, mikrometre vb.) ölçülür. Ses dalgalarına özgü olarak sesin yayılma hızı ile dalgaboyu ve frekansı arasında

$$c = f \cdot \lambda \quad (4)$$

Şeklinde bir ilişki vardır. Bu tür bir ilişki ses dalgaları gibi yayılma hızları frekanstan bağımsız olan ya da frekans ile değişmeyen tüm dalga oluşumları için geçerlidir. Bu ilişkiden düşük frekanslı (pes) seslerin dalga boylarının uzun, yüksek frekanslı (tiz) seslerin dalga boylarının kısa olduğu anlaşılır. Örneğin, işitme aralığının alt sınırı olarak kabul edilen 20 Hz frekansındaki bir ses dalgasının dalga boyunun 17 m; üst sınırı olarak nitelendirilen 20000 Hz frekansındaki bir ses dalgasının dalgaboyunun 17 mm olduğu kolaylıkla hesaplanabilir.

Ses yeğlinliği ya da ses şiddeti sesin dalga hareketi sırasında birim alandan geçen sesin gücü olarak tanımlanır ve anlık değeri ses

basıncı ile hava parçacık hızının çarpımına eşittir. Belli bir konumda oluşan ortalama ses yeğlinliği ise anlık değerlerin zamana göre ortalaması alınarak elde edilir. Bir ses kaynağının yaydığı sesin ortalama ses gücü kaynağın çevresindeki konumlarda ölçülen ortalama ses yeğlinliği ile bu konumlarla tanımlı alan çarpılarak bulunur.

2. Düzey Kavramı

Ortamın denge basıncına göre çok küçük genliklere sahip olan ses basıncı değişimlerinin Basınç dalgalanmalarının rms değerinin karesini uluslararası referans olarak alınan duyma eşiğinin karesine oranının 10 tabanına göre logaritmasının alınarak 10 ile çarpılmasıyla bulunan değer ses basıncı düzeyi olarak tanımlanır ve desibel (kısaltılmışı dB) cinsinden ifade edilir. Ses basıncı düzeyi L_p

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_{rms}^2}{[2(10^{-5})]^2} \right) \quad (5)$$

Eşitliği ile tanımlanmıştır. Burada düzey ya da seviye sözcüğü, basınç dalgalanması bir referans değere göre alındığı için kullanılmaktadır. Düzeyleri nicelendirmede kullanılan desibel ölçeği ise duyma eşiği [2 (10⁻⁵) Pa] ile ağırlı eşiği (200 Pa) arasındaki büyük değer farkını, kullanım açısından basit, yararlı ve uygulamaya kolaylığı getiren 0 dB ile 140 dB aralığına dönüştürmektedir. Ses basıncı düzeyi, ortam koşullarına (açık ya da kapalı alan vb.), ölçüm konumuna ve ses kayna-

ğından uzaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Ses basıncının iki kat artması, ses basıncı düzeyinde 6 dB artışa neden olacaktır.

Ses Gücü bir makina, cihaz ya da süreçten yayılan sesin gücü, ilgili donanımın mekanik ya da elektrik gücünün çok küçük bir yüzdesidir. Bu güç makinanın hızı, kapasitesi vb., parametrelere bağlı olup, ortam koşulları ne olursa olsun bu parametreler değişmedikçe hep aynı kalacaktır. Ses gücünün, uluslararası standartlarla belirlenmiş bulunan referans güç değeri 10⁻¹² W'a oranının on tabanına göre logaritmasının 10 katı ses gücü düzeyi L_w olarak tanımlanmaktadır. Ses gücü düzeyi

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) \quad (6)$$

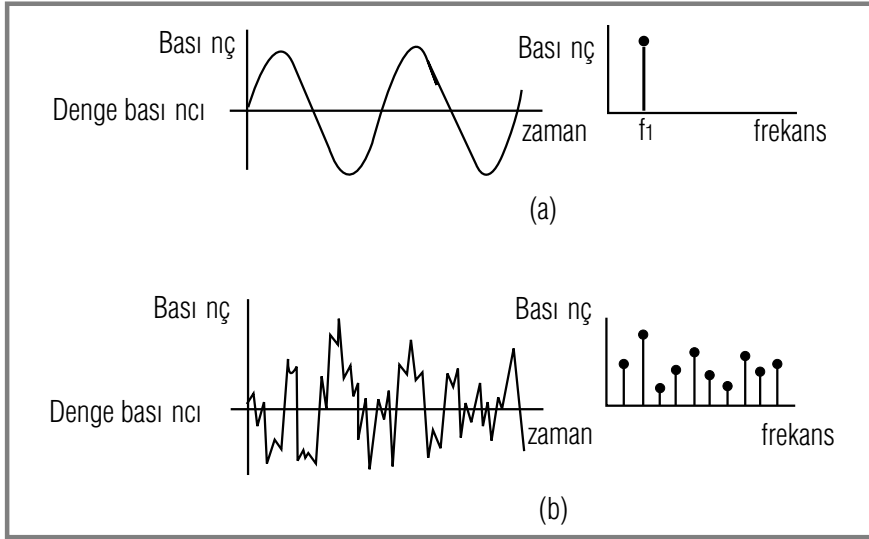
İfadesi ile tanımlı olup, yine desibel (dB) ölçeği kullanılarak ölçülmektedir. Örneğin, 1 W'lık ses gücü değeri 120 dB ses gücü düzeyine karşılık gelmektedir. Ses gücü değerinde iki kat artış ise ses gücü düzeyinde 3 dB artışa neden olmaktadır. Tipik bir dizi ses basıncı ve ses gücü düzeyleri Çizelge 1'de sergilenmektedir. Bu çizelgede verilen ses basıncı düzeyleri için ölçüm koşullarının belirtilmesi göze çarpmakta olup, koşullar değiştiğinde değerlerin de değişmesi kaçınılmaz olmaktadır.

3. Frekans Çözümlemesi ve Oktav Bantlar

Arı ses adı verilen ve tek bir frekansta yayılan Şekil 1.1'de gösterilen basit harmonik bir basınç dalgalanmasının oluşturduğu ses,

Tanım	L_w (dB)	Tanım	L_p (dB)
Satürn roketi	195	Top atışları, topçu konumu	140
Turbojet uçak motoru	160	50 BG'ne sahip siren, açık havada 30 m uzakta	130
75 çalgılı senfoni orkestrası	130	Uçak kalkışı, açık havada 60 m uzakta	125
100 BG, 2600 dev/dak hızında elektrik motoru	105	Perçinleme makinası, operatörün kulak konumunda	110
Otoyolda hızla seyreden otomobil	100	Tekstil endüstrisi dokuma salonu, tezgahların arasında operatör kulak konumunda	100
Bağırma	90	Metro treni, 6 m uzakta	90
Elektrik süpürgesi	85	80 km/h hızla seyreden spor arabanın içinde	80
Normal sesle konuşma	70	Elektrik süpürgesi, kapalı odada 3 m uzakta	70
Fısıltı	30	Süpermarket, lokanta vb iç mekanlar	60
		Şehir dışında trafiğe uzak ev odaları, arka plan gürültüsü	40
		Film ve kayıt stüdyoları, arka plan gürültüsü	20

Çizelge 1. Ses gücü ve ses basıncı düzeyleri.



Şekil 2. a) Arı ses ve frekans çözümlemesi, b) Karmaşık ses ve frekans çözümlemesi.

gürültü ya da ses türlerinden en basiti olarak nitelendirilebilir. Uygulamada karşılaşılan sesler ise pek çok arı sestem oluşmakta ve çeşitli frekanslarda enerji bileşenleri bulunmaktadır. Karmaşık sesler olarak ta niteledirilebilen gürültüyü oluşturan frekanslardaki bileşenlerine ayrıştırma işlemine frekans çözümlemesi (analizi) denir. Bu işlem uygulamada kuşak (bant) geçirim filtrelerinden oluşan elektronik cihazlar yardımıyla yapılmakta olup, temelde frekans spektrumu olarak adlandırılan gürültünün enerjisinin frekanslara göre dağılımını ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. Şekil 2'de arı ve karmaşık seslerin frekans çözümlemelerinden örnekler verilmektedir. Şekil 2a'da zamanla değişimi gösterilen basit harmonik ses dalgası tek bir frekansta (f_1) enerji içerdiğinden frekans spektrumu yalnızca bu frekansta dikey çizgi şeklinde yoğunlaşan enerjiden oluşacaktır. Diğer yandan zamanda değişimi Şekil 2b'de verilen karmaşık ses dalgasının enerjisi çok sayıda frekansa dağılmış olduğundan frekans spektrumu çok sayıda frekanstaki değişik enerji büyüklüklerini ifade eden dikey çizgilerden oluşacaktır. Karmaşık sesler için zamanda değişim ve frekans spektrumu grafikleri karşılaştırıldığında frekans spektrumunun içerdiği belirli frekanslardaki enerji ile karmaşık ses hakkında daha anlamlı ve ayrıntılı bilgiyi gözler önüne serdiği anlaşılmaktadır. Bu frekanslar gürültüden sorumlu kaynak, süreç vb. etkenlerin çalışma koşulları ile yakından ilintilidir. Örneğin, dönel makinelerden kaynaklanan gürültünün frekans çözümlemesi, dönme hızına karşılık gelen bir frekansta yüksek enerji içeriği ile olası denge (balans) ayar bozukluğuna işaret edecektir. Frekans içerikleri insan kulağının işitme

aralığı içinde bulunan sesleri her bir frekans-taki bileşenlerine ayrıştırmak uygulamada sorunlar yaratacağı için, bu işlem işitme aralığı frekans kuşaklarına ya da bantlarına bölünerek ve her kuşak içinde kalan frekanslar tek bir düzey değeriyle ifade edilerek gerçekleştirilmektedir. Frekans kuşaklarının belirlenmesinde işitme sistemi temel alınmış olup, bu kuşaklar yine uluslararası standartlarla belirlenmiştir. Ayrıştırma işlemi sonucunda her frekans kuşağı için bulunan düzeyler, kuşak (bant) düzeyi adını almakta ve kuşak içinde kalan frekanslardaki ses enerjisinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Merkez frekansı (f_c) ilgili frekans kuşağına adını vermekte olup, gürültü etkilenim çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan oktav kuşakların işitme aralığındaki merkez frekansları ile alt (f_l) ve üst (f_u) sınır frekansları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Tam ya da 1/1 oktav kuşaklar için yukarıda belirtilen frekanslar arasındaki ilişkiler

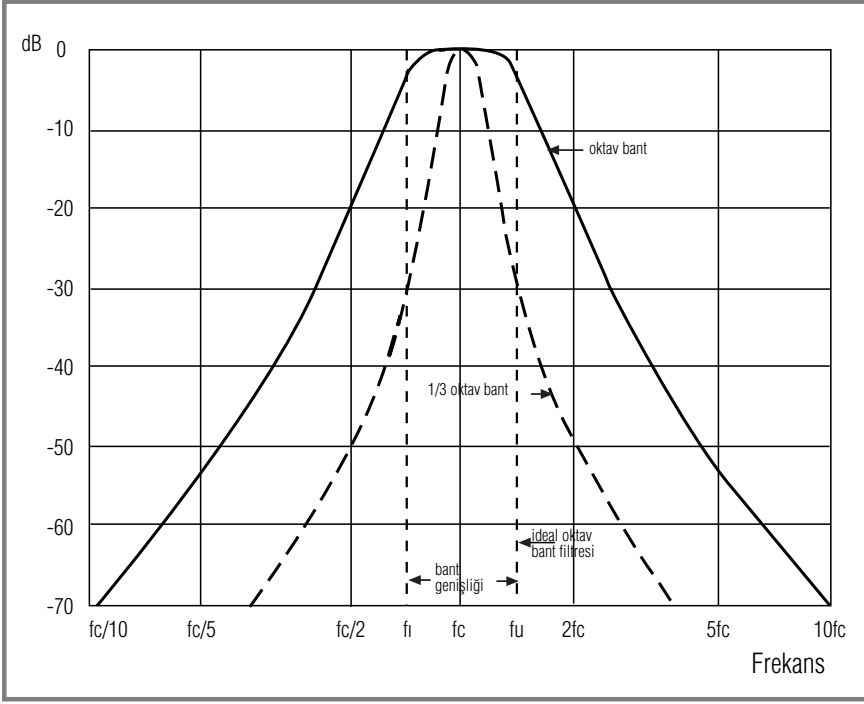
$$f_c = w \cdot f_l \cdot f_u \quad (7)$$

$$f_u - f_l = 0,707 f_c \quad (8)$$

$$f_u = 2 \cdot f_l \quad (9)$$

Şeklinde verilmektedir. Tüm bu frekansların tanımlandığı oktav kuşak gösterimi tipik bir bant geçirim filtresi olarak Şekil 3'te sergilenmektedir.

İşitme sisteminin frekans ayrıştırma işlemi oktav kuşaklarda yaptığı bulgusundan yola çıkarak standartlaştırılan bu kuşaklar, gerektiğinde daha dar frekans aralıklarını kapsayacak şekilde de tanımlanabilmektedir. Çizelge 2'de verilen tam oktav kuşakları 3'e bölerek 1/3 oktav kuşakları, 12'ye bölerek 1/12 oktav kuşaklarını elde etmek olasıdır.



fişkil 3. Oktav kufllak geçerim filtresi.

Bunun sonucunda sayıları artan ve daha dar frekans aralığındaki bilgiyi (ses enerjisini) gösteren 1/3, 1/12 vb. oktav kuşak ozmlmeleri daha hassas frekans ayırıştırma yetkinlikleri ile gürültü bilgisinin daha iyi tanımlanmasına yardımcı olurlar. Örneğin, işitme sisteminin frekans ozmlmesine benzer özellikleri taşıyan 1/3 oktav kuşak ozmlmesinde kullanılan st ve alt sınır frekanslar arasındaki ilişkiler ile ilgili tanımlayıcı bilgiler aşağıda verilmektedir:

$$f_u - f_l = 0,236 \cdot f_c \quad (10)$$

$$f_u = 1,26 \cdot f_l \quad (11)$$

Bant genişlikleri merkez frekansının belli bir yüzdesi olarak belirlenen oktav kuşaklarda frekans ozmlmesi yapan cihazların yanısıra, sabit genişlikli ve daha dar kuşaklarda gürültü enerjisinin frekansa göre

dağılımını çıkarabilen dar bant frekans ozmlleyicileri gürültü denetimi çalışmalarında yoğun olarak sorun tanılama işlevlerini yerine getirmede kullanılırlar.

Frekans ozmlmesi gürültü denetimi için teknik ozmlerin arandığı ve kişilerin etkisinde kaldıkları gürültünün etkilerinin araştırıldığı durumlarda oldukça önem kazanmaktadır. Bu tür bir ozmlme yapmadan ve gürültü enerjisinin yoğun olduğu frekansları belirlemeden ozmler üretmek olanağı yoktur.

4. <İnsan Kulağı> ve Sesin Algılanması

İnsan kulağı dış kulağ, orta kulağ ve i kulağ olmak üzere  kısımdan oluşmaktadır. Kulağa gelen ses dalgaları dış kulağ öğeleri kulağ kepeesi ve kulağ kanalı yardımıyla kulağ zarına doğru yönlendirilirler. Ses

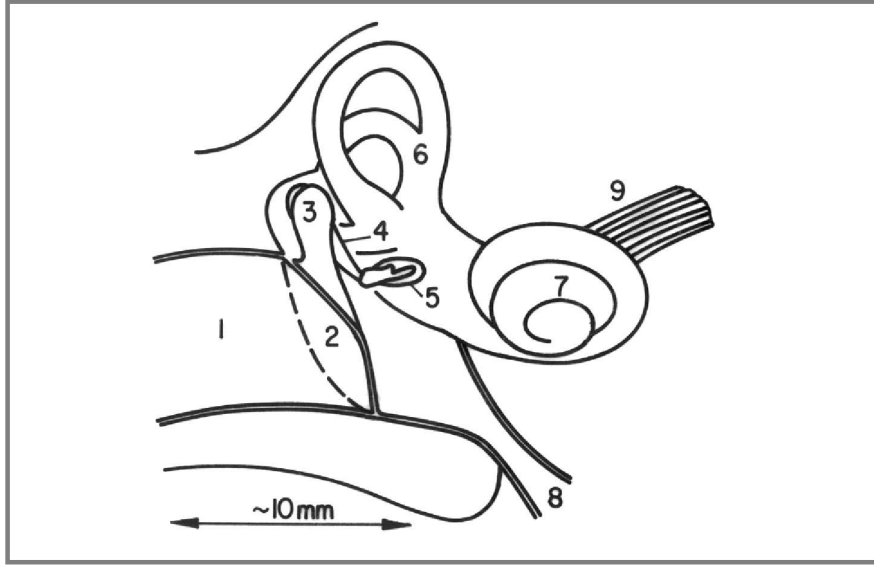
dalgalarının oluşturduğu havadaki basınç dalgalanmaları kulağ zarının titreşimine neden olurlar. Zarın titreşimleri orta kulaktaki eki, rs ve zengi adı verilen  kk kemikten oluşan manivela türünden mekanik bir düzenek aracılığı ile iç kulağa iletilir. İ kulağ salyangoz şeklinde her kulakta üçer adet bulunan yarım daire kanallarının birincil görevi insan dengesinin sağlanmasına yönelik olup, işitme ile pek ilgisi yoktur. Koklea, iki buçuk devir yapan bir spiral şeklinde açıldığında uzunluğu 32-35 milimetreyi bulan, kulağın en hassas ve önemli kısmıdır. İçi sıvı dolu olan koklea bir zar tarafından, spiralin ortasından iribatlı iki ayrı kanala ayrılır. Orta kulaktaki kemikler aracılığıyla gelen titreşimler kokleanın oval pencere denilen kısmına iletilirler. Oval pencerenin titreşimi sonucunda koklea içindeki sıvıya bir dalga hareketi verilmiş olur. Kokleayı uzunluğuuna iki kanala ayıran zar üzerinde ortalama 35 bin tüy hücre taşıyan korti organına da yataklık etmektedir. Koklea içindeki sıvıda oluşturulan dalgalar uzunluğu 6-7 mikron dolayında olan bu hücreler yardımıyla algılanırlar ve tüylerin hareketiyle orantılı olarak elektrik sinyaline dnştrlrlenir. Tüy hücreleri birleşerek sayıları yaklaşık 16 bin dolayındaki sinir liflerini, bunlar da duyma ya da işitme sinirlerini oluştururlar. Böylelikle dış kulağa gelen ses dalgalarının değişimden geçerek korti organından oluşturduğu sinyaller işitme sinirleri yoluyla beyindeki işitme merkezine taşınır ve sinyallerin bu merkezde işlem görmesiyle işitme süreci tamamlanır. şekil 4 işitme işlemi ile ilgili olan kulağ öğelerini göstermektedir.

İşitme işlemi çok daha kk lkte de olsa doku yoluyla da geerleşebilmektedir. Yüz ve kafatasındaki doku ve kemiklere çarpan havadaki ses dalgaları bu iki ortamda da yayılan dalgalara neden olmaktadır. Bu dalgaların kafatasındaki oyuklara yerleşik iç kulağa ulaşmasıyla da seslerin algılanması mümkün olabilir. Bu nedenle dış kulağ kanalı kulağ tıkaçlarıyla kapatılarak orta ve iç kulağın dış ortam ile ilgisi kesilse bile, insanlar bu yolla havada yayılan sesleri az da olsa algılayabilirler.

Kulağ ve işitme sistemi seslerin frekanslarını ayırıştırın bir özellik ile donatılmıştır. Bu zellik iç kulaktaki koklea'nın yapısı ile ilintilidir. Örneğin, tiz sesler oval pencere yakınındaki tüy hücreleri, pes ya da bas sesler ise koklea'yı ikiye ayıran zarın ucuna yakın

Kulağ Merkez Frekans (Hz)	Kulağ Alt Sınır Frekans (Hz)	Kulağ st Sınır Frekans (Hz)
16	11	22
31,5	22	44
63	44	88
125	88	176
250	176	353
500	353	707
1000	707	1414
2000	1414	2825
4000	2825	5650
8000	5650	11300
16000	11300	22500

Çizelge 2. Standart oktav kulağların merkez ve sınır frekansları.



Şekil 4. Kulak kesiti.

1. Dış kulak kanalı, 2. Kulak zarı, 3. Çekiç, 4. Örs, 5. Özenge ve oval pencere, 6. Yarım daire kanalları, 7. Koklea (salyangoz), 8. Östaki borusu, 9. Duyuma sinirleri

bölgedeki tüy hücreleri yardımıyla algılanırlar. Bu bağlamda işitme sistemi bir frekans analizörü ya da çözümleyicisi olarak çalışmaktadır. Gürültü ve ses ile ilgili olarak geliştirilen standartlarda ve gürültü denetimi çalışmalarında kulağın bu özelliği dikkate alınmaktadır.

5. İşitme Sisteminin Öznel Davranışları

5.1 Eşit Gürlük Eşitlikleri

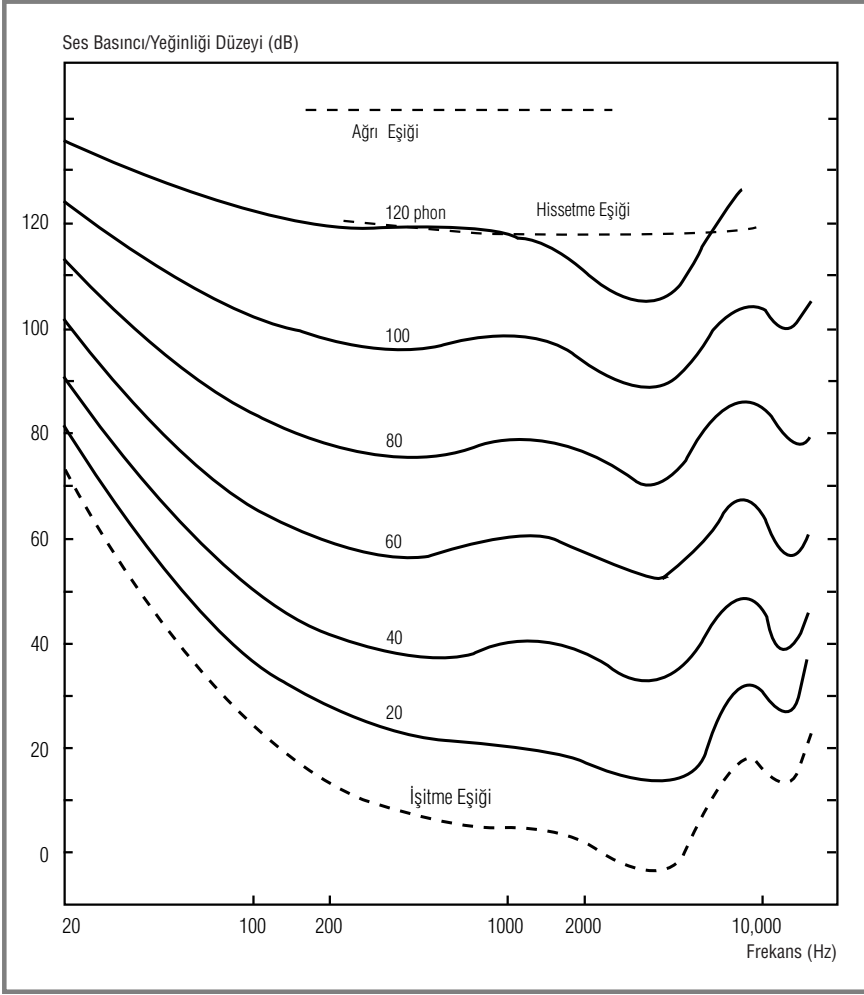
İşitme sistemi, sesleri kulak zarına, yakın bölgede oluşturdukları genliklerine ya da ilgili ses basıncı düzeylerine, frekans içeriklerine (pes ya da tiz olmalarına) ve biçimlerine (harmonik, darbe, kesikli vb.) göre değişik yüksekliklerde algılar. Ses gürlüğü ya da yüksekliği, ses basıncı düzeyinin, frekansının ve dalga biçiminin farklı bileşimlerinin insanda oluşturduğu öznel ya da sübjektif duyguyu belirginleştirmek ve tanımlamak için geliştirilmiş bir kavramdır. Bu öznel kavrama göre tanımlanacak standart, ölçüt, yönetmelik vb. dokümanlarda belirtilecek değerlere göre karşılaştırılacak herhangi bir gürültü denetim önerisinin başarımını değerlendirmek olasıdır. Bir diğer öznel kavram ise ses enerjisinin frekansa göre dağılımı ile ilgili olan ses kalitesidir. Çizelge 3 işitme sisteminin ses basıncı düzeyindeki değişimlere verdiği öznel davranışı özetlemektedir.

İşitme sisteminin gürlük olarak nitelendirilen bu öznel davranışını incelemek için 18 ile 25 yaş arasında gürültüden etkilenmemiş genç denekler üzerinde bir dizi deneyler yapılmıştır. Ses kaynağı serbest alan koşullarında deneklerin tam karşısına yerleştirilmiş ve her iki kulaktan dinleme koşulları oluşturulmuştur. Ses basıncı düzeyleri ise deneklerin yokluğunda ölçülmüştür. Deneklere değişik frekanslarda farklı ses basınç düzeylerine ya da farklı enerjiye ya da şiddete sahip sesler ya da saf ton sesler dinletilmiş ve öznel tepkileri kaydedilerek büyük bir grup için ortalama davranışları elde edilmiştir.

Ses Basıncı Düzeyi Değişimi (dB)	Ses Gücü Değişimi		Görünür Gürlük Değişimi Etkisi
	Azalma	Artma	
3	1/2	2	Algılanma Sınırında
5	1/3	3	Açıkça Farkedilme
10	1/10	10	Yarıyarıya ya da İki Misli Gür

Çizelge 3. Ses basıncı düzeyindeki değişimlerin öznel etkisi.

Yapılan kontrollü deneylerde sesler kullanılarak, deneklerden farklı ses basıncı düzeyi ve frekans bileşimlerinde seslerin oluşturduğu gürlük duygusunu değerlendirmeleri istenmiş ve deneklerde eşit gürlük oluşturan bileşimler kaydedilerek Şekil 5'te verilen eşit gürlük ya da ses yüksekliği eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca işitme eşiği ve ağrı eşiği davranışlarının



Şekil 5. Eş gürlük eğrileri.

frekansa göre değişimi belirlenmiş ve işitme sisteminin en duyarlı olduğu frekansın 4000 Hz'in biraz altında olduğu anlaşılmıştır. Bu frekanstan düşük frekanslarda işitme eşiğinin azalan frekans ile yükseldiği ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, 30 Hz gibi düşük bir frekansta işitilebilir bir ses üretmek için gereken ses gücünün 4000 Hz'te gerekenden yaklaşık bir milyon kat daha fazla olacağı anlaşılmıştır. Yüksek frekanslarda (4000 Hz üstü) yaş ile büyük değişimler gösterebilen işitme eşiği bir kesilme noktasına kadar hızla yükselir. Ses şiddeti artırıldığında gürlük hissi giderek artar ve 120 dB dolayında bir gıcıklanma hissi oluşturur. Hissetme eşiği olarak nitelendirilebilen bu düzeyden sonra ses şiddetinin daha da artırılması durumunda ise gıcıklanma hissi, 140 dB dolayında ağrı eşiği olarak tanımlanan ağrı hissine dönüşür. Yüksek ses şiddetlerinde eşdeğer gürlük eğrileri frekansa göre daha düz şekil alırlar.

Eş gürlük eğrileri değişik frekanslardaki arı seslerin aynı ses gürlüğü hissini oluşturması için gerekli ses basıncı düzeylerindeki farklılığa da işaret ederler. Düşük ve çok yüksek frekanslardaki seslerin aynı gürlüğü verebilmeleri için orta frekanslara oranla daha yüksek ses basıncı düzeylerine sahip olmaları gerekir. Her bir eş gürlük eğrisi, phon cinsinden gürlük düzeyini ifade etmekte ve eğri üzerindeki noktalarla tanımlanan arı sesler aynı gürlük düzeyine sahip olmaktadır. Gürlük düzeyi birimi olan phon, ses basıncı düzeyi tanımında kullanılan desibel ölçeği ile uyumlu bir gürlük düzeyi tanımlama için geliştirilmiştir ve sayısal olarak 1000 Hz frekansına sahip bir arı sesin ses basıncı düzeyine eşit olarak tanımlanmıştır.

Gürlük kavramının tanımlanmasında kullanılan sone, 1000 Hz frekansında ve 40 dB ses basıncı düzeyine sahip bir arı sesin oluşturduğu gürlük olarak ifade edilir. Diğer bir deyişle bundan m misli gür olan sesin gürlüğü de m sone olacaktır. Gürlük birimi olan sone (S) ile gürlük düzeyi birimi olan phon (P) arasında

$$S = 2^{(P-40)/10}$$

(12)

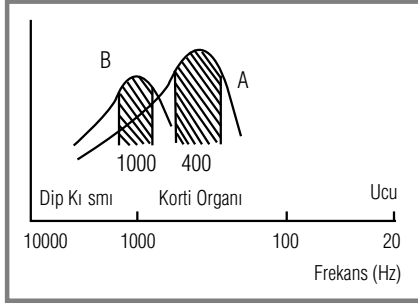
şeklinde bir ilişki yazmak mümkündür. Karmaşık seslerin oluşturduğu gürlük hissi ise gürlüğünün oktav bant çözülmesinden her bir frekans bandındaki bant basıncı düzeylerine karşılık gelen gürlük değerleri temel alınarak hesaplanabilir.

5.2 Maskeleye

Maskeleye ya da perdeleme, bir sesin işitme eşiğini artırarak diğer bir sesin işitilmesini engellemesi olarak açıklanabilir. Günlük hayatta karşılaşılan en yaygın örnek olan büyük şehirlerimizde trafiğin yoğun olduğu cadde, meydan vb. bölgelerde telefon kulübelerinde yaşanan ve trafik gürültüsünün telefon konuşmasını perdelemesi şeklinde ortaya çıkan bu olumsuzluk korti organının frekansları algılaması ile ilgilidir. Yüksek frekansların algılanması korti organının dip kısmında gerçekleşirken düşük frekanslar uç kısmına yakın bölgeleri uyarılmaktadır. Şekil 6'da 400 Hz ve 1000 Hz'te iki ayrı arı sese verilen tepki davranışı A ve B ile gösterilmektedir. Eğer yalnızca 400 Hz'te uyarı yapılmışsa, diğer bölgelerde ne tür uyarı olduğuna bakılmaksızın A ile gösterilen davranış kaydedilecektir. Her iki uyarının birlikte yapılması durumunda ise 400 Hz'te daha yüksek genlikli uyarının bulunması nedeniyle işitme eşiği yükseldiğinden 1000 Hz'teki arı sesin algılanması ya da fark edilmesi ancak genliğinin artırılması ile mümkün olacaktır. Bu özelliğin yanısıra kulak birbirinden yeterli derecede ayrı olan iki frekansı algılayabilmektedir. Bir arı ses ancak Şekil 6'da gösterilen taralı frekans aralığına karşılık gelen korti organındaki küçük bir bölgeyi uyarabilir. Bu frekans aralığı kulağın kritik bant genişliği olarak tanımlanır. Eğer kritik bant genişlikleri örtüşmezse iki ayrı frekansdaki sesler ayrı ayrı algılanabilir. Bu iki kritik bant genişliği örtüşürse bu iki ayrı frekansdaki ses teker teker algılanamayacağı gibi, daha yüksek genliğe sahip olan arı sesin genliği değişime uğramış şekliyle algılanabilir.

Perdeleme ya da maskeleye düzeyi işitme eşiğindeki artış ile özdeşleştirilir. Perdeleyen sesin varlığı ve yokluğu arasında kaydedilecek işitme eşiği farkı perdeleme düzeyini işaret edecektir. Çok frekanslı karmaşık seslerle yapılan uyarılar arı sestemden daha etkin perdelemeye yol açar. Bu bağlamda aşağıdaki saptamalar yapılabilir:

- Dar bant gürültü, korti organında daha geniş bir bölgeyi uyaracağı için merkez



fiakil 6. Korti organ›nın 400 Hz ve 1000 Hz'te ar› seslerle uyar›lmas›.

- frekansına efitit frekanslı arı sestenden daha etkin perdelemeye neden olur.
- ii) Dar bant gürültü merkez frekansından daha yüksek frekanslarda arı sestenden daha etkin perdeleme yapar.
 - iii) Kulak korti organı üzerindeki etkinlik bölgeleriyle ilgili belli kritik bant genişliklerini tanıır. Dar bant gürültünün bant genişliği sürekli artırıldığında, belli bir bant genişliği değerinin üstünde, gürültü merkez frekansına efitit frekanslı bir arı sesin perdeleneşine daha fazla bir katkısı olmayacaktır.
 - iv) Perdelenen arı sesin işitme efiği, eğer merkez frekansı bu sesin frekansına efitit olan kritik bant genişliğinde bulunuyorsa perdeleyen sesin düzeyine ulaşabilecektir.
 - v) Enerjisi perdeleyen sesin bir kaç desibel üzerinde olan bir arı ses, sanki perdeleyen ses yokmuşçasına gür hissedilecektir.

Bir arı ses kendi frekansından yüksek frekanstaki sesleri düşük frekanslardaki seslere oranla daha etkin olarak perdeler. Konuşmanın perdeleneşinde en etkin arı sesin frekansı, konuşmada kullanılan seslerin ortalama temel frekansı olarak nitelendirilen 500 Hz dolayındadır.

6. Arırlıklama Biçimleri ve Ses Düzeyi Kavram›

İşitme sistemi, sesleri kulak zarına, yakın bölgede oluşturdukları genliklerine ya da ilgili ses basıncı düzeylerine, frekans içeriklerine (pes ya da tiz olmalarına) ve biçimlerine (harmonik, darbe, kesikli vb.) göre değişik yüksekliklerde algılar. Ses yüksekliği gürültü ya da sesin ses basıncı düzeyine, frekansına ve biçimine göre insanda oluşturduğu öznel ya da sübjektif duyguyu belirginleştirmek ve tanımlamak için geliştirilmiş bir kavramdır. Örneğin, 100 Hz frekanslı ve 80 dB ses basıncı düzeyine sahip bir arı ses (basit harmonik ses) ile 1000 Hz frekanslı ve yine 80 dB ses basıncı düzeyine sahip arı

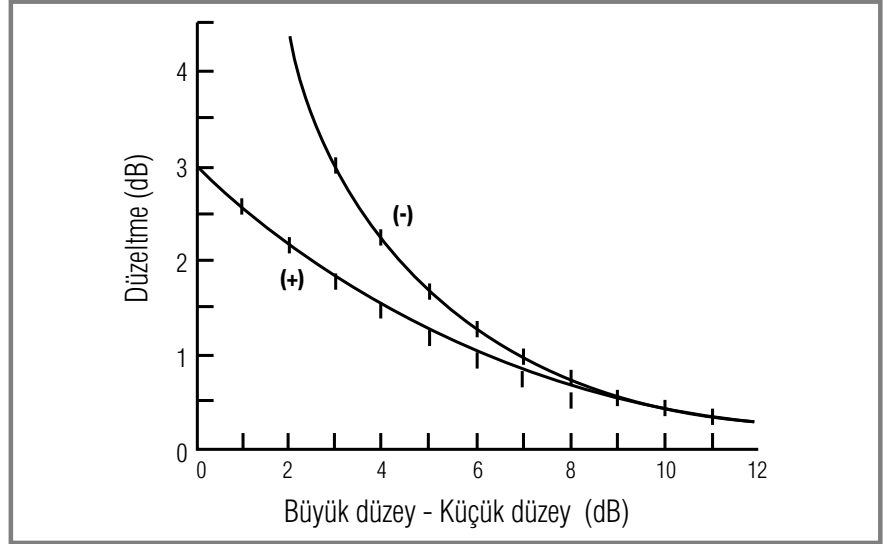
sesin oluşturduğu ses yükseklikleri farklıdır. İşitme sisteminin bu özelliğini açıklığa kavuşturmak amacıyla özellikle gürültüden etkilenmemiş genç insanlar üzerinde uzun yıllar sürdürülen araştırmalar sonucunda işitme sisteminin ortalama özellikleri belirlenmiş ve efitit yüksekliği eğerileri olarak adlandırılan bu özellikler bir dizi uluslararası standart ile yönetmeliklerin hazırlanmasında temel alınmıştır. İşitme efiğinin de frekansa bağımlılığı bu çalışmalarla ortaya konulmuştur. Ayrıca işitme sisteminin düşük ve yüksek genlikli seslere karşı tepkisinin farklılığı da bu çalışmalarda belirlenmiştir.

Uluslararası standartların hemen hepsinde referans olarak alınan 1000 Hz frekansa sahip bir arı sesin insanda iki kat ses yüksekliği oluşturabilmesi için ses basıncı düzeyinde yaklaşık 10 dB mertebesinde bir artışa gerek duyulacağı da ayrıca belirlenmiştir. Havadaki ses dalgalarının genliğinin iki kat artmasının ses basıncı düzeyinde 6 dB bir artışa neden olacağından yola çıkarak, 1000 Hz frekansında bir arı sesin insanda iki kat daha fazla ses yüksekliği oluşturabilmesi için genliğinin 3,2 kat ya da % 320 artırılması gerekmektedir. Düşük frekanstaki seslerin oluşturacağı ses yüksekliğindeki artışlar için ses basıncı düzeyinde bu denli büyük artışların gerekmediği anlaşılmıştır. İşitme sisteminin duyarlılığının (hassasiyetinin) en fazla olduğu frekansların 1000 Hz ile 5000 Hz arasındaki bölgede bulunduğu ayrıca belirlenmiştir.

Sesin algılanması ve insanlar üzerindeki etkileri ses dalgasının genliği (ya da ses basıncı düzeyi), frekansı ve biçimi (dalga şekli) gibi üç ayrı değişkenin bileşimlerine (kombinasyonlarına) bağlı olması uygulama açısından çeşitli zorluklar taşımaktadır. Bu üç ayrı değişkenin etkilerini de içine alan tek bir sayı ile ses dalgalarının hem fiziksel özelliklerinin hem de işitme sisteminde oluşturduğu öznel etkilerin ifade edilmesi uygulama açısından yeğlenmektedir. Örneğin, 500 Hz frekansında 70 dB ses basıncı düzeyine sahip arı ses biçiminde bir ses dalgasının oluşturduğu etkiye eşdeğer demek yerine, tek bir rakam vererek tüm bu değişkenlerin etkilerini tanımlamak çok daha yerinde, kolay ve uygulanabilir bir yöntem olarak gözükmektedir. Bu amaçla işitme sisteminin frekans, genlik ve dalga şekli ya da biçimi açılarından duyarlılık özelliklerini simgeleyen efitit ses yükseklik eğerileri'nden yararlanılmış ve fiziksel olarak ölçümlerle

elde edilen basınç dalgalanmalarına, değişik eş ses yüksekliği eğrileri kullanılarak, işitme sisteminin özellikle frekans ve genlik bağımlılığı yansıtılmıştır. Fiziksel basınç dalgalanmalarının, temel alınan eş ses yükseklik eğrisine göre değiştirilmesi ve yeniden biçimlendirilmesiyle elde edilen düzeylere, bu değişimi vurgulamak amacıyla ses düzeyi adı verilmiştir. Fiziksel basınç ile ilişkisinin bulunmamasını yine belirginleştirmek için, ses basıncı düzeyi teriminden basınç sözcüğü düşürülmüş ve elde edilen yeni düzeyler uluslararası standartlarla tanımlı ilgili eş ses yükseklik eğrisine özgü şekilde, A-ağırlıklı, B-ağırlıklı, C-ağırlıklı vb., ses düzeyi olarak tanımlanmıştır. Burada ağırlıklama terimi, ölçülen fiziksel basınç dalgalanmasının frekansa bağımlı olarak değiştirilmesi işlemini simgelemek için kullanılmıştır. Elde edilen ses düzeyleri ise, uygulanan frekans ağırlıklama (A, B, C gibi) ya da biçimlendirme işleminin tipine bağlı olarak dBA, dBB, dBC vb., cinsinden ifade edilmektedirler. Ağırlıklama türleri uluslararası standartlarla tanımlı olup, ses ölçümü yapmakta kullanılan cihazlarda elektronik devreler aracılığıyla ses basıncı düzeylerine uygulanırlar ve ölçüm sonuçları dBA, dBB, dBC vb., olarak elde edilirler.

Gürültü denetimi çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan A ağırlıklı ses düzeyleri, işitme sisteminin düşük yeğlilikteki seslere karşı davranışını temel almaktadır. A ağırlıklama işlemi, (Çizelge 4) işitme sisteminin duyarlı olduğu frekans aralığındaki (1000 Hz ile 5000 Hz) seslerin bileşenlerinin etkisini vurgulamakla birlikte, bu aralık dışında kalan frekanslardaki seslerin toplam düzeye olan etkisini, işitme sisteminin özelliklerini de dikkate alarak azaltmaktadır. Uzun yıllar boyunca sürdürülen çalışmalar sonucunda, kişilerin gürültüden kaynaklanan işitme kaybı hasarlarının A ağırlıklanmış ses düzeyleri ile ilişkilendirilmesinin en sağlıklı yaklaşım olduğu ortaya çıkarılmış ve diğer ağırlıklama biçimleri gürültü denetimi ve gürültüden etkilenim çalışmalarında yeğlenmemeye başlanmıştır.



fişkil 7. Düzeylerle toplama ve çıkarma iflemlerinde kullanılan grafikler.

7. Düzeylerle iflem

Ses basıncı, ses gücü ve ses düzeyleri logaritmik bir ölçek ile desibel cinsinden ifade edildiğinden, bu düzeylerin kendi aralarındaki toplama ve çıkarma türünden işlemlerin logaritmik olarak yapılması gerekmektedir. Frekans içerikleri birbirinden farklı olan düzeylerle ilgili toplama ve çıkarma işlemleri, ses enerjisinin (basınç dalgalanmalarının rms değerlerinin karesi) toplanmasına ve çıkarılmasına dayandırılmaktadır. Bu işlemlerin matematik ayrıntılarına girilmeden kolayca yapılabilmesi için Şekil 7'de verilen iki grafik hazırlanmıştır. Grafiklerden (+) ile gösterileni toplama, (-) ile işaretlenmiş olanı çıkarma işlemlerinde kullanılacaktır. Şekilde yatay eksen iki düzey arasındaki dB olarak fark cinsinden düzenlenmiş olup, düşey eksen ise büyük olan düzeye eklenecek (toplama işleminde) ya da büyük düzeyden çıkarılacak (çıkarma işleminde) miktarı dB cinsinden vermektedir. Bu işlemler aşağıda örneklerle açıklanacaktır.

Örnek 1: İki farklı ses kaynağı ayrı ayrı çalıştırıldıklarında bir konumda 75 dB ve 77 dB ses basıncı düzeyleri ölçülüyor. Bu iki kaynak birlikte çalıştırılırsa aynı konumda ölçülecek toplam ses basıncı düzeyi, aşağıda anlatılan bir dizi işlem yardımıyla hesaplanabilir:

- Büyük olan 77 dB ses basıncı düzeyinden küçük düzey 75 dB'in aritmetik olarak çıkarılması ile elde edilen 2 dB fark yatay eksene girilir.
- Toplama işlemi yapılacağı için (+) işaretli grafik kullanılacaktır.
- Yatay eksen 2 dB ile gösterilen noktadan düşey bir doğru çizilir. Bu doğru (+) işaretli grafik ile kesiştirilir.
- Kesişme noktasından yatay bir doğru (yatay eksene paralel) çizilerek düşey eksen ile kesiştirilir ve düşey eksen üzerinde bu kesişme noktasına karşılık gelen sayı 2,1 dB olarak okunur.
- Değeri büyük olan ses basıncı düzeyi 77 dB'e bu 2,1 dB sayısının aritmetik olarak eklenmesiyle toplam ses basıncı düzeyi 79,1 dB bulunur. Logaritmik olarak yapılan bu toplama işleminden de anlaşılacağı gibi toplam ses basıncı düzeyi, düzeylerin aritmetik toplamı olan 152 dB (75 + 77) değil, desibel toplam olarak ta nitelendirilen 79,1 dB çıkmaktadır.

Örnek 2: Örnek 1'de verilen ses kaynaklarına ek olarak üçüncü bir ses kaynağının tek başına aynı konumda oluşturduğu ses basıncı düzeyi 70 dB olarak ölçülürse, üç ses kaynağının birlikte çalıştırıldıklarında yine aynı konumda oluşturulacakları toplam ses basıncı düzeyi aynı şekilde bulunabilir. İki

	Oktav Bant Merkez Frekansı (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A ağırlıklama	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,6	0,0	+1,2	+1,0	-1,1
C ağırlıklama	-3,0	-0,8	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,8	-3,0

Çizelge 4. A ve C ağırlıklama değerleri (dB).

ses kaynağının birlikte oluşturduğu 79,1 dB, bu kez üçüncü ses kaynağının oluşturduğu 70 dB ile desibel toplama işlemi olarak da adlandırılan yöntemle, bir önceki örnekte belirtildiği şekilde, toplanacaktır.

- i) 79,1 dB ile 70 dB arasındaki 9,1 dB fark yatay eksene girilir.
- ii) Toplama işlemi nedeniyle yine (+) işaretli eğri kullanılacaktır.
- iii) Yatay eksen 9,1 dB noktasından çizilen düşey doğru (+) işaretli eğri ile kesiştirilir.
- iv) Kesişme noktasından çizilen yatay doğru düşey ekseni 0,5 dB'de kesecektir.
- v) Büyük düzeye (79,1 dB) 0,5 dB sayısının aritmetik olarak eklenmesiyle üç ses kaynağının birlikte çalıştırıldıklarında aynı konumda oluşturacakları toplam ses basıncı düzeyi 79,6 dB olarak hesaplanır. Burada da toplam ses basıncı düzeyi, her bir düzeyin aritmetik toplamı 222 dB değil, desibel toplamı 79,6 dB şeklinde ifade edilmektedir.

Bu işlemlerde dikkat edilmesi gereken nokta desibel toplama işlemi sırasında her bir düzeyin yalnızca bir kez kullanılması gerektiğidir. Böylelikle, birbirine frekans içerikleri açısından benzemez sonsuz sayıdaki düzeyin ikişer ikişer, zincirleme bir şekilde desibel toplamları yapılarak toplam düzey hesaplanabilir. Desibel toplama ve çıkarma işlemleri, dBA, dBC vb ağırlıklı düzeyler de dahil olmak üzere, desibel ile nicelendirilen tüm düzeylere uygulanabilir.

Örnek 3: Arka plan gürültüsünün A-ağırlıklı ses düzeyinin 60 dBA olarak ölçüldüğü bir konumda, bir ses kaynağının çalıştırılmasıyla ses düzeyi 65 dBA'ya yükseliyor. O konumda bu ses kaynağının arka plan gürültüsünden arınmış olarak oluşturacağı ses düzeyini hesaplayabilmek için desibel çıkarma işleminin yapılması gerekmektedir. Bu örnekte toplam ses düzeyi ve buna katkıda bulunan iki ses düzeyinden (kaynak ve arka plan) birisi (arka plan) verilmiş bulunmakta, diğerinin hesaplanması istenmektedir. Hesaplama işlemi basamakları aşağıda özetlenmiştir:

- i) Büyük olan düzeyden (65 dBA) küçük düzeyin aritmetik olarak çıkarılmasıyla elde edilen 5 dBA yatay eksene girilir,
- ii) Desibel çıkarma işlemi yapılacağı için (-) işaretli eğri seçilecektir.
- iii) Yatay eksen üzerindeki 5 dBA nokta-

sından çizilen düşey doğru (-) eğrisi ile kesiştirilir.

- iv) Kesişme noktasından çizilen yatay doğru düşey ekseni 1,7 dBA noktasında kesecektir.
- v) Toplam ses düzeyi 65 dBA'dan Şekil 1.6'dan bulunan 1,7 dBA'nın aritmetik olarak çıkarılmasıyla, sözü edilen ses kaynağının tek başına bu konumda oluşturacağı ses düzeyi 63,3 dBA olarak hesaplanır. Bu işlemin sağlaması 60 dBA ile 63,3 dBA değerlerindeki iki ses düzeyinin desibel toplaması yoluyla yapılabilir. Görülmektedir ki aritmetik olarak aralarında 5 dBA fark olan 65 dBA ve 60 dBA değerlerinde frekans içerikleri farklı iki ses düzeyinin desibel çıkarma işlemi sonucunda aralarındaki gerçek fark 63,3 dBA olarak belirmektedir.

Gürültünün oktav bant çözümlemesi sonuçlarından toplam ses basıncı düzeyi ve buna karşılık gelen A ve C ağırlıklanmış ses düzeyleri Şekil 7'deki (+) eğrisi kullanılarak elde edilebilir. Bant basıncı ya da bant düzeyleri ikişer ikişer alınarak toplam düzey değerine ulaşıncaya kadar desibel toplama işlemi gerçekleştirilir. Burada unutulmaması gereken her bant basıncı ya da bant düzeyinin bu işlemler sırasında ancak bir kez kullanılması gerektiğidir.

Örnek 4: Kapalı bir mekanda belli bir konumda bir gürültü kaynağının çalıştırılması sonucunda yapılan oktav bant çözümlemesinin sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Aynı konumda ölçülmesi beklenen toplam ses basıncı düzeyi ile toplam A ağırlıklı ses düzeyi istenmektedir.

Her bir oktav bant için verilen bant basıncı düzeylerinin birbirinden farklı içerikte ses yayan kaynaklardan ölçüm konumuna ulaştığı varsayımı ile bu düzeylerin ikişer ikişer desibel toplamları yapılır ve toplam ses basıncı düzeyi yukarıda anlatıldığı gibi hesaplanır. Aynı işlem oktav bant çözümlemesi sonuçlarına Çizelge 5 yardımıyla A ağırlıklama işlemi yapıldıktan sonra yinelenerek toplam ses düzeyi dBA olarak elde edilir.

İlk sıradaki bant basıncı düzeylerinin (L_{pi}) ikişer ikişer desibel toplamı işlemine tabi tutulmasıyla toplam ses basıncı düzeyi 58,3 dB olarak hesaplanır. Bant basıncı düzeylerine ikinci sırada verilen değerlerle A

	Oktav Bant Merkez Frekansı (Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
L_{pi} (dB)	53	56	51	48	42	36	29
A ağırlıklama	-26,2	-16,1	-8,6	-3,6	0,0	+1,2	+1,0
L_{Ai} (dBA)	26,8	39,9	42,6	44,4	42,0	37,2	30,0

Çizelge 5. Örnek gürültünün oktav bant çözümü.

frekans ağırlıklama işlemi uygulandıktan sonra elde edilen ve üçüncü sırada dBA olarak verilen bant düzeylerine de aynı işlemler uygulandığında toplam ses düzeyi 48,9 dBA olarak elde edilir. Örnekte konu edilen ses basıncı ve ses düzeyleri arasındaki fark gürültünün enerjisinin düşük frekanslarda toplanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer gürültü orta ve yüksek frekanslarda baskın enerji düzeyine sahip olma özelliği gösterse idi, toplam ses basıncı ve ses düzeyleri birbirine yakın olacaktı. Diğer bir deyişle A ağırlıklama düşük frekansları eksilterek vurguladığı için düşük frekanslardaki yüksek enerji, toplam A ağırlıklı ses düzeylerine katkıda bulunmamaktadır.

8. Gürültü ve Sınıflandırılması

Frekans içeriğine ve ses ya da ses basıncı düzeyinin zamanla değişimine bağlı olarak gürültüyü iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Gürültünün ölçümünde kullanılacak donanımın seçimi, ölçüm şekli ile ölçüm parametreleri ve ölçümlerin değerlendirilmesi gürültünün türüne bağlı olduğundan gürültünün sınıflandırılması önem kazanmaktadır.

8.1 Frekans İçeriğine Göre Sınıflandırma

Gürültüyü oluşturan değişik frekanslardaki bileşenlerinin sayısı ve taşıdıkları enerjilerine (düzeylerine) göre sınıflandırma yapıldığında, en basit gürültünün daha önce de tanımlandığı gibi arı ses denilen ve tek frekans içeren basit harmonik basınç dalgaları olduğu anlaşılır. Televizyon istasyonlarının programa başlamadan hemen önce yaydıkları düşük sesi türünde pilot sinyal sesi (frekansı 1000 Hz'tir) bu tür sesin en tanınan örneklerinden biridir.

Frekansları birbirleriyle ilintili sınırlı sayıda bileşenin oluşturduğu sese periyodik ses denir. Birbirlerinin harmoniği olan bu frekanslardaki sesler en belirgin olarak müzikte ortaya çıkmaktadırlar. Bir gitar telinden ve nefesli bir çalgıdan çıkan sesler bu tür seslere en güzel örneği oluşturmaktadırlar.

Frekansları birbirine yakın ancak birbirleriyle genellikle ilintisiz sınırlı sayıda bileşenin baskın olduğu seslere dar kuşak (bant) gürültü denir. Frekansları geniş bir aralığa yayılmış çok sayıda bileşenin oluşturduğu gürültü geniş kuşak (bant) gürültü olarak bilinir. Program yayınlanmayan boş televizyon kanalından yayılan hışırtı şeklindeki gürültü geniş kuşak gürültünün en çok bilinen örneklerindedir. Dar kuşak gürültü, geniş kuşak gürültüden belli bir frekans aralığında süzülme (filtreleme) şeklinde elde edilebildiği gibi (örneğin radyo programlarında uzay efektleri) uygulamada birden fazla farklı ses kaynağının birbirine yakın frekanslarda arı sesler yayması sonucunda oluşabilir.

8.2. Ses Düzeyinin Zamanla Değişimine Göre Sınıflandırma

Ses düzeylerinin zamanla hiç değişmediği ya da hemen hemen aynı kaldığı gürültü türüne kararlı gürültü adı verilir. Sabit hızda çalıştırılan bir vantilatörden ya da yine sabit hız ve güçte çalışan bir elektrik motorundan yayılan gürültü bu tür gürültüye en güzel örnekleri oluştururlar. Ses düzeylerinin zamana bağlı olarak değişimler gösterdiği gürültüleri kararsız gürültü başlığı altında toplamak olasıdır. Kararsız gürültü, bir uçağın ya da bir arabanın geçerken çıkardığı geçiş gürültüsü, çekiçle çivi çakılırken yayılan darbe gürültüsü, tüfekle ateş ederken çıkan patlama gürültüsü, sürekli çalıştırıldığında kararlı gürültü yayabilme yeteneğine sahip olan bir kaynağın kesik kesik çalıştırılmasıyla oluşan kesikli gürültü, ses düzeylerinin periyodik olarak değiştiği dalgalı gürültü şekillerinde olabilir. Bunların yanısıra endüstriyel makinalardan yayılan sık aralıklı darbe gürültüsü (otomatik preslerden ve perçin

makinalarından yayılan gürültü vb.) ve yüzey taşıma işlemlerinden yayılan dalgalı gürültü özellikle işyerlerinde karşılaşılan kararsız gürültü türlerine örnek oluştururlar.

Gürültünün kararlı olarak nitelendirilebilmesi için gürültü düzeyindeki değişimin 5 dB içinde kalması yeterlidir. Eğer ölçülen gürültü düzeyleri, zamanla 5 dB'i aşan sapmalar gösteriyorsa bu tür gürültü kararsız olarak nitelendirilecektir. Darbe ve patlama gürültüleri ise yüksek genliklerinin yanısıra 1 saniyeden daha kısa sürmeleri ile tanınırlar.

Gürültü ölçümü yapılırken gürültü türüne bağlı olarak ölçüm parametreleri belirlenir. Kararsız gürültüyü kararlı gürültü ölçümünde kullanılan ölçüm parametreleri ile ölçmeye çalışmak doğaldır ki yanlış ölçüm sonuçlarına neden olur. Ölçüm yapmadan önce gürültünün türü ile ilgili gözlem ve saptamalarda bulunmak doğru parametrelerin seçimini kolaylaştırır.

9. Gürültünün İnsan Sağlığına Etkileri

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini dört ana başlık altında incelemek olasıdır. Bu bölümde sözü edilen etkiler konusunda bilgi verilecektir.

9.1 İşitme Sistemine Etkileri

Gürültünün işitme sistemine etkileri geçici ve kalıcı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir. Geçici etkilerin en çok karşılaşılanı geçici işitme eşiği kayması ya da işitme yorulması olarak bilinen işitme duyarlılığındaki geçici kayıptır. Frekansa bağlı olarak verilen işitme kaybının miktarı, her frekanstaki eşik kaymasına eşit olarak tanımlanmaktadır. Yüksek gürültü düzeylerinin kısa süre etkisinde kalan kişilerde gürültünün ortadan kalkmasından sonra işitmede bir duyarlılık hissedilir ve hemen arkasından kulakta çınlamalar duyulmaya başlanır. Etkilenimin süre ve gürültü düzeyi açılarından çok fazla olmadığı durumlarda, kişi daha sessiz bir ortamda dinlendirildiği zaman işitme sistemi etkilenimden önceki durumuna tamamıyla kavuşabilir. Etkilenimin çok fazla olduğu ve işitme sisteminin eski özelliklerine kavuşmadan tekrar gürültüden etkilendiği durumlarda işitme kaybı kalıcı olmaktadır.

Kalıcı işitme kaybı başlangıçta 4000 Hz ile 6000 Hz arasında oluşur, ilerleme halinde

ise bu aralık dışındaki hem alçak hem de yüksek frekanslara da yayılır. İlerlemiş durumlarda işitme kaybının en fazla olduğu frekans 4000 Hz dolayında kalır. İşitme kaybı gürültüden etkilenimin ortadan kalkmasıyla son durumunu korur. Diğer bir deyişle, tıbbi açıdan, kötüleşme yönünde bir seyir göstermez. Buna karşılık, işitme kaybı iç kulakta bulunan tüy hücrelerinin zedelenmesi, sinir hücrelerinin hasar görmesi, korti organında çökme türünden fizyolojik değişimler sonucunda oluştuğu için geriye dönüş mümkün değildir. Günümüzde iç kulağa herhangi bir tıbbi müdahale (ameliyat şeklinde) yapılamadığı için, kişilerin işitme kaybının telafi edilmesi olanaksızdır.

İşitme kaybının kalıcı ya da geçici olması ve kaybın derecesi, etkisinde kalınan gürültünün düzeylerine, frekans içeriklerine ve etkilenim süresine bağlı olmakla birlikte kişisel duyarlılık ta önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalar erkeklerin kadınlardan daha fazla işitme kaybına uğrayabildiklerini göstermiştir. Ayrıca erkekler yüksek frekanslarda en fazla kalıcı işitme kaybına uğrarken, kadınlar her frekansta daha az ve eşit miktarda işitme kaybına maruz kalabilmektedirler. İşitme sisteminin duyarlı olduğu 1000 Hz ile 6000 Hz arasındaki frekanslarda baskın ses enerjisi bulunan gürültü düzeyleri, daha fazla işitme kaybına neden olmaktadır. Yüksek frekansları algılayan tüy hücreleri daha kolay hasar gördüklerinden, geniş kuşak türü gürültünün etkisinde kalan kişilerde eşik kaymaları ve işitme kaybı, yüksek frekanslarda daha çok olacaktır. Patlama türü gürültünün etkisinde kalan kişilerde bu durum belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Yaşlanma nedeniyle oluşan işitme kaybı (tıbbi terminolojide presbycusis olarak bilinir), artan yaş ile orantılı olarak artan işitme kaybında hızlanma ve yüksek frekanslarla orantılı olarak artan işitme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Kişilerin etkisinde kaldıkları gürültünün değerlendirilmesinde, kişinin yaşına bağlı olarak hesaplanabilen yaşlanma ile oluşan işitme kaybı için düzeltme yapıldıktan sonra gerçek değerlendirme yapılabilir.

Kişilerde oluşan işitme kaybı odyometre adı verilen cihazlarla ölçülerek saptanır. Ölçümler sonucunda her kulak için ayrı ayrı elde edilen ve odyogram adı verilen grafik ya da çizelge şeklinde frekansa bağlı olarak gösterilen değerler, iki kulaktan algılanan ses için o anda belirlenen işitme eşiklerini ifade ederler. Yaşlanma ile oluşan eşik kayması ya da işitme kaybının etkisi bu değerlerden çıkarıldıktan sonra, kişinin uğramış olduğu gerçek işitme kaybı genellikle her oktav kuşağı için belirlenebilmektedir. Hastanelerde ve kulak hastalıkları uzmanlarında bulunan bu cihazlarla, gürültülü ortamlarla içiçe yaşayan kişilerin duyma eşikindeki değişimlerin periyodik olarak izlenmesi ve olası işitme kayıplarının belirlenebilmesi mümkün olmaktadır.

9.2. Fonksiyonların Engellenmesi ile İlgili Etkiler

Etkisinde kalınan gürültü nedeniyle belli bir frekans aralığında oluşan kalıcı işitme kaybı diğer frekanslardaki seslerin duyulmasını ve algılanmasını engellemez, ancak bir takım fonksiyonların engellenmesine neden olabilir. Buna en güzel örnek olarak işitme kaybının 2000 Hz dolayına ulaşmasıyla konuşmanın anlaşılabilirliğinde oluşacak aksaklıklar gösterilebilir. Konuşma frekanslarının baskın olan başlıcaları, erkekler için 350 Hz-500 Hz, kadınlar için ise 500 Hz-800 Hz aralığında bulunur. Konuşmanın anlaşılabilirliği ise 1500 Hz-2500 Hz aralığında yer alan ses bileşenleri (harmonikleri) ile sağlanmaktadır. Özellikle, 2000 Hz oktav kuşağında fazla işitme kaybının oluştuğu durumda konuşma duyulsa da anlaşılabilir. Yaşlanma ile oluşan işitme kaybının ileri boyutlara varması nedeniyle de konuşmanın anlaşılabilirliği etkilenmektedir.

Kişilerde oluşan kalıcı işitme kaybı, insanlar arasında gürültü nedeniyle doğabilen iletişim sorunlarından bir kısmı ile ilintilidir. Konuşmanın algılanabilmesi ve anlaşılabilmesi türünden fonksiyonların engellenmesi, büyük ölçüde, ortamda etkisinde kalınan arka plan gürültüsünün düzeyi ve frekans içeriği ile ilintilidir. Arka plan gürültüsünün özellikle konuşma frekanslarını içeren frekanslarda baskın bileşenlerinin bulunduğu durumlar, konuşmanın olumsuz yönde en çok etkileceği örnekleri oluştururlar. Hem karşılıklı konuşmanın hem de telefon ile iletişimin sağlıklı yapılabilmesini sağlamak için arka plan gürültüsünün konuşmayı engelleme düzeyi adında bir ölçüt geliştirilmiştir. Arka plan gürültüsünün 500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz oktav kuşaklarındaki düzeylerinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanan konuşmayı engelleme düzeyi, bir yönetmelik şekline dönüştürülmemişse de, uygulamada belli mekanlarda oluşacak arka plan düzeylerini belirlemek ve sınırlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gürültünün iş verimliliği ve üretkenlik ile ilgili etkileri konusunda yapılan araştırmalar, karmaşık işlerin yapıldığı ortamların sessiz, basit işlerin yapıldığı ortamların ise biraz gürültülü olması gerektiğini göstermiştir. Ortamda yapılması istenen işler ve ortamın fonksiyonları verimli bir şekilde yürütülebilmesi için izin verilebilecek gürültü düzeylerinin sınırlarını belirlemek üzere uygulamada Gürültü Sınıflandırma-NR (Avrupa ülkeleri) ve Gürültü Ölçütü-NC, PNC (ABD ve Kanada) ve son olarak ta Oda Ölçütü (RC) adlarında ölçütler geliştirilmiş; bunlara paralel olarak A ağırlıklı düzeyler de önerilmiştir. Bu ölçütler özellikle ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinden kaynaklanan kararlı ve sürekli gürültünün oktav kuşaklarda belirlenen sınırlara göre değerlendirilmesine yönelik olarak tasarlanmış olup sürdürülen araştırma sonuçlarına bağlı olarak sürekli revize edilmektedir. Özetle, ortamda belli bir iş ya da fonksiyon için belirlenen arka plan gürültüsünden fazla gürültü düzeylerinin etkisinde kalındığı durumlarda, iş verimliliği düşmektedir.

9.3 Psikolojik Etkiler

Bulunan ortamda, fonksiyonlar için belirlenmiş gürültü düzeylerini aşan gürültünün etkisinde kalan kişiler rahatsız, tedirgin ve sinirli olmakta, tedirginlik ve sinirlilik hali gürültünün etkisi kalktıktan bir süre sonra devam edebilmektedir. Belirlenen düzeylerin aşıldığı durumlarda yorgunluk ve zihinsel etkinliklerde yavaşlama gözlenmektedir. Ani olarak yükselen gürültü düzeyleri insanlarda korku yaratabilmekte, gürültüden etkilenim sürse bile daha sonra normale dönüş olmaktadır.

9.4 Fizyolojik Etkiler

Günümüzde gürültü kişilerde en önemli stres kaynaklarından biridir. Ani olarak yükselen gürültü düzeyleri kişilerin kalp atışlarında (nabızda), solunum hızında, kan basıncında, metabolizmasında, görme keskinliğinde ve hatta derisinin elektrik direncinde değişiklikler oluşturmaktadır. Bu etkilerin çoğu gürültüden etkilenim sürse bile, ortadan kalkmaktadır. Yüksek düzeyde gürültünün etki-

sinde kalan kişilerde, yüksek kan basıncı (yüksek tansiyon) oluştuğu ve bu durumun kalıcı olduğu yapılan gözlemlerle kanıtlanmış bulunmaktadır. Uykusuzluk, gürültünün neden olduğu rahatsızlıkların en önemlilerindendir. Ek olarak, gürültünün migren, ülser, kalp krizi, dolaşım bozuklukları türünden rahatsızlıklara neden olabileceği ileri sürülmekle birlikte, kulakta yaptığı tahribat ve tansiyon yükselmesine yol açması dışında bu tür hastalıklarla doğrudan ilişkisi kanıtlanmış değildir. Ancak bu ilişkileri kanıtlama yönünde araştırmalar sürdürülmektedir.

10. Değerlendirmeler ve Sonuç

Bu çalışmada akustik ve gürültü denetiminde kullanılan terminoloji ve temel kavramlar ayrıntılı olarak açıklanmış, kavram karmaşasına neden olabilen konulara açıklık getirilmiştir. Logaritmik bir ölçek olarak tanımlanan düzeylerle ilgili işlemler basite indirgenmiş örneklerle sergilenmeye çalışılmıştır. Gürültünün değerlendirilmesinde kullanılan hem fiziksel hem de insan işitme sistemi ile ilgili etkenler ayrıntılı biçimde tartışılmış, fiziksel ses basıncı düzeyi ile değerlendirmede kullanılan ses düzeyi arasındaki farklılık vurgulanmıştır.

Tesisat Mühendisliği açısından fan, brülör gibi makineler için verilen akustik özelliklerin yorumlanması önem arz etmektedir. İmalatçı firmalar ses ya da gürültü ile ilgili teknik özellikleri oktav bantlarda ya da toplam A ağırlıklı ses gücü düzeyi olarak deklare etmektedirler. Ses gücü düzeyi, makinanın devir hızı, yük ya da tasarım çalışma noktası aynı kaldıkça değişmeyeceğinden hareketle, ortam akustik koşullarından bağımsız bu tür bir bildirim ya da deklarasyon yöntemi yeğlenmektedir. Aynı durum beyaz eşya üreticileri için de söz konusudur. Makina ya da cihazların çalışırken ürettikleri ses gücü düzeyleri ses basıncı veya ses yeglinliği ölçümlerinden elde edilebilmektedir. Genelde ISO 3740-3746 standartları en yaygın olarak kullanılan standartlar olmakla birlikte, örneğin iş makinelerinde olduğu gibi (ISO 6393, 6394, vb.), makinanın özelliğine bağlı özel standartlar da geliştirilmiştir. Bu uygulama-

malarda ses basıncı düzeyi yerine A ağırlıklı ses düzeyi ölçüldüğünde, hesaplanan ses gücü düzeyleri de A ağırlıklı ses gücü düzeyleri olarak ortaya çıkmaktadır. Burada amaç hem insan işitme sisteminin özelliklerine referans vermek hem de etkisinde kalınacak toplam ses düzeylerinin hesaplanmasında / kestiriminde sonradan zorunlu olacak frekans ağırlıklama işleminden kaçınmak olarak özetlenebilir.

Fan vb. makinelerin ürettiği ses gücü, hareket ettirilen hava hızının ortalamasının 5'inci kuvveti ile doğru orantılıdır. Menfezlerden iç mahallere iletilecek tesisat kaynaklı gürültünün hesaplanmasında, makinanın ses gücü düzeyleri, menfeze kadar olan hava kanalı, klape, dirsek vb. elemanlar dikkate alınarak değişime uğratılmaktadır. Menfezin etkisi de eklenmiş ses gücü düzeyi, mahaller içinde oluşacak ses düzeylerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Mahallerin ses yutma kapasiteleri bu hesaplamalarda dikkate alınmak durumundadır.

10. Kaynakça

1. Belgin, E. ve Çalışkan, M., Çalışma Yaşamında Gürültü ve İşitiminin Korunması, Türk Tabipler Birliği Yayınları, Ankara, 2004.
2. Bies, D.A. ve Hansen, C.,H., Engineering Noise Control, Unwin Hyman Ltd, London, 1988.
3. Beranek, L., L., Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, New York, 1971.

Yazar;

Prof. Dr. Mehmet Çalşkan, 1973'de O.D.T.Ü. Makina Fakültesinden mezun oldu. 1975'de aynı Fakülte'de yüksek lisans'ın yapmıştır. Kuzey Carolina Devlet Üniversitesinde 1983'de doktora'nı verdi, 1987 doçent, 1992'de Profesör oldu. Halen ODTÜ'de öğretim üyesidir.

Çalşkan, esitim çalışmalarının yanında danışmanlık ve akustik araştırmalarda pek çok hizmetler yapmıştır. Yurt içi ve yurt dışında akustik konularında bir çok konferanslar vermiştir.

Mekanik Tesisatta Gürültü ve Titreşim Yalıtımı

Orhan Turan; Mak. Yük. Müh.
TTMD Üyesi

ÖZET

Bu makalede; mekanik tesisat sisteminin en temel sorunlarından olan gürültü ve titreşimin kaynakları ortaya konacak, bunu takiben gürültü ile mücadele yollarına değinilecektir. Özellikle mekanik ekipmanların titreşim yalıtımında, temel prensipler niteliğinde özgün çözüm önerileri oluşturulacaktır.

Noise and Vibration Control in Mechanical Installation

ABSTRACT

In this article; the various noise and vibration sources of a mechanical installation system will be defined, followed by a brief mention of the noise control methods. Especially for the vibration control of the mechanical equipments, specific solutions will be presented as basic principles.

1. Giriş

İleri teknolojilerin kullanılması ile birlikte, tüm sektörler gibi inşaat sektörü de her geçen gün büyümekte ve gelişmektedir. Bina yükseklikleri artarken, onları hayata geçiren sistemler de daha karmaşık olmakta ve çözümler zorlaşmaktadır. Özellikle metropol şehirlerde; mimari anlamda büyük çaplı projelerin gerçekleştirilmesi, beraberinde büyük problemler getirir. En önemlilerinden biri, yapıda kullanılan mekanik sistemlerden kaynaklanan gürültü sorunudur.

Son yıllarda tasarımcıların bu konuda daha hassas olduğu gözlenirse de, doğru malzemelerin doğru bir kombinasyon ile uygulanması noktasında aksaklıklar meydana gelmektedir. Maliyetin düşük tutulması adına birçok yalıtım uygulamasından kaçınılması; mekanik tesisat sistemini sonradan birer gürültü kaynağı haline getirmekte ve yaşadığımız mekânlara konfor sağlama amacından tamamen uzaklaştırmaktadır.

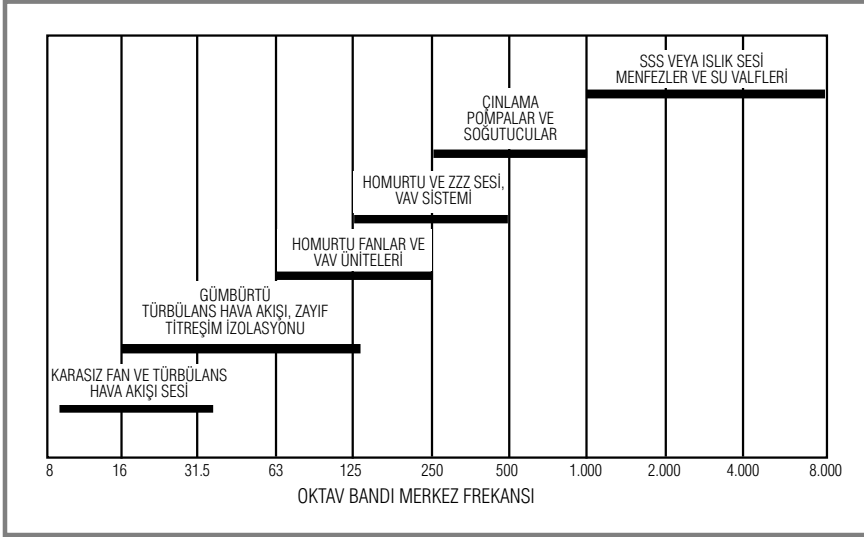
2. Gürültü

İstenmeyen ve rahatsız edici ses olarak kısaca tanımlayabileceğimiz gürültü, 80 dB'lik bir basınç düzeyinin üzerine çıktığında bazı fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklara sebep olabilir. Bu durumda, esas olan gürültünün daima belli bir düzeyin altında tutulmasıdır. Gürültü ile mücadelede çözüme ulaşmak için, öncelikle gürültüyü oluşturan kaynaklar belirlenmeli ve gürültünün ortaya çıkma sebepleri tespit edilmelidir. Ardından uygun malzemeler ile tasarlanmış doğru bir detay titizlikle uygulanmalıdır.

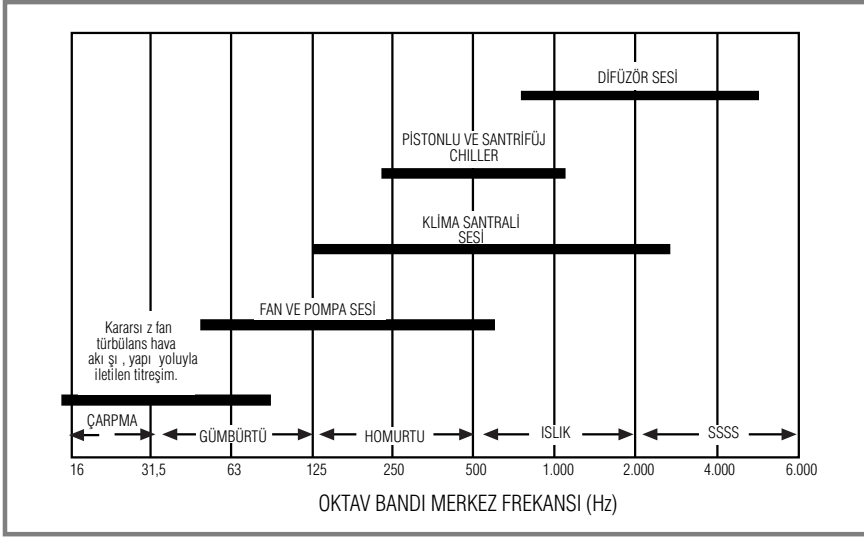
2.1. Gürültü Kaynakları

Mekanik tesisat sistemlerinde başlıca gürültü kaynakları;

- Pompalar,
- Kazanlar,
- Hidroforlar,
- Kompresörler,
- Aspiratör ve vantilatörler,
- Kazan baca bağlantıları ve destekleri,
- Ekipmanların boru bağlantı ve destekleri,
- Tesisat daireleridir.



fiakil 1. Değişik mekanik ekipmanlardan kaynaklanan seslerin frekanslar› [1].



fiakil 2. Yaygın akustik fıkayetlerin kaynakları'nın frekans aralıkları [1].

2.2. Gürültü ile Mücadele Yollar›

Ses iletimi, yani gürültü, hava ve yapı yolu ile olmak üzere iki şekilde gerçekleşir [1]. Hava yolu ile iletilen sesin kontrolüne ilişkin uygulamalar;

- Ses yalıtımı,
- Akustik düzenleme.

Yapı yolu ile iletilen sesin kontrolüne ilişkin uygulamalar ise;

- Sönümlenme,
- Titreşim yalıtımıdır.

3. Ses Yalıtımı

Ses yalıtım uygulamaları; sesin bir ortamdan dışarı çıkmasını, bir ortama girmesini veya her iki durumu da önleyerek ses basınç seviyesini düşürmeye yönelik çalışmalardır. Ses basınç seviyesi mevcut ses basıncının 2.10^{-5} Pa değerine (sabit baz ses basıncı) oranının logaritmasının 20 katıdır. Ses basınç seviyesi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [2]:

$$\text{ses basınç seviyesi - dB} \leftarrow L = 20 \log \frac{P}{P_0} \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Ses basıncı (Pa)} \\ \longrightarrow \text{Sabit baz ses basıncı - } 20 \text{ Pa} \end{array}$$

Sesin; hafif, hava boşluklu ve düşük yoğunluklu elemanlardan kolaylıkla, ancak yoğun ve ağır yapı elemanlarından daha zor geçmesi sebebi ile ses yalıtımında temel prensip, konstrüksiyon kütlelerinin, malzeme kalınlıklarının ve sayısının artırılmasıdır.

4. Akustik Düzenleme

Akustik düzenlemede, sesin mevcut bir ortamda rahatsızlık vermesini önlemek esas alınır. Reverberasyon süresi olarak adlandırılan, sesin kapalı bir ortamda 60 dB değer kaybettiği sürenin azaltılmasına yönelik bir düzenlemedir. Reverberasyon süresi hesabında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir [2]:

$$\text{Reverberasyon süresi} \leftarrow T = 0,16 \frac{V}{A}$$

$$A = F_1\alpha_1 + F_2\alpha_2 + \dots + F_n\alpha_n$$

Reverberasyon süresinin ideal aralığı 0-2 sn arasındır. Bu amaçla kullanılan malzemeler; poliüretan köpük ve melamin köpük gibi ses yutucu özelliği olan akustik ürünlerdir [3].

5. Sönümlenme

Sönümlenme uygulamaları; anlık darbe sesi kesici malzemeler kullanmak, yüzey döşeme uygulaması yapmak ve ses köprülerinin oluşumunu önlemeye yönelik çalışmalardır. Yüzer döşeme detayında, şap altına polietilen levhalar yerleştirmek suretiyle yapılan uygulamalar yaygındır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken husus polietilen levhaların süpürgeciklere de döndürülerek şapın duvar ile temasını engellemektir.

6. Titreşim Yalıtımı

Titreşim yalıtımında sorun, titreşim yoluyla gürültüye neden olan mekanik bir sistemin varlığıdır. Titreşim alıcıları ve sönümlenme elemanlarının yardımı ile makineden yapıya geçen kuvvetlerin etkileri azaltılmakta ve olası yapı hareketlerinden de mekanik sistem korunmaktadır. Titreşim alıcıların seçimi yapılırken ekipmana ilişkin bazı özellikler bizlerin seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Bunlar ekipmanın [4];

- Türü (pompa, fan, chiller, vb.),
- Yeri (zemin kat, ara kat, vb.),
- Ağırlığı,
- Ağırlık merkezinin yeri,
- Ebatları ve teknik resmi,
- Minimum çalışma hızı,
- İç ve dış ortamda oluşu,
- İstenen titreşim sönümleyici sayısı,
- Binadaki iki kolon arası mesafesidir.

Titreşim yalıtımında kullanılan elemanlar [4];

- Neopren pedler, ayaklar ve askılar,
- Çelik yaylar,
- Hava yayları,
- Çelik veya beton kaideler,
- Yüzer beton kaideler,
- Kauçuk genişleme parçaları.

7. Çözüm Önerileri

Yukarıda adı geçen elemanların nerede ve nasıl kullanılacağına ilişkin çözüm önerileri maddeler halinde sıralanmıştır. Genel anlamda, prensip çözümler olarak değerlendirilebilirler.

7.1. Makine Dairesi Döfleme Boyutlandırması

Tasarım aşamasında mahal planlaması yapılırken, makine dairesinin döfleme kalınlıkları tüm elemanlar için ayrı ayrı belirlenmeli, çıkan sonuçların en büyüğü kullanılmalıdır. Çizelge 1'de önerilen değerler görülmektedir [2].

	Döfleme Kalınlığı (mm)	Tavan Kalınlığı (mm)
Pistonlu Su Soğutma Grubu (Chiller)	200*	200
Santrifüj Su Soğutma Grubu (Chiller)		
1000 kW'a kadar	200	150
1000 kW ve üstü	200*	200
Kanalsız Fan / Klima Santrali		
7,5 kW'a kadar	100	75
7,5 kW - 22 kW arası	150	100
22 kW ve üstü	200*	150
Kanallı Fan / Klima Santrali		
22 kW'a kadar	100	75
22 kW ve üstü	150	100
Pompa		
20 kW'a kadar	100	75
20 kW - 75 kW arası	150	100
75 kW ve üstü	200	150
Soğutma Kulesi, Hava Soğutmalı Kondenser, Buharlaştırıcı Soğutucu		
22 kW'a kadar	150	100
22 kW ve üstü	200	150

*Bu tür montajlar, 100 mm kalınlığında statik döfleme üzerine yerleştirilmifl, 100 mm yüzer döfleme gerektirebilir.

Çizelge 1. Ses ve titreşim yalıtımı için önlemler.

7.2. Pompalarda Titreşim Kontrolü

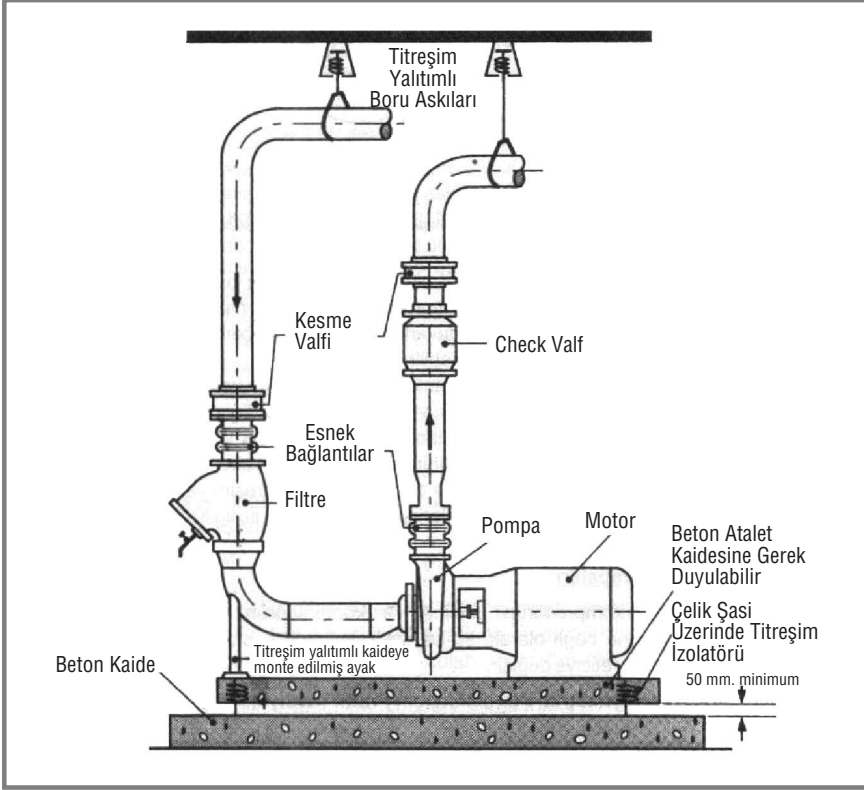
- Birçok pompanın bir araya oturtulduğu kaidelerde kauçuk ayaklardan, sandviç titreşim alıcılar kullanılmalıdır. Titreşim alıcı kauçuk malzemenin 2-3 mm esneyeni seçilmelidir.
- Sağlam bir oturma için, pompaların ağırlığının en az iki katı kadar ağırlıkta, derinliği en az 15 cm olan bir kaide yapılmalıdır.
- Makine dairelerinde beton plakalar üzerine oturan cihazların altında 25 mm esneyebilen titreşim alıcı yaylar kullanılmalıdır.
- Boru hattı pompaya bağlanırken ve asılırken kesinlikle metal olmayan, hareket edebilen bağlantılarla, bağımsız olarak sabitlenmelidir.

7.3. Havalandırma Ünitelerinde Titreşim Kontrolü

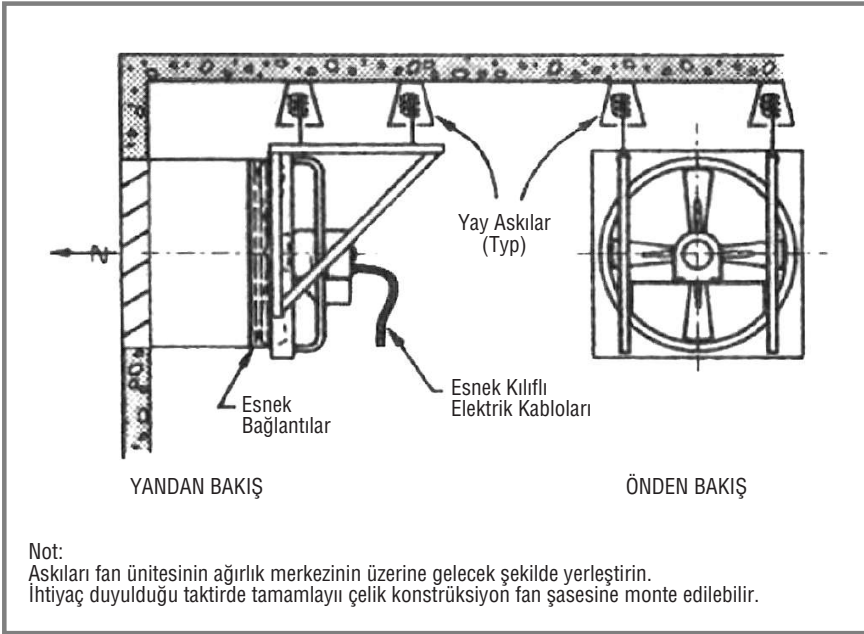
- Hızı 1500 devir/dakika'nın altında olan fanlar için, 25 mm'ye kadar esneyebilen yaylar ve bu hızın üzerindeki fanlar için ise, 6 mm'ye kadar esneyebilen kauçuk titreşim alıcılar kullanılmalıdır.

7.4. Serbest Fanların Titreşim Kontrolü

- Aksiyal fanlar 6 mm esneyebilen kauçuk askılarla tavana asılabilmektedir. Ayrıca kauçuk titreşim alıcılar, çelik kafesin tavana asılmasından sonra, fan ile çerçeve arasına da konabilmektedir [5].
- Düşük frekansta çalışan fanlarda veya 1450 devir/dakika hızda çalışan geniş fanlarda, 25 mm esneyebilen yay askılar kullanılabilir.
- Düşük çalışma hızına sahip olan radyal fanlar ise, 25 mm esneyebilen titreşim alıcı yaylar ile yalıtılabilmektedir.
- Fanlarda normalde 50 mm çökme kapasiteli yayların kullanılmasına gerek yoktur. Ancak 500 devir/dakika'nın altında çalışma durumunda bu tip yaylar kullanılmalıdır.



fiakil 3. Önden emifli pompa montajı için pratik tavsiyeler [3].



fiakil 4. Pervaneli fanlar için titreşim izolasyonu süspansiyonu [1].

7.5. Su Soğutucularda (Chiller) ve Kondanserlerde Titreşim Kontrolü

- Hava soğutmalı modellerde, 10-16 mm esneyebilen kauçuk bazlı titreşim alıcılar kullanılmalıdır.
- Uzun ve ince yapıllı chillerlerin direkt olarak titreşim alıcılara bağlanması durumunda taşıyıcılık problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumu önlemek için, çelikten alt tablalar veya içi doldurulmuş çerçeveler kullanılabilir.

7.6. Boru Hatlarında Titreşim Kontrolü

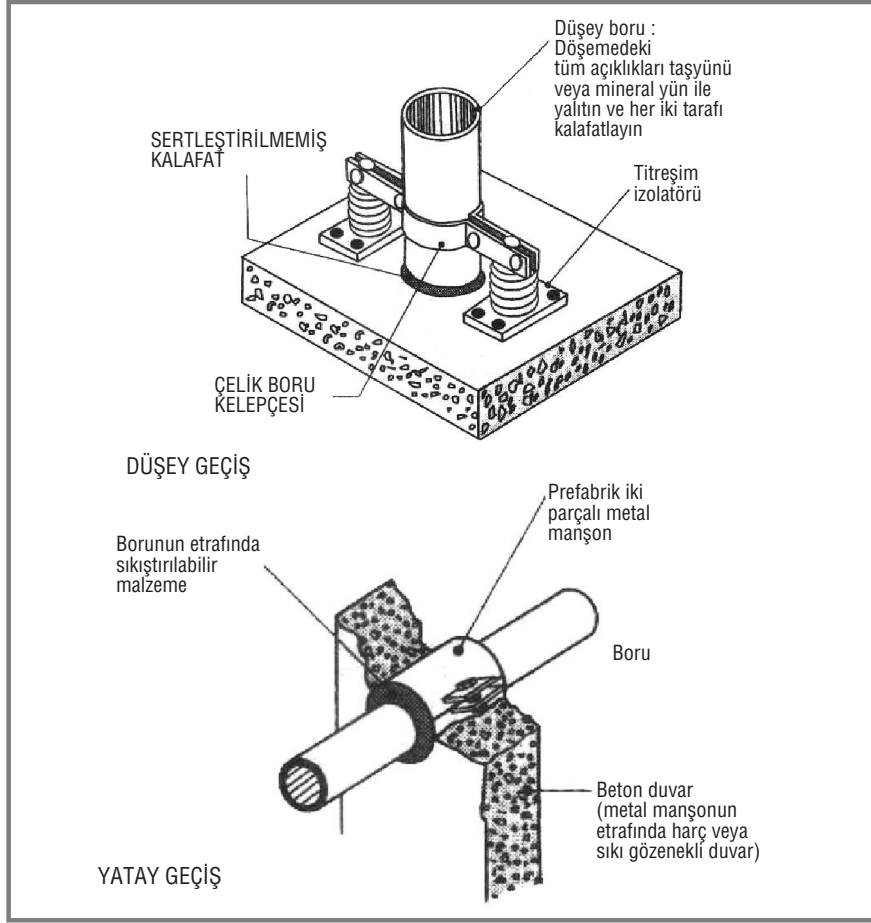
- Makine dairelerindeki çapı 50 mm ve üzerinde olan boru hatlarının yalıtılmasında 25 mm esneyebilen yay askılar kullanılmalıdır. Fazla kritik olmayan alanlarda gürültü kaynağından sonraki 12 m'yi yalıtım genelde yeterlidir [1].
- Boru hattı gürültüye duyarlı alanlardan geçiyorsa, 6 mm çökme yapabilen kauçuk askılar veya titreşim alıcılar kullanılabilir.
- Çapı 50 mm'den küçük olan boru hatları, kritik durumlarda 10-20 mm çökme yapabilen yay askılarla yalıtılabilir.
- Normal şartlarda boru bağlantılarında 3-6 mm kalınlığında kauçuklar kullanılmalıdır.
- Cihazların egzost borularındaki susturucularda ise, 25 mm esneyebilen yay askıları kullanılmalıdır.

8. Sonuç

Mekanik tesisat sistemlerinin yarattığı gürültü ve titreşim; alınacak bu tür tedbirler ile kabul edilebilir değerlere indirgenebilir. Böylece mekânlar; daha huzurlu ve sağlıklı, güven telkin edici ortamlar haline dönüşecektir.

9. Kaynaklar

- [1] Schaffer, M.E., 1993. "HVAC Sistemleri İçin Ses ve Titreşim Kontrolü Kılavuzu" TTMD Teknik Yayınları, SI Baskısı, Ankara.
- [2] Oymael, S., 1997. "Yapı Fiziği Ders Notları", ODE Yalıtım, İstanbul.
- [3] Onursal, F., "Yapıların ve Mekanik Sistemlerin Gürültü Kontrolünde Çağdaş Malzemelerle Akustik Düzenlemeler ve Ses Yalıtımı", ODE Yapı Yalıtım Çalışmaları, No: 007, İstanbul.
- [4] Türker, A., 2003. "Gürültü ve Titreşim Yalıtımı Teknik Sunumu", ODE Yalıtım, İstanbul.
- [5] ASHREA. 1987 ASHREA El Kitabı, "Systems and Applications", Part 52, Atlanta, GA.



Şekil 5. Ses izolasyonu için, boru geçişlerinin yalıtımı[1].

Yazar;

Orhan Turan,

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü 1981 yılında bitirdi. 1982 yılında Marmara Üniversitesinde İşletme Masteri yaptı. 1984 yılında Isı, Ses, Su ve Yangın izolasyonları konusunda faaliyette bulunmak üzere ODE Yalıtım A.Ş. Firmasını kurdu. Halen bu firmanın Yönetim Kurulu Başkanı ve kurucu ortağıdır. Özellikle, Isı Yalıtımı - Enerji Tasarrufu ilişkisinin ülkemiz açısından haiz olduğu büyük önemi tüm kamuoyuna iletebilmek için çok yönlü geniş çalışmalarında bulunmaktadır. Dışarıda bir görünüm arzeden Yalıtım Sektörünü bir çatı altında toplayarak 1993 yılında ZODER Derneğini kurdu ve 1997 - 1999 döneminde başkanlığını yaptı. Şu anda TTMD (Türk Tesisat Mühendisleri Derneği), TÜGAD (Türkiye Genç Şirketler Derneği) ve MSAD'da (Müşahat Malzemesi Sanayicileri Derneği) Yönetim Kurulu üyesi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca MMO, Ashrae, Akustik Derneği, Kalder, Tüyak gibi derneklerde üye olan Orhan TURAN, bilgi birikimini başkalarına da aktarabilmek amacıyla ülkemizde ilk kez Türkçe olarak hazırlanan "Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı" adlı bir kitabın yazılıp basılmasına çalıştı ve bu kitabı ücretsiz olarak dağıttı. Bunlardan başka aynı konularda altmışkadar makale, çok sayıda seminer - sempozyum bildirimleri bulunmakta ve yine çok sayıda konferans, eğitim kursları düzenleyerek Enerji Tasarrufu ve Isı Yalıtımı bilincinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarla ülke çapında artan yalıtım bilinci sayesinde ülkemizde yüzlerce milyon dolar tutarında döviz tasarrufu sağlanmasına yardımcı olmuştur. Yine bu çalışmalar nedeniyle ülkemizde kaliteli bir yalıtım sektörü oluşmasına hizmette bulunan Orhan TURAN, yalıtım konusunda dünya devleri olan ROCKWOOL (Danimarka), MASON (USA) firmalarının dikkatini çekerek kendisine Türkiye Temsilcilikleri verilmiş. Kauçuk Köpük yalıtım malzemesi üreten KAIMANN (İtalya) firmasının Türkiye'de yatırım yapmaya ikna ederek Çorlu'da ortak tesis kurdurmuş, yabancı sermayeyi Türkiye'ye getirmeyi başarmıştır. Bu firmanın da (Ode K-Flex) Yönetim Kurulu Başkanı ve ortağıdır. ODE firmasına ayrıca 17 ayrı firmanın distribütörlüğünü alarak, yurtdışı firmaların Türk İşletme ve Tesisat Sektörü ile tanıştırmıştır. Yurtdışı bilgi birikimini Türkiye'ye taşımaya devam etmektedir. 1984'de 4 kişiyle işe başlayan ODE, bugün 120 personeli, 110 Bayi ve 9 Bölge Müdürlükleri ile büyüyerek ilerlemeye devam etmektedir. Evli ve bir çocuk sahibi olan Orhan TURAN İngilizce bilmektedir.

Türkiye’de Çevresel Gürültü ve Gürültü Yönetimi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Topal; Mak. Yük. Müh.

ÖZET

Ülkemizde gürültü kirliliği ve buna bağlı çevresel etkiler son yıllara kadar hem yönetmelikler hem de uygulama projeleri bakımından mühendislik hesaplamalarında planlama kriterleri arasında gerektiği gibi yer alamıyordu. Günümüzde insanın yaşadığı gerek işyeri ve yaşam bölümleri, gerekse dış çevresel alanlarda gürültü faktörü Avrupa Direktifleri paralelinde dikkate alınmaya başlanmıştır. Gürültüden kaynaklanan işitme sağlığı bozuklukları en ciddi meslek hastalıklarından biridir. Gürültü işyerlerinde ve çevrede, işçi sağlığı ve iş güvenliği kapsamında 11.12.1986 tarihli ve 19308 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Gürültü Kontrol Yönetmeliği” yerine günümüzde Çevre ve Orman Bakanlığı’nın yayınladığı “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” kapsamında dikkate alınmakta ve uluslararası sınırlar içerisinde tutulmaya çalışılmaktadır.

Environmental Noise and Noise Management in Turkey

ABSTRACT

In our country noise pollution and due to this, environmental effects till last years both written regulates and application projects does not take care in planning criters at engineering design. Nowadays both offices, living places which people living, and exterior environmental areas, noise factors became important to parallel of European directives. Hearing troubles, cause of noises, are the most serious occupation sickness. Covering Worker health and job safety, as written Turkish Official Paper, dating 11/12/1986 and number 19308, with “Noise Control Regulation” in offices and nowadays as written “Environmental Noise Evaluation and Management Regulation”, by Environmental and Forest Ministry, starting to take care and trying to put in international limits.

1. Giriş

İnsanlar üzerinde olumsuz etki yapan ve hoş gitmeyen seslere gürültü denir. Özellikle büyük kentlerimizde gürültü yoğunlukları

oldukça yüksek seviyede Dünya Sağlık Örgütü’nce belirlenen ölçülerin üzerindedir.

Kent gürültüsünü artıran sebeplerin başında trafiğin yoğun olması, sürücülerin yersiz ve zamansız klakson çalmaları ve belediye hudutları içerisinde bulunan endüstri bölgelerinden çıkan gürültüler gelmektedir. Meskenlerde ise televizyon ve müzik aletlerinden çıkan yüksek sesler, zamansız yapılan bakım ve onarımlar ile bazı işyerlerinden kaynaklanan gürültüler insanların işitme sağlığını ve algılamasını olumsuz yönde etkilemekte, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozmakta, iş verimini azaltmaktadır.

Daha önce yürürlükte olan ve 11.12.1986 tarihli ve 19308 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Gürültü Kontrol Yönetmeliği”nin yerine 01.07.2005 tarih ve 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren ve 25.06.2002 tarihli 2002/49/EC Direktifine paralel olarak hazırlanan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”, inşa edilmiş ve edilecek alanlarda, parklarda veya yerleşim alanları içindeki diğer sakin olunması gereken gürültüye duyarlı alanlarda (hastane, okul ve benzeri) ve diğer gürültülü yoğun bina ve alanlarda, insanların maruz kaldıkları çevresel gürültüler ile titreşimin yapılarada oluşturduğu hasarlara ilişkin esas ve kriterleri kapsamaktadır.

Gürültünün insan üzerindeki etkilerini 4’e ayırabiliriz:

1. Fiziksel Etkileri: Geçici veya sürekli işitme bozuklukları,
2. Fizyolojik Etkileri: Kan basıncının artması, dolaşım bozuklukları, solunumda hızlanma, kalp atışlarında yavaşlama, ani refleksi,
3. Psikolojik Etkileri: Davranış bozuklukları, aşırı sinirlilik ve stres,
4. Performans Etkileri: İş veriminin düşmesi, konsantrasyon bozukluğu, hareketlerin yavaşlaması.

Gürültüye maruz kalma süresi ve gürültünün şiddeti, insana vereceği zararı etkiler. Endüstri alanında yapılan araştırmalar göstermiştir ki; işyeri gürültüsü azaltıldığında işin zorluğu da azalmakta, verim yükselmekte ve iş kazaları azalmaktadır.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı verilerine göre; meslek hastalıklarının %10’u, gürültü sonucu meydana gelen işitme kaybı olarak tespit edilmiştir. Meslek hastalıklarının pek çoğu tedavi edilebildiği halde, işitme kaybının tedavisi yapılamamaktadır.

Çevresel titreşim, maden ve taş ocakları, ulaşım araçları (ağır taşıtlar, lokomotifler ve diğerleri), sanayi ve inşaat makine ve benzeri işlemlerden doğan ve yapılarada kullanım alanı dışında başka amaçlarla kullanılan hacimlerdeki faaliyetler sırasında oluşan genellikle katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılan ve insan vücudunca hissedilen mekanik salınım hareketlerini, çevresel gürültü ise ulaşım araçları, kara yolu trafiği, demir yolu trafiği, hava yolu trafiği, deniz yolu trafiği, açık alanda kullanılan teçhizat, şantiye alanları, sanayi tesisleri, atölye, imalathane, işyerleri ve benzeri ile rekreasyon ve eğlence yerlerinden çevreye (dışarıya) yayılan, istenmeyen veya zararlı açık hava seslerinin bütünü ile yapı içindeki mekanik sistemler ve diğer kaynaklardan doğan ve diğer bir mekan içinde bulunan insanları olumsuz etkileyen yapı içi gürültüleri tanımlar (1).

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nde yer alan gürültü kaynaklarının planlama ve işletilmesi aşamasında tesislerin sorumlu işleticileri;

- a) Stratejik gürültü haritalarının hazırlanması ve buna bağlı olarak gürültü kaynağı çevresinde oluşan çevresel gürültüye maruz kalma düzeylerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açmasının mümkün olduğu ve çevresel gürültü kalitesini korumanın gerekli olduğu yerlerde, gürültüyü önleme ve azaltmaya yönelik eylem planlarının hazırlanması ve uygulanması ile,
- b) Stratejik gürültü haritaları ve buna bağlı olarak hazırlanan eylem planlarını kamuoyu görüşüne açmakla,
- c) Stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan kara yolu, demir yolu, havaalanı ve yerleşim alanları listesini Bakanlığa iletmekle,
- d) Stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olmayan gürültü kaynakları için bu Yönetmelikte verilen sınır değerleri

sağlanıp sağlanmadığının tespiti ve sağlanmaması durumunda alınacak kontrol tedbirine ilişkin performans raporunu hazırlamakla ve Bakanlığa sunmakla,

- e) Çevresel Etki Değerlendirme Yönetmeliğine tabi faaliyetler için hazırlanacak, Çevresel Etki Değerlendirme Raporunun gürültü ile ilgili bölümünün bu Yönetmelikte yer alan esaslar çerçevesinde hazırlanmasını sağlamakla,
- f) Bu Yönetmeliğin Ek-VII Liste A ve B sinde verilen işletmeler için getirilen çevresel gürültü kriterlerini sağlamakla,
- g) Tesisi işleten tarafından bu Yönetmelikte belirtilen esas ve usullere uygun olarak çevre gürültüsünün ölçüm ve/veya hesaplama yoluyla değerlendirmek ve raporlamakla,
- h) Bakanlar Kurulu kararı ile kurulmuş olan bölgelerde aynı faaliyetleri yürütmekte olan işletmelerce müştereken çevresel gürültü ölçümlerini yaptırmakla,
- ı) Bakanlıkça Yeterlik Belgesi verilen kurum veya kuruluşlarca hazırlanan Akustik Raporun sunulmasıyla Gürültü Kontrol İzin Belgesini almakla,
- j) Bu Yönetmelik kapsamında getirilen izne tabi olmayan diğer gürültü kaynakları için; sınır değerleri sağlayacak şekilde gerekli önlemleri almak ve kontrolünü sağlamakla,

yükümlüdürler.

2. Çevresel Gürültü Esas ve Kriterleri Çevresel Gürültü Göstergeleri ve Bu Göstergelerin Uygulanması

Çevresel gürültü göstergelerinin seçimine ve bu göstergelerin uygulanmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir (1).

- a) Stratejik gürültü haritaları ve stratejik gürültü haritalarını revize etme çalışmalarında kullanılacak olan L_{gag} ve L_{gece} gürültü göstergeleri Yönetmelik Ek-I-1 ve Ek-I-2 de belirtildiği şekilde uygulanır.
- b) Ek-I-3 de listelenenler ve benzeri durumlar için yardımcı gürültü göstergeleri kullanılabilir.
- c) Akustik rapor hazırlama, akustik hususların planlanması ve gürültü bölgeleme ve diğer çalışmalar için L_{gag} ve L_{gece} dışında bu maddenin (b) bendinde belirtilen başka göstergeler kullanılabilir.

3. Değerlendirme Yöntemleri

Çevresel gürültü düzeylerinin değerlendirilmesine ilişkin yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

- a) Yönetmelik Ek-I de tanımlanan çevresel gürültü göstergeleri Ek-II de belirtilen değerlendirme yöntemleri aracılığı ile belirlenir.
- b) Mevcut gürültü düzeyinin toplum üzerindeki etkilenme derecesi ve gürültünün günlük yaşamda çeşitli eylemler üzerinde olabilecek zararlı etkileri ve çevresel gürültü sınır değerleri Ek-III de verilen doz-etki ilişkileri kullanılarak tespit edilir.

Doz-etki ilişkisine ait etkilenme analizine dair kılavuz Sağlık Bakanlığı ile koordinasyon içinde Bakanlıkça hazırlanır.

- c) Çevresel gürültü sınır değerlerinin aşıldığı durumlarda gürültü kontrolü açısından alınacak tedbirlerin belirlenmesinde doz-etki ilişkilerinin göz önünde bulundurulması gerekir.

4. Çeşitli yerlerde Gürültü Kriterleri

4.1. Kara Yolu Çevresel Gürültü Kriterleri

Kara yolundan kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- a) Stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan kara yollarının geçtiği alana ve zaman dilimine bağlı olarak, bu Yönetmeliğin 20. maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre kara yolu çevresel gürültü düzeyi $L_{gündüz}$ ve L_{gece} cinsinden Tablo 1'de verilen sınır değerleri aşamaz.
- b) Yılda üç milyonun altında taşıtın geçtiği kara yolunun bulunduğu alanın nüfus yoğunluğu ve kara yolundan kaynaklanan gürültü nedeniyle yaşanan şikayetin yoğunluğu dikkate alınarak kara yollarının maksimum çevresel gürültü düzeyinin $L_{gündüz}$ 68 dBA'yı aştığı yerlerde, işletmeciler tarafından, kara yolu civarında var olan evlerin mevcut yollardan etkilenmemesi için; kara yolu ve çevresinde trafik akışı, yol kaplaması ve benzeri veya yol kenarlarına TSEN

Alanlar □	Yenilenmiş/Onarımlı yollar □		Mevcut yollar	
	$L_{gündüz}$ (dBA)	L_{gece} (dBA)	$L_{gündüz}$ (dBA)	L_{gece} (dBA)
Kırsal alanlar	55	45	60	50
Gürültüye duyarlı alanlar (eğitim, kültür ve sağlık alanları), yazlık yerleşim alanları ve kamp yerleri	60	50	65	55
Yerleşim alanları	63	53	68	58
İş alanları ve yerleşim alanları	65	55	70	60
Endüstriyel alanlar	67	57	72	62

Tablo 1. Kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri (1).

Yer altı <stasyonlar> □	$L_{gündüz}$ (dBA) □	Yerüstü <stasyonlar> □	$L_{gündüz}$ (dBA)
Gişeler, merdivenler, koridorlar	55	Platformlar (platform kenarında 1.8 m'de)	70
Platformlar (platform kenarından 1.8 m. de)	80	Duran- Kalkan trenler	75
Duran ve kalkan trenler için	85	Çalışır Durumda Bekleyen trenler	65
Geçen trenler için	85		
Çalışır durumda bekleyen trenler için	65		
İstasyon içinde Havalandırma sistemi	55		
Caddelerde havalandırma kanalları (9,0 m'de)	55		
İstasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22,5 m'de)	80		

Tablo 2. Metrolar için çevresel gürültü sınır değerleri (1).

1793-1, TSEN 1793-2 ve TSEN 1793-3 standartlarına uygun gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak etkin ve uygulanabilir tedbirler alınır. Alınan tedbirlerin etkinliğinin ölçüm ve performans testleri yaptırılır.

4.2. Raylı Sistem Çevresel Gürültü Kriterleri

Raylı sistemlerden kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- Stratejik gürültü haritası hazırlanması zorunlu olan demir yollarının geçtiği yerleşim yerlerinde ve doğal yaşamın koruma altında bulunduğu alanlardaki uzun mesafeli demir yolu hatlarında zaman dilimine bağlı olarak bu Yönetmeliğin 20'inci maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, çevresel gürültü düzeyleri $L_{gündüz}$ 65 dBA ve L_{gece} 55 dBA sınır değerlerini aşamaz.
- Metro istasyonlarında metronun geçtiği hatlarda; bekleme, iniş ve biniş platformlarında ve istasyonlarda, havalandırma kanallarında zaman dilimine bağlı olarak oluşabilecek çevresel gürültü sınır değerleri Tablo 2' deki değerleri aşamaz.
- Yılda otuz binin altında trenin geçtiği demir yolunun bulunduğu alanın nüfus yoğunluğu, alan özelliği (gürültüye duyarlılık açısından) ve demir yolundan kaynaklanan gürültü nedeniyle yaşanan şikayetin yoğunluğu dikkate alınarak; demir yolunun maksimum çevresel gürültü düzeyinin $L_{gündüz}$ 65 dBA'yı aştığı yerlerde, işletmecisi kurum/kuruluş tarafından, demir yolu civarında var olan evlerin mevcut yollardan etkilenmemesi için;
 - Bütün tren ve lokomotiflerin ses ölçümlerinin yapılması,
 - Trenlerde gürültü kontrolü amacıyla lokomotiflere susturucu takılması,
 - Pik fren pabucu yerine komposit malzemelerin kullanılması,
 - Fren özelliklerinin değiştirilerek diski frenlerin kullanılması,
 - Makine yapısında önlemlerin alınması,
 - Lokomotif ve vagon tekerlek profillerinin düzeltilmesi, yağlanması ve tekerleklerde ses yutucu malzeme kullanımı gibi yapı ile ilgili tedbirlerin alınması,
 - Demir yollarında ise; rayların sık sık düzeltilmesi, parlatılması, rayların belirli kesimlerinde lastik takozlar kullanılması, ray bağlantılarının kaynaklı duruma geti-

rilmesi, demir yolu dönüşlerinin uygun biçimlenmesi, banketlerin titreşim iletmeyen malzeme ile kaplanması, tren yolu kodunun çevreye göre ayarlanması, tren yolu çevrelerinin iç yüzeylerinde ses yutuculuğunun artırılması,

8) Sorunun yaşandığı alanda bulunan evlerde TSEN 12354 -1, TSEN 12354 -2, TSEN 12354 -3 ve TSEN 12354 -4 standartlarına göre yapılacak yalıtım hesaplama sonuçları ve TSEN ISO 140-1, TSEN ISO 140-2, TSEN ISO 140-6, TSEN ISO 140-9, TSEN ISO 140-10 ve TS ISO 140-3, TS ISO 140-4, TS ISO 140-5, TS ISO 140-7, TS ISO 140-8 standartlarına göre yapılacak ses yalıtım ölçüm sonuçlarına uygun yapı elemanlarının belirlenerek uygulanması ve /veya 9) Yol kenarlarına TSEN 1793-1, TSEN 1793-2 ve TSEN 1793-3 standartlarına uygun gürültü perdeleme teknikleri dikkate alınarak etkin ve uygulanabilir bir tedbirin alınması gerekmektedir. Alınan tüm tedbirlerin etkinliğine yönelik ölçüm ve performans testlerinin yaptırılması gerekir.

- Metro işletmecisi kurum/kuruluşlar, yer altı istasyonları içinde yansımış sesleri kontrol etmek üzere duvar ve tavanlarda gerekli akustik tedbirleri alır. İstasyon boş iken 500 Hz'de maksimum çınlama süresi proje hedef değeri 1,4 kabul değeri 1,6 saniye olmalıdır. Kent içi ve dışında metronun gürültüye duyarlı alanlardan geçtiği yerlerde gürültü perdeleri uygulanır. Fanların ve diğer gürültülü ekipmanın bulunduğu alanlar, diğer genel kullanım mekanlarından uzaklaştırılır, bu yapılamıyorsa bölme duvarlarında ve kapılarında TSEN 12354 -1, TSEN 12354 -2, TSEN 12354 -3 ve TSEN 12354 -4 standartlarına göre yapılacak yalıtım hesaplama sonuçları ve TSEN ISO 140-1, TSEN ISO 140-2, TSEN ISO 140-6, TSEN ISO 140-9, TSEN ISO 140-10 ve TS ISO 140-3, TS ISO 140-4, TS ISO 140-5, TS ISO 140-7, TS ISO 140-8 standartlarına göre yapılacak ses yalıtım ölçüm sonuçlarına uygun yapı elemanları seçilerek uygulamaya konulması işletmecinin sorumluluğundadır. Bu doğrultuda işletmecisi tarafından; alınan tedbirlerin etkinliğine yönelik ölçüm ve performans testleri yaptırılır.

4.3. Endüstriyel Tesisler için Çevresel Gürültü Kriterleri

Endüstriyel tesislerden kaynaklanan çevresel

gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir.

- Endüstri tesislerinin bulunduğu alana ve tanımlanan zaman dilimine bağlı olarak bu Yönetmeliğin 20'inci maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, endüstriyel tesisler için çevresel gürültü düzeyleri $L_{gündüz}$ ve L_{gece} cinsinden Tablo 4'deki sınır değerleri aşamaz. Bu değerler Ek-VII Liste A ve B sinde sıralanan eğlence yerleri dışındaki tüm tesisler için uygulanır.
- Bu Yönetmeliğin Ek-VII Liste A ve B sinde verilen endüstri tesisleri için Tablo 4'de verilen çevresel gürültü sınır değerlerinin aşılması halinde; her bir makine ve ekipman ile gürültüye maruz kalan işçiler bazında sorumlu kurum veya kuruluşlarca hazırlanan ilgili mevzuat çerçevesinde getirilen esasları sağlanmaya yönelik tedbirlerle birlikte etkin ve uygulanabilir çevresel kontrol tedbirleri alınır.

4.4. Şantiye Alanları için Gürültü Kriterleri

Şantiye alanlarından kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- Şantiye alanındaki faaliyet türlerine ve zaman dilimine bağlı olarak bu Yönetmeliğin 20'inci maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, şantiye alanı çevresel gürültü düzeyleri $L_{gündüz}$ cinsinden Tablo 5'deki sınır değerleri aşamaz.
- Kullanılan ekipmanlara bağlı olarak darbe gürültüsü LC_{max} 100 dBA'yı aşamaz.
- Konut bölgeleri içinde ve yakın çevresinde gerçekleştirilen şantiye faaliyetlerinin Tablo 5'de verilen gündüz zaman dilimi (07:00 - 19:00) dışında akşam ve gece zaman dilimlerinde sürdürülmesi yasaktır. Tatil beldelerinde, turistik alanlarda ve benzeri durumlarda tüm şantiye faaliyetleri Büyükşehir Belediyesi ve/veya il/ilçe Belediyesinin kararı doğrultusunda hafta sonları veya bir kaç ay süre ile tamamen durdurulabilir.
- Faaliyet sahibi şantiye alanında; inşaatın başlama, bitiş tarihleri ve çalışma periyotları ile Büyükşehir Belediyesi ve/veya il/ilçe Belediyesinden alınan izinlere ilişkin bilgileri inşaat alanında herkesin kolayca görebileceği bir tabelada gösterilir.
- Şehir içi yolların ve yerleşim bölgelerinde

Alanlar□	Lgündüz (dBA)□	Lgece (dBA)
Endüstriyel alanlar (sanayi bölgeleri)	70	60
Endüstriyel ve yerleşimin birlikte olduğu alanlar (ağırlıklı endüstriyel)	68	58
Endüstriyel ve yerleşimin birlikte olduğu alanlar (ağırlıklı yerleşim)	65	55
Kırsal alanlar ve yerleşim alanları	60	50

Tablo 4. Endüstriyel tesisler için çevresel gürültü sınırları (1).

Faaliyet türü (yapım, yıkım ve onarım)	Lgündüz (dBA)
Bina	70
Yol	75
Diğer kaynaklar	70

Tablo 5. Faaliyet alanı için çevresel gürültü sınırları (1).

rinden geçen kara yollarının yapım ve onarımları ile bina yapım, yıkım ve onarım işlemleri sırasında doğacak gürültüleri kontrol etmek için mal sahibi veya yapımçı firma veya kuruluş tarafından; Tablo 4'de verilen sınır değerleri sağlayacak şekilde önlemler alınır. Bu önlemlerle ilgili olarak gerekli durumlarda gürültülü makinelerin ve ağır nakliye taşıtlarının kullanımı, Büyükşehir belediyesi ve/veya il/ilçe belediyesince sınırlandırılır veya durdurulur.

4.5. Rekreasyon ve Eğlence Yerlerinin Çevresel Gürültü Kriterleri

Eğlence yerleri ve rekreasyon alanlarından kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- Üzeri ve etrafı fiziksel olarak açık ve yarı açık olan bahçeli gazino, dans salonları, lunaparklar, animasyon ve eğlence merkezleri, fuar, piknik yerleri, açık hava sinemaları, lokantalar, kahvehane ve dükkanlar gibi kamuya açık yerler ile diskotek, kulüpler, barlar, restoran ve düğün salonları gibi kapalı ve/veya yarı açık olan yerlerde elektronik olarak yükseltilmiş müzik ve her türlü ses kaynağının tam yükte çalışması durumunda eğlence yerlerinde, bu Yönetmeliğin 20'inci maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, çevreye yayılan gürültü düzeyi L_{eq} cinsinden ölçülen mevcut arka plan gürültü düzeyini 5 dBA'dan fazla aşamaz. Ayrıca, söz konusu eğlence yerlerinin bu Yönetmeliğin 31'inci maddesine ekli Tablo 12'de verilen gürültüye duyarlı alanların bitişiğinde, alt ve üstünde bulunması halinde 28'inci maddeye ekli Tablo 8'de verilen iç mekan gürültü düzeyi sınır değerlerini sağlaması zorunludur. Çevresel gürültü düzeyi ölçümleri gürültü kaynakları en yüksek düzeyi verecek durumda ve tümünün aynı anda çalıştırılması koşulunda yapılmalıdır.
- Yukarıda belirtilen kapalı eğlence yerlerinin dış girişi kapılarının üzerine "Dikkat: içerideki ses düzeyi insan sağlığına zararlıdır." şeklinde ışıklı ikaz levhalarının asılması zorunludur.
- Bu maddede belirtilen eğlence yerlerinde gürültüden etkilenme düzeyinin işitme sağlığı ve kritik sağlık etkilerinin değerlendirilmesi ve izlenmesi bu Yönetmeliğin 9'uncu maddesi (a) bendi çerçevesinde yapılır.
- Bu maddenin (a) ve (e) bentlerinde verilen arka plan gürültü düzeyinin sağlanıp sağlanmadığı periyodik denetimlerle kontrol edilir.
- Söz konusu eğlence yerlerinin, yerleşim alanlarındaki gürültüye duyarlı yapıların uzağında olması durumunda eğlence yerlerinden çevreye yayılan gürültü düzeyi, L_{eq} cinsinden ölçülen mevcut arka plan gürültü düzeyini 10 dBA'dan fazla aşamaz. Eğlence yerlerinin gürültüye duyarlı yapılardan uzaklık mesafesi belediye sınırları içinde belediye, belediye sınırları dışında ilin en büyük mülki amirince belirlenir.
- Bu maddenin (a) bendinde belirtilen eğlence yerlerinde gürültü kaynağında uygulanacak kontrol tedbirlerine rağmen (a) ve (e) bentlerinde verilen sınır değerlerin aşılması halinde işletmecisi tarafından; eğlence yerlerinin bulunduğu tüm mekanları çeviren yapı elemanlarında (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve diğer) ses yalıtımının yapılması zorunludur. Bu durumda; yapı elemanlarında sağlanması gerekli yalıtım miktarları 28 inci maddeye ekli Tablo 8'de belirtilen iç ortam gürültü düzeyleri ile çevresel gürültü düzeyleri esas alınarak saptanır. Yalıtımın hangi malzeme ve konstrüksiyon tipi ile yapılacağı; TSEN 12354-1, TSEN 12354-2, TSEN 12354-3 ve TSEN 12354-4

standartlarına göre yapılacak yalıtım hesaplama sonuçları ve TSEN ISO 140-1, TSEN ISO 140-2, TSEN ISO 140-6, TSEN ISO 140-9, TSEN ISO 140-10 ve TS ISO 140-3, TS ISO 140-4, TS ISO 140-5, TS ISO 140-7, TS ISO 140-8 standartlarına göre yapılacak ses yalıtım ölçüm sonuçları esas alınarak belirlenir. Hesap ve ölçüm sonuçlarının, 1/3 oktav bantlarda ses geçiş kaybı değerleri (dB biriminde) ve ISO 717'ye göre R_w değerinin verilmesi gerekir.

4.6. Yerleşim Alanları ve Yapılar için Gürültü Kontrolü ve Yalıtım Kriterleri

Yerleşim alanlarındaki çevresel gürültü esasları ile yerleşim alanı içerisinde bulunan yapılarındaki yalıtım kriterleri aşağıda belirtilmiştir.

- Bu Yönetmeliğin 21, 22, 23, 24 ve 25'inci maddelerinde belirtilmeyen zaman dilimleri için günün saatlerine bağlı olarak Tablo 5'deki düzeltmeler yapılır.
- Tablo 7'de verilen iç mekan gürültü düzeyi sınır değerleri pencerenin kapalılık durumunu yansıtmakta olup, pencerenin açık durumuna göre iç mekan gürültü düzeylerinin belirlenmesinde Tablo 6'da verilen düzeltmeler yapılır.
- Yerleşim alanı içinde bulunan yapı tiplerine göre iç mekanlarda, bu Yönetmeliğin 20'inci maddesinin (a) bendi çerçevesinde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre iç mekan gürültü düzeyi L_{eq} dBA cinsinden Tablo 7'de verilen sınır değerleri aşamaz.
- Yönetmeliğe göre gürültüye duyarlı faaliyet alanlarının yakınında, bitişiğinde alt ve üstünde faaliyetini sürdüren; spor tesisleri, ticari yapılar, kamu kurum kuruluşları, tabanca ve tüfek poligonları, alışveriş merkezleri, tedavi merkezleri, halı ve oto yıkama yerleri, depolama tesisleri, depolama ve sevkiyat işlemleri, atölye ve imalathane ve benzeri gibi diğer gürültülü yapı ve alanlardan çevreye yayılan gürültü düzeyinin L_{eq} cinsinden ölçülen mevcut arka plan gürültü düzeyini 5 dBA'dan fazla aşmaması ve Tablo 7'de verilen iç mekan gürültü düzeyi sınır değerlerinin sağlanması gerekir.

1) Kaynakta kontrole yönelik tedbirlerin alınmasına rağmen sınır değerlerin aşılması halinde, gürültü kaynağı/kaynaklarının bulunduğu tüm mekan/mekanları çeviren yapı elemanlarında (duvar, döşeme, tavan, merdiven evi ve

Günün Saatleri□	Düzeltilme (dBA)
Gündüz saatleri	0
Akşam Saatleri	-5
Gece Saatleri	-10

Tablo 5. Günüün saatlerine göre gerekli düzeltme (1).

Pencere durumu□	Düzeltilme (dBA)
Pencere açık	+10
Pencere kapalı	0

Tablo 6. Pencere durumuna göre içerdeki düzeltme (1).

Kullanım Alanı□		L_{eq} (dBA)□	Zaman Dilimi
Kültürel Tesis Alanları	Tiyatro salonları	30	Sürekli
	Sinema salonları	30	Sürekli
	Konser salonları	25	Sürekli
Sağlık Tesis Alanları	Konferans salonları	30	Sürekli
	Yataklı tedavi kurum ve kurumları, dispanser, poliklinik, bakım ve huzur evleri ve benzeri.	35	Sürekli
Eğitim Tesisleri Alanları	Dinlenme ve tedavi odaları	25	Sürekli
	Okullarda derslikler, okul öncesi binaların içi, laboratuvarlar, özel eğitim tesisleri, özürülüler tesisler vb.	35	Ders sırasında
	Spor salonu, yemekhane	55	Faaliyet süresince
Turizm Yerleşme Alanları	Okul öncesi yatak odaları	30	Uyku sırasında
	Otel, motel, tatil köyü, pansiyon ve benzeri yatak odası Konaklama tesislerindeki restoran	30	Uyku sırasında
Sit Alanları	Arkeolojik, doğal, kentsel, tarihi ve benzeri.	35	Yemek süresince
Ticari Yapılar	Büyük ofis	55	Sürekli
	Toplantı salonları	35	Çalışma sırasında
	Büyük daktilo veya bilgisayar odaları	60	Çalışma sırasında
	Oyun odaları	60	Çalışma sırasında
	Özel büro (uygulamalı)	60	Oyun süresince
	Genel büro (hesap, yazı bölmeleri)	50	Çalışma süresince
	İş merkezleri, dükkanlar ve benzeri.	60	Çalışma süresince
	Ticari depolama	60	Çalışma süresince
	Lokantalar	45	Faaliyet süresince
	Kamu Kurum Kuruluşları	Ofisler	45
	Laboratuvarlar	45	Çalışma süresince
	Toplantı salonları	35	Çalışma süresince
	Bilgisayar odaları	45	Çalışma süresince
Spor Alanları	Spor salonları ve yüzme havuzları	45	Çalışma süresince
Konut Alanları	Yatak odaları (şehir içinde)	55	Faaliyet süresince
	Yatak odaları (şehir dışında)	40	Gece süresince
	Oturma odaları (şehir içinde)	35	Gece süresince
	Oturma odaları (şehir dışı)	55	Gündüz-akşam süresince
	Oturma odaları (şehir kenarı)	40	Gündüz-akşam süresince
	Oturma odaları (şehir kenarı)	45	Gündüz-akşam süresince
	Servis bölümleri (mutfak)	45	Gündüz-akşam süresince
	(şehir içi, dışı ve şehir kenarı)	60	Faaliyet süresince

Tablo 7. İç mekan gürültü düzeyi sınır değerleri (1).

diğer) gerekli yalıtım tedbirleri sınır değerler temel alınarak saptanır.

2) Yalıtımın hangi malzeme ve konstrüksiyon tipi ile yapılacağı TSEN 12354-1, TSEN 12354-2, TSEN 12354-3 standartlarına göre yapılacak yalıtım hesaplama sonuçları ve TSEN 12354-4, TSEN ISO 140-1, TSEN ISO 140-2, TSEN ISO 140-6, TSEN ISO 140-9, TSEN ISO 140-10 ve TS ISO 140-3, TS ISO 140-4, TS ISO 140-5, TS ISO 140-7, TS ISO 140-8 standartlarına göre yapılacak ölçüm sonuçlarına göre belirlenir. Hesap ve ölçüm sonuçlarının 1/3 oktav bantlarda ses geçiş kaybı değerleri (dB biriminde) ve ISO 717'ye göre de R_w değerinin belirtilmesi gerekir.

3) Bu standartlarda belirtilmeyen çok katlı yapı elemanlarının ses geçiş kaybı hesaplamasında, geçerliliği bilimsel olarak kanıtlanmış bir yöntem seçilebilir ya da ulusal veya uluslararası akreditasyon belgesine sahip laboratuvarlarca yapılmış test sonuçları kullanılabilir.

4) Hesaplama ve ölçüm sonuçları esas alınarak uygun yapı elemanlarının seçilmesi ve uygulamaya konulması işletmecinin sorumluluğundadır. İşletmeci; bu çalışmalara dayalı olarak yapısal tedbirleri alır ve alınan tedbirlerin etkinliğini içeren ölçüm ve performans testlerini yaptırır.

5) Söz konusu testler gürültü kaynakları en yüksek düzeyi verecek durumda ve tümünün aynı anda çalıştırılması koşulunda yapılmalıdır.

e) Bitişik nizam yapılarda; ortak bölme elemanları, ara döşemeler, tavan ve bitişik duvarlar aracılığıyla, mekanik merkezlerde (tesisat dairelerinde) yer alan veya yapı içinde herhangi bir yerde bulunan soğutma fanı, hava kanalları, temiz ve pis su tesisatı, jeneratör, hidrofor, kompresör, yakma kazanı, asansör, çöp bacaları ve benzeri kaynaklardan iletilen gürültü düzeyi Tablo 7'de verilen iç mekan gürültü düzeyi sınır değerini 3 dBA'dan fazla aşamaz.

1) İç mekan gürültülerinde iklimlendirme sistemleri ve diğer mekanik sistemlerin de katkısı bulunduğundan ayrı mühendislik tasarımı gerektiren bu sistemler için uygulanacak gürültü kriterleri; TSEN 12354-1, TSEN 12354-2, TSEN 12354-3 ve TSEN 12354-4 standartlarına göre yapılacak yalıtım hesaplama sonuçları ve TSEN ISO 140-1, TSEN ISO 140-2, TSEN ISO 140-6, TSEN ISO 140-9,

TSEN ISO 140-10 ve TS ISO 140-3, TS ISO 140-4, TS ISO 140-5, TS ISO 140-7, TS ISO 140-8 standartlarına göre yapılacak ölçüm sonuçlarına göre belirlenir.

2) Hesap ve ölçüm sonuçlarının 1/3 oktav bantlarda ses geçiş kaybı değerleri (dB biriminde) ve ISO 717 ye göre de R_w değerinin belirtilmesi gerekir.

3) Ayrıca mekanik tesisat (donatım) elemanlarında, havalandırma kanalları ve sıhhi tesisat boru ve armatürlerinde alınacak önlemler tesisat projeleri hazırlanırken göz önüne alınmalı ve uygulamada kontrol edilmelidir. Belirtilen mekanlardan oluşacak titreşim kriterleri ve kontrolü için Beşinci Bölümdeki esaslar göz önüne alınır.

4) Yukarıda adı geçen gürültü kaynaklarının bulunduğu mekanların içinde ve mekanı çeviren tüm yapı elemanlarında hesaplama ve ölçüm sonuçları esas alınarak ses ve titreşim yalıtımı yapılır.

5) Ses yalıtımına ilişkin uygun yapı elemanı, malzeme ve konstrüksiyonların seçilmesi ve uygulamaya konulması gerekir.

- f) Dini tesislerde ses yükseltici kullanımından çevreye yayılan gürültünün kontrolüne ilişkin düzenlemeler bu Yönetmeliğin 9'uncu maddesinin (c) bendi çerçevesinde yapılır.
- g) Bu Yönetmeliğin 7'inci maddesinin (g) bendinin (3) numaralı alt bendi ve 8 inci maddesinin (b) bendinin (6) numaralı alt bendi gereği belirlenecek alanlarda; konser, gösteri, miting, tören, festival, düğün vb. açık hava aktivitelerinden çevreye yayılacak gürültü düzeyi L_{eq} cinsinden ölçülen mevcut arka plan düzeyini 10 dBA'dan fazla aşamaz.
- h) Bu Yönetmeliğin 7'inci maddesinin (g) bendinin (2) numaralı alt bendi ve 8 inci maddesinin (b) bendinin (6) numaralı alt bendi gereği belirlenecek alanlarda; patlayıcı, maytap ve benzeri şeyleri kullanma, ateşleme ve benzeri faaliyetlerden çevreye yayılan gürültü düzeyinin L_{eq} cinsinden ölçülen mevcut arka plan gürültü düzeyini 10 dBA'dan fazla aşamaz.
- ı) Konut içerisinde barındırılan hayvan sahiplerince; Tablo 7'de verilen iç mekan gürültü düzeyi, sınır değerleri sağlanacak şekilde gerekli gürültü kontrol tedbirleri alınır. Yerleşim alanları içerisinde yer alan hayvan barınaklarından kaynaklanan çevresel gürültü düzeyi L_{eq} cinsinden, mevcut arka plan gürültü düzeyini 5

dBA'dan fazla aşmayacak şekilde hayvan sahiplerince gerekli önlemler alınır (1). İnsan sağlığı açısından bazı gürültü türlerinin sınır değerleri ve insan sağlığı bakımından etkileri Tablo 8'de verilmiştir. İnsanın kullanımında olan çeşitli yaşam alanlarında uyulması gereken kabul edilebilir üst gürültü sınır değeri ise Tablo 10'da verilmiştir.

5. Gürültüyü Azaltmak için Alınabilecek Tedbirler

- Hava alanlarının, endüstri ve sanayi bölgelerinin yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde kurulması,
- Motorlu taşıtların gereksiz korna çalmalarının önlenmesi,
- Kamuoyuna açık olan yerler ile yerleşim alanlarında elektronik olarak sesi yükseltilen müzik aletlerinin çevreyi rahatsız edecek seviyede olmasının önlenmesi,
- İşyerlerinde çalışanların maruz kalacağı gürültü seviyesinin en aza (Gürültü Kontrol Yönetmeliğinde belirtilen sınırlara) indirilmesi,
- Yerleşim yerlerinde ve binaların içinde gürültü rahatsızlığını önlemek için yeni inşa edilen yapılarda ses yalıtımı sağlanması,
- Radyo, televizyon ve müzik aletlerinin evlerde rahatsızlık verecek seviyede seslerinin yükseltilmemesi gerekmektedir.

Gürültü; insanların işitme sağlığını ve duyunu olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengesini bozan, iş performansını (verimini) azaltan, çevrenin hoşluğunu ve sakinliğini azaltarak veya yok ederek niteliğini değiştiren, gelişigüzel bir spektruma sahip istenmeyen seslerden oluşan önemli bir çevre kirleticisidir.

Gürültü Türü	dB Derecesi	Psikolojik Etkisi
Uzay roketleri	170	Kulak ağrısı, sinir hücrelerinin bozulması
Canavar düdükları	150	Kulak ağrısı, sinir hücrelerinin bozulması
Kulak dayanma sınırı	140	Kulak ağrısı, sinir hücrelerinin bozulması
Makinelı delici	120	Sinirsel ve psikolojik bozukluklar (III.Basamak)
Motosiklet	110	Sinirsel ve psikolojik bozukluklar (III.Basamak)
Kabare müziği	100	Sinirsel ve psikolojik bozukluklar (III.Basamak)
Metro gürültüsü	90	Psikolojik belirtiler (II.Basamak)
Tehlikeli bölge	85	Psikolojik belirtiler (II.Basamak)
Çalar saat	80	Psikolojik belirtiler (II.Basamak)
Telefon zili	70	Psikolojik belirtiler (II.Basamak)
İnsan sesi	60	Psikolojik belirtiler (I.Basamak)
Uyku gürültüsü	30	Psikolojik belirtiler (I.Basamak)

Tablo 8. Bazı gürültü türlerinin desibel dereceleri ve psikolojik etkileri (2).

Kullanım Alanı	Ses basıncı düzeyi (gündüz) dBA
Dinlenme alanları	
Tiyatro salonları	25
Konferans salonları	30
Otel yatak odaları	30
Otel restoranları	35
Sağlık yapıları	
Hastaneler	35
Konutlar	
Yatak odaları	
Oturma odaları	35
Servis bölümleri (mutfak, banyo)	60
Eğitim yapıları	70
Endüstri yapıları	
Fabrikalar (küçük)	70
Fabrikalar (büyük)	80

Tablo 9. Çeşitli kullanım alanlarının kabul edilebilir üst gürültü seviyeleri (2).

Gürültü türleri, sahip olduğu frekans spektrumuna, ses seviyesinin zamanla değişimine ve sesin yayıldığı alanın yapısına bağlıdır.

A-Frekans Spektrumuna Göre Gürültü Türleri

1-Sürekli Geniş Band Gürültüsü:

Birçok gürültü, sürekli bir spektruma sahiptir. Yani; gürültüyü meydana getiren sesin frekansı, tüm frekans boyunca yayılmıştır. Tabiiatta mevcut bulunan bütün renklerin karışımı nasıl beyaz ışığı meydana getirirse, bütün frekans aralıklarına sahip sürekli spektrumlu sesler de “Beyaz Gürültü”yü meydana getirir. Beyaz gürültüye en iyi örnek; makina gürültüsüdür.

2-Sürekli Dar Band Gürültüsü:

Böyle seslerde birkaç frekans yoğun olarak yer alır. Örnek olarak; daire testerenin çıkardığı ses özellikle yüksek frekansları ihtiva eder ve bu sınıf içinde yer alır.

B-Zamana Bağlı Olarak Gürültü Türleri

1-Kararsız Gürültü:

Gözlem süresinde gürültü seviyesinde önemli değişiklikler olan gürültülere denir. Kararsız gürültüler kendi içinde üçe ayrılır.

- Dalgalı Gürültü: Gözlem süresince seviyesinde sürekli ve önemli ölçüde değişiklikler olan gürültülere denir.
- Kesikli Gürültü: Gözlem süresince seviyesi aniden ortam gürültü seviyesine düşen ve ortam gürültü seviyesi üzerindeki değeri bir saniye veya daha fazla sürede sabit olarak devam eden gürültüdür. Trafik gürültüsü ve durup yeniden çalışan vantilatörler, bu gürültü türüne en güzel örneklerdir.
- Vurma Gürültüsü (Anlık Gürültü): Herbiri bir saniyeden daha az süren bir veya birden fazla vuruşun çıkardığı gürültüdür. Bu gürültüye en iyi örnek; çekiç ve perçin makinası gürültüsüdür. (3)

Gürültü seviyesi ve maruz kalma süresi ile hasar risk kriterleri Tablo 10'da verilmiştir. Özellikle endüstriyel tesislerde uygulanması gereken önlemler bakımından son derece önemli olan bu üst limitler ilgili yöneticiler tarafından belirlenmeli ve stratejik gürültü haritaları çıkartılarak eylem planları oluşturulmalıdır. Bu çalışmaların temelinde ise uygun ölçümleme ve/veya uygun hesaplama yöntemleri kullanılması gelmektedir.□

Gürültü Seviyesi (dB, 0,0002 dyn/cm ²)			
Günlük Maruz Kalma Süresi, Saat	Beyaz Gürültü (dBA)	1 Oktav Bant Gürültüsü (bDA)	Saf Tone (dBA)
8 saat	90	85	80
4 saat	90	85	80
2 saat	92	87	82
1 saat	95	90	85
30 dk	98	93	88
15dk	102	97	92
7 dk	108	103	98
3 dk	115	110	105
1,5 dk	125	120	115

Tablo 10. Sürekli çalışma koşullarında hasar risk kriterleri (4).

6. Sonuç

Ülkemizde gürültü kirliliği bakımından çeşitli mühendislik tasarımlarında dikkate alınması gereken malzeme seçimi, proje kontrolü ve yalıtım gibi esaslara ışık tutacak ve Avrupa Birliği Direktiflerine uyum sürecinde gürültü kirliliğinin kontrol altına alınması ve uluslararası standartlarda bir gürültü kontrolünün gerçekleşmesi amacıyla, Çevre ve Orman Bakanlığı Tarafından 25.06.2002 tarihli 2002/49/EC Direktifine paralel olarak “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” hazırlanarak yürürlüğe konmuştur. Karayolları, havaalanları, endüstriyel tesisler, rekreasyon ve eğlence yerleri, yerleşim alanları ve yapılar için insan sağlığını tehdit etmeyecek geçerli gürültü kontrolü ve yalıtım kriterleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada gürültü kirliliği ve çevresel gürültünün değerlendirilmesi ele alınmıştır. İnsan sağlığı açısından son derece önemli olan gürültü kirliliğinin minimum seviyede tutulması ve hem insan sağlığı hem de ürün kalitesi ve verimine etkileri bakımından gerekli kriterler verilmeye çalışılmıştır. Uluslararası standartlara göre, gürültü seviyelerine uygun inşaat, yol vb. yapılması, makina üretimi, işçi çalışan ortamların, insan sağlığı bakımından iç mekan gürültü düzeyi sınır değerleri belirlenmiştir. Gerek uluslararası kabul görmüş sınır değerleri gerekse maruziyet sınırları bakımından gürültü seviyesi ve hasar risk kriterleri verilmiştir.

Kaynaklar

- 01.07.2005 tarih ve 25862 sayılı Resmi Gazete, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”.
- Çevre ve Orman Bakanlığı WEB sayfası, www.cevreorman.gov.tr.
- Sağlık Bakanlığı, Refik Saydam Hıfzı-sıhha Merkezi, WEB sayfası.
- D.H.F. Liu, B. G. Liptak, “Environmental Engineers' Handbook”, Second Edd., Lewis Publishers, Chapter 4.4., pp 201-204, 1997.

Yazar;

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Topal
Lisans öğrenimini 1989 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Aynı yıl Araştırma görevliliğine ve Yüksek Lisans öğrenimine başladı. NATO tarafından desteklenen “Investigation of the Causes of Air Pollution in Ankara and Measures for It's Reduction” adlı projede görev aldı ve bu proje dahilinde yüksek lisans tezini tamamladı. Doktora çalışmasını “Dolaşım alanlarındaki yakıt yakma sistemleri, enerji dönüşüm sistemleri, emisyon, imisyon ve gürültü ölçme teknolojileri, yakma teknolojileri (kat, sıvı, gaz yakıt yapan sistemler), akışkan yataklı yakma sistemleri, hava kirliliği ve kontrol teknolojileri yer almaktadır. Doktora sonrasında biokütleden enerji elde edilmesi ve tehlikeli atıkların yakılarak imhası üzerine çalışmaktadır.