

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPILARIN
TİTREŞİM KONFORU AÇISINDAN İNCELENMESİ**

MUHAMMED EMİN IŞIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. ALİ OSMAN KURUŞCU**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN TİTREŞİM KONFORU AÇISINDAN İNCELENMESİ

Muhammed Emin IŞIK tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Ali Osman KURUŞCU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Ali Osman KURUŞCU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr.

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr.

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında bizde rahatsızlık hissi uyandırmadığı sürece dikkat etmediğimiz titreşim olaylarını konfor açısından inceledim. Araştırma aşamasında titreşimin oluşumundan yayılmasına, başka bir nesneyi etkilemesine dolayısıyla enerjinin dönüşümüne olan süreci görmek, titreşimlerin aslında yaşamımızın her anında var olduğu fark ettirdi. Yapılan çalışmalarda titreşimi rahatsızlık, hasar gibi olumsuz etkileriyle ele aldım. Birçok faktörün etkisine ve bazı yapılardaki olumsuz öngörülere rağmen çalışmada yer alan tüm yapılar konfor standartlarını sağlamıştır. Yapısal titreşimlerin konfor açısından incelendiği sınırlı sayıda bilimsel çalışmanın olması sebebiyle bu tezin alanında farkındalık oluşturan faydalı bir kaynak olmasını umut etmekteyim.

Özellikle büyükşehirlere baktığımda her yanımızda etkili titreşim kaynakları olmasına rağmen düzen devam ediyor, zarar gören veya şikayetçi olan pek yok. Aslında hayat da bu şekilde ilerliyor; toplumda birçok değer, düşünce, yargı varken biz nelere dikkat edersek, neyi anlamlandırırırsak onunla yaşıyoruz. Güzelliklerin, iyiliklerin, doğruların her zaman farkında olalım ki her anımızda o değerleri hissedelim ve yaşatalım.

Tez çalışmamın her alanında rahatlıkla iletişim kurabildiğim, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, tezin oluşumunda ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KURUŞCU'ya ve sorunların çözümünde yardımcı olan ve her daim istişare edebildiğim Arş. Gör. Mustafa Esat GÜNEŞ'e teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Şubat, 2018

Muhammed Emin IŞIK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2.....	4
TİTREŞİM.....	4
2.1 Tarihsel gelişim	4
2.2 Tanımlar	6
2.2.1 Titreşim	6
2.2.2 Periyot.....	8
2.2.3 Frekans.....	8
2.2.4 Genlik.....	8
2.2.5 Rezonans.....	9
2.2.6 Titreşim Türleri	9
BÖLÜM 3.....	11

TİTREŞİM KAYNAKLARI.....	11
3.1 Dış Kaynaklı Titreşimler.....	11
3.1.1 Karayolu Trafığı.....	11
3.1.2 Raylı Sistem.....	14
3.1.3 Çevresel Kaynaklar.....	16
3.1.4 Rüzgâr.....	18
3.2 Yapı İçi Titreşim Kaynakları.....	19
3.2.1 Mekanik Ekipman.....	20
3.2.2 İnsan Hareketleri.....	21
BÖLÜM 4.....	24
TİTREŞİMİN YAPILAR VE KULLANICILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	24
4.1 Yapı Üzerindeki Etkileri.....	24
4.1.1 Hasar Oluşumu.....	24
4.1.2 İşlev.....	26
4.1.2.1 Hassasiyet Gerektiren Çalışma Alanları.....	26
4.1.2.2 Özel Nitelikli Yapılar.....	29
4.2 Kullanıcılar Üzerindeki Etkileri.....	31
4.2.1 Hastalık.....	33
4.2.2 Konfor.....	33
BÖLÜM 5.....	35
ÖLÇÜM ve DEĞERLENDİRME.....	35
5.1 Hesaplama Yöntemleri.....	35
5.1.1 Frekans Ağırlıklandırma.....	36
5.1.2 RMS – Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square).....	36
5.1.3 VDV – Titreşim Doz Değeri (Vibration Dose Value).....	38
5.1.4 MTVV – Titreşim Maksimum Transfer Değeri (Max. Transient Vibration Value).....	39
5.2 Konfor Konulu Standartlar.....	39
5.2.1 Uluslararası, ISO 2631-2.....	41
5.2.2 Almanya, DIN 4150-2:1999.....	41
5.2.3 İngiltere, BS 6472-1:2008.....	42
5.2.4 İtalya, UNI 9614:1990.....	43
5.2.5 Avusturya, ÖNORM S 9012:2010.....	43
5.2.6 İsveç, SS 460 48 61:1992.....	44
5.2.7 Norveç, NS 8176:2005.....	44
5.2.8 İspanya, Real Decreto 1367/2007.....	45
5.2.9 ABD, FRA (2005), FTA (2006).....	45
5.3 Ölçüm Sistemi ve Cihaz Bilgisi.....	46
5.4 Ölçüm Yapılan Yapılar.....	48
5.4.1 Dokuma Atölyesi.....	48
5.4.2 Alışveriş Merkezi.....	50

5.4.3	Mikro Cerrahi Binası	52
5.4.4	Ümraniye'de Kule	55
5.4.5	Metro İstasyonu	57
5.4.6	Ofis Binası	58
5.4.7	Otel Binası.....	60
5.4.8	Satış Ofisi	63
5.4.9	Okmeydanı Hastanesi	65
5.4.10	Üsküdar'da Apartman	67
5.5	Analiz.....	69
BÖLÜM 6	72
SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGE LİSTESİ

m	Kütle
k	Yayın elastiklik modülü
T	Periyot
f	Frekans
hz	Hertz
g	Yer çekimi
t	Zaman
a_0	Başlangıç ivmesi
N	Newton (kuvvet)
τ	Ölçüm zaman sabiti
db	Desibel
a_w	RMS ağırlıklı ivme değeri
v_w	Maksimum ağırlıklı hızın ortalama değeri
L_{aw}	RMS ağırlıklı ivme seviyesi
V_{db}	RMS ağırlıklı hız seviyesi
A_u	İvme alt sınır değeri
A_0	İvme üst sınır değeri
KB	Anlık titreşim kuvveti
KB_{fTm}	Ağırlıklı ortalama titreşim kuvveti
E_{max}	Maksimum ivme değeri
E_r	Zamana ağırlıklı ivme değeri

KISALTMA LİSTESİ

BS	British Standards
DIN	Deutsches Institut für Normung
FFT	Fast Fourier Transform
FRA	Federal Railroad Administration
FTA	Free Trade Agreements
ISO	International Organization for Standardization
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTVV	Maximum Transient Vibration Value
NS	Norsk Standard
ÖNORM	Österreichisches Normungsinstitut
PPV	Peak Particle Velocity
RMS	Root Mean Square
SN	Schweizerische Normen
SS	Svenskt Standardiseringsorgan
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione
USBM RI	United States Bureau of Mines Report of Investigations
VDV	Vibration Dose Value

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 19.yy'da sanayinin gelişimi [13].....	5
Şekil 2.2 Titreşim kuramında etkili parametreler [12]	7
Şekil 2.3 Periyodik titreşimde yer değiştirme, hız ve ivme kavramlarının karşılaştırması	7
Şekil 2.4 Titreşim dalgası.....	8
Şekil 2.5 Kararlı titreşim (kazan motoru) [12].....	9
Şekil 2.6 Geçici titreşim (yol kenarı ölçümü) [12]	10
Şekil 2.7 Sönümlü titreşim ivme değişimi	10
Şekil 2.8 Sönümlü titreşim genlik değişim	10
Şekil 3.1 Yapıya titreşim iletimi [27].....	12
Şekil 3.2 Farklı araçların farklı hızlarda titreşiminin karşılaştırması (mm/s^2) [4]	13
Şekil 3.3 Raylı sistem yapıya titreşim iletimi	14
Şekil 3.4 Kamyon, tramvay, metro ve trenin düşey ivmelerinin karşılaştırması [30]	15
Şekil 3.5 Kamyon, tramvay, metro ve tren ivme - frekans analizi [30]	16
Şekil 3.6 Mide bulantısı, baş ağrısı ve konsantrasyon bozukluğu istatistikleri [32]	18
Şekil 3.7 ISO 6897 Düşük frekanslı yatay hareket algısının ortalama (eğri 2) ve alt eşik (eğri 1) değerleri	19
Şekil 3.8 Örnek makine yalıtım uygulaması ve yalıtım gereçleri [12]	20
Şekil 3.9 Adım hareketi [8]	22
Şekil 3.10 Adım atma sırasında kuvvetin değişimi [35]	22
Şekil 3.11 İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimler de insan konforu için önerilen ivme (ISO 2631-2: 1989).	23
Şekil 4.1 İki titreşim seviyesinde E. Coli bakterisinin mikroskop görüntüsü	27
Şekil 4.2 Hassas işlevli mekanlar için titreşim kriteri eğrisi.....	27
Şekil 4.3 MIT'de 66.binanın güney ucundaki uyarı levhası [43].....	29
Şekil 4.4 SN 640 312a ve diğer standartların karşılaştırılması	30
Şekil 4.5 Konutlarda titreşimin hıza bağlı olarak algılanması.....	32
Şekil 4.6 Konutlarda farklı eylemlerin etkilenmesi ile titreşim hızı ilişkisi	34
Şekil 5.1 ISO 2631-2 Wm frekans ağırlıklandırma eğrisi	36
Şekil 5.2 İvme, RMS ve VDV'nin bir ölçüm üzerinden karşılaştırması [22]	37
Şekil 5.3 Konutlarda farklı eylemlerin etkilenmesi ile titreşim hızı ilişkisi [19]	42
Şekil 5.4 Titreşim ölçüm sistemi [13]	46
Şekil 5.5 Ölçümlerde kullanılan cihaz ve teknik bilgisi	46

Şekil 5.6 Yazılımın ölçüm öncesi ayar arayüzü	47
Şekil 5.7 Yazılımın ölçüm sırasındaki görüntüleme arayüzü	47
Şekil 5.8 Dokuma Atölyesi'nin yer aldığı sanayi yapısı	48
Şekil 5.9 Dokuma Atölyesi konumu	49
Şekil 5.10 Dokuma Atölyesi iç mekânı	49
Şekil 5.11 Alışveriş Merkezi	50
Şekil 5.12 Alışveriş Merkezi Konumu	51
Şekil 5.13 Alışveriş Merkezi titreşim ölçümü	51
Şekil 5.14 Mikro Cerrahi Binası	53
Şekil 5.15 Mikro Cerrahi Binası konumu	53
Şekil 5.16 Mikro Cerrahi Binası iç mekânı	54
Şekil 5.17 Ümraniye'de Kule	55
Şekil 5.18 Ümraniye'de Kule konumu	55
Şekil 5.19 Ümraniye'deki Kule'de titreşim ölçümü	56
Şekil 5.20 Metro İstasyonu iç mekânı	57
Şekil 5.21 Metro İstasyonu konumu	57
Şekil 5.22 Ofis binası	59
Şekil 5.23 Binası konumu	59
Şekil 5.24 Ofis Binası'nda ölçüm yapılan mekânın iç ve dış görüntüsü	59
Şekil 5.25 Otel Binası	61
Şekil 5.26 Otel Binası konumu	61
Şekil 5.27 Otel Binası iç mekân görüntüleri	62
Şekil 5.28 Satış Ofisi	63
Şekil 5.29 Satış Ofisi konumu	63
Şekil 5.30 Satış Ofisi iç mekânı	64
Şekil 5.31 Okmeydanı Hastanesi	65
Şekil 5.32 Okmeydanı Hastanesi konumu	65
Şekil 5.33 Hastane iç mekânı	66
Şekil 5.34 Üsküdar'da Apartman	67
Şekil 5.35 Üsküdar'da Apartman konumu	68
Şekil 5.36 Ölçüm yapılan teras	68
Şekil 6.1 ISO 2631-2 standardındaki ortalama ölçüm sonuçları grafiği	73
Şekil 6.2 DIN 4150-2 standardındaki ortalama ölçüm sonuçları grafiği	73

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Farklı araçların farklı hızlarda titreşiminin karşılaştırması (mm/sn^2) [4].....	12
Tablo 3.2 Maden, taş ocakları ve benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri.....	17
Tablo 3.3 İnşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratan operasyonların ve inşaat makinelerinin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri.....	17
Tablo 3.4 İnşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratan operasyonların ve inşaat makinelerinin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri.....	21
Tablo 3.5 Yürüyüş şekline göre titreşim frekansı.....	23
Tablo 4.1 Binalarda Kozmetik Hasar Oluşabilecek Titreşim Seviyeleri (BS 7385-2).	25
Tablo 4.2 Titreşimlerin yapılar üzerindeki hasar etkileri (DIN 4150-3)	26
Tablo 4.3 Hassas işlevli mekanların tanımı	28
Tablo 4.4 Organların doğal frekansları.....	31
Tablo 4.5 Titreşim algı eşiği (ISO 2631-1).....	32
Tablo 5.1 Konfor esaslı standartların karşılaştırılması [5].....	40
Tablo 5.2 DIN 4150-2:1999 titreşimlerin değerlendirilmesi için referans değer (mm/s)	42
Tablo 5.3 BS 6472-1:2008 titreşim doz değeri aralıkları ($\text{m/s}^{1.75}$)	42
Tablo 5.4 UNI 9614:1990 titreşim referans değerleri.....	43
Tablo 5.5 ÖNORM S 9012:2010 maksimum ivme referans değerleri E_{max} (mm/s^2) ...	43
Tablo 5.6 ÖNORM S 9012:2010 ortalama ivme referans değerleri E_r (mm/s^2)	44
Tablo 5.7 SS 460 48 61:1992 hız ve ivme referans değerleri	44
Tablo 5.8 NS 8176:2005 hız ve ivme referans değerleri	45
Tablo 5.9 Real Decreto 1307/2007 titreşim referans değerleri.....	45
Tablo 5.10 FRA (2005) ve FTA (2006)'ya göre zemin eksenli titreşim referans değerleri	45
Tablo 5.11 Dokuma Atölyesi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları... ..	49
Tablo 5.12 Dokuma Atölyesi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları ..	50
Tablo 5.13 Alışveriş Merkezi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları... ..	52
Tablo 5.14 Alışveriş Merkezi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları ..	52

Tablo 5.15 Mikro Cerrahi Binası'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	54
Tablo 5.16 Mikro Cerrahi Binası'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	54
Tablo 5.17 Ümraniye'deki Kulede ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları..	56
Tablo 5.18 Ümraniye'deki Kulede DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları .	56
Tablo 5.19 Metro İstasyonu'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları....	58
Tablo 5.20 Metro İstasyonu'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları ...	58
Tablo 5.21 Ofis Binası'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları.....	60
Tablo 5.22 Ofis Binası'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	60
Tablo 5.23 Otel Binası'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	62
Tablo 5.24 Otel Binası'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	62
Tablo 5.25 Satış Ofisi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları.....	64
Tablo 5.26 Satış Ofisi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	64
Tablo 5.27 Okmeydanı Hastanesi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	66
Tablo 5.28 Okmeydanı Hastanesi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları.....	67
Tablo 5.29 Üsküdar'da Apartman'da ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	68
Tablo 5.30 Üsküdar'da Apartman'da DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları	69
Tablo 5.31 Yapıların taşıyıcı sistem açısından karşılaştırması	69
Tablo 5.32 Yapılarda etkili olan titreşim kaynakları	70
Tablo 6.1 Ortalama ölçüm sonuçları	72

YAPILARIN TİTREŞİM KONFORU AÇISINDAN İNCELENMESİ

Muhammed Emin IŞIK

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KURUŞCU

Günümüzde hızla yayılan ulaşım ağları, gelişen teknoloji, artan makineleşme ve yapılaşma titreşim olaylarını yaşamımızın bir parçası haline getirmektedir. Doğa olayları dışındaki tüm titreşimler makinelerin çalışmasıyla oluşan mekanik titreşimlerdir. Mekanik titreşimlerin yayılması 18. yy başında sanayi devrimiyle birlikte üretim tezgâhları, trenler, vb. yapılmasıyla başlamıştır. 19. yy ikinci yarısında insan konforunu ele alan çalışmalar yapılmaya, 1970'li yıllarda da uluslararası standartlar oluşturulmaya başlanmıştır.

Titreşim olaylarını bilimsel metotlarla değerlendirebilmek için titreşim hareketini, ölçülebilir değerlerini ve aralarındaki ilişkiyi anlamak gerekmektedir. Titreşimi oluşturan kaynaklar yapı dışında ve içinde yer alabilmektedir. Titreşim kaynaklarının her birinin farklı özellikleri olduğundan titreşimlerin iletimi, yayılımı ve etkisinin büyüklüğü değişiklik gösterecektir.

Titreşimler genellikle yapıya olan etkileri konu edilerek hasar ve deprem kapsamında incelenmekte fakat yapı zarar görmese de işlevini yitirdiği durumlar olabilmektedir. Titreşim olaylarının etkili olması neticesinde yapıları kullanan insanların hasta olması veya buldukları mekânda rahatsızlık hissi duyması yaşam kalitesini düşürmektedir.

Konfor konusu çoğu zaman göz ardı edilmiş veya yeterli çalışmalar yapılmamıştır. Yapıları titreşim konforu açısından incelerken rahatlık-rahatsızlık dışında bilimsel açıklamalar ve

çıkarımlar yapabilmek için dünyadaki konfor konulu standartlar ve hesaplama yöntemleri araştırılmıştır. Ölçümlerde kullanılmak üzere TSE onaylı ISO 2631-2 ve DIN 4150-2 standartları uygun görülmüştür. ISO 2631-2 standardının 2001 yılı yayınında sınır değerleri oluşturan parametrelerin yetersiz olduğu düşünülerek sınır değerler kaldırılmış, veri toplama ve karşılaştırma yapılması için kullanılması önerilmektedir.

Yapıları titreşim konforu açısından deneysel bir yöntemle değerlendirebilmek için farklı titreşim kaynakları, işlevi ve taşıyıcı sistemi olan 10 yapı seçilmiş, ivme ölçer cihaz ile titreşim ölçümleri yapılmıştır. Her yapıda her bir standart için 20 dakikalık 3 ölçüm yapılmıştır. Yapıların tipik özellikleri ve ölçüm değerleri açıklandıktan sonra tüm yapılar analiz edilerek titreşim kaynakları, taşıyıcı sistem ve kat sayıları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler analizler neticesinde değerlendirilmiş, belirli kriterler ile karşılaştırma yapılarak yapılar kullanıcı konforu açısından incelenmiştir. Ölçümde kullanılan standartlar da karşılaştırılarak tutarlılıkları kontrol edilmiş ve uygunlukları onaylanmıştır.

Elde edilen sayısal veriler değerlendirildiğinde bütün yapılar DIN 4150-2 standardında belirlenen sınır değerleri aşmamaktadır. Tüm ölçümlerin karşılaştırılması ve detaylı incelenmesi neticesinde konfor konusunda etkili olan faktörler değerlendirilmiştir. En büyük titreşim değerleri, iç titreşim kaynaklarının çok etkili olduğu yapılarda elde edilmiştir. Etkili dış titreşim kaynaklarının bulunduğu birçok yapıda küçük değerler elde edilmesi, dış titreşim kaynaklarının beklendiği kadar etkili olmadığını göstermektedir. Belirgin iç titreşim kaynağı bulunmayan yapılar arasında yüksek yapıların büyük titreşim değerlerinin ölçülmesi kat sayısının önemli olduğunu göstermektedir. Betonarme taşıyıcı sistemi olan yapılarda betonarme sistemin rijitliği sebebiyle küçük titreşim değerleri beklenmektedir. Fakat bu yapılarda, farklı taşıyıcı sistemi olan diğer yapılardan daha büyük titreşim değerlerinin ölçülmesi taşıyıcı sistemin beklendiği kadar etkili olmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, yapı titreşimi, titreşim kaynakları, hasar, konfor, rahatlık, titreşim ölçümü, ivme ölçer, ISO 2631, DIN 4150

INVESTIGATION OF COMFORT DUE TO VIBRATION IN BUILDINGS

Muhammed Emin IŞIK

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Yrd. Doç. Dr. Ali Osman KURUŞCU

Today, rapidly spreading transportation networks, developing of technology, increasing of mechanization and construction make vibrational events a part of our lives. All external vibrations except of nature events are mechanical vibrations created by the operation of machines. The spread of mechanical vibrations began with the industrial revolution at the beginning of the 18th century, with production benches, trains, etc. In the second half of the 19th century, studies dealing with human comfort were carried out and international standards started to be established in the 1970s.

In order to be able to evaluate vibration event with scientific methods, it is necessary to understand the vibration event, its measurable values and the relation between them. The sources of vibration can be located outside and/or inside the building. Since each of the sources of vibration has different characteristics, the transmission, propagation, and magnitude of the effect of the vibrations will vary.

Vibrations are usually investigated within the context of damage and earthquake, with the effects of the building, but there may be cases where the function of building has decreased function though it has not been damaged. The people who use the buildings due to the effects of the vibration events decrease the quality of life that they feel sick or feel uncomfortable in the place they stay in.

The comfort topic is often overlooked or insufficient. While examining the structure in terms of vibration comfort, the comfort standards and calculation methods used in the world were investigated in order to make scientific explanations and inferences besides comfort-discomfort. TSE approved ISO 2631-2 and DIN 4150-2 standards are accepted

for use in measurements. In the publication of ISO 2631-2 standard 2001, the limit values have been removed by considering that the parameters forming the limit values are insufficient and it is reported that the standard is used for data collection and comparison at the following stage.

In order to evaluate the structure in terms of vibrational comfort with an experimental method, 10 buildings with different vibration sources, operating and structure were selected and vibration measurements were made with the accelerometer. Three measurements of 20 minutes were made in each building separately for the two standards. After describing the typical characteristics and measured values of buildings, all buildings were analyzed and vibration sources, structure and floor numbers were compared. The obtained data were evaluated on the basis of the analyzes and conclusions were made and the buildings were examined in terms of user comfort. The standards used in the measurement were also compared and their consistency checked and their suitability confirmed.

When the numerical data obtained are evaluated, all the structures are provided with the limit values specified in DIN 4150-2 standard. As a result of comparison and detailed examination of all measurements, the factors that affect comfort are evaluated. The highest vibration values are those whose internal vibration sources are very effective. Despite the availability of effective external vibration sources, achieving low values in many structures indicates that external vibration sources are not as effective as expected. High buildings have high vibration values even in buildings where there is no apparent internal vibration source, indicating that the number of floors is important. Because of the stiffness of reinforced concrete buildings among different structures, it is necessary to have low vibration values, but having higher vibration values indicates that the structure is not as effective as expected.

Keywords: Vibration, vibration sources, damage, comfort, discomfort, vibration measurement, accelerometer, ISO 2631, DIN 4150

1.1 Literatür Özeti

Yapıların çevresinde ve içerisinde titreşim oluşturan çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Bu titreşim kaynaklarının meydana getirdiği titreşimlerle yapıları ve insanları etkilemesi sonucu birçok olumsuz durumla karşılaşılmaktadır. Tez çalışmasında titreşimler konfor açısından incelense de titreşimin sebep olduğu diğer sıkıntıların da bilinmesi ve ayırt edilebilmesi gerekmektedir.

Tarihi süreci araştırdığımızda titreşim konusundaki çalışmalar 19. yy ikinci yarısında başlamaktadır. 1861 yılında James Higgin tarafından yayınlanan “An Enquiry Into The Theory And Application Of Railway Breaks, with Suggestions Of Improvement On The Present Plan” [1] adlı eserde fren tipolojilerinin meydana getirdiği titreşim konu edilerek ilk çalışmalardan biri olmuştur.

Titreşimin ilk olarak taşıtlardaki bir unsur olarak ele alınmasının ardından 1960 yılında Golman ve Von Gierke tarafından yayınlanan “The effects of shock and vibration on man” [2] adlı eser de titreşimin insanlar üzerindeki etkisine değinen ilk çalışmalardan biri olmuştur. 1996 yılında Michael J. Griffin tarafından yayınlanan “Handbook of Human Vibration” [3] adlı kitap titreşimin insanlar üzerindeki etkisine değinen en geniş kapsamlı yayınlardan biri olmuştur.

Karayolu trafiğinin ürettiği titreşimler, Osama Hunaidi tarafından yayınlanan “Traffic Vibrations in Buildings” [4] adlı makalede konu edilmiş, yapılara ve insanlara olan etkisi deneylerle desteklenerek açıklanmıştır.

7. Avrupa Çerçeve Programı kapsamında 9 Avrupa ülkesinden 27 ortak tarafından yürütölen ortak bir araştırma ve geliştirme projesi olan RIVAS - Railway Induced Vibration Abatement Solutions kapsamında yapılan “Railway Induced Vibration Abatement Solutions Collaborative Project” [5] adlı projede demiryoluna dayalı titreşimlerin azaltılması hedeflenmiş, titreşim algısı, insan tepkisi, dünyada kullanılan titreşim ve gürültü konforu standartları konu edilmiş, karşılaştırma ve analizlerle anlatılmıştır.

Yeni Zellanda’da Ashburton belediye meclisinin hazırladığı “Vibration Assesment” [6] adlı raporda Ashburton kentinde yapılacak ikinci bir köprü ve yeni yol hattının oluşturacağı trafiğin ürettiği titreşim değerleri, trafiğin yapılar üzerindeki hasar ve insanlar üzerindeki konfor etkisi, bunlara karşı alınacak tedbir ve geliştirmeler standartlar kapsamında konu edilmiştir.

Y. Tamura ve A. Kareem tarafından 2013 yılında yayınlanan “Advanced Structural Wind Engineering” [7] adlı kitabın on ikinci bölümünde rüzgârdan kaynaklanan yapı titreşimleri ve insan tepkisi, saha deneyleri, anketler, hareket simülatörleri gibi çeşitli test yöntemler kullanılarak araştırılmıştır.

Tuan Chick, vd. tarafından hazırlanan “Analysis Of The Effect of Vibration from Footfalls On Office Building” [8] adlı makalede ve Thomas M. Murray, vd. tarafından yazılan “Floor Vibrations Due to Human Activity” [9] adlı kitapta insan faaliyetleri sebebiyle döşemede oluşan titreşimler birçok yönüyle ele alınmış, ölçümler yapılmış, insanlar ve ekipmanlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Arne P. Johnson ve W. Robert Hannen tarafından hazırlanan “Vibration Limits For Historic Buildings And Art Collections” [10] adlı makalede tarihi binalar, sanat koleksiyonları ve benzeri ortamlar için gerekli titreşim sınırları bilimsel yöntem ve ilkelerle değerlendirilmiştir. Bu yapılar için kullanılan standartlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

J. Kawecki, vd. tarafından hazırlanan “Consideration of Criteria of Vibration Comfort of People in Diagnosis and Design of Buildings” [11] adlı makalede yapıların tanı ve tasarımında titreşim konforu konu edilmiş, yapılardaki titreşimin insan konforuna etkisini ve değerlendirmelerde kullanılması gereken prosedürleri açıklamaktadır.

Selma Kurra tarafından 2009 yılında yayınlanan “Çevre Gürültüsü ve Yönetimi” [12] adlı kitap, titreşim ve gürültüyü konu edinmiş, titreşim konusunu üretilmesi, algılanması, standartlar ve yönetmelikler gibi birçok yönüyle ele alan en geniş kapsamlı Türkçe kaynaktır.

1.2 Tezin Amacı

Titreşimler genellikle yapıları ve yapı içinde bulunan insanları olumsuz yönde etkilemektedir. Makineleşme ve yapılaşmanın artmasıyla birlikte ulaşım ağları da gelişmekte titreşim kaynakları hayatımızın her noktasında yer almaktadır. Titreşimlerden dolayı yapılarda hasar oluşabildiği gibi insanlarda hasta veya rahatsız olmaktadır. Karayolu trafiği, raylı sistem, inşaat faaliyetleri, rüzgâr gibi dış titreşim kaynakları ve/veya mekanik ekipman, insan dolaşımı gibi iç titreşim kaynakları bu olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Bu çalışmada, 10 farklı yapıda belirli standartlara göre titreşim ölçümleri yapılarak titreşim kaynaklarının, yapıların taşıyıcı sistemlerinin ve yüksekliklerinin konfor konusunda elde edilen titreşim değerlerine ne kadar etki ettiği belirlenmeye çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Ölçüm için seçilen her yapı tipik özellikleri vardır. Yapıların farklı taşıyıcı sistem, yükseklik, konum ve işlevlerinin olması çeşitli titreşim kaynaklarına maruz kalmalarına neden olmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistemli yapılar ağır – rijit, çelik taşıyıcı sistemler hafif – esnek olması sebebiyle çelik yapılarda daha büyük titreşim değerleri öngörülmektedir. Aynı tür taşıyıcı sistemi olan yapılar arasında yüksek olan yapıdaki salınımlar fazla ve titreşim değerleri büyük olacaktır. İnşaat faaliyetleri, karayolu trafiği gibi güçlü titreşim kaynaklarına yakın olan yapılarda gürültünün verdiği rahatsızlık hissi ile ölçülen titreşim değerlerinin uyumlu olması beklenmektedir.

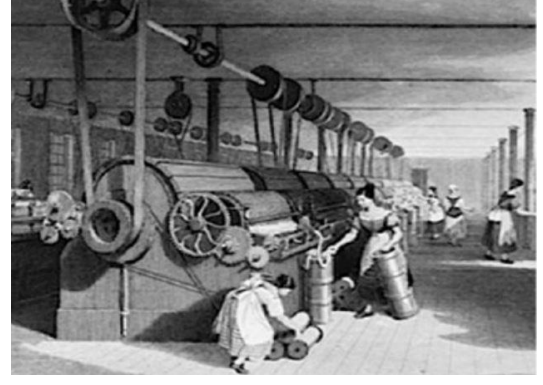
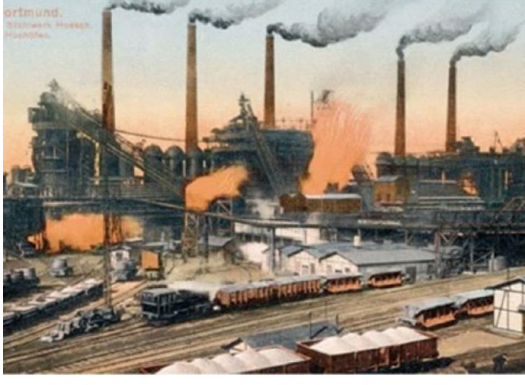
BÖLÜM 2

TİTREŞİM

Teknolojinin gelişmesi, zamanın değerli hale gelmesi, verimli çalışmanın ve üretmenin öneminin artmasıyla birlikte gün geçtikçe makineleşme de artmaktadır. Ulaşım ağları genişliyor, yapılaşma artmakta, hareket ve sirkülasyon çoğalmaktadır. Bunların neticesinde **titreşim** hayatımızda çoğu zaman fark edilmeyen fakat önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonrasında yaşam standartlarını etkileyen bir unsur halini alıp konfor kavramına etki etmektedir. **Konfor**, çoğu zaman rahatlık ve rahatsızlık gibi öznel değerlendirmelerle ifade edilip olup bilimsel veriler referans alınmamıştır. Zaman içinde konfor konulu standart çalışmaları yapılarak bilimsel değerlendirmeler yapılabilme mümkün olmuştur.

2.1 Tarihsel gelişim

Titreşim olayının etkili olması esasında sanayi devrimine dayanır. Genellikle, makineleşme ve seri üretime geçmenin sebep olduğu titreşim olayları haricinde doğal olaylar sonucu hissedilen bir durumdur (Şekil 2.1). Yani mekanik titreşim, sanayi devriminden sonra sıklıkla etkileşim halinde olduğumuz bir olay olmuştur [13]. 18.yy'ın başından itibaren makineler, trenler, vb. bunların birer örneği olarak gösterilebilir. Makineleşmenin sanayide ve ulaşım araçlarında yoğun kullanımıyla birlikte dünya yoğun ses ve titreşimlerle tanıştı.



Şekil 2.1 19.yy'da sanayinin gelişimi [13]

İnsanların titreşimi algılayıp, bu konu üzerinde öncü çalışmalar yapması 19.yy ikinci yarısında başlar. 1861 yılında James Higgin tarafından yayınlanan eserde [1] fren tipolojilerinin meydana getirdiği titreşim ve bunun motora verdiği hasar konu edilmiştir. Aynı zamanda fren tipolojileri arasında “rahatsız edici bir titreşim algılanmaktadır” denilerek kullanıcı konforuna ilişkin ilk saptamalar yapılmıştır.

Yine 1883 yılında Amerikan Kanunlarında [14] gürültü ve titreşim bir rahatsızlık unsuru olarak yer almaktadır. Bu durumu örneklenirken de bir konut yakınındaki matbaanın oluşturduğu titreşimin sadece rahatsızlık vermediğini, yapısal hasara da sebep olabileceği belirtilmektedir.

20.yy başlarında yapılarda gürültü ve titreşim problemleriyle ilgi çalışmalar yapılmıştır. 1907 yılında Demarest “Noise in its legal aspects” [15], 1917 yılında Watson “Recent developments in acoustics of buildings” [16], Tuttle ve Morton “Does concrete construction reduce vibration?” [17], 1934 yılında MIT Makine Mühendisliği Profesörü Jacob Pieter Den Hartog “Mechanical Vibrations” [18] adlı eserleri yayınlamıştır.

Otomobil, gemi ve uçak gibi ulaşım araçlarının kullanımının yoğunlaşması **titreşim konforu** konusunun önemsenmesine ve çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. “The analysis of vibration problems” [19] adlı eserde uçakta yolcunun konfor algısına titreşimin etkisi incelenmiştir.

İkinci Dünya Savaşında sanayinin yüksek seviyede kullanımının etkileri sonrasında titreşim algılamasıyla ilgili çalışmalar hızlanır. Mekanik, fizyolojik, psikolojik çok etkili sistematik çalışmalara geçilir. 1920’lerde İngiltere’de işçilerin çalışma koşulları ve

sağlıklarının iyileştirilmesi sebebiyle tanımlanan ergonomi kavramı da bunun ilk adımlarıdır.

1960 yılında Golman ve Von Gierke “The effects of shock and vibration on man” [2], 1971 yılında Guignard “Human sensitivity to vibration” [20] adlı eseri yayınlamakla titreşimin insanlar üzerindeki etkisine değinmiş oldular.

1970’li yıllarda uluslararası standart kuruluşları titreşim konforuyla ilgili çalışmaları, değerlendirme yöntemlerini ve standartları toplamaya başladı. 1973 yılında “İnsanın tüm vücut titreşimine maruz kalmasının değerlendirilmesi” [21] adlı ISO 2631 standardı yayınlandı.

1996 yılında Griffin yayınladığı eserle [3] en geniş kapsamlı yayınlardan birini yapmıştır. Bu kitapta konforun sağlanabilmesini çoğu zaman algılanabilir titreşimin olmamasına bağlar. Bunun sonucunda titreşimin değerlendirilebilmesini; kişisel kriterlerle değil bilimsel kriterler oluşturularak, insan algılamasının alt sınırlarının tanımlanmasıyla mümkün olduğunu ifade eder. Titreşimlerin sebep olduğu rahatsızlık, sadece titreşim kaynağıyla ilgi olmayıp çevresel faktörlerin de etkisindedir dolayısıyla bu sınırlar insanlar üzerindeki deneyler ve analizlerle belirlenebilir.

İlerleyen zamanlarda trafik kaynaklı yapı titreşimleri, rüzgârdan kaynaklanan yüksek bina titreşimleri, raylı sistemlerin bina temeli ve zeminde titreşim etkisi gibi birçok konuda yayınlar yapılmıştır.

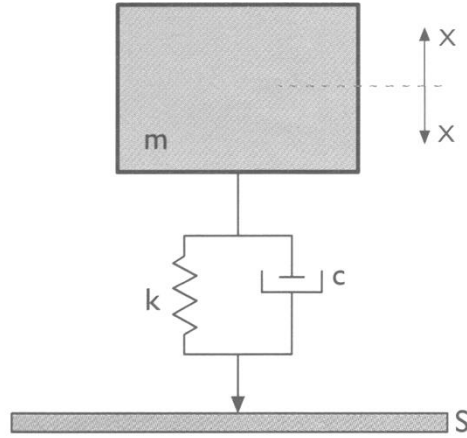
2.2 Tanımlar

Titreşimin birçok alanda önemli bir etken olmasından dolayı aynı bilimsel referanslara dayanmasına rağmen farklı tanımları ve kuramları vardır. Titreşim, temel kavramlar dahilinde nitelikleri ve türleri bakımından incelenmiştir.

2.2.1 Titreşim

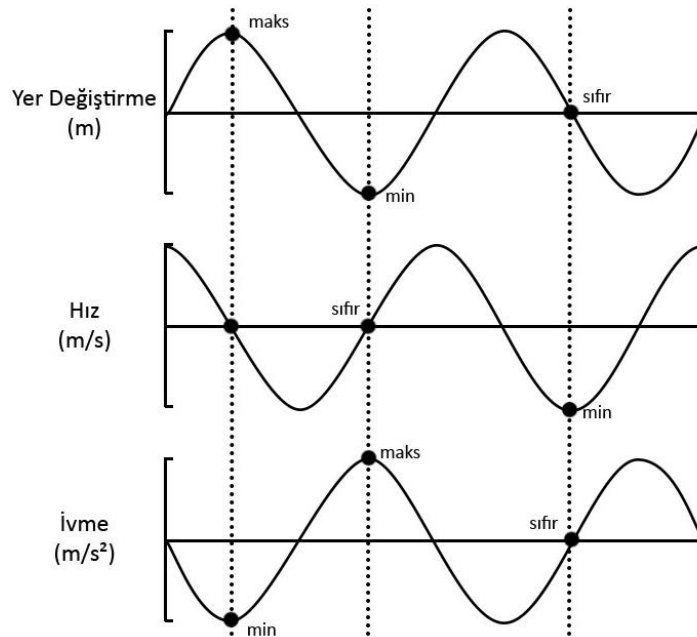
Her duran cismin bir enerjisi ve kuvvet uygulanması halinde hareket etme potansiyeli vardır. Bu hareket başlangıç halinden kendini tekrarlayan bir olaya dönüştüğünde titreşim söz konusu olur. Dolayısıyla en sade tanımı “Titreşim sabit bir referans noktası etrafında mekanik salınımdır” [22] ifadesiyle olacaktır.

Şekil 2.2’de çeşitli elemanlardan oluşturulmuş bir titreşim sistemi görülmektedir. Titreşim yapacak cismin m kütlesi, titreşimi sağlayacak yayın k elastiklik modülü ve önemsenmeyen bir kütlesi, viskoz sönümleyicinin de önemsenmeyen bir kütlesi olup döşemeye sabitlenmiştir. Kuvvet uygulanarak cisim sadece X yönünde harekete geçmesi sağlandığında sistemin dengesi bozular ve cisim ilk konumuna geri geldiğinde **serbest titreşim** olayı gerçekleşmiş olur [12].



Şekil 2.2 Titreşim kuramında etkili parametreler [12]

Titreşim olaylarını değerlendirip analiz edebilmek için titreşimin ölçülebilir değerleri olan yer değiştirme, hız ve ivme arasındaki ilişkiyi de gözetmek gerekir. Bu değerler dışındaki veriler, bu değerlerin formülasyonu ve çeşitli hesaplamalar sonucu elde edilmektedir.



Şekil 2.3 Periyodik titreşimde yer değiştirme, hız ve ivme kavramlarının karşılaştırması

Bir sarkacın serbest salınımı Şekil 2.3'ü anlamak için en kolay örnek olacaktır. Sarkacın denge konumundan uzaklaşıp ulaştığı en uzak mesafe maksimum yer değiştirmesidir. Maksimum yer değiştirmenin olması için durmuş olması ve diğer yöne hareket edecek olması gerekir dolayısıyla o an hızı sıfırdır ve harekete başladığı için hızı artacaktır. Sarkaç denge noktasına geldiğinde yer değiştirme sıfır olacak, maksimum hızına ulaşacak ve hızı düşmeye başlayacaktır. Hızın maksimuma ulaşması, hızlanmanın durması yani ivmenin sıfır olması demektir.

2.2.2 Periyot

Titreşim yapan bir cismin ilk konumundan tekrar aynı konuma ve hareket yönüne gelmesi için geçen süredir. T ile saniye veya milisaniye cinsinden ifade edilir. Periyotlar aynı kalarak sistem sürekli tekrar ediyorsa periyodik titreşim denir.

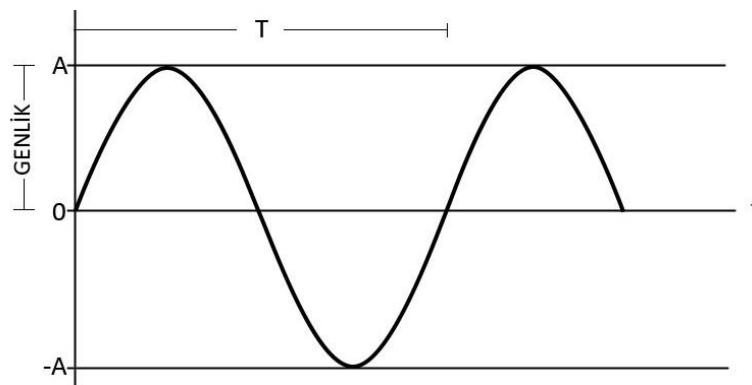
2.2.3 Frekans

Titreşim yapan bir cismin birim zamandaki titreşim sayısıdır. f ile hertz veya kilohertz cinsinden ifade edilir. Frekansı periyot ile ilişkilendirdiğimizde, $f = 1/T$ denklemi ortaya çıkar.

Ör: $f = 5$ hz saniyede 5 titreşim demektir. Titreşimin periyodu $1/5 = 0.2$ sn $T = 0.2$ sn

2.2.4 Genlik

Yer değiştirmenin cismin hareketi esnasında ulaştığı maksimum değerdir. Genlikle periyodun direk bir bağlantısı yoktur [23]. Titreşimin periyodu sabit tutulup genliği artarsa, aynı sürede daha fazla yol alması için hızı ve ivmesi artacaktır.



Şekil 2.4 Titreşim dalgası

2.2.5 Rezonans

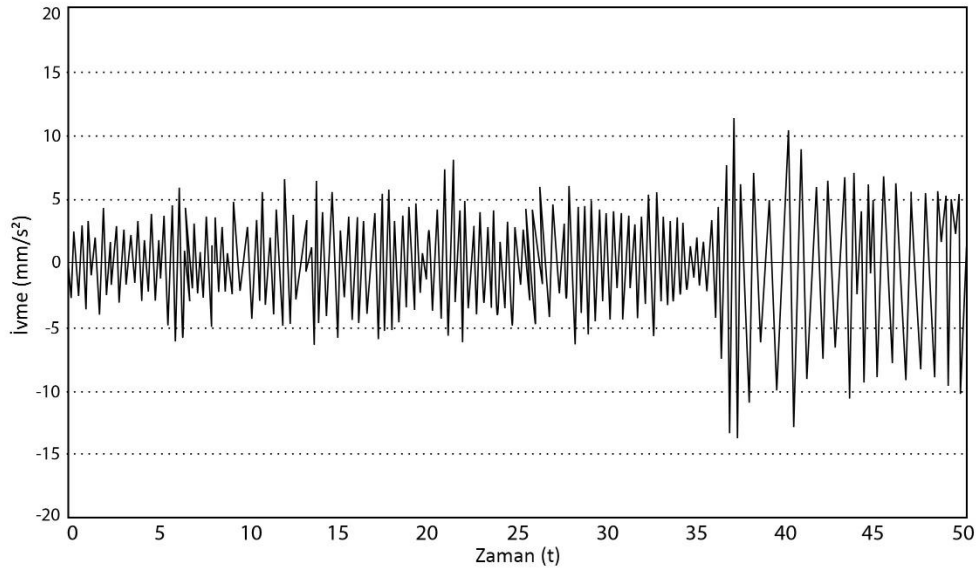
Bir cisme dışardan etkiyen sürekli kuvvet neticesinde cisim, doğal frekansına eşit bir frekansla titreşime geçerse sistemin genliği büyür ve rezonans gerçekleşmiş olur. Rezonans halinde hızın artmasıyla sistemin kinetik enerjisi de artacak, sistemde tahribat ve zarar görme riski oluşacaktır [24].

2.2.6 Titreşim Türleri

Serbest titreşim: Bir sistemin üzerinde hiçbir kuvvet yokken, sadece başlangıçta uygulanan bir kuvvet veya hareket nedeniyle yaptığı titreşimdir [25].

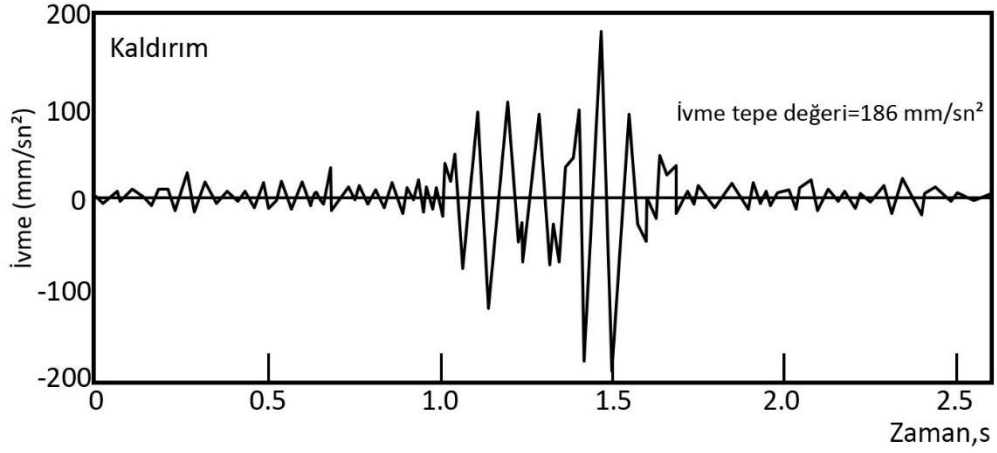
Zorlanmış titreşim: Bir sisteme dışarıdan sürekli uygulanan kuvvet etkisinde yaptığı titreşimdir.

-Kararlı titreşim: Bir sisteme uygulanan kuvvet etkisinde belirli bir zaman içinde kendini tekrarlayan titreşimdir (Şekil 2.5). Mekanik cihazların sürekli aynı şekilde çalışması aynı kuvvetin uygulanmasıyla meydana gelir.



Şekil 2.5 Kararlı titreşim (kazan motoru) [12]

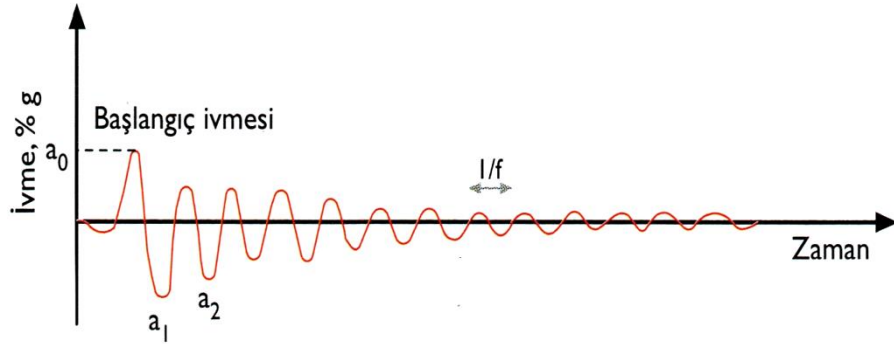
-Geçici titreşim: Bir sisteme uygulanan kuvvet kısa süreli olduğunda başlangıcı ve bitişi olan titreşimdir. Yoldan ağır ve etkili bir taşıtın geçmesi bu titreşime neden olabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Geçici titreşim (yol kenarı ölçümü) [12]

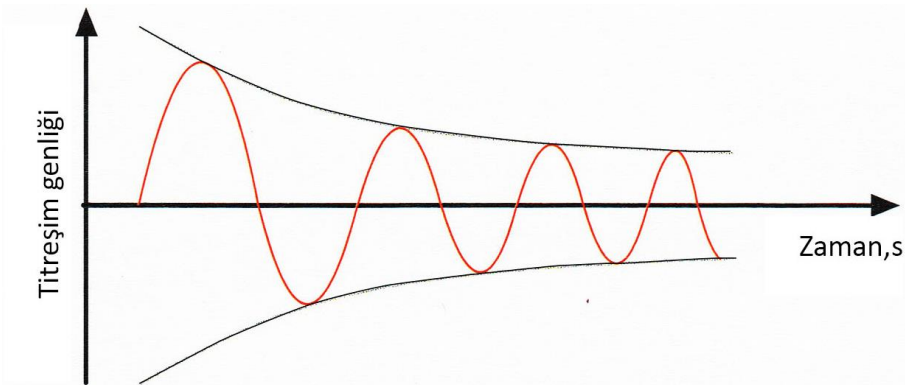
Sönümsüz titreşim: Bir sistem herhangi bir şekilde titreşime başladıktan sonra enerji kaybının olmadığı sürekliliği olan titreşimdir.

Sönümlü titreşim: Bir sistem herhangi bir şekilde titreşime başladıktan sonra enerji kaybının olduğu ve bir süre sonra sona eren titreşimdir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Sönümlü titreşim ivme değişimi

Titreşimde enerji kaybı başladığı zaman yer değiştirme dolayısıyla genliği de azalmaya başlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Sönümlü titreşim genlik değişim

TİTREŞİM KAYNAKLARI

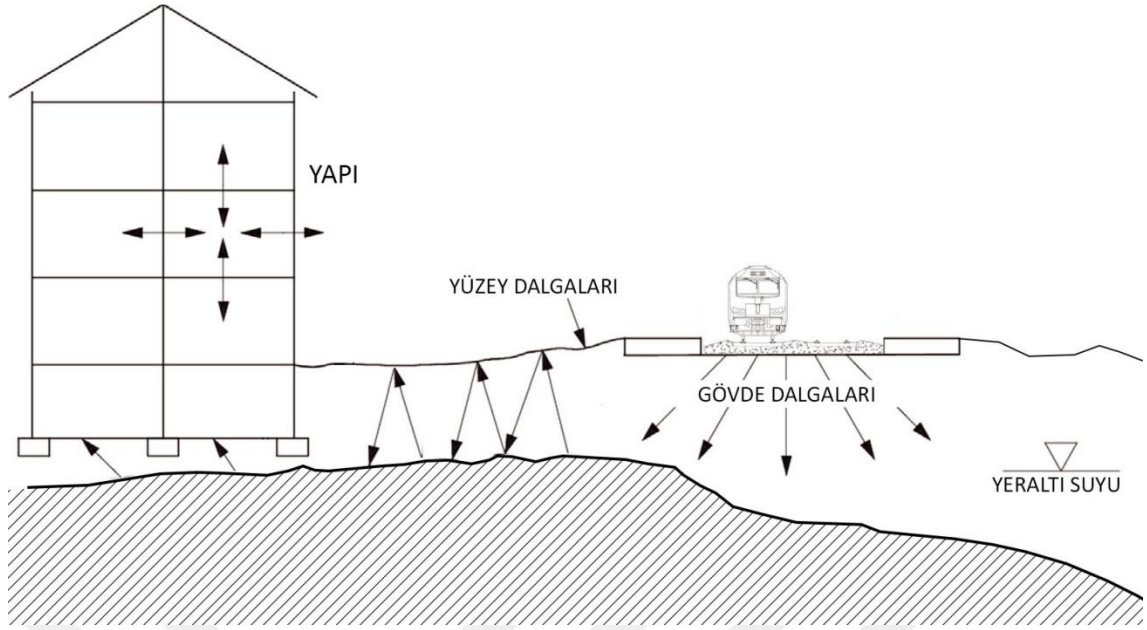
Günümüzde yapılar sürekli titreşim etkisi altındadırlar. Deprem, fırtına gibi doğal olaylar dışında karayolu, demiryolu trafiği, çevredeki kazı ve inşaat çalışmaları, yapı içindeki mekanik ekipmanlar, kullanıcı sirkülasyonu gibi olaylar yapının 0.1 ile 500 Hz aralığında titreşimine etki eder. Dolayısıyla titreşim bulunmayan bir yapının olması imkansızdır. Bu kaynakların her biri farklı frekans, genlik ve yönlerde titreşimler üretir [26].

3.1 Dış Kaynaklı Titreşimler

Yapıları en çok etkileyen ve sorun teşkil eden dış kaynaklı titreşimlerdir. Her ne kadar yapı çevresinde ve ilişkili olsalar da çözüm ve müdahale esnasında bir kamusal alanda yer alırlar. Oluşabilecek problemlerin sonradan çözümleri oldukça zor ve maliyetlidir. Bu sebeple yapının inşası öncesinde tasarımda ve teknik detaylarda göz ardı edilmemelidirler.

3.1.1 Karayolu Trafiği

Trafiğin neden olduğu titreşim olayları, yolların yapılara yakın olması sebebiyle en çok göz önünde olan ve hissedilen titreşimlerdir. Titreşim kaynağı taşıtlar olsa da titreşim etkisinin artıp azalmasında yol yüzeyinin pürüzlülüğü, düzgünlüğü (çatlaklar, çukurlar), hız kesici tümsekler, rögar kapakları ve zemin toprağının türü çok önemli faktörlerdir.



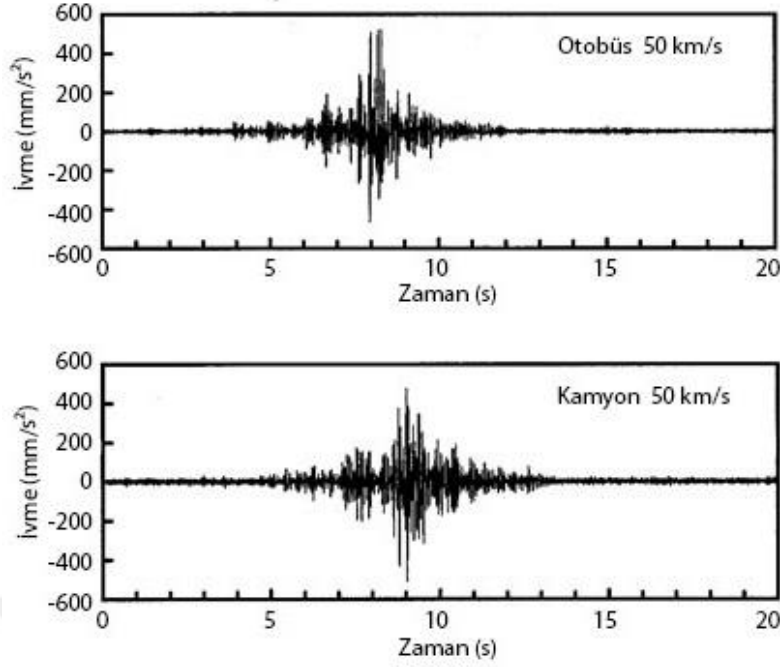
Şekil 3.1 Yapıya titreşim iletimi [27]

Taşıtların hızı ve ilerlemesi zemine paralel yönde olduğundan titreşimi oluşturan temel kuvvet değildir. Taşıt hareketi esnasında ağırlığının süspansiyonlardan tekerlere, tekerlerden de yol yüzeyine iletilmesi esnasında titreşim oluşur. Bunun da yapıya etkisi yoldan toprak zemine, topraktan da yapı temeline ulaşmasıyla meydana gelir (Şekil 3.9). Karayolu trafiği 5 Hz ile 25 Hz frekans aralığında titreşimler üretir. Titreşimlerin ivmesi 0,5 ile 200 mm/s² aralığında, hızı 0,05 ile 25 mm/s aralığında değişir [28].

Genellikle kamyon ve otobüs gibi ağır taşıtlar hissedilen titreşimleri oluştururlar. Otomobiller yüksek hız ve aşırı bozuk yollar haricinde önemli bir titreşime neden olmazlar. Ağır taşıtlarda kullanılan süspansiyonlar da bunda önemli bir etkidir. Aynı ağırlıktaki otobüs ve kamyonun geçişi sırasında yapılan ölçümler Tablo 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Farklı araçların farklı hızlarda titreşiminin karşılaştırması (mm/sn²) [4]

Ölçüm Yapılan Yer	25 km/s		50 km/s	
	Otobüs	Kamyon	Otobüs	Kamyon
Yapı önündeki zemin	20.5	19.9	64.5	33.2
Dış temel duvarı	11.2	10.1	30.9	15.7
1. kattaki orta nokta	20.3	20.8	62.9	30.1
2. kattaki orta nokta	35.0	37.3	96.2	46.7
* Otobüste havalı süspansiyon, kamyonunda çelik yaylı süspansiyon vardı.				



Şekil 3.2 Farklı araçların farklı hızlarda titreşiminin karşılaştırması (mm/s^2) [4]

25 km/s hızda otobüs ve kamyonun oluşturduğu titreşimin ivme değerleri birbirine çok yakın olmasına rağmen, 50 km/s hızda otobüsün oluşturduğu titreşim ivme değeri kamyonun ivme değerinin yaklaşık iki katı kadardır.

Yoldaki düzensizlikler, rögar kapakları ve hız tümsekleri anlık etkiler oluştururken, yol yüzeyinin pürüzlülüğü sürekli bir etkiye sebep olmaktadır. Yol yüzeyinin oluşturduğu titreşim frekansı aracın veya toprağın doğal frekansıyla çakıştığında etkisi daha yüksek olur. Mesela çakıl yolda çok yavaş veya hızlı giden bir araçta titreşim az hissedilirken genellikle ortalama hızda fazla hissedilir. Pürüzlülük ve hız arttıkça, genlik de artar.

-Aynı yolda hızlı araçlar daha yüksek titreşim oluşturur.

-Ağır araçlar hafif araçlardan daha yüksek titreşim oluşturur.

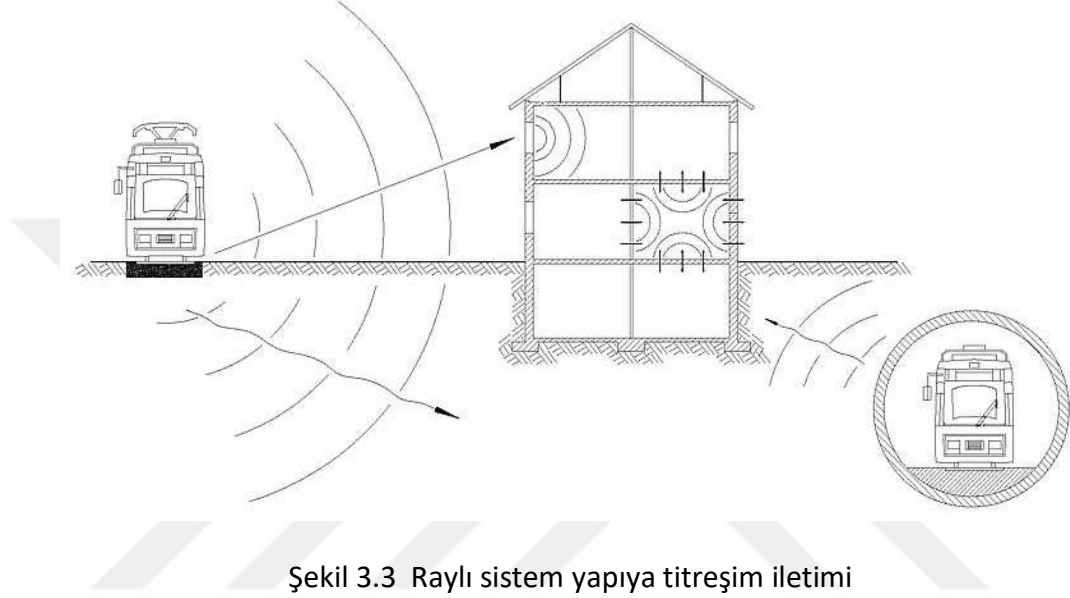
-Aynı araç düzgün olmayan yolda daha yüksek titreşim oluşturur.

-Yola yakın yapılar titreşimden daha fazla etkilenir [29].

Mevsimlere bağlı olarak yer altı su seviyeleri toprağın yapısını değiştirmektedir. Özellikle kuzey bölgelerde suyun donmasıyla kışın toprak en sert halini alırken, ilkbaharda artan su seviyesiyle en gevşek halini almaktadır. Toprak sertliği ne kadar titreşimlerin etkisi o kadar yüksek olacaktır [4].

3.1.2 Raylı Sistem

Ulaşım sistemlerinin gelişmesiyle özellikle raylı sistem hızla yaygınlaşmaktadır. Ulaşım yeraltında metro, karada tramvay ve şehirlerarası tren olarak farklı tip ve mekanik özellikleri olan taşıtlarla sağlanmaktadır. Raylı sistem taşıtının meydana getirdiği titreşim zemin boyunca yayılır ve çevredeki yapılara temellerinden, toprak altındaki bölgelerinden iletilir [5].

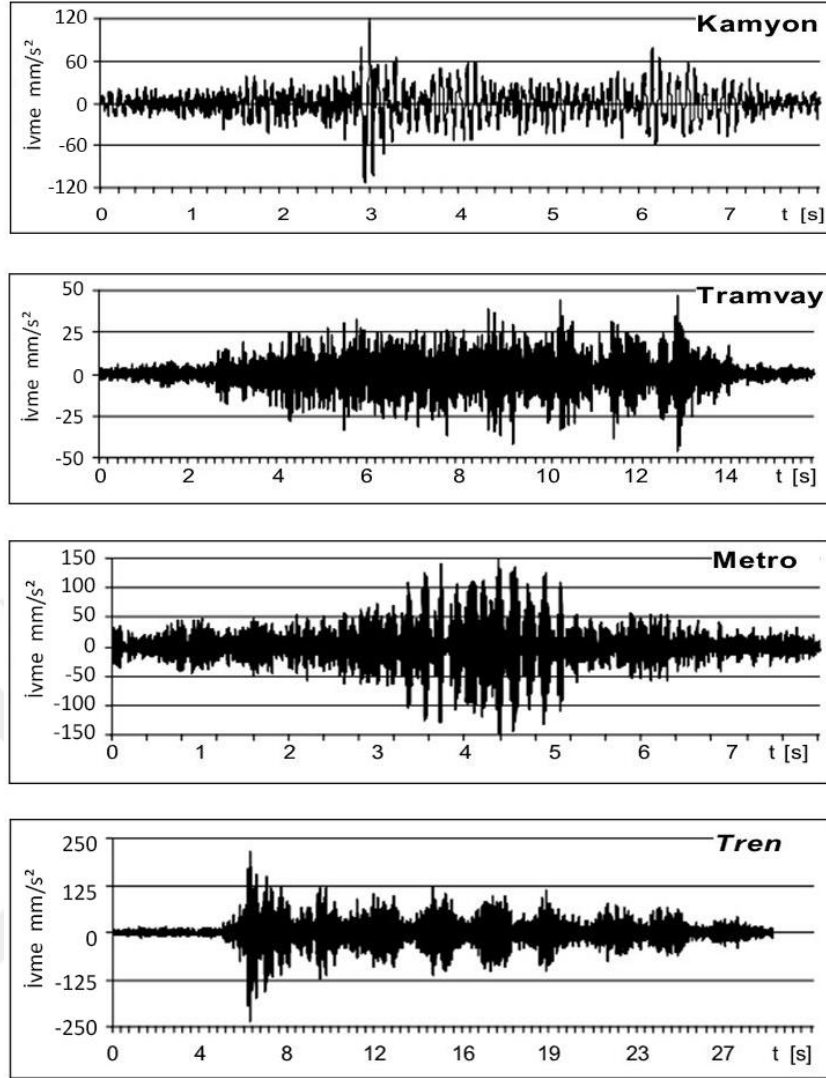


Şekil 3.3 Raylı sistem yapıya titreşim iletimi

Raylı sistem taşıtlarında da titreşimin iletim şekli karayolu taşıtlarındakine benzerdir. Lokomotif ve vagonlardan tekerleklerle, tekerleklerden raya, oradan da ray tabanlarına ve toprağa iletilir (Şekil 3.3). Burada da yol yüzeyi olan rayların pürüzlülüğü, düzensizlikleri, lokomotiflerin ve vagonların yıpranmışlığı, bakım durumu, tekerlekleri, vb. oluşan titreşim değeri açısından önemli faktörlerdir [12].

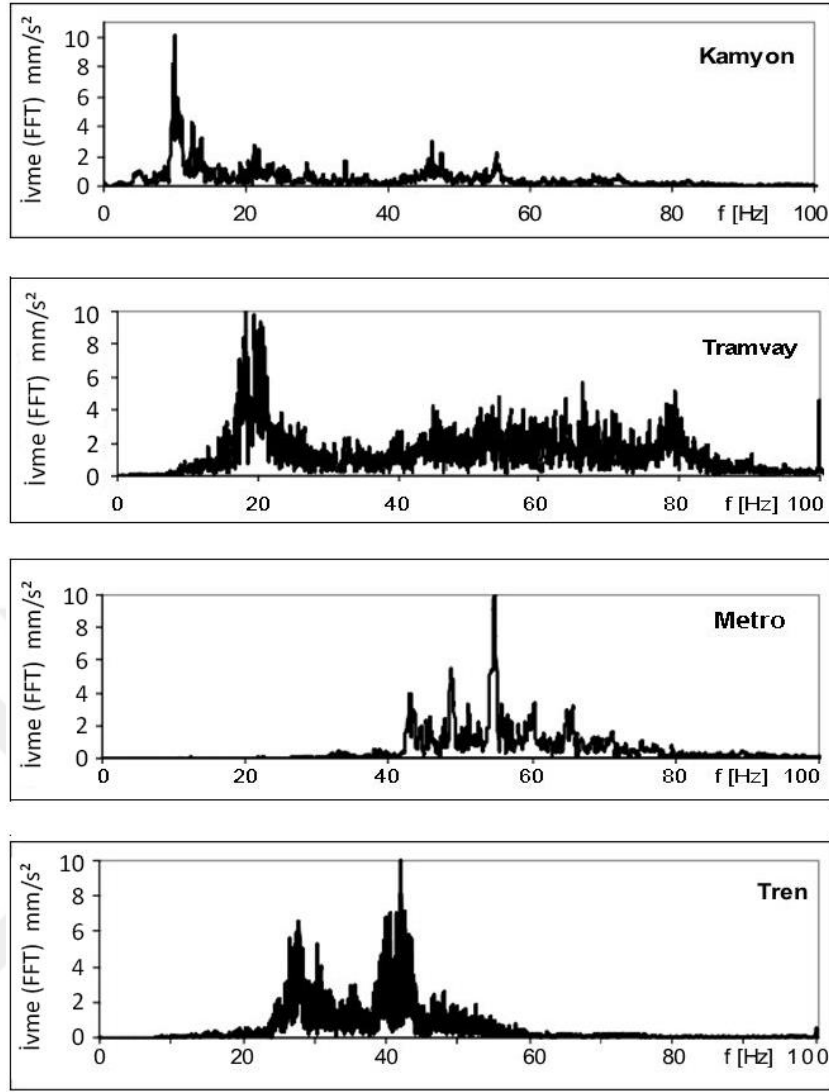
Tren güzergahlarının karayolları kadar esnek olmaması sebebiyle yerleşim merkezlerinden geçtiği durumlara rastlanabilir. Ağırlık olarak fazla, geçiş hızlarının yüksek, temas yüzeylerinin rijit olması raylı sistem titreşimlerinin (zemin üzerindeki) yapılarda daha fazla hissedilmesine neden olmaktadır.

Aynı yapı döşemesinde kamyon, tramvay, metro geçişinden ve denk bir yapıda tren geçişinden kaynaklanan titreşimler kaydedilmiştir. En düşük ivmenin tramvay geçişinde ve en yüksek ivmenin de tren geçişinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kamyon, tramvay, metro ve trenin düşey ivmelerinin karşılaştırması [30]

Aynı ölçümlerde Fourier dönüşümüyle ivme - frekans analizi de gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Kamyonun oluşturduğu titreşimlerde 10 Hz frekansında maksimum ivme oluşmaktadır. Tramvayda diğerlerine göre birçok frekansta belirgin ivmeler oluşsa da 20 Hz frekansında daha baskındır. Metroda 40 ile 80 Hz aralığında belirgin ivmeler görülebiliyorken 55 Hz frekansında maksimum seviyededir. Trende ise 25 ile 50 Hz aralığındaki ivme 45 Hz frekansında maksimum seviyededir [30].



Şekil 3.5 Kamyon, tramvay, metro ve tren ivme - frekans analizi [30]

3.1.3 Çevresel Kaynaklar

Yapı çevresinde maden ve taş ocakları, inşaatlar ve yol yapım çalışmaları gibi 1 ile 150 hz arasında yüksek genlikli titreşimler üreten kaynaklara rastlamak mümkündür [12]. Maden ve taş ocaklarında zemin türüne göre yapılan kırım ve kazı işlerinde yüksek kuvvet uygulanması, enerji kullanımı ve patlamalar sonucu titreşim meydana gelmektedir. Yapıların bu alandan olan uzaklığına göre etkilenmeleri ve hasar oluşması söz konusudur. “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde [31] izin verilen sınır değerler belirtilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Maden, taş ocakları ve benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

Titreşim Frekansı (hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri – mm/s)
1	5
4 - 10	19
30 - 100	50
1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir.	

İnşaatlarda iş makineleri, kazı çalışmaları, sıkıştırma işlemleri, kazık çakılması gibi işlemler zemin titreşimleri oluşturmaktadır. Titreşimler inşaat alanı ve çevresindeki yapılarda en düşük seviyeden en yüksek seviyeye kadar algılanıp, farklı hasarlara sebep olabilmektedir [6]. Aynı yönetmelikte bu alanlarda izin verilen sınır değerler belirtilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 İnşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratan operasyonların ve inşaat makinelerinin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (tepe değeri – mm/s)	
	Sürekli Titreşim	Kesikli Titreşim
Yerleşim Bölgelerinde	5	10
Sanayi ve Ticari Bölgelerde	15	30

Yol yapım çalışmaları sırasında birçok iş makinesi çalışmakta ve işlemlerin çeşitliliği oluşacak titreşim değerlerine de yansımaktadır. Yol çalışmalarının daha önce de belirttiğim üzere yapılara çok yakın olması sebebiyle oluşacak etki maksimum düzeydedir. İş makinelerinin çalıştığı alanlarda da inşaat alanları yönetmeliği uygulanmaktadır.

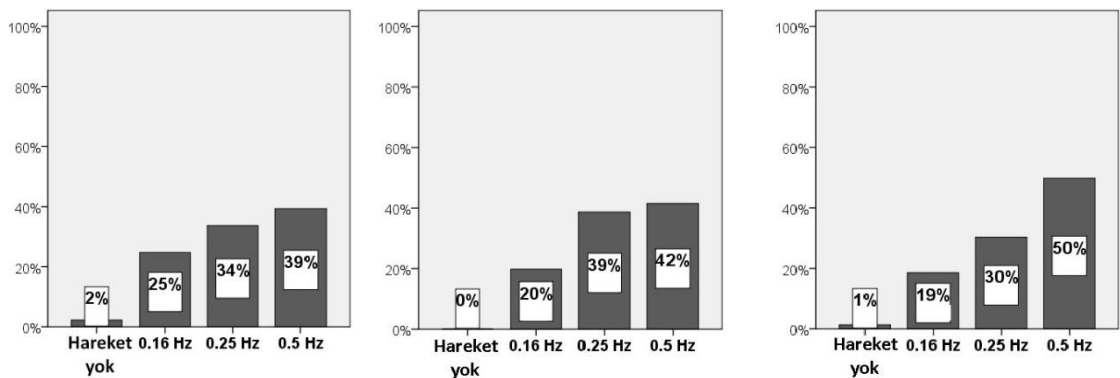
3.1.4 Rüzgâr

Yapıların titreşimine etki eden afetler dışındaki tek doğa olayı rüzgardır ve 0.1 ile 2 hz arasında titreşimler oluşturur. Fakat alçak yapılara etkisi olmayıp özellikle narinliğin (boy/en) fazla olduğu yüksek yapılarda etkisi hissedilebilmektedir.

Yüksek yapı tasarımında sadece mukavemet ve emniyet gereksinimlerinin karşılanması değil, kullanılabilirlik kriterleri aynı derecede önemlidir. Rüzgarla oluşan yapı titreşimi korku ve endişe oluşturup kullanıcıların günlük faaliyetlerini etkileyebilir. Uzun süreli maruz kalma rahatsızlıklara neden olabilir, konfor ve verimi etkileyebilir, aşırı durumlarda baş dönmesi ve mide bulantısına sebep olabilir [7].

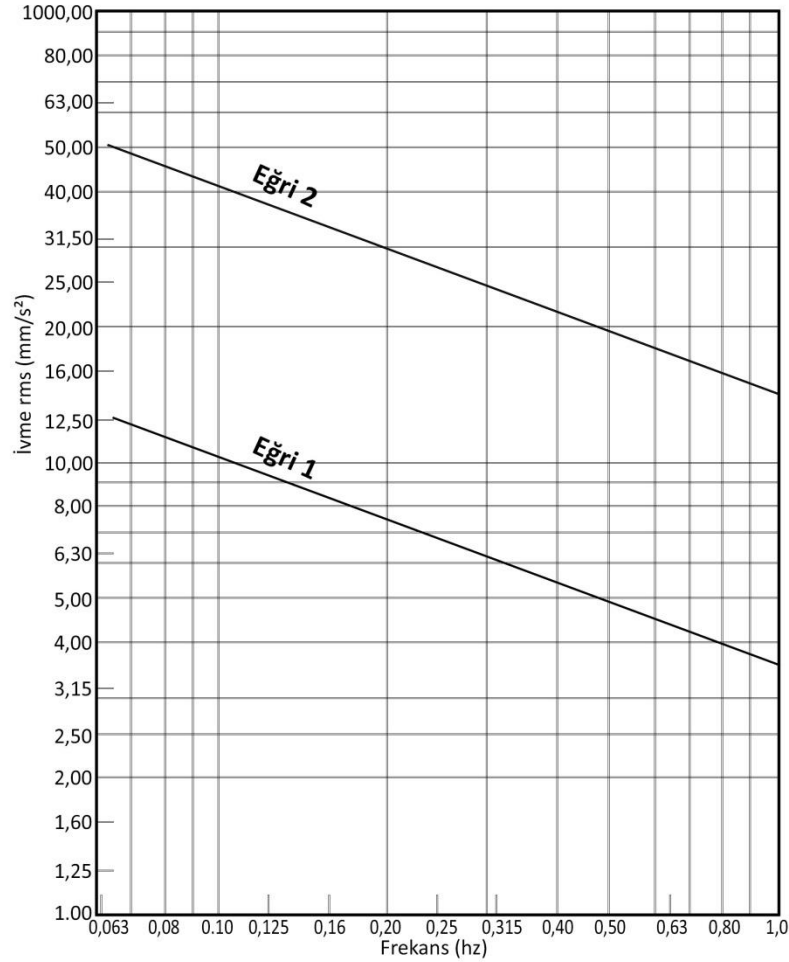
Dolayısıyla yüksek yapılar özel uzmanlık gerektiren bir alan olup, yapıların tasarımı sırasında rüzgârın etkileri de göz önüne alınarak yapı doğal frekansı, formu, narinliği, yönü, vb. faktörler hesaba katılmaktadır. Genellikle yapı doğal frekans hesaplarının yapılmış olması durumunda rezonans olmadıkça rüzgâr yapıda bir hasara neden olmamaktadır.

Rüzgâr, yüksek katlarda yaşayan veya çalışan kişilerin konforunu ve refahını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [32]. Bunun temel sebebi üst katların rüzgâr salınımında maksimum seviyede etkilenmesi ve rüzgâr titreşiminin düşük frekanslı olmasıdır. Kişilerin düşük frekanslı titreşime maruz kalmaları, titreşimi hissetmedikleri halde yorgunluk, konsantrasyon zorluğu, baş dönmesi, mide bulantısı, vb. rahatsızlıkları yaşamasına sebep olabilmektedir. Bir hareket simülatöründe kullanıcılar televizyon karşısında sandalyede film izlerken yapılan deneyde frekans arttıkça rahatsızlıkların arttığı görülmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Mide bulantısı, baş ağrısı ve konsantrasyon bozukluğu istatistikleri [32]

Düşük frekanslı titreşime maruz kalmayla ilgili sınır değerler ISO 6897 “Sabit yapıların, özellikle binaların ve açık deniz yapıları kullanıcılarının düşük frekanslı yatay harekete (0,063 ila 1 Hz) tepki vermesinin değerlendirilmesi için kılavuz ilkeler” [33] da verilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 ISO 6897 Düşük frekanslı yatay hareket algısının ortalama (eğri 2) ve alt eşik (eğri 1) değerleri

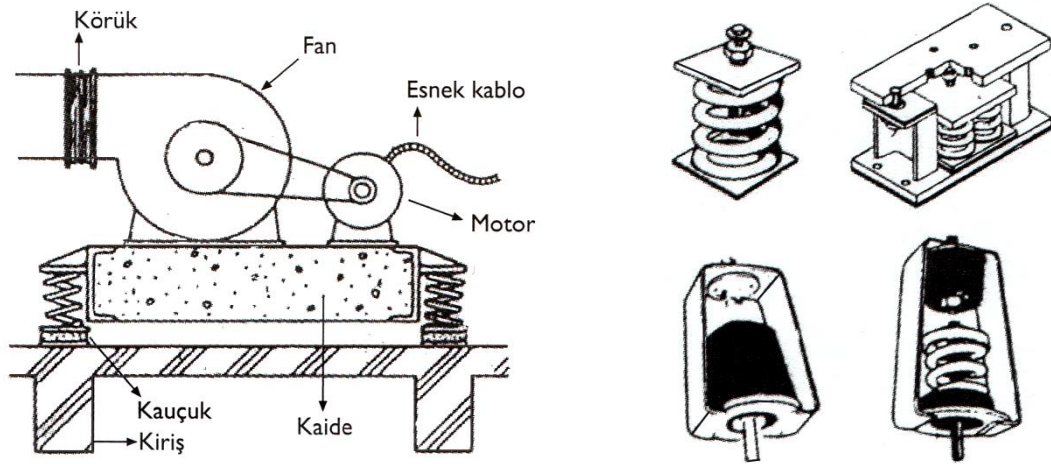
3.2 Yapı İçi Titreşim Kaynakları

Titreşime havalandırma cihazları, asansörler, makine daireleri, spor alanları ve kullanıcı sirkülasyonu gibi yapı içi kaynaklar da neden olmaktadır. Bu kaynakların direk yapı zemini ve yüzeyleriyle temas etmesi sebebiyle yapı elemanlarından tüm yapıya yayılır. İç titreşim kaynakları çeşitli yöntemlerle yalıtılabilir, kullanıcılar tarafından müdahale edilebilir ve uygun teknik detaylar kullanılarak sorunlar engellenebilir.

3.2.1 Mekanik Ekipman

Asansör, pompa, fan, terminal, jeneratör, kazan gibi mekanik ekipmanlar yapının kullanımı esnasında çoğu zaman aktif olup yapı içi titreşime sebep olan önemli unsurlardır. Yapıların yükseklik ve işlevine göre mevcut olan yönetmelikler dahilinde bulunan ekipmanlar, sürekli çalışan sistemler farklılık göstermektedir. Mesela ofis binalarında havalandırma, ısıtma ve soğutma için mekanik sistemler mevcuttur. Bu sistemler doğru tasarlanmamış ve montaj edilmemişse gürültü ve titreşime neden olabilir [34].

Mekanik ekipmanlar birer titreşim kaynağı olsa da tasarım sırasında hesaba katılmaları, montajlarının belirtilen uygun malzemelerle yapılması ve gerekli görülen durumlarda profesyonel yalıtım uygulanması durumunda titreşimler yapıya minimum seviyede iletilecek ve rahatsızlık oluşturmayacaktır. Ağır ekipmanların bulunduğu kazan dairesi gibi mekanik bölümlerin yapıdaki yerleri iyi belirlenmeli, mümkün olduğunca temel üstü ya da bodrum katlarda planlanmalıdır.



Şekil 3.8 Örnek makine yalıtım uygulaması ve yalıtım gereçleri [12]

Bir fan motorunun, kauçuk yaylar ile zemine tespit edilmiş beton kaidenin üstüne sabitlenerek uygulanmış titreşim yalıtımı ve asılı kanallar, cihazlar, vb. tespitinde kullanılan yay izolatörler Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

Yapılarda makine ve teçhizatın sebep olacağı titreşimler için “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde [31] izin verilen sınır değerler Tablo 3.4 de belirtilmiştir. Aynı değerler karayolu ve demiryolu trafiğinden oluşan titreşimler için de geçerlidir.

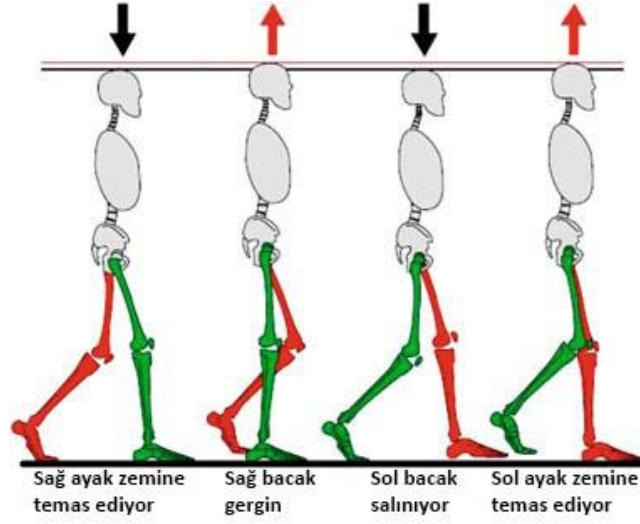
Tablo 3.4 İnşaatlarda kazık çakma ve benzeri titreşim yaratan operasyonların ve inşaat makinelerinin en yakın çok hassas kullanım alanının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

	Titreşim Frekansı (hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri – mm/s)
Konutlarda	1*	1.5
	8 - 100	0.3
Ofislerde	1**	3.5
<p>* 1Hz-8 Hz arasında, 1.5 mm/s'den 0.3 mm/s'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır. ** 1Hz-8 Hz arasında, 3.5 mm/s'den 0.6 mm/s'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak azalmaktadır.</p>		

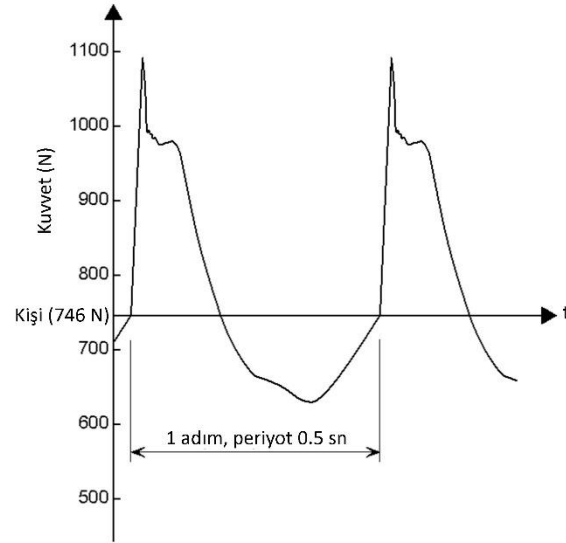
3.2.2 İnsan Hareketleri

Yürüyüş esnasında oluşan sürekli ve düşük frekanslı titreşimler, yapıların kullanım süresince maruz kaldığı titreşimlerin başında gelmektedir. İnsan sirkülasyonunun fazla olduğu, aktif faaliyetler bulunan alanlarda etkisi daha fazla hissedilir ve rahatsızlık hissi belirgindir.

Titreşimler, vücut ağırlığının bacak ve ayak hareketleri fazlarında zemine aktarılması sonucu oluşur. Bir adım periyoduna bakarsak (Şekil 3.9), hareket esnasında sağ ayak topuğu zemine temas ettiğinde kuvvet uygulanmaya başlar ve sağ bacak gerildiğinde vücut ağırlığının tamamı zemine iletilir. Sağ ayak kalkarken sol bacak öne doğru salınır sonrasında sağ bacak salınırken sol ayak zemine temas eder [8]. Bu hareketler esnasında 76 kg bir kişinin zemine uyguladığı kuvvetin değişimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Adım hareketi [8]



Şekil 3.10 Adım atma sırasında kuvvetin değişimi [35]

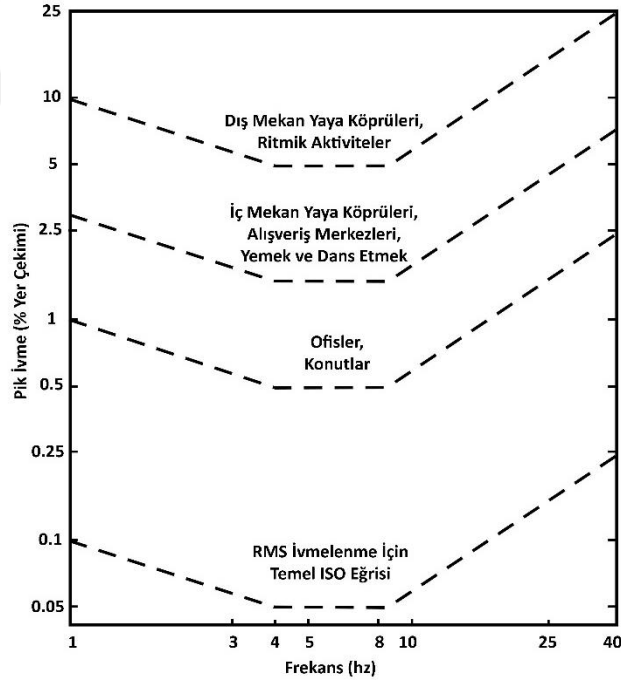
Titreşim değerleri kullanıcının yürüyüş hızına bağlı olarak da değişim göstermektedir. (Tablo 3.5) Yürüme için tipik adım sayısı saniyede 1.6 ila 2.4 adım, yani 1.6-2.4 Hz (yavaş yürümek) iken, koşu hızı yaklaşık 2.5 hz ve koşu yaklaşık 3 hz'e kadardır [8]. Normal bir kişi yürürken dakikada ortalama 100 adım atarken kişinin ruh hali ve bulunduğu mekâna göre 140 adıma kadar atabilir. İnsanlar genellikle küçük mekanlara kıyasla düz, uzun ve açık koridorlarda daha hızlı hareket ederler [36]. Hastanelerde insanların genelde endişeli ve koridorların uzun olması neden hızlı hareket ettiklerini göstermektedir.

Tablo 3.5 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

Yapıların karma işlevli olarak tasarlanması konut, ofis yapılarında spor salonu, dans stüdyosu gibi bölümlerin de olmasına imkân vermektedir. Koşmak, ağırlık kaldırmak, dans etmek gibi dinamik faaliyetler diğer kullanıcıların rahatlığını, çalışma esnasındaki konsantrasyonunu, vb. etkileyecek titreşimler oluşturmaktadır.

İnsanların titreşime olan tepkileri yaptıkları işe çok bağlıdır (Şekil 3.11). Ofisteki veya konuttaki insanlar "belirgin biçimde algılanabilir" titreşimleri (yerçekimi ivmesinin yaklaşık % 0,5'inde pik ivme) sevmezken, bir etkinliğe katılanlar yaklaşık 10 kat daha fazla titreşimi (% 5 g veya daha fazla) kabul edecektir [9].



(Yer çekimi = $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$)

Şekil 3.11 İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimler de insan konforu için önerilen ivme (ISO 2631-2: 1989).

TİTREŞİMİN YAPILAR VE KULLANICILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Titreşim kaynaklarının frekansına ve kuvvetine bağlı olarak titreşimler zemin aracılığıyla yapılara ulaşır. Dış kaynaklı titreşimler ilk olarak temele, temelden taşıyıcı sistem vasıtasıyla yapı elemanlarına iletilir. İç Kaynaklı titreşimlerde ilk olarak döşemeye (yükseltilmiş döşeme, vb. durumunda önce zeminden döşemeye), sonrasında tüm yapıya iletilir. Yapıya etkileyen tüm titreşimler kullanıcılara da ulaşacak ve titreşim değerlerine göre çeşitli etkileri olacaktır.

4.1 Yapı Üzerindeki Etkileri

Günümüzdeki teknolojiyle yapılmış yapılar titreşime karşı daha az duyarlıdır. Meydana gelen titreşimler nadiren yapılarda hasar oluşturabilecek değerlere ulaşırlar fakat sürekli bir hal aldığı anda gerilme kuvvetleri oluşarak yapı bileşenlerinde yıpranma (yorulma) meydana gelir. Betonarme yapım sistemi yerine hafif yapı sistemlerinin kullanımında düşük sönüm oranları sebebiyle yıkıcı olmasa da önemli sorunlar olabilmektedir. Tarihi yapı, müze ve laboratuvar gibi özel nitelikli alanlarda kritik titreşim değerlerinden dolayı yapı işlevi zarar görebilir.

4.1.1 Hasar Oluşumu

Temel, duvar, tavan, kolon ve döşeme gibi yapı bileşenlerindeki çatlak ve kırılmalar geçici titreşim (ani şok) ya da sürekli titreşimin etkisi olan yorulmayla meydana gelebilir. Yapı bileşenlerinin farklı doğal frekansları titreşim frekansı ile çakıştığı zaman rezonans etkisiyle titreşim düzeyi 0.5 ile 2 katı bazen (25 Hz-30Hz) 5 katı kadar artabilir.

Yapı bileşenlerinin doğal frekansları aşağıdaki gibidir [37]:

Kirişler: 5 – 50 hz

Döşemeler ve plaklar: 10 – 30 hz

Pencereler: 10 – 100 hz

Sıvalı tavanlar: 10 – 20 hz

Hasarlar BS 7385’de [38] kozmetik hasar (ince çatlak) (Tablo 4.1), küçük hasar (geniş çatlak), büyük hasar (yapı elamanlarının zarar görmesi) olarak sınıflandırılmıştır [39].

Tablo 4.1 Binalarda Kozmetik Hasar Oluşabilecek Titreşim Seviyeleri (BS 7385-2)

Yapı Tipi	Esas Darbenin Frekans Aralığında Tepe Bileşen Parçacık Hız (PPV)	
	4 hz - 15 hz	15 hz ve üzeri
Takviyeli veya çerçevesiz yapılar Endüstriyel ve ağır ticari yapılar	50 mm/s, 4 hz ve üzerinde	
Güçlendirilmemiş veya hafif çerçevesiz yapılar Konut veya hafif ticari amaçlı binalar	15 mm/s, 4 hz'den 20 mm/s, 15 hz'e	20 mm/s, 15 hz'den 50 mm/s, 40 hz ve üzerine

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

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

Büyük hasarlar: Kolon ve kirişlerde çok geniş (25 mm) çatlakların oluşması, bağlantıların gevşemesi, yapı elemanlarının bozulması durumudur.

Her hasarın sebebi titreşim olmayabilir, önemli durumlarda uzun süreli takip ve titreşim ölçümleriyle analiz edilmelidir. Titreşim sebepli hasarlar her zaman geçici titreşim (ani şok) ile oluşmaz, düşük genlikli sürekli titreşimler sonucunda yapıda meydana gelen yorulma yapının tüm bileşenlerinde yıpranmaya neden olur. Geçici titreşim ve sürekli titreşim ayrı olarak DIN 4150-3’de [40] ele alınmıştır (Tablo 4.2). Tanımlarda ifade edilen unsurları örneklendirmek gerekirse; kapı ve pencerelerde gevşeme ve ses oluşumu, parke gibi parçalı zeminlerde açılmalar, levha duvarlardaki derzlerin çatlaması olarak karşımıza çıkar.

Tablo 4.2 Titreşimlerin yapılar üzerindeki hasar etkileri (DIN 4150-3)

Yapı Tipi	Yapısal Hasar İçin Titreşim Eşikleri, PPV (mm/s)				
	Geçici Titreşim			Sürekli Titreşim	
	Zeminde			En Üstteki Kat	En Alttaki Kat
	0 – 10 Hz	10 – 50 Hz	50 – 100 Hz	Bütün Frekanslar	Bütün Frekanslar
Ticari / Sanayi	20	20 – 40	40 -50	10	20
Konut	5	5 – 15	15 – 20	15	5
Hassas / Tarihi	3	3 – 8	8 – 10	8	2.5

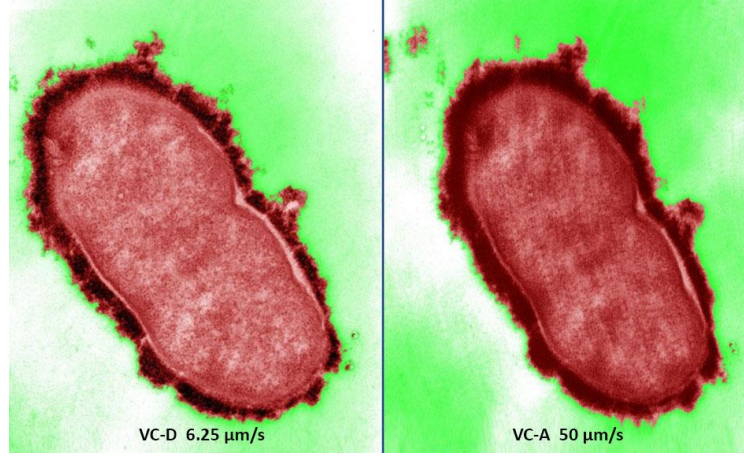
Not: Hız aralıkları, sınır frekans aralığında doğrusal olarak artar.

4.1.2 İşlev

Konut ve ofis haricinde her yapının kullanım amacı farklılık göstermekte, titreşim değerleri yapının işlevine göre önem arz etmektedir. Titreşimler, hasar oluşması dışında yapı içindeki faaliyetleri etkileyebilir, titreşim süresince işin durmasına veya hatalı sonuçlar alınmasına sebep olabilir. Tarihi yapı, müze gibi önemli yapılar ve içlerindeki eşyalar kritik titreşim değerlerinde zarar görebilir.

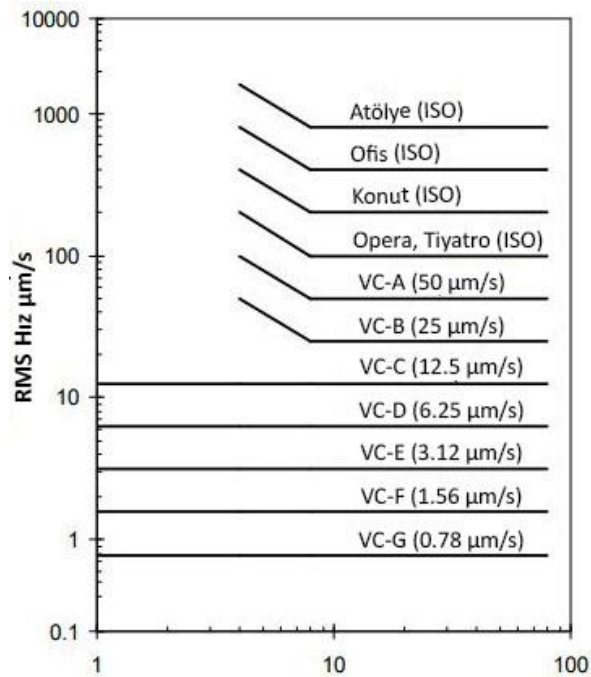
4.1.2.1 Hassasiyet Gerektiren Çalışma Alanları

Nano teknolojiler, elektron mikroskoplar, görüntüleme ve ölçüm cihazları vb. ekipmanlar insan algılamasının altında olan bir titreşim seviyesine duyarlı olabilir. İstenmeyen titreşim seviyelerinde; görüntüleme kalitesinin düşmesi, cihaz kalibrasyonunun bozulması, performans düşmesi, yanlış ölçüm sonuçları, parçalar arasında etkileşimler yaşanabilecek olumsuz durumlardır. Elektron mikroskopu ile yaklaşık 65000 kat büyütülmüş bir E. coli bakterisinin görüntüsü üzerindeki temel ortam titreşim koşullarının etkisi Şekil 4.1’de görülmektedir [41]. 6,25 $\mu\text{m/s}$ hızda titreşime maruz kalan mikroskopta elde edilen görüntü, 50 $\mu\text{m/s}$ hızda titreşime maruz kalan mikroskopta elde edilen görüntüden daha nettir.



Şekil 4.1 İki titreşim seviyesinde E. Coli bakterisinin mikroskop görüntüsü

Bu tip işlevleri olan yapılar titreşim kaynaklarından uzakta yer almalıdırlar fakat çoğu zaman yapının yerini seçmek mümkün olmamaktadır. Sorunların olduğu durumlarda yalıtım pedleri tercih edilmektedir. Fakat pahalı olması, çok sayıda kullanılması, titreşim etkisini tamamen yok edememesi yüksek frekanslarda daha iyi çalışması, gibi dezavantajları vardır. En gelişmiş titreşim yalıtım sistemleri bile birkaç Hertz'in altında pek iyi çalışmazlar. Bu önemlidir çünkü birçok yaygın görüntüleme aleti (elektron mikroskopu, vb.) yüksek frekanslara göre düşük frekanslarda mikro titreşimler için daha hassastır [42]. Kullanılacak mekânın işlevi ve ekipman hassasiyetine göre sağlanması gereken titreşim düzeyleri Tablo 4.3 ve Şekil 4.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.2 Hassas işlevli mekanlar için titreşim kriteri eğrisi

Tablo 4.3 Hassas işlevli mekanların tanımı

TİTREŞİM ÖLÇÜT EĞRİSİ	Maksimum Hız Düzeyi $\mu\text{m/s}$	Kullanım Alanı
Atölye (ISO)	800	Titreşim belirgin derecede algılanabilir. Atölyelere ve hassas olmayan alanlara uygundur.
Ofis (ISO)	400	Titreşim rahat algılanabilir. Ofislere ve hassas olmayan alanlara uygundur.
Konut (ISO)	200	Titreşim hafif derecede algılanabilir. Uyku alanları ve 20X mikroskoplar için uygundur.
Opera, Tiyatro (ISO)	100	Titreşim algılanamaz. Düşük hassasiyetteki ekipman ve 100X mikroskoplar için uygundur.
VC –A	50	Optik mikroskopların çoğu 400X, mikro denge ve optik dengeler için yeterlidir.
VC –B	25	Mikro cerrahi, göz ameliyatı, beyin cerrahisi, sinir cerrahisi ameliyatları gibi $3\mu\text{m}$ detay hassasiyetine uygundur.
VC –C	12.5	MRI'lar, NMR'ler, standart optik mikroskoplar ile 1000X büyütme ve orta hassasiyetteki elektron mikroskopları için $1\mu\text{m}$ detay boyutuna uygundur.
VC –D	6.25	30.000X'den fazla büyütme ve $0.3\mu\text{m}$ detaylara kadar olan elektron mikroskopları ile E-ışın sistemleri gibi zorlayıcı ekipmanlar için uygundur.
VC –E	3.12	Lazer tabanlı sistemler, küçük hedef sistemleri, nanometre ölçeğinde çalışan sistemler ve olağanüstü dinamik denge gerektiren diğer sistemler gibi en çok tercih edilen hassas sistemler için uygundur. Değerlerin sağlanması zordur.
VC –F	1.56	Son derece sessiz araştırma alanlarına uygundur. Değerlerin sağlanması genellikle zordur. Tasarım kriteri olarak değil değerlendirme için önerilir.
VC –G	0.78	Son derece sessiz araştırma alanlarına uygundur. Değerlerin sağlanması genellikle zordur. Tasarım kriteri olarak değil değerlendirme için önerilir.

Bu çok hassas titreşim değerlerinin sağlanmasının ancak tasarım aşamasında incelenip, tüm analizlerin önceden yapılması ve doğru teknik detayların uygulanmasıyla mümkündür. Aksi takdirde MIT'de görüldüğü gibi "Araçlardan gelen titreşim laboratuvarındaki çalışmayı aksatıyor" şeklinde uyarılar gerekli olabilir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 MIT’de 66.binanın güney ucundaki uyarı levhası [43]

4.1.2.2 Özel Nitelikli Yapılar

Titreşimler neticesinde yapının, yapı bileşenlerinin ve müze gibi yapılardaki tarihi eserlerin zarar görmesi bir yapı hasarından ziyade tarihsel ve kültürel değerlerin kaybına sebebiyet verecektir. Bu yapıların ve içindekilerin korunması ayrı bir önem arz etmektedir.

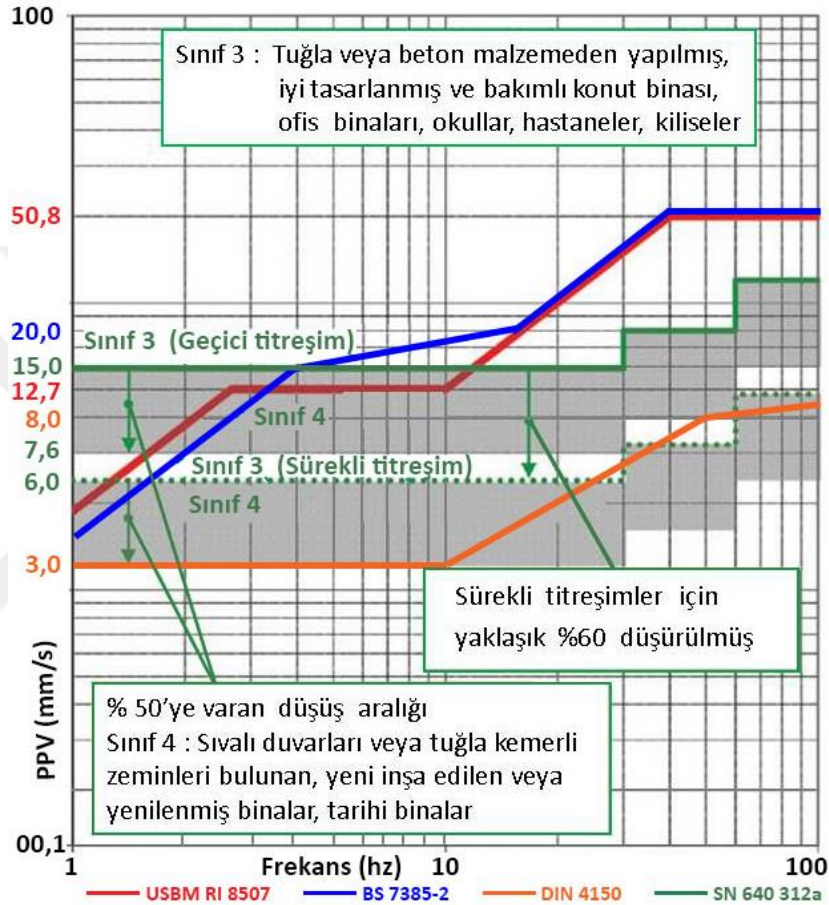
Bu yapıların modern betonarme veya hafif yapı sistemleriyle değil, çoğunlukla ahşap ve taş malzemelerden karkas ve yığma yapım sistemiyle yapılmış olması mevcut standart ve yönetmelikler dahilinde değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Titreşim esnasında yapılar, farklı kütleleri, dayanıklılıkları ve malzeme çeşitlilikleri sebebiyle farklı tepkiler verecektir.

Tarihi binaları korumak için yaygın kabul gören bir titreşim sınırları standardı yoktur. Tarihi yapılardaki sanat eserlerini ve diğer kırılğan nesnelere korumak için gerekli titreşim sınırları da genellikle literatürde ele alınmamıştır [10].

Bu konuda Almanya, Amerika, İngiltere ve İsviçre gibi bazı ülkeler bilimsel temelleri tam oluşturulmamış, farklı parametreleri olan DIN 4150, USBM RI 8507 [44], BS 7385, SN 640 [45] standart çalışmaları yapmışlardır. Çalışmaların genelinde standart yapıların hasar kriterleri baz alınmış, aşağıdaki parametrelere göre değerler düşürülerek yapılandırılmıştır:

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

Mevcut standartlar arasında önemli parametreleri en açık yansıtan İsviçre Standardı SN 640 312a 'dır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 SN 640 312a ve diğer standartların karşılaştırılması

Yakın tarihli bir değerlendirmede, resmi kayıt altındaki tarihi yapılardan birkaçının hassasiyeti tipik binalara göre daha düşüktür. Bu tarihi yapıların alışılmadık derecede iyi bir yapıda oldukları ve titreşim olaylarında sınır değerlerin üstündeki titreşimlere dayanmış oldukları görüldü. Bütün yapılar kendi fiziksel koşullarına göre değerlendirilmelidir [46].

Her ne kadar bu yapılar için titreşim düzeyleri daha düşük tutuluyorsa da dayanım ve hassasiyet bakımından modern yapılardan daha iyi durumda olabiliyorlar. Tarihi yapıların ve sanat eserlerinin titreşimlere verdiği tepkiler ve hassasiyetleri

çeşitliliklerinden dolayı son derece değişkendir. Bunların korunması için her yapının tekil olarak ele alınıp; tarihsel ve kültürel değeri, onarım durumu, yapının boyutları, malzemeleri, plan kurgusu, mevcut zayıflıkları, vb. unsurların hepsi analiz edilip, değerlendirilmelidir. Bunların sonucunda yapının hassasiyetine ve önemine göre değerlendirilip, mevcuttaki standart ve yönetmelikler üzerinden kritik titreşim düzeyleri belirlenebilir.

4.2 Kullanıcılar Üzerindeki Etkileri

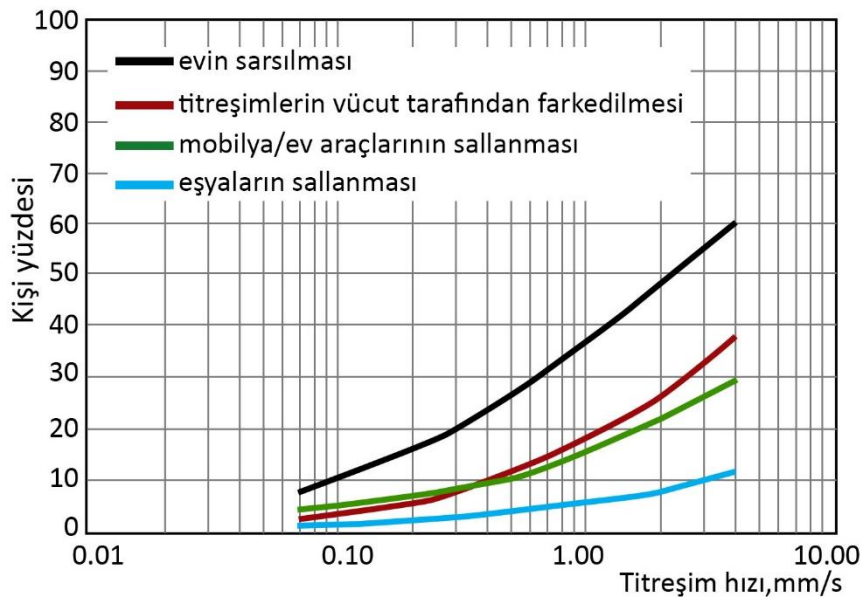
Titreşimler, yaşamın her anında karşılaştığımız artık kaçınılması mümkün olmayan insanlar üzerinde de önemli etkileri olan olaylardır. İnsan algısı ve duyarlılığı ne kadar yüksek olsa da titreşime karşı yapılardan daha az duyarlıdır. İnsanların titreşimi algılamaları ve tepkileri buldukları alana, yaptıkları işe göre farklılaşır. Yapılara etkiyen titreşimler neticesinde kullanıcılar tüm vücuduyla titreşime dolaylı olarak maruz kalırlar. Diğer bir durum ise özellikle sanayi ve atölyelerde çalışan kişilerin, mekanik ekipman kullanmaları sebebiyle el, ayak gibi vücut organlarıyla titreşime direk maruz kalmasıdır. İnsan vücudu, birkaç serbestlik derecesine sahip karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Titreşim uyarısına maruz bırakıldığında direk tepkiler vermez. Bu nedenle, titreşimin insanlar üzerindeki etkilerini araştırırken yalnızca sistem tepkisini değil aynı zamanda titreşimin sebep olduğu patolojik, fizyolojik ve psikolojik etkileri de göz önüne almak önemlidir [3].

Tablo 4.4 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

İnsan tek bir kütle olarak kabul edilemez çünkü vücuttaki her organın farklı doğal frekansları vardır (Tablo 4.4). Dolayısıyla titreşim her organ tarafından farklı algılanacak, o organ sebebiyle oluşabilecek sağlık problemleri ve rahatsızlık seviyesi değişiklik gösterecektir. 60 Hz üzerinde göz küresi rezonansı olabildiğinden odaklanma bozukluğu ortaya çıkabilir.

Şekil 4.5’de titreşim hızı arttıkça yapı, kullanıcı ve eşyaların etkilenmesi de artıyor. Vücudun algılamadığı titreşimler, evin sarsılmasında fark edilirken, vücudun algıladığı bazı titreşimler eşyaların sallanmasına ve araçların takırdamasına sebep olmamaktadır.



Şekil 4.5 Konutlarda titreşimin hızla bağlı olarak algılanması

Değerlendirme yaparken farklı seviyedeki titreşim değerleri, maruz kalma şekilleri gibi titreşimi algılamayı etkileyen birçok faktörün tamamını kriter olarak almak imkansızdır. Deneyler ve analizler sonucunda ortalama değerler alınarak birçok standart oluşturulmuş ve bu konu Türkiye’de ISO 2631-1 standardında tanımlanmıştır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 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

4.2.1 Hastalık

Titreşimin insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Yapıya etkiyen titreşimler sebebiyle kalıcı sağlık problemlerine rastlanmasa da düşük frekanslı titreşimler neticesinde geçici sağlık etkileri, performans düşüşleri ve her titreşim seviyesinde rahatsızlıklar, konfor kayıpları görülebilir.

Düşük frekanslı, yüksek genlikli bir geçici titreşim iç organların ve kasların zedelenmesine, ağrı oluşmasına neden olabilir. Yüksek frekanslı, düşük genlikli bir sürekli titreşim konsantrasyon bozukluğuna neden olabilir.

Rüzgâr etkisiyle oluşan düşük frekanslı (2 Hz altı) düşük genlikli titreşimlerin, özellikle yüksek yapılarda “hareket hastalığı”na sebep olduğu görülmektedir. Bu hastalığın tipik belirtileri baş ağrısı, mide bulantısı, kusma olup nadiren yorgunluk ve el-göz koordinasyonundaki düşüşlerdir [7]. Bu hastalıkla ilgili titreşim değerlerini hesapları ISO 2631-1 standardında belirtilmiştir.

Mekanik ekipman kullanımında el, ayak, vb. vücut organlarının direk titreşime maruz kalmasıyla; kas, iskelet zedelenmesi, kalp atışı, solunum, nörolojik bozukluklar gibi önemli ve kalıcı birçok sağlık problemiyle karşılaşılabilir, bu alan iş sağlığı ve güvenliği kapsamındadır.

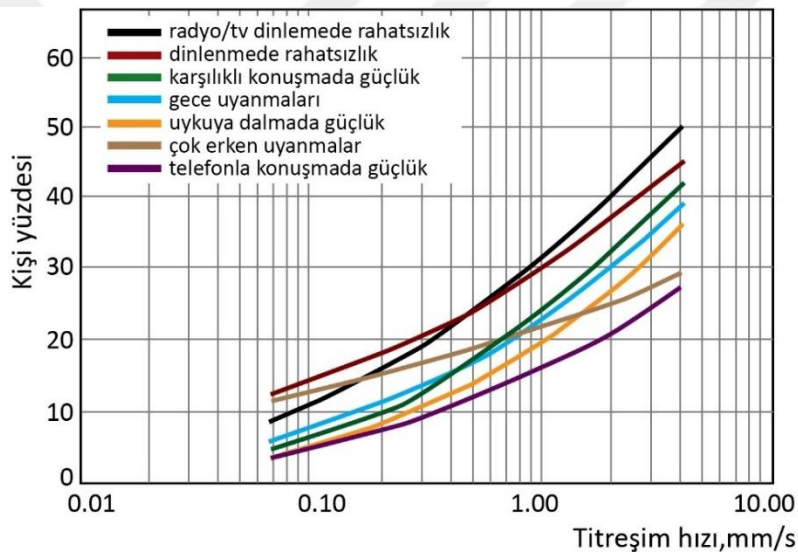
4.2.2 Konfor

Günümüzde yaşam kalitesinin önemli bir hal almasıyla insanların, yaşadıkları mekânın, kullandıkları eşyaların işlevleri dışında rahatlık ve konfor sağlanmasını önemsemesine neden olmuştur. Kullanıcılar, meydana gelen titreşimler sonucunda yapının zarar görmemesini, faaliyetlerini etkilememesini ve rahatlıklarının devam etmesini beklemektedir.

TDK sözlük anlamına baktığımızda konfor, “günlük hayatı kolaylaştıran maddi rahatlık” olarak ifade edilmiş ve farklı dillerin sözlüğünde de “rahatsızlığın olmaması” anlamında tanımlanmıştır. İnsanlar, hastalık ve ağrı gibi durumlarda sinir sistemi sayesinde rahatsızlığı algılayabilmektedir fakat konforunu algılayabilecek bir yapıya sahip değildirler. Konfor, kişiden kişiye farklılık gösterecek bir kavram olup, bazı kişisel

parametrelerin etkisindedir. Bunların arasında cinsiyet, yaş, vücut kitle endeksi, sıcaklık, işitme, görme, duruş pozisyonu, kaygı, vb. etkilerden bahsedilebilir [47].

Titreşim esnasında insanın bulunduğu mekân ve yaptığı eylem titreşimi algılaması açısından önemlidir. Bir evdeki titreşimin, uyku esnasında ve televizyon izlerken vereceği rahatsızlık değerleri farklıdır (Şekil 4.6). Ya da yapının betonarme yerine çelik gibi hafif yapı sistemleriyle yapılması, düşük sönümlenme özelliğiyle titreşimin daha kolay algılanmasına sebep olur. Konforun sağlanması için titreşimin oluşma zamanı, sürekliliği, frekansı, yönü gibi faktörlere dikkat edilmesi gereklidir [11]. Dolayısıyla konforun sağlanması kişisel, çevresel faktörlerle ve titreşim parametrelerinin birlikte yorumlanması sonucu mümkündür.



Şekil 4.6 Konutlarda farklı eylemlerin etkilenmesi ile titreşim hızı ilişkisi

Artan titreşim hızında radyo ve televizyon, dinlerken göz - kulak konsantrasyonu gerekmesi sebebiyle en sık karşılaşılan rahatsızlıktır. Sonrasında dinlenme ve karşılıklı konuşmada zorluk çekilmesine sebep olmaktadır. Telefonla konuşmada güçlük ve çok erken uyanma ise diğerlerine göre en az rastlanan durumlardır.

Titreşimin insan vücuduna etkisi ve konfor hakkında birçok çalışma ve yayın yapılmasına rağmen hiçbiri parametrelerin etkisini tek tek incelememiştir. Oluşturulan standartlarda birbirinden farklı değerlendirme ve hesaplama yöntemleri kullanmış olmasına rağmen benzerlikler mevcuttur fakat hiçbiri aynı değildir. Türkiye’de, insan konforunun sağlanması ve korunması için gerekli değerler ve hesaplama yöntemleri ISO 2631-1 [48] ve ISO 2631-2 [49] standartlarında tanımlanmıştır.

ÖLÇÜM ve DEĞERLENDİRME

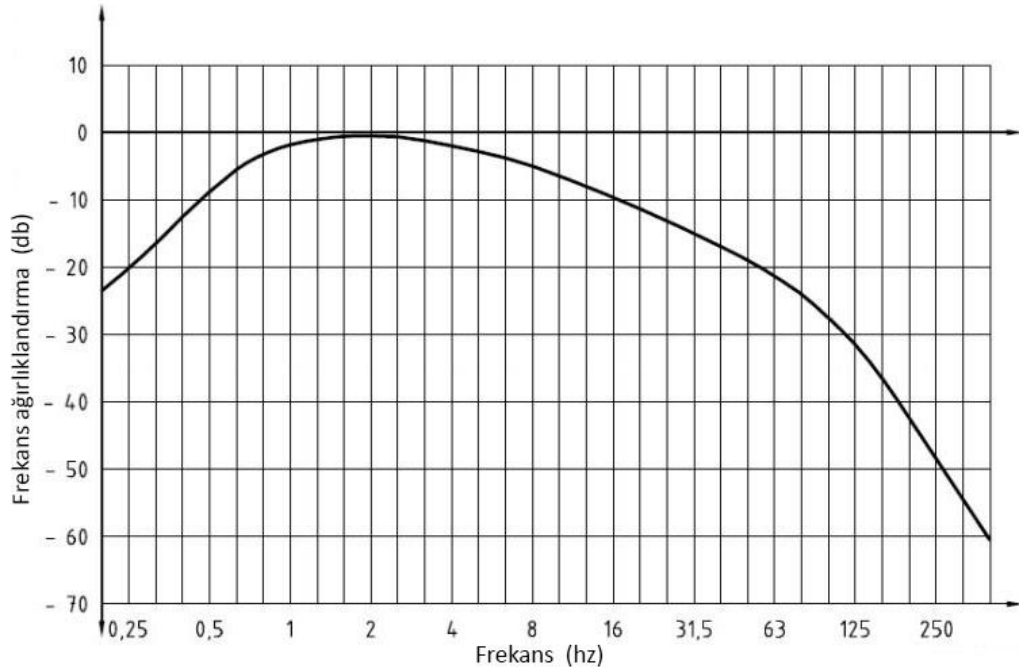
Yapılara etkiyen titreşimin kaynakları sunulduktan sonra yapı ve kullanıcılar üzerindeki etkileri de ifade edildi. Kullanıcılar üzerindeki konfor etkisinin incelenmesi amacıyla belirlenen çeşitli yapılarda ölçümler yapılarak standart dahilinde analiz edildi. Dünyada titreşimin yapılardaki etkisi üzerine kullanılan birçok standart, içerikleri ve referans değerleri açısından incelenmiştir. Her birinin farklı yöntem ve sonuçlarının olması algıların ve kabul edilebilir seviyelerin ülkeler arasında değişebildiğini göstermektedir. Konforun rahatlık/rahatsızlık bakımından öznellik taşıması bunun temel sebebidir. Dolayısıyla konforlu/konforsuz sonucundan öte, bir standardın tanımladığı ölçüm yöntem ve göstergeleri doğrultusunda yapıların ve titreşim kaynaklarının etkisinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Uluslararası bir standart olan TSE onaylı ISO 2631-2 ve DIN 4150-2 standartları dahilinde bu değerlendirmelerin yapılması uygun görülmüştür.

5.1 Hesaplama Yöntemleri

İvme ve hızı ölçen cihazların aldığı sinyallerin, kullanım amacına uygun sayısal göstergeler üretmek için işlenmeleri gerekir. Öncelikle ham sinyallere frekans ağırlıklandırma yapıp ardından değer göstergesine göre hesaplanarak referans değerler elde edilir. Uygulamaya bağlı olarak, frekans analizi de yapılabilir.

5.1.1 Frekans Ağırlıklandırma

İnsanların bazı frekanstaki titreşim sinyallerine karşı daha hassas olması sebebiyle titreşime karşı tepkisi frekanslara göre farklılık göstermektedir. Titreşim sinyalleri frekans ağırlıklandırma ile filtrelenebilir ve sinyal değerleri ayarlanır. Örneğin, vücut 5 Hz'e göre 50 Hz'de titreşime karşı daha hassastır. Bu sebeple 50 Hz'deki titreşim sinyallerinin toplam sinyale katkısı azaltılacak şekilde ağırlıklandırılır (zayıflatılır). Frekans ağırlıklandırma vücudun hassas olduğu frekansları etkilememek ve vücut tepkisinin daha az duyarlı olduğu frekanslarda zayıflatmak için tasarlanmıştır [22]. Prensipte olarak ağırlıklandırma herhangi bir frekansta sinyalin etkisini yükseltmez, dolayısıyla frekans-ağırlıklı sinyalin büyüklüğü, ağırlıksız sinyalin büyüklüğünden daha fazla olamaz. Standartlarda çeşitli frekans ağırlıklandırmaları olmasına rağmen konfor esaslı titreşim ölçümlerinde kullandığımız ISO 2631-2'deki W_m en yaygın kullanılan eğridir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 ISO 2631-2 W_m frekans ağırlıklandırma eğrisi

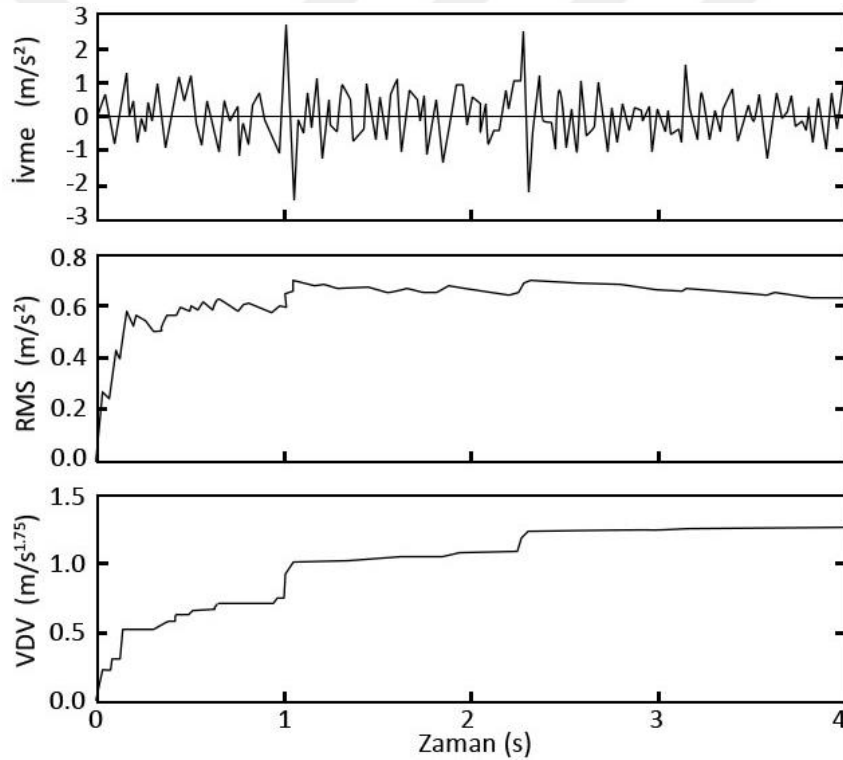
5.1.2 RMS – Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square)

RMS birçok standartta temel değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmiştir. Titreşim sabit bir noktada salınan bir hareket olarak tanımlandığında, salınımın bir merkez noktası olması sebebiyle tüm pozitif değerler tüm negatif değerleri yok edecek ve titreşim sinyallerinin ortalama değeri teoride her zaman sıfır olacaktır. İvmenin ortalaması

sinyalin büyüklüğünü göstermeyecektir. RMS, her sinyal değerinin karesini, sonrasında bunların ortalamasını ve son değer karekökünü alarak sorunu çözer. ISO 2631-1 standardında matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$a_{w\ rms} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (5.1)$$

RMS'in baz ivme değerleri ve VDV göstergesiyle karşılaştırılması Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Şoklar içeren bir titreşim ölçümünde, RMS değerinin ilk çeyrek saniye boyunca artışı görülmektedir. Süre arttıkça ortalama değerden dolayı 0,6 m/s² seviyelerine ulaşır. 1,0 ve 2,2 saniyedeki şoklarla birlikte RMS değerinde de kısmi artışlar olur fakat sonrasında düzene kavuşur.



Şekil 5.2 İvme, RMS ve VDV'nin bir ölçüm üzerinden karşılaştırması [22]

Uzun süreli ölçümlerde RMS şoklara duyarsızlaşır ve şokların etkisi ölçümlerinde fark edilmeyebilir. Normalde krest faktörü ≤ 9 olduğu durumlarda temel değerlendirme yöntemi RMS yeterlidir. Şoklar, geçici titreşimler veya yüksek krest faktörleri içeren bazı titreşimlerde krest faktörü < 9 olduğu halde titreşimin büyüklüğü rahatsızlığa göre az gelebilir. Şüpheli durumda ve özellikle konfor, sağlık değerlendirmeleri için aşağıdaki yaklaşık oranlar aşıldığında ek değerlendirme yöntemlerinin kullanılması önemlidir:

$$\frac{VDV}{a_w T^{1/4}} = 1,75 \quad (5.2)$$

$$\frac{MTVV}{a_w} = 1,50 \quad (5.3)$$

Ek değerlendirme yöntemlerinden birinin kullanılması durumunda hem temel değerlendirme değeri hem de ek değerlendirme değeri raporlanmalıdır.

Krest Faktörü: Frekans ağırlıklı ivme sinyalinin maksimum anlık tepe değerinin RMS değerine oranıdır [48].

5.1.3 VDV – Titreşim Doz Değeri (Vibration Dose Value)

Ek değerlendirme yöntemlerinden biri olan titreşim doz değeri, sadece vücut titreşim ölçümleri için uygulanan bir yöntemdir. Konfor, sağlık değerlendirmeleri için günlük veya uzun süreli ölçümlerde tavsiye edilir. Bazı saha ve laboratuvar çalışmalarında, titreşim büyüklüğü ve rahatsızlık arasında frekans ağırlıklı ivmenin dördüncü gücüne dayanan doz ölçümlerinin kullanılmasının, ikinci güç ölçümlerinden (RMS) daha tutarlı sonuç verdiği veya daha aşağı olmadığını tespiti üzerine geliştirilmiştir.

İvmenin dördüncü kuvveti olması sebebiyle şokları RMS'den daha fazla vurguluyor. Sürekli titreşime maruz kalma, VDV'nin sürekli artmasına neden olurken RMS sabit kalacaktır (Şekil 5.3). RMS ve VDV arasındaki bir diğer fark, VDV'nin daima yükselmesi ve zayıf titreşim büyüklükleri sırasında düşmeyişidir. Şokların meydana geldiği anda VDV de artış gösterir ama RMS gibi bozulmazlar. VDV'nin genel birimi $m/s^{1.75}$ dir. ISO 2631-1 standardında matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt} \quad (5.4)$$

VDV ve RMS denklemlerinin yapısı, üslerin gücü ve RMS için ölçüm süresinin bir bölüm şeklinde dahil edilmesi haricinde benzerdir. Bu benzerliklerden dolayı, VDV'yi RMS'den hesaplamak şu şekilde mümkündür:

$$eVDV = 1.4 a_{w rms} T^{1/4} \quad (5.5)$$

eVDV tahmini VDV'dir ve yalnızca düşük tepe faktörlü (<6) sinyaller için geçerlidir [48].

5.1.4 MTVV – Titreşim Maksimum Transfer Değeri (Max. Transient Vibration Value)

MTVV, konfor standartlarının birçoğunun kullandığı ek değerlendirme yöntemidir. Konfor, sağlık değerlendirmelerinde şokların ve geçici titreşimlerin etkilerini belirgin olarak içerir. Maksimum geçici titreşim değeri (MTVV), $a_w(t_0)$ süresi içindeki maksimum titreşim büyüklüğü olarak tanımlanır. Çalışan RMS değerlendirme yöntemi $a_w(t_0)$, şokları ve geçici titreşimleri kısa bir entegrasyon süresi sabiti kullanarak dikkate alır. ISO 2631-1 standardında matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$MTVV = \max [a_w(t_0)] = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt} \quad (5.6)$$

Yani ölçüm süresince okunan en büyük $a_w(t_0)$ değeridir. MTVV'yi ölçmek için $\tau = 1$ s zaman sabiti kullanılması önerilir [48].

5.2 Konfor Konulu Standartlar

ISO 2631-2 standardı haricinde DIN 4150-2 [50], BS 6472-1 [51], UNI 9614 [52], ÖNORM S 9012 [53], SS 460 48 61 [54], NS 8176 [55], Real Decreto 1367 [56], FRA [57] ve FTA [58] standartları yapılarıdaki titreşimde konfor etkisini ele alan standartlardır. Standartlar, titreşim olaylarını birçok etken dahilinde incelemektedir:

- Ölçüm yapılan mekânın kullanım amacı,
- Titreşimin oluşum zamanı,
- Titreşimin sürekliliği,
- Titreşimin yönü ve insan vücudunun konumu, vb.

Bu etkenlerin değerlendirilmesi sonrasında taban eğrileri, çarpan faktörleri gibi yöntem, formüller de uygulanarak çeşitli göstergeler kullanılır:

- İvme veya hız kareleri ortalamalarının karekökü (RMS),
- Titreşimin maksimum transfer değeri (MTVV),
- Titreşim doz değeri (VDV).

Konforun gündüz ve gece olarak ayrı sınıflandırmalarında; MTVV özellikle uyku rahatlığı, RMS genel rahatlık açısından kullanılabilir. Standartlar, yönetmelikler farklı ölçüm birimleri, parametreler ve değerlendirme yöntemleriyle oluşturulur. Dolayısıyla her standardın temeli, titreşim sinyallerini ele alışı farklılık göstermektedir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Konfor esaslı standartların karşılaştırılması [5]

	Kapsam	Frekans Aralığı	Frekans Ağırlığı	Zaman Sabiti	Ölçülen Miktar	Gösterge	Ölçüm Yeri
Uluslararası Standartlar ISO 2631-2:2013	Tüm vücut titreşimi: Binalarda sürekli ve şoka neden olan titreşim	1-80 Hz	W_m	Yavaş (1 s)	İvme	Ağırlıklı ortalama ivme değeri, RMS Maksimum transfer titreşim değeri, MTVV Titreşim doz değeri, VDV	En yüksek amplitüd yönünde
Almanya DIN 4150-2:1999	Titreşimlerin binalarda insanlara etkileri	1-80 Hz	W_m ile benzer (DIN 45669-1)	Hızlı (0.125 s)	Hız	Maksimum ağırlıklı titreşim mukavemeti $KBfT_m$	Üç yönde (x, y, z), en yüksek amplitüdün görülebildiği katta
İngiltere BS 6472-1:2008	İnsanların binalarda titreşime maruz kalması (patlatma haricindeki kaynaklar)	0.5-80 Hz	W_b (dikey hareket) veya W_d (yatay hareket)	Yavaş (1 s)	İvme	Titreşim doz değeri, VDV	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)
İtalya UNI 9614:1990	Titreşimler ve şoklar: Binalardaki konfor	1-80 Hz	W_m	Yavaş (1 s)	İvme	Maksimum ağırlıklı RMS ivme değeri	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)
Avusturya ÖNORM S 9012:2010	Binalar arası kara bazlı taşıma titreşimi (titreşim ve yapı kaynaklı gürültü)	1-80 Hz	W_m	Yavaş (1 s)	İvme	Maksimum ivme E_{max} Ortalama ivme E_r	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)
İsveç SS 460 48 61:1992	Titreşimler ve şoklar: Binalardaki konforun değerlendirilmesi	1-80 Hz	W_m	Yavaş (1 s)	Hız veya İvme	Maksimum ağırlıklı RMS değeri (ivme veya hız seviyesi)	Üç yönde (x, y, z) veya biliniyorsa maksimum genlik yönünde
Norveç NS 8176:2005	Kara yoluyla taşıma: Binaların konforu	0.5-160 Hz	W_m	Yavaş (1 s)	Hız veya İvme	Maksimum ağırlıklı RMS değeri (ivme veya hız seviyesi)	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)
İspanya Real Decreto 1367/2007	Gürültünün düzenlenmesi (imar, kalite ve emisyonlar)		W_m	Yavaş (1 s)	İvme	Maksimum ağırlıklı RMS ivme değeri	Üç yönde veya biliniyorsa maksimum genlik yönünde
ABD FRA (2005), FTA (2006)	Titreşim ve gürültü etkisinin değerlendirilmesi için kılavuz (transit ve hızlı ray projeleri)			Yavaş (1 s)	Hız	Maksimum RMS hız değeri	Genlik en yüksek yerlerde (genellikle aralığın ortasında)

Standartlar karşılaştırıldığında diğerlerinden farklı olarak DIN 4150-2’de çok yakın bir ağırlıklandırma eğrisi, BS 6472-1’de iki yönde ayrı uygulanan farklı frekans ağırlıklandırma eğrileri uygulanıyor. ISO 2631-2, BS 6472-1, UNI 9614, ÖNORM S 9012 ve Real Decreto 1367 standartları sadece ivme miktarlarını, DIN 4150-2 ve FRA FTA standartları sadece hız miktarlarını, SS 460 48 61 ve NS 8176 standartları da hız ve ivme miktarlarını ölçmektedir. Aynı frekans ağırlıklandırmasını ve ölçüm birimi kullansalar bile ham verilerin formülasyonu ve değerlendirmesi farklı olması göz önüne alındığında aynı ölçümle kıyaslanmaları her zaman mümkün değildir.

5.2.1 Uluslararası, ISO 2631-2

ISO 2631-2:1989 standardında bulunan frekansa ve mekâna bağlı hız ve ivme eğrileri, konforun sınırlı sayıda parametre dahilinde incelenmesinin yetersiz olduğu, daha fazla parametre ve verinin toplanarak işlenmesi gerektiği düşünülerek ISO 2631-2:2001’de kaldırılmıştır. Yine de bu eğriler İsveç ve ABD’deki standartlarda kullanılmaktadır. Yapılan ölçümlerde kullanılacak frekans ağırlıklandırma eğrileri ve hesaplama yöntemleri standartta belirtilip, verilerin toplanarak doğru ölçüm, karşılaştırma ve değerlendirmelerin yapılması amaçlanmaktadır. Titreşim büyüklükleri kabul edilebilir değerlerin üstüne çıktığında kullanıcıların olumsuz tepkiler verdiği birçok olayda tecrübe edilmiş ve titreşim algı eşiği değerleri de ISO 2631-1’de (Tablo 4.5) belirtilmiştir. Konfor odaklı ölçümlerde temel değerlendirme yöntemi olarak RMS yöntemini önermektedir.

5.2.2 Almanya, DIN 4150-2:1999

DIN 4150-2 standardında hız verilerine ilgili formüllerin uygulanmasıyla elde edilen ağırlıklı ortalama titreşim kuvveti olan KB_{FTm} göstergesi kullanılır. Değerlendirmelerde kullanılan KB_{FTm} hesaplama formülleri aşağıda gösterilmiştir:

$$KB_F(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t KB^2(t) \cdot \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau}\right) dt} \quad (5.7)$$

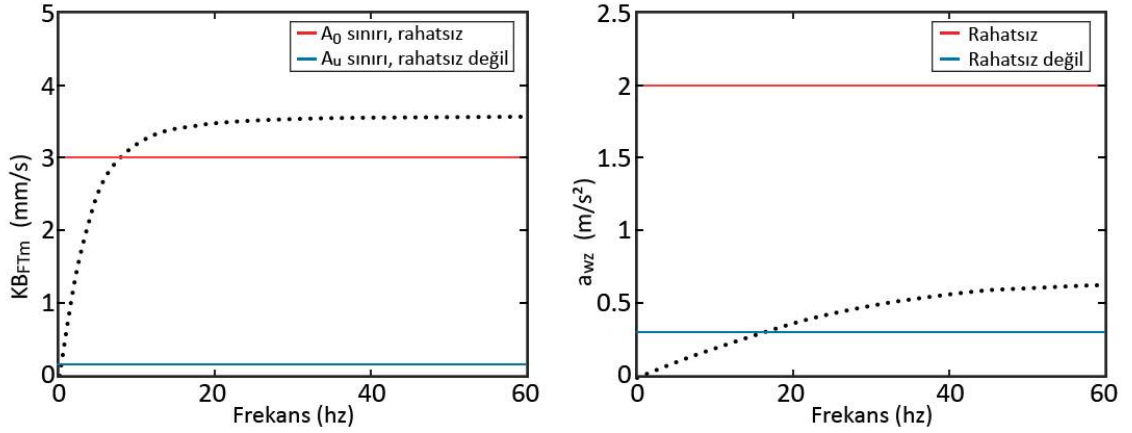
$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad (5.8)$$

Referans değerler A_u alt sınır değeri ve A_0 üst sınır değeri ifade eder. A_0 değerinin üstü konforsuz olarak tanımlanmaktadır. (Tablo 5.2)

Tablo 5.2 DIN 4150-2:1999 titreşimlerin değerlendirilmesi için referans değer (mm/s)

Yapı Tipi	Gündüz (06:00-22:00)		Gece (22:00-6:00)	
	A _u	A _o	A _u	A _o
Endüstriyel alan	0.4	6	0.3	0.6
Ticari alan	0.3	6	0.2	0.4
Ticari ve konut alanı	0.2	5	0.15	0.3
Konut alanı	0.15	3	0.1	0.2
Özel alanlar (ör. Hastaneler)	0.1	3	0.1	0.15

ISO 2631-2'den farklı olarak zaman ve mekâna göre değerler değişiklik göstermektedir. Bir titreşim ölçümünde DIN 4150-2 ve ISO 2631-2:1997 standartlarının karşılaştırılması Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Konutlarda farklı eylemlerin etkilenmesi ile titreşim hızı ilişkisi [19]

5.2.3 İngiltere, BS 6472-1:2008

BS 6472-1 standardı frekans ağırlıklandırmada diğerlerinden farklı olarak düşey yönde W_b ve yatay yönde W_d frekans ağırlıklandırma eğrilerini kullanır. İvmeyi ölçümünü de Titreşim doz değeri (VDV) yöntemiyle hesaplar. Konut yapılarındaki titreşim için referans değerler Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3 BS 6472-1:2008 titreşim doz değeri aralıkları (m/s^{1.75})

Yapı Tipi	Zaman	Düşük rahatsızlık olasılığı	Rahatsız olabilir	Büyük olasılıkla rahatsız
Konut	07:00 - 23:00	0.2 - 0.4	0.4 - 0.8	0.8 - 1.6
	23:00 - 07:00	0.1 - 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.8

Not: Ofisler ve atölyeler için, yukarıdaki değerler gündüz vakti sırasıyla 2 ve 4 ile çarpılır.

5.2.4 İtalya, UNI 9614:1990

UNI 9614 standardı yapının türüne göre dikey ve yatay yönde ağırlıklı ivme sınırları belirtir (Tablo 5.4). Konut yapıları için gündüz ve gece olarak zaman ayırımı yapar. ISO 2631-2:1989'da ki çarpım faktörlerini ve algılama eşiklerini kullanır. Kritik alandaki değerler algılama eşikleriyle aynıdır.

Tablo 5.4 UNI 9614:1990 titreşim referans değerleri

Yapı Tipi	Dikey Yönde (z yönü)		Yatay Yönde (x ve y yönü)	
	a_w (mm/s ²)	L_{aw} (dB re 10 ⁻⁶ m/s ²)	a_w (mm/s ²)	L_{aw} (dB re 10 ⁻⁶ m/s ²)
Kritik Alan	5.0	74	3.6	71
Konut	23:00 - 07:00	7.0	5.0	74
	07:00 - 23:00	10.0	7.2	77
Ofis	20.0	86	14.4	83
Sanayi	40.0	92	28.8	89

5.2.5 Avusturya, ÖNORM S 9012:2010

ÖNORM S 9012 standardının temelleri ISO 2621'e dayansa da maksimum ivme göstergesi E_{max} ve zaman ağırlıklı ortalama göstergesi E_r , Alman titreşim kuvveti KB'den türetilmiştir. Standarda ait alt ve üst sınır değerler zamana bağlı olarak Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.5 ÖNORM S 9012:2010 maksimum ivme referans değerleri E_{max} (mm/s²)

Açıklama	Yeterli Koruma		İyi Koruma	
	Gündüz 06:00-22:00	Gece 22:00-06:00	Gündüz 06:00-22:00	Gece 22:00-06:00
Dinlenme alanları, tedavi alanları, hastaneler	188	18.8	94	9.4
Banliyö ve ülke bölgeleri, okullardaki konutlar	250	18.8	125	9.4
Kentsel alanlardaki konutlar, konutlar ile ormancılık ve tarımsal binalar için alanlar	250	18.8	125	9.4
Merkezi alanlar, titreşim ve sesli iş faaliyetlerini tetiklemeyen alanlar	310	25.0	188	12.5
Düşük titreşim ve gürültüye neden olan iş faaliyetleri için alanlar	380		250	
Mal üreticileri ve hizmet şirketleri	500		380	

Tablo 5.6 ÖNORM S 9012:2010 ortalama ivme referans değerleri E_r (mm/s²)

Açıklama	Yeterli Koruma		İyi Koruma	
	Gündüz 06:00-22:00	Gece 22:00-06:00	Gündüz 06:00-22:00	Gece 22:00-06:00
Dinlenme alanları, tedavi alanları, hastaneler	1.65	1.59	0.85	0.84
Banliyö ve ülke bölgeleri, okullardaki konutlar	2.2	1.59	1.12	0.84
Kentsel alanlardaki konutlar, konutlar ile ormancılık ve tarımsal binalar için alanlar	2.2	1.59	1.12	0.84
Merkezi alanlar, titreşim ve sesli iş faaliyetlerini tetiklemeyen alanlar	2.7	2.1	1.65	1.09
Düşük titreşim ve gürültüye neden olan iş faaliyetleri için alanlar	3.2		2.2	
Mal üreticileri ve hizmet şirketleri	5.0		3.2	

5.2.6 İsveç, SS 460 48 61:1992

SS 460 48 61 standardı maksimum ağırlıklı hız ve ivme göstergelerine göre üç durumda değer aralıkları sunmaktadır (Tablo 5.7):

- Rahatsız olmayan: Az sayıda kişi rahatsızlık duyacaktır.
- Rahatsız olabilir: Bazı durumlarda kullanıcı şikayetleri olabilir.
- Rahatsız: Birçok kullanıcı dikkat çekici titreşimlerden rahatsız olacaktır.

Tablo 5.7 SS 460 48 61:1992 hız ve ivme referans değerleri

Titreşim Değerinin Türü	Rahatsız olmayan	Rahatsız olabilir	Rahatsız
Maksimum ağırlıklı RMS Hız (mm/s)	< 0.4	0.4 – 1.0	> 1
Maksimum ağırlıklı RMS İvme (mm/s ²)	< 14.4	14.4 – 36.0	> 36

5.2.7 Norveç, NS 8176:2005

NS 8176 standardı kara bazlı taşımacılıktan dolayı titreşime maruz kalan konutlara yönelik hız ve ivme göstergelerinde dört konfor sınıfı belirtir (Tablo 5.8):

- A Sınıfı: Kullanıcıların istisnalar dışında titreşimi algılamaları beklenmemektedir.
- B Sınıfı: Kullanıcıların nadiren rahatsız olmaları beklenebilir.
- C Sınıfı: Kullanıcıların %15'inin rahatsız olmaları beklenebilir.
- D Sınıfı: Kullanıcıların %25'inin rahatsız olmaları beklenebilir.

Tablo 5.8 NS 8176:2005 hız ve ivme referans değerleri

Titreşim değerinin türü	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı	D Sınıfı
Ağırlıklı hız için istatistiksel maksimum değer V_w	0.1	0.15	0.3	0.6
Ağırlıklı hız için istatistiksel maksimum değer a_w	3.6	5.4	11	21
Not. Yukarıdaki v_w (mm/s) ve a_w (mm/s ²) değerleri her bir konfor sınıfının üst sınırlarıdır.				

5.2.8 İspanya, Real Decreto 1367/2007

Kraliyet Kararnamesi 1367'de, yapı içindeki kullanıcıların demiryolu ve karayolu trafiğinin oluşturduğu titreşimden rahatsız olmamak için farklı işlevleri olan yapılar için sınır değerler maksimum ağırlıklı ivme ve desibel türünden belirtilmiştir (Tablo 5.9).

Tablo 5.9 Real Decreto 1307/2007 titreşim referans değerleri

Yapı Kullanımı	Titreşim seviyesi L_w	
	mm/s ²	dB re 10 ⁻⁶ m/s ²
Konutlar	5.6	75
Hastaneler	4.0	72
Eğitim ve Kültür	4.0	72

5.2.9 ABD, FRA (2005), FTA (2006)

FRA (2005) yüksek hızlı kara taşımacılığı ve FTA (2006) toplu taşıma projeleri için titreşim ve gürültü etkisinin değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuş kılavuzlardır. Diğer standartların aksine belirtilmiş bir frekans aralığı ve frekans ağırlıklandırması yoktur. Yapı kullanım amacına ve titreşim olaylarının sıklığına göre maksimum ağırlıklı RMS hız yöntemini kullanmaktadır (Tablo 5.10).

Tablo 5.10 FRA (2005) ve FTA (2006)'ya göre zemin eksenli titreşim referans değerleri

Arazi kullanım kategorisi	Etki seviyesi (mm/s, VdB re 10 ⁻⁶ in/s)					
	Sık olaylar ¹		Seyrek olaylar ²		Nadir olaylar ³	
	mm/s	VdB	mm/s	VdB	mm/s	VdB
1. Titreşimin işleyişi etkilediği yapılar ⁴	0.045	65	0.045	65	0.045	65
2. Konutlar ve insanların genellikle uyuduğu yapılar (oteller, hastaneler, vb.)	0.101	72	0.143	75	0.254	80
3. Genellikle gündüz kullanılan kamusal alanlar	0.143	75	0.202	78	0.359	83

Not 1. "Sık Olaylar", her gün aynı kaynaktan 70'den fazla titreşim olayı olarak tanımlanır.

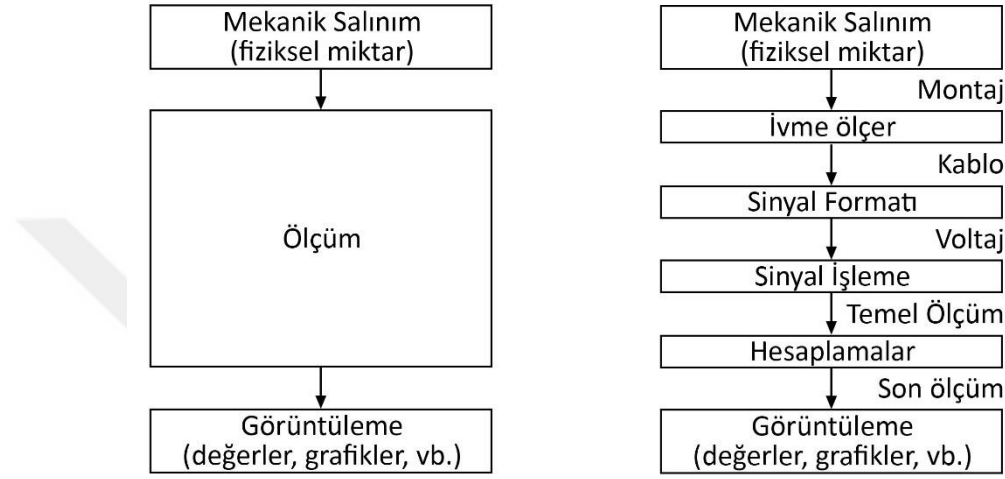
Not 2. "Seyrek Olaylar", aynı kaynağın günlük 30 ila 70 titreşim olayı olduğu gibi tanımlanır.

Not 3. "Nadir Olaylar", günde aynı türden 30'dan az titreşim olayı olarak tanımlanır.

Not 4. Optik mikroskoplar gibi orta derecede hassas ekipmanlar için kabul edilebilir seviyelere dayanır.

5.3 Ölçüm Sistemi ve Cihaz Bilgisi

Titreşim ölçerler, mekanik salınımları içindeki sensörlerle titreşim sinyaline dönüştürüp yorumlanabilmesini sağlayan cihazlardır. Bunlar genellikle ivme ölçer cihaz olup hız, genlik, vb. ölçümler de yapabilirler. Konfor değerlendirmeleri için bu cihazların üç eksenli de ölçüm yapabilmesi gerekmektedir. Titreşim olayı, ölçüm ve sayısal sonuç olarak gözükse de değerlendirilip karşılaştırılabilmesi için bir dizi aşamalar vardır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Titreşim ölçüm sistemi [13]

İvme ölçer öncelikle titreşimli yüzeye montaj edilir, sonrasında kablo yardımıyla işlemleri yapacak ve görüntüleyecek cihaza (bilgisayar) bağlanır. Mekanik salınımlar ivme ölçer cihaz ile sinyal formatına getirilerek bilgisayara yollanır. Burada sinyaller profesyonel yazılımlarla ilgili standart dahilinde işlenir (frekans ağırlıklandırma), işlenen sinyaller uygun yöntem (RMS, vb.) kullanılarak hesaplanır. Sonuç sayısal değerler, grafikler, ham veriler olarak elde edilir.

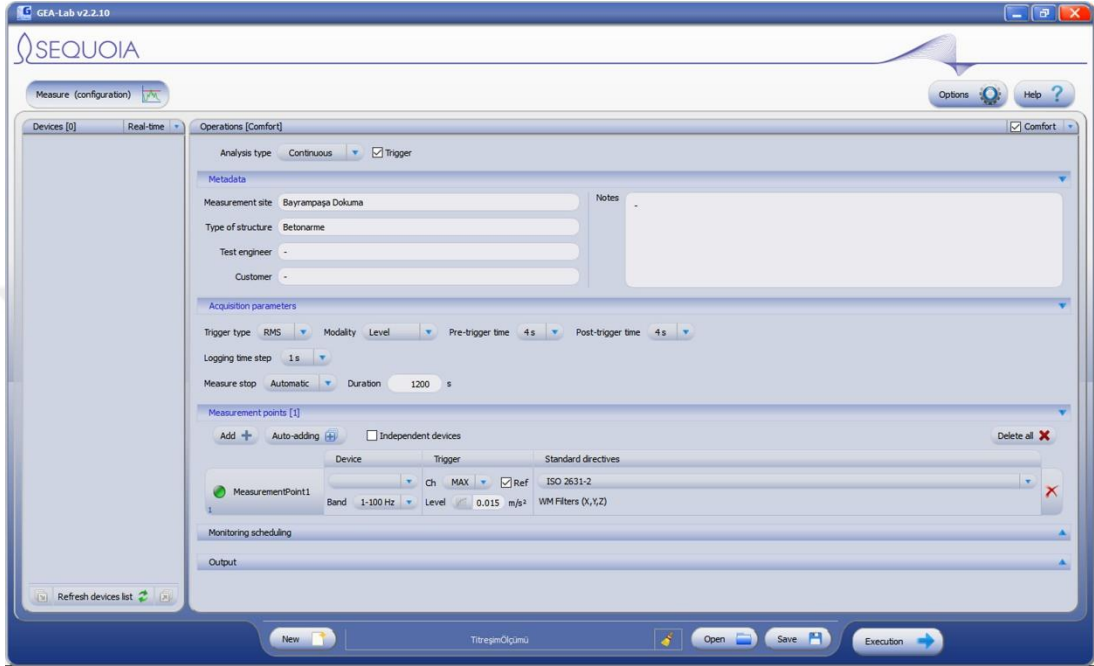


Teknik Özellikler

Sensör:	MEMS, Üç eksenli
Dinamik Aralık:	100 dB
Sensör Doğrusallığı:	0-1000 Hz
Min. Hız Seviyesi:	0,05 mm/s
Min. İvme Seviyesi:	0,005 m/s ²
Koruma sınıfı:	IP67
Boyutlar:	Ø 110 x h 35mm
Ağırlık:	600 g
Şok direnci:	5000 g
Örneklem Frekansı:	1024 Hz
AD Dönüştürücü:	24-Bit Sigma Delta

Şekil 5.5 Ölçümlerde kullanılan cihaz ve teknik bilgisi

Ölçümlerde kullanılan Sequoia marka Gea model ivme ölçer cihaz ve teknik özellikleri Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Cihazdaki sensör MEMS teknolojisini temel alır ve algılama elemanı, sinyal koşullandırma ve 24-bit Sigma-Delta A / D dönüştürücüsünü tek bir üniteye birleştirir. GEA-Lab yazılımı ile standartlar kapsamında uygun sinyal filtreleri uygulanarak (Şekil 5.6) titreşim ölçümleri yapılmakta ve görüntülenmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.6 Yazılımın ölçüm öncesi ayar arayüzü



Şekil 5.7 Yazılımın ölçüm sırasındaki görüntüleme arayüzü

5.4 Ölçüm Yapılan Yapılar

Yapılardaki titreşimi konfor açısından inceleyip, değerlendirmek amacıyla İstanbul'da bulunan, farklı özellikleri olan 10 farklı yapıda titreşim ölçümleri yapılmıştır. Yapılar seçilirken farklı titreşim kaynaklarının etkili olmasına, taşıyıcı sistem, işlev ve konum yönünden çeşitlilik göstermesine dikkat edilmiştir. Seçilen her yapının tipik özelliklerinin olması, elde edilen verilerin değerlendirilmesinde ve analizinde objektif sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Ölçümler, ISO 2631-2 ve DIN 4150-2 standartları uygulanarak her yapı ve her standart için 20 dakikalık 3 periyot olarak yapılmıştır. Ölçümlerde ISO 2631-2 standardında $0,015 \text{ m/s}^2$ ivme değeri, DIN 4150-2 standardında $0,1 \text{ mm/s}$ hız değeri olarak belirtilen algılanabilir titreşim seviyesi eşik değer olarak girilmiştir ve bu seviyelerin aşıldığı anlar "olay" olarak yer almaktadır.

5.4.1 Dokuma Atölyesi

Sanayi ekipmanlarının çalıştığı yapılardaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve titreşim kaynaklarının etkisini inceleyebilmek amacıyla bir sanayi yapısında (Şekil 5.8) yer alan Dokuma Atölyesi'nde ölçümler yapılmıştır. Yapı 5 katlı olup ölçüm yapılan mekân 3. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve plak döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 8 m'dir.



Şekil 5.8 Dokuma Atölyesi'nin yer aldığı sanayi yapısı

Bayrampaşa ilçesinde, E5 karayolu kenarında yer alan (Şekil 5.9) bu yapıya içerisindeki birçok sanayi makinesi ve karayolu trafiği etki etmektedir. Dokuma Atölyesi'nde 5 adet dokuma tezgâhı ve asma katta bir ofis bulunmaktadır (Şekil 5.10). Dokuma tezgahlarının

döşemeye teması kauçuk izolatörlerle sağlanmış ve bu makineler yoğunlukla düşey aksta (Z aksı) çalışmaktadır.



Şekil 5.9 Dokuma Atölyesi konumu



Şekil 5.10 Dokuma Atölyesi iç mekânı

Yapıda 02.01.2018 tarihinde, tüm makineler çalışırken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.11’de verilmiştir. Ölçüm esnasında Z aksında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00352 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,05545 \text{ m/s}^2$ dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 290-304 olay gerçekleşmiştir. Her ölçümde ortalama 300 olay gerçekleşmesi titreşimlerin periyodik titreşim olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.11 Dokuma Atölyesi’nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Dokuma Atölyesi	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (12:58-13:18)	0,00306	0,00374	0,04654	0,00367	0,05545	304
2.Ölçüm (13:18-13:38)	0,00291	0,00357	0,04499	0,00352	0,05194	293
3.Ölçüm (13:38-13:58)	0,00268	0,00312	0,03833	0,00865	0,04418	290
Ortalama	0,00288	0,00348	0,04329			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.12’de verilmiştir. Ölçüm esnasında Z aksında elde edilen en küçük hız değeri 1,08456 mm/s, en büyük hız değeri 1,96487 mm/s’dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 291-321 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama 1,49879 mm/s hız değeri standartta endüstriyel alanlar için belirlenmiş 6 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.12 Dokuma Atölyesi’nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Dokuma Atölyesi	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (14:08-14:28)	0,15618	0,07115	1,42125	1,08456	1,83914	291
2.Ölçüm (14:28-14:48)	0,16820	0,07776	1,54319	1,13348	1,96487	300
3.Ölçüm (14:48-15:08)	0,16757	0,07765	1,53192	1,17129	1,89348	321
Ortalama	0,16398	0,07552	1,49879			

5.4.2 Alışveriş Merkezi

Yoğun insan hareketliliğinin kullanıcı konforuna etkisini değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Alışveriş Merkezi’nde (Şekil 5.11) ölçümler yapılmıştır. Yapı 5 katlı olup ölçüm yapılan mekân 4. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve plak döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 8,5 m’dir.



Şekil 5.11 Alışveriş Merkezi

Şişli ilçesinde, etkili dış titreşim kaynaklarından uzakta yer alan (Şekil 5.12) bu yapıda hafta sonu yoğun insan sirkülasyonu vardır ve otururken döşeme salınıminin

hissedilmektedir. Ölçümler yoğunluğun en fazla olduğu yemek katına ulaşımı sağlayan merdivenlerinin önünde yapılmıştır (Şekil 5.13). Burada hem taşıyıcı sistem açıklığı fazla hem de 3m uzunluğunda konsol döşeme bulunmaktadır.



Şekil 5.12 Alışveriş Merkezi Konumu



Şekil 5.13 Alışveriş Merkezi titreşim ölçümü

Yapıda 06.01.2018 tarihinde, yoğun insan dolaşımı varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.13'te verilmiştir. Ölçüm esnasında Z aksında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00494 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,03280 \text{ m/s}^2$ dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 25-41 olay gerçekleşmiştir.

Tablo 5.13 Alışveriş Merkezi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Alışveriş Merkezi	ISO 2631-2 (m/s ²)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (18:57-19:17)	0,00109	0,00114	0,01111	0,00494	0,02298	41
2.Ölçüm (19:17-19:37)	0,00105	0,00111	0,01011	0,00461	0,02317	25
3.Ölçüm (19:37-19:57)	0,00106	0,00112	0,01063	0,00237	0,03280	29
Ortalama	0,00107	0,00113	0,01061			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.14'te verilmiştir. Ölçüm esnasında z aksında elde edilen en küçük hız değeri 0,13972 mm/s, en büyük hız değeri 1,96487 mm/s'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 274-295 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama 1,42351 mm/s hız değeri standartta ticari alanlar için belirlenmiş 6 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.14 Alışveriş Merkezi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Alışveriş Merkezi	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (17:55-18:15)	0,03980	0,04049	0,38910	0,14345	0,95923	274
2.Ölçüm (18:15-18:35)	0,04050	0,04169	0,41647	0,13972	1,42351	292
3.Ölçüm (18:35-18:55)	0,04121	0,04176	0,42825	0,17730	1,02730	295
Ortalama	0,04050	0,04131	0,41127			

5.4.3 Mikro Cerrahi Binası

Çelik taşıyıcı sistemi bulunan yüksek yapılardaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Mikro Cerrahi Binası'nda (Şekil 5.14) ölçümler yapılmıştır. Yapı 26 katlı olup ölçüm yapılan mekân 24. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, çelik kolon-kiriş ve çelik saç-beton döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 9,6 m'dir.



Şekil 5.14 Mikro Cerrahi Binası

Şişli ilçesinde, Büyükdere caddesi üzerinde yer alan (Şekil 5.15) bu yapıya karayolu trafiği, temelin 8 m altından geçen metro hattı ve rüzgâr etki etmektedir. Ölçüm esnasında yapıdaki duvarlar henüz yapılmamış, yapı faaliyete geçmemiş yapı içinde etkili bir titreşim kaynağı ve insan dolaşımı bulunmamaktadır (Şekil 5.16).



Şekil 5.15 Mikro Cerrahi Binası konumu



Şekil 5.16 Mikro Cerrahi Binası iç mekânı

Yapıda 05.01.2018 tarihinde, akan yoğun karayolu trafiği varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.15'te verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00072 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,01944 \text{ m/s}^2$ dir. Sadece 1. ölçümde algılanabilir seviyede 2 olay gerçekleşmiştir.

Tablo 5.15 Mikro Cerrahi Binası'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Mikro Cerrahi Binası	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (09:34-09:54)	0,00195	0,00190	0,00306	0,00072	0,01944	2
2.Ölçüm (09:54-10:14)	0,00216	0,00218	0,00256	0,00082	0,01260	0
3.Ölçüm (10:14-10:34)	0,00290	0,00316	0,00267	0,00077	0,01203	0
Ortalama	0,00234	0,00241	0,00276			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.16'da verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri $0,01940 \text{ mm/s}$, en büyük hız değeri $0,42920 \text{ mm/s}$ 'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 16-68 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama $0,06237 \text{ mm/s}$ hız değeri standartta hastaneler için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.16 Mikro Cerrahi Binası'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Mikro Cerrahi Binası	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (10:35-10:55)	0,03065	0,02914	0,06491	0,01940	0,42920	28
2.Ölçüm (10:55-11:15)	0,03038	0,02899	0,04794	0,21610	0,25610	16
3.Ölçüm (11:15-11:35)	0,04450	0,04299	0,07427	0,02244	0,41710	68
Ortalama	0,03518	0,03371	0,06237			

5.4.4 Ümraniye’de Kule

Yüksek yapılardaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Ümraniye’deki Kule’de (Şekil 5.17) ölçümler yapılmıştır. Yapı 44 katlı olup ölçüm yapılan mekân 41. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve plak döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 7,7m’dir.



Şekil 5.17 Ümraniye’de Kule

Ümraniye ilçesinde, çevreyoluna yakın bir konumda yer alan (Şekil 5.18) fakat ulaşım araçlarının etkisi olmayan bu yapıya Çamlıca Tepesi yamacında ve yüksek olması sebebiyle rüzgâr etki etmektedir. Ölçümler yapının 43.katında yer alan mekanik (ısıtma ve havalandırma) kata yakın olmak ve döşeme ortasında ölçüm yapabilmek için boş olan mekânda yapılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.18 Ümraniye’de Kule konumu



Şekil 5.19 Ümraniye'deki Kule'de titreşim ölçümü

Yapıda 03.01.2018 tarihinde her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.17'de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00062 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,0068 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.17 Ümraniye'deki Kulede ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Ümraniye'de Kule	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (15:48-16:08)	0,00090	0,00085	0,00105	0,00067	0,00497	0
2.Ölçüm (16:08-16:28)	0,00200	0,00174	0,00167	0,00062	0,00680	0
3.Ölçüm (16:28-16:48)	0,00102	0,00094	0,00150	0,00070	0,00437	0
Ortalama	0,00131	0,00118	0,00141			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.18'de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri $0,01679 \text{ mm/s}$, en büyük hız değeri $0,54913 \text{ mm/s}$ 'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 12-29 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama $0,05921 \text{ mm/s}$ hız değeri standartta konutlar için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.18 Ümraniye'deki Kulede DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Ümraniye'de Kule	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (16:50-17:10)	0,04301	0,03597	0,07231	0,02165	0,48316	23
2.Ölçüm (17:10-17:30)	0,02894	0,02643	0,03703	0,01679	0,54913	12
3.Ölçüm (17:30-17:50)	0,02846	0,03282	0,06829	0,23651	0,39341	29
Ortalama	0,03347	0,03174	0,05921			

5.4.5 Metro İstasyonu

Raylı sistem araçlarının yapılardaki kullanıcı konforuna etkisini değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Metro İstasyonu'ndaki bir mekânda (Şekil 5.20) ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı mekân şoförlerinin dinlenme alanı ve koordinasyon noktası olarak kullanılmaktadır. Ölçüm esnasında 4,5 dakikada bir yeni sefer başlamaktadır ve en yoğun olan zamandır.



Şekil 5.20 Metro İstasyonu iç mekânı

Kadıköy ilçesinde, rıhtımda yer alan (Şekil 5.21) bu yapıya raylı sistem araçları, mekanik ekipmanlar ve insan sirkülasyonu etki etmektedir. İstasyonun tamamı betonarme taşıyıcı sistemden oluşmaktadır. Ölçümlerin yapıldığı mekân metro hattıyla aynı katta, betonarme temel üzerinde ve raylara 2 m uzaklıktadır.



Şekil 5.21 Metro İstasyonu konumu

Yapıda 02.01.2018 tarihinde metro seferlerinin en yoğun olduğu zamanda her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.19'da verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri 0,00060 m/s², en büyük ivme değeri,00395 m/s²'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.19 Metro İstasyonu'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Metro İstasyonu	ISO 2631-2 (m/s ²)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (17:31-17:51)	0,00109	0,00085	0,00123	0,00060	0,00395	0
2.Ölçüm (17:51-18:11)	0,00086	0,00080	0,00095	0,00062	0,00259	0
3.Ölçüm (18:11-18:31)	0,00098	0,00101	0,00127	0,00059	0,00290	0
Ortalama	0,00098	0,00089	0,00115			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.20'de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri 0,01683 mm/s, en büyük hız değeri 0,60820 mm/s'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 5-15 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama 0,06237 mm/s hız değeri standartta endüstriyel alanlar için belirlenmiş 6 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.20 Metro İstasyonu'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Metro İstasyonu	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (16:27-16:47)	0,04345	0,04195	0,05520	0,01893	0,60820	9
2.Ölçüm (16:47-17:07)	0,06341	0,04958	0,08026	0,01854	0,42270	15
3.Ölçüm (17:07-17:27)	0,03202	0,03237	0,03754	0,01683	0,25260	5
Ortalama	0,04629	0,04130	0,05767			

5.4.6 Ofis Binası

Uzun betonarme konsolların kullanıcı konforuna etkisini değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Ofis Binası'nda (Şekil 5.22) ölçümler yapılmıştır. Yapı 6 katlı olup ölçüm yapılan mekân 6. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve kirişli konsol döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 11 m'dir.



Şekil 5.22 Ofis binası

Zeytinburnu ilçesinde, E5 karayolu üzerinde yer alan (Şekil 5.23) bu yapıya karayolu trafiği ve 20 m uzaklıktan geçen tramvay etki etmektedir. Ölçüm ofis olarak kullanılmakta olan, 11 m uzunluğundaki kirişli çift yönlü konsolun uç kısmında yapılmıştır (Şekil 5.24).



Şekil 5.23 Binası konumu



Şekil 5.24 Ofis Binası'nda ölçüm yapılan mekânın iç ve dış görüntüsü

Yapıda 04.01.2018 tarihinde, akan yoğun karayolu trafiği varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.21’de verilmiştir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmemiştir. Ölçüm esnasında Z aksında elde edilen en küçük ivme değeri 0,00081 m/s², en büyük ivme değeri 0,00657 m/s²’dir.

Tablo 5.21 Ofis Binası’nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Ofis Binası	ISO 2631-2 (m/s ²)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (14:46-15:06)	0,00090	0,00091	0,00133	0,00101	0,00657	0
2.Ölçüm (15:06-15:26)	0,00088	0,00088	0,00123	0,00108	0,00233	0
3.Ölçüm (15:26-15:46)	0,00092	0,00091	0,00135	0,00081	0,00561	0
Ortalama	0,00090	0,00090	0,00131			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.22’de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri 0,02677 mm/s, en büyük hız değeri 0,21400 mm/s’dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 18-60 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama 0,05284 mm/s hız değeri standartta ticari alanlar için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.22 Ofis Binası’nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Ofis Binası	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (15:48-16:08)	0,04759	0,04336	0,05163	0,03419	0,20340	33
2.Ölçüm (16:08-16:28)	0,05850	0,05328	0,05906	0,02761	0,21400	60
3.Ölçüm (16:28-16:48)	0,04131	0,03547	0,04782	0,02677	0,12314	18
Ortalama	0,04914	0,04403	0,05284			

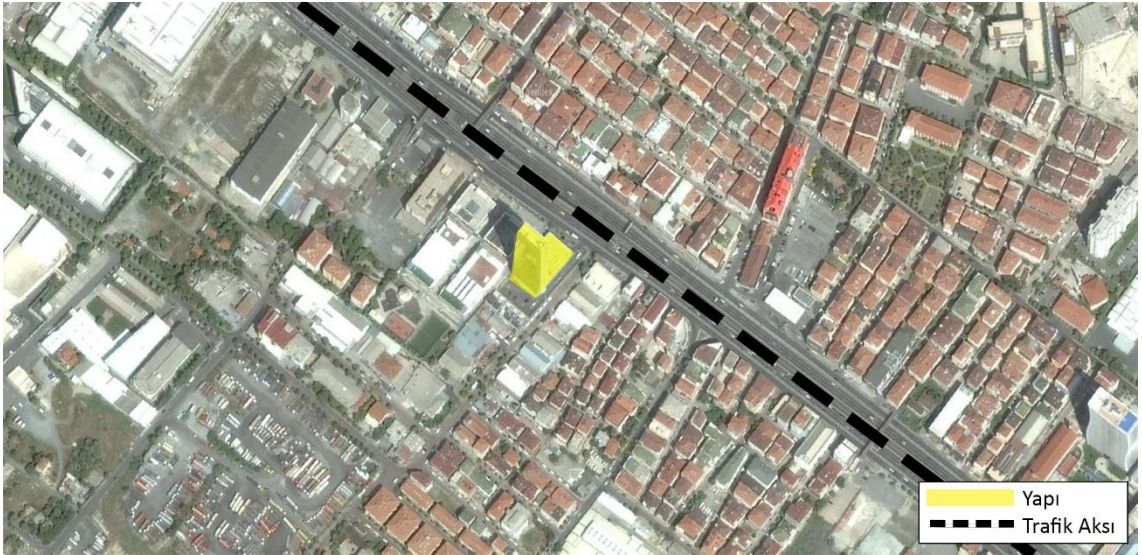
5.4.7 Otel Binası

Tamamen çelik taşıyıcı sistemden oluşan yüksek yapılardaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Otel Binası’nda (Şekil 5.25) ölçümler yapılmıştır. Yapı 27 katlı olup ölçüm yapılan mekân 24. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; çelik çekirdek, çelik kolon-kiriş ve çelik saç-beton döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 8,4 m’dir.

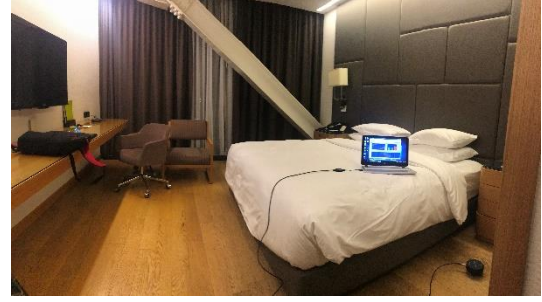


Şekil 5.25 Otel Binası

Avcılar ilçesinde E5 karayolu üzerinde yer alan (Şekil 5.26) bu yapıya karayolu trafiği ve yüksek olması sebebiyle rüzgâr etki etmektedir. Otel odasında yapılan ölçümler, taşıyıcı sistem aksının ortasına yakın olması için duvar bitişğinde yapılmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.26 Otel Binası konumu



Şekil 5.27 Otel Binası iç mekân görüntüleri

Yapıda 03.02.2018 tarihinde, akan yoğun karayolu trafiği varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.23'te verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00062 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,00259 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.23 Otel Binası'nda ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Otel Binası	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (19:55-20:15)	0,00094	0,00091	0,00110	0,00073	0,00259	0
2.Ölçüm (20:15-20:35)	0,00087	0,00083	0,00099	0,00063	0,00231	0
3.Ölçüm (20:35-20:55)	0,00087	0,00083	0,00104	0,00062	0,00209	0
Ortalama	0,00089	0,00086	0,00104			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.24'te verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri $0,01850 \text{ mm/s}$, en büyük hız değeri $0,09187 \text{ mm/s}$ 'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir. Z aksındaki ortalama $0,04030 \text{ mm/s}$ hız değeri standartta özel alanlar için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.24 Otel Binası'nda DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Otel Binası	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (21:08-21:28)	0,03325	0,03183	0,03977	0,01881	0,09187	0
2.Ölçüm (21:28-21:48)	0,03268	0,03207	0,03755	0,01869	0,08047	0
3.Ölçüm (21:48-22:08)	0,03325	0,03232	0,04357	0,01850	0,05930	0
Ortalama	0,03306	0,03208	0,04030			

5.4.8 Satış Ofisi

Tamamen çelik taşıyıcı sistemden oluşan yapılardaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Satış Ofisi'nde (Şekil 5.28) ölçümler yapılmıştır. Yapı 4 katlı olup ölçüm yapılan mekân 4. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; çelik çekirdek, çelik kolon-kiriş ve çelik saç-beton döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 8,8 m'dir.

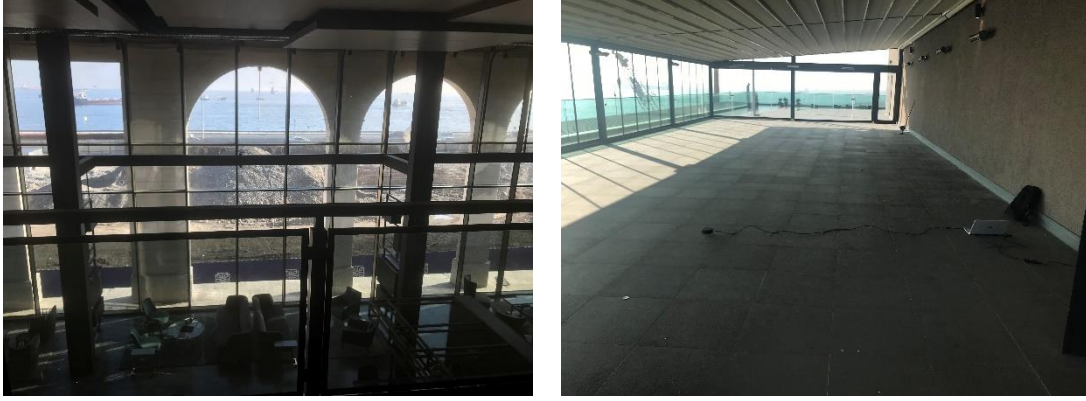


Şekil 5.28 Satış Ofisi

Zeytinburnu ilçesinde, sahil yolu üzerinde yer alan (Şekil 5.29) bu yapıya karayolu trafiği, yanındaki inşaat çalışmaları ve rüzgâr etki etmektedir. Ölçümler yapının en üst katında, titreşim ölçer cihazın taşıyıcı sistem aksını ortaladığı şekilde yapılmıştır (Şekil 5.30).



Şekil 5.29 Satış Ofisi konumu



Şekil 5.30 Satış Ofisi iç mekânı

Yapıda 06.01.2018 tarihinde her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.25'te verilmiştir. Üç aksındaki değerler birbirine yakın ve Z aksındaki değer en yüksek olmuştur. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00077 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,00303 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.25 Satış Ofisi'nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Satış Ofisi	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (12:58-13:18)	0,00083	0,00080	0,00094	0,00078	0,00161	0
2.Ölçüm (13:18-13:38)	0,00083	0,00078	0,00097	0,00081	0,00303	0
3.Ölçüm (13:38-13:58)	0,00084	0,00081	0,00105	0,00077	0,00262	0
Ortalama	0,00083	0,00080	0,00099			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.26'da verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri $0,02591 \text{ mm/s}$, en büyük hız değeri $0,13040 \text{ mm/s}$ 'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 1-7 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama $0,03751 \text{ mm/s}$ hız değeri standartta ticari alanlar için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.26 Satış Ofisi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Satış Ofisi	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (14:00-14:20)	0,03091	0,02936	0,03598	0,02646	0,11710	2
2.Ölçüm (14:20-14:40)	0,03125	0,02943	0,03945	0,02607	0,13040	7
3.Ölçüm (14:40-15:00)	0,03155	0,02938	0,03710	0,02591	0,11520	1
Ortalama	0,03124	0,02939	0,03751			

5.4.9 Okmeydanı Hastanesi

Hastane yapılarında yoğun insan hareketliliğinin kullanıcı konforuna etkisini değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Okmeydanı Hastanesi (Şekil 5.31) onkoloji binasında ölçümler yapılmıştır. Yapı 5 katlı olup ölçüm yapılan mekân 4. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve plak döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 6,5 m'dir.



Şekil 5.31 Okmeydanı Hastanesi

Şişli ilçesinde, karayolu trafik akslarının arasında yer alan (Şekil 5.32) bu yapıya insan sirkülasyonu, yanında devam etmekte olan yeni hastane şantiyesi ve karayolu trafiği etki etmektedir. Ölçümler hem hastaların yattığı hem muayene odalarının bulunduğu katın koridorunda yapılmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.32 Okmeydanı Hastanesi konumu



Şekil 5.33 Hastane iç mekânı

Yapıda 09.01.2018 tarihinde, yoğun insan dolaşımı varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.27’de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00051 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,01052 \text{ m/s}^2$ ’dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.27 Okmeydanı Hastanesi’nde ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Okmeydanı Hastanesi	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (11:42-12:02)	0,00083	0,00080	0,00080	0,00051	0,00145	0
2.Ölçüm (12:02-12:22)	0,00187	0,00172	0,00189	0,00063	0,01052	0
3.Ölçüm (12:22-12:42)	0,00079	0,00077	0,00077	0,00067	0,00111	0
Ortalama	0,00116	0,00110	0,00115			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.28’de verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri $0,02619 \text{ mm/s}$, en büyük hız değeri $0,12620 \text{ mm/s}$ ’dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir. X aksındaki ortalama $0,03454 \text{ mm/s}$ hız değeri standartta hastaneler için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.28 Okmeydanı Hastanesi'nde DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Okmeydanı Hastanesi	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (12:49-13:09)	0,03105	0,02973	0,03019	0,02870	0,08335	0
2.Ölçüm (13:09-13:29)	0,03512	0,03392	0,03402	0,02696	0,97330	0
3.Ölçüm (13:29-13:49)	0,03746	0,03591	0,03694	0,02619	0,12620	6
Ortalama	0,03454	0,03319	0,03372			

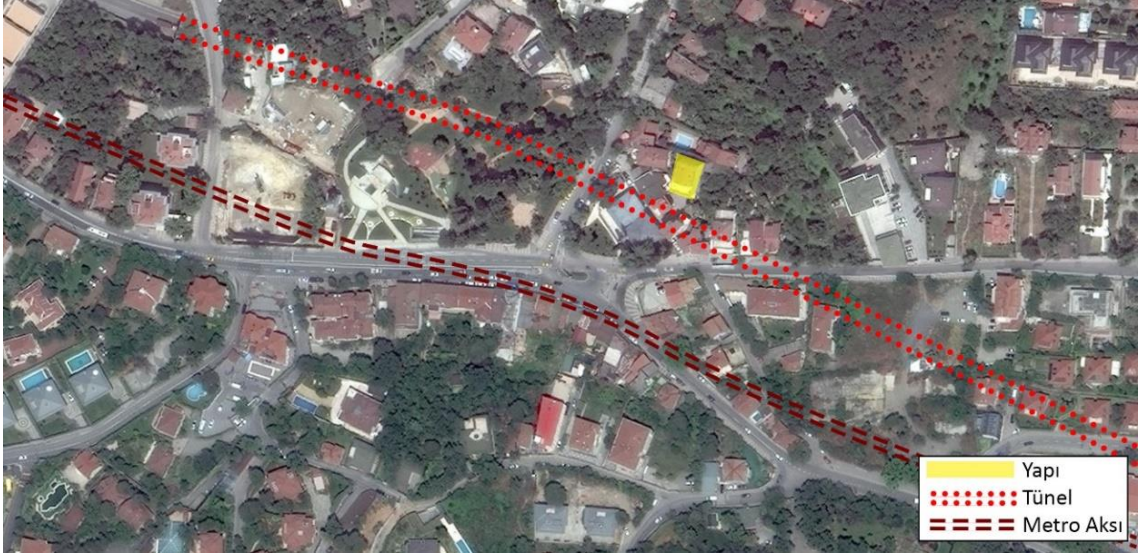
5.4.10 Üsküdar'da Apartman

Genel konut yapılarındaki kullanıcı konforunu değerlendirebilmek ve inceleyebilmek amacıyla Üsküdar'daki Apartman'da (Şekil 5.34) ölçümler yapılmıştır. Yapı 6 katlı olup ölçüm yapılan mekân 6. katta yer almaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek, betonarme kolon-kiriş ve plak döşemeden oluşmaktadır. Mekânın taşıyıcı sistem aks aralığı 4,5 m'dir.



Şekil 5.34 Üsküdar'da Apartman

Üsküdar ilçesinde, ana caddeye yakın bir konumda, metro hattına 60 m mesafede yer alan (Şekil 5.35) bu yapıya izdüşümü yapıdan 20 m uzaklıkta olan karayolu tüneli etki etmektedir. Ölçümler salınımın en fazla olduğu teras katında yapılmıştır (Şekil 5.36).



Şekil 5.35 Üsküdar'da Apartman konumu



Şekil 5.36 Ölçüm yapılan teras

Yapıda 05.02.2018 tarihinde, tünelde yoğun akan trafik varken her standartta 20 dakikalık 3 periyot olmak üzere 6 titreşim ölçümü yapılmıştır. ISO 2631-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.29'da verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük ivme değeri $0,00065 \text{ m/s}^2$, en büyük ivme değeri $0,00199 \text{ m/s}^2$ 'dir. Ölçümlerde algılanabilir titreşim olayı görülmemiştir.

Tablo 5.29 Üsküdar'da Apartman'da ISO 2631-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Üsküdar'da Apartman	ISO 2631-2 (m/s^2)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (18:48-19:08)	0,00080	0,00077	0,00083	0,00066	0,00176	0
2.Ölçüm (19:08-19:28)	0,00079	0,00077	0,00082	0,00072	0,00161	0
3.Ölçüm (19:28-19:48)	0,00082	0,00076	0,00080	0,00065	0,00199	0
Ortalama	0,00080	0,00077	0,00082			

DIN 4150-2 standardı uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları Tablo 5.30'da verilmiştir. Ölçüm esnasında elde edilen en küçük hız değeri 0,01513 mm/s, en büyük hız değeri 0,20213 mm/s'dir. 20 dakikalık ölçümlerde algılanabilir seviyede 1-4 olay gerçekleşmiştir. Z aksındaki ortalama 0,03275 mm/s hız değeri standartta konutlar için belirlenmiş 3 mm/s sınır değerini aşmamaktadır.

Tablo 5.30 Üsküdar'da Apartman'da DIN 4150-2 standardında yapılan ölçüm sonuçları

Üsküdar'da Apartman	DIN 4150-2 (mm/s)					
	X	Y	Z	En Küçük	En Büyük	Olay Sayısı
1.Ölçüm (17:41-18:01)	0,03151	0,02935	0,03147	0,01736	0,20213	2
2.Ölçüm (18:01-18:21)	0,03083	0,02886	0,03211	0,01513	0,10360	1
3.Ölçüm (18:21-18:41)	0,03091	0,02923	0,03467	0,01716	0,20046	4
Ortalama	0,03108	0,02915	0,03275			

5.5 Analiz

Ölçümlerin gerçekleştiği yapıların taşıyıcı sistem özelliklerini ve yapıyı etkileyen titreşim kaynaklarını karşılaştırmak, elde edilen verilerin doğru bir şekilde değerlendirilerek faktörlerin etkisini saptayabilmeyi sağlayacaktır. Açıklayıcı ve doğru çıkarımlar yapabilmek için bu analizler göz önünde bulundurulmalıdır. Yapıların taşıyıcı sistemi ve ölçüm katlarının karşılaştırması Tablo 5.31'de gösterilmiştir.

Tablo 5.31 Yapıların taşıyıcı sistem 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
Otel Binası	Çelik	Çelik	Çelik Saç-Beton	8,4 m	27	24
Satış Ofisi	Çelik	Çelik	Çelik Saç-Beton	8,8 m	4	4
Okmeydanı Hastanesi	Betonarme	Betonarme	Plak	6,5 m	4	3
Üsküdar'da Apartman	Betonarme	Betonarme	Plak	4,5 m	6	6

Yaygın olan betonarme taşıyıcı sistemin bulunduğu 7 yapı olup, 2 yapıda tamamen çelik taşıyıcı sistem ve 1 yapıda da betonarme çekirdek ile çelik kolon-kirişler bulunmaktadır. 4,5-11 m arasında değişen aks aralıklarında 8-9 m'lik akslar yoğunluktadır. Kat sayısı 4-44 olan yapılar arasından 3 tanesi yüksek yapıdır. Ölçümler genellikle salınımın fazla olduğu ve titreşimlerden etkilenme olasılığı en yüksek olan üst katlarda yapılmıştır.

Mikro cerrahi Binası betonarme ve çelik taşıyıcı sistemi bir arada bulduran tek yapıdır ve yüksek yapılar arasındaki aks aralığı en uzun olanıdır. Ofis Binası betonarme taşıyıcı sistemiyle benzerlik gösterse de 11 m uzunluğundaki çift yönlü kirişli konsol sistemi sebebiyle en dikkat çekici yapıdır. Otel Binası ise taşıyıcı sistemi tamamen çelik olan yapılara Türkiye'de nadiren rastlanması yönünden önemlidir.

Yapıların bulunduğu bölgelerde titreşim üreten birçok kaynak mevcuttur ama kaynakların yapılara olan mesafeleri ve büyüklükleri göz önüne alınarak etkili olanlar Tablo 5.32'de gösterilmiştir.

Tablo 5.32 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	•	•				
Otel Binası	•			•		
Satış Ofisi	•		•	•		
Okmeydanı Hastanesi	•		•			•
Üsküdar'da Apartman	•	•				

Yapıların tamamında dış ve/veya iç titreşim kaynakları etkili olmaktadır. Yapıların tamamı ana trafik akslarına yakın olsa da karayolu trafiği 7 yapıya etki edebilmektedir. Mikro Cerrahi Binası'nın temeline 8 m mesafeden metro hattı, Ofis Binası'nın 20 m önünden tramvay geçmektedir. Metro İstasyonu ise raylı sistem kaynaklı titreşimlerin

oluştugu yerdir. Satış Ofisi toplu konut şantiyesinin, Okmeydanı Hastanesi de yapımı devam eden yeni hastane kompleksi şantiyesinin bitişiginde yer almaktadır. Yüksek yapılarda etkili olan rüzgâr, sahil kenarında bulunan Satış Ofisi'ne de etki etmektedir.

İç titreşim kaynakları sayı olarak dış kaynaklar kadar fazla olmasa da yapı içinde olmaları ve direk etki etmeleri sebebiyle önemlidir. Dokuma Atölyesi'ndeki makineler, Alışveriş Merkezi'ndeki yürüyen merdivenler, Ümraniye'deki Kule'nin 43. katında yer alan mekanik (ısıtma ve havalandırma) bölüm ve metroda istasyonundaki cihazlar gibi mekanik ekipmanlar yapı içinde titreşim meydana getirmektedir. Alışveriş Merkezi, Okmeydanı Hastanesi ve Metro İstasyonu'ndaki kişi sayısının ve dolaşımın fazla olması, kişilerin direk döşemeyle temas halinde olması sebebiyle etkili titreşimler oluşturmaktadır.

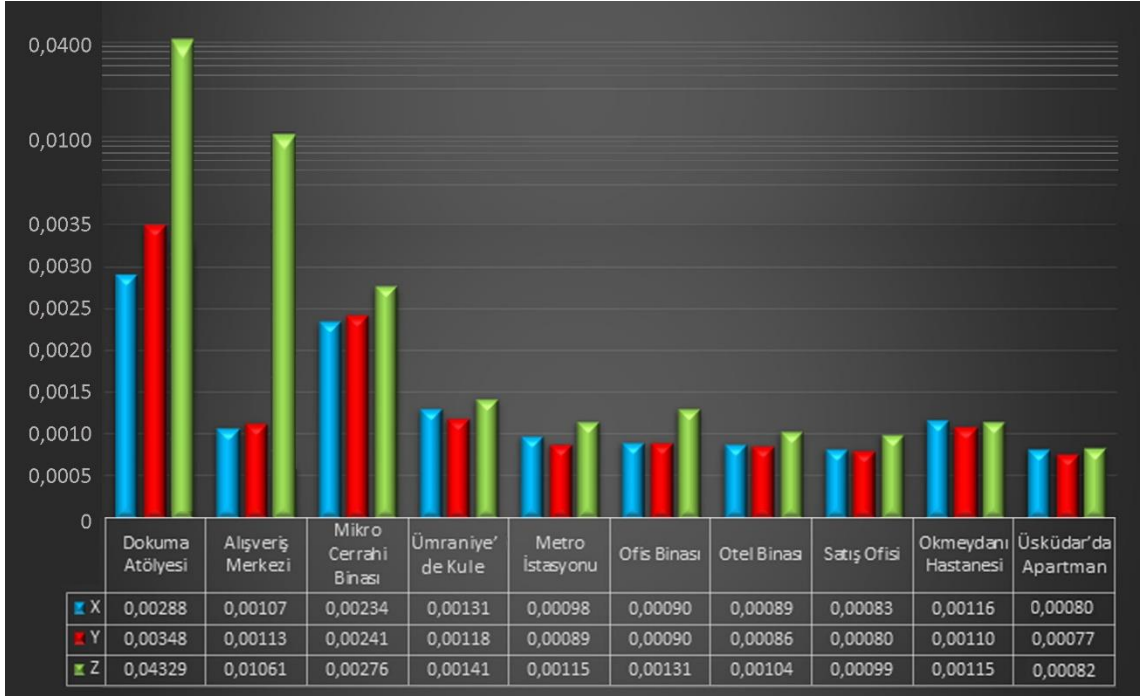
BÖLÜM 6

SONUÇLAR

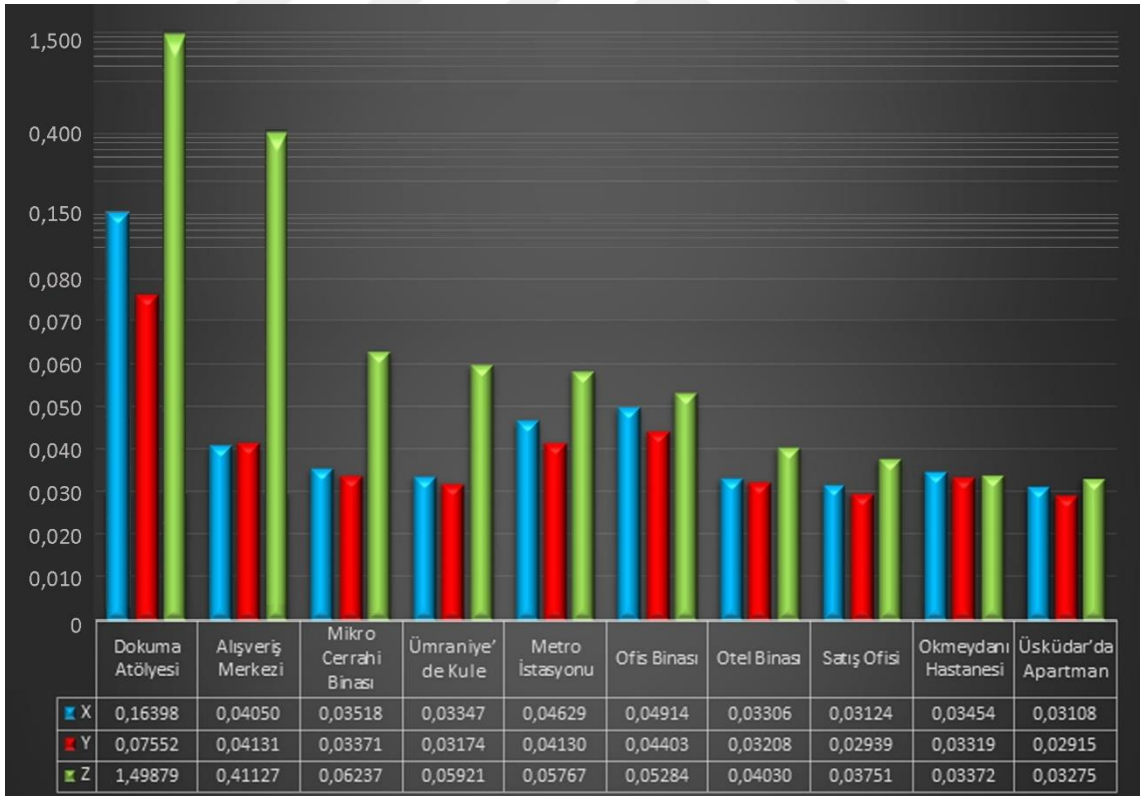
Ölçüm sonuçlarının daha doğru olması için iki standarttaki 3 ölçüm değerinin ortalaması alınmıştır. Yapıların tamamının ortalama ölçüm sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir. Tabloda yer alan değerler Şekil 6.1 ve 6.2’deki grafiklerde kolaylıkla okunabilmekte ve karşılaştırılmaktadır. Analizlerle birlikte ölçüm sonuçları değerlendirilerek yapılar tekil olarak ele alınmış ve çıkarımlar yapılarak her yapı titreşim konforu açısından incelenmiştir. Ardından taşıyıcı sistemlerine, yüksekliklerine, etkili olan titreşim kaynaklarına göre de kıyaslama yapılarak farklı faktörlerin konfor üzerindeki etkisi ifade edilmiştir. Ölçümlerde kullanılan standartlar da değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1 Ortalama ölçüm sonuçları

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
Otel Binası	0,00089	0,00086	0,00104	0,03306	0,03208	0,04030
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
Üsküdar’da Apartman	0,00080	0,00077	0,00082	0,03108	0,02915	0,03275



Şekil 6.1 ISO 2631-2 standardındaki ortalama ölçüm sonuçları grafiği



Şekil 6.2 DIN 4150-2 standardındaki ortalama ölçüm sonuçları grafiği

Dokuma Atölyesi ölçümlerde en büyük değerlere ulaşılan yapıdır. Dokuma tezgahlarının hareket yönünün Z aksı olması sebebiyle en yüksek değerler bu aksta elde edilmiştir. Makinelerin ayaklarında kauçuk izolatörler kullanılsa da döşemeye direk temas ettiğinden titreşimler çok etkili olmaktadır. Her iki standarttaki ölçümlerde algılanabilir titreşim sınırını geçen ortalama 300 olay gerçekleşmesi bunu kanıtlamaktadır. Mekân içinde bu titreşimler oldukça rahatsızlık hissi verse de DIN 4150-2 standardına göre konfor koşullarını sağlamaktadır.

Alışveriş Merkezi ölçümlerde en büyük 2. değerlere ulaşılan yapıdır. Ölçüm yapılan yapılar arasında hiçbir dış titreşim kaynağına maruz kalmayan tek yapıdır. Yapı içindeki insan dolaşımının çok fazla olması ve yürüyüş sırasında kuvvetin direk döşemeye uygulanması titreşimlerin etkili olmasını sağlamaktadır. ISO 2631-2 standardına göre algılanabilir titreşim sınırını geçen ortalama 30 olay olurken DIN 4150-2 standardında ortalama 290 olay gerçekleşmiştir. Özellikle döşeme yırtıklarının, konsolların olduğu alanlarda otururken kolaylıkla hissedilen bu titreşimler DIN 4150-2 standardına göre konfor koşullarını sağlamaktadır.

Mikro cerrahi Binası, Ümraniye'deki Kule'nin yarısı yükseklikte olmasına rağmen yüksek yapılar arasında en yüksek değerlere ulaşılan yapıdır. Yapıya etki eden önemli dış titreşim kaynakları varken etkili bir iç titreşim kaynağı bulunmamaktadır. Yapıda duvarlar ile ölü yüklerin henüz olmaması, geniş aks aralığı ve çelik sistemin hafif – esnek yapısı dolayısıyla titreşimler döşemede oldukça etkili olmaktadır. ISO 2631-2 standardına göre algılanabilir titreşim gerçekleşen son yapıdır. Sadece 1. ölçümde 2 olayın gerçekleşmesi ve Z aksındaki değerin çok büyük olması ölçüm esnasındaki yürüyüşlerin etkili olduğunu göstermektedir. 3. ölçümde X ve Y akslarındaki değerlerin yüksek olması rüzgârın etkili olduğunu göstermektedir. DIN 4150-2 standardına göre ortalama 37 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Z aksındaki değerlerin çok büyük olması aynı kattaki tek kişilik hareketin cihaza kolaylıkla iletilebildiğini göstermektedir.

Ümraniye'de Kule yapılar arasındaki en yüksek yapı olsa da elde edilen titreşim değerleri ortalama seviyelerdedir. Sadece ISO 2631-2 standardındaki 2. Ölçümde X ve Y akslarındaki değerlerin Z aksındaki değerlerden daha yüksek olması ölçüm esnasında rüzgârın etkili olduğunu göstermektedir. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde

algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardındaki ölçümlerde ortalama 21 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Rüzgârın etkisiyle yatay yönde beklenen yüksek titreşim değerleri elde edilmemiştir.

Metro İstasyonu'ndaki dinlenme odası 2 m mesafe ile raylı sistem araçlarına en yakın ölçüm noktasıdır. Dinlenme odasının döşemesi temel olduğu için çok büyük bir kütleyle olması ve metro araçlarındaki gelişmiş teknoloji sebebiyle birçok yapıdan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardındaki ölçümlerde ortalama 10 titreşim olayı gerçekleşmiştir. Tüm ölçümlerde Z aksında daha büyük değerler elde edilmiştir.

Ofis Binası raylı sistem ve karayolu trafiğinin arasında her birine 20 m uzaklıkta bulunan bir yapıdır. En önemlisi 11 m uzunluğunda kirişli çift yönlü konsolların olması dolayısıyla oluşabilecek salınımlar neticesinde yüksek titreşim değerleri beklenirken ortalama seviyelerde titreşim değerleri elde edilmiştir. Döşemenin yüksek kirişli ve kalın olması kütleli arttırmakta, salınımları azaltmaktadır. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardına göre ortalama 37 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Tüm ölçümlerde Z aksında daha büyük değerler elde edilmiştir.

Otel Binası ölçüm yapılan yapılar arasında tamamen çelik taşıyıcı sistem ile yapılmış tek yüksek yapıdır. Yapı karayolunun kenarında yer alsa da yüksek olması ve çeliğin hafif – esnek yapısı sebebiyle özellikle X ve Y akslarında rüzgâra bağlı büyük titreşim değerleri öngörülmekteydi. Fakat elde edilen değerler yüksek yapılar arasındaki en düşük değerler olmakla birlikte tüm ölçümlerde Z aksındaki değerler daha büyüktür. Diğer yüksek yapılarındaki ölçümlere göre katta herhangi bir dolaşımın olmaması etkili olmuştur. Hiçbir ölçümde algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmemiştir.

Satış Ofisi tamamen çelik taşıyıcı sistemi olan az katlı bir yapıdır ve titreşim ölçümlerinde en küçük değerlerden biri elde edilmiştir. 8,8 m aks aralığı olması ve etkili dış titreşim kaynaklarının arasında yer alması sebebiyle titreşimlerin etkili olması beklense de ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardına göre ortalama 3 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Tüm ölçümlerde Z aksında daha büyük değerler elde edilmiştir.

Hastane işlevi nedeniyle gerekli konfor seviyesini döşemeye direk etkileyen insan dolaşımının yoğunluğuna rağmen 6,5 m aks aralığı, kalın döşemesi ve az katlı olmasıyla en düşük 2. titreşim değerlerini elde ederek sağlamıştır. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardına göre sadece 3. ölçümde 6 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Tüm ölçümlerde üç akstaki değerler birbirine çok yakın olsa da genellikle X aksında daha büyük değerler elde edilmiştir.

Üsküdar'da Apartman betonarme taşıyıcı sistemi olan 6 katlı apartman tipi bir konut yapısıdır. Çevresinde dış titreşim kaynakları olsa da 4,5 m aks aralığı, az katlı olması ve iç titreşim kaynağının bulunmaması sebebiyle en küçük titreşim değerlerinin elde edildiği yapıdır. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde algılanabilir titreşim olayına rastlanmazken DIN 4150-2 standardına göre sadece ortalama 2 algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmiştir. Tüm ölçümlerde üç akstaki değerler birbirine çok yakındır. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde X aksında daha büyük değerler elde edilirken DIN 4150-2 standardındaki ölçümlerde Z aksında daha büyük değerler elde edilmiştir.

En yüksek titreşim değerlerinin ölçüldüğü iki yapı (Dokuma Atölyesi ve Alışveriş Merkezi) betonarme taşıyıcı sistemi, az katlı olması ve yakın aks aralıklarıyla benzerlik göstermektedir. Betonarme taşıyıcı sistemin rijit ve ağır olması, az katlı yapıların daha az salınım yapmasına rağmen bu yapılarda yüksek titreşim değerlerinin elde edilmesi iç titreşim kaynaklarının en etkili faktör olduğunu göstermektedir.

Yürümek gibi kuvvetin direk döşemeye etki ettiği faaliyetler ve döşeme üstünde çalışan makineler etkili titreşimler meydana getirmektedir. Dolayısıyla özellikle Z aksında yoğunlaşan titreşimler genellikle iç titreşim kaynaklarının etkili olması sonucu oluşmaktadır. Rüzgârın neden olduğu titreşimler de yapıya yatay yönde etki etmesi sebebiyle genellikle X ve Y akslarında daha etkili olmaktadır.

Alışveriş Merkezi'nin Z aksındaki titreşim değerleri X ve Y aksındaki titreşim değerlerinin 10 katıyken, en yüksek titreşim değerlerinin elde edildiği Dokuma Atölyesi'nin Z aksındaki titreşim değerleri X ve Y aksındaki titreşim değerlerinin 1,5 katıdır. Alışveriş merkezinin aks aralığının daha geniş ve döşemesinde yırtıkların olması Z aksındaki salınımları kolaylaştırmaktadır.

Metro İstasyonu dinlenme odasının raylara 2 m uzaklıkta olmasına ve Okmeydanı Hastanesi'nde yoğun insan dolaşımına rağmen çok küçük titreşim değerlerinin elde edilmesi döşemelerin kalın olmasından kaynaklanmaktadır. Titreşimin etki ettiği alanın kütlesi ne kadar büyükse etkisi o kadar azalmaktadır.

Çeliğin hafif – esnek yapısı sebebiyle çelik taşıyıcı sistem bulunan yapıların betonarme yapılara göre titreşimlerden daha çok etkilenmesi beklenmektedir. Yapılara arasında tamamen çelik taşıyıcı sistemin olduğu yapılar (Otel Binası ve Satış Ofisi) titreşim değerleri büyüklüğünde 7. ve 8. sıralarda yer alırken sadece çekirdeği betonarme olan Mikro cerrahi Binası'nın 3. sırada yer alması yapının taşıyıcı sisteminin diğer faktörlere kıyasla çok önemli olmadığını göstermektedir. Betonarme taşıyıcı sistemi olan 44 katlı Ümraniye'de Kule'nin de 4. sırada olup 7. sırada bulunan Otel Binası'ndan geri kalması bu çıkarımı desteklemektedir.

Titreşim kaynaklarının farklı etkileri olsa ve taşıyıcı sistemler farklılık gösterse de yüksek yapılar boy/en oranlarının fazla olması nedeniyle yatay salınımlara daha çok maruz kalırlar. Dolayısıyla X ve Y akslarında az katlı yapılara kıyasla daha yüksek titreşim değerleri beklenmektedir. ISO 2631-2 standardındaki ölçümlerde, X – Y akslarındaki en yüksek titreşim değerleri makinelerin çalıştığı Dokuma Atölyesi haricinde Mikro cerrahi Binası (26 kat) ve Ümraniye'de Kule (44 kat) yapılarında elde edilmiştir.

En düşük titreşim değerlerinin ölçüldüğü iki yapı (Okmeydanı Hastanesi ve Üsküdar'da Apartman) az katlı olup aks aralıkları en kısadır. Aks aralıklarının küçük olması yapıyı daha rijit yaptığından titreşimlerin etkisini de azaltabilmektedir.

Ölçümlerde uygulanan ISO 2631-2 ve DIN 4150-2 standartlarını ve ölçüm sonuçlarını değerlendirdiğimizde;

- Her standartta 3 ölçümde birbiriyle yakın ve etkili aks yönünde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.
- İki standarttaki etkili akslar karşılaştırıldığında da tutarlı olmuştur.
- Standartlarda sınır değerleri belirlenen algılanabilir titreşim olaylarına baktığımızda iki standartta genellikle farklı sonuçlarla karşılaşılmıştır. DIN 4150-2 standardına göre yapıdaki 3 ölçümden herhangi birinde algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmeyen yapı bulunmazken ISO 2631-2 standardına göre titreşim

değerlerinin en yüksek olduğu 3 yapı haricinde hiçbir yapıda algılanabilir titreşim olayı gerçekleşmemiştir.

- ISO 2631-2 standardı şu aşamada konfor konusunda sadece değerlendirme yapmak için gerekli formül ve yöntemleri sağlamış dolayısıyla sınır değer belirlememiştir. Değerlendirmeler ve DIN 4150-2 standardıyla karşılaştırmalar sonucunda ISO 2631-2 standardının tutarlı olduğu görülmüştür.
- DIN 4150-2 standardında belirlenen sınır değerler kontrol edildiğinde tüm yapılardaki ölçümler bu sınır değerleri sağlamaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Higgin, J., (1861). "An Enquiry Into The Theory And Application Of Railway Breaks, with Suggestions Of Improvement On The Present Plan", British Association for the Advancement of Science, Section of Mechanical Science, Manchester.
- [2] Goldman, D.E. ve Von Gierke H.E., (1960). "The Effects Of Shock And Vibration On Man", Lecture and Review Series, 60(3):151–198.
- [3] Griffin, M.J., (1996). "Handbook Of Human Vibration", Academic Press, U.K.
- [4] Hunaidi, O., (2000). "Traffic Vibrations in Buildings", National Research Council
- [5] 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
- [6] Cenek, P., (2013). "Vibration Assessment", Ashburton Second Urban Bridge and Associated New Road
- [7] Tamura, Y. ve Kareem, A., (2013). "Advanced Structural Wind Engineering", Chapter 12 Human Perception and Tolerance of Wind-Induced Building Motion, 1. Baskı, Springer, Tokyo
- [8] 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
- [9] Murray vd., (2003). "Design Guide: Floor Vibrations Due to Human Activity", 2. edition, American Institute of Steel Construction, Chicago
- [10] Johnson, A.P. ve Hannen, W.R., (2015). "Vibration Limits For Historic Buildings And Art Collections", The Association For Preservation Technology International Bulletin, 46(4):76-84
- [11] Kawecki vd., (2011). "Consideration of Criteria of Vibration Comfort of People in Diagnosis and Design of Buildings", International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 11(5):582-588

- [12] Kurra, S., (2009). "Çevre Gürültüsü ve Yönetimi", 3. Cilt, 1. Baskı, Uğur Yayıncılık, İstanbul.
- [13] Schiavi vd., (2016). "The Perception Of Vibration In Buildings: A Historical Literature Review And Some Current Progress", Building Acoustics, 23:59–70
- [14] Thompson, Seymour D., (1883). "American Law Register", 31:21.
- [15] Demarest, T.F.C., (1907). "Noise In Its Legal Aspects", 10:9.
- [16] Watson, F.R., (1917) "Recent Developments In Acoustics Of Buildings", School Science and Mathematics, 17(8): 680–683.
- [17] Tuttle, C. ve Morton, C., (1917). "Does Concrete Construction Reduce Vibration?", American Concrete Institute Journal, 13(2):157–162.
- [18] Den Hartog, J.P., (1947). "Mechanical Vibrations", McGraw-Hill Book Company, New York.
- [19] King, A.J., (1946). "The Analysis Of Vibration Problems", Journal of the Institution of Electrical Engineers, 93(35):435–458.
- [20] Guignard, J.C., (1971). "Human Sensitivity To Vibration" Journal Sound and Vibration, 15(1):11–16.
- [21] ISO 2631, (1973). Guide For The Evaluation Of Human Exposure To Whole-Body Vibration, ISO, 1. Baskı.
- [22] Mansfield, N.J., (2005). "Human Response to Vibration", 1. Baskı, CRC Press LLC, New York.
- [23] Erdoğan, S., (2000). "Titreşim-Gürültü Denetimi ve Gereç Seçimi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Yılmaz, V.O., (2005). "Demiryolu Üst Yapısının Dinamik Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Demir, C., (2004). "Titreşim ile İlgili Temel Bilgiler", YTÜ Ders Notları, İstanbul.
- [26] Duarte vd., (2002). "Experimental Evaluation Of Vibration Comfort For A Residential Environment", www.researchgate.net, 10 Ağustos 2017.
- [27] Kouroussis, G., (2014). "Building Vibrations Induced By Human Activities: A Benchmark Of Existing Standards", Mechanics & Industry, 15:345–353.
- [28] Hunaidi, O. ve Tremblay, M., (1997). "Traffic Induced Building Vibrations In Montreal", Canadian Journal of Civil Engineering, 24(5):736–753.
- [29] Davis, B., (2017). "Traffic Vibration: Road Surface Quality Drives Vibration Impacts", www.vibrasure.com/blog/traffic-vibration-road-surface-quality-drives-impacts, 22 Temmuz 2017.
- [30] Koziol, K., (2016). "Impact Of Vibrations On People Residing In Buildings From Different Types Of Traffic Loads According To The VDV Scale", E3S Web of Conferences, 10:46.
- [31] T.C. Resmî Gazete, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. (27601), 04.06.2010.

- [32] Michaels vd., (2009). "Human Body Response To Low Frequency Narrowband Random Building Motions", The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Kasım 8-12, Taipei
- [33] ISO 6897, (1984). Guidelines For The Evaluation Of The Response Of Occupants Of Fixed Structures, Especially Buildings And Off-Shore Structures, To Low-Frequency Horizontal Motion (0,063 to 1 Hz), ISO.
- [34] Schwartz, S., (2008). "Linking Noise and Vibration to Sick Building Syndrome In Office Buildings", Air & Waste Management Association, Mart:25-28
- [35] Floor Vibrations, www.steelconstruction.info/Floor_vibrations, 17 Eylül 2017
- [36] Davis, B., (2016). "How To Think About Footfall Vibration From Walkers In Buildings", www.vibrasure.com/blog/footfall-vibrations-from-walkers-in-buildings, 22 Temmuz 2017.
- [37] Leventhall, H.G., (1987). "Low Frequency Noise and Vibration", Chapter 12: Transportation Noise Reference Book, Butterworths, London
- [38] BS 7385-2, (1993). Evaluation And Measurement For Vibration In Buildings. Guide To Damage Levels From Groundborne Vibration, ISO.
- [39] Gemmel, S., (2010). "Rail Vibration Assessment Stirling Alloa Kincardine Railway Line", Clackmannanshire Council, www.clacks.gov.uk
- [40] DIN 4150-3, (2016). Vibrations In Buildings - Part 3: Effects On Structures, DIN.
- [41] Wesolowsky vd., (2012). "Human-Induced Vibration In Buildings", International Journal of High-Rise Buildings, Mart 1(1):15-19
- [42] 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.
- [43] Davis, B., (2015). "Seen At Building 66: "Vibration From Vehicles Interrupts Work In Labs", www.vibrasure.com/blog/2015/vibration-from-vehicles-interrupts-work-in-labs, 22 Temmuz 2017.
- [44] USBM RI 8507, (1990). Structure Response And Damage Produced By Ground Vibration From Surface Mine Blasting, USBM.
- [45] SN 640 312a, (1992). Shocks; Vibration Effects On Buildings, SN.
- [46] Konon, W. ve Schuring, J., (1985). "Discussion By 'Charles H. Dowding Of Vibration Criteria For Historic Buildings,' " Journal Of Construction Engineering And Management, 111(3):208-215.
- [47] 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
- [48] ISO 2631-1, (2013). Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements, ISO.
- [49] 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.

- [50] DIN 4150-2, (1999). Vibrations in Buildings - Part 2: Effects on Persons in Buildings, DIN.
- [51] BS 6472-1, (2008). Guide to Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings. Vibration Sources Other Than Blasting, BS.
- [52] UNI 9614, (1990). Vibration measurement in buildings and noise evaluation criteria, UNI.
- [53] ÖNORM S 9012, (2010). Assessment of The Influence of Vibration Immissions of Land-Based Traffic on People in Buildings, ÖNORM S.
- [54] SS 460 48 61, (1992). Vibration And Shock - Measurement And Guidelines for The Evaluation Of Comfort in Buildings, SS.
- [55] NS 8176, (2005). Vibration and Shock - Measurement of Vibration in Buildings from Landbased Transport and Guidance to Evaluation of Effects on Human Beings, NS.
- [56] Real Decreto 1367, (2007). October 19, by which Law 37/2003, of November 17, of Noise is developed, in relation to acoustic zoning, quality objectives and acoustic emissions, BOE no. 254., Spain.
- [57] Federal Railroad Administration FRA (2005): High-Speed Ground Transportation – Noise and Vibration Impact Assessment, October, US Department of Transportation.
- [58] Federal Transit Administration FTA (2006): Transit Noise and Vibration Impact Assessment, May, US Department of Transportation.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Emin IŞIK

Doğum Tarihi ve Yeri : 19.12.1991 Üsküdar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : muhammedemin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Derya Öncü Koleji	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014-2017	Sur Yapı	Saha Mimarı

YAYINLARI

Makale

1. **Işık, M. E.** ve Kuruşcu, A. O. (2018). "Yapısal Titreşimlerin Kullanıcı Konforuna Etkisinin İncelenmesi", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, (baskıda).