

## ***Titreşim İzolatörleri ve Seçim Kriterleri***

Etrafımız gürültü ile çevrili olduğu gibi, aynı zamanda buna sebep olan titreşimlerle de çevrilidir. Sistemlerdeki titreşimler, dış kuvvetler ve sistemin bu dış kuvvetlere cevap verme özelliğinden kaynaklanır.

Dış kuvvetler birçok halden oluşabilir. Sistemin bağlı olduğu temelden gelen kuvvetler, dönen sistemlerde dengelenmemiş kütleler, motorlarda gidip-gelen kütleler, darbe, deprem, vb. nedenlerle oluşan herhangi bir kuvvet olabilir. Titreşimler gürültüye ek olarak mekanik cihazlarda veya elemanlarda yüksek gerilmeler, aşınma ve malzeme yorulması gibi istenmeyen sonuçlara neden olurlar.

Binalarda mekanik sistemlerin yarattığı titreşimler zeminlerde, yapı duvarlarında veya diğer kısımlarda hava doğuşumlu duyulabilen sese ek olarak yapı elemanlarında yarattığı titreşimlerle de diğer mekanlara rahatsız edici gürültü olarak taşınırlar. Bu katı doğuşumlu titreşimler bazen ancak parmak uçlarında hissedilebilen çok düşük frekans bölgesinde olabilirler. Aynı zamanda duyulabilen frekans bölgesini de kimi zaman uyarırlar. Mekanik sistemlerden kaynaklanan yapısal titreşimler çoğunlukla sistemin ilk planlamasında öngörülememe sonucu oluşabildiği gibi, sistemde yapılan modifikasyon ve değişimlerle de oluşabilir. Bu titreşimlerin yapı kısımlarına veya bileşenlerine etkisini en aza indirmek için ve sistem elemanlarının sorunsuz çalışmasını temin etmek için üç ana kısımda titreşim kontrolü ele alınır.

- Kaynak
- İletici ortam
- Alıcı

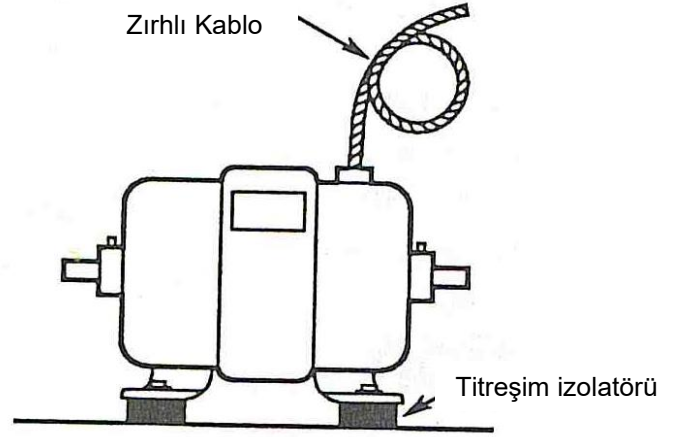
Basitçe titreşim yayılımının etkilerinin kontrolünde iki tip senaryo düşünmekteyiz.

1. Yapıyı veya bileşenlerinin bir kısmını mekanik titreşimlerin etkilerinden korumak
2. Teçhizatı veya insanları yapının titreşim etkilerinden korumak.

Kaynak veya alıcı olarak makina elemanı ile yapı elemanının iletim yolu arasında oluşan karşılıklı işleyiş titreşim kontrolünün akustik stratejisini oluşturmaktadır. Burada mekanik teçhizatın yarattığı gürültünün kısılmasında etkin olan malzemeler ve bu malzemelerin seçim kriterleri üzerinde durulacaktır.

## Titreşim İzolasyonu Prensipleri

Şekil 1'deki gibi titreşim izolatörleri üzerine yerleştirilmiş bir motor düşünelim. Motorun dönme ekseninde oluşacak mekanik dengesizlikler motoru yerinden harekete zorlayacak kuvvetler yaratacaktır. Şekilde görülen titreşim engelleyici elemanlar doğru bir şekilde seçildiği takdirde, dikey eksende yapıya etkiyen kuvvetler, doğrudan yapıya ankre edilmiş halde oluşan kuvvetlerden daha düşük oranda kuvvetin yapıya geçişine izin verecektir. Motorda oluşan dönüş hareketlerine ek belirgin yatay hareket ve sallantı hareketleri de işin içine girdiği takdirde problem karmaşıklaşır ( *Bakınız: C.M.Harris, Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill, New York, 1988*).



## Titreşim Yalıtıcısının Direngenliği

Şekil 1 Titreşim izolatörleri üzerinde bir motor

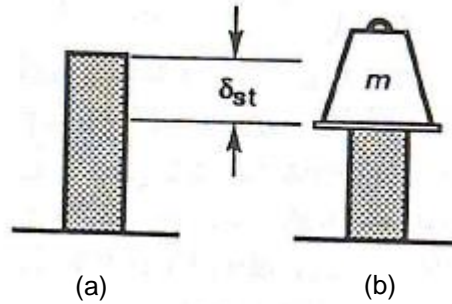
Hareketin sınırlı aralıkta olduğu birçok titreşim yalıtıcısında olduğu gibi bu sistemleri ideal bir yay olarak düşünebiliriz. Hooke yasasında olduğu gibi, boyuna F kuvvetine maruz kalan, yayın boyunda oluşan x değişimi etkiyen kuvvet ile doğrudan orantılıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$F = kx$$

Burada k orantı sabiti direngenlik (veya yay sabiti) olarak adlandırılır. SI birim sisteminde, Newton / metre veya Newton/mm birimi ile ifade edilir.

## Yalıtıcının statik çökmesi

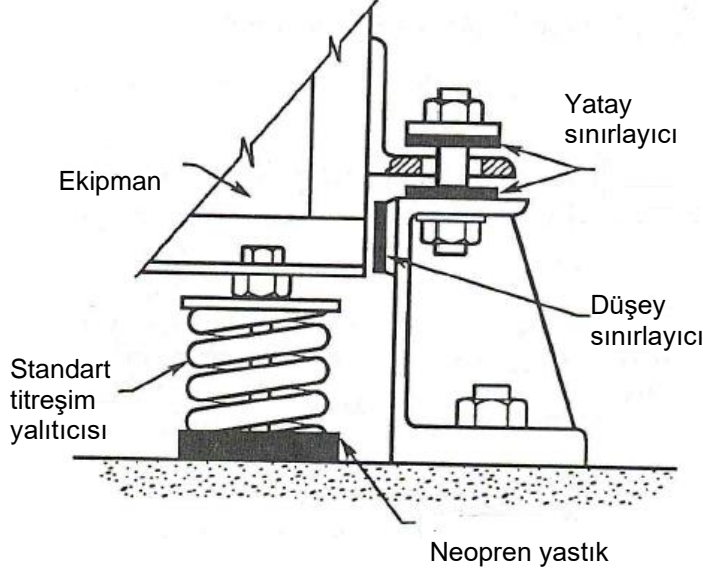
Şekil 2a şematik olarak titreşim yalıtıcısını yüksüz durumda göstermektedir. 2b ise aynı yalıtıcının m kütlesi ile yüklendikten sonraki durumunu göstermektedir. Bu durumda yalıtım elemanı sıkışmıştır, bu sıkışma miktarına *statik çökme* denir ve aşağıdaki şekilde gösterilir.



Şekil 2 a) Yüksüz ideal yay halinde titreşim yalıtıcısı b) m kütlesi ile yüklü yay. Bu halde yay  $\delta_{st}$  kadar çökmeye uğramıştır.

$$\delta_{st} = \frac{mg}{k} = \frac{W}{k}$$

Burada g yerçekimi ivmesini, W izolatöre etki eden ağırlığı göstermektedir.



**Şekil 3 Düşey ve yatay eksenler boyunca hareketi yardımcı elastomerik elemanlarla 'sınırlandırılmış' bir titreşim yalıtıcısı. Bu sınırlayıcılar bir tampon etkisi yaratarak ekipmanı yüksek şokdan koruyacaktır.**

Titreşim yalıtıcısının toplam çökmesi (deplasmanı) toplam statik çökmesi ve titreşim hareketleri sonucu oluşan yerdeğişmelerin toplamıdır. Titreşim yalıtıcıların çökmeleri geçerli sınırlar içinde tutulmalıdır. Çökme limiti yükleme sisteminin şekline ve yalıtıcının tipine bağlıdır. Limit aşıldığında, izole edilen ekipmanın sallanması veya yalıtıcının performans yitimi oluşabilir. Fazla hareketi engellemek için titreşim yalıtıcılarının *sınırlayıcı elemanları* yerleştirilmiştir. Sınırlayıcılar Şekil 3'de görüldüğü gibi yatay ve düşey yöndeki aşırı hareketleri engellerler. İzolatörün bozulması durumunda (*güçlü deprem etkisi buna sebep olabilir*) izolatör değiştirilene kadar ekipmanı güvende tutacak titreşim elemanları devreye girer.

### Yalıtılmış Kütlelerin Doğal Frekansı

Şekil 1'deki gibi bir motor varsayalım ve motorun halihazır durumunu etkileyecek bir harekete maruz bırakalım. Motor aşağı yukarı denge halinin çevresinde duruş pozisyonuna gelene kadar salınım hareketi yapacaktır. Genlikteki hızlı azalma (motorun hızla duran pozisyona gelmesi) sistem hareketinin sönümlenmesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Kütlelerin denge pozisyonunun altında ve üzerinde oluşan titreşimlerinin saniyedeki salınım sayısına sistemin *doğal frekansı* ( $f_n$ ) denir ve Hertz(Hz) birimi ile gösterilir. Statik çökme ile birlikte denklem şu kullanışlı duruma gelir.

$$f_n = \frac{15.8}{(\delta_{st})^{1/2}}$$

## Geçirgenlik

Şekil 1'deki gibi titreşim yalıtıcıları üzerine monte edilmiş bir motor düşünelim. Sistemin zemine ilettiği dinamik kuvvetin genliğinin, sisteme uygulanan harmonik kuvvetin genliğine oranına kuvvet iletimi oranı denir ve bu oran T ile gösterilirse geçirgenlik aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$T = \frac{F_t}{F_d} = \frac{1}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1}$$

Burada  $f_d$  tahrik titreşim frekansı (veya uyarı frekansı),  $f_n$  ise esnek bağlantı sisteminin doğal frekansdır. Esnek bir mesnetle bağlı bir sistemin doğal frekansı, bilindiği gibi sisteme belli bir kuvvetin etkiyip çekilmesi ile kendi kendisine osilasyona başladığı andaki frekansdır.

Yukarıdaki formüller ile örneğin üzerinde bir uyarıcı kütle bulunan yalıtıcının statik çökmesi 1.67 mm ise, doğal frekans denkleminde göre  $f_n$ , 12.2 Hz. olarak bulunur. Motorun tahrik frekansı 30 Hz. ise yukarıdaki geçirgenlik denklemi ile T, 0.2 bulunur.

## Titreşim İzolasyonu Verimliliği

Titreşim yalıtıcıları doğru bir şekilde seçilmiş ve uygulanmış olduğu takdirde kritik uyarı frekansında, T geçirgenliği 1'den çok daha düşük olur ve izolasyon sağlanmış olur. İzolasyon verimliliği = 100 (1-T) formülü ile verilir. Örneğin T 0.2 ise yalıtım verimliliği %80 olacaktır. Bu denklem T'nin 1'den çok küçük olduğu haller için yalıtım sisteminin oldukça verimli olduğunu göstermektedir. T'nin küçük değerleri titreşim sisteminin doğal frekansı  $f_n$ 'in tahrik frekansından daha düşük tutulması nedeniyledir.

Ekteki Tablo 1. Farklı izolasyon verimlilikleri için gereken  $f/f_n$  oranını göstermektedir.  $f/f_n$  oranı 1.41'den daha büyük olan oranlar için titreşimde bir azaltım beklemek anlamlı olur.  $f/f_n$  1.41'den küçük olduğu takdirde T geçirgenliği 1'den büyük olur ve bu titreşimde azaltım yerine bir artma ile sonuçlanır. Aynı zamanda zemine aktarılan kuvvet azalacağına artacaktır.

Yalıtım verimliliği	Maksimum geçirgenlik	Gerekli $f/f_n$ oranı
90	0.1	3.32
80	0.2	2.45
70	0.3	2.08
60	0.4	1.87
50	0.5	1.73
40	0.6	1.63
30	0.7	1.56
20	0.8	1.50
10	0.9	1.45
0	1.0	1.41

**Tablo 1. İstenilen yalıtım verimliliği için karşılanması gereken  $f/f_n$  oranı**

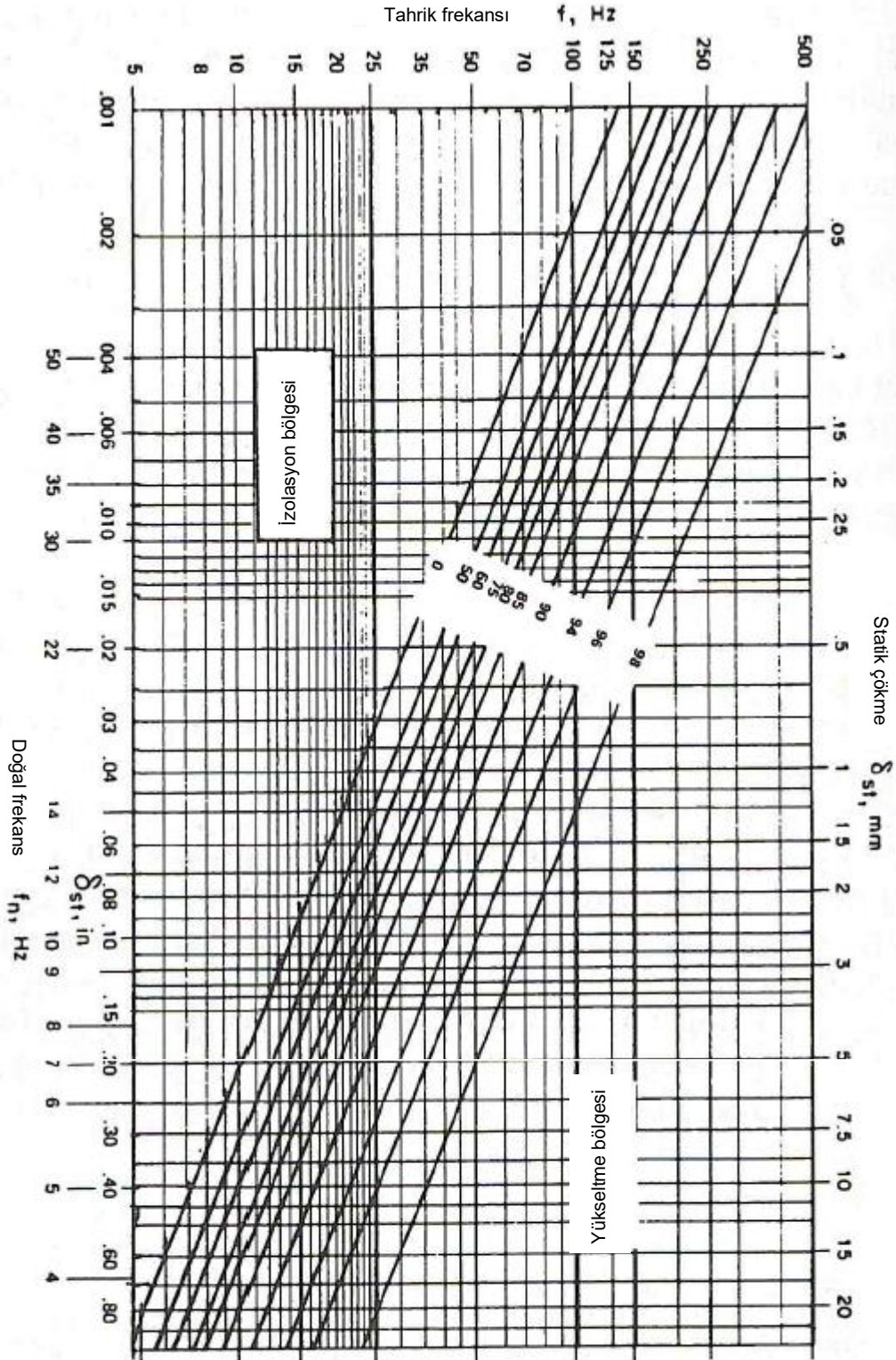
$f/f_n$  oranı 1 olduğu takdirde, yani sözkonusu sönümsüz sistem doğal frekansında uyarıldığında titreşim genliği sonsuza gider, bu durum rezonansı oluşturur, bu frekansa da rezonans frekansı adı verilir. Doğal olarak, fiziksel bir sistemde titreşim genliğinin sonsuza gitmesi diye bir şey sözkonusu olamaz. Bunun ilk nedeni hiçbir mekanik sistemin tamamen sönümsüz olmamasıdır. İkinci olarak; rezonansa geldiği için titreşim genliği sürekli artan bir sistemde, belli bir noktadan sonra kırılma, bozulma vb. olaylar görülür ve çözüm yaklaşımı anlamını yitirir.

Yukarda sıralanan sonuçlar, titreşim kontrolünün çeşitli aşamalarda uygulanmasında doğrudan kullanılabilir. Örneğin, doğal frekansından çok daha yüksek bir frekansta titreştirilen bir sistemin, titreşim genliğini düşürmek amacıyla sisteme sönüm eklenmesinin fazla bir yarar sağlamayacağını kolayca görebiliriz. Ya da, rezonans yakınında titreşen bir sistemde en etkili önlemin, tahrik frekansını veya doğal frekansı değiştirerek rezonans bölgesinden kaçmak olduğunu, bunun olanaksız olduğu durumlarda ise sisteme eklenen sönümün titreşim genliğini önemli ölçüde azaltacağını söyleyebiliriz.

Sönüm oranının sıfır olduğu duruma özgü çeşitli yalıtım yüzdeleri için verilen tahrik frekansı ile sistemin doğal frekansı arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerden istenilendeğerler oldukça hassas okunabilir ve bu eğriler titreşim yalıtıcı tasarımında kullanılabilir. Titreşim yalıtımında kullanılan malzemenin sönümü ihmal edilebilecek kadar az ise, sistemdeki iletim oranının hesaplanmasında, ya da istenilen bir iletim oranını verecek yalıtıcı destek tasarımında bu grafiklerden yararlanılabilir.

Şekil 4 doğal frekansı veya statik çökmesi bilinen bir sistemin titreşim izolasyonun tespit etmekte kullanılabilecek bir grafik sunar. Örneğin, statik çökmesi 1.67 mm. ve tahrik frekansı 30 Hz. olan sistemde yalıtım verimliliği %80 olur.

Şekil aynı zamanda statik çökmenin tespitinde de kullanılabilir: Tahrik frekansı okunur. Titreşim için istenilen yüzde oranı tayin edilir. Bu çakışma noktasından gereken statik çökme değerine dikey bir çizgi ile ulaşılır.



**Şekil 4 Yalıtım Verimliliği Çizelgesi**

Eğimli çizgiler yalıtım yüzdesini belirtir.

## Titreşim yalıtımında kullanılan malzemeler

### Çelik yay yalıtıcılar

Titreşimi azaltma açısından bir yalıtıcı maddenin randımanı bu maddenin sağlayabildiği elastik deformasyona bağlıdır. Yalıtım için kullanılan malzemeler içinde, en büyük elastik deformasyonu çelik yaylar sağlarlar ve kritik titreşim azaltımı bunlarda en düşüktür. Sonuç olarak en randımanlı ve uygun titreşim yalıtım sistemleri çelik yaylarla sağlanır.

Vibrasyon yalıtımında kullanılan çelik yaylar, genellikle dökme demir veya çelik muhafaza içinde bulduklarından ömürleri, kullanıldıkları makina ömürlerinden çoğunlukla daha uzundurlar. Bu tip yalıtıcılar bakımı kolay olup sudan, yağdan, bir çok kimyasal maddelerden ve aşırı ısı değişimlerinden etkilenmezler.

Çelik yaylı yalıtıcıların performansları daha önceden kesin olarak tayin edilebilir. Bu durum diğer yalıtım malzemelerinde bulunmaz. Böylece deneme yapılmadan malzemeyi kullanma imkânı vardır.

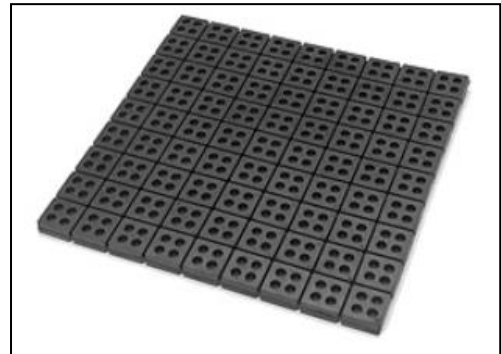


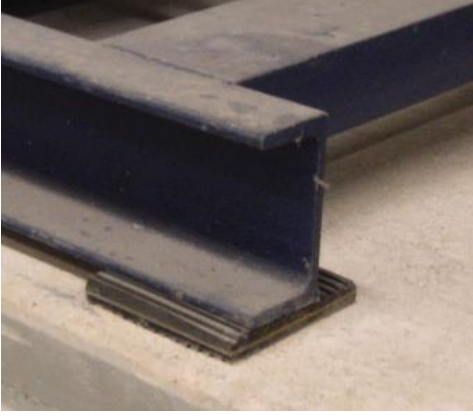
### Elastomerler

Elastomerler, yüksek frekanslı sesleri söndürmede çok uygun olduklarından, kritik olmayan tesislerde darbe ve titreşim transmisionunu önlemede başarı ile kullanılırlar. Sönümlenme özellikleri metal yaylara nazaran 10 kat fazla olduğundan rezonanstandan geçişleri hızlı olmayan makinaların yalıtımında metal yaylara tercih edilirler.

Titreşim yalıtımında orta ve yüksek hızdaki cihazlarda daha çok kullanılır. Hafif ve orta ağırlıktaki makinalar için ekonomiktirler. Daha ağır makinalar için maliyetleri çelik yay yalıtıcılarına yaklaşıp.

Kesmeye veya basmaya çalışan şekilleri, çekmeye çalışan şekillerine tercih edilirler. Döşeme ve tavan kullanımına ve muhtelif yük kapasitelerine göre değişik boyutlarda imal edilirler. Elastomer yalıtıcılar, ucuz titreşim yalıtım





imkânı verirler. Elastik deformasyonları 5-10 mm. kadardır. Yüksek frekanslı titreşimler yaratan pek çok dinamik makinalarda gövdesel ses yalıtımına karşı başarı ile kullanılabilir. Taşıyacağı yüke göre imalatçı kataloğundan uygun tiplerin seçimi yapılmalıdır. Elastomer bağlantılarının düşük frekanslarda yalıtım verimlilikleri düşüktür. Titreşim azaltımında ayrıca makinanın rezonansa gelmesi halinde osilasyon hareketine karşı koyar. Bu karakteri ise makinanın ilk hareketi ve durdurulması esnasında meydana gelen rezonansları önlediği ve makina akustiğine olumlu

katkıları dolayısıyla çok istenen bir özelliktir.

### Esnek Yastık ve Takozlar

Bu grupta mantar, mineral yünler, keçe türü malzemeler vardır. Genellikle tabaka şeklinde bulunurlar ve istenilen boyutta kesilerek geniş destek olarak kullanılırlar.

Yüksek frekansta titreşen malzemelerin yalıtımı için uygundur. Gürültü kontrolü amacıyla yapılan titreşim yalıtımlarında mekanik açıdan yüksek frekansları yalıtımda etkili olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar.



Mantar sözkonusu yüksek frekanslı titreşim yalıtımında kullanılmasından ötürü akustik amaçlı titreşim yalıtımının önemli bir malzemesidir. Yüksek frekanstan kastedilenin, mekanik açıdan yüksek frekanslar olduğunu, bu frekansların akustik açıdan düşük frekanslara karşı geldiğini vurgulamak gerekir. Mekanik açıdan düşük frekanslı titreşimler, daha çok, titreşimin gürültü dışındaki zararlı etkilerinden korunmak amacıyla azaltılırlar. Mekanik açıdan yüksek frekanslı titreşimlerin azaltılmasının temel nedenleri arasında gürültü kontrolü çoğunlukla ilk sırayı alır. Mekanik titreşimler açısından yüksek sayılan frekanslardaki titreşimin kontrolünde

mantar son derece etkilidir. Gözenekli yapısından ötürü ezilmeye kauçuktan daha elverişlidir ve bu nedenle ağır yükler altında kullanılabilir.



Mineral yünlerden yapılmış maddelerin dinamik esneklik özellikleri iyidir. İnce keçe kat ve tabakaların dinamik dirençliliği, önemli ölçüde havanın dirençliliği tarafından belirlenir. Mineral yününden maddelerde, yüklenme sırasında fazla büyük bir ezilme, bir sıkışmanın önüne geçmek amacıyla, 100 kg/m<sup>3</sup> ün üzerinde olan kaba yoğunlukların kullanılması tavsiye edilir. Çoğunlukla bu amaçla üretilen cam yünü veya taşıyıcı ön-sıkışma yapılarak piyasaya arz

edilirler.