

Yapısal Titreşimlerin Kullanıcı Konforuna Etkisinin İncelenmesi

¹Muhammed Emin IŞIK, ²Ali Osman KURUŞCU

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

eposta: ¹muhammedemin@hotmail.com, ²aliosmankuruscu@yahoo.com

Geliş Tarihi: 05.02.2018

Kabul Tarihi: 29.03.2018

Özet

Yapı titreşimleri genellikle deprem ve hasar konularını kapsayacak şekilde incelenmektedir. Özellikle büyükşehirlerde sürekli gelişim sebebiyle yapıları etkileyen birçok dış titreşim kaynağı vardır. Titreşim kaynakları yapıları bir zarar vermese de insanların yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu etkileri deneysel bir metotla değerlendirebilmek için ivme ölçer cihaz kullanılarak titreşim ölçümleri yapılmıştır. Farklı strüktürlerin ve titreşim kaynaklarının bulunduğu 9 yapı ölçüm yerleri olarak seçilmiş ve sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Gerçekleştirilen ölçümler yapıları konfor konulu TSE onaylı ISO 2631-2 ve uluslararası DIN 4150-2 standartlara göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, yapılar arasındaki farklılıklar gözetilerek karşılaştırılmış ve yapılarıdaki kullanıcı konforuna etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Titreşimi; Konfor; Titreşim Ölçümü; ISO 2631; DIN 4150

Investigation of the Effect of Structural Vibrations on the User Comfort

Abstract

Building vibrations are usually investigated within the context of earthquake and damage. Especially in metropolitan cities there are many external vibration sources which affect the buildings due to continuous improvement. Although vibration sources do not harm the structure, they can affect people's life standard negatively. In order to evaluate these effects by the experimental method of vibration measurement was made by using accelerometer device. 9 buildings with nine different structures and vibration sources were selected as measurement locations and the objectivity of the results was aimed. In the measurements made, ISO 2631-2 approved by TSE and DIN 4150-2 standards for comfort in buildings were applied. The results obtained were compared by considering the differences between the structures and the effect on the user comfort was examined.

Keywords: Building Vibration; Comfort; Vibration Measurement; ISO 2631; DIN 4150

1. Giriş

Yapılar deprem ve doğal afetler dışında birçok şekilde titreşime maruz kalmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle, makineleşme ve yapılaşma hızla artmakta, ulaşım ağları genişlemekte dolayısıyla hareket ve dolaşım önemli ölçüde artmaktadır. Bunların bir sonucu olarak titreşim ve gürültü günlük hayatımızda sıradanlaşan bir hal almaktadır. Her ne kadar titreşimi gürültü kadar kolay algılamasak da yaşam standartlarını ve yapı işlevini etkileyen önemli bir unsurdur.

Yapının çevresindeki ve içindeki çeşitli titreşim kaynaklarının çalışması sonucunda yapılar işlev ve hasar yönünden, kullanıcılar ise sağlık ve konfor

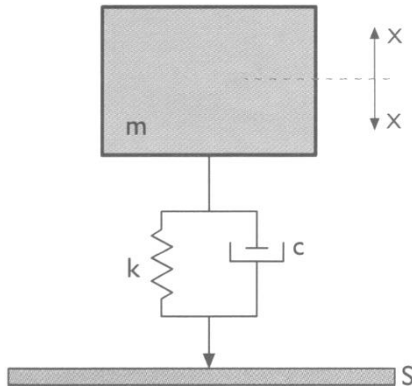
yönünden etkilenebilmektedir. Titreşimin yapıları olan etkileri yönetmeliklerde belirlenip, sınır değerler ve zorunluluklar getirilmesine rağmen kullanıcı konforuna etkisi yasal zorunluluk kapsamında olmadığı için yeteri kadar önemsenmemektedir. Bu etkilerin belirlenebilmesi ve önlem alınabilmesi için yapı hasarındaki gibi görsel bulgular dışında uluslararası belirlenmiş standartlar çerçevesinde incelemeler yapılmaktadır.

1.1. Titreşim

Her cisim bir kuvvet uygulandığında kütesine uygulanan kuvvete, sürtünme kuvvetlerine ve sönüm özelliklerine bağlı olarak hareket edebilmektedir. Bu durumda maddenin ilk

konumundan ayrılıp sürekli bir şekilde bu konuma geri gelmesi durumunda titreşim olayı gerçekleşir. Dolayısıyla "Titreşim, belirli bir nokta etrafındaki devamlı salınımdır" [1] ifadesi titreşimin en sade tanımıdır.

Farklı bileşenlerle tasarlanmış titreşim mekanizması Şekil 1'de gösterilmiştir. Titreşime maruz kalan madde m kütle, titreşimi iletecek yay k elastiklik modülüne ve yok sayılan bir kütle, viskoz sönümleyici de yok sayılan bir kütleye sahip olup zemine sabitlenmiştir. Maddeye kuvvet uygulanması sonucunda yalnız X yönünde hareket etmesi sağlanarak sistem dengeden çıkarılır ve maddenin ilk konumuna tekrar ulaşmasıyla "serbest titreşim" meydana gelir [2].

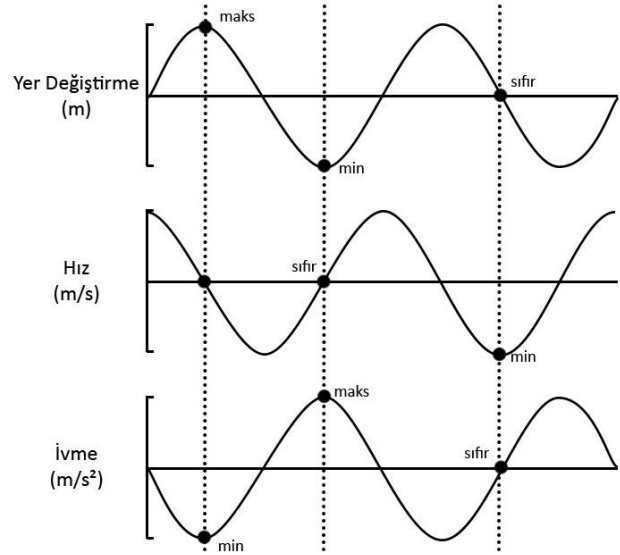


Şekil 1. Titreşim sistemi [2]

(m : kütle, k : yayın elastik modülü, c : sönümleme direnci (sönümleme), x : hareket yönü)

Yer değiştirme, hız ve ivme titreşimin ölçülebilir değerleri olup, aralarındaki ilişkiyi anlamak olayları değerlendirip çözümlenme konusunda önem arz etmektedir. Bu değerlerin analizi ve farklı hesap yöntemleri sonucunda tanımlayıcı diğer verilere ulaşılır.

Şekil 2'deki titreşim grafiği bir sarkacın serbest salınımla örneklendirilebilir. Sarkacın denge konumundan sonra ulaştığı en uzak mesafe maksimum yer değiştirmesidir. Ulaştığı en uzak mesafede aksi yöne hareket edeceği için anlık duracak ve hızı sıfır olacaktır. Hareket etmesiyle hızlanacak, ilk konumuna ulaştığında yer değiştirmesi sıfır, hızı maksimum olacak ve yavaşlamaya başlayacaktır. Maksimum hıza ulaştığında hızlanma duracak yani ivme sıfır olacaktır.



Şekil 2. Periyodik titreşimde yer değiştirme, hız ve ivme kavramlarının karşılaştırması

2. Titreşim Kaynakları

Depremler, fırtınalar gibi yapıların titreşime maruz kalmasına sebep olan doğal afetler dışında; ulaşım araçlarının oluşturduğu trafik, inşaat faaliyetleri, kazılar gibi dış faktörler, kullanıcıların hareketleri, makinelerin çalışması gibi yapı içi faktörler yapıların birbirinden farklı frekans, genlik ve yönlerde, 0.1 Hz – 500 Hz arasında titreşimine sebep olmaktadır [3].

2.1. Dış Kaynaklı Titreşimler

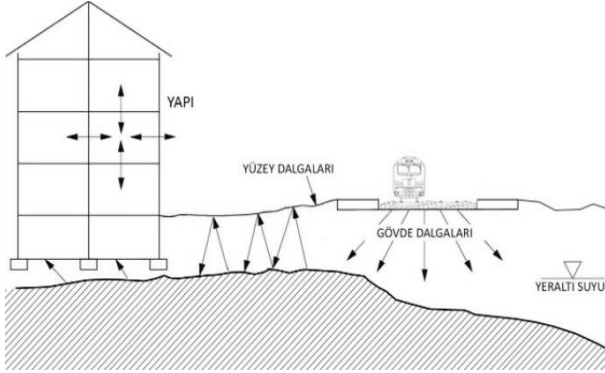
Yapı etrafındaki faaliyetlerden kaynaklanan titreşimlerin kamusal alanda yer alması sebebiyle bir problem teşkil etmesi durumunda çözümü uygulama açısından zor ve maliyetlidir. Yapıların tasarım aşamasında bu durum göz önüne alınarak uygun teknik detaylar kullanılmalı ve doğru uygulamalar yapılmalıdır.

2.1.1. Karayolu Trafik

Karayolları yapılara en yakın ulaşım unsuru olması sebebiyle yapıda hissedilen titreşimlerde önemli bir etkiye sahiptir. Yol zeminindeki düzensizlikler, su hattı kapakları, tümsekler, vb. taşıtların hareketi esnasında titreşimi önemli ölçüde oluşturan ve arttıran etkenlerdir.

Araçlar zemine paralel yönde hareket ettiği için minimum düzeyde titreşim oluştururlar fakat bu etkenlerle karşılaştığında araç ağırlığı ve hareket esnasında oluşan enerji süspansiyonlardan tekerleklerle, tekerleklerden zemine iletilerek kuvvetli titreşimler meydana getirir. (Şekil 3)

Oluşan titreşimler genellikle 5 Hz – 25 Hz frekans, 0.5 – 200 mm/s² ivme, 0.05 – 25 mm/s hız değerlerindedir [4].



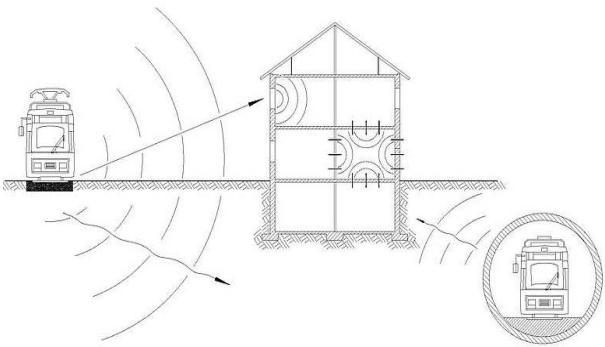
Şekil 3. Karayolu titreşiminin yayılımı [5]

Titreşimin frekansı aracın veya zeminin frekansına eşit veya yakın olduğunda etkisi daha yüksek olur. Çakıllı bir yolda düşük veya yüksek bir hızla gidilirken, ortalama bir hızla gitmekten daha az seviyede titreşim hissedilir.

2.1.2. Raylı Sistem

Ulaşımına verilen önemin artmasıyla raylı sistem ağları yer altında metro, karada tramvay, uzun mesafelerde tren olarak çeşitli tip ve donanımdaki araçlarla sürekli gelişmektedir [6].

Enerjinin lokomotif ve vagonlardan tekerleklerle, oradan raya, rayın bastığı zemine ve toprağa iletilmesiyle oluşan titreşim yapının toprak altındaki bölgelerine ve temeline ulaşır (Şekil 4).



Şekil 4. Raylı sistem titreşiminin yayılımı

Raylardaki düzgünlük, lokomotifin mekanik durumu, vagonların bakımı ve tekerlekler titreşim açısından önemli etkenlerdir. Bu araçların ağırlığının ve hızının yüksek olması, elemanlar

arasındaki temasların sert olması titreşim değerlerini karayoluna göre arttırıcı sebeplerdir.

2.1.3. Çevresel Kaynaklar

Şantiyeler, alt yapı uygulamaları, maden ocakları yapılaşma bölgelerinde sıklıkla görülebilen, zemin yapısına göre kırım ve kazı işlerinde aşırı düzeyde enerji ve kuvvet uygulanmasıyla 1 Hz – 150 Hz değerlerinde yüksek genlikli titreşime sebep olan çalışmalardır [2].

Şantiyelerdeki kazık çalışması, kazı ve sıkıştırma şeklindeki uygulamalar sonucu oluşan titreşimler bölgedeki yapılara farklı seviyelerde etki etmesiyle hasarlar oluşabilmektedir.

2.1.4. Rüzgâr

Rüzgâr, yüksek yapılarda 0.1 Hz – 2 Hz aralığında etkili titreşim meydana getiren afetler haricindeki tek doğa olayıdır. Yüksek katlardaki salınımın en üst düzeyde olması ve düşük frekans değerleri özellikle en üst kat kullanıcılarının konfor ve sağlığı açısından önemlidir. Düşük frekanslı titreşimler algılanmasa da bireylerde baş dönmesi, yorgunluk, konsantrasyon eksikliği gibi rahatsızlıklara neden olarak çalışma performanslarını etkileyebilmektedir [7].

Bu sebeple, yüksek yapılar statik gereksinimler kadar uzun süreli kullanım rahatlığı ihtiyacı olan, tasarım sürecinde formu, narınlığı, yönü gibi çeşitli etkenlerin de göz önünde bulundurulması gereken uzmanlık alanıdır. Kullanıcı konforu dikkate alınmadan tasarlanan yapılarda herhangi bir hasar oluşmasa da bu tür yapılar kullanıcı açısından verimli ve yaşanabilir olmayacaktır.

2.2. Yapı İçi Titreşim Kaynakları

Yapılarda doğrudan zemin ve yüzeyle temas eden mekanik ekipmanlar, yapı içindeki aktif faaliyet alanları ve kişilerin devamlı hareketleri titreşime sebep olan iç kaynaklardır. Bunların etkisi ve oluşturdukları titreşim doğru teknik uygulamalarla ve müdahalelerle azaltılabilir.

2.2.1. Mekanik Ekipman

Yapıların kullanım amacı ve boyutlarına göre asansör, hidrofor, havalandırma, ısıtma cihazları gibi çeşitli mekanik ekipman gereksinimleri olmaktadır. Bu elemanlar genellikle çalışır vaziyette olup, doğru dizayn edilmeden uygunsuz şekilde

montaj yapılmışsa gürültü ve titreşime sebep olabilmektedir [8].

Her biri titreşim oluşturan mekanik ekipmanlar, proje aşamasında göz önüne alınıp kurulumları sırasında doğru malzeme ve teknik detayların uygulanmasıyla titreşimi en az düzeyde iletecek ve kullanıcıların konforunu etkilemeyecektir. Isıtma ve soğutma sistemleri gibi makinelerin bulunduğu yerler önemli olup, bodrum kat veya temel üstü alanlara yerleştirilmelidir.

2.2.2. İnsan Hareketleri

Kişilerin yapı içindeki hareketleri ve yoğun kullanımlı yapılardaki dolaşım devamlı düşük frekanslı titreşimler oluşturmaktadır. Faaliyet türüne, yoğunluğa ve yapı özelliklerine göre bu titreşimlerin etkisi fazla olup rahatsızlık oluşturacak düzeylere ulaşabilmektedir.

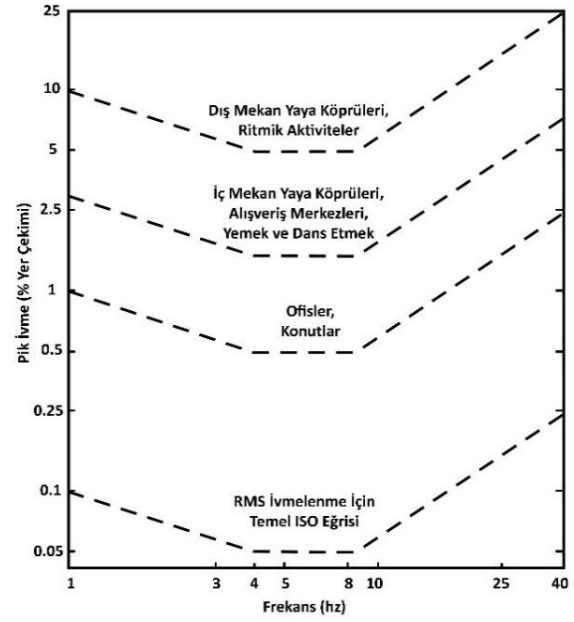
Titreşim düzeyleri kişinin yürüyüş hızına göre farklılık göstermektedir (Tablo 1). Kişi normalde 1.5 Hz – 2.4 Hz frekansında yani saniyede 1.5 – 2.4 adım atarak yürür, 2.5 Hz üzeri hızlı yürüyüş, 3 Hz koşu frekans değeridir [9]. Kişiler hastane koridoru gibi düz ve uzun mekânlarda küçük mekânlara göre daha hızlı hareket etmektedir.

Tablo 1. Yürüyüş şekline göre titreşim frekansı

Frekans (Hz)	Yürüyüş şekli
1.5 – 1.8	Normal yürüyüş
1.8 – 2.0	Acelesi olan kişinin yürüyüşü
2.0 – 2.4	Çok tempolu bir yürüyüş

Günümüzde, aynı yapıda birçok faaliyetin olması spor salonlarının, ofislerin ve konutların bir arada olmasına imkân vermektedir. Fitness, vücut geliştirme, dans etme gibi aktif faaliyetler yapıdaki diğer kişilerin konforunu, çalışmasını etkileyecek titreşimlere neden olmaktadır. Dolayısıyla kişilerin tepkisi o an yaptıkları faaliyete bağlıdır (Şekil 5).

Ofislerdeki veya konutlardaki kişiler "belirgin biçimde algılanabilir" titreşimleri (yerçekimi ivmesinin yaklaşık %0,5'inde pik ivme) sevmeyen, bir faaliyete katılanlar yaklaşık 10 kat daha fazla titreşimi (%5 g veya daha fazla) kabul edecektir [10].



Şekil 5. Faaliyetlere göre tavsiye edilen ivme değerleri (ISO 2631-2: 1989).

3. TİTREŞİMİN ETKİLERİ

Titreşimler sahip olduğu değerlere göre yapıya çeşitli düzeyde etki ederler. Dış kaynaklı olduğunda zeminden temele, temelden taşıyıcı sistem aracılığıyla yapı elemanlarına ulaşır. Titreşimler iç kaynaklı olduğu durumda ilk olarak döşemeye oradan tüm yapıya iletilir. Bütün titreşimler yapıya iletildiği gibi kullanıcılara da ulaşır farklı etkileri olacaktır.

3.1. Yapı Üzerindeki Etkileri

Modern yapılar titreşim olaylarından daha az etkilenirler. Titreşimler kalıcı hasar oluşturmasa da devamlılık halinde yapı elemanlarında tahribata sebep olabilmektedir. Betonarme yapıların yüksek sönüm oranına kıyasla hafif yapı sistemleri düşük sönüm oranlarına sahip olduğundan titreşimlerden daha fazla etkilenir. Tarihi yapılar, müzeler, laboratuvarlar gibi işlevsel yapılar kritik titreşim değerleri sebebiyle daha hassastır.

3.1.1. Hasar Oluşumu

Titreşimler anlık veya devamlı etkisiyle yapı elemanlarında tahribat oluşturabilir. Titreşim frekansıyla her biri farklı doğal frekanslara sahip duvar, döşeme, taşıyıcı elemanlar gibi yapı elemanlarının frekansı çakıştığında rezonans etkisiyle 0.5 – 5 katı kadar etkili olabilmektedir.

Yapı elemanlarının doğal frekansları [11]:
Kirişler: 5 – 50 Hz

Döşemeler ve plaklar: 10 – 30 hz
Pencereler: 10 – 100 hz
Sıvalı tavanlar: 10 – 20 hz

Oluşabilecek hasarlar BS 7385’de [12] kozmetik hasar (ince çatlak), orta hasar (geniş çatlak), büyük hasar (yapı elemanlarının zarar görmesi) olarak sınıflandırılmıştır.

Kozmetik hasar: Bölme duvarda, sıvada, blok malzeme derzlerinde saç teli kalınlığında çatlaklar oluşmasıdır.

Orta hasar: Duvarlarda, kirişlerde geniş (10 mm) çatlakların oluşması ve tavan sıvalarının dökülmesi durumudur.

Büyük hasarlar: Kolon ve kirişlerde çok geniş (25 mm) çatlakların meydana gelmesi, bağlantıların gevşemesi, yapı elemanlarının bozulmasıdır.

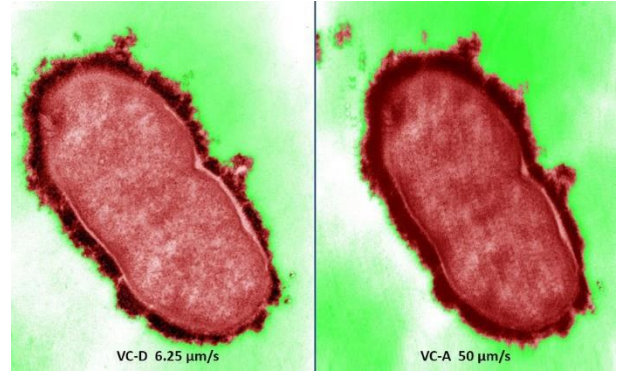
Bütün hasarlar titreşim kaynaklı değildir, önemli yapılarda devamlı takip ve titreşim ölçümlerinin analiz edilmesiyle tespit yapılmalıdır.

3.1.2. İşlev

Yapıların çeşitli kullanım amacı ve işlevleri vardır. Titreşimler, hasar oluşturmak haricinde yapının işlevine zarar verebilir, yapı içindeki çalışmaları durdurabilir yahut hatalı işlemler yapılmasına neden olabilir. Tarihi yapılar, müzeler, vb. ve yapı içindeki unsurlar kritik titreşim düzeylerinde zarara uğrayabilir.

3.1.3. Hassasiyet Gerektiren Çalışma Alanları

Laboratuvarlar ve araştırma merkezleri gibi önemli çalışma alanlarında kullanılan elektron mikroskobu, vb. ekipmanlar, görüntüleme cihazları çok düşük titreşim düzeylerine karşı hassastırlar. Kabul edilmeyen titreşim düzeylerinde; görüntü netliğinin azalması, alet kalibrasyonunun bozulması, hatalı ölçümler gibi kötü durumlar meydana gelebilir. Şekil 6’da bir E.coli bakterisinin farklı titreşim seviyelerindeki elektron mikroskobu ile 6500 kat büyütülmüş görüntüsü gösterilmiştir [13].



Şekil 6. Farklı titreşim düzeylerinde E. Coli bakterisinin mikroskop görüntüsü

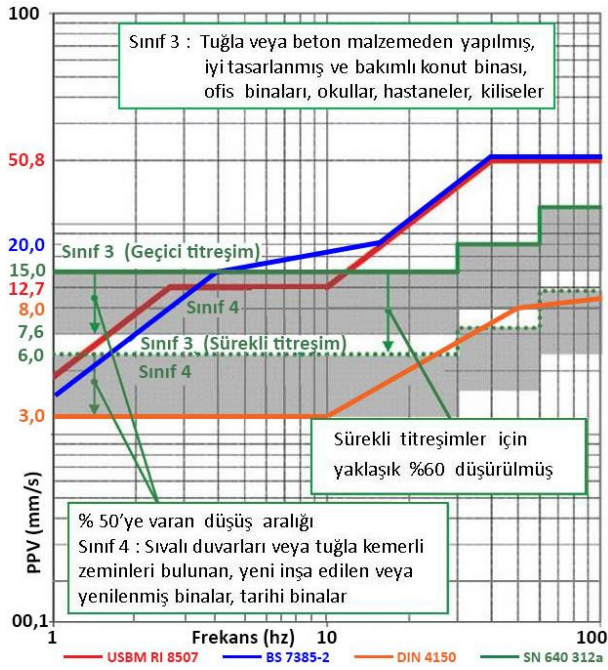
iki farklı titreşim düzeyinde alınan görüntülerde düşük titreşim düzeyindeki görüntünün daha net olduğu görülebilmektedir. Bu şekilde hassasiyet gerektiren çalışma alanları titreşim kaynaklarından olabildiğince uzak olmalıdır ama genellikle yapıların yerini tayin etmek mümkün değildir. Oluşan problemlerde yalıtım pedleri kullanılmakta fakat yeterince verimli olmamaktadır. Görüntüleme cihazlarının düşük frekanslarda hassas olmasına rağmen yalıtım pedleri yüksek frekanslarda daha iyi çalışmaktadır ve titreşimin etkisini tamamen yok edememektedir [14].

3.1.4. Özel Nitelikli Yapılar

Tarihi yapıların tahribata uğraması fiziksel bir hasar oluşumundan ziyade tarihi ve kültürel değerlerin korunamaması açısından önemlidir. Bu yapılar genellikle taş malzemeden yığma sistem veya ahşap malzemeden karkas sistem olarak inşa edilmiştir. Dolayısıyla güncel yönetmeliklerle değerlendirilmesi pek mümkün değildir. Bu yapıların her biri çeşitli malzeme ve strüktürleri sebebiyle titreşim olaylarında farklı tepkiler verecektir.

Bu hususta birçok ülkede çalışmalar yapılmış, çeşitli parametreleri bulunan DIN 4150, USBM RI 8507 [15], BS 7385, SN 640 [16] standartları (Şekil 7) oluşturulmuştur. Genel prensip olarak betonarme yapıların hasar kriterleri kullanılarak parametrelere göre belirli emniyet oranları uygulanmıştır.

- Yapı sisteminin titreşime karşı duyarlılığı,
- Mevcut olan zayıflık ve hasarları,
- Yapının tarihsel, kültürel değeri.



Şekil 7. Tarihi yapılarda hasar standartlarının karşılaştırılması

Tarihi yapılarda emniyet oranları uygulanmasına rağmen çoğu zaman betonarme yapılardan iyi bir halde olabilmektedirler. Bu yapıların her birinin titreşime karşı tepkileri ve duyarlılıklarının farklılık göstermesi sebebiyle öznel olarak değerlendirilip; kültürel ve tarihsel değeri, kullanılan malzemeler, strüktür, mevcut durumu ve hassas noktaları incelenmelidir. Bu analizin neticesinde yapının önemine ve dayanım sürecine göre hali hazırdaki yönetmelik ve standartlarla uygun titreşim seviyeleri oluşturulur.

3.2. Kullanıcılar Üzerindeki Etkileri

İnsan vücudu çevresel etkilere karşı oldukça hassas olup algısı ve hassasiyeti çok gelişmiştir. Buna rağmen titreşim olaylarında verdiği tepki bulunduğu mekân, yaptığı faaliyete göre değişiklik göstermektedir. Yapıdaki titreşim insan vücuduna dolaylı olarak etki etmektedir [17].

İnsan vücudu birbiriyle bağlantılı çok parçalı bir sistem olarak görülebilir. Çünkü her organ birbirinden farklı doğal frekanslardadır. (Tablo 2) Her organın titreşime karşı tepki ve hassasiyeti de çeşitlilik gösterecek, hastalık ve konfor kaybına sebep olabilecektir. Dolayısıyla titreşim karşısında insan vücudunun tepkisini analiz ederken fiziksel ve psikolojik etkilerini de dikkate almak gerekir.

Tablo 2. Organların doğal frekansları

Organlar	Doğal Frekansı (Hz)
Kafa	20 – 40
Omurga	8
Göğüs Kafesi	60
Karın	4 – 8
Omuz	4 – 8
Akciğer	4 – 8
Ayak	2- 20
El ve Kol	20 – 70
Göz Küresi	60 - 90
Çene	100 – 200

İnsanların titreşime olan tepkisini değerlendirirken farklı birçok kriteri aynı anda hesaba katmak çok zordur. Dolayısıyla yapılan çalışmalar ve deneylerin analizi sonucunda standartlar sağlanmıştır. Türkiye’de titreşim algılama değerleri ISO 2631-1 standardında belirtilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Titreşim algı eşiği (ISO 2631-1)

RMS Ağırlıklı İvme (m/s ²)	Algı
< 0.01	Algılanamaz
0.015	Algı eşiği
0.015 – 0.020	Neredeyse algılanabilir
0.020 – 0.080	Kolayca algılanabilir
0.080 – 0.315	Güçlü algılanabilir
> 0.315	Çok güçlü algılanabilir

3.2.1. Hastalık

Yapılardaki titreşime maruz kalma sonucunda kalıcı hastalıklar veya sağlık problemleri görülmesi de düşük frekanstaki titreşimler sebebiyle meydana gelen mide bulantısı, yoğunlaşma kaybı gibi geçici sağlık sıkıntıları görülebilmektedir.

Yüksek genlikli, düşük frekanslı bir ani şok kaslarda ve iç organlarda zedelenmeye, düşük genlikli, yüksek frekanslı, devamlı bir titreşim de yoğunlaşma kaybına sebep olabilmektedir.

Başlıca yüksek yapılarda rüzgâr kaynaklı oluşan düşük genlik ve frekanslı (<2Hz) titreşimler “hareket hastalığı”na neden olmaktadır. Baş dönmesi, mide bulantısı genel belirtileri olup el ile göz

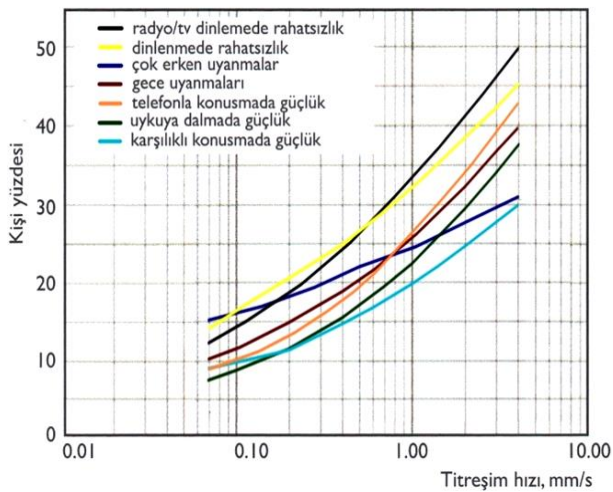
koordinasyonundaki azalma, halsizlik nadir görülen durumlardır [7].

3.2.2. Konfor

Günlük hayatta standartların artmasıyla kişiler her alanda ilişkili oldukları eşyalardan ve araçlarda kullanılabilirlikleri haricinde konfor ve rahatlık beklentisindedir. Aynı şekilde yapılardan da titreşim olayları karşısında tahribata uğramamaları, işlerine de konfor kaybı olmadan devam edebilmek istegindedir.

Konfor kelimesi “günlük hayatı kolaylaştıran maddi rahatlık” tanımıyla TDK sözlükte, “rahatsızlığın olmaması” tanımıyla da yabancı dil kaynaklarında yer almaktadır. Kişiler sinir duyuuları sayesinde ağrı ve hastalık gibi hallerde rahatsızlığı algılasa da konforu hissedebilecek bir duyuuları yoktur. İnsandan insana çeşitlilik gösterecek olan konfor, bireysel faktörler neticesinde oluşmaktadır. Görme, duyma, vücut kitle endeksi, yaş, cinsiyet, duruş şekli, psikolojik durum, vb. bu faktörlerden bazılarıdır [18].

Titreşimin algılanmasında kişinin bulunduğu yer, yaptığı iş farklı sonuçlara sebep olacaktır. Kişinin televizyon seyredirken veya uyurken titreşim sebebiyle oluşacak rahatsızlık düzeyleri aynı değildir (Şekil 8). Konforlu mekânlar, titreşimin meydana geliş zamanı, devamlılığı, yönü ve frekansı gibi unsurların çevresel ve kişisel faktörlerle birlikte değerlendirilmesi sonucu sağlanabilir.



Şekil 8. Çeşitli durumlarda titreşim hızı ilişkisi

Televizyon izlerken göz ile kulak koordinasyonu gerekmesi, yüksek titreşim hızında en yüksek

orandaki rahatsızlık olmasına sebep olmaktadır. Erken uyanma ve karşılıklı konuşmadaki rahatsızlık oranları ise en düşük olanlardır.

Konfor hususunda yapılan yayın ve çalışmalar sonucunda etkili birçok faktör ve belirlenmiş parametre öncülüğünde çeşitli hesaplamalar ve değerlendirmelerle farklı standartlar meydana getirilmiştir. İnsan konforunun sağlanması ve devamlılığı için kullanılacak hesaplama yöntemleri Türkiye’de kabul görmüş ISO 2631-2 [19] standardında belirtilmiştir.

4. Değerlendirme

Titreşimin tanımından sonra titreşimi meydana getiren kaynaklar ve etkileri belirtilmiştir. Yapı titreşimini konu alan uluslararası standartlar, sınır değerleri ve yöntemleri esas alınarak karşılaştırılmıştır. Ülkeler arasındaki yöntem ve referanslardaki çeşitlilik titreşim algısının mekâna ve duruma göre farklılaştığını, bireysellik taşıdığını tekrar kanıtlamaktadır. Bu sebeple sadece konforun sağlanması veya sağlanamaması şeklinde değil bir standardın belirttiği yöntem ve referanslar eşliğinde yapılan titreşim ölçümleri sonucunda titreşimin kişiler üzerindeki etkisinin kıyaslanması hedeflenmiştir. Türk standartları tarafından kabul görmüş ISO 2631-2 standardı ve sınır değerleri belirtilmiş olan DIN 4150-2 [20] standardı bu çalışmalar için uygun bulunmuştur.

4.1. Standartlar

Yapılarda titreşim konforunu tanımlamak için oluşturulmuş birçok standart vardır. Bunlardan başlıcaları olan ISO 2631-2, DIN 4150-2, BS 6472-1 [21], UNI 9614 [22], SS 460 48 61 [23], FRA [24] ve FTA [25] uluslararası standartlar titreşim olaylarının analizinde çeşitli faktörleri değerlendirmektedir:

- Titreşimin devamlılığı,
- Titreşimin aksı ve yönü,
- İnsan vücudunun pozisyonu,
- Ölçümün yapıldığı mekânın işlevi,
- Titreşimin meydana gelme zamanı,

Bu faktörlerin incelenmesinin ardından çarpan katsayısı, frekans ağırlıklandırma gibi yöntemlerle birlikte farklı hesaplama tipleri uygulanır.

- Hız veya ivme değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökü (RMS),
- Titreşim doz değeri (VDV),
- Maksimum titreşim transfer değeri (MTVV).

Benzer içerikli bu standartların titreşim olaylarını değerlendirirken kullandıkları farklı referanslar Tablo 4’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Yapılardaki titreşim konforu standartları [23]

	Uluslararası Standartlar ISO 2631-2:2013	Almanya DIN 4150-2:1999	İngiltere BS 6472-1:2008	İtalya UNI 9614:1990	İsveç SS 460 48 61:1992	ABD FRA (2005), FTA (2006)
İçerik	Tüm vücut titreşimi: Binalarda sürekli ve şoka neden olan titreşim	Titreşimlerin binalarda insanlara etkileri	İnsanların binalarda titreşime maruz kalması	Titreşimler ve şoklar: Binalardaki konfor	Titreşimler ve şoklar: Binalardaki konforun değerlendirilmesi	Titreşim ve gürültü etkisinin değerlendirilmesi için kılavuz
Frekans Aralığı	1-80 Hz	1-80 Hz	0.5-80 Hz	1-80 Hz	1-80 Hz	
Frekans Ağırlığı	W_m	W_m ile benzer (DIN 45669-1)	W_b (dikey hareket), W_d (yatay hareket)	W_m	W_m	
Zaman Sabiti	Yavaş (1 s)	Hızlı (0.125 s)		Yavaş (1 s)	Yavaş (1 s)	Yavaş (1 s)
Ölçülen Değer	İvme	Hız	İvme	İvme	Hız veya İvme	Hız
Hesap Yöntemi	Ağırlıklı ortalama ivme değeri, RMS Maks. Transfer titreşim değeri, MTVV Titreşim doz değeri, VDV	Maksimum ağırlıklı titreşim mukavemeti KB_{FTm} Eşdeğer titreşim kuvveti KB_{FTr}	Titreşim doz değeri, VDV	Maksimum ağırlıklı RMS ivme değeri	Maksimum ağırlıklı RMS değeri (ivme veya hız seviyesi)	Maksimum RMS hız değeri
Ölçüm Yeri	En yüksek amplitüd yönünde (genellikle aralığın ortasında)	Üç yönde (x, y, z), en yüksek amplitüdün görülebildiği katta	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)	Üç yönde (x, y, z) veya biliniyorsa maksimum genlik yönünde	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)

Yukarıdaki karşılaştırma sonucunda DIN 4150-2’de diğerleriyle benzer bir frekans ağırlıklandırma eğrisi, BS 6472-1’de ise dikey ve yatay yönlerde farklı bir frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanıldığı görülmektedir. ISO 2631-2, UNI 9614, BS 6472-1 standartları sadece ivme, FRA FTA ve DIN 4150-2 standartları sadece hız, SS 460 48 standardının da ivme ve hız değerlerini ölçtüğü görülmektedir. Bu standartlar benzer ölçüm değerleri ve frekans ağırlıklandırmalara sahip olsalar dahi hesaplamalar ve değerlendirmelerdeki farklılık sebebiyle aynı ölçüm üzerinden kıyaslanmaları uygun değildir.

4.1.1. Uluslararası, ISO 2631-2

ISO 2631-2 dünyada kullanılan konfor odaklı standartların oluşturulmasında referans alınmış, frekans ağırlıklandırma eğrileri ve hesaplama yöntemleri çoğu ülkede hala kullanılmakta olan, TSE onaylı bir standarttır. 2001 revizyonundan önce yer alan hız ve ivme limit eğrileri göz önüne alınan faktörlerin yetersiz olması, daha çok faktörün

işlenmesi, yeni verilerin toplanarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülerek kaldırılmıştır.

Yapılacak ölçümlerde standardın belirttiği hesaplama yöntemleri ve frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanılarak elde edilen ivme değerleriyle karşılaştırma ve analiz yapmak mümkündür. Titreşim düzeyinin algılanabilir seviyenin çok üstüne çıktığı durumlarda konfor kaybına neden olması sebebiyle ISO 2631-1’de belirtilen titreşim algısı sınır değerleri önemlidir.

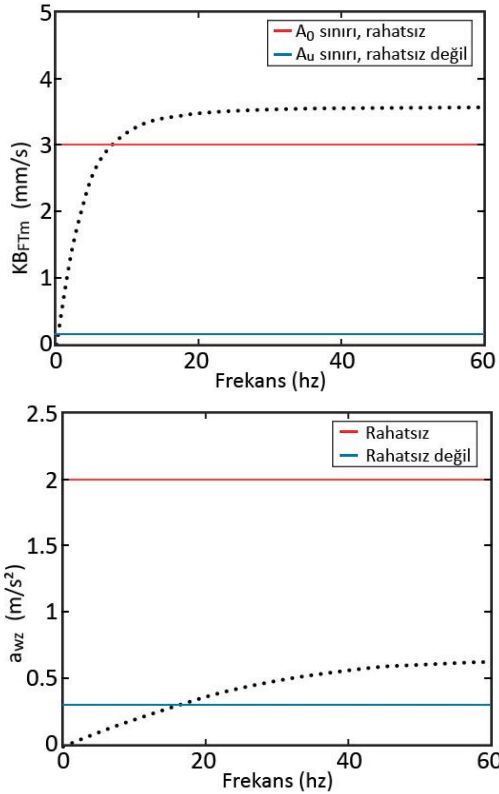
4.1.2. Almanya, DIN 4150-2:1999

Standartta kullanılan frekans ağırlıklandırma eğrisi ISO 2631-2’dekine çok yakındır. DIN 4150-2’ye ait hesaplama yöntemi sonucunda oluşan KB_{FTm} hız değeri ölçümlerin değerlendirilmesi için kullanılır. A_u en düşük, A_o en yüksek sınır değer olup üzeri konforsuzluğu belirtmektedir. Sonuç değer $A_u - A_o$ aralığında olduğunda, trafik odaklı zaman ortalaması olan KB_{FTr} değeri A_r limitinden az olmalıdır.

Tablo 5. DIN 4150-2 Konfor için titreşim değerleri(mm/s)

Yapı Tipi	Gündüz (06:00-22:00)			Gece (22:00-6:00)		
	Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
Endüstriyel alan	0.40	6	0.20	0.30	0.60	0.15
Ticari alan	0.30	6	0.15	0.20	0.40	0.10
Ticari ve konut alanı	0.20	5	0.10	0.15	0.30	0.07
Konut alanı	0.15	3	0.07	0.10	0.20	0.05
Özel alanlar (ör. Hastaneler)	0.10	3	0.05	0.10	0.15	0.05

DIN 4150-2 standardı zamana ve yere göre farklı limit değerleri belirtmektedir. Örnek bir titreşimde DIN ve ISO standartlarının sonuçları Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Aynı titreşimin DIN 4150-2 ve ISO 2631-2:1997 standartlarında ölçüm grafiği [19]

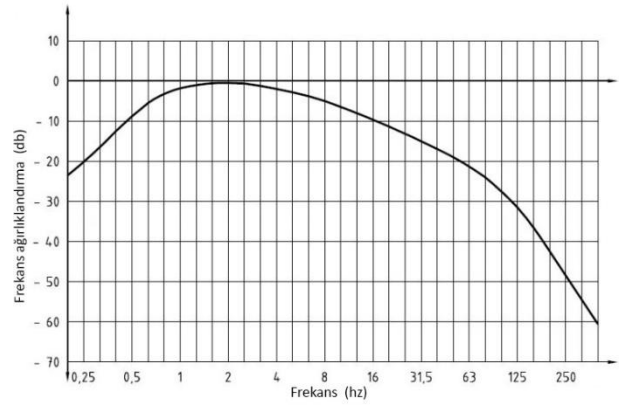
4.2. Hesaplar

Standartlarda kullanılan hız veya ivme değerleri, titreşim ölçümlerindeki sinyallerin belirtilen yöntemlerle işlenmesiyle oluşur. Frekans ağırlıklandırma eğrisinin sinyallere uygulanmasından sonra hesaplamalar yapılarak sonuç verilere ulaşılır. Titreşimlerin detaylı

incelenmek istediği durumlarda frekans analizine (FFT) başvurulabilir.

4.2.1. Frekans Ağırlıklandırma

İnsan vücudu titreşim frekansına göre farklı duyarlılıklara sahip olduğu için her frekanstaki titreşimin etkisi bir olmayacaktır. Organların yapısı sebebiyle 10 Hz bir titreşime 60 Hz bir titreşimden daha çok duyarlıdır. Frekans ağırlıklandırma uygulanarak farklı frekanstaki titreşim sinyalleri filtrelenir ve sonuç değere olan etkileri düzenlenir. Bu düzenleme esnasında sinyallerin etkisi azaltıldığından frekans ağırlıklandırma yapılmış değerler daha düşük olacaktır [13]. Standartların çoğu ISO 2631-2'de belirtilen W_m ağırlıklandırma eğrisini kullanmaktadır (Şekil 10).



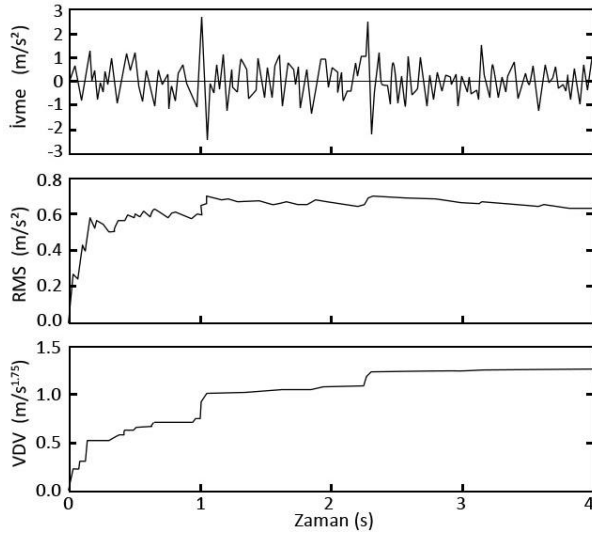
Şekil 10. W_m frekans ağırlıklandırma eğrisi

4.2.2. RMS – Kareleri Ortalamasının Karekökü

Titreşim esnasında cisimlerin farklı yönlerde salınım yapması pozitif ve negatif değerlerin oluşmasına sebep olacak ve ortalama değerler gerçeği yansıtmayacaktır. Standartların çoğunda kullanılan RMS yönteminde her sinyal değerinin karesi alınır ardından ortalamalarının karekökü hesaplanarak doğru veriler elde edilir. ISO 2631-1'de hesap formülü verilmiştir:

$$a_{w rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (1)$$

Bir titreşimin ham ivme ölçümüyle, RMS ve VDV yöntemlerinin kıyaslandığı grafikler Şekil 11'de bulunmaktadır. Geçici titreşimlerin bulunduğu ölçümde ilk aşamada RMS grafiğinin hızla arttığı sonrasında ortalama 0,6 m/s² düzeyine geldiği görülmektedir. Geçici titreşimlerle birlikte anlık artışlar olur fakat tekrar durağan hale geçer.



Şekil 11. Aynı ölçümde ait ivme, RMS ve VDV grafikleri [13]

Bu yöntemde ölçüm zamanı arttıkça geçici titreşimlere karşı hassasiyet kaybolur. ISO 2631-2'ye göre krest faktörünün 9 veya küçük olduğu hallerde RMS yöntemi uygundur. Çok sayıda şok bulunan, ölçüm değerlerine göre rahatsızlığın fazla olduğu, krest faktörünün 9'dan büyük olduğu durumlarda standart dahilindeki ek yöntemlere başvurulabilir.

Krest Faktörü: Frekans ağırlıklı ivme sinyalinin maksimum anlık tepe değerinin RMS değerine oranıdır [26].

4.2.3. VDV – Titreşim Doz Değeri

Titreşim doz değeri, sağlık ve konfor amaçlı günlük ya da daha uzun süreli ölçümler için önerilir. Birtakım araştırmalar, konfor ve titreşim değeri ilişkisinde dördüncü kuvveti kullanan titreşim doz değeri yönteminin, en az ikinci kuvveti kullanan RMS yöntemi kadar başarılı olduğunu göstermektedir. Çünkü dördüncü kuvvetin kullanılması geçici titreşimlerin daha çok etkili olmasını sağlamaktadır. Titreşimin devamlı olması durumunda RMS grafiği durağan iken VDV grafiği yükselecektir. Titreşim doz değerinin birimi $m/s^{1.75}$ dir. ISO 2631-1'de hesap formülü verilmiştir:

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt} \quad (2)$$

4.2.4. MTVV – Maksimum Titreşim Transfer Değeri

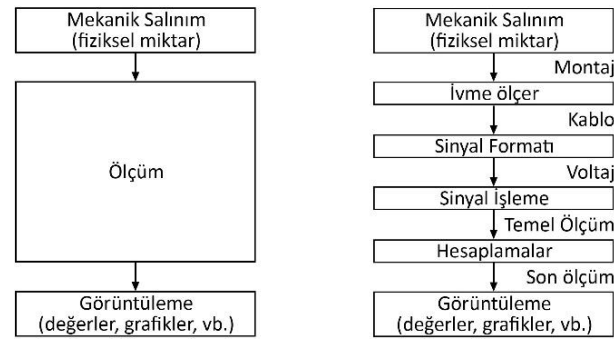
Standartların birçoğu sağlık ve konfor esaslı titreşim ölçümlerinde geçici titreşimleri vurgulaması sebebiyle ek yöntem olarak MTVV'yi kullanır.

Maksimum titreşim transfer değeri, ölçüm süresi içindeki en büyük titreşim değerini ifade eder. ISO 2631-1'de hesap formülü verilmiştir:

$$MTTV = \max [a_w(t_0)] = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

4.3. Ölçüm Sistemi

Titreşim ölçümü yapan aletlerdeki sensörler salınımları algılayarak elektrik akımına çevirir. Bu aletler çoğu zaman ivme ölçer olup genlik, hız, vb. değerleri de ölçebilmektedir. Standartlar dahilinde konfor analizi yapabilmek için üç yönde birden ölçüm yapabilen aletler kullanılmalıdır. Titreşim, ölçüm ve sonuç değerlerinden oluşan ölçüm sisteminin detayları Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Titreşim ölçüm sistemi [13]

Alet ölçüm yapılacak yüzeye sabitlenir ve bilgisayara bağlanır. Titreşimler sinyale dönüştürülerek bilgisayara gönderildikten sonra sinyaller ölçüm cihazına ait programlarla seçilen standarta göre düzenlenir ve hesaplamalar yapılır. Elde edilen veriler sayısal ve grafiksel olarak görüntülenir.

4.4. Ölçümler

Titreşimlerin yapılarıdaki kullanıcı konforuna etkisini incelemek amacıyla titreşim kaynakları ve etkileri de göz önüne alınarak 9 farklı yapıda deneysel ölçümler yapılmıştır. ISO 2631-2 ve DIN 4150-2 standartlarının uygulandığı ölçümlerde çeşitli yapılar seçilerek verimli analizlerin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Seçilen her yapı diğerleri arasında tipik özelliklere sahiptir:

- 1- Dokuma atölyesi, sanayi sitesi içinde yer alır ve çok sayıda makine çalışmaktadır.
- 2-Aalışveriş Merkezi, dolaşım fazladır ve otururken döşeme titreşimleri hissedilmektedir.
- 3- Mikro cerrahi binası, taşıyıcı sistemi betonarme çekirdek ve çelik kolonlardan oluşup temelinin 8m altından metro geçmektedir.

- 4- Metro istasyonu, şoförlerin dinlenme alanı ray hattına 2m uzaklıktadır.
 5- Ümraniye’de kule, 44 katlı olup Çamlıca Tepesi yamacında aşırı rüzgâra maruz kalmaktadır.
 6- Ofis Binası, 11m uzunluğunda çift yönlü konsollar mevcuttur (Şekil 13).



Şekil 13. Ofis Binası'nın 11m uzunluğundaki konsolu

- 7- Satış Ofisi, tamamen çelik taşıyıcı sisteme sahip olup şantiye sahasının yanındadır.

- 8- Okmeydanı Hastanesi, işlevi gereği konfor konusunda en hassas olup kullanıcı sayısı fazladır.
 9- Kısıklı’da konut, insanların vaktinin çoğunu geçirdiği standart evlerden biridir.

Ölçüm süreleri her standartta 20 dakikalık 3 periyottan oluşmaktadır. Ölçümler gün içinde iç, dış faktörlerin en etkili olduğu saatler ve yapı içinde titreşim etkisinin en yüksek olacağı noktalarda yapılmıştır.

4.5. Analiz

Seçilen yapıların strüktürlerini ve etki eden titreşim kaynaklarını karşılaştırmak, ölçüm sonuçları değerlendirirken konfor üzerindeki etkilerini saptayabilmek açısından önemlidir. Yapılar arasındaki strüktür farklılıkları Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Yapıların strüktür yapısı açısından karşılaştırması

Yapılar	Çekirdek	Kolon-Kiriş	Döşeme	Aks Aralığı	Kat Sayısı	Ölçüm Katı
Dokuma Atölyesi	Betonarme	Betonarme	Plak	8,0 m	5	3
Alışveriş Merkezi	Betonarme	Betonarme	Plak	8,5 m	5	4
Mikro Cerrahi Binası	Betonarme	Çelik	Çelik Saç-Beton	9,6 m	26	24
Ümraniye’de Kule	Betonarme	Betonarme	Plak	7,7 m	44	41
Metro İstasyonu	Betonarme	Betonarme	Plak	-	-	-
Ofis Binası	Betonarme	Betonarme	Kirişli Konsol	11,0 m	6	6
Satış Ofisi	Çelik	Çelik	Çelik Saç-Beton	8,8 m	4	4
Okmeydanı Hastanesi	Betonarme	Betonarme	Plak	6,5 m	4	3
Kısıklı’da Konut	Betonarme	Betonarme	Plak	4,5 m	6	6

Yapıların çoğu betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme ve 4.5 –11m akslara sahip olup 4 – 44 katlıdır. Mikro Cerrahi Binası betonarme çekirdek, çelik kolon-kiriş ve çelik saç-beton döşeme sistemiyle (Şekil 14), Satış Ofisi de tamamen çelik taşıyıcı sistemiyle farklılaşmaktadır.

Ofis Binası ise betonarme taşıyıcı sistemiyle benzerlik gösterse de 11m uzunluğundaki çift yönlü kirişli konsol yapısı sebebiyle en dikkat çekici farklılığa sahiptir. Ölçümler titreşimlerden etkilenme olasılığı en yüksek katlarda yapılmıştır. Yapı çevrelerinde titreşim oluşturan birçok kaynak bulunabilmektedir fakat konum ve büyüklüklerine

dikkat edilerek etkili olabilecek titreşim kaynakları Tablo 7’de belirtilmiştir.



Şekil 14. Mikro Cerrahi Binasında titreşim ölçümü

Tablo 7. Yapılarda etkili olan titreşim kaynakları

Yapılar	Dış Kaynaklar				İç Kaynaklar	
	Karayolu	Raylı Sistem	İnşaat Çalışması	Rüzgâr	Mekanik Ekipman	İnsan Hareketleri
Dokuma Atölyesi	•				•	
Alışveriş Merkezi					•	•
Mikro Cerrahi Binası	•	•		•		
Ümraniye'de Kule				•	•	
Metro İstasyonu		•			•	•
Ofis Binası	•	•				
Satış Ofisi	•		•	•		
Okmeydanı Hastanesi	•		•			•
Kısıklı'da Konut	•	•				

Yapıların her birinde etkili olan bir veya daha çok titreşim kaynağı mevcuttur. Özellikle büyükşehir olması sebebiyle yapıların hepsi ana ulaşım yollarına yakın olsa da uzaklıklarına göre bir kısmına karayolu trafiği etki eder.

Mikro Cerrahi Binası'nın temeline 8m mesafeden metro hattı geçmekte, raylı sistemin etkili olduğu düşünülen diğer yapılar ise metro veya tramvaya 50m mesafe içinde yer almaktadır.

Satış Ofisi 960 dairelik inşaat şantiyesinin, Okmeydanı Hastanesi de yapılmakta olan yeni hastane kompleksi şantiyesinin hemen yanında yer almaktadır. Rüzgâr genellikle yüksek yapılarda etkili olmakla birlikte sahil kenarında yer alması sebebiyle Satış Ofisi'nde de etkili olmaktadır.

Dokuma atölyesinde üretim için kullanılan makineler yüksek seviyede titreşim oluşturmaktadır. Kulede 43. katta yer alan mekanik kat ve metro istasyonundaki cihazlar ile metro aracı iç titreşim kaynaklarıdır. Kişi sayısı ve dolaşımın fazla olduğu yapılarda kişilerin direk döşemeyle temas halinde olması sebebiyle etkili titreşimler oluşabilmektedir.

4.6. Sonuçlar

Her standartta 20 dakikalık periyotlar halinde yapılan 3 farklı ölçümün her aks yönündeki ortalaması Tablo 8'de gösterilmektedir. Analizlerle birlikte sonuçlar değerlendirilmiş birbiriyle karşılaştırılmış, çıkarımlar yapılarak titreşimlerin kullanıcı konforuna etkisinin belirlenmiştir. DIN 4150-2 standardında bulunan sınır değerleri dahilinde de kontrol edilmiştir.

Tablo 8. Ölçüm sonuçlarının ortalaması

Yapılar	ISO 2631-2 (m/s ²)			DIN 4150-2 (mm/s)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Dokuma Atölyesi	0,00288	0,00348	0,04329	0,16398	0,07552	1,49879
Alışveriş Merkezi	0,00107	0,00113	0,01061	0,04050	0,04131	0,41127
Mikro Cerrahi Binası	0,00234	0,00241	0,00276	0,03518	0,03371	0,06237
Ümraniye'de Kule	0,00131	0,00118	0,00141	0,03347	0,03174	0,05921
Metro İstasyonu	0,00098	0,00089	0,00115	0,04629	0,04130	0,05767
Ofis Binası	0,00090	0,00090	0,00131	0,04914	0,04403	0,05284
Satış Ofisi	0,00083	0,00080	0,00099	0,03124	0,02939	0,03751
Okmeydanı Hastanesi	0,00116	0,00110	0,00115	0,03454	0,03319	0,03372
Kısıklı'da Konut	0,00080	0,00077	0,00082	0,03108	0,02915	0,03275

1- Dokuma Atölyesindeki tezgahların çalışması sebebiyle titreşim değerlerinin en yüksek olduğu yapıdır (Şekil 15). Z aksındaki 1,50 m/s değeri DIN 4150-2 standardında endüstriyel alanlar için verilen 6 mm/s sınır değerlerini aşmayarak konfor standardını sağlamıştır.

2- Alışveriş Merkezi, geniş aks aralığı dışında kullanıcı dolaşımının çok fazla olması ve kuvvetin direk döşemeye uygulanması sebebiyle en yüksek ikinci titreşim etkisine maruz kalan yapı olmuştur (Şekil 16).

3- Mikro Cerrahi Binasında duvarlar, ölü yükler henüz olmadığı için ve çelik sistemin hafif, esnek yapısı ve geniş aks aralığı sebebiyle titreşimler döşemelerde oldukça etkilidir. Ümraniye'deki kule 2 katı kadar daha yüksek olmasına rağmen burada ölçülen değerler daha yüksek olmuştur.

4- Ümraniye'de Kule, seçilen en yüksek yapı olmasına rağmen ortalama seviyelerde değerler sahiptir. Rüzgâr salınımı sebebiyle yatay yönde beklenen yüksek titreşim değerleri oluşmamıştır.

5- Metro İstasyonunda raylı sisteme en yakın (2m) noktada yapılan ölçümde yüksek titreşim değerleri beklenmekteydi. Dinlenme alanının zemini temel olduğu için çok büyük kütleyle sahip olması ve metro araçlarındaki gelişmiş teknoloji sebebiyle birçok yapıdan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

6- Ofis Binası, 11m uzunluğunda çift yönlü konsolların yüksek salınımlar yapması öngörülürken, ölçülen değerler ortalama seviyelerde çıkmıştır. Konsolların kirişli ve döşemelerin kalın olmasının titreşim etkisini azaltmıştır.

7- Satış Ofisi'nin tamamen çelik taşıyıcı sistemi titreşimlere karşı duyarlılığı arttırmaktadır (Şekil 17). Çevresinde de etkili titreşim kaynakları olmasına rağmen az katlı yapısı sebebiyle düşük titreşim değerlerine sahip olmuştur.

8- Okmeydanı Hastanesi, işlevi sebebiyle en konforlu olması gereken yapıdır. Yüksek insan dolaşımına rağmen 6,5m aks aralığı, kalın döşemesi ve az katlı olması sebebiyle en konforlu yapılardan birisi olmuştur.

9- Kısıklı'da konut, en yaygın yapı türü olması sebebiyle diğer yapı türleriyle kıyaslanmak için seçilmiştir. 4,5m aks aralığı ve az katlı olması en konforlu yapı olmasını sağlamıştır.

10- Hiçbir yapıdaki ölçüm sonuçları DIN 4150-2'de belirtilen sınır değerleri aşmamıştır.

Titreşim değerlerinin en yüksek olduğu iki yapı haricindeki yapılarda X ve Y akslarında ölçülen değerler Z aksındaki değerlere yakın olmuş ve Okmeydanı Hastanesi hariç bütün yapılardaki etkili titreşim Z aksında (düşey aks) olmuştur. İki yapıda en yüksek titreşim değerlerinin elde edilmesinin sebebi iç kaynakların (dokuma tezgâhı ve yüksek insan dolaşımı) çok etkili olmasıdır.

Çelik taşıyıcı sistem ve çok uzun konsol bulunan yapıların yüksek titreşim değerleri bakımından betonarme yapılardan geri kalması, titreşimin etkili olması açısından yapı strüktürü önemli olsa da temel faktör olmadığını göstermektedir.

Dış titreşim kaynakları kuvvetli titreşimler üretmesine rağmen yapıya ulaşması ve yayılması sürecinde etkisi azalmaktadır. İç titreşim kaynaklarının ürettiği titreşimler, doğrudan döşemeye etki etmesi sebebiyle konfor konusunda en etkili faktörlerdir.



Şekil 15. Dokuma Atölyesi'nde titreşim ölçümü



Şekil 16. Alışveriş Merkezi'nde titreşim ölçümü



Şekil 17. Satış Ofisi iç mekânı

Kaynaklar

- [1] Mansfield, N.J., (2005). "Human Response to Vibration", 1. Edition, CRC Press LLC, New York.
- [2] Kurra, S., (2009). "Çevre Gürültüsü ve Yönetimi", 3. Cilt, 1. Baskı, Uğur Yayıncılık, İstanbul.
- [3] Duarte vd., (2002). "Experimental Evaluation Of Vibration Comfort For A Residential Environment", www.researchgate.net, 10 Ağustos 2017.
- [4] Hunaidi, O. ve Tremblay, M., (1997). "Traffic Induced Building Vibrations In Montreal", Canadian Journal of Civil Engineering, 24(5):736–753.
- [5] Kouroussis, G., (2014). "Building Vibrations Induced By Human Activities: A Benchmark Of Existing Standards", Mechanics & Industry, 15:345–353.
- [6] Elias, P. ve Villot, M., (2011). "Review Of Existing Standards, Regulations And Guidelines, As Well As Laboratory And Field Studies Concerning Human Exposure To Vibration", RIVAS - Railway Induced Vibration Abatement Solutions, www.rivas-project.eu
- [7] Tamura, Y. Ve Kareem, A., (2013). "Advanced Structural Wind Engineering", Chapter 12 Human Perception and Tolerance of Wind-Induced Building Motion, 1. Edition, Springer, Tokyo
- [8] Schwartz, S., (2008). "Linking Noise and Vibration to Sick Building Syndrome In Office Buildings", Air & Waste Management Association, March:25-28
- [9] Chick vd., (2014). "Analysis Of The Effect of Vibration from Footfalls On Office Building", Proceedings Of The International Civil And Infrastructure Engineering Conference 2014, Springer
- [10] Murray vd., (2003). "Design Guide No:11", Chapter: Floor Vibrations Due to Human Activity, 2. edition, American Institute of Steel Construction, Chicago
- [11] Leventhall, H.G., (1987). "Low Frequency Noise and Vibration", Chapter 12: Transportation Noise Reference Book, Butterworths, London
- [12] BS 7385-2, (1993). Evaluation And Measurement For Vibration In Buildings. Guide To Damage Levels From Groundborne Vibration, ISO.
- [13] Wesolowsky vd., (2012). "Human-Induced Vibration In Buildings", International Journal of High-Rise Buildings, March 1(1):15-19
- [14] Davis, B., (2017). "Can We Isolate This Microscope From Floor Vibrations?", www.vibrasure.com/blog/can-we-isolate-this-microscope-from-floor-vibrations, 22 Temmuz 2017.
- [15] USBM RI 8507, (1990). Structure Response And Damage Produced By Ground Vibration From Surface Mine Blasting, USBM.

- [16] SN 640 312a, (1992). Shocks; Vibration Effects On Buildings, SN.
- [17] Griffin, M.J., (1996). "Handbook Of Human Vibration", Academic Press, U.K.
- [18] Duarete, M.L.M. ve De Brito Pereira, M., (2006). "Vision Influence In Whole-Body Human Vibration Comfort Levels", Shock And Vibration, 13:367-377
- [19] ISO 2631-2, (2013). Mekanik Titreşim ve Darbe – İnsanın Tüm Vücudunun Titreşime Maruz Kalmasının Değerlendirilmesi – Bölüm 2 : Binalardaki Titreşim (1 Hz ile 8 Hz), ISO.
- [20] DIN 4150-2, (1999). Vibrations in Buildings - Part 2: Effects on Persons in Buildings, DIN.
- [21] BS 6472-1, (2008). Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings. Vibration Sources Other Than Blasting, BS.
- [22] UNI 9614, (1990). Vibration measurement in buildings and noise evaluation criteria, UNI.
- [23] SS 460 48 61, (1992). Vibration And Shock - Measurement And Guidelines for The Evaluation Of Comfort in Buildings, SS.
- [24] Federal Railroad Administration FRA (2005): High-Speed Ground Transportation – Noise and Vibration Impact Assessment, October, US Department of Transportation.
- [25] Federal Transit Administration FTA (2006): Transit Noise and Vibration Impact Assessment, May, US Department of Transportation.
- [26] ISO 2631-1, (2013). Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements, ISO.