

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİTREŞİM-GÜRÜLTÜ DENETİMİ ve
GEREÇ SEÇİMİ**

Mimar Sevda ERDOĞAN

**F.B.E. Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

95078

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Neşe AKDAĞ

Neşe Akdağ

Doç. Dr. Feriye AKÖZ

Feriye Aköz

Sevda Erdoğan

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2000



Sayın Hocam Neşe Akdağ ve Sayın Erdoğan Özkan'a tezin oluşmasındaki değerli katkı ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL TANIMLAMALAR.....	3
3. TİTREŞİM ve YAPILARDA ETKİLİ TİTREŞİM KAYNAKLARI.....	9
3.1 Titreşimin İrdelenmesi.....	9
3.1.1 Titreşimin tanımlanması.....	9
3.1.2 Titreşimin etkileri.....	10
3.1.2.1 İnsanın titreşimden etkilenmesi.....	11
3.1.2.1.1 Titreşimin ses olarak algılanması.....	11
3.1.2.1.2 Titreşimin titreşim olarak algılanması.....	12
3.1.2.2 Yapının titreşimden etkilenme durumu.....	15
3.1.2.3 Makinelerin titreşimden etkilenmesi.....	17
3.2 Yapılarda Etkili Titreşim Kaynakları.....	18
3.2.1 İşleve bağlı döşem ve donatılardan kaynaklanan titreşimler ve darbe sesi.....	19
3.2.1.1 Döşem gürültüsü.....	19
3.2.1.1.1 Su döşemi.....	20
3.2.1.1.2 Isıtma-soğutma havalandırma-iklimlendirme döşemi.....	27
3.2.1.1.3 Asansör döşemi.....	33
3.2.1.1.4 Elektrik döşemi.....	34
3.2.1.2 Donatı gürültüsü.....	38
3.2.1.3 Darbe gürültüsü.....	39
4. TİTREŞİM DENETİM İLKELERİ.....	40
4.1 Sistem Seçimi.....	40
4.1.1 Titreşim yalıtım sistemleri.....	40
4.1.1.1 Esnek gereç kullanılması.....	41
4.1.1.2 Strüktürde devamsızlık oluşturulması.....	41
4.1.1.3 Yüzer döşeme uygulaması.....	43
4.1.2 Titreşim sönümlenme sistemleri.....	47
4.1.2.1 Sönüm uygulaması.....	47
4.1.2.2 Atalet bloğu kullanılması.....	53
4.2 Gereç Seçimi.....	55
4.2.1 Titreşim analizi.....	55
4.2.2 Uygun gereç seçimine yönelik ölçütler.....	60
4.2.3 Denetimde kullanılacak gereçler.....	63
4.2.3.1 Çelik esaslı gereçler.....	63

4.2.3.2	Şekilli elastomerler	65
4.2.3.3	Yalıtım pedleri	67
4.2.3.4	Pnömatik düzenekler.....	72
4.3	Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi.....	77
5.	UYGULAMA ÖRNEĞİ	83
5.1	Mevcut Durumun Saptanması.....	83
5.1.1	Kaynak ve hacim özellikleri	83
5.1.2	Titreşim ve gürültü düzeyi ölçümleri.....	85
5.2	Değerlendirme.....	87
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	89
	KAYNAKLAR.....	91
	EKLER	93
Ek 1	Titreşim ve Şok Konularıyla İlgili Olarak TSE'nin Yayınladığı Başlıca Standatlar.	94
Ek 2	TSE 2775/Nisan 1977 - Tüm Vücudun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin Kılavuz - Titreşim Değerlendirme Grafikleri.....	96
	ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Boyuna titreşim dalgası.....	3
Şekil 2.2	Havada ve katıda doğan sesin geçişi.....	5
Şekil 3.1	İnsanların titreşimlere karşı duyarlılığı.....	13
Şekil 3.2	İvmeye göre insanın titreşimden etkilenme durumu.....	14
Şekil 3.3	Titreşimler ve yapılarda hasar.....	16
Şekil 3.4	Yerleşim yapılarında meydana gelebilecek ivme kabul edilebilirlikleri	17
Şekil 3.5	Akışkan akış karakterleri	20
Şekil 3.6	Su miktarına bağlı armatür ses düzeyleri.....	25
Şekil 3.7	30 m SS Şebeke basıncında çeşitli armatürlerin çalışma halindeki ses düzeyleri.....	25
Şekil 3.8	Üfleme ve emme ağızlarından kanallar aracılığıyla gürültü geçişi.....	32
Şekil 3.9	Asansör makine dairesinden yapılan gürültülerin frekans-ses basıncı düzeyi ilişkisi	34
Şekil 4.1	Zemine oturan beton döşemelerde devamsızlık uygulaması	42
Şekil 4.2	Strüktürde devamsızlık sağlama örneği	42
Şekil 4.3	Yüzer döşeme örneği	43
Şekil 4.4	Döşemeye ilave yük istenmediği durumlarda kullanılabilirlik yüzer döşeme örneği	44
Şekil 4.5	Yüzer döşeme - duvar arasındaki rijit bağlantının uzunluğu ile darbe gürültüsünün frekansına göre geçişi	45
Şekil 4.6	Farklı döşeme katmanlarıyla elde edilmiş darbe yalıtımı	46
Şekil 4.7	Düz homojen panel için geçiş kaybında sönüm etkisi	48
Şekil 4.8	Lamine ve çıplak çelik için geçiş kaybı	50
Şekil 4.9	Sönümleyicilerin strüktürde tipik uygulamaları	51
Şekil 4.10	Çeşitli gereçlerin iç sönüm etkiliği	52
Şekil 4.11	Bir ekipmanın titreşimini azaltmaya yönelik atalet bloğu kullanımı	53
Şekil 4.12	Atalet bloklu bir sistemin ağırlık merkezinin düşünülmesi prensibi	54
Şekil 4.13	Titreşim-yalıtıcı-kütle sönüm elemanından oluşan kütle-yay modeli.....	56
Şekil 4.14	Statik boy değişiminin fonksiyonu olarak tek serbestlik dereceli sistemin öz frekansı.....	56
Şekil 4.15	f/f_n oranına göre geçirgenlik	58
Şekil 4.16	Basit, sönümlemesiz sistem için, sistemin etkin frekans kuvvet geçirgenliği ve statik boy değiştirme öz frekans arasındaki ilişki	59
Şekil 4.17	Gerekli yalıtım sağlamada dikkate alınacak hedef bölgesi	61
Şekil 4.18	Çeşitli yalıtım gereci örnekleri.....	65
Şekil 4.19	Çeşitli sarmal yay yalıtıcı örnekleri	64
Şekil 4.20	Tipik elastomerik yalıtıcı örnekleri.....	66
Şekil 4.21	Basınca, kesmeye ve kesme-basınca çalışan bazı kauçuk yalıtım gereçleri ve yük-boy değişimi eğrileri	66
Şekil 4.22	Keçenin çeşitli sertlik dereceleri için basınç-öz frekans ilişkisi	69
Şekil 4.23	Mantar pedlerin yük-boy değişimi eğrisi	70
Şekil 4.24	Camyünü döşeme yalıtım tabakasının statik yük-boy değişimi eğrileri	71
Şekil 4.25	Sandöviç ped örnekleri	72
Şekil 4.26	Tipik pnömatik yalıtıcı örnekleri	72
Şekil 4.27	İvmeölçerin şematik bileşenleri	80
Şekil 4.28	Genel amaçlı, ses ölçer ile oluşturulmuş ivme ölçer örneği	82

Şekil 5.1	Uygulamada kullanılan gereçler	83
Şekil 5.2	Ekipman plan ve görünüşü.....	84
Şekil 5.3	Hacim planı	84
Şekil 5.4	Hacimde ölçülen ses düzeyi, dB(A) değerleri grafik gösterimi.....	86
Şekil 5.5	Ekipman motoru üzerinde ölçülen ivme düzeyi, L _a dB değerleri, grafik gösterimi.....	86
Şekil 5.6	Döşemede ölçülen titreşim düzeyi, L _a dB değerleri, grafik gösterimi.....	87



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 İnsanın titreşimlere dayanım değerleri.....	13
Çizelge 3.2 Maksimum element hızı ve yapılarda hasar.....	16
Çizelge 3.3 Yüksek hızlı sistemler için önerilen maksimum ana kanal hızları.....	31
Çizelge 4.1 Etkin frekansın, öz frekansa oranını temel alan yaklaşım yalıtım dereceleri.....	59
Çizelge 4.2 Açıklığı değişken çeşitli beton döşemelerin üzerinde değişik hızlarda çalışan ekipmanlar için tavsiye edilen statik sapma değerleri	62
Çizelge 4.3 Serbest duran, basınca çalışan çelik sarmal yaylar için burkulmayı önlemeye yönelik minimum çap değerleri.....	65
Çizelge 4.4 Çeşitli yalıtım gereçleri özellikleri.....	74
Çizelge 4.5 Çeşitli ekipmanlar için yalıtım gereçleri	76
Çizelge 4.6 Kabul edilebilir titreşim çevreleri için maksimum ivme değerleri	78
Çizelge 5.1 Ekipmanın motoru üzerinde ölçülen ivme düzeyi, L_a dB değerleri.....	85
Çizelge 5.2 Döşemede ölçülen ivme düzeyi, L_a dB değerleri.....	85
Çizelge 5.3 Hacimde ölçülen ses düzeyi, dB(A) değerleri	86

ÖZET

Gürültü denetiminin alt konularından biri olan titreşim denetiminin incelenmesi amacıyla ele alınan çalışmada, öncelikle sesle ilgili tanımlardan yola çıkarak, titreşim gürültüsünün gürültü kavramı içindeki yeri belirlenmiştir. Konunun devamında, katıda doğan gürültüye yol açan, yapı içindeki mekanik titreşim ve darbe kaynakları sınıflandırılmıştır.

Bir sonraki aşamada, bu kaynaklardan meydana gelen mekanik titreşimlerin ölçüm konusu incelenmiştir. Titreşim denetim sistemlerinden biri olan titreşim yalıtımında gereç seçimine yönelik ölçütler ortaya konarak, kullanılabilecek gereçler ayrıntılı olarak sınıflandırılmıştır. Sözü edilen gereçlerin kullanılmasının meydana getireceği gürültü ve titreşim düzeylerindeki farklılıkları ortaya koymak amacıyla, değişik yalıtım gereçleri kullanılarak bir ölçüm uygulaması ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu inceleme ve değerlendirmeler sonunda, makine titreşimlerinde olduğu gibi kimi durumlarda, titreşim denetiminin en az havada doğup yayılan seslerin denetimi kadar önem kazandığı fakat tek başına yeterli olmadığı, etkin gürültü denetimi için havada doğan ses ve titreşim denetiminin birlikte yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Sonuç olarak sorunun çözümüne yönelik, gürültü denetim teknikleri genel hatlarıyla özetlenmiştir.



ABSTRACT

Handled and prepared with the purpose of studying the subject of vibration control which is one of the subsubject of the noise control, the place of vibration noise has been determined in the noise concept by taking the definitions related to sound into consideration. In the later pace of the subject, mechanical vibrations and impact sources inside buildings which leads to structure born noise are classified. Further on, the subject of the measurement of mechanical vibrations happening because of those impact sources are studied. In vibration isolation which is one of the vibration control systems, putting forward criterious related to material selections, the materials which can be used are classified in detail. To underline the differences in noise and vibration levels by using materials mentioned, a measurement application and evaluation realised with various isolation materials.

In the light of those research and evaluations, it has been put forward that, in some cases like mechanical vibrations, vibration control gains as much importance as at least the control of air-born sound but on the other hand not enough solely and therefore for a efficient noise control, control of air-born sound an vibration must be realised together. As a result, noise control technics for the solution of the problem has been summarized in a general frame.

1. GİRİŞ

Çağımızda teknolojinin gelişmesi sonucu olarak gürültü kaynakları artmış, çağdaş yapım teknikleri ve hafif gereçlerin kullanılmasıyla yapıların değişen strüktürel özellikleri, bu kaynakların denetiminin daha da önem kazanmasına yol açmıştır. Dolayısı ile günümüz yapılarında gürültü, her dönem olduğundan daha fazla kontrol edilmesi gereken bir niteliğe sahip duruma gelmiştir. İnsanların yaşadığı ortamlarda gürültü düzeyini kabul edilebilir sınırlarda tutmaya yönelik olarak yapılan uygulamalar olarak tanımlanabilecek gürültü denetiminin, etkin ve ekonomik olabilmesi için belli bir sistem ve planlamaya göre yapılması gerekmektedir. Birbirinden çok farklı şekillerde ortaya çıkan gürültü problemleri duruma özel çözümler gerektirmekle birlikte, her problemde, çözüme sistematik olarak yaklaşmak için kullanılabilecek yeterli derecede benzerlikler elde edilebilmektedir.

Gürültü denetimi konusuna yaklaşımda öncelikle önemli olan, ses ve titreşimlerin nerede doğup yayıldığıнын saptanması ve gerekli önlemlerin oluşturulmasıdır. Endüstride gürültünün, ağırlıklı olarak mekanik titreşimlerin kontrol altına alınmamasından, makinelerin yanlış montajından kaynaklanması durumunda olduğu gibi, gürültü ve titreşim problemleri sıklıkla birbiriyle yakinen ilgili olarak ortaya çıkmakta, titreşim yalıtımı en az havada doğup yayılan seslerin denetimi kadar önem kazanmaktadır. Bu durumda, bir çok bilim dalınca kendi konuları kapsamında incelenen “titreşim” kavramı, gürültü denetimi sırasında da gürültü kaynağı olarak ele alınması zorunlu bir kavram olarak ortaya çıkmakta, titreşim denetiminin gürültü denetiminin bir alt aşaması olarak ele alınması gereği doğmaktadır.

Konunun ilgili farklı meslek gruplarınca ele alınması, titreşim kaynaklı gürültü söz konusu olduğunda, meslek gruplarının çözüme yönelik olarak birlikte hareket etmesini gerektirmektedir, çünkü sadece titreşim denetimi bağımsız olarak problemin çözümüne yetmemekte, ancak diğer gürültü denetim sistemleriyle birlikte ele alındığında tam olarak çözüm sağlayabilmektedir.

“Mimar, en uygun fizik ortamı sağlayarak insanın sağlıklı ve konforlu şekilde yaşamını sürdüreceği yapı tasarlar”, görüşünden yola çıkarak, mimarın titreşim konusunda bilgi sahibi olması, herhangi bir gürültü probleminde diğer meslek grubu elemanlarıyla birlikte çalışarak problemi bir bütün halinde ele alabilmesi ve değerlendirebilmesi açısından gereklidir denilebilir.

Bu amaçla çalışma kapsamında, titreşim ve gürültü denetimi konusuyla yakından ilgili olan mimarların yararlanabileceği bir anlatımla titreşimin tanımlamaları, etkilerini de kapsayacak şekilde ayrıntılı olarak yapılacak, ardından gürültüye neden olan yapı içi titreşim ve darbe kaynakları belirlenecektir. Titreşim ölçme-değerlendirilmesinden sonra titreşim yalıtımında kullanılan gereçlerin sınıflandırılıp, seçimindeki ölçütlerin ortaya konmasını da kapsayan titreşim denetim teknikleri, sistemli bir şekilde ele alınarak darbe ve mekanik titreşim kaynaklı gürültü söz konusu olduğunda izlenecek gürültü kontrol aşamaları belirlenecektir.



2. GENEL TANIMLAMALAR

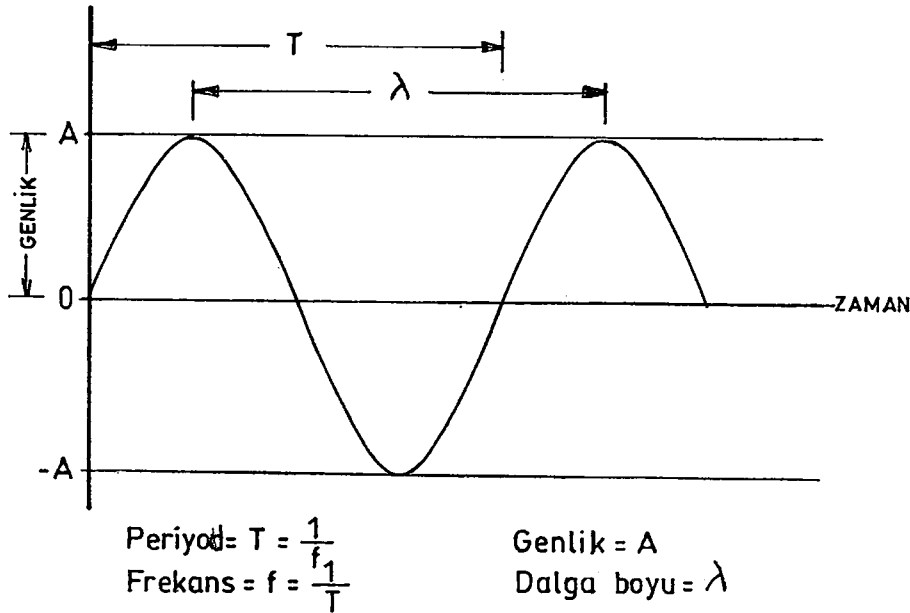
Titreşim, katı sıvı veya gaz ortam molekülünün hareketine dayanan genel bir terimdir. Herhangi bir etki sonucu uyarılarak denge konumundan ayrılan element, bu uyarı ortadan kalkınca tekrar aynı konuma gelebilmek için denge konumunun her iki yanına doğru salınım hareketi yapar. Bu elementin aynı noktadan aynı yönde, peşpeşe iki geçişi arasındaki hareketine bir **titreşim** denir. Titreşimin ölçülebilir nitelikleri ivme (a), hız (v) ve yerdeğiştirme (d) dir.

Sistemin tam bir salınım yapması için geçen süreye **periyod (T)** ya da devir süresi denir. Saniye veya milisaniye cinsinden ifade edilir.

Birim zamandaki titreşim sayısına **frekans (f)** denir ve Hz (devir/sn) veya yüksek frekanslar için kHz cinsinden ifade edilir. 1 Hz saniyede bir titreşimdir.

Ortam elementinin titreşim hareketiyle gidip geldiği uzaklığa ya da yarım devir süresi içinde geçtiği yolun uzunluğuna **genlik (A)** denir. Genlikle frekans arasında bir ilişki yoktur. Genlik verilen ivme ile ilgilidir. Frekansı değişmeyen bir titreşimde genlik arttıkça, elementler aynı süre içinde daha fazla yol alacağı için ortalama hızları ve buna bağlı olarak kinetik enerjileri artar.

Titreşim hareketinin yayılışı sırasında, bir devir süresi içinde gittiği uzaklığa ya da başka bir deyişle birbirine en yakın iki sıkışma veya iki açılma noktası arasındaki uzaklığa **dalga boyu (λ)** denir ve milimetre cinsinden ifade edilir. Boyuna titreşim dalgasının elemanları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Boyuna titreşim dalgası

Belli niteliklerdeki titreşimlerin insanda uyandırdığı fizyolojik duyulanmaya ise ses denmektedir. Sesin tanımı değişik kaynaklarda ufak farklılıklar göstermektedir. Bu tanımlardan bazıları şöyle özetlenebilir:

Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü'nün 11 aralık 1986-19308 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Gürültü Kontrol Yönetmeliği"ne göre ses; "Titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olaydır." Bu tanım, resmi yaptırım ve yönetmeliklerle uygulandığı için resmi tanım olarak nitelendirilebilir fakat yetersizdir; ses yalnızca havada değil, kitlesi ve esnekliği olan her ortamda yayılabilir, örneğin insan su altında bazı sesleri duyar.

Sesin tanımı insana göre en doğru biçimde toparlanacak olursa; "Ses, insanda işitsel duyulanma uyandıran ve elastik, maddesel bir ortamda bir etken aracı ile meydana gelerek dalgalar halinde yayılan mekanik titreşimlerdir" denilebilir.

Sesin tanımlanmasında frekans, yeğlilik, tını olmak üzere üç temel parametre söz konusudur. Bunların uyandırdığı işitsel duyulanmalar ise sırayla:

- Sesin inceliği-kalınlığı,
 - Azlığı-çokluğu,
 - Türü (ne sesi olduğu),
- dür.

Kaynaklara göre küçük değişimler göstermekle birlikte, insan kulağı 16 Hz ile 20000 Hz arasındaki titreşimleri ses olarak algılayabilir. Bu sınırlar insanın yaşına, kulak hassasiyetine göre değişir.

Belirtilen bu özelliklerin ortak sonucu ses, nitelikleri belirlenmiş titreşimlerin insana göre tarif edilmiş özel halidir. Bazı hayvanların, insanın duyabildiği frekansların dışındaki titreşimleri de algıladığı bilinmektedir. İnsan kulağının ses olarak algılayamadığı bu tür titreşimlerden 0-16 Hz frekans aralığındaki titreşimleri "ses altı", 20000 Hz'den büyük frekanslardaki titreşimleri de "ses üstü" titreşimler olarak isimlendirilmektedir

Frekans yükseldikçe ses incilir. Belli bir yaklaşıklıkla frekansı 500 Hz'in altında olan sesler kalın; 1000 Hz'in üzerinde olan sesler ince; 500-1000 Hz arası sesler ise orta kalınlıkta olarak değerlendirilir.

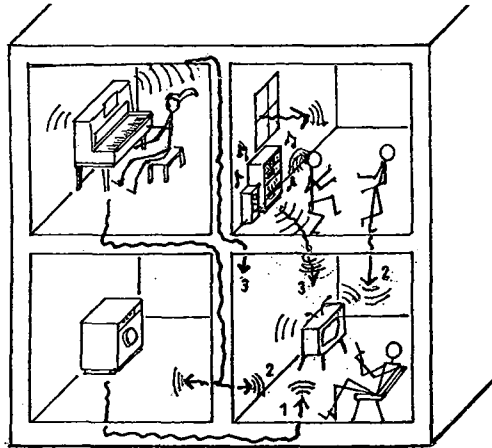
Sesin azlığı-çokluğu yeğliliğine, yeğliliği yani şiddeti de genliğe bağlıdır. Genlik ise verilen ivme ile ilgilidir. Ses titreşimlerinin genlikleri 0,1 ile 100 μ arasında değişir. Frekansı değişmeyen bir titreşimde genlik artıkça, elementler aynı süre içinde daha fazla yol alacağı

için ortalama hızları ve buna bağlı olarak kinetik enerjileri artar, bu da yeğnliğinin artması demektir.

Genellikle, doğadaki ses kaynaklarının çıkardığı sesler tek frekansta titreşen “yalın sesler” değildir. İşitilen sesler, bir temel sesle birlikte onun bazı uyumluları, yani doğal olarak temel sesle birlikte çıkan ve onunla, aralarında belirli uyum kuralları bulunan sesler topluluğu bulunan karmaşık seslerdir, (Sirel, 1974). Bu sesler temel ses ve onunla birlikte çıkan uyumlularının frekanslarından oluşmuş bir tayfa sahiptir. Uyumluların yeğnlikleri temel sese oranla daha düşük olduğu için temel sesin yeğnliği algılanır. Temel sese eşlik eden bu uyumluların sayı ve oranları tınıyı oluşturur. Bir sese en fazla yedi-sekiz uyumlu eşlik eder. Özetle, frekansı ve gücü aynı olduğunda iki sesin arasındaki farkı **tını** belirler.

Gerek titreşim kontrolü, gerekse bunu kapsayan gürültü kontrolü konusunda ilgili olarak ilerde açıklanacağı üzere, gerekli önlemlerin alınabilmesi için bir kaynaktan çıkan sesin öncelikle nereye –katıya, havaya- geçtiğini veya nereden –katıdan, havadan– yayıldığını belirlemek gerekir. Bununla ilgili olarak, bir ses kaynağının titreşimleri öncelikle katıya geçip katıda yayılıyor ise **katıda doğan ses**, havaya geçip havada yayılıyor ise **havada doğan ses** meydana geldiği söylenebilir.

Başka bir ifadeyle strüktüre geçen titreşim, özellikle homojen strüktürlerde, strüktürün iç sönümü çoğunlukla düşük olduğu için az kayıpla yol alır; bölme, duvar gibi yeterince geniş bir yayılma alanına rastladığında bu yüzeyin titreşimi sonucu ses olarak ortaya çıkar. Strüktürü uyarıp titreştirerek katıda doğan sese neden olan etkenler; mekanik titreşimlerin neden olduğu sönümsüz (steady-state) etki, strüktürü titreştirebilecek yeterli büyüklükte, kısa süreli kuvvetlerin neden olduğu darbe (impact) etkisi veya başka bir kaynaktan gelen havada doğan sesin neden olduğu ses sebepli (sound-induced) etki olabilir.



Şekil 2.2 Havada ve katıda doğan sesin geçişi 1. sönümsüz uyarımlı k.d.s, 2. darbe uyarımlı k.d.s, 3. havada doğan ses uyarımlı k.d.s, 4. havada doğan ses

Gürültü, “hoşa gitmeyen, istenmeyen, rahatsızlık veren sesler” olarak tanımlanmaktadır.

Bu tanım, gürültünün bağıl niteliğini ortaya koyar; sesin, dolayısı ile gürültünün insanda oluşturduğu duyulanmaların biçim ve büyüklüklerinin psikolojik, etnik, sosyolojik, fizyolojik vb. gibi çeşitli etkenlere ve koşullara göre gösterdiği değişimler dikkat çekici farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak gürültü kavramı ve bundan rahatsızlanma sınırı değişmektedir. Örneğin bir müzik aletinden çıkan ses, aleti çalan kişiye çok hoş gelirken, bu alete yabancı olan bir kişiye ızdırap verici gelebilir.

Bir sesin gürültü sayılması için yeğinliğinin yüksek olması gerekmemektedir. Gece sessizliğinde, eski bir lamba balastından çıkan ses rahatlıkla gürültü sınıfına girebilir.

Gürültü kavramını mimarlık konusu içinde sınırlandırarak yapılarda gürültüyü “yapı içi” ve “yapı dışı” gürültüler şeklinde sınıflandırabiliriz.

Yapı dışı gürültüleri;

- Sanayiden,
- Ulaşım, trafik, taşımacılıktan,
- Açık hava etkinliklerinden,

Yapı içi gürültüleri;

- Yapılarda bir takım döşem ve donatıdan (su, elektrik, gaz donatıları; iklimleme sistemleri; asansörler, jeneratörler, hidroforlar),
- Yapının fonksiyonundan (ev, büro, fabrika vb. gibi),
- Kullanıcılardan,

kaynaklanan gürültüler şeklinde toparlanabilir (Şerefhanoglu, 1983).

Gürültü, sesin doğduğu yere göre ele alındığında, yapı içi gürültüleri de havada doğan seslerden meydana gelen havada doğan gürültüler ve strüktürün, darbe, sönümsüz ve ses sebepli uyarımlarla etkilenmesiyle meydana gelen katıda doğan gürültüler olarak sınıflandırılabilir.

Havada doğan gürültüler, yapının fonksiyonlarından ve kullanıcılardan kaynaklanan müzik, konuşma, gibi havada doğan seslerden meydana gelen gürültülerdir.

Katıda doğan gürültüler, kullanıcılardan kaynaklanan ayak sesi, nesne düşürülmesi, çekiç sesi gibi seslerden (darbe etkisi); binada bulunan pompa, asansör gibi döşem ve donatılardan kaynaklanan seslerden (sönümsüz etki); kullanıcı ve yapının fonksiyonlarından kaynaklanan, yüksek güçlü müziğin camları takırdatması gibi seslerden meydana gelen gürültülerdir.

Konuyla ilgili temel kavram ve terimlerin yanında, “titreşim gürültüsü” kavramı konu bütününde tanımlanan anlamda, bir strüktürün titreşimden direkt olarak etkilenmesi yani darbe ve mekanik titreşimin strüktüre direkt olarak geçmesiyle ortaya çıkan katıda doğan seslerden meydana gelen gürültüdür, denilebilir. Oluşan titreşim, döner makinelerde olduğu gibi dengesizlikten kaynaklanan periyodik bir yapı veya türbülans akıştan kaynaklanan tesadüfi karakter gösterebilir.

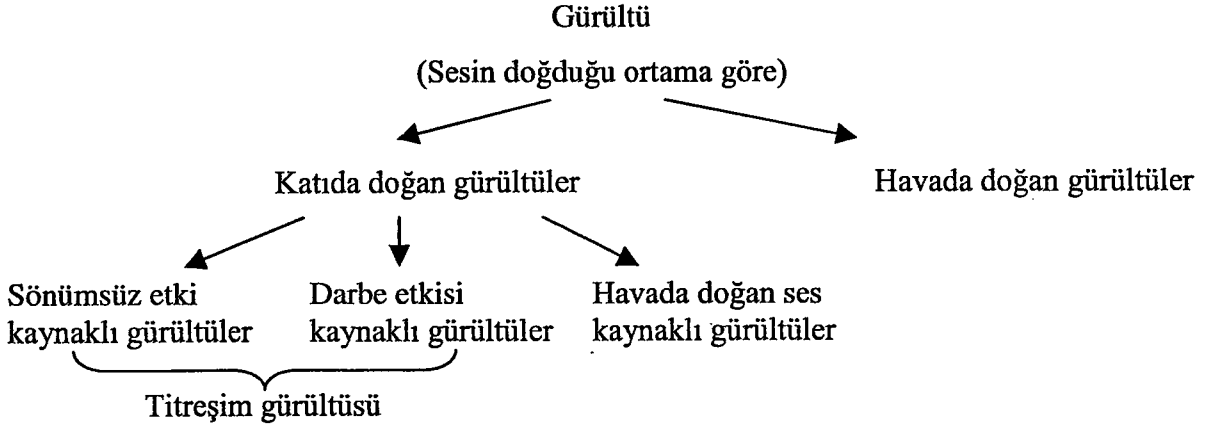
Sözü geçen mekanik titreşim kuvveti bina strüktürüne uygulandığında, titreşimli güç strüktürde sürekli beslenir. Küçük miktarda mekanik bir gücü bile katı bir strüktüre sokmak için büyük bir kuvvet gerekli olduğu ve strüktüre giren bu mekanik gücün yalnızca küçük bir bölümü havada doğan ses olarak strüktürden yayıldığı halde, yayılan küçük ses gücü bile yüksek gürültü düzeyi üretmeye uygundur. Kuvvet, strüktüre çoğunlukla makinenin strüktüre bağlandığı kısımlardan geçer.

Örneğin tipik bir betonarme kata nüfuz eden 10 watlık mekanik güç, odaya 0,1 watlık ses gücü yayar ama çıkan ses basınç seviyesi 75 dB kadar olabilir (Harris, 1979).

Bir ses kaynağının yarattığı akustik basınç genellikle ve yaklaşık olarak yayıcı yüzeyin büyüklüğü ve hızı ile doğru orantılıdır, yüksek frekanslı seslerin işitilebilmesi için çok küçük genlikli titreşimler yeterli olmasına karşın kalın seslerin duyulabilmesi için büyük genlikli titreşimler ve oldukça büyük yüzeyler gereklidir.

Strüktürde enerji dağılımı titreşimin genliğine, strüktürün kütle ve sönümüne orantılı olduğu için hafif ve hafif sönümlü strüktür, masif ve yüksek sönümlü olana göre daha fazla gürültü yayar.

Sonuç olarak titreşim gürültüsü, gürültü kavramı içinde şema ile gösterilecek olursa;



şeklinde bir şema ortaya çıkarılabilir.

3. TİTREŞİM ve YAPILARDA ETKİLİ TİTREŞİM KAYNAKLARI

3.1 Titreşimin İrdelenmesi

3.1.1 Titreşimin tanımlanması

Dinamik sistemlerdeki ve sistem elemanlarındaki küçük gidip gelme hareketlerine titreşim denmektedir (Kaya, 1991)

Bir sisteme etki eden kuvvetler statik olarak dengede değil ise sistem titreşime maruz demektir. Dinamik sistemlerdeki titreşimler çeşitli dış kuvvetler ve sistemin bu kuvvetlere cevap verme özelliğinden kaynaklanır.

Birçok sistem birden fazla şekil ve doğrultuda titreşebilir. Herhangi bir anda, sistemin kütlelerinin uzaydaki geometrik konumunu yani kütlelerin referans düzleme göre yer değiştirmesini tayin etmek için tek bir koordinat yeterli ise bu sistemlere “tek serbestlik dereceli sistemler” denir.

Genelde sistemler, sistemin konumunu tayin için birden çok bağımsız değişkene ihtiyaç olan, çok serbestlik dereceli sistemlerdir.

Tek serbestlik dereceli doğrusal sistemler, zorlanma durumu ve sönüm özellikleri bakımından; zorlanmış, serbest, sönümsüz veya sönümlü titreşimlerin veya bunların kombinasyonlarının etkisi altında kalabilirler.

Bir sistem;

- Zorlayıcı bir kuvvet veya momentin etkisiyle titreşiyorsa zorlanmış titreşim,
 - Sürekli etki eden zorlayıcı bir etki altında olmayıp, başlangıçta titreşmek üzere belirli bir konumda bırakılmışsa serbest titreşim,
 - Sonsuza kadar titreşiyorsa yani teorik olarak sistemde hiç titreşim sönümlenmesi olmuyorsa sönümsüz titreşim,
 - Herhangi bir titreşim sönümlenmesine sahip ise sönümlü titreşim,
- yapar.

Zorlayıcı kuvvetlerin etkisi altındaki mekanik sistemlerle ilgili olarak uyarıcı kuvvetler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir nesnenin başka bir nesneye çarpmasından meydana gelen, darbe kuvvetlerinin yarattığı titreşimler. Bu tür titreşimler yastıklama veya darbe zamanını uzatmakla azaltılabilir.

- Döner ya da pistonlu düzeneklerdeki dengesizlikten (balanssızlık) meydana gelen, dengesizlik kuvvetleri. Bu tür titreşimler, dengeleme veya parçanın dengesi düzgün başka bir parçayla değiştirilmesiyle azaltılabilir.
- Makinenin yüz yüze gelen kayıcı parçalarının geometrik kayma ayarlamalarının ve kayıcı hızlarının kötü kombinasyonundan veya yağlamadan meydana gelen, değişken sürtünme kuvvetleri. Daha iyi yağlama veya yüz yüze gelen parçaların değişimi ve/veya kayan yüzlerin geometrisinin değişimi ile giderilebilir.
- Kompresör, pompa, fan veya üfleyici gibi akışkanı hareket ettiren çeşitli ekipman bileşenlerinden meydana gelen, yer değiştiren akışkan kuvvetleri. Akış hızının değiştirilmesi, türbülansı önleyici aygıtların kullanılması veya akış yolunun değiştirilmesiyle sağlanabilir.
- Elektrik motoru ve transformatörlerde olduğu gibi manyetik alandaki dalgalanmadan kaynaklanan kararsız manyetik kuvvetler. Aygıtlar üzerinde belirgin şekilde değişiklik yapılmadıkça, genellikle değiştirilemezler.
- Bilyalı yataklar, rulmanlar veya dişli çarkların dişlerinin birbirine geçmesi durumunda oluşan, yeri değişen mekanik içsel kuvvetler. Bilyaların veya tasarımın değiştirilmesiyle azaltılabilir. Rulmanlardaki titreşimler daha kaliteli yatak kullanılmasıyla değiştirilebilir (Harris, 1979).

3.1.2 Titreşimin etkileri

Her titreşim ulaşabildiği tüm cisimleri etkiler. Günlük yaşantımızda karşımıza çıkabilecek titreşimlerin insan ve nesnelere olan etkileri farklı şekillerde sonuçlanabilmektedir.

Bu sonuçlar, hem titreşimin hem de etkilenen cismin niteliğine göre bazen problem yaratacak kadar belirgin olabilmekte, bazen de ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

Titreşimin bilinçli olarak üretilip, bu etkilerinden faydalanmak suretiyle olumlu yönde kullanılması söz konusu olabilmektedir. Örneğin vibratörler, çeşitli kırıcı ve öğütücüler gibi sanayide kullanılan makineler, mikrodalga fırın, ultrasonik cihazlar gibi aletler günlük yaşantımızdan verebileceğimiz örneklerden birkaçıdır.

İncelenen konunun içeriğine bağlı olarak, titreşimin etkilerinin cisimler üzerindeki olumsuz sonuçları;

- İnsanlar üzerindeki etkileri
- Yapılar üzerindeki etkileri

– Makineler üzerinde etkileri,
şeklinde üç başlık altında toplanmıştır.

3.1.2.1 İnsanın titreşimden etkilenmesi

Çeşitli kaynaklardan çıkan titreşimleri insan, titreşim ve ses olarak iki şekilde algılamaktadır. Bu titreşimlerin belli frekans aralığındaki (16-20.000 Hz) kısmı, geniş yayılma yüzeyi bulunduğu ve titreşim enerjisinin bir ortam aracılığıyla kulağa erişebilecek kadar yüksek olması durumunda insanda ses olarak duyumsama yaratabilmektedir.

Bu düşünceler doğrultusunda titreşimin insan üzerindeki etkilerinin “titreşim” ve “ses” başlıkları altında incelenmesi gerekli görülmüştür.

3.1.2.1.1 Titreşimin ses olarak algılanması durumunda

Titreşimin ses olarak etkilerinden bahsedildiğinde ele alınacak konu, çok genel anlamıyla “istenmeyen ve rahatsızlık veren sesler topluluğu” şeklinde ifade edilen gürültünün etkileri olacaktır. Birçok araştırmanın kapsamı dahilinde olan bu konu, bu araştırmanın direkt ve ağırlıklı konusu olmadığı için çok genel hatlarıyla ele alınmıştır.

Gürültünün insanlar üzerinde yaş, çevre, kültür gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak fizyolojik ve psikolojik olmak üzere, değişken, kısa veya uzun süreli, geçici veya kalıcı birçok etkisi olabilir.

En bilinen fizyolojik etki işitme kaybı olmakla birlikte, kan basıncının artması, nefes düzeninde ve hormonal dengede bozukluklar, stres ve buna bağlı mide, bağırsak, böbrek gibi organlar kaynaklı hastalıklar ve başkalarının ihtiyaçlarına hassasiyetsizlik, sinirlilikte artış, özellikle aile hayatında kızgınlık, sinirlilik gibi durumlar da ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca konuşmanın önemli olduğu yerlerde konuşmada anlaşılabilirlik de engellenebilmektedir.

Gürültünün kümülatif değeri göz önünde bulundurulduğunda, bu etkilerin azlığı ve çokluğundan söz edilebilir.

3.1.2.1.2 Titreşimin titreşim olarak algılanması

İnsan günlük hayatında her an her türlü ortamda mekanik titreşimlere maruz kalabilmektedir. Her ne kadar titreşimlerin insanlara olan etkisi kişiden kişiye ve çeşitli amaçlara göre değişebiliyorsa da, –örneğin masaj amaçlı bir titreşime istenerek maruz kalınabiliyor ya da lunaparkta titreşim üreten bir alete zevkle binilebiliyor– insanı olumsuz yönde etkileyebileceğini söyleyebileceğimiz titreşimler daha çok endüstride, insanların iş ortamında ya da çeşitli taşıma araçlarında maruz kaldıkları titreşimler olmaktadır.

İnsan titreşimden temel olarak üç şekilde etkilenmektedir.

1. Tüm vücudunun titreşim etkisi altında kalmasıyla;

Ayakta duran, oturan ya da yatan bir kişi, titreşimlerin, ayakları, kaba eti ya da sırtı aracılığıyla vücuduna geçmesiyle etkisi altında kalır. Bu durum, titreşimlerin özellikle sanayi yapılarında kullanılan makinelerden zemine geçip, zeminden vücuda veya taşıma araçlarından vücuda geçmesiyle meydana gelir.

2. El, kol gibi vücudun bazı bölümlerinin etkilenmesiyle;

Bu durum çoğunlukla endüstri ve imalathanelerde kullanılan testere, pnömatik ve elektrikli çekiç gibi aletlerin kullanılması sırasında meydana gelir.

3. Binada, havada doğan ses kaynaklı (örneğin patlama sesi) veya strüktürden geçen titreşimin etkisi altında kalmasıyla.

Titreşimlerin yoğun olarak etkilemesi durumunda genel olarak yorulma, dikkat zayıflaması, sakatlık, nervovasküler bozukluklar, kemik ve eklem yerlerinde hasar, kaslarda ağrı ve uyusukluk ortaya çıkabilmektedir (Harris, 1979).

İnsan vücudu simetrik olmadığından, vücudun her kısmı farklı frekanslardaki titreşimlere farklı tepki göstermektedir, örneğin insan kafası 20-30 Hz aralığına daha duyarlıyken, bacakları 2-20 Hz aralığına daha fazla duyarlıdır.

Biraz daha özelleştirilecek olursa, bütün vücudu etkileyen titreşimler, rahatsızlık, verimde düşüş, hareket hastalığı gibi sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir. Yapılan araştırmalar 1-300 Hz aralığındaki titreşimlerin rahatlık azalmasına, bu frekansların üzerindeki frekanslarda ise hareket rahatsızlığına yol açtığını ortaya koymuştur. Bu frekans aralıklarında rezonanslar, vücutta rahatsızlığa veya büyük genliklerde ağrıya yol açan doku bozulmalarına neden olabilmektedir. 1 Hz'in altındaki frekanslardaki titreşimler daha yüksek frekanslardaki titreşimlerden farklı nitelikte hareket hastalığı belirtileri gösterdiğinden özel şok kabul

edilmektedir. Bu tür titreşimlerin etkisi sadece hareketin süresi, frekansı ve şiddetine bağlı olmayıp karmaşık kişisel etkenlere dayanmaktadır.

Yapılan araştırmalar vücudun yatay titreşimlere karşı, dikey titreşimlere göre daha hassas tepki verdiği sonucunu ortaya koymaktadır.

Bütün vücudun titreştiği durumlarda Diekman, insana göre, titreşimleri yatay ve dikey olarak hissetme ve dayanım değerleri ortaya koymuştur. Diekman'ın K-değerler kriteri, pratik olarak kullanılabilir oldukça doğru sonuçlar vermektedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 İnsanın titreşimlere dayanım değerleri (Kaya, 1991)

Düşey Titreşimler		Yatay Titreşimler	
5 Hz'in altında	$K=Af\pm 2$	2 Hz'in altında	$K=2Af^2$
5-40 Hz arası	$K=Af$	2-25 Hz arası	$K=4Af$
40 Hz'in üstünde	$K=200A$	25 Hz'in üstünde	$K=100A$

A : Titreşimin genliği (mm)

f : Titreşimin frekansı (Hz)

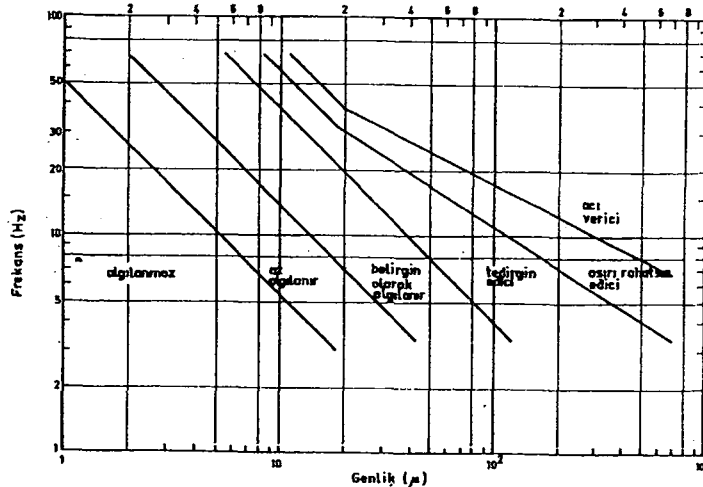
K : 0,1 En düşük hissedilir değer

K : 1 Endüstride hissedilir değer

K : 10 Çok kısa bir zaman aralığı için dayanılabilir değer

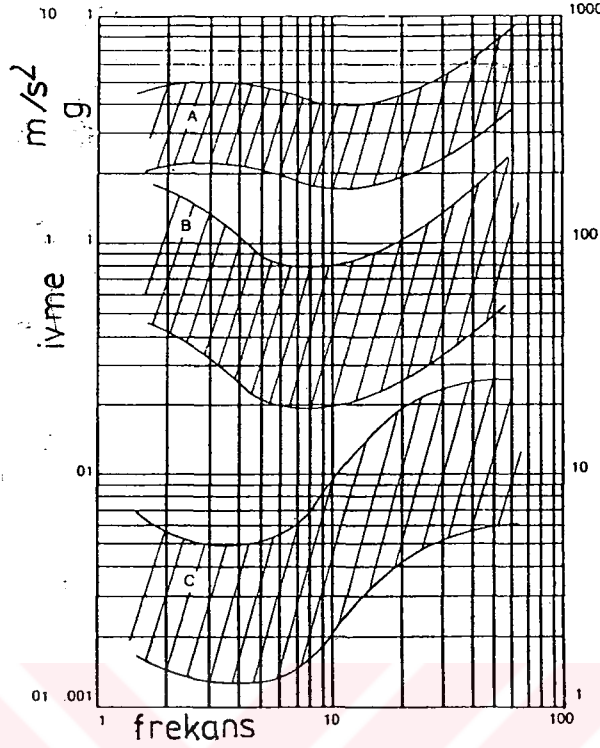
K : 100 Ortalama bir insanın dayanabileceği en üst sınır değeri

Değerleri zamanımızda hala geçerli olan, kırk yılı aşkın süredir kullanılan Reiher-Meister grafiğinde (Şekil 3.1) insanların titreşimlere karşı duyarlılığını titreşimin yönünü göz önüne almaksızın belirleyen çok genel pratik sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.1 İnsanların titreşimlere karşı duyarlılığı (Kaya, 1991)

Şekil 3.2’de ivme-frekans fonksiyonuna bağlı olarak, ivmenin farklı etki alanları oluşturulmuştur.



Şekil 3.2 İvmeye göre insanın titreşimden etkilenme durumu
A- İvmenin kabul edilmez etkileri; B- İvmenin hoş gitmeyen etkileri;
C- İvmenin hissedilir etkileri (Rettinger, 1988)

Elden geçen titreşimler omurgada ve bunun gibi el, dirsek, diz, omuz gibi bağlantı yerlerinde bozukluklara yol açabilir. Madencilerde bazen olduğu gibi bu tür değişimler boyun bölgesinde olursa, kanın vertebral arterlerle kafaya akışı bozulabilir. İç kulağa kan sağlayan arterlerdir ve arterlerin boyun omuruyla neredeyse iç içe olması dolayısıyla kan akışının bozulması, baş dönmesi nöbetleri veya uzun kararsızlık hisleri ortaya çıkabilmektedir. Yıllarca süren, elden yayılan titreşimlere maruz kalmaktan kaynaklanan hastalıklara örnek olarak “beyaz el” (parmaklarda his ve kontrol kaybı) hastalığı gösterilebilir (Bilgiç ve Sadikhov, 1994).

Yapılarda etkisi altında kalınan mekanik titreşimler, insan vücudunu fizyolojik olarak etkilemekten daha çok, sese dönüşüp gürültüye yol açarak olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Binalarda ölçülen rms* ivme genlikleri $3,6 \times 10^{-3}$ m/sn²’yi geçmediği sürece, çoğunlukla titreşimin bina titreşiminin olumsuz etkisi olmadığı kabul edilir.

* rms (root-mean-square), titreşimin anlık değerini ölçmek için kullanılan birim

3.1.2.2 Yapının titreşimlerden etkilenmesi

Sanayide kullanılan çekiç, kompresör gibi birçok makine üzerinde yapılan gözlemler, yapıların duyarlı olduğu titreşimlerin genelde 5-50 Hz arasında değiştiğini ortaya koymaktadır.

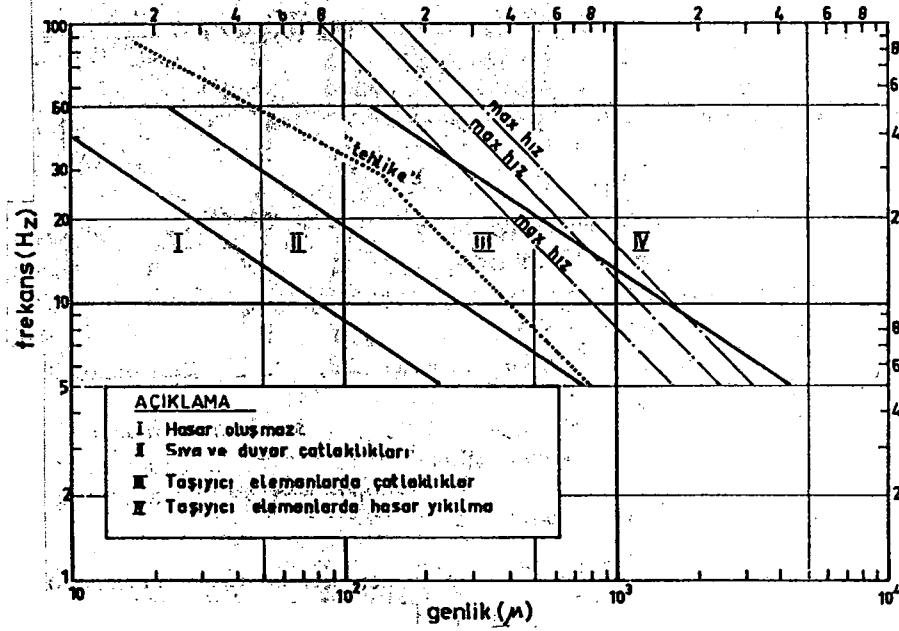
Titreşimler yapının farklı bölümlerinde farklı şekilde ortaya çıkabilmektedir. 20-30 Hz'den yüksek titreşimler, titreşim enerjisinin hava aracılığıyla kulağa erişebilecek kadar yüksek olması durumunda işitilebilir sese dönüşmektedir. Örneğin, kaynağa yakın bölgede ses olarak belirmeyen bir titreşim, daha uzak bir bölgede rahatsız edici bir gürültü olarak ortaya çıkabilir.

Oluşan bu titreşimlerin frekansları, kuramsal olarak titreşim kaynağının oturduğu yapının doğal frekansına yakın veya eşit olduğunda, yapı ile rezonansa girerek, yeterli enerjiye sahipse yapıya ciddi hasar verebilir; ancak patlama, deprem, çarpma gibi şok yüklemelerin dışında sanayi yapıları içinde çalışabilecek makinelerin böyle bir olayı gerçekleştirmesi ihtimali azdır. Bunun temel nedenleri şu şekilde açıklanabilir:

- Zorlanmış titreşimler yapı içinde dağıldıkça, yapının değişik elemanların birleşiminden meydana gelmiş olmasından dolayı değişiklik gösterir ve makine ile yapı titreşimlerini faz dışı bırakarak rezonansa girmeyi önler.
- Genel olarak çağdaş veya geleneksel sistemlerle yapılmış tüm yapılar mekanik titreşimlere insanlardan daha az duyarlıdır.

Bu durumda sanayi yapılarında titreşim üreten kaynakların strüktür ile birlikteliğini düzenlerken yapı içindeki insanları ve duyarlı araçları tedirgin etmeyecek şekilde davranmak yeterlidir. Sürekli titreşimlerin yapılara zarar verebilmeleri için, insan dayanımının üstündeki değerlere ulaşmaları gerekmektedir. Yapılar, insanlarda acı sınırını aşan frekans ve genliklerde bile güvenlikte taşıyıcı olmaya devam eder.

Şekil 3.3'de yapıları etkileyen titreşimlerin frekans ve genliklerine bağlı olarak meydana getirebilecekleri hasar durumları ele alınmıştır.



Şekil 3.3 Titreşim niteliklerine göre yapılarda meydana gelebilecek hasarlar

Titreşimlerin yapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, titreşim dalgalarının maksimum element hızının, titreşimin frekans-genlik ilişkisi kavramından daha önemli olduğu şeklinde sonuçlar ortaya koymuştur ve bu verilerle maksimum partikül hızı ile yapı dayanımı arasında Çizelge 3.1’de gösterilen bağlantılar elde edilmiştir.

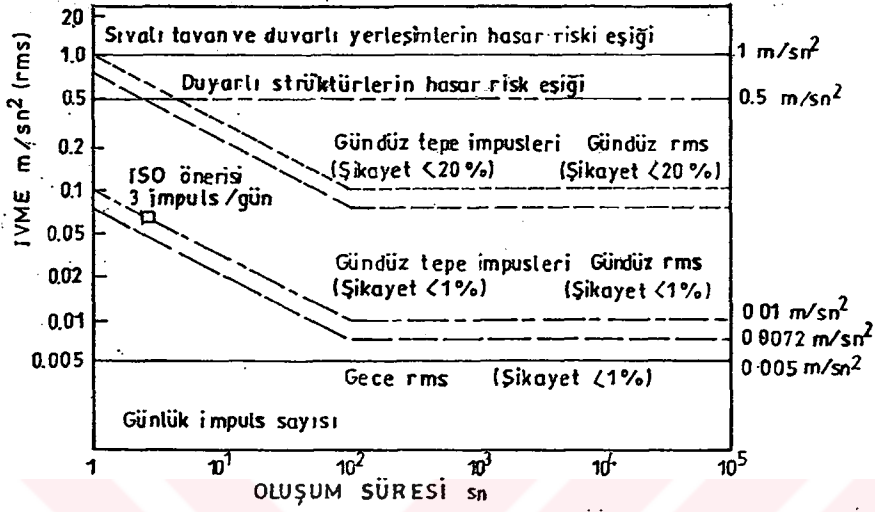
Çizelge 3.2 Maksimum element hızı ve yapılarda hasar

Maksimum hız (partikül hızı) (mm/s)	HASAR
70	Hasar oluşmaz
70 - 110	Az hasar (camlar ve sıvalarda)
110 - 160	Orta hasar (sıva, dolgu duvarı ve taşıyıcı sistemde küçük çatlaklar)
160 - 230	Ciddi hasar (taşıyıcı sistemde büyük çatlaklar, bazı bölümlerde yıkılma)
>230	Yıkılma

Kısa süreli titreşimlerden insanların fazla etkilenmediklerini söyleyebileceğimiz halde, bu titreşimler belirli değerlere eriştikleri durumda yapılara zararlı olabilirler. Yapının titreşime etkisi altında kalma süresiyle ilgili olarak, yerleşim binalarında yapının titreşimden etkilendiği süreye göre ivme kabul edilebilirliği grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3-4).

Geniş genlikli şok ve titreşim düzeyleri bina ve strüktüre olası olumsuz etkileri düşünülerek değerlendirilir. 0,025 m/sn’de bazen ufak hasarlar oluşsa da, 0,05 m/sn’lik bir rms hızı

strüktürler için güvenli sınır olarak kullanılmaktadır. Eski eserler ve çok hassas strüktürler için güvenlik sınırları daha da küçüktür. Bu büyüklükte bir strüktürel hareketin olumsuz etkileri 3 Hz'in üzerindeki frekanslarda $0,5 \text{ m/sn}^2$ ve 1 m/sn^2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4 Yerleşim yapılarında ivme kabul edilebilirlikleri: 1-80 Hz arasında değişen bu değerler $1+(f/5,6)^2$ fonksiyonuna göre ağırlıklandırılmıştır (Harris, 1979).

3.1.2.3 Makinelerin titreşimden etkilenme durumu

Günlük hayat ve sanayide kullanılan makineler genelde kendi ürettikleri titreşimlerden olumsuz yönde etkilenmez çünkü gövdeleri ürettikleri titreşimlerin etkilerine karşı koyabilecek nitelikte imal edilirler.

Makinenin titreşimlerinin strüktürü etkilememesi amacıyla titreşim yalıtımı yapılmış ise, makinenin çalışması ve durması sırasında, makine hızı anlık olarak yalıtıcının doğal frekansından geçip bu frekansta rastlaştığı için kısa süreli rezonans oluşur. Yalıtım olmadığı durumda, ekipmanın doğal frekansının strüktürün doğal frekansıyla rastlaştığı durumlarda ise sürekli rezonans oluşur. Rezonans sırasında titreşim genliklerinin büyümesiyle titreşim enerjisinin artması, makine bünyesinde iç gerilmelerin de artmasına neden olur. Bunun sonucunda, ekipmanda metal yorulması, çeşitli kırılma ve bozulma, bağlantıların gevşemesi gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilir.

Deprem gibi büyük kuvvetlerin oluşturduğu büyük genlikli titreşimlerin dışında makinenin çalışmadığı durumda yakın çevresinde çalışan başka makinelerin ürettiği gibi, çeşitli nedenlerle strüktürden geçen titreşimlerin, makinelere etkileri genel olarak yoktur denebilir; ancak, bir etkilenme söz konusu ise bu etkilenme bünyede değil, bünyeye bağlı yan elemanlarda görülür. Bu etki, elemanların tasarlanandan daha çabuk bozulması şeklinde olur, herhangi bir motorun üzerindeki basınç göstergesinin bozulması örneğinde olduğu gibi.

Çeşitli ölçü, kalibrasyon, montaj ve imalat makineleri vb. gibi çok hassas aletler için durum farklıdır çünkü bu tür aletlerin titreşimden etkilenme sınırı insanın etkilenme sınırından çok daha düşüktür. Bir yarı iletken (çip) üretiminde kullanılan aletin çözünürlüğünün 0,25-0,1 µm olduğu göz önüne alınırsa böyle bir aletin sahip olması gereken hassasiyet tahmin edilebilir. Bu konuyla ilgili ISO, BBN gibi çeşitli kuruluşlarca standartlar geliştirilmiştir.

3.2 Yapılarda Etkili Titreşim Kaynakları

Günümüz binalarında gürültü, kontrol edilmesi gereken bir niteliğe sahiptir. Çağımızda teknolojinin gelişmesi ile hem gürültü kaynaklarının artması, hem de çağdaş yapım teknikleri ile yapılan binaların strüktürel yapısı bu kaynakların daha da önem kazanmasına yol açmıştır. Bina strüktürünün önemini arttırdığı gürültü nedenlerinden biri de yapının içinde meydana gelen titreşimlerdir. Çeşitli şekillerde ortaya çıkan titreşimler, gerek binanın strüktürüne, gerekse meydana geldiği yerin temeline geçtiklerinde yayıldıkları yüzey alanı artar. Buna bağlı olarak meydana gelen ses enerjisi de artarak (gürültü kontrolü açısından)

denetlenmesi kaçınılmaz hale gelir. Böyle bir durumda öncelikle söz konusu olan titreşimin denetimi yapılarak yayıldığı alan azaltılmalı, daha sonra havaya yayılan sesin kontrolüne gidilmelidir.

Binalarda gürültü kontrolü açısından denetlenmesi gereken titreşim ve buna bağlı gürültü kaynakları işleve bağlı döşem ve donatılardan kaynaklanan titreşimler ve darbe sesi şeklinde bir başlık altında incelenebilir.

3.2.1 İşleve bağlı döşem ve donatılardan kaynaklanan titreşimler ve darbe sesi

3.2.1.1 Döşem gürültüsü

Döşem, “Belli bir işin sağlanmasına yardım eden araçların uygun yerlere döşenmesi veya döşenen bu araçların tümü” şeklinde tanımlanmaktadır. Burada belli bir işin sağlanmasına yapı veya yapının belirlenen noktalarına su getirilmesini örnek olarak verebiliriz. Ancak suyun bu noktalardan alınmasının sağlanması yani tesisatın döşenmesi, o mekanın işlevini tek başına belirlemez.

Mekanın işlevinin tam olarak belirlenmesi için, o mekanın uygun araç ve gereçle de ayrıca donatılması gereği vardır yani, bir mekanın işlevi sadece döşemin döşenmesi ile değil, amaca uygun donatının da yerleştirilmesi ile belirlenir. Örneğin bir mekanın mutfak olabilmesi için su, elektrik, havalandırma, havagazı tesisatının döşenmiş olması dışında, evye, fırın, aspiratör vb. araçların da yerleştirilmiş olması gerekmektedir.

Öte yandan donatılmış gereçlerin titreşim denetimi, örneğin bir çamaşır makinesinin sessizleştirilmesi, başlı başına bir uzmanlık konusudur ve tek başına konu olarak mimarlığı değil makine veya titreşim mühendisliğini (ülkemizde böyle bir mühendislik dalı yok) ilgilendirmektedir.

Bu durumda titreşim ve gürültü denetimi gerektiren döşem kaynaklı ses ve titreşimler aşağıdaki ana döşem şeması izlenerek incelenebilir:

- Su döşemi

Temiz su döşeminde oluşan ses ve titreşimler

Atık su döşemi

(Sanayide) Kullanma suyunun neden olduğu titreşimler

- Isıtma-soğutma-havalandırma-iklimlendirme döşemi

Teknik odada yer alan ekipmandan kaynaklanan ses ve titreşimler

Kanallardaki hava akışı kaynaklı ses ve titreşimler

Üfleme ve emme ağızlarından çıkan ses ve titreşimler

- Asansör döşemi

Makine dairesinden kaynaklanan ses ve titreşimler

Kolon ve kapı hareketlerinden kaynaklanan ses ve titreşimler

- Elektrik Döşemi

Transformatör gürültüleri

Balast gürültüleri

Jeneratör ve motor gürültüleri

Devre kesici gürültüleri

Yüksek gerilim hattı "korona" gürültüleri

3.2.1.1.1 Su döşemi

Su döşemini,

1. Temiz su döşemi (sıcak su - soğuk su)
2. Atık su döşemi
3. Endüstriyel su döşemi (sanayide kullanma suyu döşemi)

şeklindeki üç ana gruba ayırarak incelediğimizde, genel olarak su döşeminde meydana gelen gürültü ve titreşimleri; su iletimi yani suyun boşalması ve dolması sırasında meydana gelen, akışkan, armatür ve basınç düzenleyici sistemlerden kaynaklanan gürültü ve titreşimler olarak toparlayabiliriz.

Konuyla ilgili olarak öncelikle akışkanlarla ilgili, likit akışlarının temel prensiplerin ve daha sonra boru şebekesindeki gürültü kaynağını teşkil eden armatür gürültülerini incelemek yerinde olacaktır.

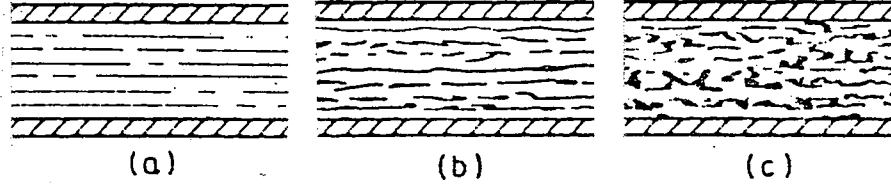
Akışkan akışlarının temel prensipleri:

Akışkanların akışı genel olarak laminar (ince levha şeklinde) ve türbülans akış şeklinde sınıflandırılır (Şekil 3.5).

Laminar akışta, akışkan bulunduğu yola paralel ve genel hareketin aynı yönünde akar.(a)

Türbülans akışın oluşmaya başladığı geçiş durumu.(b)

Türbülans akışta, asal akışın tersi yönünde rastgele bir akış vardır.(c)



Şekil 3.5 Akışkan akış karakterleri (Harris, 1979)

Akışın türbülans veya laminar olmasını etkileyen en büyük faktörler:

1. Boru çapı (d) (m)
2. Likitin yoğunluğu (ρ) (g/dm^3)
3. Mutlak viskozite (μ) su için $\cong 1.14 \times 10^{-3}$ (kg/m-sn)
4. Likit hızı (v) (m/sn)

dır.

Bu değerler Reynolds sayısı (3.2) olarak bilinen aşağıdaki boyutsuz nicelik ile bağlantılıdır.

$$\text{Reynolds sayısı } R = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (3.1)$$

Reynolds için 1200'den küçük sayılar laminar, 2200'den büyük sayılar türbülans akışı ifade eder. Bu sayıların arasındaki sayılar hem laminar, hem türbülans akışı ifade eder.

Genel olarak laminar akış, kritik bir planlama yapılsa dahi, endişe gerektirmeyecek yoğunluktadır. Yani önemli bir gürültü kaynağı oluşturmaz.

Çoğu su tesisatında hızlar, türbülans akış meydana getirecek derecededir. Örneğin bina içi döşemde, tipik hızlar 2,5 m/sn gibidir. 2,5 cm çaplı, 16°C su taşıyan boru için, akışın R numarası 55.000 çıkar, bu da türbülans akışı verir. 200000 gibi yüksek bir R sayısı elde edildiği durumlarda ideal şartlar altında sessiz akış elde edilebilir. Bu da, çıkan sesin R numarasına bağlı olmasının gerekli olmadığını gösterir (Harris, 1979)

Akışkan ve akış hızı:

Akış hızı, kesit alanda birim alana düşen çıkış miktarı olarak ifade edilir, yani akış hızı, akış yönünde ortalama akışkan hızıdır. Gerçekte kesit içindeki özel noktalarda akışkan hızı, ortalama değerden (akış hızı) yüzlerce kere fazla olabilir.

Örneğin düz yuvarlak bir boruda akışkan, boru merkezinde akış hızından (ortalama akışkan hızı) daha hızlı akmaktadır (laminar akış durumunda bile).

Türbülans ve ses oluşumunun nedeni, çoğunlukla ortalama akış hızı değil, bu aşırı akışkan hızıdır. Yüksek akışkan hızı borularda ses üretebildiğine göre, akışkan hızının çok yüksek seviyelere ulaştığı vanalar, sert dönüşler gibi boru sistemi bölümlerinde ses, çok daha sıklıkla üretilir.

4 m/sn'lik akış hızı olan bir borunun ses seviyelerini, aynı akışın geçtiği boru ağzındaki ses seviyesi ile karşılaştırmak yanlış olur, çünkü borudaki akışkan hızı ancak 8 m/sn olabilirken boru ağzındaki akışkan hızı 300 m/sn'ye ulaşabilir.

Boru şebekesinde gürültü kaynakları**Kavitasyon Gürültüsü**

Su döşeminde gürültünün çoğu genellikle türbülans akışına bağlı olarak ortaya çıkar ama özellikle kavitasyon olayına neden olan, kapalıya yakın vanalar, gürültü seviyelerinde artışa yol açmaktadır.

Kavitasyon olması için akış yolunda, lokalize yüksek hız ve alçak basınca neden olan bir engel (kesit daralması) gereklidir. Böyle özel bir hızda basınç, hava kabarcıkları oluşturacak kadar alçaktır. Hava kabarcıkları, engeli (daralmış kesiti) geçince, hız düşer, basınç yükselir ve bu durum yüksek lokal basınç değişimi ile hava kabarcıklarının sönmeye (yok olmasına) neden olur. Kavitasyon, kavitasyonun başlangıcının, statik basıncın, ısının ve sistemin geometrik oluşumunun fonksiyonu olmasından dolayı önceden tahmin etmenin zor olduğu akışkan hızlarında meydana gelir.

Birbirinden biraz farklı iki akış hızının ev tipi bir muslukta oluşturduğu havada doğan sesin ölçümleri arasındaki gürültü farklılığının kavitasyona bağlı olduğu görülür.

Vana açıklığını arttırmak, vanada basıncı azaltacağı için, kavitasyonu yok eder ve ses seviyesini azaltır. Neredeyse kapalı bir musluk sıklıkla musluk açıldığında yok olan, ısıklık

veya mırıltımsı bir ses çıkarır. 1000 Hz'in altındaki frekanslar için, ses basıncı seviyesindeki kavitasyona bağlı artış geniş, bazı frekanslarda 20 dB'den fazla olur.

Dönüşler

Boru döşeminde, dönüşlerde ortalama akış hızı, aynı kesit alanlı düz borulardaki ile aynıdır ama akışkan, dönüşlerde resirküle olduğu için, hızı ivme kazanıp, alçak basınç bölgelerinde dönüş içinde yüksek kavitasyon gürültüsüne neden olabilir.

Yüksek hızlı likit, dönüşlerde türbülans oluşturarak ve alçak hızlı likit ile katı cidara çarparak ses yayılımına neden olur. Dönüşlerde likit hızı artışı, buralarda vana, ayırıt, hava şaşırtması, ekranlar, geliştirilmiş geometrik şekiller kullanılarak engellenebilir.

Keskin dönüşlü ayrıçlar (spliter) ses yayılımı meydana getirebilir ve akış etkinliğini artırır ama büyük yarıçaplı dönüşü olan geniş yüzey alanlı spliterler sürtünme kayıplarına neden olur.

Daralma - genişleme - branşlar - yük azaltma

Boru tesisatındaki daralma, akan akışkan ivme kazandığı için çoğunlukla sessiz olsa da ivme kazanan akışkanın hızı daralmadan sonra çok artarsa ses yayabilir. Akışkanın daralmadan sonra ivme kazanmaya devam etmemesi için, daralmanın geri kalan kısmı derece derece olmalıdır.

Genişlemeler sessizlik açısından en zor akış geçişleridir. Geniş kesit alanlı yere giren akışkan, akışkan hızı arttığında ortalama akış hızı azaldığı için, genişlemiş kesit alanındaki alçak rezistanstan dolayı türbülansa neden olur. Yüksek hızlı akışkan hızı diğer yavaş hareketli girdap akıntısı ile çarpışmaya ve girdap yapmaya zorlanır.

Bu süreç, kavitasyon boyunca, likit geçişinde akış yayımlı sesin başlıca kaynağıdır.

Dönüşlerde yüksek ivmeyi azaltmak için branşlar, dönüşler gibi elemanlar kullanılmalıdır.

Vana gürültüsü

Geniş açıklıklı vanalar bile akış kuralları ve akışkan ivmesinden dolayı yüksek ses yayar. Bu özellik vananın kesit alanının borununkinden daha büyük olduğu durumda bile geçerlidir. Çıkış vanalarından düz akış olur ama bu da takırdar veya türbülans akışa neden olur.

Böylece bir vananın 20-30 cm uzağında ölçülen enerjisi 200-400 Hz frekansları arasında 119 dB civarındadır.

Su akış gürültüsü

Su akış sesi olarak bilinen keskin, yoğun ses, sıvı dağıtım sistemindeki sabit akış birdenbire kesildiğinde örneğin çabuk hareketle vana kapatıldığında ortaya çıkar. Boru tesisatının her tarafına hareket halindeki sistem ile bağlı olarak düşük akış hızında bile momentum büyük olabilir. Sıvıların çoğunun sıkıştırılması mümkün olmadığına göre, akışın ani kesilmesi, kesilme noktasında çok keskin basınç artışına yol açar ve bütün dağıtım sistemi şok etkileşimli titreşir. Şok etkilemesinin önündeki dik dalga çok kere sistemin çeşitli bölümlerine, en sonunda enerji dağılıncaya kadar öne ve arkaya yansır.

Su akışından oluşan mekanik sesler

Alçak akış hızlı boru döşemelerindeki gürültü sıklıkla; yöntemin vana, pompa gibi bileşenlerindeki mekanik rezonanslardan kaynaklanır. Bu bölümlerdeki yumuşak akış boruyu titreştirir ve neredeyse (tek frekanslı) saf tonda sabit gürültüye yol açar. (Gaz ve buhar döşemelerinde, vana ve diğer parçalar Helmholtz rezonatörleri gibi davranarak, etki olursa çok yoğun sese yol açabilirler.)

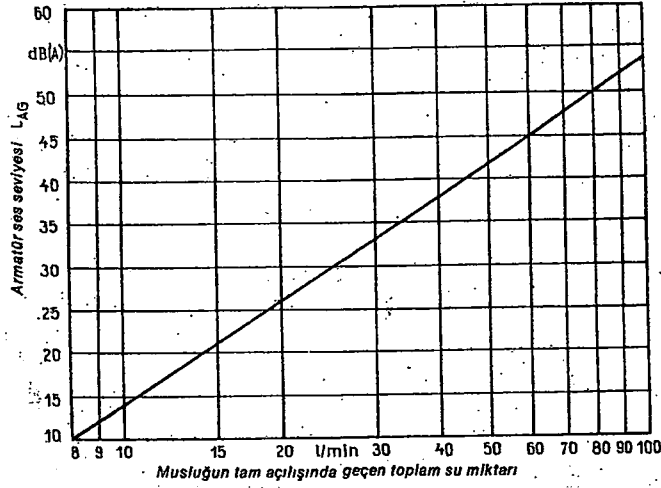
Pompalara bağlı mekanik sesler

Boru döşeminde ses sıklıkla, santrifüj pompanın çalışması ile yayılır. Bu pompalarda, akım, tekrarlanmış momentum impulslarının dalgalanması sonucu meydana gelir.

Döşem gürültülerinde hem boru içindeki su kolonu, hem de duvar uyarıma geçer. Ses her iki ortamda da yayılır. Sistemin temasta bulunduğu bütün noktalarda aradaki yapı elemanları uyarılıp, hava yoluyla varan ses yayılır. Hafif esnemeye dirençli duvarlarda ses yayılımı özellikle yüksektir.

Belli bir armatürde, yukarıda açıklanan nedenler doğrultusunda daralma noktalarında meydana gelen gürültü seviyesi ile likitin debisi arasında; debi değişmediği yani boşluk meydana gelmesinin sözkonusu olmadığı sürece, oldukça belirgin bir ilişki kurulabilir.

Değişik armatürlerde yapılan bu ölçümler, tam olarak açılmış vana durumunda ve 30 mt ss (3 Atm.) basınç altında elde edilen ortalama değerlerdir ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

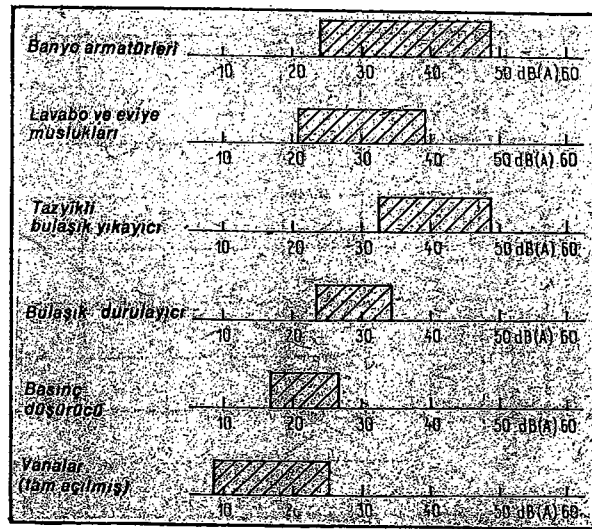


Şekil 3.6 Su miktarına bağlı armatür ses düzeyleri (Özer, 1979)

Yapıların oturma ve yatak odalarında en fazla rahatsızlık sınırı 30 dB(A) olduğu göz önüne alınır, yukarıdaki şekle göre 30 dB(A)'lık bir armatür gürültüsü seviyesi için azami debinin ~25 lt/dak. dolayında olması gerektiği görülmektedir.

Alışlagelmiş armatürlerde bu seviye çoğu kez daha yüksektir. Böyle durumlarda azami debinin azaltılması yoluyla 10 dB(A) kadar bir azaltma sağlanabilir ancak bunu armatürün musluğunu kısmen kapatmak yoluyla elde edemeyiz, çünkü olumsuz debi şartları sonucu, özellikle musluğun yarı açık durumunda, tam açık durumundaki değerlerin 5 ila 10 dB(A) kadar üzerinde bir gürültü seviyesi oluşur. Bu sorunun prensip olarak çözümü debinin bir regülatör aracılığıyla düşürülmesidir.

Çeşitli türde armatürlerin değişik gürültü tutumları Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Büyük akım değerleri nedeniyle banyo armatürlerinin en gürültülü armatürler olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7 30 m SS. şebeke basıncında çeşitli armatürlerin çalışma halindeki ses seviyeleri (Özer, 1979).

Bir boru sisteminde ortaya çıkan gürültünün kaynağından direkt olarak yayılması pek nadirdir. Sesi genellikle boru sistemi taşımaktadır, yani döşem gürültülerinde hem boru içindeki su kolonu, hem de taşıyıcı sistem (duvar) uyarıma geçer. Ses her iki ortamda da yayılır. Sistemin temasta bulunduğu bütün noktalarda aradaki yapı elemanları uyarılıp ses hava yoluyla dağılır.

Buna göre boru sistemine yerleştirilecek esnek bağlama gibi herhangi bir gürültü azaltım yöntemi yalnızca boru duvarından değil, sudan da geçen gürültüyü emmeli ya da azaltmalıdır. Bu yollardan yalnız bir tanesi kesilirse, diğeri etkili bir kısa devre gibi kalır ve gürültü enerjisini sistemde gürültü azaltma yönteminin ötesinde besler.

Boru çaplarının birkaç cm'den küçük olduğu ev tipi boru sistemlerinde, borudan havaya yayılan ses, taşıyıcı strüktürden geçen ve yayılana göre aşağı yukarı her zaman ihmal edilebilir. Yine de bu tür sistemlerde gürültü enerjisinin boru sistemine akışının kaynağında kesilmesi ile de, boru sisteminin taşıyıcı strüktürden yalıtılması ile de en iyi akışkan ses azaltılması elde edilir.

Temiz su döşeminde, suyun zeminden üst katlara iletimi için, suyun basınçsız kaldığı veya kesintili verildiği durumlarda ya da yüksek yapılarda olduğu gibi normal şehir şebekesi basıncının bütün daireleri yeterli bir şekilde besleyemediği durumlarda, basıncı artırmak için basınç tankı, motor, pompa ve/veya kompresör ve tek yönlü vana gibi bileşenlerden meydana gelen hidrofor gibi bu basınç sistemini düzenleyecek olan donatılar, likit akışları ve armatür gürültülerine göre baskın birer gürültü kaynağıdır.

Hidrofor sisteminin meydana getirdiği bu gürültülerden, pompa ve kompresör kaynaklı olan ses ve titreşimler gerekli tedbir alınmadığında hem boru şebekesinden hem de katıda doğan ses olarak strüktürden yayılırlar. Böyle bir sistem yer aldığı hacim içine ~80 ile 95 dB(A) değerlerine varan ses gücü seviyeleri katar (Özer, 1979).

Yapılarda temiz su tesisatı gürültülerinin azaltılmasına ilişkin önlemleri;

- Sistemin yerleştirileceği hacme uygun yer seçimi yapılması,
- Sistemde kullanılacak ekipmanın uygun seçilmesi,
- Borularda uygun kesit kullanılması,
- Çeşitli yalıtım teknikleri ile çıkan gürültülerin denetlenmesi, olarak özetleyebiliriz.

Genel olarak bakıldığında atık su döşemi yer çekimi kanunlarına göre işlediği, dolayısıyla su her zaman yukarıdan aşağıya doğru aktığı için, suyun boşaltımı ile ilgili olarak pompa, kompresör, motor gibi teknik ekipman gerekmemektedir fakat, sistemde rezervuar ve özellikle vakumlu klozetler kullanıldığında ortaya çıkan gürültüler rahatsız edici seviyelere ulaşabilmektedir. Bunun yanısıra banyo küvetlerindeki boşaltma gürültüleri düşey inişlerde ve dönüşlerde, borularda meydana gelen sesler sık karşılaşılan gürültü kaynaklarıdır.

Endüstriyel yapılarda su tesisatında titreşim ve akışkan kaynaklı gürültüler önemli yer tutmaktadır. Boru çaplarının 1 m'ye çıkabildiği bu sistemlerde akışkanlardaki ses seviyeleri boru duvarlarından farkedilir derecede gürültü yayar. Bu gürültü genellikle bitişik panelleri veya strüktürleri uyaran titreşimlere yol açar, sistemin çeşitli uzak noktalarından yayılabilir, metal borulardan ve akışkanlardan geçebilir, bina içinde kaynağından daha uzaklara yayılabilir.

Bu sistemlerde boru çaplarının büyük olmasından dolayı boru duvarlarından yayılan ses, sistemi taşıyan strüktüre geçerek yayılan ses ile karşılaştırıldığında daha baskındır. Dolayısı ile endüstriyel su tesisatında boruların uygun şekilde, lifli malzemelerle kaplanması ile elde edilebilecek gürültü azaltımı hem sönümleyici hem de ses emici gibi davranacağı için, boruyu, taşıyıcı sistemden yalıtacak esnek tespite göre daha etkili olacaktır. Buralarda meydana gelecek olan titreşim ve gürültüler kontrol edilmediği takdirde yakın çalışanlarda işitme kayıplarına yol açabilmekte, komşu ticaret ve ikamet yerlerinde yoğun rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Harris, 1979).

3.2.1.1.2 Isıtma-soğutma-havalandırma-iklimlendirme

Genelde konut ve benzeri sosyal yapılarda yer alan sıcak sulu kalorifer düzeneklerinde, ısıtma merkezlerinde gürültü, iyi ısınamaktan daha rahatsız edici bir problem olabilmektedir. Akaryakıtla ısıtılan kazanı olan merkezlerde uygulama türüne göre değişen toplam 70 ila 90 dB(A) ses basıncı düzeyleri olabilmektedir.

Doğalgaz kullanıldığında gürültü genellikle bir problem olmaktan çıkmaktadır. Kullanılan boru çapları uygun seçilmişse, su sesi bu düzeylerin genellikle altında kalmaktadır, ses kaynağı olarak daha ziyade kazan dairesinde bulunan dolaşım pompaları ve brülör ön plana çıkmaktadır. Buralardan kaynaklanan ses ve titreşimler kazan dairesini çevreleyen duvar,

döşeme veya tavandan geçerek komşu hacimlere, bina strüktürü ve döşem boruları vasıtası ile de bütün yapıya ulaşmaktadır. Bu durumda döşemde sesten önce titreşimlerin yalıtılması önem kazanmaktadır.

Döşemdeki en önemli titreşim kaynağı dolaşım pompalarıdır. Boruya monte edilen cinsten pompa kullanılıyorsa, doğru montaj yapıldığında, bu pompaların yarattığı ses ve titreşimler genellikle önemsizdir.

Esas problem büyük tesislerde kullanılan bir temele monte edilen santrifüj dolaşım pompalarında söz konusudur. Çok genel olarak pompa ile motor arasındaki kavrama ve milin yataklanmasında olabilecek eksen kaçıklıkları ve pompa çarkındaki balanssızlıkların ana titreşim kaynakları olduğu söylenebilir. Bu açıdan düşey milli dolaşım pompaları daha büyük avantaj sağlamaktadır, yatay millilere göre daha az ses ve titreşim yaratmaktadır.

Konut benzeri sosyal yapıların dışında daha çok büro yapıları ve ticari yapılara hizmet veren merkezi sistemler, dışarıdan hava alıp şartlandırarak (ısıtma, soğutma, nem ayarını sağlama) veya havayı direkt olarak yapının bölümlerine aktarmak (havalandırmak) üzere kurulmuş sistemlerdir.

Bu sistemlerin hizmet verdiği hacimlerde kullanışlara bağlı olarak konfor sınırları değişmekte, bazen mekanik odadan kaynaklanan havada doğan seslerin denetlenmesi sessel çevre nedeniyle, fon gürültüsü seviyesinin altında kaldığı için ya da örneğin bitişik bir odadaki duyulmaması gereken bazı konuşmaları maskeleydiği için gerekmez fakat makinelerden kaynaklanan titreşim, kolon, döşeme, duvar gibi yapı öğeleri ve borulardan (yapı strüktüründen) tüm yapıya yayılacağı ve tüm mekanlarda sonuç vereceği için titreşimlerin her durumda yalıtılması gereklidir.

Bu durumda havalandırma ve hava şartlaması sistemlerinden gelen havadan doğan ses ve titreşim kaynaklı gürültü ancak fon gürültüsünün üzerine çıktığı ve rahatsızlık verdiği zaman denetlenmelidir.

Geniş bir hava şartlaması sisteminde hava, fon gürültüsünün biraz azaltılması, bazı durumlarda da ısıtılması veya soğutulması için, fanın plenum odacığına gönderilir.

Bu plenumun, binanın diğer kısımlarına hizmet eden ana kanallara uzanan çeşitli kesit alanlı çıkışları olabilir.

Havanın kanaldan geçerken çeşitli eğimli mafsal, dik birleşim yerleri, dirseklerle karşılaşması seste biraz azalma sağlasa da, yüksek hızlı sistemlerde (~300 m/sn'nin üzerinde) dönüş ve çıkışlarda meydana gelen türbülansın yayılan ses azalacak olan sesten

daha fazladır. Sonuç olarak, hava bir odaya gönderilmeden önce, yayılan sesi azaltmak ve havayı ısıtmak veya sıcak hava ile karıştırmak için karışım veya terminal odasından geçirilir. Buradan odaya bir çıkış ızgarası ile gönderilir. Bu noktada bir son yansıması etkisi alçak frekanslarda büyük azalma sağlarken, ızgaradan hava akışı ile yüksek frekanslı gürültüleri yakın çevreye ve binanın kritik yerlerine yayabilirler.

Bu sistemlerde gürültü ve titreşim kaynakları üç başlık altında incelenebilir:

1. Büyük merkezi sistemlerde teknik odada yer alan motor, kompresör, pompa, fan, çiller grubu vb. gibi teknik ekipmandan çıkan ses ve titreşimler.
2. Kanallardaki hava akışı kaynaklı ses ve titreşimler
3. Üfleme ve emme ağızlarından kanallar vasıtası ile dışarıdan hacme veya bir hacimden başka bir hacme geçen (tek boyutlu ortamda sesin azalmadan yayılması) sesler.

Mekanik ekipman gürültüleri

Teknik ekipman içinde genellikle en büyük gürültü ve titreşim kaynağı fanıdır.

Fan gürültüsü havada ve katıda yayılarak diğer mekanları hem direkt olarak etkiler, hem de kanallar vasıtası ile bu mekanlara taşınır.

Fan, havayı hareket ettirmek için güç sürücülü dönel uyarıcı kullanan bir düzenektir. Bir fanın en az bir giriş, en az bir çıkış ağızı vardır. Bu açıklıklar kanallara bağlanabilir veya bağlanmayabilir.

Merkezi sistemlerde ve endüstride genellikle iki tip fan kullanılmaktadır:

1. Merkezi Akışlı Fan (Pervaneli)
2. Merkezkaç Sistemli Fan (Santrifüjlü)

Merkezi akışlı fanlar kullanılan pervaneye göre üç tipe ayrılır.

1. Vanaksiyal Fan
2. Tübaksiyal Fan
3. Propeler Fan

Fanların tipleri değişirken gürültü özellikleri de değişmektedir. Gürültüleri genellikle 63 Hz ile 8000 Hz arasında değişmektedir.

Gürültü denetimi açısından “en iyi fan” tanımlaması yapmak zordur. Bir uygulamada fan seçiminde akustik ihtiyaçlar ikincil önem taşımaktadır, özel ihtiyaca göre fan seçimi yapılır,

bu da o ihtiyacı için en iyi fanıdır. Çoğu durumda az ses çıkaran tip seçildiğinde pratik olarak ihtiyacı karşılamadığı görülmektedir. Aynı tipin sessiz tasarımı fanın diğer özelliklerini karşılamayabilir.

Fanın pervanesi belli bir noktadan her geçtiğinde, bu noktadaki hava bir impuls kazanır. Bu impulsun tekrarı genellikle “pervane frekansı” olarak adlandırılan (yani pervanenin geçme frekansı) fanın çıkardığı sesin temel tonunu belirler. Bir fanın pervane sayısını veya döndüğü hızı iki kata çıkarmak pervane frekansını (yani temel frekansı) iki kata çıkarır. Bu temel frekansa ek olarak, hava impulsunun şekline bağlı çeşitli harmonikler ortaya çıkar. (3.2) eşitliği yardımıyla pervane frekansı hesaplanabilir.

$$f_B = n \times N \quad \text{Hz} \quad (3.2)$$

f_B : pervane frekansı, Hz

n : fan hızı, saniyede devir sayısı

N : fan motorunda pervane sayısı

Kanal gürültüleri

Kanal sistemleri alçak hızlı sistemler (asal kanalda hava hızı 610 m/dak) veya yüksek hızlı sistemler (610 m/dak’dan fazla) olarak sınıflandırılabilir.

Alçak hızlı sistemlerde gürültü, içi kaplanmış veya kaplanmamış kanallarda, dik açılı dirseklerle, ses gücünün asal ve brans kanallar arasında bölünmesiyle, karışım odalarında ve son yansıma kayıplarıyla azaltılır.

Yüksek hızlı sistemlerin kullanılması alçak hızlı sistemlere göre daha küçük kesit alanlı kanal gerektirdiğinden, büyük binalarda dikkate değer bir alan tasarrufu sağlamaktadır fakat bunun yanında daha fazla ses yadıkları için alçak ses seviyeleri gereken oditoryum gibi kritik yerlerde kullanılmamalıdır.

Dörtgen dirsekler ve kanal çıkışları kayda değer gürültü kaynağı gibi davranabilir. Keskin dönüşler gibi etkenlerin neden olabileceği türbülans akıştan kaçınılmalıdır.

İçi kaplanmamış kanallarda birim uzunluğa göre ses azalması kanalın boyut ve şekline bağlıdır. Geniş dörtgen kanallar benzer daha küçük alanlı kanallara göre daha az azalma sağlar. En az azalma sağlayan dairesel kesitli kanallardır.

Çizelge 3.3 Yüksek hızlı sistemler için önerilen maksimum ana kanal hızları (Harris, 1979)

<u>Kanaldan geçen hava hacmi</u> <u>m³/dak</u>	<u>Maksimum hız</u> <u>m/dak</u>
1130-1670	1830
710-1130	1525
425-710	1370
285-425	1220
170-285	1065

Bu tip sistemlerde dirsekler (dönüşler), brans kanal çıkışları, ızgaralar önemli gürültü kaynaklarıdır.

Dirsek gürültüsü

Havayı fan plenum odasından binanın diğer yerlerine taşımak için, kanallara dönüşler ve çıkışlar eklemek gereklidir. Bunlar yumuşak veya keskin dönüşlü olabilir. Keskin açılı dönüşler buradaki gürültü problemlerinin en büyük nedenidir. Bu dirseklerden (dönüş) yayılan sesin tayfi türbülans hava akışına ve kanal duvarlarına bağlı olmakla birlikte, kanalın geometrisinden ve duvar şartlarından büyük ölçüde etkilenmektedir.

Çıkış ağız gürültüsü

Fana bağlı asal kanaldan çıkan brans kanal kısa olduğunda, dörtgen veya dairesel çıkış ağızlarının ani dönüşlerinde türbülans aerodinamik olarak kaynaklanan gürültü direkt olarak odaya açılmaktadır. Bu gibi durumlarda, yayılan gürültü kanal sistemiyle azaltılamaz ve sıklıkla oda ızgarasından yoğun gürültü yayılır.

Alçak frekanslı akışlar için yuvarlak kesit alanlı çıkışların, dörtgen kesit alanlılara göre fark edilir değerde daha yüksek ses gücü seviyesi ürettiği görülmüştür fakat yüksek hızlılarda daha az ses gücü yaymaktadır.

Izgara gürültüsü

Izgara gürültüsü, orta-yüksek frekanslı mekanik sistemlerde sorun teşkil etmekle birlikte, fan gürültüsünün daha önemli gürültü kaynağı olduğu alçak frekanslı sistemlerde önemini yitirmektedir.

Mekanizmanın analizi zor olmasına rağmen, alçak frekanslarda yayılan ses gücü seviyelerinin ızgaradan geçen havanın akış hacmine, ızgaranın formuna ve açık alanına bağlı olduğunu not etmek yararlı olabilir.

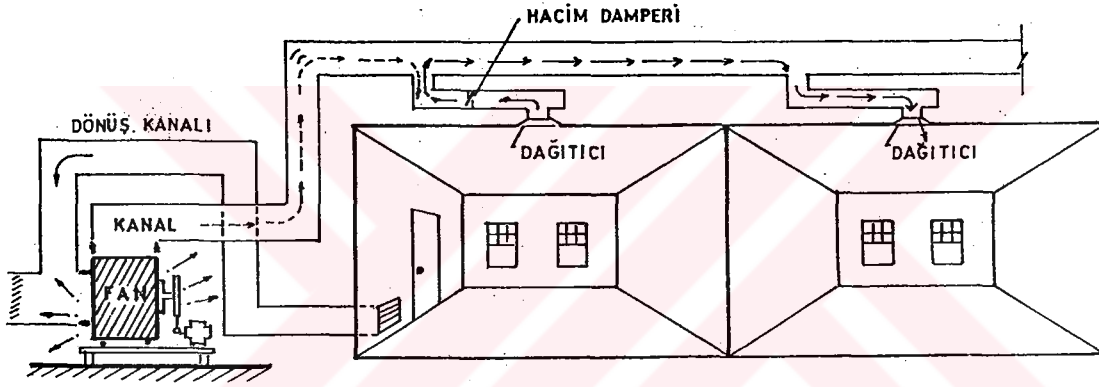
Yüksek frekanslarda, ses gücü ızgara alanına, buradaki basınca ve geçen havanın hızına orantılıdır.

Izgaranın odaya yerleşim yeri de ses gücünün etkinliğini değiştirir. Örneğin duvar ve tavan birleşim yerlerine yerleştirilmiş ızgara (köşeye değil) tavanın ortasına yerleşenden ≈ 3 dB daha fazla ses gücü üretir (Crocker ve Kessler, 1982).

Difüzer (dağıtıcı) gürültüsü

Izgara gürültüsüyle çok benzeşir ama aynı hava hızı ve aynı açıklık için çoğunlukla biraz daha yüksek seviyede gürültü çıkarır ve 1000-2500 Hz arasında geniş tepeli frekans tayfı ile karakterize edilir.

Üfleme ve emme ağızlarından kanallar vasıtası ile geçen gürültüler



Şekil 3.8 Üfleme ve emme ağızlarından kanallar aracıyla gürültü geçişi

Kanal Gürültüsü

Direkt kanalın duvarlarından içerden geçen hava akışının sonucu olarak yayılan gürültü bitişikte yoğun gürültülü alanlara yol açar.

Bu genellikle, kanal duvarlarının çevredeki alanlarda mırıltıya yol açan zayıf ölçüde alçak frekanslı geçiş kaybı özelliklerinden kaynaklanır.

Alçak frekanslarda, kanal boyutları akustik dalga boyundan küçük ise, geçiş kaybı kanal duvarının sertliği ile kontrol edilir.

Dairesel kanalların sertliği (stiffnes) aynı alanlı dörtgen kesit alanlı kanallara göre daha büyüktür ve 5-10 dB kadar daha az alçak frekanslı gürültü yayarlar. Bundan dolayı dairesele kanallar alçak frekanslı gürültünün problem olduğu yerlerde tercih edilmelidir.

Karışım odasından yayılan gürültü

Karışım odasının dış metal kasasından yayılan gürültü belirgin bir probleme yol açabilmektedir.

Karışım odalarının dikkatle seçimi ve yerleştirilmesi iyi akustik şartlar için çok önemlidir. Yüksek hızlı karışım odalarını, binada akustik açıdan kritik noktalara yerleştirmekten mümkün olduğunca kaçınılmalı, koridor gibi yüksek ses seviyeli bölgelere yerleştirilmelidir. Günümüzde artık, yayılan ses gücünü alçak frekanslarda 5-10 dB arasında, yüksek frekanslarda 15-20 dB arasında azaltan kurşun kaplı alüminyum kasalı karışım odaları imal edilmektedir.

3.2.1.1.3 Asansör döşemi

Asansör döşeminin neden olduğu, denetim yönünden önem taşıyan gürültü ve titreşimler;

1. Makine dairesindeki teknik donatıdan,
 2. Kabin ve kapı hareketlerinden,
- kaynaklanmaktadır.

Bu titreşim ve gürültüler, çevreye havadan, asansör boşluğundan ve strüktürden yayılmaktadır.

Makine dairesinden kaynaklanan gürültü ve titreşimler

Motor Gürültüleri:

- Eksantrisite ve balasttan meydana gelen titreşim ve gürültüler.
- Mekanik aksamın sürtünmesinden meydana gelen titreşim ve gürültüler. Örneğin dişliler, yataklar vs.
- Manyetizmanın oluşturduğu titreşim ve gürültüler.

Fren gürültüleri:

Kumanda dolabının neden olduğu titreşim ve gürültüler,

- Devre kesicilerin (kontaktörlerin) neden olduğu mekanik sesler.
- Mekanik kumandalı asansörlerde kat rölelerinin meydana getirdiği mekanik sesler.

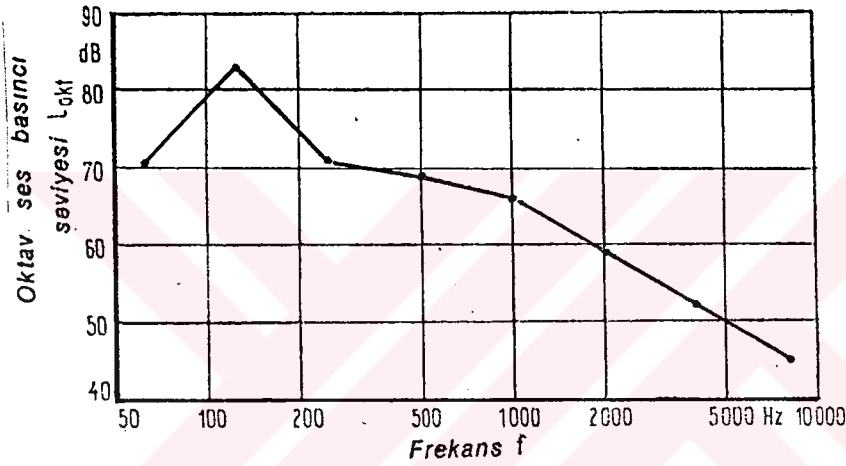
Kabin ve kapı hareketlerinden kaynaklanan gürültü ve titreşimler

- Kat kilitlerinin ve kapı otomatiklerinin çıkardığı darbe sesleri,
- Kabin raylarının çıkardığı sürtünme sesleri.

Bu sesler direkt katıda strüktürden yayıldığı gibi, asansör boşluğu tek boyutlu ortam olduğu için ses dalgaları düzlem dalgalar halinde yayılarak teorik olarak enerji kaybetmeden diğer katlara ulaşır.

Mekanik dişli sistemli asansörlerde asansör mekanizmanın hareketi sırasında makine dairesinde meydana gelen ses basıncı seviyeleri aşağı yukarı 60 ila 80 dB arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra birçok asansör tipinde harekete başlama ve fren sırasında 10 dB kadar fazlasına ulaşan kısa süreli gürültü maksimumları belirir.

Şekil 3.9'da asansör makine dairesinden yayılan gürültünün frekanslara göre çıkardığı ses basıncı seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Asansör makine dairesinden yayılan gürültülerin frekans-ses basıncı düzeyi ilişkisi (Özer, 1979)

3.2.1.1.4 Elektrik döşemi

Elektrik döşemi ve buna bağlı donatılar yapılarında zaman zaman nitelik ve konumlarına göre gürültü kaynağı olma özelliği gösterebilirler. Transformatörler, balastlar, elektrik enerjisi üretmeye ve dağıtmaya yönelik makine ve endüstriyel elektrik motorları bu konuda örnek olarak verilebilir.

Transformatör gürültüsü

Transformatörler, sarımların etrafına sarıldığı çekirdeğin titreşimine bağlı olarak vızıltı halinde ses çıkarırlar. Alternatif akım (A.C) besleme hatlarına bağlı transformatörlerin çekirdekleri, çekirdekte meydana gelen manyetik güçlerin neticesinde titreşirler. Bu tür

demir çekirdekli transformatörlerden çıkan vızıltı bir temel frekans ve bunun uyumluları olan yarı frekans bileşenlerinden oluşmuştur. Temel frekans, ana enerji kaynağının iki katıdır (elektrik enerjisi Türkiye ve Avrupa için 50 Hz, ABD için 60 Hz'dir). Bu durumda ana enerji kaynağının 60 Hz olduğu yerde temel frekans 120 Hz'dir. Uyumluların frekansları, yeğlilikleri azalarak 1200 Hz'lere kadar çıkabilmektedir.

Genelde transformatörün boyutu, dolayısıyla gücü arttıkça yeğliliği en yüksek uyumlunun frekansı küçülür.

Örneğin 100 kVA'lık bir transformatörde 360 Hz'lik titreşimler ön plana çıkıyorken, 100.000 kVA'lık bir transformatörde 120 Hz'lik titreşimler ön plana çıkar.

Yüksek güçlü transformatörlerde havalandırma fanları ve pompalar gibi yardımcı soğutma sistemleri ayrıca gürültü kaynağı olmaktadır. Bu sistemleri transformatörün dışında tek başına düşünemeyeceğimiz için, çoğunlukla 500 Hz'in üstündeki bu gürültüler de transformatör gürültüsü olarak ele alınmaktadır.

Şehir dışı yerleşim bölgelerinde transformatörden çıkan kabul edilebilir düzeyde ses seviyesi arka plan gürültü seviyesine bağlı olmakla birlikte, transformatörler ve reaktörler için örneğin Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) gibi birimlerce oluşturulan test prosedürleri ve ses seviye standartlarına göre, genelde açık havada bulunan yerde 45 dB(A) değerinde ses seviyesi kabul edilmezken, 40 dB(A) tahammül edilebilir; 35 dB(A) ise kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Bu değerler şehir yerleşim bölgelerinde 5 dB(A) kadar artırılabilir ve daha sakın şehir dışı bölgelerinde 5 dB(A) azaltılabilir. Dinleyici eve içinde açık pencere önünde olmadıkça bu seviyeler biraz daha düşüktür.

Yerleşim bölgelerinde, kapasitesi 1000 ila 10000 kVA arasında değişebilen transformatör, rahatsız edici etkisinin azaltılması amacıyla trafolarla yerleştirilir. Daha ziyade endüstriyel alanlarda kullanılan 10000 kVA'den daha geniş transformatör kalabalık endüstriyel alanlarda ayrı yerleştirilmektedirler.

Ayrı güç transformatörleri için ses gücü verisi çoğunlukla yayımlanmaz. Bunun yerine NEMA, tipik konstrüksiyonlu transformatörlerin çeşitli sınıfları için kaynaktan sabit bir uzaklıkta maksimum ses seviyesi değerleri yayımlar.

Transformatörün gürültüsünün azaltılmasına en çok kullanılan metot, transformatörün önüne akustik bir engel koymak veya etrafını kapatmaktır. Normal konstrüksiyonlu engel ve çevrelemeler genellikle yeterli ses azaltımı sağlamaktadır.

Bu engel veya çevreleme duvarını uygularken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta tank ile duvarlar arasındaki mesafedir. Bu mesafe transformatörün çıkardığı en büyük ses frekansının dalga boyunun yarısı veya bunun katlarına eşit olduğunda, çevreleme duvarlarından yansıyıp gelen direkt dalgaların zorlamasıyla tank ile çevreleme duvarları arasında oluşan duvar dalgalarının varlığı ses azaltımını azaltır. Bu duruma benzer şekilde, çevre duvarı dört kenardan az ise, transformatör ile arasında, tank ile çevre duvarı arasındaki mesafeden daha fazla mesafe olmalıdır.

Balast gürültüsü

Endüktif, kapasitif, rezistif gibi türleri bulunan çeşitli flüoresan ve cıva buharlı lamba balastları, lamba akımını yapılacak işe göre sınırlar ve gerektiğinde ihtiyaç olan başlangıç voltajını ve akımını, çabuk yanan lambalarda da alçak voltlu katod ısınmasını sağlar.

İndüktif elemanları olan balastlar transformatörlere benzer şekilde, manyetizmadan dolayı gürültü çıkarırlar, fakat akımın dalga formları transformatördeki gibi sinüzoidal değil, doğrusal olduğu için uyumluların sayısı 50'ye varabilmektedir. Bu uyumluların ses basınç seviyesi 2000 Hz. civarında yani insanın maksimum duyarlılık bölgesinde en yüksek olur.

Flüoresan lamba balastları sıklıkla gürültü yayıltacı olarak davranan lamba yuvasına yerleştirilirler. Bu gibi durumlarda gürültü çıkmasının nedeni genelde balastın ısınması ve yaşı olmaktadır. Ömrü bitmeye yakın bir lamba yenisine göre 4 dB(A) civarında daha fazla ses çıkarır, ayrıca ısı gittikçe arttığı için ses seviyesi 4 dB(A) kadar daha artar. Bununla birlikte 30 dakikalık ısınma periyodunda bu durum sabit hale geçer.

Balast yuvaya monte edildiğinde, uzaklığın artmasıyla, uzaklık odanın yüksekliğine eşitlendiğinde, geniş boyut sebebiyle gürültü azalır.

Flüoresanla aydınlatma yapılan, ses açısından kritik bölgelerde çözüm olarak, pahalı olmakla birlikte balastlar bu bölgenin uzağına yerleştirilebilirler. Biraz pratiklik sağlaması açısından tek bir balasta üç veya dört lambayı paralel bağlamak biraz daha ekonomi sağlayabilir.

Balast üreticileri kullanıcılarına özel uygulamalarda yardımcı olmak amacıyla, ürünlerin A, B, C gibi özel tiplerini yaratmışlardır. A en sessiz olan tiplerdir, fakat yerleştirilen lamba yuvasının da önemli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bir yuvada işitilebilir ses yaymayan bir balast, başka bir yuvaya monte edildiğinde işitilebilir duruma gelebilir.

Yüksek yoğunlukta boşalmalı lambaların (H.I.D.) ihtiyacı olan balastlar, flüoresan lambaların balastlarına göre vatajı yani birim başına düşen vat değeri daha fazla olduğu için, daha fazla ses çıkarırlar (Harris,1979).

Motor ve jeneratör gürültüsü

Elektrik motorlarındaki gürültü kaynakları, genel hatlarıyla havalandırma, mekanik ve manyetik kaynaklar olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılabilir.

Havalandırmadan kaynaklanan gürültü, genellikle geniş bant karakterlidir ama motor, fan pervanesi gibi elemanlardan kaynaklanan tek frekanslı birleşenleri vardır.

Mekanik kaynaklardan çıkan gürültü, motorun yataklanmasıyla ilgilidir. Milin parçaları bir şekilde deforme olursa veya yataklardaki aşırı boşluklar aksiyal harekete izin verirse bu gürültü fark edilir hale gelebilir. Genellikle, mekanik gürültü, rotor-şaft bütünü mekanik dengesizliğiyle alakalıdır.

Manyetik etkilerden çıkan gürültü genellikle, büyük çoğunlukta stator ve rotorun arasındaki hava boşluğunda oluşan periyodik kuvvetlerden kaynaklanır. Bu manyetik kuvvetler stator ve rotorun çeşitli mekanik ve elektromanyetik gereçlerine bağlıdır.

Bunlar bağlı önemine bakmaksızın:

1. Rotor ve statorun sarım grubu sayısı ve ikisi arasındaki fark,
2. Motorun dizaynını etkileyen ana akü alanının özellikleri ,
3. Stator ve rotor, slotları, slot kalıbı doymuşluk ve hava boşluğu eksantrisitesinden kaynaklanan hava deliğindeki geçirimsizlik değişimleri varyasyonları,
4. Kutup sarımlarının nasıl oluştuğu yani temel alanında istenen sinüzoidal manyetik kuvvet için her diş grubuna düşen sarım sayısı,
5. Hava boşluğunun yarıçap uzunluğu integral beygirgüçlü fan soğutmalı motorlar için, aerodinamik kaynaklı gürültü, bu tür motorlardaki doğru gürültü kaynaklara göre öncelikle önem taşır. Gürültü spektrumunu, işitilebilir seviyenin büyük çoğunluğunun üzerinde, tipik olarak geniş bant karakterlidir.

Düşük devirli doğru akım motorları için gürültü kaynakları, önem sıralarına göre; manyetizma, eksantrisite, fırça sürtünmesi ve motor soğutma havalandırmasıdır. Yüksek devirli motorlarda gürültü kaynakları önem sırasına göre; motor soğutma havalandırması, fırça sürtünmesi, eksantrisite ve manyetizmadır.

Bazı konut veya ofis yapılarında asansör motorları, motor her çalıştığında rahatsız edici yüksek frekanslı inlemeye benzer ses üretir. Bu tür motorlardan çıkan havada doğan gürültü itiraz edilebilir olması için yeterli büyüklükte değildir ama motorun titreşimi temelden bina strüktürüne geçebilir bunun sonucunda motordan biraz uzaklıkta bulunan bölme ve duvar panelleri uyarılarak titreşebilirler.

Motor ve jeneratör takımının gürültüsünü azaltmaya yönelik ortak metotlar giriş susturucuların kullanılmasını ve motorun çevresine engeller ve çevreleme yerleştirilmesini kapsar.

Giriş susturucuları tamamen kapalı fan soğutmalı motorlar (TEFC) kullanabilir. Susturucular nadiren 10 dB(A) den fazla ses seviyesi azalması sağlar. Daha fazla bir azalma gerekli olduğunda bölümsel bir kapatma kullanılabilir.

Motor veya küçük motor jeneratörü takımı etrafında yapılacak iyi yalıtımlı bir çevreleme genellikle yaydığı gürültüyü azaltmada etkili bir yoldur. Çeşitli çevrelemenin sağladığı gürültü azaltımı; çevrelemenin geometrisine, duvarlarının geçiş kaybına ve iç yüzünde yer alan emici malzemelere bağlıdır. Yalıtımlı kaplama ekipmanının havalandırılması gerektiği ve havalandırma kanalları, fanlar, elektrik girdi delikleri olacağı için genellikle pratik değildir. Bu tür girdilerin etkileri çevrelemenin sağladığı gürültü azaltımını azaltır.

3.2.1.2 Donatı gürültüsü

Bunlar döşemden farklı olarak, binanın strüktürüne monte edilmemiş; mobil, binanın kullanımıyla birlikte kullanıcının isteğine göre binada yer alabilen ve kişisel kullanıma yönelik donatılardır.

Kullanım sırasında titreşimi binanın strüktürüne geçen çamaşır-bulaşık-kurutma makinesi gibi elektrikli ev aletleri; piyano, kontrabas gibi döşemeye konarak (temas ettirilerek) çalınan müzik aletleri bu başlık içinde sayılabilir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, elektronik aletlerin üretiminde titreşimin kaynağa azaltılması yönünde bilimsel çalışmalar yapılmakta ve titreşim yalıtımı da yapılarak amaca büyük ölçüde ulaşılmaktadır.

Titreşimin azaltılmasının mümkün olmadığı bir durumda sadece aletin titreşim yalıtımı yeterli olmamaktadır ki, bu gibi yalıtım ve titreşim azaltımının anlamsız olduğu durumlarda

alet ile ilişkide bulunduğu yapı elemanı arasında titreşim yalıtımı yapmak çözüm olabilmektedir. Yalıtım, özellikleri duruma uygun esnek bir malzemenin temas noktasına konularak, titreşimin yapı elemanına geçişini kesmek suretiyle olur.

3.2.1.3 Darbe gürültüsü

Darbe, konstrüksiyonu titreştirmeye yol açabilecek yeterli büyüklükte kısa süreli kuvvetin sonucudur.

Dinamik kuvvetlerin strüktüre etkimesinin neden olduğu darbe, bu nedenle binalardaki titreşim kaynakları başlığı altında incelenebilir.

Adım sesi olarak da adlandırılan darbe sesi yapısal olarak katıda doğan darbe uyarımlı gürültüye denir ve nesnelerin itilip-çekilmesi, düşmesi veya vurması, yuvarlanması (bovlingde olduğu gibi), kapı kapanması gibi (bir kütlenin bir yüzeye aniden belli bir süre impülsiv olarak temas etmesi) durumlarda ortaya çıkar.

Darbe sesinin geçişiyle ilgili olarak döşemenin kesit ve gereşsel niteliği, döşemeye düşen ya da etkiyen nesnenin kuvvet itkisini (pulse) etkileyeceği için önemlidir. Esnek yüzey katmanlı döşemedeki darbe yalnız alçak frekanslı ses üretilirken, sert yüzey katmanlı döşemedeki darbe, sert döşemede kütle darbesi yüksek frekanslarda geniş frekans aralığında bir tayf verir. Bütün bunlarla birlikte, darbe sesi geçişiyle ilgili çabaların büyük çoğunluğunun deneysel araştırmaya dayalı olduğu bilinmektedir.

4. TİTREŞİM DENETİM İLKELERİ

4.1 Sistem Seçimi

Gürültü ve titreşim problemleri sıklıkla birbiriyle yakinen ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Endüstride gürültü problemleri ağırlıklı olarak ve makinelerin yanlış montajından mekanik titreşimlerin kontrol altına alınmamasından kaynaklanmaktadır.

Gürültü denetimi, titreşim denetimini de içine alan çeşitli aşamaları kapsamakla birlikte, son yıllarda gürültü problemlerini çözmeye yönelik “kaynak-yol-alıcı” çerçevesi içinde sistematik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Kaynağın niteliği ve problemin büyüklüğüne bağlı olarak bu yaklaşımlar tek başına ya da birlikte ele alınabilir. Özellikle kaynak ile alıcı arasındaki yolda ele alınan önlemleri; ses yutucu sistemler, ses engelleyici sistemler, susturucular, titreşim/darbe kontrol sistemleri şeklinde gruplamak mümkündür (Harris, 1991).

Titreşim/darbe denetim sistemleri, titreşim veya darbenin kaynaktan strüktüre (etkin nesneden etkilenen nesneye) geçişini azaltmak ve/veya titreşimleri sönümletmek üzere tasarlanmıştır. Bu tür bir sistem ses yutucu ve ses engelleyici sistemleri kapsamamaktadır.

Titreşim/darbe denetim sistemleri; 1- Titreşimlerin strüktüre geçişini azaltmak (titreşim yalıtım sistemleri), 2- Kaynaktan yayılan titreşimin genliğini azaltmak (titreşim sönümleme sistemleri), olmak üzere ele alınan konuları kapsar.

4.1.1 Titreşim yalıtım sistemleri

Titreşim yalıtıcı sistemler, titreşimlerin strüktüre geçişini azaltmak üzere ele alınmış sistemlerdir. Titreşimin strüktüre geçişini azaltma, titreşim kaynağı ile yayıcı yüzey arasındaki geçiş yolunun değiştirilmesiyle sağlanır. Bu değişiklik, titreşen ekipman ile titreşimin geçtiği strüktür arasına titreşim enerjisinin geçişini azaltan esnek gereçler yerleştirilerek, strüktürde devamsızlıklar oluşturularak, yüzer döşeme uygulayarak elde edilebilir.

Bu yöntemler katıda doğan gürültüyü, özellikle kısa süreli impulsün neden olduğu darbe gürültüsünü azaltmada oldukça yarar sağlamaktadır. Bu şekilde, strüktüre enerji girişi en aza indirilmekte ve strüktürdeki enerji azaltımı artırılmaktadır.

4.1.1.1 Esnek gereç kullanılması

Etkin ve etkilenen nesnelerin arasına esnek gereç uygulanmasıyla, hareketin veya titreşen kuvvetlerin bir nesnedan diğerine geçişinin yalıtılması **titreşim yalıtımı** olarak adlandırılmaktadır. Burada kullanılan yalıtım terimi iki nesne arasına esnek gereç koyma anlamına gelmektedir. Uygulamada kullanılan bu gereç yeterince esnekse, rezonans yakınındaki frekansların dışında kalan titreşimlerin azını etkilenen nesneye geçirir. Titreşim kuvvetlerinin geçişini azaltan bu gereçlere titreşim yalıtım gereci denmektedir. Statik yüklere ve darbelere bağlı boy değişimi (static deflection) sınırları içinde olması gereken bu gereçlerin özellikleri ve tür seçimine yönelik ölçütler bölüm 4.3'te açıklamalı olarak ele alınmıştır.

İki tip titreşim yalıtımı uygulaması vardır:

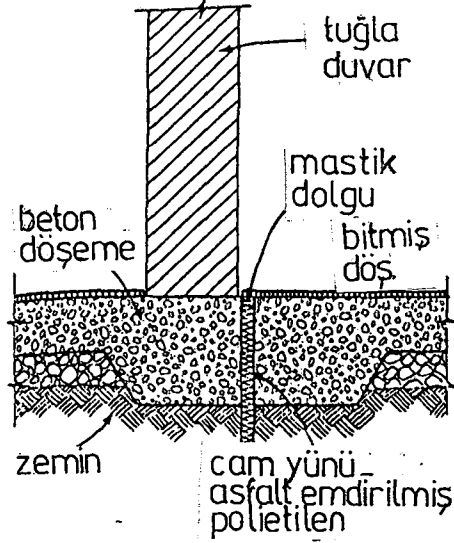
1. Bir mekanik ekipmanın titreşiminin, bulunduğu zemine geçişini engellemek üzere yapılan titreşim yalıtımı, aktif yalıtım olarak adlandırılır. Fan, elektrik motoru, hidrofor, pompa gibi makinelerin titreşim yalıtımı bu tip titreşim yalıtımına örnek olarak verilebilir.

2. Ekipmanın altındaki strüktürün ya da tabanın hareketlerinin ekipmana geçişini engellemek üzere yapılan titreşim yalıtımı, pasif yalıtım olarak adlandırılır. Titreşim yalıtım gereci üzerindeki masif bir masaya monte edilmiş optik alet bu tip uygulamaya örnektir.

Aktif yalıtımda makineden kaynaklanan titreşimlerin yayıldıkları çevrede belirli sınırların altında kalmalarının sağlanması esastır. Pasif yalıtımda ise çevredeki bir titreşim kaynağı nedeniyle, hassas bir makinenin temel projelendirilmesinin, titreşim sınırlarını sağlayacak şekilde yapılması söz konusudur. (Öztürk, ...)

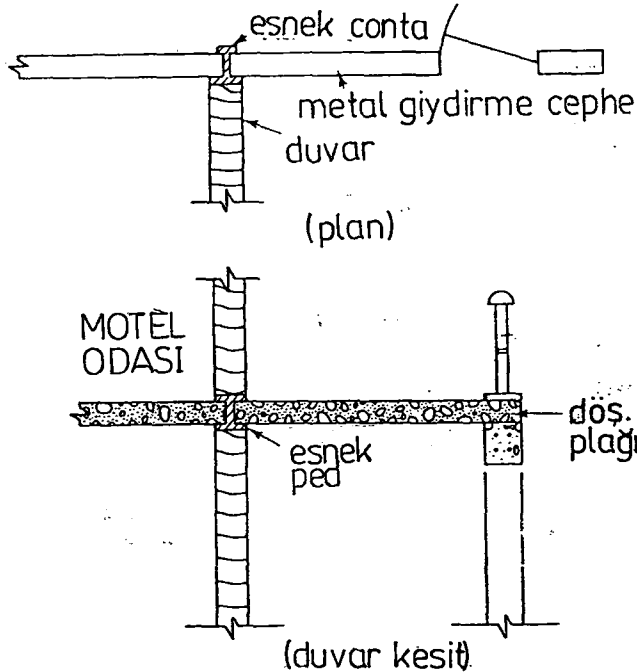
4.1.1.2 Strüktürde devamsızlık oluşturulması

Strüktürde devamsızlık oluşturmak özellikle darbe gürültüsünün kontrolünde etkilidir ve darbenin strüktüre ilk geçtiği yüzeyin ayrımı ile elde edilir. Darbenin bütün strüktüre yayıldığı noktalarda strüktür kesilip araya esnek bağlantılar yerleştirilerek strüktüre yeniden devam edilmesiyle, enerjinin strüktürde gezinerek yayılımı en aza indirilir. Şekil 4.1'de zemine oturan beton döşemede devamsızlık örneği verilmiştir. Örneğin bir tiyatro tasarlanırken mekanik ekipman odasının sahne ve çalışma alanlarından, bu tür esnek bağlantılarla ayrılması yarar sağlar.



4.1 Zemine oturan beton döşemelerde devamsız strüktür uygulaması (Harris, 1979)

Strüktürde devamsızlık oluşturmak diğer gürültü denetim yöntemleriyle kullanılır ve frekanstan bağımsızdır, örneğin dizi evlerdeki birimlerde, havada doğan ve katıda doğan sesin yalıtımı, strüktürel devamsızlıkla birlikte diğer yöntemler uygulanarak sağlanabilir. Büyük binalarda ısısal genleşme ve daralmaya izin vermek için genleşme bağlantıları yapılmaktadır. Bu genleşme bağlantıları devamsızlık oluşturarak katıda doğan gürültünün de yayılışını kontrol etmeye yarar. Bazı durumlarda, bazı gürültülü mekanik oda ekipmanı parçaları altına yüzer taban yerleştirmek yeterli olmakla birlikte, en etkili strüktürel devamsızlık, yüzer döşeme uygulamasını da içeren tabandan tavana kadar tam ayırmadır. Şekil 4.2’de planda ve kesitte strüktürel bir devamsızlık örneği verilmiştir.

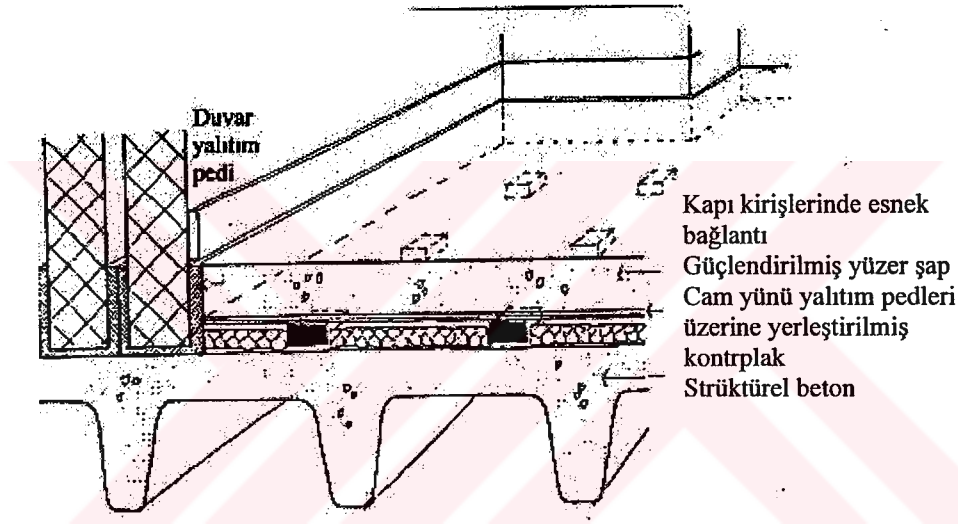


Şekil 4.2 Strüktürde devamsızlık sağlama örneği (Dagostino, 1978)

4.1.1.3 Yüzer döşeme uygulama

Yüzer döşeme strüktürel bir döşeme ile taşınan ama strüktürel döşemeden rijit temas olmaksızın bütünüyle yalıtılmış bir döşemedir.

Yüzer döşeme uygulamaları havada ve katıda doğan sesin birlikte yalıtılması gerektiği yerlerde kullanılır. Bu tip uygulamalar darbe sesinin yalıtımında da etkili sonuçlar sağlar. Yüzer döşemenin havada doğan sesin ve darbe sesinin geçiş kayıplarını yükseltmekten başka çok önemli bir avantajı daha vardır; mekanik odanın strüktüründen ve böylece bütün bina strüktüründen akustik ve titreşimsel enerji akışı miktarını dikkate değer şekilde azaltır. Çok katlı modern beton binalarda enerji, strüktürden binanın tüm bölümlerine küçük azaltımlarla yayılır. Enerjinin azaltımının artırılmasını, yüzer döşeme çok iyi şekilde sağlar.



Şekil 4.3 Yüzer döşeme örneği (Saunders ve Templeton, 1987)

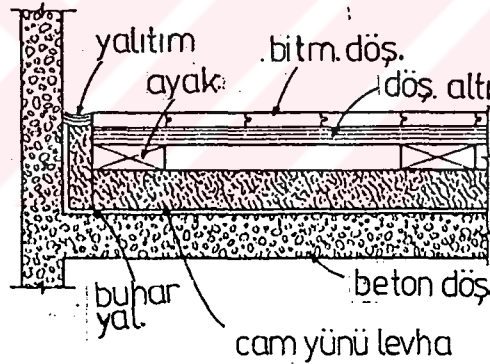
Şekil 4.3'teki uygulamada son kat yüzer şap iyi bir yük taşıma kapasitesi ile rijit yüzey sağlar. Şap betonunun altında bulunan kontrplak ya da sert levha, uygulama sırasında esnek katmanın zarar görmesini engelleyerek yüzer şap için altlık oluşturur. Bazı uygulamalarda birleşim yerleri şaşırtmalı olarak iki katman halinde uygulanır. Kontrplağın altındaki su geçirmez katman yalıtım pedlerine su ve yağın ulaşmasını önler (Crocker ve Kessler, 1982).

Yüzer döşeme uygulamalarında esnek katman olarak ön sıkıştırılmalı yoğun cam yünü, mantar, ped ya da levha, çelik yay, heraklit, neopren ped kullanılabilir. Bölüm 4.2'de bu gereçlerin özellikleri ele alınmıştır. Günümüzde çeşitli yan etkenlerden (nem, yağ, asit vb.) etkilenmeyen dolayısıyla herhangi bir ilave koruyucuya gerek duymaksızın kullanılabilen ve çeşitli esneklik ve özellikte malzemeler de üretilmektedir. Esnek katman

olarak tüm yüzeyi kapsayan gereç kullanılmadığı durumlarda arada kalan boşluğa kum, dekompoze granit, camyünü gibi gereçler serilmesi, gürültü yalıtımının yanısıra ısı yalıtımı da sağlar.

Yüzer döşeme strüktürel döşeme için koruyucu kaplama gibi davranmaktadır. Üzerine gelen darbeler yüzer döşemeyi titreştirir. Döşemenin altında bulunan esnek gereçler bu titreşimin küçük bir kısmını strüktürel döşemeye geçirir. Böylece strüktürel döşeme, alttaki odaya, aynı darbe direkt olarak strüktürel döşemeye geldiğinden çok daha az ses geçirir.

Yüzer döşeme kullanımı yalnızca mekanik odalarla sınırlı değildir ve binanın başka bölümlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Müzik çalışma odaları, şehirde metro ya da yola yakın inşa edilen gürültüye hassas oditoryumlar, tiyatrolar, konser salonları, ses kayıt stüdyoları yüzer döşeme uygulamasının yapıldığı yerlerden bazılarıdır. Özünde sistem değişmemekle birlikte uygulandığı yere ve duruma göre uygulamalar değişebilmektedir. Örneğin Şekil 4.4'teki konstrüksiyon, binanın fazla yükü kabul edemediği durumlar için düşünülmüştür. Yüzer şapın görevini tabanların üzerine yerleştirilmiş döşeme katmanı görmektedir, bazı uygulamalarda bu tabanlar yok edilir ve döşeme direkt esnek katmana oturtulur.



Şekil 4.4 Döşemeye ilave yük istenmediği durumlarda kullanılacak yüzer döşeme örneği (Harris, 1979)

Yüzer döşeme uygulamalarında etkili yalıtım, yüzer döşemenin öz frekansının iki veya üç kat fazla frekanslarda elde edildiği için rezonansın düşük değerde tutulmasına dikkat edilmelidir. Öz frekansın altındaki frekanslarda, yüzer döşeme ve strüktürel döşeme yaklaşık olarak aynı fazda titreşir ve katmanlar da aynıymış gibi davranır, yalıtım elde edilemez. Döşemenin öz frekansında ise geçen enerjide artış olur. Öz frekansın üstündeki yüksek frekanslar için, katmanlar farklı fazlarda hareket ederler, frekans arttığı için sistemden geçen enerji azalır. Yük ile ilişki içindeki esnek katmanın seçiminde bu özellik dikkate alınmalı ve

birim alana düşen yükün önemi gözardı edilmemelidir. Aynı öz frekans için, noktasal veya şerit yükleme düzgün yayılmış yüke göre daha sert bir esnek katman gerektirir.

Yüzer döşeme ve esnek katman öz frekansı f_r ile verilen kütle-yay sistemi oluşturmaktadır.

Döşemenin öz frekansı (4.1) yardımı ile bulunabilir.

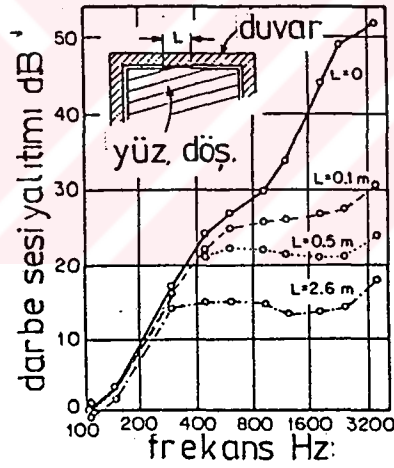
$$f_r = 5,03 \sqrt{\frac{E}{md}} \text{ Hz} \quad (4.1)$$

E = yalıtım gerecinin elastiklik modülü N/m^2

m = yalıtım gerecinin birim alanına düşen yük kapasitesi kg/m^2

d = yalıtım gerecinin dinamik (yükli) kalınlığı mm

Yüzer döşeme ile strüktürel döşeme arasında kötü tasarım veya yanlış uygulama sonucu oluşan herhangi bir rijit bağlantı (temas) ses köprüsü oluşturarak yalıtımı ciddi şekilde azaltır. Yüzer döşemenin duvara temas ettiği hat yeterince uzunsa yalıtımın dolayısı ile yüzer döşemenin etkililiği bozulur. Şekil 4.5'te bu hattın uzunluğunun artmasıyla döşemenin etkililiğinin frekansa göre nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.5 Yüzer döşeme-duvar arasındaki rijit bağlantının uzunluğu ile darbe gürültüsünün frekansa göre geçişi (Harris, 1979)

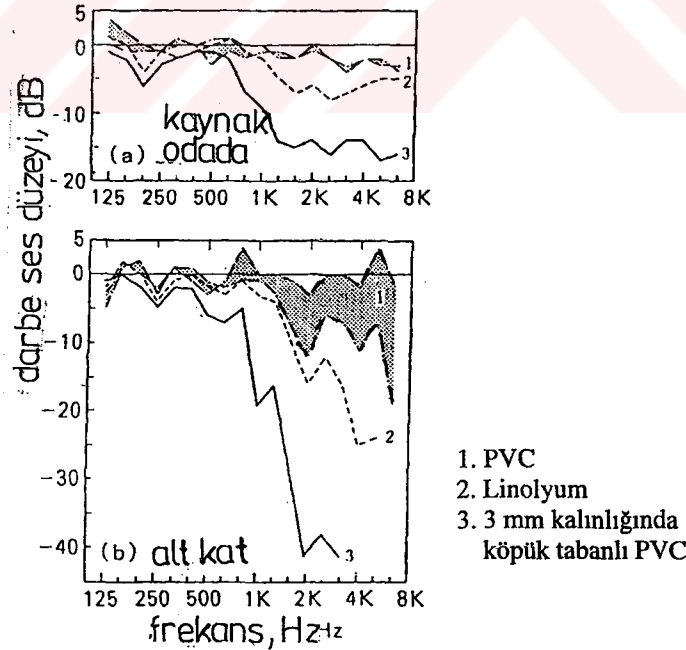
Yüzer döşeme ile strüktürel döşeme arasına esnek geçiş yerleştirmek uygulama bittikten sonra çok zor, pratikte imkansızdır. Bu yüzden uygulama aşamasında göz ardı edilmemeli, özellikleri en uygun geçiş seçilmelidir.

Yüzer döşeme uygularken şu noktalara dikkat edilmelidir:

- Kullanılacak esnek gerecin statik ve dinamik yük altında ömrü yeterli olmalı,
- Esnek gerecin yüzer şap altında yapacağı şekil değişikliği (sapması) dikkate alınmalı,

- Esnek gereç, plastik bir örtü ile nemden korunmalı (gerektiğinde),
- Esnek gereç parçalar halinde ise yerleştirirken eşit dağıtılmalı; levha halinde ise levhalar arasında açıklık bırakılmamalı,
- Esnek gerecin üzerine uygulama sırasında zarar görmemesi için kontrplak veya benzeri koruyucu bir tabaka yerleştirilmeli,
- Dökülecek şapın su-çimento oranına dikkat edilmeli, en az 4 cm kalınlığında, 400 kg/m^3 dozajda, 225 kg/cm^2 basınç ve 40 kg/cm^2 çekme direncine sahip olmalı,
- Şap anolar halinde dökülmeli ve dökülme esnasında yeterli havalandırma sağlanmalı,
- Yüzer şap ile duvar ve strüktürel döşeme arasında her türlü rijit bağlantı olmamasına dikkat edilmeli, ses köprüleri oluşturulmamalı,
- Yüzer şap üzerine ağır noktasal yük konmamalı.

Devamsız strüktür ve yüzer döşeme uygulamalarında döşeme kaplaması sert ve hafif ise, döşemenin kaynak tarafındaki darbe sesi seviyesi artabilir. Örneğin ahşap konstrüksiyonlu hafif yüzer döşemenin (Şekil 4.4) strüktürel beton döşemeye eklendiğini varsaydığımızda, kaynak odasındaki alçak frekanslardaki darbe sesi 10 dB'den fazla artabilir (Harris, 1979). Darbe sesi düzeyindeki bu artış bitim yüzeyini halı, kauçuk, sünger heraklit gibi gereçlerle kaplamakla engellenebilir. Düzeydeki azalma mantar kaplama ile 5-10 dB, halı kaplama ile 4-20 dB olabilmektedir. Şekil 4.7'de çeşitli kaplama gereçlerinin etki örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.6 Farklı döşeme kaplamalarıyla elde edilmiş darbe azaltımı, 1-Kara PVC, 2-Linolyum; 3.3 mm kalınlığında köpük tabanlı PVC (a) kaynak odasında azaltım (b) döşeme altındaki odada azaltım (Maekawa, 1990)*

* Ölçümler ISO 140/8'de belirlenen metot kullanılarak, çıplak döşemedeki darbe sesleri ile farklı esnek kaplamalı döşemedeki darbe sesleri karşılaştırılarak ölçülmüştür.

Darbe sesinde sesin frekans içeriği darbenin oluşum zamanına bağlıdır. Keskin, kısa oluşumlar geniş bant frekans aralığında meydana gelirken, son kat üzerine uygulanan esnek katman gelen darbeyi yastıklayarak oluşum süresini uzatır. Bu, uzun süreli oluşum asal olarak alçak frekanslı ses üretir ve daha az rahatsız edicidir. Yumuşak gereçler ince bile olsa yüksek frekanslarda daha fazla azaltım sağlar. İnce örgü hasır alçak frekanslarda da daha fazla azaltım sağlar.

4.1.2 Titreşim sönümlenme sistemleri

Bir makine elemanının bir uyarım kuvveti karşısında gösterdiği tavır ve çıkardığı ses, kütesine, sertliğine ve sönümüne bağlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, strüktür ve uyarım frekanslarına bağlı olarak kaynağa kütle ve/veya sönümleyici eklemenin ve kaynağın rijitliğini arttırmanın kaynaktan yayılan titreşimlerin genliğini azaltacağı söylenebilir.

Makinenin veya temelinin altında esnek gereçler kullanımında ya da yüzer döşeme uygulamalarında zemine geçen titreşimler önemli derecede azalmaktadır. Bu uygulama, makinenin çalışmaya başlaması ve durması sırasında meydana gelen titreşimleri ya da çalışması sırasında uyarım frekanslarından birinin döşemenin doğal frekansına rastlamasıyla ortaya çıkan rezonans durumunda meydana gelecek titreşimleri engellemede yetersiz kalmaktadır.

Rezonansı önlemek amacıyla kaynaktan yayılan hareket ve/veya titreşen kuvveti değiştirmek için makinede, bir tek rezonansa giren frekanslarda değişiklikler yapmak diğer frekanslarda gürültü artışına yol açabilir.

4.1.2.1 Sönümlenme uygulaması

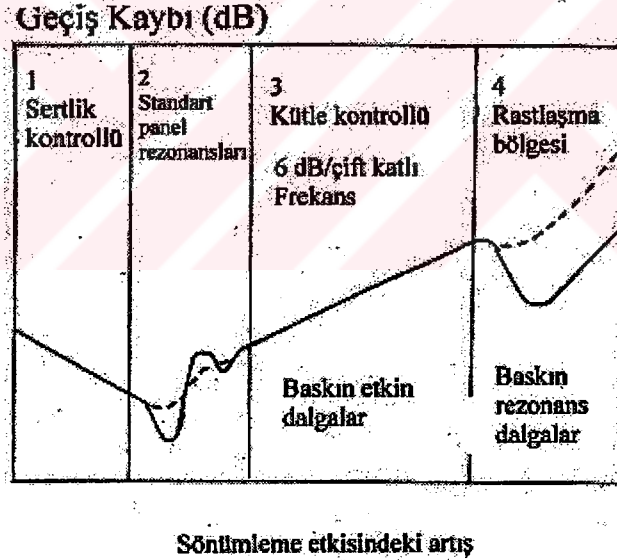
Sönümlenme uygulamak rezonans durumunda meydana gelen titreşimleri engeller. Sönümleyici kullanarak titreşim genliğinde azalma sağlama olayı **titreşim sönümlenmesi** (vibration damping) olarak adlandırılmaktadır.

Titreşim literatüründe, sönümleyici titreşim damperi olarak da ifade edilmektedir. Sönümleyici, titreşim enerjisini bir çeşit sürtünme ile ısı ve ses enerjisine dönüştürüp sönümleyerek titreşim yoğunluğunu azaltır. Titreşim yoğunluğunun azalması yayılan sesi de azaltacaktır.

Strüktürlerin rezonans titreşmesinin, strüktür parçalarının birbirine değmesi gibi rastlantısal kuvvetlerden meydana gelen serbest titreşimlerin, darbe uyarımlarının neden olduğu gürültülerin söz konusu olduğu durumlarda titreşen strüktüre, sönümleyici eklemek gürültüyü kaynağında kesmede özellikle etkili bir yoldur. Özel şartlara bağlı olmakla birlikte sönümleme uygulanmasıyla yayılan ya da geçen gürültü düzeylerinde azaltım 10-20 dB'e kadar çıkabilmektedir.

Ekipman rezonans frekans çevresinde titreşiyorsa sönümlemede herhangi bir artış yalnızca serbest titreşimleri azaltmaz, sistemin basit harmonik hareket karşısında çıkardığı sesin genliğini de azaltır. Bunu yaparken diğer frekanslarda titreşimin geçişi artar. Bu durumda geçirgenliği azaltmak için sönüm elemanı diğer titreşim denetim sistemleriyle birlikte kullanılır.

Kritik rastlaşma frekanslarının altındaki rezonans olmayan frekanslarda ses geçişi olduğunda, darbe ya da rastlantısal kuvvet uyarımı söz konusu olmadığında, sönümleyici kullanımının sönümleme etkisi yoktur.



Şekil 4.7 Düz homojen panel için geçiş kaybında sönüm etkisi (Harris, 1991)

Sönümleyicilerin manyetik, mekanik ve yüzeye katman olarak uygulanan levha türleri vardır.

Pratikte en fazla kullanılan mekanik ve manyetik sönümleme düzenekleri; viskoz sönümleyici (viscos damper), gereç iç sönümleyicisi (hysterisis damper), kuru sürtünme sönümleyicisi (coulomb damper), sıkıştırılmış yağ sönümleyicisi (squeeze film damper),

elektromanyetik sönümleyicisi, elektro-viskoz sönümleyicisi, piezo-elektrik sönümleyicisidir.

Viskoz sönümleyici, pratikte en fazla kullanılan sönümleyicidir ve çalışma prensibi bağıl harekete sahip iki yüzey arasında bulunan viskoz bir akışkanın nispeten küçük bir delikten geçmesi veya bir cismin bu akışkan içinde hareket ettirilmesiyle sönümleme meydana gelmesi esasına bağlıdır.

Gereç iç sönümlemesi, makine elemanlarının deformasyonundan dolayı elementlerin sürtünme ve kaymaları sonucu bir kısım enerjinin ısı enerjisi olarak dışarı atılması esasına dayanır. Gerecin sağladığı sönümleme titreşimin hızına bağlı değildir.

Kuru sürtünme sönümlemesi, bağıl harekete sahip iki yüzeyin kuru sürtünmesi sonucu sabit değerinde bir kuvvet oluşturması esasına bağlıdır.

Sıkıştırılmış yağ sönümleyicisi, düşey ve yatay yönde hareket eden yatak sisteminden oluşur. Özellikle turbo makinelerinin ve transmisyon şaftlarının titreşim kontrolünde kullanılan bir pasif sönüm elemanıdır.

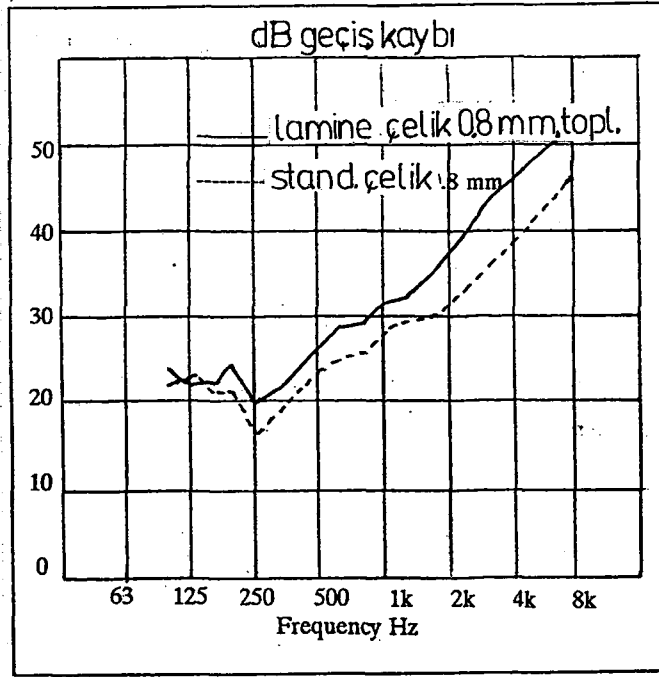
Elektro-manyetik sönümleyici, elektro-manyetik kuvvetin metallere olan etkisine bağlı olarak, rotorların etrafında elektro-manyetik kuvvetin oluşturulması ile rotorun titreşimlerinin belli ölçüde sönümlemesi esasına dayanır.

Elektro-viskoz sönümleyici, viskozitesi elektrik voltajı ile değişen akışkan içinde bir metal levhanın hareketi ile sönümleme yapması esasına dayanır. Rotor sistemlerinin titreşim kontrolü için düşünülen çok yeni bir sönümleyici türüdür.

Piezo-elektrik sönümleyici, elektro-manyetik ve elektro-viskoz sönümleyicilere alternatif olarak geliştiren aktif titreşim kontrol elemanıdır (Kaya, 1991).

Levha sönümleyicileri özellikle metal levha yüzeylerin, titreşimle uyarılıp rezonansa girdiği durumlarda kullanılmakta ve iyi sonuç vermektedir (Şekil 4.8).

Bu duruma örnek olarak bulaşık makinesi gibi mekanik bir düzeneğin titreşen metal paneline dokunulduğunda, el yumuşak ve esnek olduğundan doğru yere konulursa gürültüde belirgin bir azalma sağlanır.



Şekil 4.8 Lamine ve çıplak çelik için geçiş kaybı (Harris, 1991)

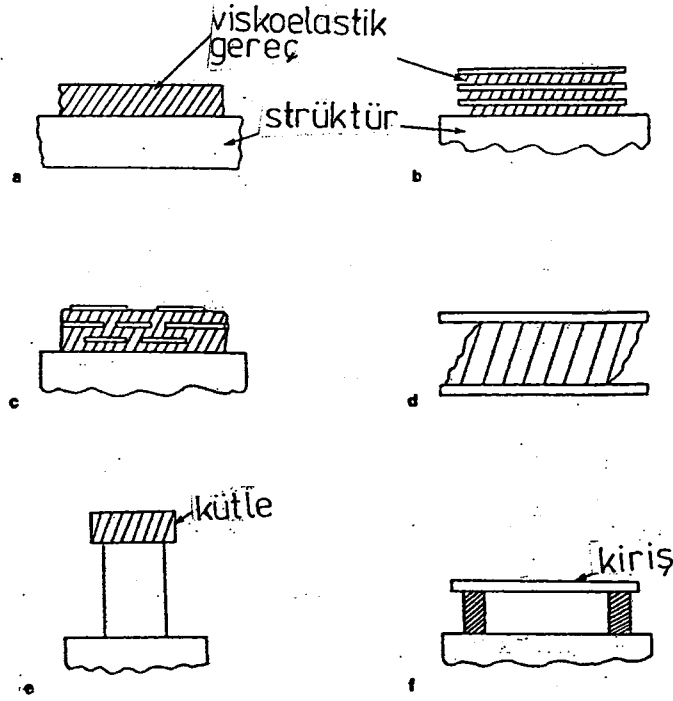
Levha sönümleyiciler çoğunlukla kauçuk, plastik gibi viskoelastik gereçlerden meydana gelmektedir. Son senelerde, bu konuyla ilgili olarak yeni gereçler üretme çabalarına girilmiştir. Bu konuda yapılan çalışma sonuçlarına termoplastik, kauçuk, kağıt, kumaş, ahşap, cam vb. artık polimerlerin yoğunlaştırılmasıyla elde edilen gürültü ve titreşim sönümlenme gereçleri hem ekonomik avantaj sağlamakta, hem de çevre korumaya katkıda bulunmaktadır (Briš, P., Vašut, S., Fišer, D. ve Gerža, D.).

Sönümlenme, yayıcı yüzey üzerine katman olarak iki şekilde uygulanır: 1. Serbest katmanlı, 2. Sıkıştırılmış katmanlı.

Serbest katmanlı uygulama daha kolaydır. Bu metotta sönümleyici yüzeye yapıştırılır, spreylenebilir ya da mala ile yayılır. Mala ve spreyle uygulanan sönümleyiciler yumuşaktır, uygulamadan bir, iki saat sonra sertleşir.

Uygulanan sönümleyicinin kütle yoğunluğunun metalinkinin 0,1 katı olmasına ve panel ağırlığının %50'sini geçmemesine dikkat edilmelidir.

Serbest katmanlı uygulamada panelin bükülme titreşimi viskoelastik katmanın genişleme deformasyonuna yol açar. Viskoelastik katman enerjiyi depolar ve öncelikle bu katman, panelin bükülmesinden kaynaklanan gerilmeye bağlı olarak sönümlenme sağlar. Üretilen sönümlenme miktarı bu katman kalınlığının artmasıyla artar. Etkili bir serbest katman uygulaması panelin kalınlığının 2-4 katı kalınlıkta katman uygulanmasıyla olur.



Şekil 4.9 Sönümleyicilerin strüktürde tipik uygulamaları.
 (a) serbest katman, (b) çoklu sıkıştırılmış katmanlı,
 (c) çok katmanlı aralıklı, (d) sandöviç panel, (e) tepe sönümleyicisi,
 (f) rezonans kirişi sönümleyicisi (Crocker ve Kessler, 1982)

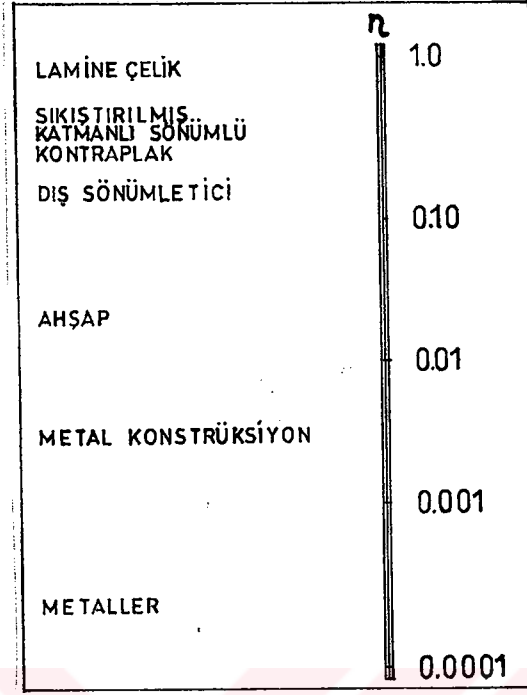
Sıkıştırılmış katmanlı uygulama, bir katman viskoelastik gerecin üzerine daha sert bir gereç veya iki metal levha katmanı arasına viskoelastik bir gereç konularak oluşturulur. Viskoelastik katman enerjiyi depolar ve öncelikle kesme deformasyonuna bağlı olarak sönümleme sağlar. Titreşimsel enerji kaybı viskoelastik gerecin çevrimsel deformasyonundan çıkan ısıya bağlıdır. En fazla sönüm orta kalınlıktaki katmanlarda elde edilir. İnce ve kalın katmanlarda bu miktar azalır.

Sönümlemenin etkili olması viskoelastik gerecin panele veya sıkıştırılmış katmana iyi bir şekilde ve sürekli bir şekilde bağlanmasıyla sağlanır. Viskoelastik gereç kendinden yapışkanlı değilse, ince bir katman sert yapıştırıcı, örneğin sert epoksi uygulanabilir.

İyi sonuç veren bir sönümleme uygulaması diğer tip uygulamada mekanizmanın neden olduğu farklı deformasyonlardan dolayı genellikle etkili olamamaktadır.

Sönümleme etkinliği genellikle, "damping oranı", "sönüm derecesi", "kritik damping yüzdesi" gibi boyutsuz sayılarla (η) ifade edilir (Şekil 4.10). Tüm gereçlerin biraz doğal sönümlemesi olduğu halde bu, çoğu metalde pratik bir belirginlik olmayacak kadar azdır. Yüksek sönümlenmeli olduğu düşünülen kurşunun bile yaklaşık 0,001 sönüm derecesi vardır.

Belirgin bir sönümlenme olması için kompozit sönüm derecesinin 0,05 veya daha üstünde olması gerekir.



Şekil 4.10 Çeşitli malzemelerin iç sönümlenme etkinliği (Harris, 1991)

Yüksek sönümlenmeli sentetik kauçukların bazı frekans ve sıcaklıklarda gereçsel sönümlenme derecesi 5 gibi yüksekken, gerçekte strüktürel sistemin kompozit sönüm derecesinin 0,5'ten fazla olduğu enderdir.

Sönümlenme derecesine bağlı olarak, kabaca sönümlenme katmanlı strüktürün kompozit sönümlenme derecesinin (η_c), her probleme göre değişmekle birlikte, 0,1 dolaylarında olması yeterlidir denebilir. η_c 'nin daha fazlası ağırlığın artmasına yol açacak, titreşim ve gürültüde az bir azalma sağlayacaktır.

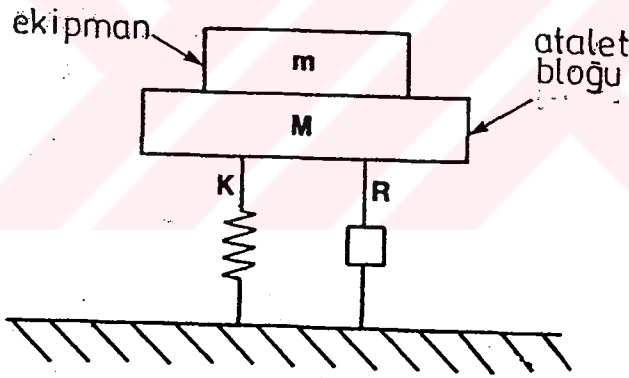
Her titreşim ve bunun sonucunda oluşan titreşim probleminde sönümlenme gerekip gerekmediği pratik olarak anlaşılabilir. Kurşun hariç tüm metaller titreşimle uyarıldıkları vakit uyarım frekansı ile rezonansa girerek doğal frekansında ses çıkartmaya başlar. Darbeler strüktürde ötmeye (çınlamaya) neden oluyorsa sönümlenmenin yetersiz olduğu açıkça söylenebilmektedir. Makine çalışırken darbeye maruz kalmıyorsa makineye vurarak, darbeleyerek rezonans titreşiminin neden olduğu çınlamayı dinlemek mevcut olan sönümlenme miktarı hakkında iyi bir ipucu verecektir (Crocker ve Kessler, 1982). Dolgun ses duyuluyorsa sönümlenme yüksektir, eğer strüktüre vurulduktan bir süre sonra çınılıyorsa düşüktür denilebilir.

4.1.2.2 Atalet bloğu kullanma

Kaynağa kütle eklenerek ağırlığını arttırma, mümkünse üzerine ağırlık konarak ya da kaynağı atalet bloğu üzerine yerleştirerek elde edilebilir. Örneğin 30 Hz'in üzerindeki frekanslarda, metal yüzeyli strüktürlerde titreşim azaltımı en basit olarak kütle eklenmesiyle elde edilebilir. Eklenen kütle titreşen strüktürün en az 2 katı olmalıdır (Harris, 1979). Endüstride yaygın olarak kullanılan kompresör, pompa gibi bazı titreşim kaynaklarının basit titreşim yalıtımları ile döşemeden yalıtılması genellikle sınırlı yarar sağlamaktadır. Böyle bir durumda, titreşim kaynağını atalet bloğunun üzerine oturtarak kütesinin arttırılması, kaynağın hareketini ve titreşim genliğini azaltmada uygulanan yöntemlerden biridir (Şekil 4.11)

Mekanik ekipman için taban görevi gören atalet bloğu, çoğunlukla titreşim yalıtıcı gereçlerle taşınır ve ekipmanın titreşim ve gürültü yalıtımının parçası haline gelir, titreşim yalıtım sistemi oluşturur.

Beton blok, makine bağlantısına ve titreşim yalıtımına izin verecek şekilde çelik kanallar veya başka yöntemlerle dökülebilir.



Şekil 4.11 Bir ekipmanın titreşimini azaltmaya yönelik atalet bloğu kullanımı (Crocker ve Kessler, 1982)

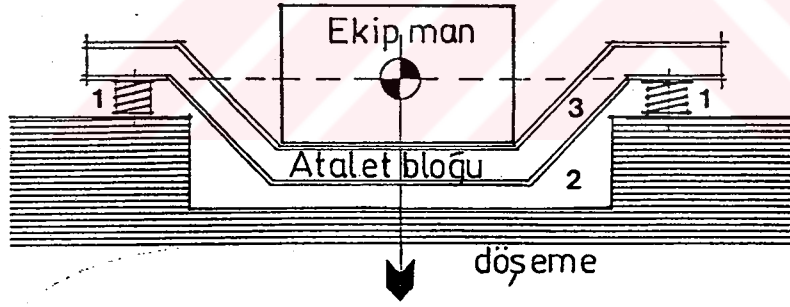
Bir atalet bloğunun ağırlığının, en az üzerine konacak olan ekipmanın ağırlığı kadar veya 2 katı kadar olması tercih edilir. Pistonlu makineler motorlar ve kompresörlerin yalıtımında ise 3-5 katı ağırlıkta atalet bloğuna ihtiyaç duyulmaktadır.

Jeneratör ve fan ihtiva eden bir motor gibi çok parçalı ekipmanın hepsinin birden ortak atalet bloğuna yerleştirilmesi önerilmektedir.

Normal olarak düşey kuvvetler ve bunların yalıtımı gürültü kontrolünde çok önemlidir çünkü makine temelinden gürültü yalıtımında çoğunlukla ilk sorumlu bu kuvvetlerdir (Crocker ve Kessler, 1982).

Atalet bloğu;

- Titreşimin genliğini azaltır. Üzerine konan ekipmanın 2 katı kadar ağırlıkta bir atalet bloğunu ele alırsak, ekipmanın ağırlığı m ise, atalet bloğunun ağırlığı $M=2m$ olacaktır. Sistemin toplam kütlesi $(m+M)$, 3 katına çıktığı için titreşimin genliği $1/3$ 'e düşecektir.
- Yalıtımlı sistemin ağırlık merkezini indirerek stabilitesini artırır. Ekipmanın ağırlık merkezi, yalıtıcılar ile aynı yatay planda olursa titreşimin düşey ve yatay rotasyonel modları ayırarak, düşey kuvvetin sallanma hareketi üretmesini engeller. Yalıtıcının sahip olabileceği eşit yatay ve düşey sertlik (iso-stiff) gibi ekstra bir özelliği de bu ayırmayı sağlar.
- Eşit yayılmamış ağırlık dağıtımını etkilerini en aza indirir.
- Etkin ile etkilenen nesnelere arasındaki diferansiyel hareketi engeller, reaksiyon hareketini azaltır.
- Sistemin (f_n) öz frekansını titreşim yalıtımıyla taşınan kütleyi artırarak azaltır. Yalıtıcı sertliğini azaltmak da (f_n) 'i azaltır ama bu durumda yüksek statik saptmadan kaynaklanan problemler oluşabilir.



Şekil 4.12 Atalet bloklulu bir sistemin ağırlık merkezinin düşürülmesi prensibi (Saunders ve Templeton, 1987)

Atalet bloğu;

- Gerekli yalıtımı sağlayacak olan yayın sertliğinin yanal hareketlere karşı sistemin stabilitesini sağlamadığı,
- Çeşitli mekanik bileşenlerin, örneğin motor ve dişli kutusunun iyi bir eşit düzlem gerektirdiği,
- Hoplama ve sallanma hareketinin yok edilmesi gerektiği, durumlarda kullanılır.

90 mm SS'dan fazla statik basınç veren veya 32 kV'dan büyük ve 8 kV'dan büyük taban montajlı fanlar için atalet bloğunun özellikle gereklidir (Templeton ve Sounders, 1987).

4.2 Gereç Seçimi

Titreşimlerin sönümlenmesi ve yalıtılması gibi iki ana konuyu kapsayan titreşim denetiminde, titreşimlerin etkin nesneden etkilenen nesneye geçişinin engellenmesi şeklinde ifade edilen titreşim yalıtımının odak noktasını oluşturan yalıtım gereçlerinin seçimi, mekanik sistemlerin **titreşim analizini** yapmayı gerektirmektedir. Yalıtımın pasif veya aktif olarak çift yönlü ele alınışı bu seçime yönelik ölçütlerde bir fark ortaya koymamaktadır.

Öte yandan, titreşim yalıtıcısı kullanmanın, titreşim enerjisinin zemine geçmesini engelleyerek bunun yol açtığı gürültüyü azaltacağı, ancak ekipmanın yaydığı sesi engellemeyeceği göz önünde bulundurularak, havada yayılan sesler açısından da gürültü denetiminin yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

4.2.1 Titreşim analizi

Mekanik sistemlerin titreşim analizini yapabilmek için, bu sistemlerin modeli çıkarılır. Bu şekilde bir modellemeye göre bir makine rijit bir kütle (m) kabul edilir. Bu, direkt olarak rijit bir döşemeye bağlı ise kütleyle uygulanan bütün periyodik kuvvet f_t , direkt olarak döşemeye geçer.

Uygulanan periyodik kuvvetin durduğu kabul edildiğinde, sistem denge durumundan hareket ettirilip, serbestçe titreşmesi sağlandığında meydana gelen salınım hareketi, bu sistemin öz frekansını (f_n) verir. Titreşen bir sistemin her bir serbestlik derecesinde ayrı birer öz frekans vardır. Bu sistemin öz frekansı (4.3) ile ifade edilir.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \text{Hz} \quad (4.3)$$

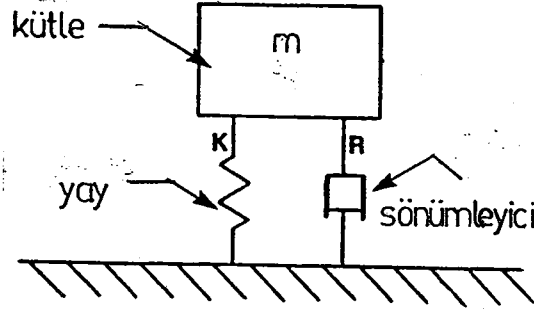
K=yay sertliği (N/m); m=rijit gövdenin kütlesi (kg)

Makine ile döşeme arasına titreşim yalıtıcısı konulduğunda, tek serbestlik dereceli sisteme örnek bir model elde etmiş oluruz. Bu ideal model; rijit bir kütle (m), yalnızca dikey yönde hareket etmeye zorlanmış kütleli bir yay (R) ve kütleli bir sönümleyiciden (K) oluşmuştur.

Böyle bir model kütle-yay sistemi oluşturmaktadır.

Titreşim literatüründe makineye uygulanan sönüm elemanları sönümleyici (damper) olarak bilinmektedir. Bununla birlikte mekanik enerjiyi dağıtan tüm mekanizmalarda bünyesel bir sönümlenme meydana gelir (iç sönüm). Asal mekanizmaya bakılmaksızın bu iç sönümü bir viskoz damper olarak kabul etmek uygun olur.

m kütlesi yay üzerine yerleştirildiğinde yayı bir miktar kısaltır. Bu şekilde üzerine bir yük binen yalıtım gerecinde meydana gelen azalma **statik boy değişimi** (static deflection) olarak adlandırılır.

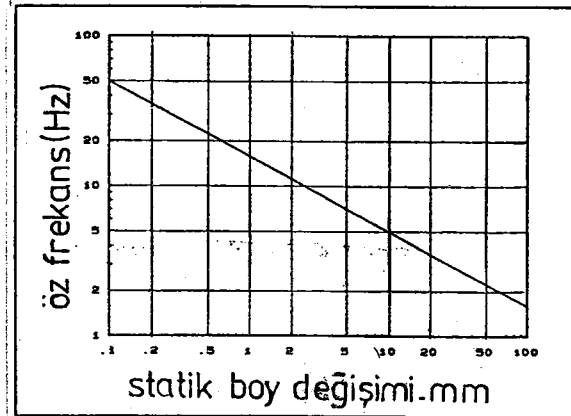


Şekil 4.13 Titreşim yalıtıcı-kütle-sönüm elemanından oluşan kütle-yay modeli (Crocker ve Kessler, 1982)

Çelik yay ve küçük sapsmalı yalıtıcılarda öz frekans f_n ile statik boy değişimi d arasında doğrusal ilişki vardır, f_n öz frekansı, (4.4)'ten hesaplanabilir.

$$f_n = 5\sqrt{d} \quad \text{Hz} \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliği, Şekil 4.14'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Statik boy değişiminin fonksiyonu olarak tek serbestlik dereceli sistemin öz frekansı (Saunders ve Templeton, 1987)

Çelik yaylarda kuvvet ile statik sapma arasında doğrusal ilişki varken, diğer yalıtıcılarda doğrusal olmayan bir ilişki vardır, bundan dolayı örneğin kauçuk türü gereçlerin sapması genelde çeliklerden 2 kat kadar büyük çıkmaktadır. Doğrusal olmayan yalıtıcıların öz frekanslarını hesaplamak için bazı düzeltme değerleri verilmiştir. Bu değerler Şekil (4.14)'deki d değerlerine eklenerek bu yalıtıcıların öz frekansları bulunabilir. Düzeltme değerleri kauçuk yalıtıcılar için 11-16; mantar için 18-50; keçe için 90-170 alınabilir (Maekawa, 1993).

Yalıtıcının etkililiği (η) **sönümlenme miktarı** (damping) ve **geçirgenliği** (transmisibilite) ile belirlenir:

Geçirgenlik (T), yalıtıcının hareket veya titreştirici kuvveti etkin nesneden etkilenen nesneye geçirme ya da azaltma yeteneğidir, etkililikle ters orantılıdır. Gerecin geçirgenliği azaldıkça etkililiği artar.

$$\eta = \% (1 - T_f) 100 = \text{etkililik} \quad (4.5)$$

Geçirgenlik kuvvetin, hızın veya ivmenin geçmesine bağlanabilir. Örneğin uyaran kuvvet f olduğunda, dökülmeye geçen kuvvet f_t farklı fazda olacaktır. Bu kuvvetlerin oranı, kuvvet geçirgenliği T_f olarak adlandırılır.

Sönümlenme, temel işlevi sistemin öz frekansında yalıtıcının geçirgenliğini sınırlandırmak olan bir enerji emme yöntemidir.

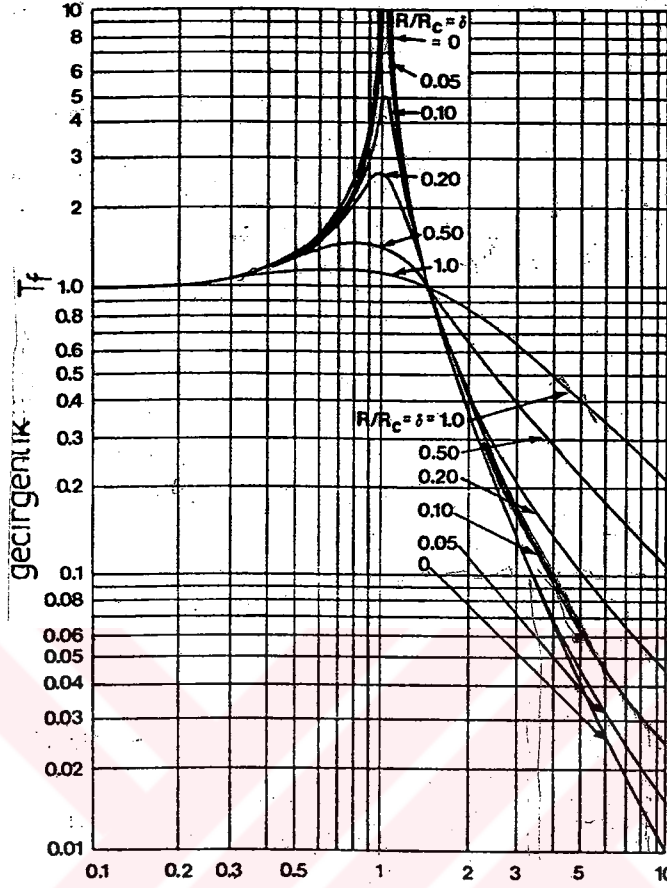
Sönümlenme oranı (R/R_c) değerleri 0 ile ∞ arasında değişebilmekte; bu değer 1'e eşit olduğunda sönüm, **kritik sönümlenme** olarak adlandırılmaktadır. Kritik sönümde, rezonanstaki belli bir sınır üstündeki titreşimleri önler. Titreşim yalıtım gereçlerinde bu oran 0,01-0,2 arasında değişmektedir.

Sistemin çalışma frekansının yalıtımlı sistemin öz frekansına oranı (f/f_n) ve sönümlenme oranına (R/R_c) bağlı olarak geçirgenlik (4.6)'dan hesaplanabilir.

$$T_F = \frac{f_t}{f_m} = \sqrt{\left\{ \frac{1 + 4(f/f_n)^2 (R/R_c)^2}{[1 - (f/f_n)^2 + 4(f/f_n)^2 (R/R_c)^2]} \right\}} \text{ Hz} \quad (4,6)$$

F =uyaran kuvvetin frekansı (Hz); f_n =yalıtımlı sistemin öz frekansı (Hz); R =sönümlenme katsayısı, R_c =kritik sönümlenme katsayısı

Sistemin uyarın frekansının yalıtımlı sistemin öz frekansına oranı (f/f_n) ve sönümlenme (R/R_c)'ye bağlı olarak (4.6)'dan hesaplanan geçirgenlik Şekil 4.15'te grafik olarak gösterilmiştir.



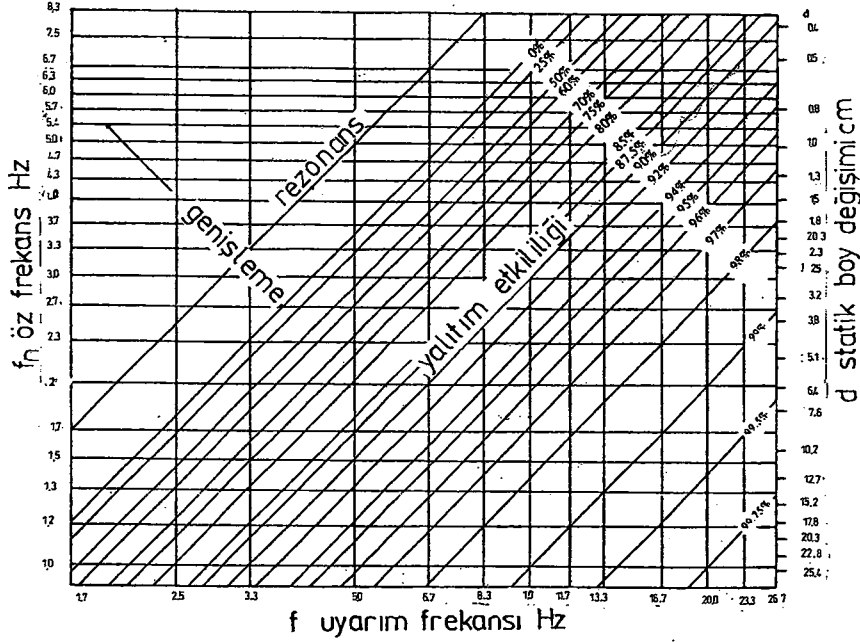
Şekil 4.15 f/f_n oranına göre geçirgenlik (Cocker ve Kessler, 1982)

Şekil 4.15'te makinenin öz frekansında (f_n) çalıştırılması halinde, $f/f_n=1$ olduğu ve dolayısıyla döşemeye geçen kuvvet genliğinin, özellikle yalıtıcının sönümlenmesi (R/R_c) düşükse çok yüksek olduğu görülür.

Makine, doğal frekansının altında çalıştırılırsa geçen kuvvet azalacaktır.

Döşemeye geçen kuvvetin genliği, sönümlenme oranının yüksekliğiyle artacaktır. Örneğin 120 Hz'de titreşen bir elektrik motorunu yalıtılmak gerektiğinde, sistemin öz frekansı 12 Hz olacak bir yalıtıcı seçilirse, $f/f_n=10$ olacaktır. Seçilen yalıtıcıya bağlı olarak $R/R_c=0,1$ ise, kuvvet geçirgenliğinin 0,025 veya %2,5 olduğu görülür (Şekil 4.15). Yalıtıcının etkililiği (4.5) denkleminde %97.5 bulunur.

Yalıtıcının sönümlenmesi azsa veya bağıl olarak yoksa, $R/R_c=0$ kabul edilerek yalıtıcının etkililiğini ve en düşük frekansı belirlemede kullanılmak üzere statik sapma Şekil 4.16'dan elde edilebilir.



Şekil 4.16 Basit, sönmüksüz sistem için, sistemin etkin frekans, kuvvet geçirgenliği ve boy değıştirme doğal frekans arasındaki ilişki grafiği (Cocker ve Kessler, 1982)

Basit problemler için yalıtımın etkililiğine dair, f/f_n 'e göre pratik kullanıma yönelik çizelge oluşturulmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Etkin frekansın, öz frekansa oranını temel alan yaklaşık titreşim yalıtım dereceleri (Harris, 1979)

f/f_n	Titreşim yalıtım derecesi
1,4'ün altında	Genlikte artış
1,4 - 3	Etkisiz
3 - 6	düşük
6 - 10	Orta
10'un üstü	Yüksek

Durum değeriendirme yapılırken, gerçek sistemlerin daha karmaşık olduğu ve birden fazla frekansta titreştikleri dikkate alınarak, inceleme en etkin frekansa göre yapılmalıdır.

Alçak frekanslı titreşim problemlerinde etkin frekans (f) olarak çoğunlukla en düşük frekans alınır. Yüksek frekanslı ses yayan problemlerde ise $f=250$ Hz kabul edilebilir. Doğal frekans f_n , (4.4)'ten bulunabilir.

Aynı makinede birden fazla yönden titreşim varsa (sallanma hareketinde olduğu gibi) strüktüre değerek gürültüye yol açan yöndeki titreşime yönelik yalıtım yapılmalıdır.

Düsey olmayan titreşimler, düsey titreşim için düşünülen düzenlemeler ekipmanın konumuna uyarlanarak uygulanmalıdır.

4.2.2 Uygun gereç seçimine yönelik ölçütler

Titreşim yalıtımının aktif veya pasif uygulanması, yani problemlerin çift yönlü ele alınışı, kullanılan titreşim gereçlerinin seçimine yönelik ölçütlerde bir fark ortaya koymamaktadır.

Titreşim yalıtıcısı seçimindeki amaç; stabilite, statik sapma ve titreşim genliğinin pratik şartları için olabilecek en fazla etkililiği sağlayacak en uygun yalıtıcı seçilmesidir. Etkililik değeri (η)'nın %90 üzerinde olması yeterli olmaktadır. Yalıtım etkililiğinin en az olma durumu için tam bir ölçüt yoktur.

Gereç seçilirken üzerinde önemle durulması gereken nokta; gereç ile döşeme ve yalıtımlı sistem ile döşeme arasında rezonans oluşmaması için, gerekli doğal frekansı sağlayabilecek statik sapması olan uygun gerecin seçimidir. f uyarım frekansının, yalıtımlı sistemin öz frekansıyla (f_n) rastlaştığında meydana gelen rezonans durumunda, strükture geçen kuvvet teorik olarak sonsuzdur. Gerecin sönüm direnci bu durumu azaltır.

Enerji dağıtma özelliği olarak ifade edilen **sönümlenme** (damping), yalıtıcı gereçle olması gereken iki önemli özellikten biridir; miktarı gerece göre değişmektedir. Yalıtıcı gereçte olması gereken bir diğer özellik ise gerecin esnekliğini ve yük taşıma özelliğini belirleyen **sertlik** (stiffness)'dir. Elastomer, elastomerik köpük, cam yünü panel, tel yumak, tel kablo gibi bazı yalıtıcı türlerinde sönümlenme ve sertlik fonksiyonları tek bir elemanla (gerecin kendisiyle) sağlanırken; yay türü yalıtıcılarda, iç sönümlenme genelde bağıl olarak yetersiz olduğundan sönümlenme ve sertlik fonksiyonlarını bir arada sağlamak için, bu tür yalıtıcı gereçler çeşitli sönümlenme türleri ile birlikte kullanılır.

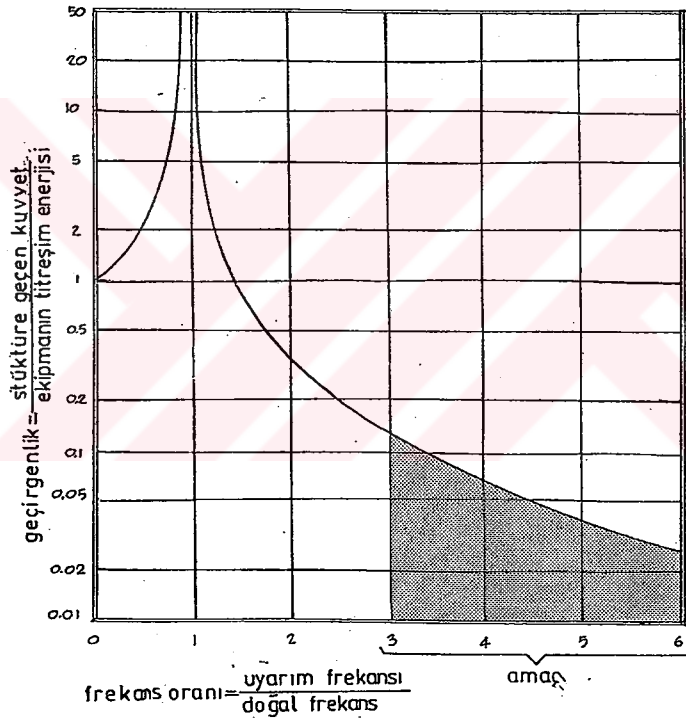
Yalıtıcı gerecin sertliğinin, üzerine gelen F uyarım frekansında titreşen m kütesinin yükünü esnekliğini kaybetmeden taşıyabilmesi için sertliğinin, (4.7) eşitliğini, sağlaması gerekmektedir.

$$k < 10 m f^2 \quad (4.7)$$

k (N/m); m (kg); f (Hz)

Bazı basit problemler için, (4.7) kullanılarak pratik sonuçlar elde edilebilir: Örneğin, iki yönde titreşen bir makinenin döşemede gürültüye yol açan sadece düşey hareketi kontrol edilecekse, bu değeri sağlayacak bir yalıtım gereci seçmekle dikkate değer bir titreşim azaltımı elde edilebilir.

Sistemin etkin frekansının, yalıtıcı gerecin doğal frekansının $\sqrt{2}$ katından küçük olduğu durumlarda ($F < \sqrt{2} \cdot f_n$), yalıtıcı etkili değildir; büyük olduğu durumlarda etkilidir. Yapılan titreşim analizinde, yalıtıcıdan döşemeye geçen kuvvetin büyüklüğünü azaltmak için, etkin frekansın, doğal frekansa (f/f_n) oranının $\sqrt{2}$ 'den çok daha büyük, en az 4 katı olacak şekilde doğal frekans seçilmelidir. Konuyla ilgili olarak, gereç seçiminde amacı pratik olarak belirleyebilmek üzere, Şekil 4.15'te yer alan fonksiyon grafiği kullanılarak hedef bölgesi belirlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Gereki yalıtımı sağlamada dikkate alınacak hedef bölgesi (Egan, 1975)

Yalıtıcı gerecin öz frekansı, döşeme rezonansına kesinlikle yakın olmamalıdır. Döşeme açıklığı arttığında, sapması da arttığı için büyük açıklıklı döşemede kullanılan gerecin öz frekansının büyük olması gerekir. Çizelge 4.2, açıklığı 6-15 m arasında değişen, çeşitli beton döşemelerin üzerinde değişik hızlarda çalışan, değişik mekanik oda ekipmanları için tavsiye edilen yalıtıcı statik sapma değerlerini cm olarak vermiştir.

Yalıtıcı seçimi için literatürde bahsedilen ölçütler, öncelik sırasını çoğunlukla titreşimle alakası olmayan ölçütlere bırakmaktadır.

- yalıtıcının ısı, nem, fuel buharı, çeşitli kimyasallar gibi karşılaşabileceği fiziksel çevre şartlarına uygun olması,
- yanal stabilitesinin (lateral stability) üzerine gelen yükün altında bozulmayacak nitelikte olması,
- maliyeti,
- aşınmaya dayanımı,
- kesmeye dayanımı,
- uygulama kolaylığı

gibi ölçütler bu duruma örnek olarak verilebilir.

Çizelge 4.2 Açıklığı değişken çeşitli beton döşemelerin üzerinde değişik hızlarda çalışan değişik ekipmanlar için tavsiye edilen statik boy değişimi değerleri (Crocker ve Kessler, 1982)

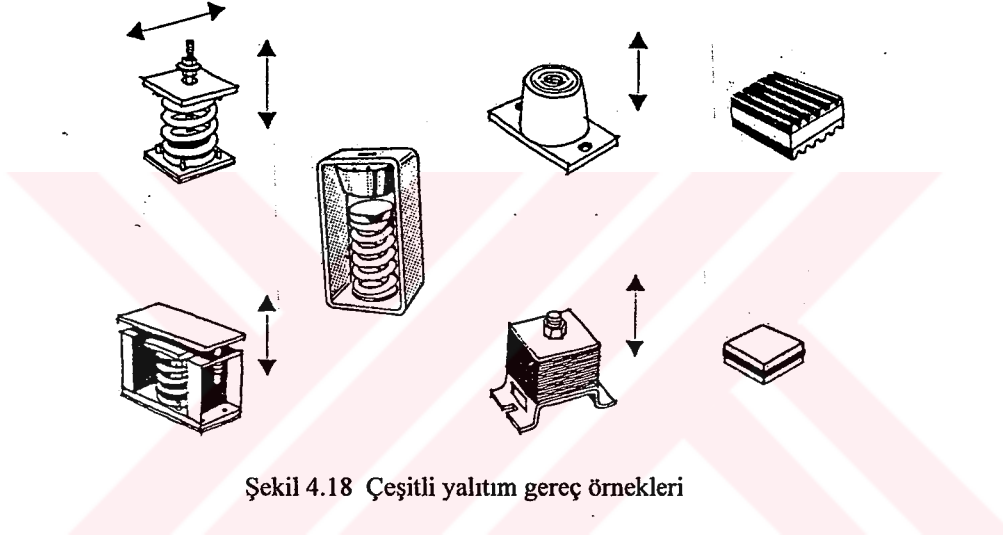
Ekipman tipi		Kritik olmayan		Kritik yerleşimler		
		Bodrum kat	6 m Döşeme açıklığı	9 m Döşeme açıklığı	12 m Döşeme açıklığı	15 m Döşeme açıklığı
Santrifüj Fanlar ve Yüksek Basıncılı Paket Birimler						
Döşemeye yerleştirilen birimler	20 hp'ye kadar 175-300 r/dak	0.89	6.35	6.35	8.89	12.7
	301-500 r/ dak	0.89	4.45	4.45	6.35	8.89
	500 r/dak üstü	0.89	2.54	2.54	4.45	6.35
	20 hp'den büyük 175-300 r/dak	0.89	6.35	6.35	12.7	13.97
	301-500 r/ dak	0.89	4.45	4.45	8.89	12.7
	500 r/dak üstü	0.89	2.54	2.54	6.35	8.89
Havalandırma Setleri ve Alçak Basıncılı Paket Birimler						
Asılı birimler	5 hp'ye kadar	1.91	2.54	2.54	2.54	2.54
	5 hp'den büyük 175-500 r/dak	3.18	3.18	3.18	4.45	6.35
	500 r/dak üstü	2.54	2.54	2.54	3.18	4.32
Döşemeye montajlı birimler	5 hp'ye kadar	0.80	2.54	2.54	2.54	2.54
	5 hp'den büyük 175-500 r/dak	0.89	4.45	4.45	4.45	6.35
	500 r/dak üstü	0.89	2.54	2.54	3.81	4.32
Pompalar						
Boruya montajlı	5 hp'ye kadar	0.89	0.89	2.54	2.54	2.54
	5 hp'den büyük	1.91	2.54	3.81	6.35	6.35
Zemine montajlı	---	---	---	---	---	---
Soğutma Makineleri ve Boylerler						
Pistonlu hava veya soğutma kompresörü	500-750 r/dak	2.54	3.81	6.35	6.99	8.89
	750 r/dak üstü	2.54	2.54	3.81	6.35	6.86
Pistonlu çiller veya ısı pompaları	500-750 r/dak	2.54	2.54	6.35	6.99	8.89
	750 r/dak üstü	2.54	2.54	3.81	6.35	6.86
Paket boyler ünitesi	---	0.64	0.64	2.54	4.45	6.86

4.2.3 Denetimde kullanılabilirler gereçler

Bölüm 4.1’de bahsedilen yalıtım sistemlerinden “Etkin ve etkilenen nesnelere arasında esnek geçiş koyma” yöntemi ile yapılan titreşim yalıtımında kullanılan gereçler;

- Çelik esaslı gereçler,
- Şekli elastomerler,
- Yalıtım pedleri,
- Pnömatik düzenekler,

şeklinde dört gruba ayrılarak incelenebilir.



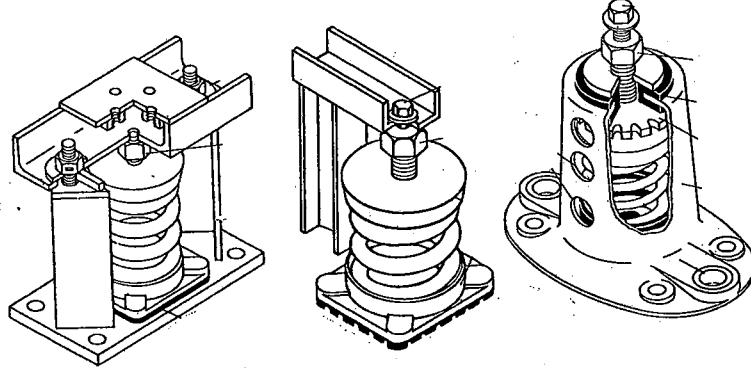
Şekil 4.18 Çeşitli yalıtım gereç örnekleri

4.2.3.1 Çelik esaslı gereçler

Çelik esaslı gereçler; helezonik sarmal yay, makas yay /Belleville yayları), tel yumak, tel kablo gibi çeşitli şekillerde olabilmektedir. Endüstride titreşim yalıtımında sıklıkla helezonik sarmal yaylar kullanılmaktadır. Makas yaylar ise daha çok otomotiv sektöründe kullanım alanı bulmaktadır.

Yaylar, gerekli sertlik ve statik sapmayı elde etmede tasarım esnekliği sağlamaktadır. Özellikle fazla yükün söz konusu olduğu ya da hassas aletlerin bulunduğu tabandan titreşim geçişini engelleyecek uygulamalarda (pasif yalıtım), yayların kullanılması kaçınılmazdır.

Yaylar ile büyük statik boy değişimi elde edilebildiği için genelde, öncelikle alçak frekanslı (5-60 Hz) titreşimlerin yalıtımı için kullanılmaktadır.



Şekil 4.19 Çeşitli sarmal yay yalıtıcı örnekleri (Mason, Inc.)

Kimyasal maddelere, aşırı ısı değişimlerine, su ve yağın sebep olduğu korozyona karşı dayanıklı olduğu için yayın kullanımı özellikle fiziksel şartların uygun olmadığı yerlerde tercih edilmektedir.

Performansları önceden kesin olarak belirlenebildiği için deneme yapılmadan kullanma olanağı verir.

Yaylar, çubuk helazonik sarmal, şerit helazonik sarmal ve eğimli şerit (makas) yaylar şeklinde imal edilebilir. Titreşim yalıtımında büyük çoğunlukla çubuk helazonik sarmal kullanılmaktadır. Makas yay ise daha çoğunlukla otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Sarmal yaylar değişik kullanılış yeri ve amacına uygun olarak konstrüksiyon bakımından imalatları her firmaya göre farklılık gösteren değişik tiplerde imal edilmektedir.

Sarmal yaylar ekipmanın çalışmaya başladığı ve durduğu anda oluşan rezonanstaki titreşimsel genliği azaltmak için gerekli olan iç sönüme sahip değildir. Bu da rezonansta geçirgenliğin olmasına ve dolayısı ile yalıtımın azalmasına yol açar.

Bu durumu ortadan kaldırmak için yaya çeşitli şekillerde sönümleyici eklenebilir. Viskoz sönümleyici, kuru sürtünme damperi bunlara örnek olarak verilebilir.

Şerit yaylarda, yaylar arası sürtünme de sönümleyici görevi görmektedir. Yüksek sıcaklık ve diğer çevresel faktörlerden dolayı metal yalıtıcıların tercih edildiği uygulamalarda yaylara **tel yumak** uygulanarak da sönümleyici eklenebilir.

Yayların strüktüre ya da oturduğu tabana temas etmesiyle meydana gelen yüksek frekanslı gürültünün önlenmesi amacıyla, yaylar elastomerik tabana oturtulur ya da bir veya iki tarafına pedler yerleştirilebilir. Bu pedler kaymaz yüzey oluşturup, yayın döşemeye bağlanması gereksinimini ortadan kaldıracak için avantaj sağlar.

Yayların seçimi, çekmeye çalışırken aşırı sapma anlamında yük taşıma kapasitesinin; basınca çalışırken yanal stabilitesinin, sağlanıp sağlanmayacağını belirlenmesini gerektirir.

Yayları çekmeye çalıştırabilmekle birlikte, basınca çalıştırmak daha uygundur.

Basınca çalışan ve serbest duran yayların çapının, yayın yük altında bükülmemesi için yeterli büyüklükte olması gerekir. Yük altında bükülmeyi önleyecek minimum sarmal çapı Çizelge 4.3'te verilmiştir. Yer sınırlarının burada öngörülen genişlikteki çapı kullanmaya yeterli olmadığı durumlarda yayın yuvaya (stabilizing housing) yerleştirilmesi gereklidir.

Çizelge 4.3 Serbest duran basınca çalışan çelik sarmal yaylar için burkulmayı önlemeye yönelik minimum çap değerleri (Harris, 1979)

Minimum sarmal yay çapı, cm		Ağırlık, kg		
		350'ye kadar	350-1150 arası	1150-2700 arası
Statik boy değişimi, cm	3'e kadar	7.0	10.	12.5
	3-5 arası	12.5	12.5	18.0
	5-7.5 arası	15.0	18.0	21.5
	7.5-10 arası	21.5	21.5	25.5
	10 ve üzeri	25.5	25.5	30.5

Yayın yük altındaki stabilitesini koruması (4.8)'i sağlamasına bağlıdır:

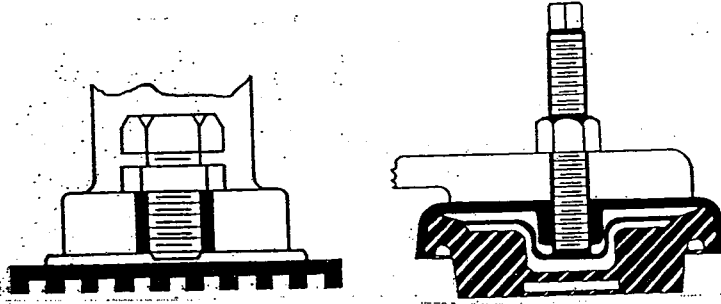
$$\frac{k_x}{k_y} \geq 1.20 \quad (4.8)$$

k_x, k_y = yayın yatay/düşey doğrultudaki sertliği

4.2.3.2 Şekilli elastomerler

Şekilli elastomerler, doğal ve sentetik kauçuk, neopren, bütül, silikon gibi titreşim yalıtımı için uygun nitelikli gereçler ve bunların kombinasyonları ile ihtiyaca yönelik şekil, büyüklük ve detayda oluşturulan gereçlerdir.

Elastomerler, çeşitli yönlerde sertlik sağlayabilecek çeşitli formlarda, istenen sönüm derecesine sahip ve yanal stabiliteyi sağlayabilecek nitelikte tasarlanabilir.



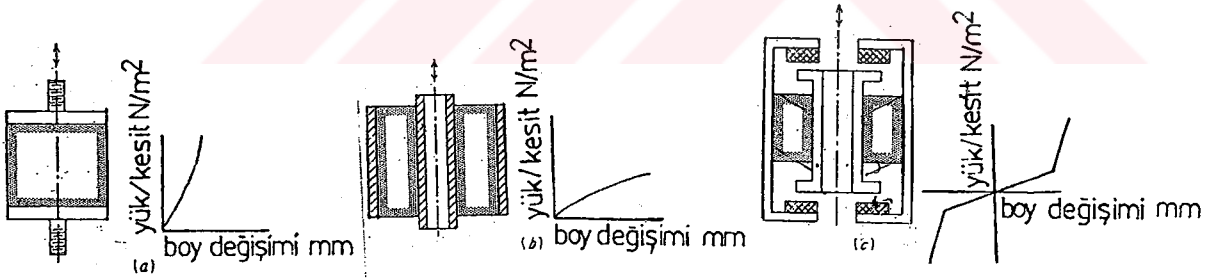
Şekil 4.20 Tipik elastomerik yalıtıcı örnekler (Crocker ve Kessler, 1982)

Özellikle yüksek frekansları söndürmeye uygun olduklarından, titreşim yalıtımında orta ve yüksek hızdaki ekipmanlarda daha çok kullanılır.

Şok enerjisi birim ağırlık başına diğer yalıtım gereçlerine göre daha büyük miktarda emdikleri için, şok yalıtımı çözümünde de bazı avantajlar sağlarlar.

Hafif ve orta ağırlıktaki makineler için ekonomiktirler. Daha ağır makineler için maliyetleri çelik yay yalıtıcıların maliyetine yaklaşır.

Hafif ve kuvvetli gereçlerdir ancak ömürleri kısadır; asit, yağ ve diğer korozif gereçlerden etkilenirler, sertlikleri ısıya bağlı olarak değişmektedir, fazla yük ve özellikle yüksek ısı altında yavaş yavaş ama sürekli bozulurlar. Kesme, gerilme ve basınca çalışan kauçukların yüke bağlı olarak sapma oranları Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 Basınca, kesmeye ve kesme-basınca çalışan bazı kauçuk yalıtım gereçleri ve yük-boy değişimi eğrileri (Beranek, 1971)

Doğal kauçuktan yapılmış gereçler (lastik türleri) özellikle 2 Hz’in üzerindeki frekanslarda iyi titreşim yalıtımı sağlarlar, düşük frekanslarda şok yalıtımı için uygundur. 10°C-65°C arası orta ısılarında iyi sonuç vermelerine rağmen kısa ömürlüdürler. Asit veya alkaliden etkilenmemekle birlikte, hidrokarbon gibi bazı sentetik kimyasallara, ozona ve yüksek ısıya dayanıklı değildir. Hafif ve orta ağırlıklı makinelerde kullanımı ekonomiktir.

Neopren ve diğer sentetik kauçuklar, kimyasallar, ozon ve yüksek ısıya doğal kauçuğa oranla daha dayanıklıdır. Örneğin neopren -18°C – 90°C arasındaki, silikon ise -75°C – 200°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilir. Ayrıca silikon kimyasal etkileşime girmemektedir.

Elastomerler en verimli olarak kesmeye çalışırlar ve özellikle bu durumda 10 Hz gibi düşük frekans uyarımlı sistemlerin yalıtımında kullanılırlar. Basınca da çalışırlar, basınca çalışan kauçuk yüksek enerji depolama kapasitesi ve ağır yük gerektiren uygulamalarda bozulmaksızın kullanılabilir. Basınca çalışan kauçuğun ömrü kesmeye çalışan kauçuğa göre daha azdır.

Kauçuğun hacim sıkışabilirliği çok düşük olduğu için basınç altında yanal genişleme yapacağından, uygulamada bu yanal genişleme için yer ayırmadıkça, basınca çalışan çelik yaylar kadar iyi sonuç vermez. Bunun için kauçuğun tasarımında formu özellikle dikkate alınmalıdır.

Elastomerlerin elastikiyet modülü ekseriya “dürometre sayısı” ile ifade edilir, sayının yükselmesi sertliğin arttığı anlamına gelir. Kauçuklar için bu sayı genel olarak 30-80 arasında değişmektedir.

4.2.3.3 Yalıtım pedleri

Yalıtım pedleri; kauçuk, neopren silikon, elastomerik köpük, cam yünü levha, keçe, mantar gibi gereçlerin çeşitli sertlik ve kalınlıkta, homojen gereksinimlere yönelik olarak heterojen bir yapıda levha haline getirilmesiyle oluşan yalıtım gereçleridir.

Pedler, kalınlığı olan düzlemsel şekilli gereçlerdir. Genel kullanım olarak pedler, özellikle basit mekanik önlemlerde küçük bir titreşim problemi veya diğer kritik olmayan uygulamalar için pedin strüktür veya makineye civata ile bağlanması ihtiyacını yok etmek üzere kullanılır.

Elastomerler çeşitli şekillerin yanısıra ped olarak da imal edildiklerinde aynı özellikleri korurlar.

Elastomerik pedlere kayma problemini ortadan kaldıracak civata bağlantısını gerektirmeyecek özel yüzölçümü ve dokuları verilebilir (gofret yüzeyi gibi kabartmalı). Bu kabartmalar, ilaveten yanal/düşey sertlik oranını kontrol eder ve gerecin, bastırılan ağır yük

altında genişlemesine izin verir. Bu kabartmaların meydana getirdiği cepler tespit yüzeyi altına yağ, talaş veya yabancı maddelerin girmesine engel olurlar. Bu pedler, fazla statik sapma gerektiğinde, birden fazla sayıda kullanılarak demet haline getirilebilir. Toplam sapma, tek pedin sapmasından ped sayısı kadar katıdır.

Kauçuk takviyeli sert pedler, pamuk dokuma bezin katman katman doğal veya sentetik kauçuk ile emprenye edilmesiyle oluşturulur. Son derece sert ürünlerdir ve satıhta yataylık ve düzgünlüğün elde edilmesinin şart olduğu durumlarda kullanılır. Tipik uygulama alanları arasında şahmerdan örsü tabanı, köprü kirişleri taşıyıcı pedleri, vinç rayı yatakları sayılabilir.

Keçe pedler, hafif ağırlıklı sistemlerin dışında kullanılamaz. Titreşimlerin aşırı olmadığı durumlarda makine ile tabanı arasına bağlantı gerektirmez. Genelde makinenin sabitlenmemesi ve makinenin hareket veya sıçramasının kontrol edilmesi gerektiği durumlarda kullanılması tavsiye edilir. Özellikle tekstil makinelerinde geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. Keçenin sönüm faktörünün büyük olmasından dolayı özellikle rezonansa titreşim genliğini azaltmada kullanışlıdır.

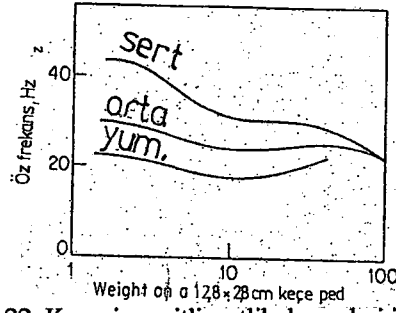
Basınca yüklenmiş keçe pedlerin rezonans eğilimleri sönüm ve sertlik özelliklerinin doğrusal olmadığını gösterir.

Belli bir standartta üretilmediği için, gereç özelliklerini değerlendirmeye yönelik verileri yoktur, ancak sertliğini belirlemede “yumuşak-orta ve sert” şeklinde derecelendirilebilir.

Çoğu durumda da, titreşimin geçişinin azaltılmasında 40 Hz'in üzerindeki frekanslarda etkilidir.

keçe pedin etkililiğinin artışı, kalınlığının artışı ile doğru orantılı değildir ve titreşim genliği arttıkça sertlikte azalma olur.

Keçe pedin üzerine monte edilmiş bir kütlenin doğal frekansı, üzerindeki statik yük veya keçenin alanından çok keçenin kalınlığı ile belirlenir.



Şekil 4.22 Keçenin çeşitli sertlik dereceleri için basınç öz frekans ilişkisi (Beranek, 1971)

Keçe titreşim gereci olarak kullanıldığında, en büyük yalıtım etkililiği strüktürel stabilitesini kaybetmeden ve aşırı basınç olmaksızın karşı koyabileceği bir statik yük altında, en yumuşak keçe ile, maksimum kalınlıkta, mümkün olan en küçük alan kullanılarak elde edilir.

Genel kullanımlar için 1-2,5 cm arası kalınlıktaki keçe tabanların eğer makinenin yatağı düzgünse, toplam taban alanının %5' oranında toplam taban alanını sağlaması gerekmektedir.

Sonuçta, keçe pedlerin titreşim kontrolünden ziyade, katıda doğan seslerin geçişinin engellenmesi gayesi ile kullanılması daha doğrudur.

Mantar pedler, doğal mantar granüllerinin bir bağlayıcı ile veya bir katkı maddesi olmaksızın buharla preslenip istenilen yoğunlukta kalıplanmasıyla elde edilen elastik plakalardır.

Doğal mantar titreşim yalıtımında kullanılan en eski gereçlerden biridir. Yapısal niteliğinin sabit ve homojen olmaması ve yüksek miktarda ses gücü seviyesi azaltımı özelliğinden dolayı statik deformasyonundan doğal frekansını, dolayısı ile yalıtıma yönelik tasarım özelliklerini elde etmek zordur.

Yağ, su ve orta derecede ısının mantarın çalışma özelliklerine etkisi azdır. -18°C ile 90°C arası sıcaklık değişimlerinden etkilenmez. Neme ve petrol ürünlerine dayanıklı olduğu halde kuvvetli alkali solüsyonlarına maruz kalması ve devamlı rutubetlenme ile kuruma durumlarında çürürler. Doğru bir uygulama ile ömürleri 25 yıl faydalı kullanılacak kadar uzun tutulabilir.

Mantarın ömrü oda sıcaklığında onar senelik birimlerle ölçülürken, 90°C gibi yüksek ısılarda bu birim senenin bölümleri ile ifade edilmeye başlanır.

Yapısal olarak büyük sapma göstermediğinden dolayı doğal frekansı 10 Hz'den aşağı olmaz. Bu özelliği mantarın titreşim kontrolünden çok katıda doğan sesin geçişinin engellenmesine yönelik kullanılmasının daha uygun olduğunu ortaya koyar.

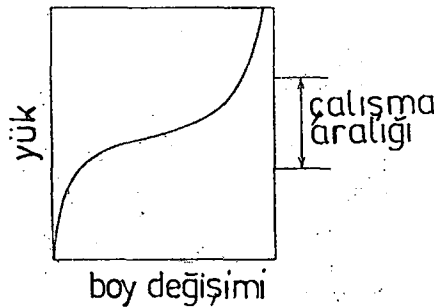
Ömürlerinin uzunluğu da gözönüne alınarak yüzer döşeme ve yalıtılmış beton temellerde kullanılması uygundur. 30 Hz'e kadar olan frekanslarda makinenin altına da yerleştirilerek dönme ve gidip gelme hareketi yapan makinelerin meydana getirdiği ses ve titreşimlerin geçişini önleyebilir.

Mantar pedler değişik kalınlık ve yoğunlukta imal edilirler. Hafif yoğunluklu mantarlar hiç bir zaman temele yerleştirilmemeli, gerektiğinde temellerin yan boşluklarına yerleştirilmelidir. Makinenin yatayda dengesiz kuvvetler ürettiği durumlarda, yan boşluklara standart veya ağır yoğunlukta mantar pedler yerleştirilmelidir.

Mantar basınca veya basınç/kesme kombinasyonuna çalışır. Basınca çalışan kauçuk türü gereçlerin tersine, ağır yük altında mantar, bakır ile aynı tip basınç gerilimi eğrileri göstererek, daha az sert hale gelir.

Mantarın dinamik özellikleri frekanstan çok bağımsızdır. Büyük statik sapsmalar göstermediğinden dolayı, gerekli sapsmayı elde etmek için büyük kalınlıklar gerekir. Bunun için mantar, birçok katmanlardan oluşan 2-15 cm arası kalınlıkta tabakalar halinde kullanılır.

Uygulanan bir yük altında mantarın zamanla sıkışma eğilimi vardır ve bağıl olarak mantarın 0,5-1,5 kg/cm² arası büyüklükteki basınçlarda optimum performans sağladığı söylenebilir. Bu durumu Şekil 4.23'te genel özelliği olarak görmek mümkündür.



Şekil 4.23 Mantar pedlerin yük-boy değişimi eğrisi (Beranek, 1971)

Mantar pedler değişik kalınlık ve yoğunlukta imal edilirler. Hafif yoğunluklu mantarlar hiç bir zaman temele yerleştirilmemeli, gerektiğinde temellerin yan boşluklarına

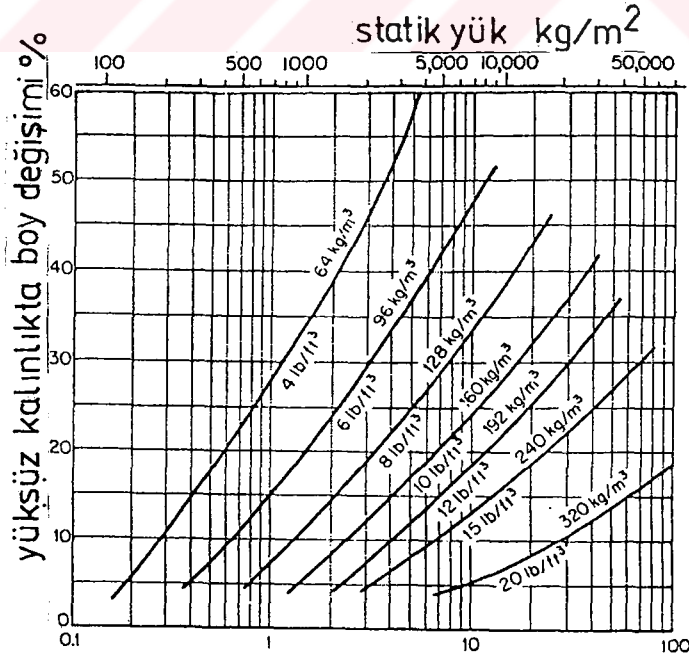
yerleştirilmelidir. Makinenin yatayda dengesiz kuvvetler ürettiği durumlarda yan boşluklara standart veya yüksek yoğunlukta mantar pedler yerleştirilmelidir.

Camyünü pedler tipik olarak az miktarda bağlayıcı ile biraraya getirilmiş çok sayıda ince liften meydana gelir. Lif çapı ve sayısının artmasıyla gercin sertliği de artmaktadır. Bu pedler farklı yoğunlukta ve çeşitli lif çapına sahip olarak üretilmektedir.

Daha önce hiç kullanılmamış cam yünü ped veya levhanın üzerine titreşimli bir yük konduğunda ped, titreşimin ilk 10-100 çevriminde sıkışıp sertleşme eğilimi gösterir, bundan başka sertleşme ve kalınlık azalması olmaz. Bu özelliği dikkate alınarak cam yünü pedler, bazı firmalarca piyasaya, ön sıkıştırma işleminden geçirildikten sonra sabit sertlikli olarak verilmektedir.

Cam yünü pedler çoğunlukla yoğunlukları ile ifade ediliyorsa da, çeşitli üreticilerden elde edilen, aynı nominal yoğunlukta pedlerin sertlikleri, liflerinin çaplarına bağlı olarak farklı olabilmektedir.

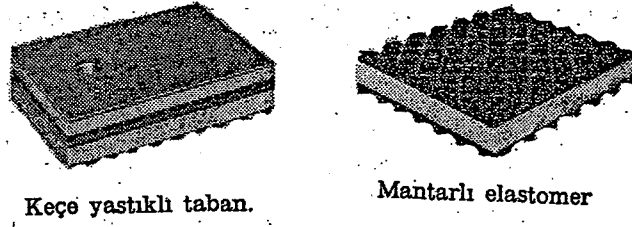
Isı yalıtımı için kullanılan pedler ile titreşim yalıtımı için kullanılan pedlerin sertlikleri çok farklıdır. Şekil 4.24, bir üretici firmadan elde edilen, titreşim yalıtımı için kullanılan cam yünü pedin sapma karşılığı yük özelliklerini göstermektedir.



Şekil 4.24 Camyünü döşeme yalıtım tabakasının statik yük-boy değişimi eğrileri (Beranek, 1971)

Cam yünü ya da başka lifli gereçlerle oluşturulmuş pedler büyük alanlarda birbirine yakın yerleştirildiğinde, araya hapsolmuş hava yalıtım sisteminin sertliğini belirgin olarak artırır, bunu önlemek amacıyla etkili havalandırma yolları gereklidir. Cam yünü gözenekli bir gereç olduğu için, nem ve çeşitli sıvıları emmesini önlemek amacıyla, bazı üretici firmalarca yüzeyi yalıtılarak, çoğunlukla plastik kaplanarak piyasaya sürülür.

Sandöviç pedler çeşitli yalıtım gereçlerinin kombinasyonundan oluşur. İki sert gerecin arasında daha yumuşak bir gereç yerleştirilerek elde edilir. Basit problemlerde, rezonans oluşumunu önleyerek yalıtım elde etmede tercih edilirler (Şekil 4.25).

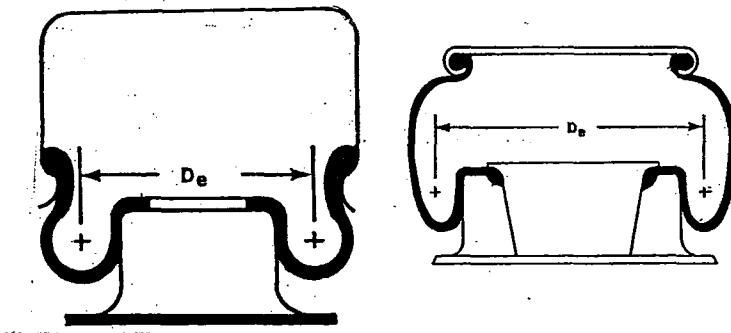


Şekil 4.25 Sandöviç ped örnekleri

4.2.3.4 Pnömatik düzenekler

Pnömatik titreşim yalıtımı düzenekleri, genelde metal montaj plakaları ile basınçlı havayı ihtiva edecek taşıyacak şekilde güçlendirilmiş lastik yastık gibi yardımcı elemanlar ve yalıtımın esas elemanı hava ile oluşturulurlar.

Pnömatik düzenekler, altında ve üstünde montaj tabakası bulunan hava doldurulmuş, takviyeli kauçuk körüklerdir.



Şekil 4.26 Tipik pnömatik yalıtıcı örnekleri (Crocker ve Kessler, 1982)

Bu tür yalıtıcılarda hemen hemen tüm yük, asal fonksiyonu havayı tutmak olan yan duvarlarla değil, hava kolonu ile taşınır. Kullanılan kauçuk ve içerdiği hava, destek ve esneklik sağlayarak hareket ve basınca hassasiyeti önler. Taban, ekipmanın ağırlığını taşımaya devam eder ve hatta detaya bağlı olarak hava basıncı olmaksızın ekipmanı

yalıtabilir. Pnömatik düzenekler çok düşük frekanslı uyarımların (5-10 Hz) olduğu yerlerde kullanılır.

Bu yalıtıcılar çok küçük statik sapma ile çok düşük doğal frekans sağlar. Eşdeğer düşük bir doğal frekansı sağlaması için uzun bir yay boyu gereken, dolayısı ile stabilite ve yer problemi gerekeceğini bildiğimiz yaylı bir sisteme alternatif olarak ortaya çıkabilir.

Çeşitli tipte pnömatik titreşim yalıtıcıları vardır. Bunlardan bazıları, klasik hava yastığı, pnömatik-elastomerik tabanlar, aktif pnömatik yalıtıcılardır.

Klasik hava yastığının strüktürü karışık olmasına rağmen performansı çok iyidir. Özel test laboratuvarları gibi hassas aletlerin bulunduğu yerlerde ileri bir titreşim yalıtım sistemi olarak kullanılırlar. Pnömatik elastomerik tabanlar özde, hava doldurulmuş basınca dayanıklı, kauçuk körükler elde etmeye yönelik yalıtıcılardır. Bu körükler iç lastikli araba tekerleklerinde olduğu gibi ayrı kese şeklinde veya iç lastiksiz (tubeless) tekerleklerde olduğu gibi metal elemanlarla montaj sorununu çözecek şekilde tasarlanır. Aktif pnömatik yalıtıcılar ikinci gruptaki sistemlere sürekli hava veren bir pompa ve isteğe göre basınca veya yüksekliğe hassas sensörle çalışan vana eklenmesi ile oluşur, mikro-g titreşimlerini yalıtımda kullanılır.

Çizelge 4.4 Çeşitli yalıtım gereçleri özellikleri

	Sarmal Yayılar	Mantar	Keçe	Cam yünü	Elastomer (Kauçuk)	Pnömatik Sist. (Hava)
İç Sönümlü	Yok sayılabilecek derecede az.	Yüksek	Yüksek	İyi	İyi	Havayı tutan gerece bağlı olmakla birlikte oldukça az
Etkili Frekans Aralığı	60 Hz'den düşük frekanslarda. (5-60 Hz arası)	100 Hz üzeri.	40 Hz'den yüksek frekanslarda. Özellikle duyulabilir frekansta.	250 Hz üstü	Yüksek frekanslarda etkili. 250 Hz üstü kesmeye çalıştığı durumlarda 10 Hz'e kadar inebilir.	2-10 Hz. Özellikle çok alçak frekanslarda.
Taşıyabileceği Ortalama Yük Miktarı	Çok yük taşıyabilir. Bunu elde etmeye yönelik tasarım özgülüğü var.	0,5-1,5 kg/cm ² . (opt.) 2,5-4 kg/cm ²	0,2-1,5 kg/cm ²	4 kg/cm ²	2-6 kg/cm ²	Tasarıma ve havayı tutan gerece bağlı olarak çok yük taşıyabilir.
Hangi Kuvvete Çalıştığı	Basınca çalışmaya daha uygun ama çekmeye de çalışabilir.	Basınca ve basınç kesme kombinasyonuna çalışabilir.	Basınca çalışır.	Presse cam yünü basınca çalışır.	Özellikle kesmeye ve basınca çalışır. Çekmeye çalışması zor.	Basınca çalışır.
Ömrü	Hemen hemen sınırsızdır. Büyük gerilmelerde bile şekil bozulmaz.	Uygun şartlarda kullanılırsa uzundur. Doğru uygulama ile 25 yıl kadar kullanılabilir.		Uygun şartlarda kullanılırsa çok uzun.	Uzun değildir. Lastik eskidikçe esnekliğini kaybeder. Kesmeye çalışan kauçuğun ömrü basınca çalıştıktan daha fazladır. Doğal kauçuğun ömrü kısadır.	Basınçlı havayı tutan gerecin ömrü ile sınırlı.
Çevresel Ortama Uygunluğu	Her türlü fiziksel ortamda kullanılır.	Nem ve petrol ürünlerinden etkilenmiyor. Sürekli olarak nemlenme kuruma durumunda çürüme oluyor.			Çok düşük ve çok yüksek ısıya dayanıklı değil. Doğal kauçuktan daha iyi. Doğal kauçuk yüksek ısıya, kimyasallara ve bazı sentetiklere dayanıksız.	Basınçlı havayı tutan gerecin özelliklerine bağlı.
Statik Boy Değişim Sınırı (Aralığı)	•(4-9 Hz için) >5 mm. •Tasarım özgülüğü elverdiği ölçüde yüksek.	•(40-60 Hz için) 0,1-0,4 mm. •Kalınlığın %6'sına kadar kullanılabilen mantarın maks. kalınlığı 10 cm.			•(8-65 Hz için) 0,2-5 mm. En fazla 5 mm. •Gereç kalınlığının maks. %10'u kadar.	•(1-6 Hz için) 15-175 mm. Tasarıma bağlı.

Çizelge 4.4 devam

	Sarnal Yaylar	Mantar	Keçe	Cam yünü	Elastomer (Kauçuk)	Pnömatik Sist. (Hava)
Özellikle Tercih Edildiği Yerler (Tercih Edilme Amacı)	•Geniş kullanım alanı olmakla birlikte 2 Hz gibi alçak frekans gereken, ağır yük bulunan yerlerde. Örn. soğutma kuleleri.	•Yüzey dökme altında (bütün alanı kaplayabildiği için betonun dökülmesini kolaylaştırır) ve bölgesel beton temel altında. •Titreşimin genliğinin azaltılmasından çok geçişinin engellenmesinde.	•Makinenin bağlamadığı ve sıçramasının kontrolü gereken yerler. Özellikle tekstil sektörü, •Titreşimin genliğinin azaltılmasından çok geçişinin önlenmesinde.	•Yüksek yoğunluklu olanları yüzey dökmede, •Makine tabanı, •Kanal içi kaplaması.	•Ped olarak kritik olmayan küçük makine ve ekipman tabanında, civatalamayı ortadan kaldırmak üzere •Tesisat borularında esnek bağlantıda, •Neoprenler özellikle transformatorlerde, •Özellikle doğal kauçuk (lastik türleri) büyük enerji stoklama kapasitesi olduğu için çok yalıtımda, •Hafif ve orta ağırlıktaki makinelerde, •Orta-yüksek hızdaki ekipmanlarda	•Laboratuvar ekipmanı hassas ölçü, kalibrasyon ve imalat makineleri gibi özel gereçlerin pasif korunmasında. •Özellikle otomotivde.
Sertliğinin Değişebilirliği	Tasarıma göre değişimle birlikte, yükte az değişir.	Yükte azalır.	Yükte, ısıyla, titreşim, frekansla artar, genlikte düşer.	Yoğunluk ve lif çapıyla artar.	Yükte değişmez, kenarlardan çıkıntı verir, sıcaklıkla çok değişir.	Tasarıma bağlı olarak değişken, yükte değişmez.
Olumsuz Yönleri	•İç sönümü az, iç rezonanslar oluşabilir. •Statik sapma büyük gerekirse yanal stabilitesi bozulabilir. •Çoğunlukla yatak (housing) gerektirir. •Rezonansta genlik artmasına yol açar.	•Homojen ve sabit özellikleri olmadığı için özelliklerini önceden bilmek beirgin özellikte tasarlamak zor. •Zamanla yük altında sıkışma eğilimi gösterir.	•İlk 10-100 çevrimde sertleştiği için ön işlem yapılması gerekiyor.	•Neme dayanıksız.	•basınç altında kenarlarından çıkıntı verdiği için yer gerektiriyor. •Özelliklerini önceden tahmin etmek zor. •Zorlanmaya uzun süre dayanmıyor yoksa şekil değişikliği meydana geliyor.	•En pahalı sistemlerdir.
Öz Frekans Aralığı	2 Hz'in altında	10 Hz'den yukarı			•10 Hz yukarısı •Kesmeye çalışan neoprenler için 25-60 Hz	Çok düşük

Bütün bu veriler göz önüne alınarak yapılan uygulamalar sonucunda, bazı ekipman türleri için tercih edilebilecek, pratik bir yalıtım gereçleri tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Çeşitli ekipmanlar için yalıtım gereçleri (Saunders ve Templeton, 1987)

Ekipman	Yalıtıcı Tipi
Hava kompresörleri	Pasif-hava, sönümlü metal yaylar ve kesmeye çalışan neopren/kauçuk Yüksek hızlı merkezkaç kompresörler daha az yalıtım gerektirirler ve birkaç katlı yivli neopren ile yalıtılabilirler.
Havali el aletleri	Sönümsüz metal yaylar, kesmeye çalışan kauçuk/neopren
Hava üfleyiciler	Kesmeye veya basınca çalışan veya ped formunda neopren/kauçuk
Dizel motorlar	Sönümlü metal yaylar, kesmeye çalışan kauçuk/neopren, mantar pedleri veya kompozit gereçler
Mikroskoplar	Aktif-Hava, kesmeye veya basınca çalışan neopren
Zimba presleri	Pasif-hava, kesmeye veya basınca çalışan kauçuk veya neopren
Transformatörler	Basınca çalışan çok katmanlı yivli neopren kompozit gereç pedleri. Tüm elektrik bağlantıları esnek kordonlu kablo olmalı ve kanallar esnek birleşim yön olmalı.
Daktilo	Kauçuk/neopren veya keçe ped
Soğutma kuleleri	Soğutma kulelerinin titreşimleri propeller tip fanların alçak frekanslı titreşimlerinden ve yüksek frekanslı ısı düşüş (akış) sesinden oluşur. Büyük sapmalı çelik yaylar ve yivli neopren gerekir.
Fanlar	Sönümlemesiz metal yaylar, kesmeye çalışan kauçuk/neopren Alçak frekanslı titreşim kaynağı olabilen büyük fanlar ayrı temele oturtulabilirler. Fanın kayış ve yatağını aşındıran ayar kaçıklığından korunması için atalet tabanı kullanılır. Bu, yaya gelen yükü azalttığı gibi rijit taban da sağlar.

Bütün değerlendirmeler sonunda bir makinenin titreşim yalıtımı için gerekli aşamaları genel hatlarıyla aşağıdaki şekilde ortaya konulabilir:

1. Makinenin toplam ağırlığı ve etkin frekansı dikkate alınır.
2. Şekil 4.17'den güvenli azalma yapacak f_n bulunur.
3. Şekil 4.14'deki grafikten gerekli statik boy değiştirme (d) bulunur ya da 4.2'den 4.d'yi sağlayan gereç seçilir.

Örnek olarak; 1440 rpm rotasyonel hızla çalışan 100 kg'lık bir su pompasının titreşim yalıtımı yapılmak isteniyor. Seçilecek yalıtım gerecinin %90 yalıtım sağlaması amaçlanıyor. (Parametreler Şekil 4.17'den f/f_n ve geçirgenliğe bağlı olarak elde edilmek istenen amaca uygun seçilebilir.)

Temel etkin frekans, $f = 1440/60 = 24$ Hz

%90 yalıtım \Rightarrow %10 geçirgenlik

Sönümleme 0 kabul edildiğinde, şekil 4.15'ten $f/f_n=3,3$ bulunur.

$$f_n = \frac{f}{3,3} \Rightarrow f_n = 7,3 \text{ Hz} \quad (\text{Aynı sonuç 4.2 formülünden de elde edilebilir.})$$

Şekil 4.14 veya Denklem 4.1 kullanılarak yalıtıcının sağlaması gereken boy değiştirme miktarı bulunur: Makine ağırlığı altında bu statik saptmayı verecek bir yalıtıcı seçilir (Çizelge 4.4).

Makinenin çalışma şartları sönümleme uygulamayı gerektirmiyorsa (sönümlemenin gerekli olduğu durumlar 4.1.2.1 konusunda açıklanmıştır), etkin frekansa göre etkililiği sağlayacak uygun yalıtıcı seçimi için gerekli olan boy değişimini bulmak üzere Şekil 4.16 direkt olarak kullanılabilir.

4.3 Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi

Titreşim ölçümleri farklı amaçlara yönelik olarak yapılmaktadır. Amaca göre, bu ölçümlerin değerlendirilmesinde ele alınan ölçüt ve standartlar da birbirlerinden ayrılık göstermektedir. Titreşim ölçümlerinin söz konusu olduğu durumlardan bazıları aşağıda yer almaktadır:

– İnsanı esas alan ölçümler; Bölüm 3.1.2.1.2’de anlatıldığı üzere, tüm vücudun titreşim etkisi altında kalma durumunun değerlendirilmesi için ISO (Uluslararası Standart Organizasyonu)’nun oluşturmuş olduğu “Tüm Vücudun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin Klavuz*”, Türk Standartları Enstitüsü tarafından Nisan 1977’de kabul edilmiştir (TS 2775, 1977).

Bu standartta, yapılan laboratuvar deneyleri ve uygulamada elde edilen tecrübeler temel alınmıştır. Değerlendirmeler, uyarıcı titreşimin şiddeti, yönü, frekansı ve süresi göz önünde bulundurularak aşağıdaki ölçütlere göre yapılmaktadır.

- Çalışma veriminin korunmasına yönelik, “Yorgunluk Nedeniyle Azalmış Beceri Sınırı”;
- Sağlık ve güvenliğin korunmasına yönelik, “Titreşim Etkisinde Kalınabilecek Sınır”;
- Rahatlığın korunmasına yönelik, “Azalmış Rahatlık Sınırı”.

Sözü edilen bu sınır değerleri, titreşim etkisi altında bulunma durumu her gün, uzun yıllar tekrarlandığında kabul edilmelidir. Ara sıra seyahat eden bir kişinin durumunda olduğu gibi titreşim etkisi altında daha seyrek kalındığında sınır değerleri yükselir. Tüm vücudun titreşim etkisi altında kalma durumu ile matkap ile çalışma örneğinde olduğu gibi, titreşimlerin elden geçme durumu birlikte söz konusu olduğunda bu değerler azalmaktadır.

* ISO 2631/1970

Bu standartla, elden geçen titreşimler için de sınır değerleri oluşturulmuştur. Bu titreşimlerde titreşim düzeyinin etkisi tüm yönlerde aynı olduğu için, değerlendirmede yön dikkate alınmamaktadır.

İnsanın binada titreşim etkisi altında kalma durumundaki sınır değerleri söz konusu standartta verilen yöntemlerle, insan kabul edebilirliğine bağlı alınarak belirlenmiştir. İnsan binada, oturur, ayakta, yatar durumda titreşimin etkisinde kaldığından tüm yönler için aynı değerlendirme eğrisi kullanılır.

Çizelge 4.6 farklı mekanlar için etki altında kalınabilecek titreşim sınırları vermiştir. Bu sınırlar aşılsa mekan özel kullanım esasları için değerlendirilir. Bu sınır değerleri normal şartlar altında ve yalnızca titreşim olan durumlarda kabul edilir. Titreşim ve gürültü aynı anda meydana geldiğinde rahatsızlık tepkisi artmaktadır, bu konu ile ilgili bir kabul yoktur.

Çizelge 4.6 Kabul edilebilir titreşim çevreleri için maksimum ivme değerleri (Gündüz 07.00-10.00 arası, Gece 10.00-07.00 arası). Tüm değerler 1-80 Hz aralığındaki frekanslar için m/sn^2 olarak verilmiştir.

Mekan türü	Zaman	Devamlı ya da aralıklı rms ivme genliği	İmpulsif şok uyarım tepe genliği
Hastane ameliyat odası gibi kritik mekanlar	Gündüz	0.0036	0.005
	Gece	0.0036	0.005
İkametgahlar	Gündüz	$\frac{0.072}{\sqrt{t}}$	$\frac{0.01}{\sqrt{n}}$
	Gece	$\frac{0.005}{\sqrt{t}}$	$\frac{0.01}{\sqrt{n}}$
		0.005	0.01
Bürolar	Her zaman	$\frac{0.14}{\sqrt{t}}$	$\frac{0.2}{\sqrt{n}}$
Fabrika ya da mağazalar	Her zaman	$\frac{0.28}{\sqrt{t}}$	$\frac{0.4}{\sqrt{n}}$

$t =$ t değeri; 100 sn'ye kadar 1 sn, 100 sn'den sonra 100 sn olarak alınır.

$n =$ 1 s veya daha kısa süren şok uyarımları sayısı 100'den az sayıdaki uyarımlar için

$n =$ (uyarım sayısı), 100'den fazla sayıdaki uyarımlar için $n =$ (uyarım sayısı - 100) olarak alınır.

– Mekanik ekipmanın bakım ve korunmasına yönelik ölçümler: Her ekipmanın benzerleriyle yakın yapı gösteren kendi özel titreşim tayfi vardır. Titreşim tayfinda meydana gelecek değişiklikler ve titreşim düzeyindeki artış, olası bir bozukluğun habercisi olmaktadır. Makinede herhangi bir problem yokken, normal çalışma konumunda yapılan ölçümler, daha sonraki ölçümler için ölçüt kabul edilerek değerlendirme yapılabilir.

– Yapısal analize yönelik ölçümler: Yapıların titreşim karşısında gösterdikleri dinamik davranışlarını belirlemek ve yapıları titreşimlerin olumsuz etkilerinden korumaya yönelik olarak ölçümler yapılmaktadır.

– Uygulanan titreşim yalıtımının verimliliğini belirlemeye yönelik ölçümler: Tek, geniş frekans bandı ölçümleri bu amaca uygundur. Ölçülen değerler, yalıtımdan sonra ölçülen düzeylerle karşılaştırılarak yeterli yalıtım yapıp yapılmadığı değerlendirilebilir.

– Bir makine parçasının gerçek şartlarda karşılaşacağı titreşimlere dayanıp dayanmayacağını anlamak amacıyla yapılan ölçümler: Bu ölçümler frekans taraması şeklinde yapılır.

– Katıda doğan titreşimsel enerjinin gürültü yayılımındaki önemini belirlemek için yapılan ölçümler: Gürültü ve titreşim birbiriyle ilgilidir. Bir binadaki sesler sıklıkla bina strüktürüne giren mekanik titreşimlerin sonucudur. Buna bağlı olarak gürültü denetiminde, özellikle makine alanında gürültü denetimi öncelikle, kaynağın katıda ve havada doğan ses bileşenleri ve bunların davranışları hakkında bilgi gerektirmektedir.

Bununla ilgili olarak bazı makine tipleri için ayrı titreşim ölçümü ve değerlendirme standartları geliştirilmiştir.*

Katıda doğan seslerin ölçümü ile ilgili deneyimler çok azdır ve standartlar daha az kanıtlanmıştır. Standartlar bazı makine tipleri için** belirlenmiştir fakat titreşim ve gürültünün aynı anda olması durumunda oluşacak rahatsızlığı değerlendirecek ölçüt oluşturulmamıştır. Değerlendirme için bazen sistemin titreşim tayfi ile gürültü tayfi karşılaştırılabilmektedir.

– Gürültü kaynağının tipini belirlemeye yönelik ölçümler: Bu tip ölçümler gürültü kontrol prosedüründeki ilk ve esas adım olan kaynak tanısına veri oluşturmaktadır. Titreşen sistemin titreşim tayfinin çıkarılması bu sistemin gürültü kaynağı olup olmadığını ya da sistemin hangi parçasının gürültü problemi yarattığını belirlemeye yarayacak bilgiler verebilir. Örneğin sönümsüz uyarım (steady-state) ile titreşen bir sistemin frekansı uyarım frekansı ile aynı olduğu kabulünden yola çıkarak bu şartlarda titreşen bir kompresörün temelindeki titreşim tayfini, oradaki gürültü tayfi ile karşılaştırmak kompresörün gürültü kaynağı olup olmadığını belirlemeye yardımcı olabilir ya da yapılan frekans analizi sonunda bir motor-dişli birliktesinin, asal gürültü kaynağı katkıda doğan dişli gürültüsü olarak belirlenirse, havalandırma açıklıklarında yutucu kullanmak problemi çözmeyecektir. Elde edilen titreşim frekans analizinde sonuçların, her parçanın bilinen olası davranışı ile karşılaştırılmasıyla

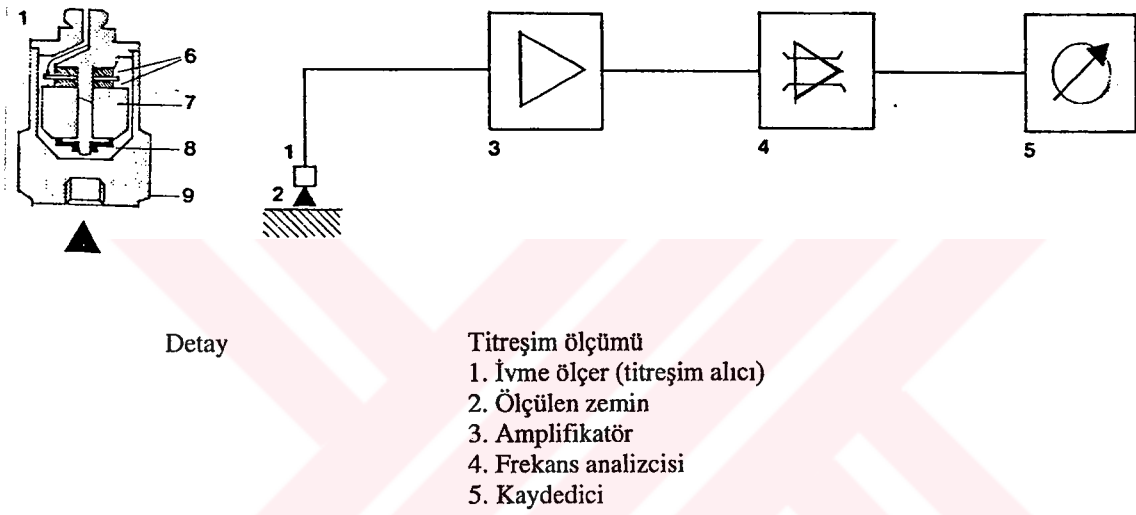
* TS 3967 - TS7548 - TS 2779 - TS 2782 (Bkz. Ek 1)

** TS 2773 (Bkz. Ek 1)

gereksiz yere tüm ekipmanda önlem almak önlenmiş olur. Sadece problem yaratan parçaya yönelik çözüm düşünülür.

Titreşim ve şok ile ilgili ulusal ve uluslararası birçok standart vardır. Ülkemizde faaliyet gösteren Türk Standartları Enstitüsü'nün bu konuyla ilgili olarak yayımlanmış olduğu standartların listesi ve içerik açıklaması Ek 2'de verilmiştir.

Bir yüzeyin titreşimi sıklıkla ivme ölçer (akselerometre) ile ölçülür. İvme ölçer, en genel olarak titreşim alıcı, ön yükselteç, frekans analizcisi ve düzey kaydedici bileşenlerinden oluşmaktadır. Bir ivme ölçerin şematik bileşenleri Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.27 İvme ölçerin şematik bileşenleri (Saunders ve Templeton, 1987)

Titreşim alıcı elektromekanik dönüştürücüdür. Makinelere, duvar, döşeme gibi bina elemanlarından çıkıp katıda doğan ses üreten titreşimleri ya da çevresel titreşimi ölçmek gibi farklı amaçlar için farklı ve çok çeşitli tipte titreşim alıcı vardır. Örneğin çevresel titreşimi ölçmek için çoğunlukla piezoelektrik titreşim alıcıları kullanılmaktadır.

Titreşim alıcının seçimi frekans aralığına göre ve büyüklüğü, bağlı olduğu yüzeye ekstra ağırlık vermeyecek şekilde yapılmalıdır. Ağırlığı arttıkça duyarlılığı da artmakla birlikte, seçim yapılırken bu iki durum da göz önünde bulundurulmalıdır. Titreşim alıcının seçimini etkileyebilen bir başka etken de, nem, radyasyon, elektromanyetik alan, yüksek gürültü, yüksek-düşük sıcaklık gibi çevre şartlarıdır.

Titreşim alıcı, sallanmasını ve rezonans oluşturmasını engellemek için yüzeye iyice sabitlenmelidir. Bunun için en iyi metot yüzeye vidalanmasıdır. Mıknatıs veya çift taraflı yapışkan bant da kullanılabilir. Yayılacak istenmeyen gürültülerin engellenmesi için ivme

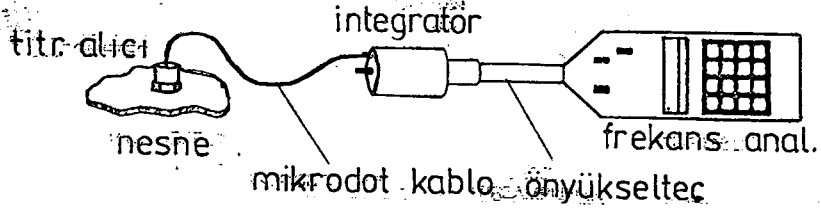
ölçerin kablosunun ivme ölçere yakın kısmının da titreşen yüzeye sabitlenmesi gerekmektedir.

Titreşim önyükselteci, titreşim alıcının çıkış sinyallerini ölçerek analiz cihazları için uygun sinyallere çeviren ve titreşim analizinde önemli rol oynayan makinedir. İvme ölçeri yükleyerek verimini azaltmak ve alçak frekanslardaki tepkisini sınırlandırmaktan kaçınmak için uygun önyükselteç seçilmelidir. Piezoelektrik titreşim alıcılarla birlikte temel iki önyükselteç kullanılmaktadır: Yük önyükselteci ve voltaj önyükselteci. Yük önyükselteci giriş yükü ile orantılı çıkış voltajı üretir, voltaj önyükselteci giriş voltajı ile orantılı çıkış voltajı üretir. Her uzunluktaki kablo ile, sistemin hassasiyetinde değişikliğe yol açmadan kullanılabilirdiği için yük önyükselteçleri daha fazla tercih edilmektedir. Buna karşılık voltaj önyükselteçleri, sabit ve kısa kablolarla kullanılır ve kablo değiştirildiği zaman sistemin yeni durumu için yeni bir hassasiyet belirlenmesi gerekir.

Frekans analizcisi yükselteç, ölçüm yükselteci ve filtreden oluşur. En gelişmiş frekans analizcileri, gerçek zaman analizcileridir ve otomatik analiz imkanı verirler. Frekans analizi, geniş bantı oluşturan her bir frekans bileşenini elde etme işidir. Basit ivme ölçerler geniş frekans bantı üzerinden ölçülen tek bir titreşim düzeyi verirler. Ayarlanabilir, peşpeşe filtrelerden oluşmuş bir filtre ya da her banda ait ayrı filtre kullanılarak frekans bileşenleri elde edilir. Hangi filtre kullanılıyorsa, o filtreden o banda ait titreşim bileşenleri geçer. Filtrenin seçimi frekans analizinin çözünürlüğünü kontrol eder. Filtrenin bant aralığı daraldıkça geçen süre artmakla birlikte, elde edilecek detay da artar. Bu süreyi kısaltabilmek için geniş bant aralıklı ön analiz yapılarak frekans tayfının ilgi duyulan bölümü belirlenip dar bant aralıklı analize geçilir.

Titreşimlerin anında kaydedilmesinin zorunlu olmadığı pek çok uygulamada seçilecek yöntemle göre daha sonra analizleri yapılmak üzere kayıtlar uygun bir teyp kayıt sistemi ile alınabilir. Bu kayıt sistemi düzey kaydediciyi oluşturmaktadır.

Genel amaçlı titreşim ölçerler en uygun cihazlardır. Alanda titreşim ölçümleri uygun ses ölçerler kullanılarak da yapılabilir. Mikrofon, integratör adaptörü ve titreşim alıcı ile değiştirilir ve ses ölçer hem ön yükselteç hem de frekans analizcisi görevi görür (Şekil 4.28)



Şekil 4.28 Genel amaçlı, ses ölçer ile oluşturulmuş ivme ölçer örneği

Titreşim seviyesini elde edebilmek için titreşimin özelliklerini belirleyen hız (v), yer değiştirme (d) veya ivme (a) büyüklüklerinin ölçülmesi gerekmektedir.

Uygulamalarda ivme ölçümleri daha sık yapılmaktadır fakat elektronik integratör kullanılarak ivme, kolayca hız ve yer değiştirme sinyallerine dönüştürülebilir. Ayrıca modern ölçüm cihazları bu büyüklüklerin hepsini birden ölçme olanağı sağlamaktadır. Çok frekans bileşenli titreşimlerde ölçülecek büyüklüklerin seçimine dikkat edilmelidir. Örneğin sezilebilir yer değiştirme sadece düşük frekanslarda ortaya çıktığından, yer değiştirme ölçümü düşük frekanslı bileşenlerde daha iyi sonuç verir ve genel mekanik titreşim çalışmalarında sınırlı olarak tercih edilir. Yer değiştirme genelde, dönen makine parçalarında dengesizliğin bir göstergesi olarak kullanılır.

Çeşitli deneyler sonunda 10 Hz ile 1000 Hz frekans aralığındaki titreşim düzeylerinin elde edilmesi için en doğru sonucu veren ölçümlerin hız ölçümleri olduğu belirlenmiştir. Hız ya da ivme ölçümü normalde frekans analizinde seçilir. İvme ölçümleri özellikle yüksek frekans titreşim bileşenlerinin ölçümlerinde kullanılır.

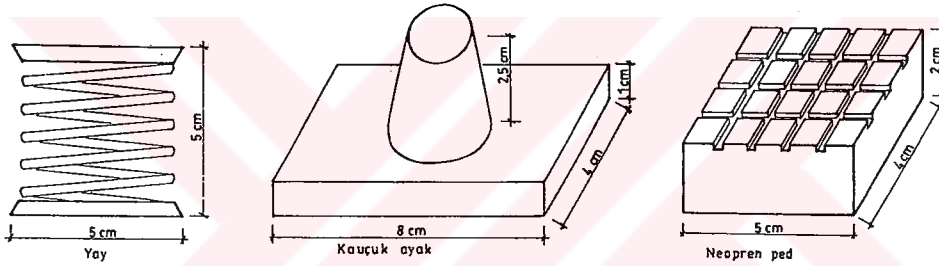
5. UYGULAMA ÖRNEĞİ

Titreşim ve gürültü kaynağı olarak ele alabileceğimiz bir ekipmanın tabanı altına esnek gereçler yerleştirilmesiyle meydana gelebilecek gürültü ve titreşim düzeylerindeki farklılıkları ortaya koymak amacıyla bir uygulama yapılmıştır.

Titreşim kaynağı odanın orta aksında döşemeye yerleştirilerek titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmış, daha sonra esnek gereçler sırayla uygulanarak aynı ölçümler tekrar edilmiştir.

Ölçümlerde CEL-393B model ses düzeyi ölçer ve CEL 3025M model titreşim bağlantı kitinden oluşan genel amaçlı bir titreşim düzey ölçer kullanılmıştır.

Esnek gereç olarak titreşim kontrolünde sıklıkla kullanılan neopren ped, kauçuk ayak, neopren tabanlı ve tavanlı çelik yay ve keçe kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Uygulamalarda kullanılan gereçler

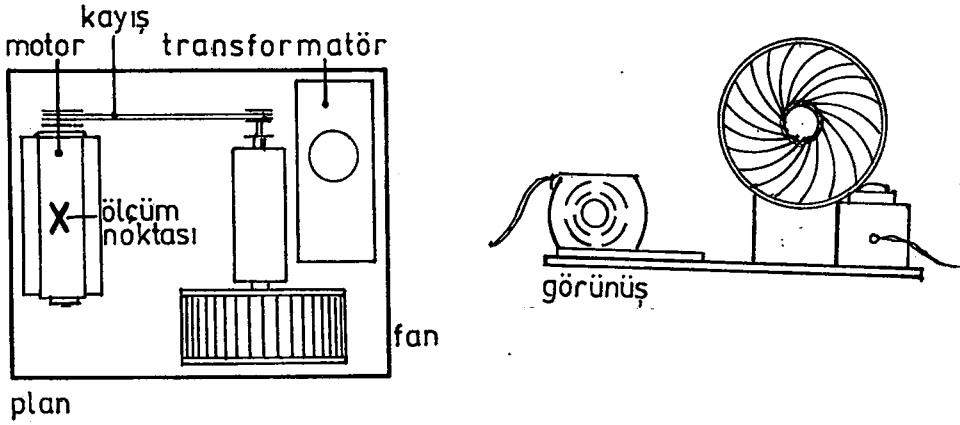
5.1 Mevcut Durumun Saptanması

5.1.1 Kaynak ve hacim özellikleri

Kaynak Özellikleri

Uygulama titreşim kaynağı olarak kullanılan ekipman, bir tabla üzerinde yer alan fan-elektrik motoru-transformatör ve reostadan meydana gelen, küçük boyutlu bir gösterim düzeneğidir.*

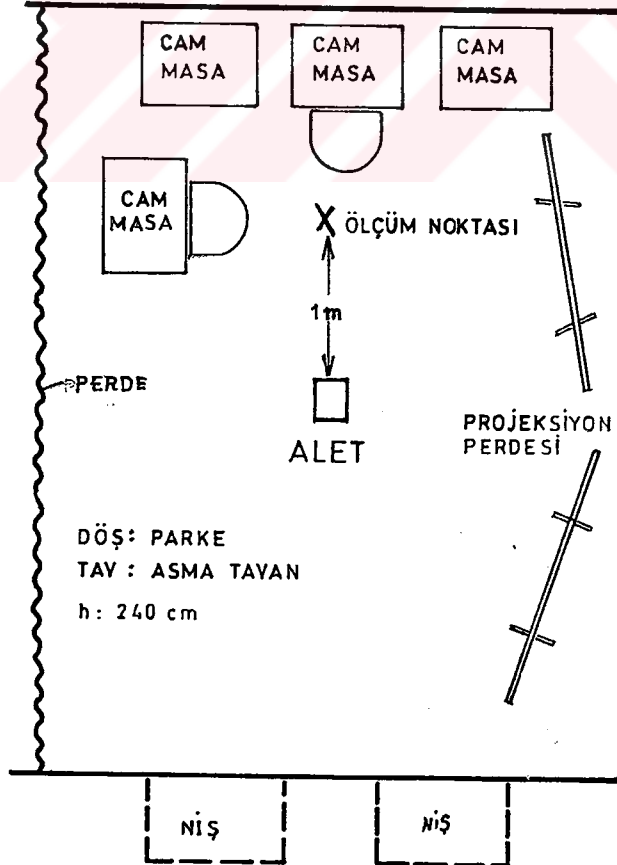
* Bu ekipman, titreşim kontrol ürünleri imali konusunda faaliyet gösteren mason Industries Inc, NY-ABD firmasından elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Ekipman plan ve görünüşü

Hacim özellikleri

Uygulama, 390x510x240 cm boyutlarında, bir yanall yüzeyi kalın kumaş perde, diğer yanall yüzeyleri tuğla duvar üzerine ahşap yonga levha+plastik boya ile oluşturulmuş, tabanı zemine oturan beton döşeme+yapıştırma masif ahşap parke, tavanı özel aydınlatma armatürlerinden oluşturulmuş özel asma tavan olan bir hacimde gerçekleştirilmiştir. Hacim toplam yutuculuğu frekanslara göre 5-16 m² arasında değerlerde olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 5.3 Hacim planı

Ö: 1/100

5.1.2 Titreşim ve gürültü düzeyi ölçümleri

Titreşim üreten 1/15 HP gücündeki, 5000 RPM'lik motor-fan ünitesi döşemenin ortasına yerleştirilip titreşim ve gürültü düzeyi ölçümleri yapılmıştır. Titreşim düzeyi ölçümleri, alıcının hem ekipmanın motor parçasının üzerine, hem de ekipmandan 1 m uzaklıkta döşemeye yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Gürültü düzeyleri ölçümleri ise, yine ekipmandan 1 m uzaklıkta ve döşemeden 1 m yükseklikte yapılmıştır. Ölçmelerde hem frekans analizi yapılmış, hem de anlık düzeyler saptanmıştır.

Ölçmeler öncelikle yalıtımsız durumda, daha sonra da yalıtımlı durumda gerçekleştirilmiştir. Yalıtım için farklı esnek gereçlerden yapılmış ayaklar kullanılmış ve ölçmeler bunların her biri için tekrar edilmiştir.

Çizelge 5.1'de verilen, ekipmandaki titreşim düzeyi ölçüm sonuçları Şekil 5.4'de; Çizelge 5.2'de verilen, döşemedeki titreşim düzeyi ölçüm sonuçları Şekil 5.5'te; Çizelge 5.3'de verilen, hacimdeki gürültü düzeyi ölçüm sonuçları Şekil 5.6'da grafik olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.1 Ekipman motoru üzerinde ölçülen ivme düzeyi, L_a dB değerleri

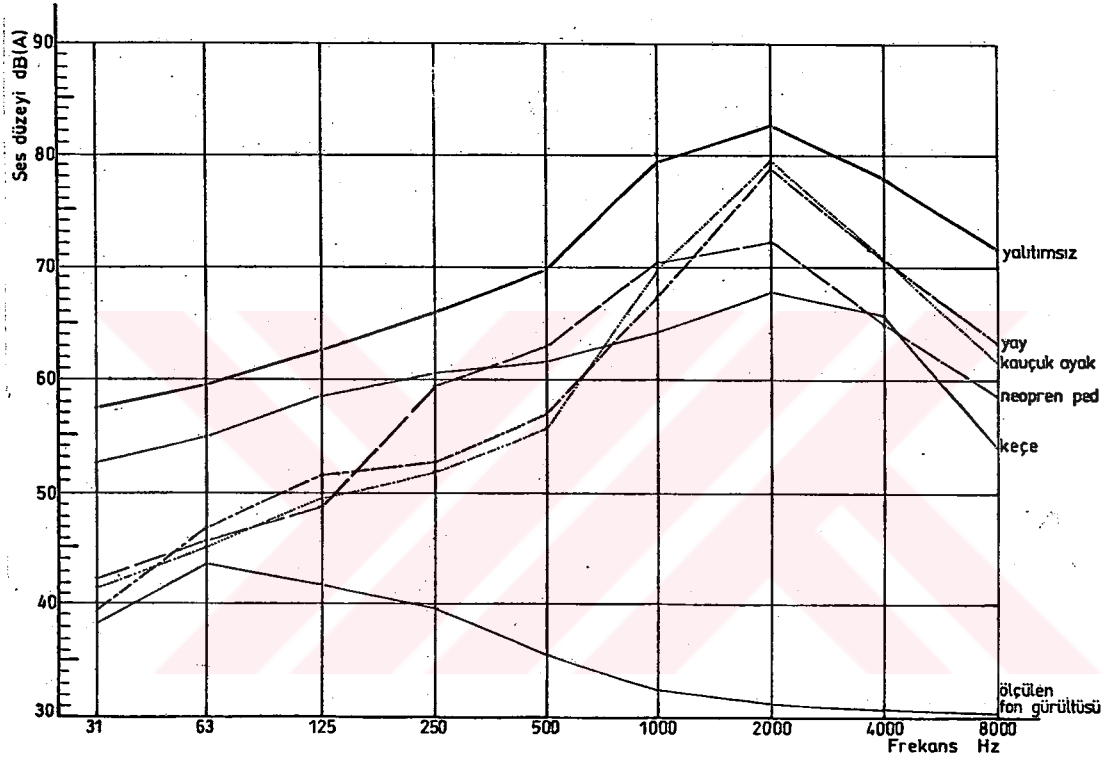
frekans Hz	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ değer	Anlık
ivme m/sn^2											
Yalıtımsız	113,3	114,8	118,5	123,6	118,6	116,7	117,6	117,2	111,6	--	134,0
Yay	112,4	112,3	111,1	110,5	105,9	102,9	108,1	114,9	103,5	120,0	121,5
Neopren ped	109,7	111,5	114,7	119,1	112,8	105,4	113,7	107,6	103,4	119,8	128,0
Kauçuk ayak	106,0	107,8	111,9	108,1	104,8	101,8	110,3	112,8	101,4	121,8	124,0
Keçe											

Çizelge 5.2 Döşemede ölçülen ivme düzeyi, L_a dB değerleri

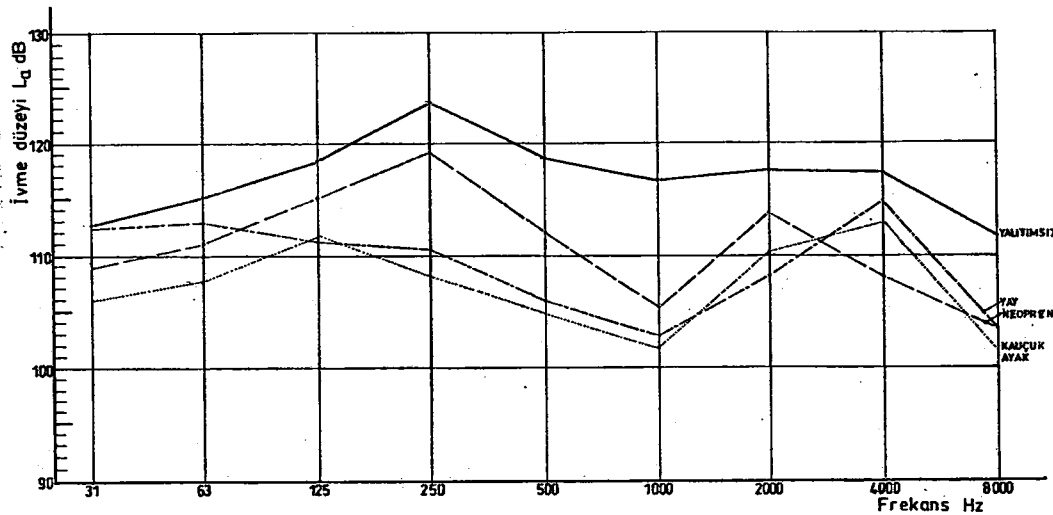
frekans Hz	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Σ değer	Anlık
ivme m/sn^2											
Yalıtımsız	60,1	73,3	84,7	84,4	84,1	83,5	79,8	79,3	70,6	91,3	90,0
Yay	14,1	13,1	14,3	12,8	10,9	10,8	17,6	27,2	20,9	44,0	45,0
Neopren ped	18,8	18,4	19,8	21,4	24,4	26,7	29,1	30,8	30,1	44,3	48,0
Kauçuk ayak	17,1	14,1	19,3	15,3	16,1	11,4	18,1	25,4	19,6	44,9	47,0
Keçe	20,3	20,1	22,8	20,1	20,1	21,1	20,6	23,7	20,1	45,5	43,0

Çizelge 5.3 Hacimde ölçülen ses düzeyi, dB(A) değerleri.

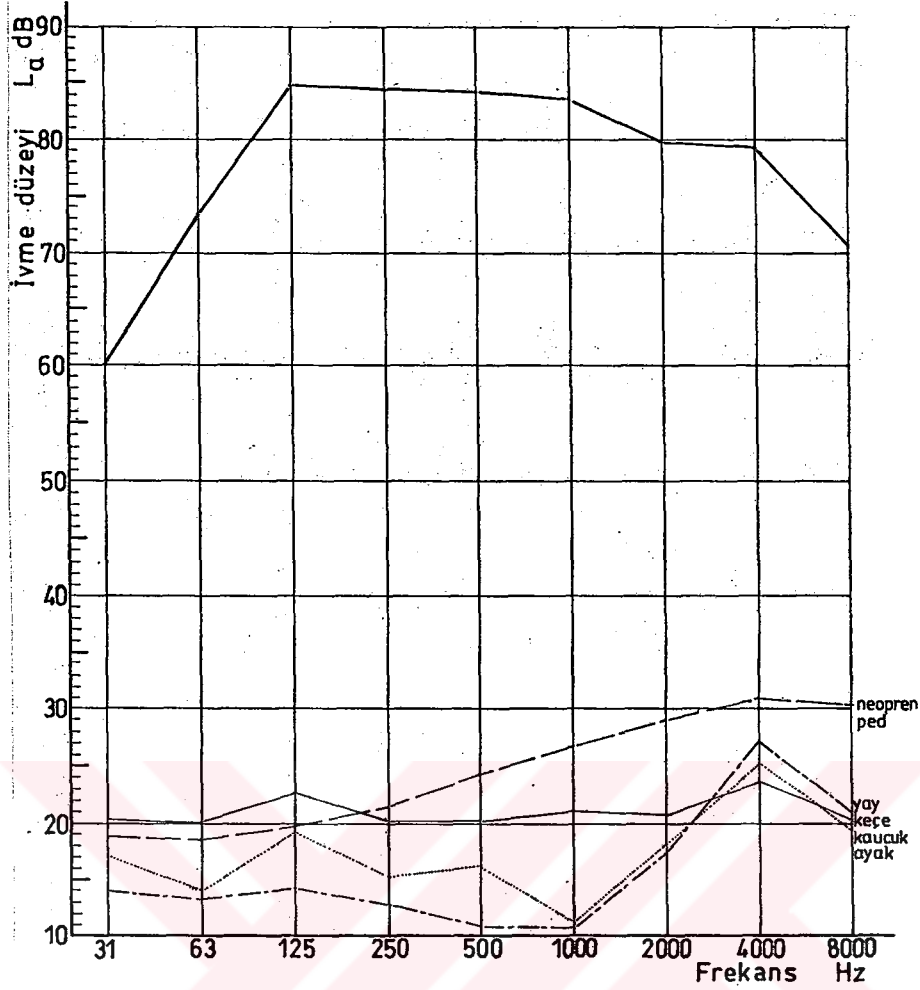
frekans Hz	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	E değer	Anlı k
Yalıtımsız	57,2	58,6	62,0	65,7	79,8	80,1	82,4	77,9	71,7	83,0	88,0
Yay	39,2	46,9	51,7	52,6	56,8	67,2	78,9	70,4	63,1	78,9	80,0
Neopren ped	42,4	45,2	47,9	59,4	62,6	70,3	71,9	64,8	58,6	75,9	99,0
Kauçuk ayak	41,5	45,0	49,5	51,8	55,4	69,9	79,4	70,8	61,8	80,5	82,0
Keçe	52,5	54,8	58,5	60,4	61,5	64,1	67,6	65,7	53,9	72,8	80,0
Fon gürültüsü	38,2	43,6	42,0	39,5	35,6	32,3	31,2	30,7	30,2	40,3	40,3



Şekil 5.4 Hacimde ölçülen ses düzeyi, dB(A) değerleri, grafik gösterimi



Şekil 5.5 Ekipman motoru üzerinde ölçülen ivme düzeyi, Lq dB değerleri, grafik gösterimi



Şekil 5.6 Döşemede ölçülen titreşim düzeyi, L_adB değerleri, grafik gösterimi

5.2 Değerlendirme

Makinede yapılan titreşim ölçümünde eğriler yataya yakın bir karakter göstermektedir. Ekipmanın sönümsüz uyarım yapması bu durumun ifadesi olabilir fakat sönümsüz uyarım yapan bir sistemin göstermesi gereken, daha düzgün ve yatay eğri karakterinin elde edilememiş olması, ölçümde olabilecek hatalar ve makinenin yer değiştirmesinden kaynaklanan sıçrama hareketlerine bağlanabilir.

Kaynak yalıtımsız durumda yüksek frekanslı ses üretmektedir. Bu değer 1000-3000 Hz aralığındaki frekanslarda en yüksek değere çıkmaktadır.

Uygulanan gereçlerden yüksek frekanslar için en iyi azalmayı keçe, alçak frekanslar için yay sağlamıştır. Alçak frekanslarda en az azalmayı (~5dB) sağlayan keçe yüksek frekanslarda en

fazla azalmayı (~14 dB) sağlamıştır. Keçenin bilenen özelliği olan yüksek frekanslardaki etkiliği görülmektedir.

Kaynağa yalıtım gereçleri uygulandığında makinenin ve döşemeye geçen titreşimlerin ivme-frekans grafiği ve hacimdeki frekansa göre ses düzeyi farklılıkları incelendiğinde, genel olarak gürültü ve titreşim genliği azaltımında en iyi sonuç veren yalıtım gerecinin yay olduğu görülmektedir.

Yay, 500 Hz'e kadar 10 dB dolaylarında azalma sağlarken frekans arttıkça bu miktar düşmekte, 2000 Hz'de minimum (~4dB) düzeye inmektedir. Düşük frekanslarda titreşim yalıtımı sağlamak yayın özelliklerindedir. Yayların statik sapsmalarının genel olarak düşük olmasından dolayı doğal frekansları düşüktür ve alçak frekanslarda daha etkilidirler. İç sönümü az olduğu için yüksek frekanslarda rezonansa girmektedir.

Kauçuk ayak bütününde yay ile yakın değerler göstermiş, yüksek frekanslarda sağladığı düşme miktarı azalmıştır.

180 Hz'den düşük frekanslarda keçe hariç diğer yalıtıcılar yakın değerlerde azalma sağlanmaktadır. Frekans arttıkça bu değerler farklılaşmaktadır.

Genel olarak bakıldığında titreşim yalıtımı amacıyla yerleştirilen yalıtım gereçleri, ses düzeyinde ~3-19 dB azalma sağlamıştır. Elde edilen azalaların yalıtımlı ekipman döşemeye sabitlenmemiş olduğundan, makinede yalıtım gerecinin statik sapsmasından bağımsız olarak meydana gelen yer değiştirmelerden dolayı ortaya çıkan seste değil, bu gereçlerin kullanılmasıyla makinenin rijit yüzeyde hareket etmemesinden kaynaklanan darbe sesindeki azalmalar olduğunu tahmin edebiliriz.

Genel sonuç olarak, titreşim denetimi amacıyla uygulanan esnek gereçlerin ses düzeylerinde de azalma sağladığı söylenebilmektedir. Gereç seçimindeki ölçütler gözönüne alınmaksızın, sadece gereçlerin meydana getireceği farklılıkları ortaya koymak amacıyla yapılan bu uygulamada esnek gereklerin rezonansa girmedikten sonra ses düzeyinde azalma meydana getirdiği ama iyi bir yalıtım yapabilmek için gereç seçimine yönelik ölçütlerin incelenip, en uygun gerecin seçilmesi gereği vurgulanmıştır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Titreşim denetimi, titreşimlerin genliklerini azaltmak ve/veya titreşimlerin strüktüre geçip, katıda ilerleyerek yapının diğer bölümlerinde ses olarak yeniden yayılmasını engellemeye yönelik sistemler bütünüdür. Dolayısı ile mekanik titreşimlerden kaynaklanan gürültü problemi söz konusu olduğunda sadece makinenin temelinde ve kütledeki titreşimleri denetlemek problemin çözümü için tek başına yeterli olmayacaktır. Tam anlamıyla bir gürültü kontrolü için bu denetimin, havada doğan sesin de yalıtılacağı diğer gürültü denetim yöntemleri ile birlikte ele alınması gerekmektedir.

Tüm benzeri konularda olduğu gibi, problemi tasarım aşamasından başlayarak değerlendirmek, problemin boyutunu azaltacaktır. Yapılarda mekanik alan, döşem gibi başlıca titreşim ve gürültü kaynaklarını sessizlik gerektiren alanlardan yatayda ve düşeyde olabildiğince uzağa yerleştirmek, konstrüksiyonda genişleme bağlantılarıyla yalıtılmış devamsızlıklar oluşturmak, titreşen ekipmanı döşemenin ortasına yerleştirmemek, mümkünse strüktürel ve yük taşıyıcı duvarların yakınına, hatta döşemede kirişlerin üzerine gelecek şekilde yerleştirmek, tasarım-planlama ve yerleşim aşamasında alınabilecek önlemlere verilebilecek örneklerdir.

Potansiyel gürültü ve titreşim kaynağı seçilirken mümkünse aynı işlevi gören daha sessiz kaynağı tercih etmek (pistonlu sistemler yerine daha az gürültü yayacak döner sistemler kullanmak gibi), ekipmanı düşük gürültü seviyesi verecek en uygun hızda çalıştırmak (örneğin düşük-orta-yüksek motor hızlı fan-coil birimleri, maksimum soğutma şartlarında orta hızda çalışacak şekilde boyutlandırılabilir) ve kaynağın düzenli bakım ve yağlanmasını yaptırmak daha sonra alınacak gürültü ve titreşim önlemlerini azaltmada ayrıca rol oynayacaktır.

Darbe ve titreşimden kaynaklanan gürültüler söz konusu olduğunda tam gürültü kontrolü elde edebilmek için, makine kütle ve temelinde yapılacak titreşim denetiminin yanı sıra tesisat ve borularda titreşim ve ses yalıtımı ile havada doğan ses yalıtımının da sağlanması gerekmektedir.

Makine kütle ve temelinde titreşim denetimi, araştırmanın kapsamında ele alınan yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilebilir. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi, makine ya da tabanını esnek elemanlar üzerine oturtmak, makinede ya da tabanında sönüm uygulamak,

atalet tabanı kullanmak, yüzer döşeme uygulamak, tekil ya da birlikte uygulanabilecek yöntemlerdir.

Titreşim ve gürültü; boru, kanal ve buralardaki akışkanlar (hava-su ve diğer karışımlar) aracılığıyla yayıldığı için döşem ve borularda da titreşim ve ses yalıtımı gerekmektedir. İklimleme sistemlerinde ses azaltımı sağlamaya yönelik olarak, kanallarda yüksek hava akış hızı engellenmeli, içlerine susturucular yerleştirilmeli, iç yüzeyleri cam yünü, (liflere hava akımı girmesini engellemek için cam yünü tabakasının üstü ince vinil tabakası ile kaplanabilir) dış yüzeyleri alçı veya sıva ile kaplanmalıdır. Kanalların odalara açıldıkları çıkışların iki oda arasındaki uzaklık mümkün olduğunca uzun olmalıdır. İçi kaplamasız kanallar, düz ve uzun metal yüzeylerinin takırdamaması için yumuşak açılarla güçlendirilip kıvrımlandırılabilir. Her türlü boru ve kanal giriş çıkış delik çevreleri cam yünü ile doldurulup, sertleşmeyen macun ile yalıtılmalıdır.

Boruların ağırlıklı olarak kullanıldığı döşemelerde, sistemin tümü içinde gerekli yerlere genleşme vanaları, hava odaları ve esnek bağlantılar yerleştirilmelidir.

Havada doğan ses yalıtımı, duruma göre kaynağın yakın çevresinden genele doğru değişik teknikler uygulanmasıyla sağlanabilir. Gürültü kaynağı çevresinin kısmen ya da tamamen kapatılması, kaynağın bulunduğu hacimde ses yutucu gereçler kullanılması, yüzer döşeme yapılması, çift cidar kullanarak yüksek ses geçiş kaybı sağlanması, akustik ses gölgesi oluşturması için engel kullanılması, asma tavan yapılması havada doğan sesin yalıtımında gerekli gürültü azaltım miktarına göre tekil veya birkaçı birlikte kullanılacak tekniklerdir.

Gürültü ve titreşim problemleri, problemin büyüklük ve ciddiyetine göre basit ve ucuz önlemlerle çözümlenebildiği gibi, karmaşık ve pahalı yöntemleri de gerektirebilmektedir. Alınması gerekli önlemlere doğru yaklaşım, doğal olarak konu hakkında bilgi sahibi olmayı ve konunun ciddiyetini kavramayı zorunlu kılmaktadır.

Yapı fiziği kavramının bile tam anlamıyla yerleşmediği ülkemizde, "Titreşim-Gürültü Denetimi ve Gereç Seçimi" konusunda inşaat, tasarım ve uygulama aşamasında etkinliği önemli mimarların bile yeteri kadar bilgi sahibi olmaması, konunun sürekli ve yaygınlaştırıcı biçimde ele alınması gereğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Anon, Gürültü Kontrol Yönetmeliği, (1986), Resmi Gazete 19308, İstanbul.
- Anon, TSE 2774, (Nisan 1977), Titreşim ve Şok - Terimler ve Tarifler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anon, TSE 2775, (Nisan 1977), Tüm Vücutun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin Kılavuz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Beranek, L.L., (1971), Noise and Vibration Control, Mc. Grow Hill, ABD.
- Bilgiç, E. ve Sadikhov, E., (1994), Gürültü ve Titreşim, Gebze-Kocaeli.
- Briš, P., Vašut, S., Fišer, D., Gerža, D., (1997), “New Noise and Vibrations Damping Materials Made From Waste Polymers”, Inter-Noise 97, 25-27 Ağustos, Budapeşte.
- Crocker, M.J. ve Kessler, M.F., (1982), Noise and Noise Control, CRC Press, Florida.
- “Çevre, Yapı ve Endüstri’de Akustik Sorunlar ve Gürültü Kontrolü”, Akustik Derneği Eğitim Semineri, 31 Mayıs-3 Haziran 1994, İstanbul.
- Dagostino, F.R., (1978), Mechanical and Electrical Systems in Construction and Architecture, Restan Publishing Company, Virginia/USA.
- Egan, M.D., (1975), Concepts in Thermal Comfort, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Harris, A.D., (1991), Noise Control Manual, Chapman and Hall, London.
- Harris, C.M., (1979), Handbook of Noise Control, Mc Grow-Hill, U.S.A.
- Isısan, (1995), “Kalorifer Tesisatı”, Isısan Çalışmaları No.153, İstanbul.
- Kaya, F., (1991), Titreşim Mühendisliği, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Lee, H.K., Park, H.D., Kim, D.H., Kim, S.S., (1997), “A Study On The Specification of Vibration Sensitive Equipment”, Inter-Noise 97, 25-27 Ağustos, Budapeşte.
- Maekawa, Z. ve Lord, P., (1990), Environmental and Architectural Acoustics, Chapman & Hall, Londra.
- Mekanik Titreşimler (Çev., T. Toprak), (1998), Seto, W.W., İ.T.Ü, İstanbul.
- Özer, M., (1979), Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, İstanbul.
- Öztürk, T., (...), “Makine temellerinde titreşimlerin analizi ve kontrolü”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Rettinger, M., (1988), Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control: a Manual for Architects and Engineers, Tab Books Inc., U.S.A.

Saunders, D. ve Templeton, D., (1987), Acoustic Design, The Architectural Press/Oxford.

Sirel, Ş., (1974), Yapı akustiği I Temel Bilgiler, İstanbul.

Sözen, M.Ş., (1998), "Yapı Fiziği Notları", Y.T.Ü, İstanbul.





EKLER

Ek 1**Titreşim ve Şok Konularıyla İlgili Olarak TSE'nin Yayınladığı Başlıca Standartlar:**

- TS 2097/Ekim 1975
Elektronik Aygıtlar ve Bileşenlerine Uygulanacak Çevre Koşullarına Dayanıklılık Temel Deney Yöntemleri - Deney Fd: Geniş Bandlı Rasgele Titreşim - Genel Nitelikler (Tadil 1994-04)
- TS 2576/Mart 1977 (ISO 1940-1973)
Döner Rijit Elemanların Balans Niteliği
- TS 2773/Nisan 1977
Döner Elektrikli Makinelerin Havada Oluşturduğu Gürültüyü Ölçmek için Deney Kodu
- TS 2774/Nisan 1977 (ISO 2041-1975)
Titreşim ve Şok - Terimler ve Tarifler
- TS 2775/Nisan 1977 (ISO 2631-1978)
Tüm Vücudun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin Klavuz
- TS 2776/Nisan 1977 (ISO 2017-1972)
Titreşim ve Şok - İzolatörler - Mekanik İzolasyon Özelliklerinin Belirlenmesi, Esnek Sistemlerin Seçimi ile Kullanılması için Genel Kurallar
- TS 2779/Nisan 1977 (ISO 2954-1976)
Dönen ve Pistonlu Makinelerde Mekanik Titreşim Şiddeti Ölçme Cihazları İçin Aranılan Koşullar
- TS 2782/Nisan 1977 (ISO 2372-1974)
Çalıştırma Hızları 10-200 Devir/sn Olan Makinelerin Mekanik Titreşimi - Değerlendirme Standartlarını Belirtmek İçin Temel Esaslar
- TS 2843/Ekim 1977 (ISO 1925-1974)
Titreşim ve Şok - Dengeleme - Terimler ve Tarifler
- TS 2844/Ekim 1977 (ISO 2371-1974)
Titreşim ve Şok - Yerinde Dengeleme Cihazı Tanımlama ve Değerlendirme
- TS 2873/Kasım 1977 (ISO 2953-1975)
Dengeleme Makineleri Tanımlama ve Değerlendirme
- TS 3879/Ocak 1983
Tarım Traktör ve Makineleri Sürücüsünü Etkileyen Titreşim Deneyleri
- TS 3967/Nisan 1983 (ISO 2373-1974)
Mil Yüksekliği 80 mm - 400 mm Arasında Olan Bazı Döner Elektrik Makinelerin Mekanik Titreşimi - Titreşim Şiddetinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi
- TS 7548/Ekim 1989 (ISO 3945-1977)
Hızları 10 devir/sn. - 200 devir/sn Olan Döner Büyük Makinelerin Mekanik Titreşim - Kullanım Yerinde Titreşim Şiddetinin Ölçme ve Değerlendirme Kuralları

- TS 8427/Nisan 1990
Yayla Çalışan Darbe Deney Aleti ve Bu Aletin Kalibrasyonu - Elektronikte Kullanılan
- TS CR 1030-1/Ocak 1996
El-Kol Titreşimi-Titreşim Tehlikelerinin Azaltılması Prensipleri - Bölüm 1 Makinenin Tasarım Vasıtasıyla Alınması Gereken Teknik Tedbirler
- TS 9555/Ocak 1996
Döner Elektrik Makineleri Mil Yüksekliği 56 mm ve Daha Yüksek Olan Bazı Makinelerde Mekanik Titreşimler - Ölçme - Değerlendirme ve Titreşim Şiddetinin Sınırları
- TS EN 27544-4/Ocak 1996
Makine ve Teçhizatın Belirtilen Gürültü Emisyon Değerlerini Tespit Etmek ve Doğrulamak İçin Kullanılan İstatistiksel Metotlar
- TS EN 29052-1/Nisan 1996
Dinamik Katılığın Tayini - Bölüm 1: Meskenlerde Esnek Döşeme Altında Kullanılan Malzemeler
- TS EN 1032/Eylül 1996
Mekanik Titreşim - Tüm Vücut Emisyon Değerini Ölçmek İçin Hareketli Makinenin Deneyi
- TS EN 3026-1/Eylül 1996
Mekanik Titreşim - Araç Koltuğundaki Titreşimin Ölçülmesi İçin Laboratuar Metodu - Bölüm 1: Temel Kurallar
- TS EN 60068-2-65/Eylül 1996
Çevre Deneyleri - Bölüm 2: Deney Metotları - Deney Fg: Titreşim (Akustik Etkiyle Oluşan)
- TS EN 60994/Eylül 1996
Hidrolik Makinelerde Titreşim ve Vuruşların Saha Ölçmeleri İçin Kılavuz
- TS ENV 28041/Eylül 1996
Titreşime karşı İnsan Tepkisi - Ölçme Aletleri

Ek 2

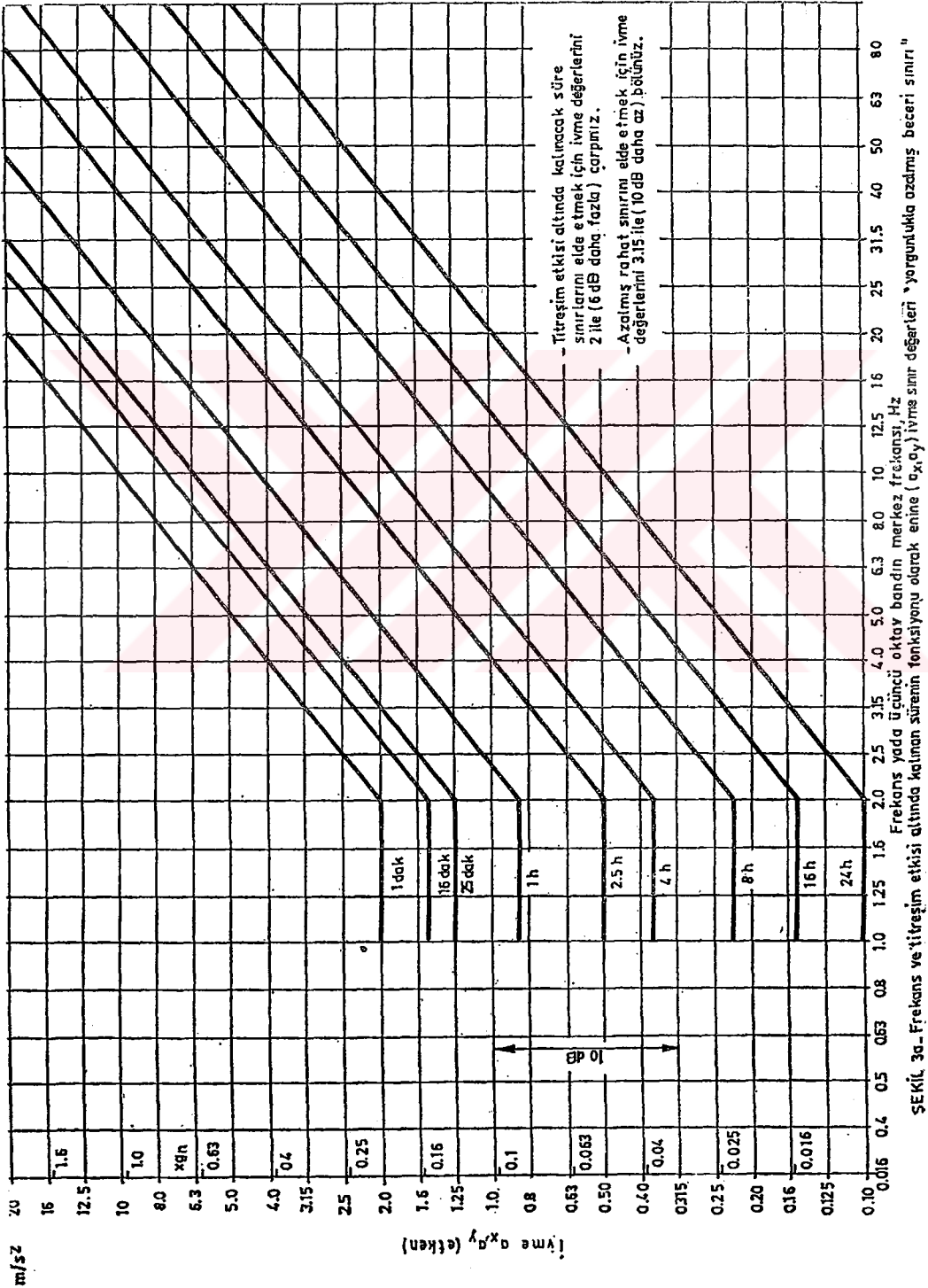
TSE 2775/Nisan 1977 - Tüm Vücutun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin Klavuz - Titreşim Değerlendirme Grafikleri:

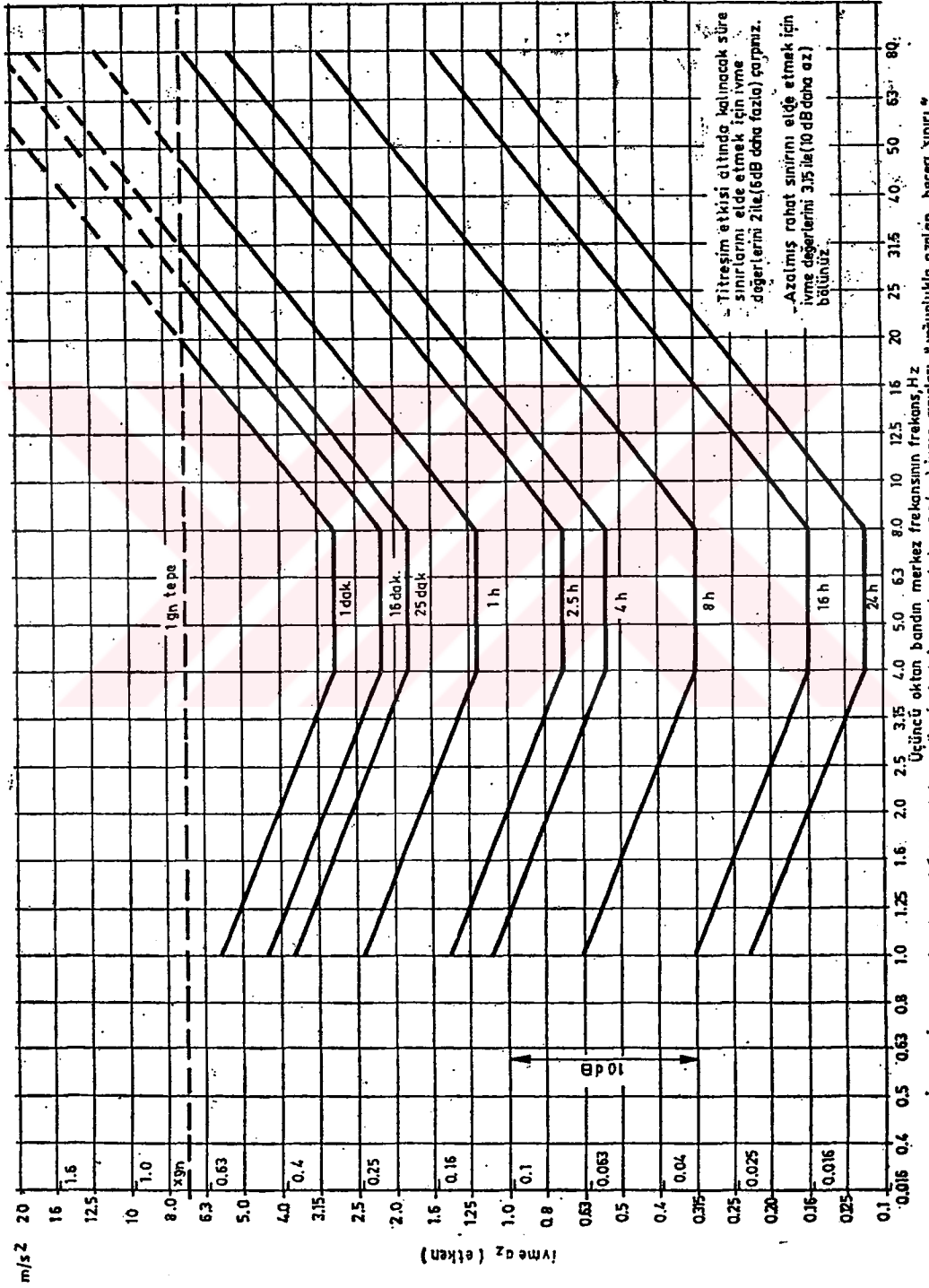


T Ü R K S T A N D A R D L A R I

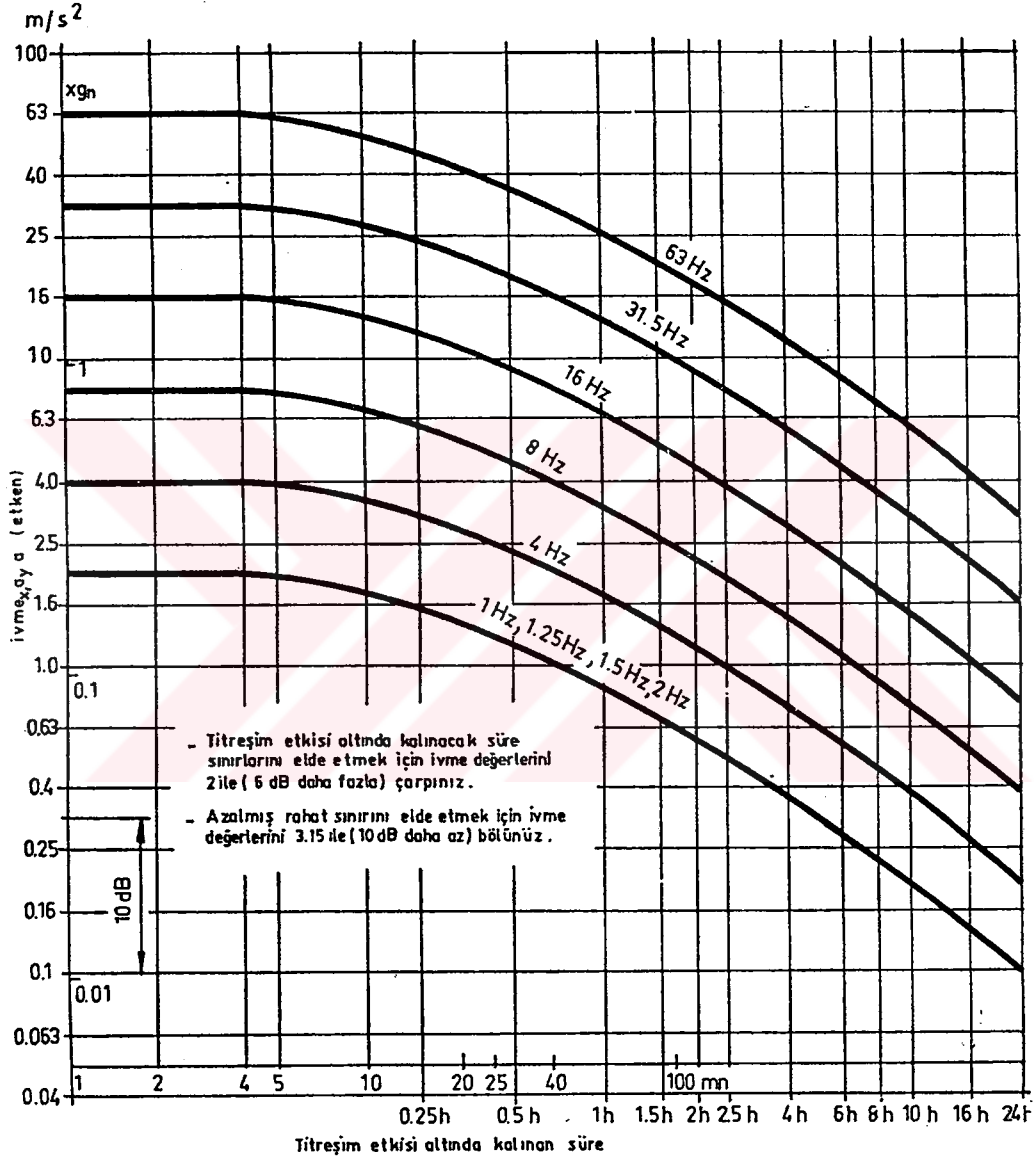
TS 2775/Nisan 1977

UDK 534.1 : 612.014.4

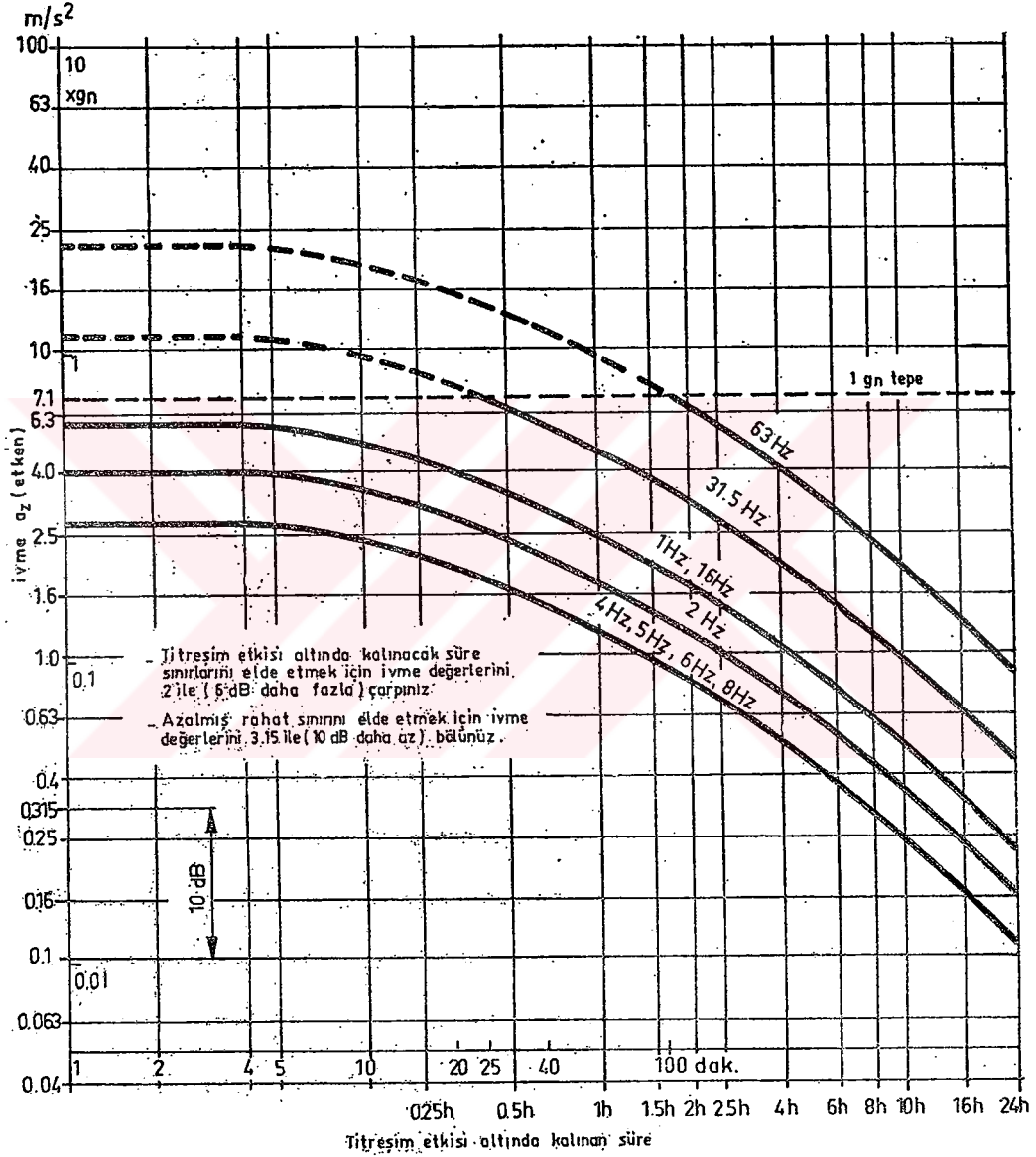




ŞEKİL 2a - Frekans ve titreşim etkisi altında kalman süresinin fonksiyonu olarak boyuna (oz) ivme sınırları, "yoğunlukla ozalan beceri sınırı"



ŞEKİL 3b - Titreşim etkisi altında kalınacak süre ve frekansın (yada üçüncü oktan bandın merkez frekansı) fonksiyonu olarak enine ($a_{x,y}$) ivme sınır değerleri ;
 * Yorgunlukla azalmış beceri sınırı "



ŞEKİL 2b - Titresim etkisi altında kalınan süre ve frekansın (üçüncü oktav bandın merkez frekansı) fonksiyonu olarak boyuna (a_z) ivme sınırları ; "Yorgunlukla azalmış beceri sınırı"

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.07.1972

Doğum yeri Elbistan

Lise 1983-1991 Özel Saint Michel Fransız Lisesi

Lisans 1992-1997 Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak.
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 1997- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı

Çalıştığı kurumlar

1996 Büklü Müh. İnş. San. Ltd. Şti. / İST.
1996-Devam ediyor TİM-ART Taahhüt İnşaat Mimarlık / İST.

