

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YAPILARIN KORUNMASINDA ve
KORUMA AMAÇLI İMAR PLANLARININ
HAZIRLANMASINDA BİR BELİRLEYİCİ
OLARAK TRAFİK KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN
ÖLÇÜLMESİ ve MODELLENMESİ

İrem AYHAN SELÇUK

Temmuz, 2013

İZMİR

**TARİHİ YAPILARIN KORUNMASINDA ve
KORUMA AMAÇLI İMAR PLANLARININ
HAZIRLANMASINDA BİR BELİRLEYİCİ
OLARAK TRAFİK KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN
ÖLÇÜLMESİ ve MODELLENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Şehir ve Bölge Planlama Programı

İrem AYHAN SELÇUK

Temmuz, 2013

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

İREM AYHAN SELÇUK, tarafından DOÇ. DR. K. MERT ÇUBUKÇU yönetiminde hazırlanan “TARİHİ YAPILARIN KORUNMASINDA ve KORUMA AMAÇLI İMAR PLANLARININ HAZIRLANMASINDA BİR BELİRLEYİCİ OLARAK TRAFİK KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ÖLÇÜLMESİ ve MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. K. Mert ÇUBUKÇU


Yönetici


Yrd. Doç. Dr. M. Yıldırım ORAL

Tez İzleme Komitesi Üyesi


Doç. Dr. Serhan TANYEL

Tez İzleme Komitesi Üyesi


Prof. Dr. A. Fınel GÖBU

Jüri Üyesi


Doç. Dr. T. Kerem KÖRNER

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi'ne geldiği günden beri önümde yeni ufuklar açan; planlama meslek alanında eksik olarak gördüğüm sayısal ispatlar ve sayısal modeller konusunda açıklığını gidermemde öncü olan; akademisyen kimliğimin oluşmasında örnek aldığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. K. Mert ÇUBUKÇU'ya; engin bilgi hazinesi ve tecrübesini dinlerken iç sesimle “kendisinden neden daha fazla yararlanacak ortam oluşturamadığımı” kendi kendime sorduğum Doktora Jüri Üyesi hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Yıldırım ORAL'a; mesleki anlamda kafamı karıştıran, zihnimde sürekli sorguladığım çıkmazları paylaştığım; kendi geleceğime dair umutlar bulduğum, bir akademisyenin öğrencilerine bırakabileceği en büyük mirasın ne olacağını öğrendiğim Doktora Jüri Üyesi hocam Sayın Doç. Dr. Serhan TANYEL'e; Doktora tez savunma sınavımda yeralmayı büyük bir incelikle kabul eden jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. A. Emel GÖKSU ve Doç. Dr. T. Kerem KORAMAZ'a; çalışmalarını tamamlamamda hiçbir desteği benden esirgemeyen Birgi Belediye Başkanı Sayın M. Cumhur ŞENER'e, Birgi Belediyesi çalışanları Ahmet TAMDOĞAN ve Turan NAZİLLİ'ye ve arazi çalışmalarının tüm sürecinde çalışma ekibinin bir parçası olarak katkı koyan Birgi Belediyesi çalışanları Sayın Gürol BOZBAĞ ve Serkan YAŞAR'a, ölçüm sırasında yapıların önünden geçirilen taşıtların şoförlüğünü yapan ismini hatırlayamadığım herkesle birlikte bu çalışmada gönüllü olarak emeği geçen Birgi sakinleri'nden Mustafa DUYGULU'ya; ölçüm aletlerinin belirlenmesinde ve temininde destek olan Ilgaz CANDEMİR'e ve yüksek bütçeli olmasına rağmen bu projeye güvenerek destek veren DEU Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP-2011.kb.FEN.18 No'lu proje desteği için); Birgi'de ölçüm sürecinin uzun zaman almasına rağmen her türlü misafir perverlikleri ve hoş sohbetleriyle evlerinin kapılarını açarak ölçüm yapmama izin veren Birgi Sakinleri'ne ve çalışmanın gerçekleşmesi sırasında gönüllü olarak pek çok yardımda bulunan Birgi Halkı'na, bu süreçte her zaman yanımda olan arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Mercan EFE GÜNEY, Arş. Gör. Gözde EKŞİOĞLU ÇETİNTAHRA ve Arş Gör. Burçin HEPGÜZEL'e; tüm DEU Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına ve özellikle bizlere karşı gösterdiği şefkatli tavırlarıyla hepimizin sevgisini kazanan Sayın Filiz Gürsan'a, Hasan Aslan Türk'e ve teşekkür

bölümünde Sayın Gürsan'ın soyadını yanlış yazdığımı fark ederek uyararak Sayın Filiz İncedere'ye; çocuklarından biri olarak dünyaya geldiğim için kendimi çok şanslı hissettiğim, sahip olduklarımın değerini anımsatan ve bu çalışmanın gerçekleşmesinde benimle birlikte arazi çalışmalarının her aşamasında koydukları katkılarla çalışmayı oluşturan bütünün bir parçası olan ve tek başına gerçekleştiremeyeceğim tüm aşamalarda çalışmayı sahiplenerek bir proje çalışanı gibi ekibe dahil olan annem Yüksel ve babam Selçuk AYHAN'a; virtüözü olamayacağı iş olmadığını düşündüğüm kardeşim Mustafa AYHAN'a; temsilcilik gibi zor bir işi kendi isteğiyle kabul etmesi nedeniyle türünün son örneği olduğunu düşündüğüm ve pratik zekasına hayran kaldığım kardeşim Aydın AYHAN'a; eşim Tayfun SELÇUK'la birlikte hayatıma giren ve hayata karşı mücadelesine, neşesine ve yaşama sevincine hayran kaldığım Nesrin anneme ve bizim için en iyi olanı bulmak için bizden çok yorulan Münir Babama; sabırsızlığıma yenildiğim her konuda durup düşünmemi sağlayan birlikte yaşlanmak istediğim hayat arkadaşım eşim Tayfun SELÇUK'a ve son olarak ben olmamda katkısı bulunduğunu düşündüğüm; metnin çok uzun olmaması için buraya yazmadığım ancak zihnimdeki geniş çerçeveyi sadece varlıklarıyla bile rahatlıkla dolduran herkese teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışma tek bir kişinin çabalarıyla tamamlanması mümkün olmayan yukarıda isimleri geçen ve kendiliğinden oluşan koskoca bir ekibin ürünü olarak değerlendirilmelidir.

İREM AYHAN SELÇUK

**TARİHİ ALANLARIN KORUNMASINDA ve KORUMA AMAÇLI İMAR
PLANLARININ HAZIRLANMASINDA BİR BELİRLEYİCİ OLARAK
TRAFİK KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN ÖLÇÜLMESİ ve
MODELLENMESİ**

ÖZ

Trafik kaynaklı titreşimler Dünya'nın pek çok ülkesinde inceleme konusu olup; bu çalışmada konut kullanımlı tescilli taş yapılarda oluşan trafik kaynaklı titreşim düzeyleri ölçülmüş ve koruma amaçlı imar planı kararları ile kontrol edilebilen değişkenlerle açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında İzmir İli, Ödemiş İlçesi, Birgi Beldesi'nde bulunan on adet tescilli yapıda kontrollü olarak geçirilen kamyon, minibüs, ambulans, itfaiye, özel araç ve traktör ile oluşan titreşim düzeyleri yapının girişinde yola bakan iki köşesi ile orta noktasına sabitlenen sensörler ile ölçülmüştür. Çalışma kapsamında 630 adet ölçüm değeri elde edilmiş, ancak orta noktada konumlandırılan sensörden alınan değerlerin daha sağlıklı olması nedeniyle hatasız olduğu tespit edilen 199 titreşim değeri analizlerde kullanılmıştır.

Çalışmada, yapıda oluşan trafik kaynaklı titreşim düzeyi (1) yapıya ve (2) taşıta, (3) çevreye ait özellikler ile (4) koruma amaçlı imar planı kararları ile kontrol edilebilen değişkenler ile çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen final modelde bağımlı değişkenin varyansının yüzde 86,3'ü (R kare değeri 0,863) açıklanabilmiştir. Yapıya bitişik bir bahçe duvarı bulunması, yapının önünde açık alan niteliğinde bir alan olması, yapının iki tarafında yapıya bitişik ve daha az yükseklikte binalar bulunması, tekerleklerin tümünün aynı çapta olması ve yapının önünde su kanalı bulunması; titreşim düzeyiyle ters orantılı bulunmuştur. Yapının önündeki yol kesişim noktası sayısı, yapı büyüklüğü, taşıtın toplam ağırlığı ve eğim durumu ise yapıda oluşan titreşim düzeyiyle doğru orantılı bulunmuştur. Bununla birlikte ölçüm yapılan yapının zemin malzemesinin karo olması, trafik kaynaklı titreşimleri diğer zemin malzemelerine göre en fazla azalttığı tespit edilen malzemeyken; karoyu sırasıyla mozaik kaplama, beton, ahşap, taş

döşeme, kayrak taşı ve toprak takip etmektedir. Taşıt hızı hariç, değişkenlerin tümü 0,05 düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Trafik kaynaklı titreşim, planlama, koruma amaçlı imar planı, tescilli yapılar, taş yapılar.

MEASURING AND MODELLING TRAFFIC INDUCED VIBRATIONS AS A DECISIVE TOOL IN PLANNING AND CONSERVATION OF HISTORIC AREAS

ABSTRACT

The level traffic induced vibrations on historic stone buildings are measured, and then statistically modeled using explanatory variables that can be controlled through planning decisions.

The traffic induced vibration levels are measured for 10 historic stone buildings in Birgi, İzmir, Turkey using a truck, a midibus, an ambulance, a fire truck, a tractor, and a car. Three sensors are used in each building, where one of them is placed in the middle of the ground floor and the remaining two on the front corners of the building at the same floor.

The final model explains 86,3 percent of the variation in the traffic induced peak vibration levels on historic stone buildings. Presence of a wall detached to the building, presence of an empty space (like a porch or a park) in front of the building, presence of detached buildings on sides of the building, presence of a water canal in front of the building are found to be negatively related to traffic vibration levels. The vehicles with same-diameter-tires are also found to induce less vibration on historic stone buildings compared to the vehicles with asymmetric-diameter-tires (like tractors). The number of intersections in front of the building, size of the building, slope, and total vehicle weight are found to be positively related to traffic vibration levels. The material of the ground floor is also found effective in traffic induced vibrations, where soil yields the highest vibration level. Slate, stone, wood, concrete, mosaic coating and tile materials yield less vibration levels orderly. All variables, but the speed of the vehicle, are found to be statistically significant at the 0,05 level.

Keywords: Traffic induced vibration, planning, conservation, conservation-oriented planning, historic buildings, stone buildings.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	v
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

BÖLÜM İKİ - LİTERATÜR TARAMASI..... 9

2.1 Trafik Kaynaklı Titreşimler 9

2.1.1 Titreşimle İlgili Geçmiş Çalışmalar ve Alınan Sonuçlar11

2.2.1 Titreşime Neden Olan Faktörler20

2.2.1.1 Başlangıç/Kaynak Noktası Temelli Faktörler21

2.2.1.2 Geçiş Alanı Temelli Faktörler30

2.2.1.3 Alıcı Temelli Faktörler.....31

2.2.1.4 Diğer Faktörler31

2.1.3 Titreşimden Kaynaklanan Olumsuz Etkiler33

2.1.4 Titreşimi Engellemek için Yapılabilecek Müdahaleler36

2.2 Literatür Çerçevesinde Yapılabilecek Çıkarımlar.....43

BÖLÜM ÜÇ - VERİ TOPLAMA ve VERİ TABANI OLUŞTURMA.....49

3.1 Titreşim Ölçümü Yapılacak Yapılar ve Caddeler49

3.2 Veri Kaynakları ve Ölçümler.....59

3.3 Titreşim Ölçüm Aletleri60

3.4 Sensörlerin Konumlandırılacağı Yerler.....	64
3.5 Ölçümlere Hazırlanma Süreci ve Ölçümler.....	72
3.6 Ölçüm Sonuçları	86
BÖLÜM DÖRT - ANALİZ	99
BÖLÜM BEŞ - SONUÇ.....	119
KAYNAKLAR.....	139

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Birgi’de titreşim ölçümü yapılan yapılar	54
Şekil 3.2 118 no’lu yapı	55
Şekil 3.3 104 no’lu yapı	55
Şekil 3.4 102 no’lu yapı	56
Şekil 3.5 94/B no’lu yapı	56
Şekil 3.6 92 no’lu yapı	57
Şekil 3.7 86 no’lu yapı	57
Şekil 3.8 82 no’lu yapı	58
Şekil 3.9 80 no’lu yapı	58
Şekil 3.10 78 no’lu yapı	59
Şekil 3.11 129 no’lu yapı	59
Şekil 3.12 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar	70
Şekil 3.13 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar	71
Şekil 3.14 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar	72
Şekil 3.15 Farklı zemin malzemeleri	76
Şekil 3.16 Farklı yüksekliklerde konumlandırılan sensörler	77
Şekil 3.17 Yapılarda çelik metre yardımıyla en-boy ölçümleri	77
Şekil 3.18 Dışarıyla iletişimi zorlaştıran penceresiz odalar	78
Şekil 3.19 Çalışma koşullarını zorlaştıran faktörler	78
Şekil 3.20 Minibüsün dolu geçmesi konusunda yardım eden Birgi sakinleri	79
Şekil 3.21 Gönüllü olarak yardımcı olan insanlar	79
Şekil 3.22 Ölçümün başlaması/bitirilmesi için yapılan işaretler	80
Şekil 3.23 Zemine sabitlenmeye çalışılan sensörler	80
Şekil 3.24 Aynı yapıda farklı türde zemin malzemeleri olması durumu	81
Şekil 3.25 Arazi çalışmalarından diğer görüntüler	81
Şekil 3.26 Yapının önünden geçirilen traktör	82
Şekil 3.27 Yapının önünden geçirilen itfaiye aracı	82
Şekil 3.28 Sensör no’suna göre konumlandırıldığı yer bilgisinin kaydı	83
Şekil 3.29 Yapının önünden geçirilen otomobil	83
Şekil 3.30 Zeminin üstündeki kilim vb. eşyaların kaldırılması	84

Şekil 3.31 Yapının önünden geçirilen kamyon	84
Şekil 3.32 Taşıtların yüklü geçişleri	85
Şekil 3.33 Sensörlerin yere sabitlenmesi ve yüzeydeki çatlaklar	85
Şekil 3.34 Titreşim ölçüm süreci	86
Şekil 3.35 15 km/sa hızla giden itfaiye aracının üç ayrı sensörde oluşturduğu titreşim düzeyleri	87
Şekil 3.36 15 km/sa hızla giden itfaiye aracının üç ayrı sensörde oluşturduğu titreşim düzeyleri	87
Şekil 3.37 118 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	93
Şekil 3.38 104 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	94
Şekil 3.39 102 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	94
Şekil 3.40 94/B No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	95
Şekil 3.41 92 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	95
Şekil 3.42 86 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	96
Şekil 3.43 82 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	96
Şekil 3.44 80 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	97
Şekil 3.45 78 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	97
Şekil 3.46 129 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi	98
Şekil 4.1 Zirveden zirveye, zirve ve titreşimin ortalamasının karekökü grafikleri ..	105
Şekil 4.2 Bağımlı değişkenin \ln_{pk} olduğu normal dağılım eğrisi	115
Şekil 4.3 Regresyon analizinin normal p-p grafiği	115
Şekil 4.4 Yol kesişim sayısı ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki	116

Şekil 4.5 Yapı büyüklüğü ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki...	116
Şekil 4.6 Toplam ağırlık ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki.....	117
Şekil 4.7 Eğim durumu ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki	117
Şekil 4.8 Taşıt hızı ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki	118
Şekil 5.1 Venedik'te vapur kaynaklı titreşimleri azaltmayı hedefleyen yapı kemerleri	121
Şekil 5.2 Karo zemin.....	123
Şekil 5.3 Beton zemin	123
Şekil 5.4 Ahşap zemin	124
Şekil 5.5 Taş zemin.....	124
Şekil 5.6 Kayrak taşı zemin.....	125
Şekil 5.7 Toprak zemin	125

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Titreşime neden olan faktörler ve bu faktörleri referans gösteren kaynaklar	22
Tablo 2.2 Literatür taramaları sonucunda elde edilen görüşlerin araştırmacılara göre kategorik olarak dağılımı	43
Tablo 2.3 Yapılarla ilgili değişkenler	44
Tablo 2.4 Zeminle ilgili değişkenler	44
Tablo 2.5 Zamansal ve iklimsel değişkenler	45
Tablo 2.6 Yol düzensizlikleri/bariyerleriyle ilgili değişkenler.....	45
Tablo 2.7 Taşıtlarla ilgili değişkenler	46
Tablo 2.8 Ölçümler sırasında dikkat edilmesi gerekenler.....	47
Tablo 3.1 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları	50
Tablo 3.2 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları	51
Tablo 3.3 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları	52
Tablo 3.4 Titreşim ölçüm çalışmasına uygunlukları açısından konut tablosu	53
Tablo 3.5 Literatür kapsamında yapılan geçmiş çalışmalarda kullanılan ölçüm aletleri	63
Tablo 3.6 11.04.2012-19.04.2012 Tarihleri arasında Ödemiş/Birgi'de yapılan titreşim ölçüm verilerine ait kısaltmalar ve açıklamaları.....	88
Tablo 3.7 Betimleyici istatistikler.....	91
Tablo 4.1 Kısaltmalar ve açıklamaları	102
Tablo 4.2 Sensörün yapının orta noktasına yerleştirildiği durumda verilere ilişkin betimleyici istatistikler	108
Tablo 4.3 Betimleyici İstatistikler	110
Tablo 4.4 Parametre tahminleri	111
Tablo 4.5 Final modelde yeralan bağımlı ve bağımsız değişkenler ve açıklamaları	112

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Eski kentlerde sınırlar insanların yürüyerek ulaşabilecekleri en uzak noktalar aracılığıyla oluşurken; bugün teknolojik gelişmelerin sağladığı imkanlar ve nüfus artışıyla birlikte kentler; geniş alanlara yayılan ve yer yer kontrolsüz olarak büyüyen mekanizmalar haline gelmiştir. Dolayısıyla kentlerin birbiriyle ilişki kuran pek çok sistemi içerisinde barındırması nedeniyle ulaşım artık temel bir ihtiyaç alanıdır.

İnsanların biraraya gelerek oluşturdukları organizasyonel yapıların adı komşuluk biriminden kente kadar değişse de, söz konusu organizasyonu oluşturan bireylerin, yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve gündelik hayatlarını idame ettirebilmek, her zaman için öncelikle “ulaşım ihtiyaçlarının” karşılanmasıyla mümkün olmuştur. Dolayısıyla farklı fonksiyonları birbirine bağlayan, fonksiyonlar arasında ilişki kuran ulaşım sistemlerinin doğru şekilde kurgulanması, bireylerin gündelik hayatlarını belirli standartlarda sürdürebilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte internet sayesinde işyerinde çalışma, alışveriş için alışveriş merkezlerine gitme, sokakta oyun oynama, sinemada film izleme; oyun konsolları sayesinde spor salonlarında spor yapma gibi aktiviteler artık her yerde karşılanabiliyor olmaları nedeniyle eskisi kadar kalmasa da; bireyselleşmenin giderek ön plana çıktığı günümüzde ulaşım halen daha insanların en önemli problemlerinden biridir.

Yakın zamanda yapılaşmış kentsel bölgelerde ve yeni gelişme alanlarında ulaşım sistemine yönelik kararlar daha rahat alınabilir ve uygulama olanağı bulurken; bir dönemin kültürel özelliklerini temsil eden korunması gerekli alanlarda karar alma süreci; farklı disiplinlerden uzmanların tarif ettikleri sorun alanları üzerinden belirlenmektedir. Bununla birlikte; bir dönemin özelliklerini yansıtan bu alanlar; kuruldukları dönemin ulaşım araçlarının at, eşek vb. binek hayvanlarından oluşması ve o döneme özgü kentlerin sınırlarının yürüme mesafesi kadar olması nedeniyle; genellikle günümüz ulaşım araçları için uygun alanlar oluşturmazlar. Doğal olarak tarihi alanların sahip olduğu özgün dokuyu korurken; eski kentin çeperini oluşturan

noktaların yeni kentin çeperini oluşturan noktalarla ilişkisini oluşturacak ulaşım sistemini de düşünmek gerekmektedir.

Yürürlükteki mevzuat hükümleri çerçevesinde yetkili kurumlarca alınan sit kararları, tescillenen yapılar, Koruma Amaçlı İmar Planları ve sit alanının çevresinde etkileşim-geçiş sahasına yönelik belirlenen koşullar; bugün Türkiye’de bu dengenin sağlanması için yapılan çalışmalardandır. Ancak dikkat çekmiştir ki; Birleşik Krallıklar, Polonya, Almanya, Danimarka gibi ülkelerde yeni gelişme alanları ve koruma alanları için standart geliştirme çalışmaları sürdürülürken; Türkiye’de trafik kaynaklı titreşimlerin tarihi yapılarda neden olduğu titreşimler ve bu titreşimlerin hasara neden olup olmadığı konusunda Koruma Amaçlı İmar Planları’nda kullanılabilir, koruma mevzuatına ve plan notlarına girebilecek bir çalışma yapılmamıştır.

Literatürde trafik kaynaklı titreşimin etkilerine yönelik olarak öngörüle bulunan çalışmalarla, deneysel testlerle sonuca ulaşan çalışmalar ayrılmaktadır. Öngörüle bulunan çalışmalardan Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Watts ve Krylov (2000), Pyl ve diğer. (2002), Klaoe ve diğer. (2003), Pau ve diğer. (2005), D’apuzzo (2007), Jurevichius, Vekteris ve Daktariunas (2007) ve Kuter ve Erdoğan (2008) yer temelli titreşimlerin yapılarda hasara neden olacağını düşünürken; Kliukas ve diğer. (2008) yer temelli titreşimlerin yapılarda hasar oluşturduğunu kanıtlamışlardır. Bununla birlikte Watts (1990), Hajek, Blaney ve Hein (2006), Office of Planning and Environment Federal Transit Administration (2006) ise yer temelli titreşimlerin genellikle hasara neden olmayacağını düşünmektedirler. Watts (1990), Hunaidi ve Tremblay (1997), Hunaidi ve Gallagher (2000), Tomazevic ve diğer. (2006), Pau ve Vestroni (2008) ve Tucholka ve diğer. (2008); trafik kaynaklı titreşimlerin yapının önceden maruz kaldığı gerilmeleri tetikleyeceğini düşünürken; Candemir (2005, 2008), Office of Planning and Environment Federal Transit Administration, (2006), Pau ve Vestroni (2008) ve Korkmaz ve diğer. (2010) ise titreşimin yapılar üzerindeki etkisinin özellikle eski yerleşmelerde dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Clemente ve Rinaldis (1998) ve Tucholka ve diğer. (2008) yer temelli titreşimlerin tarihi yapılarda

hasara neden olduğunu ifade ederken; Li, Zou ve Omenzetter (2009) trafik kaynaklı titreşimlerin modern ve hafif yapılarda problem oluşturduğunu belirtmişlerdir. Hao ve diğer. (2001) yer temelli titreşimlerin yapılarda hasar oluşturmadığını kanıtlamışken; Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Pau ve diğer. (2005), Hajek ve diğer. (2006) trafik kaynaklı titreşimlerin hasar oluşturma riskini düşük bulmuştur. Traffic Advisory Leaflet (1996), Jaks, Griffith ve Grounds, (2002), Pau ve Vestroni (2008), Penton ve Taylor (2008), Li, Zou ve Omenzetter (2009), Harvey, Curley ve Thalheimer (2010) ve Suandi (2010) trafik kaynaklı titreşimlerin yapılarda/duyarlı aletlerde vb. hasar oluşturmadığını tespit eden araştırmacılarıdır.

Tarihi yapılarda, yapıldıkları dönemin özgün yapı malzemesi olarak genellikle ahşabın ve taşın; yol malzemesi olarak ise taşın kullanılması, trafik kaynaklı titreşimin yapı elemanlarına iletilmesini hızlandırmakta olup; bu çalışmanın amacı tarihi yapılarda titreşim ölçümü yaparak; bu titreşim düzeylerine etki eden faktörlerin belirlenmesi, titreşim düzeyinin istatistiksel olarak modellenmesi ve titreşim düzeyinin Koruma Amaçlı İmar Planı kararları ile nasıl kontrol altında tutulabileceğinin irdelenmesidir.

Çalışma kapsamında konut kullanımındaki taş yapılarda taşıt (ambulans, itfaiye, minibüs, kamyon, traktör, otomobil) kaynaklı trafiğin oluşturduğu titreşim düzeyleri incelenmiştir. Trafik kaynaklı titreşimler tarihi yapılara zarar verdiği düşünülen en önemli problemlerden biri olmasına rağmen; tüm dünyada bu konuda yapılmış ampirik çalışma sayısı çok azdır. Türkiye’de ise; kapsamı ve niteliği dikkate alındığında bu çalışma bir ilktir. Trafik kaynaklı titreşime etki eden ve plan kararları ile kontrol edilebilen faktörlerin belirlenmesi açısından bakıldığında, çalışma literatürde de bir ilktir.

Bu çalışma; Türkiye’de bu konudaki mevzuatın düzenlenmesine ilişkin de önem arz etmektedir. Bu süreçte koruma kararı alınan alanlarda yetkili idarelerin tamamlamakla yükümlü olduğu Koruma Amaçlı İmar Planları’nda, yol kesişim sayısı, yapının bir taraftan bahçe duvarına bitişik olması, yapıya iki taraftan bitişik ve farklı yükseklikte başka yapılar olması, yapının karşı cephesinde açık alan vb. alanlar bulunması gibi plan kararlarının trafik kaynaklı titreşime olan etkileri sayısal olarak

ortaya konacaktır. Ayrıca, ulaşım sistemine ilişkin uygulamalarda taşıtın toplam ağırlığı, tekerlek çaplarının durumu, zeminin eğim durumu, yapının zemin malzemesinin taş, beton, kayrak taşı, ahşap, mozaik kaplama ya da karo olması, yapı büyüklüğü ve yapının önünde su kanalı bulunup bulunmaması gibi kararların titreşime olan etkileri de ortaya konacaktır. Dolayısıyla, kültürel miras alanlarında alınacak plan kararları ve yapılacak düzenlemelerde, söz konusu bölgelerin koruma koşulları iyileştirilecek ve bir döneme tanıklık etmiş kültürel miras alanlarının, planlı ve sistemli bir şekilde gelecek nesillere aktarılmasına katkı sağlanacaktır.

Bu çalışma kapsamında Ödemiş/Birgi’de bulunan konut kullanımındaki on adet tescilli taş yapı belirlenmiş; Birgi Belediyesi’nin yardımıyla yapı kullanıcılarından gerekli izinler alınmış, yine Birgi Belediyesi’nin desteğiyle kamyon, minibüs, ambulans, itfaiye ve römorklu traktör ölçümlerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Mayıs ayıyla birlikte Birgi’deki turist yoğunluğunun artmasının; taşıt geçişlerini ve titreşim değerlerinin sağlıklı bir şekilde kaydını zorlaştıracak olması nedeniyle ölçümlerin mayıs ayına girmeden tamamlanması önem kazanmış; bununla birlikte 23 Nisan Ulusal Egemenlik ve Çocuk Bayramı’na yönelik yürüyüş çalışmalarının yapıldığı durumlarla, titreşim ölçümlerinde kullanılacak araçlarla, araçları kullanacak personelin izinli olduğu günler, turistlerin ziyaret günleri olan haftasonları, belediye temizlik araçlarının çalıştığı dönemler, pazarın kurulduğu günler ve havanın yağışlı olduğu günler; titreşim ölçümlerine ara verilen zamanlar olmuştur.

Bu sınırlayıcılar dikkate alınarak kullanıcılardan izin alınan konut kullanımındaki on adet tescilli taş yapının taşıt geçirecek yola bakan cephesindeki ilk bölümünün geometrik olarak orta noktasına bir sensör ve yola bakan iki köşe noktasına birer sensör olmak üzere toplam üç adet titreşim sensörü, zemin üzerindeki halı, kilim vb. malzemeler kaldırılarak sabitlenmiştir. Yapının önünden geçirecek taşıtlar, istenen hıza ulaşabilmeleri açısından yolun yapıya uzak olan her iki bölümünde yokuş aşağısında ve yukarısında hazır olarak bekletilmiş; ölçümlerin başlatılacağı ve bitireceği noktalar su şişeleri yardımıyla işaretlenmiştir. Taşıtı kullanan şoförlere üç seferde olmak üzere 25, 50 ve 75 km. hızlarla yapıların

önünden geçmeleri ve her geçişlerindeki hızlarını net olarak bildirmeleri istenmiş; ancak kamyon, römorklu traktör ve itfaiye aracının istenen hız limitlerine ulaşamaması nedeniyle çıkabildikleri maksimum hızlar üzerinden çalışma sürdürülmüştür.

Ölçümler yokuş aşağı ve yokuş yukarı olmak üzere ve kamyon ve römorklu traktör toprak yüklenip kantarda ölçülerek ve yüksüz ağırlıklarıyla olmak üzere toplam altı taşıt türü konut kullanımındaki on adet tescilli taş yapının önünden toplam 210 kez geçirilmiş; üç sensörden toplam 630 adet titreşim değeri elde edilmiştir. On sekiz adet titreşim değerinin hatalı olması nedeniyle çalışma kapsamı dışında bırakılmış ve çalışma 612 titreşim değerinin SPSS programında; titreşimi etkilediği düşünülen bağımsız 104 değişkenle analiz edilmesi ile sürdürülmüştür. Bağımsız değişkenler literatür taramaları sonucunda yapılan çıkarsamalar ve Birgi’de ölçüm yapılan alanın özelliklerine bağlı olarak tespit edilmiş; çalışma sonucunda bağımsız değişkenlerin titreşimi hangi oranlarda ve hangi yönde etkilediği incelenmiştir.

Literatür çerçevesinde tespit edilen ölçüm aletleri araştırılmış ve bu çalışmada kullanılan ölçüm aletleri çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Bu çalışmada Brüel&Kaer marka üç adet akselerometre (titreşim sensörü) kullanılmış olup; bu cihazların sinyal koşullandırma işlemini tek başına yapabilme özelliğine sahip olması nedeniyle sinyal koşullandırıcı kullanılmamıştır. Veri kaydını yapabilmek için bir dizüstü bilgisayar ve Brüel&Kjær marka RT Pro Photon analiz sistemi kullanılmıştır. Tüm gerekli ekipman Brüel&Kjær marka veri toplama kartına akselerometreleri bağlamak üzere üç adet otuz metrelik veri aktarımını sağlayacak kablo ile birlikte Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeler Birimi’nin 2011.kb.FEN.18 No’lu Projesi kapsamında İstanbul’daki bir firma aracılığıyla Danimarka’dan getirtilmiştir.

Literatür kapsamında yapılan araştırmalarda insan algısının altındaki titreşimler 0,15-0,30 mm/sn aralığında olup; titreşim düzeylerinin bu değerlerin üzerine çıkması insanların konfor düzeyini etkilemekte olup; herhangi bir hasara neden olmadığı

kabul edilmektedir. Titreşim değerinin 2 mm/sn'nin üzerine çıkması ise rahat bir şekilde algılanabilir titreşimler oluştururken; tarihi ve anıtsal yapılar için üst düzey olarak kabul edilmektedir. Trafik kaynaklı titreşimlerin 2 mm/sn'nin üzerine çıkması yıllardır çevresel ve doğal nedenlerle eskimiş, yorulmuş ve gerilmelere maruz kalmış yapılarda hasar oluşturacağı düşünülmektedir. Titreşim düzeyinin 2,5 mm/sn olması durumunda normal yapılarda hasar beklenmezken; 5 mm/sn'nin üzerine çıkması durumunda yeni yapılarda da hasar oluşması beklenmektedir. Titreşim düzeyinin 10-15 mm/sn arasında olması ise trafikten beklenen titreşim düzeyleri olmamakla birlikte; beklenenden fazla titreşim düzeyleridir. Özellikle köprü üzerinde yürüyen insanları rahatsız ederken; bu titreşim düzeylerinin hasar yaratma riski yüksektir.

Bu çalışma kapsamında 2 mm/sn'yi aşan ve tarihi yapılarda hasar oluşturması beklenen bir titreşim düzeyine rastlanmamış olmakla birlikte; oluşan titreşimlerin insan algısını aşan titreşimler (0,30; 0,40 mm/sn vb.) olması; yapıda oturan insanların konfor düzeyini olumsuz etkilemesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte bu çalışmada taşıtların yapıların önünden teker teker geçirildiği düşünüldüğünde; bir kamyon yerine iki ya da daha fazla kamyonun ya da farklı taşıt türlerinin birarada geçmesi durumunda; tespit edilen titreşim değerlerinin çok daha fazla olacağı; dolayısıyla normal koşullarda yapının önünden arka arkaya, farklı hızlarda, farklı yüklerde geçen farklı taşıt türlerinin; çok daha yüksek titreşim düzeylerine neden olması nedeniyle etkilerinin de çok daha büyük olacağı dikkate alınmalıdır.

Tarihi alanların ve tarihi yapıların her birinin sahip olduğu koşulların farklı olması, farklı tarihi, doğal süreçlerden geçmiş olmaları, yorgunluk katsayıları ve gerilmelerinin farklı olması gibi nedenlerle; bu çalışma her tarihi ve kültürel öneme sahip alanda; alanın özelliklerine bağlı olarak farklı sonuçların alınacak olması nedeniyle tekrar edilmelidir. Tarihi ve kültürel alanları çalışıyor olmanın doğası gereği; sözkonusu alanların korunmasına yönelik olarak alınacak kararların; bir dönemin özelliklerini yansıtan korunması gerekli alanların ve yapıların özgün dokusuna aykırı olmayan; tarihi alanları ve yapıları aynen koruyarak yaşatacak önlemleri oluşturması gerektirmektedir. Literatürde korunan yapılarla birlikte korunan yollar da sözkonusu olup; tarihi ve kültürel alanlarda yol ve yapı ilişkisinin

de aynen korunması; tarihi alanın sahip olduğu özgün fiziksel ve mekânsal özelliklerin korunması açısından önemlidir. Dolayısıyla bu çalışma sonucunda tespit edilen ve trafik kaynaklı titreşimleri etkileme düzeyleri ve etki yönleri belirlenen değişkenlerin; tarihi alanın ya da yapının sahip olduğu özgün dokunun korunmasına aykırı bir müdahaleyi gerektirmesi durumunda; uygulanacak müdahale biçimine yine uzmanlar tarafından karar verilmelidir. Ancak özellikle tarihi alanın ya da yapının trafikten kaynaklanan titreşimlerden daha az etkilenmesine yönelik müdahale edilecek yerlerin özgün mimarisine ilişkin bilgilere ulaşamadığı durumlarda; trafik kaynaklı titreşimleri en aza indirecek müdahale biçimlerinin uygulanması sözkonusu olabilecektir.

Bu çalışma kapsamında yol kesişim sayısı, yapıya bitişik bir bahçe duvarı olması, yapının her iki tarafında yapıya bitişik başka yapılar olması, yapının altından geçen bir su kanalı bulunması, taşıtın toplam ağırlığı, yapının önünde açık alan olması, yapının zemin malzemeleri, yapı büyüklüğü, eğim durumu ve yapının önünden geçen taşıtların düzgün çapta olması; trafik kaynaklı titreşimleri farklı oranlarda ve yönlerde etkilediği tespit edilen değişkenlerdir. Dolayısıyla örneğin ölçüm yapılan yapının özgün zemin malzemesine ulaşamadığı durumlarda; bu çalışma kapsamında titreşim düzeyini en fazla azalttığı tespit edilen zemin malzemesi olması nedeniyle karo ardından mozaik kaplama, beton, ahşap, taş döşeme ya da kayrak taşı yapının mimari özelliği de dikkate alınarak uygulanabilecektir.

Bununla birlikte ölçüm yapılan yapıların önceden restorasyon görmesi durumu ile restorasyonun detayları da trafik kaynaklı titreşim çalışmaları açısından önemli olan başka bir konudur. Birgi’de yapılan çalışmalarda yapıların öncesinde restorasyon görmüş olmasına dikkat edilmemiş olup; bu çalışma benzeri bir çalışma tarihi yapılar restorasyon görmeden önce yapılıp; benzer koşullar sağlanarak restorasyon sonrasında yinelenerek; yapılarda restorasyon sonrasındaki malzeme değişiklikleri itibariyle trafik kaynaklı titreşim düzeylerinde ne gibi değişikliklerin meydana geldiği başka bir inceleme konusu olabilecektir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle literatür taramaları aktarılacak ve literatürden yapılabilecek çıkarsamalar değerlendirilecek; ardından ölçüm yapılacak yapıların tespitine, arazi çalışmalarına ve trafik kaynaklı titreşimlere yönelik analizlere yer verilerek çalışma sonlandırılacaktır.

Literatürde ölçümlerin daha sağlıklı olması amacıyla aynı anda yapının her katında yapının uzunluğuna bağlı olarak belirli mesafelerle en az üçer adet sensörle ölçüm yapılmasını önermesine rağmen; çok yüksek maliyetlere ulaşması nedeniyle yapının sadece zemin katında, yapıya girişteki ilk yapı bölümünde üç adet sensörle ölçüm yapılması çalışmanın sınırlayıcılarından bir tanesidir. Titreşim ölçümlerinin analizinde ve değerlendirilmesinde bu konuda yeterli uzman olmaması çalışmanın ikinci sınırlayıcısı olup; detaylı bir jeolojik ve zemin etüdü çalışmasına ulaşamaması da çalışmanın diğer bir sınırlayıcısıdır. Ölçümlerde otobüsten kaynaklanan titreşimlerin değerlendirilememesi çalışmanın dördüncü kısıtı olup; literatürde otobüsün kamyonundan çok daha fazla titreşime neden olduğu kaydedilmiştir. İtfaiye aracındaki suyun acil bir durumda sorun oluşturacak olması nedeniyle boşaltılamaması; itfaiye aracının her koşulda su dolu olarak seyahat etmek zorunda olması nedeniyle bir sınırlayıcı olarak değerlendirilmemiştir.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Trafik Kaynaklı Titreşimler

Potansiyel ve kinetik enerji içeren tüm sistemler, dinamik yüklere maruz kalmaları durumunda titreşim hareketi yapmaktadırlar (Öztürk, Öztürk, ve Arlı, bt). Konut alanları, fabrikalar, havaalanları, savunma alanları, elektronik sisteme sahip laboratuvarlar, radyo istasyonları, film stüdyoları ve büyük kek ve pasta fabrikaları vb. pek çok alan titreşim düzeyleri açısından hassas alanlardır (Hendriks, 2002).

Titreşimler yer ve hava temelli olarak ikiye ayrılmakta olup; yer temelli titreşimlerin kaynakları doğal olaylar (depremler, volkanik patlamalar, deniz dalgaları ve ada bölünmeleri vb.) ve insan yapımı titreşimlerdir (patlamalar, makinalaşma, trafik, trenler, inşaat aletleri vb.) (Hendriks, 2002). Etkileri bakımından ise (1) algılanabilir titreşimler (yapıların sallanmasına neden olan titreşimler) ve (2) yer temelli gürültüler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Penton ve Taylor, 2008).

Hunaidi (1996) titreşimin iç kaynaklarını (1) makinalaşma, (2) HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) Isıtma-Havalandırma-İklimlendirme sistemleri, (3) asansörler ve (4) hanede oturanların aktiviteleri olarak tanımlamıştır. Dış kaynaklar ise (1) deprem, (2) rüzgar, (3) gürültü ve inşaat işleri ve (4) **karayolu ve demiryolu trafiğidir** (Hunaidi, 1996).

Titreşime neden olan faktörlerin anlaşılabilmesi için öncelikle titreşimin oluşma şeklinin anlaşılması gerekmektedir. Taşıt kaynaklı yer temelli titreşimler, taşıt tekerleklerinin yol yüzeyindeki düzensizliklere rastlaması sonucu oluşur (Traffic Advisory Leaflet, 1996). Taşıtlar yol yüzeyindeki düzensiz cisimlere rastladıklarında (ızgara kapakları, delikler, çatlaklar, rogar kapakları vb.) asfalta dinamik yüklemeler yaparlar. Bu yüklemeler stres dalgaları oluşturur ve stres dalgaları da yapılara ulaşarak yapılar üzerinde titreşimler meydana getirir (Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Gallagher, 2000). Pau ve Vestroni (2008) trafik kaynaklı titreşimlerin taşıt-zemin

etkileşimi sonucu oluşan stres dalgaları sonucu ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Stres dalgaları yapılara ulaşarak titreşmelerine neden olmaktadır (Pau ve Vestroni, 2008).

Watts (1990) çalışmasında; yer temelli titreşimlerin hava kaynaklı titreşimlerden daha büyük etkilere sahip olduğunu ifade etmiştir. Yer temelli titreşimlerin genellikle 8-20 Hz aralığında olduğunu belirttiği çalışmasında; bu titreşimlerin lastik ve yol arasında oluşmakta olduğunu; yapı kenarından geçen ağır taşıtların yol yüzeyindeki pürüzlere rastlaması durumunda ise yapılarda algılanabilir titreşimler oluştuğunu belirtmiştir. Sustrans (bt) da, Watts'a (1990) benzer şekilde yoldan düzenli olarak ağır taşıtların geçtiği durumlarda yer temelli titreşimlerin veya gürültünün oluşabileceğini belirtmiştir. Trafik aktivitelerinden; aşırı titreşime neden olanlar yola bitişik yapılarda hareketler meydana getirmektedir (Suandi, 2010).

Trafik kaynaklı titreşimlerde, yapıya ve yola ait frekans düzeylerinin önemi büyüktür. Toprak ve Aktürk (2002) taşıt ve yol sisteminin her bir elemanının kendine ait bir frekansa sahip olduğunu belirttikleri çalışmalarında; tekerleklerin ilettikleri yüklerin frekansının yapı elemanlarının frekanslarından birine uymasının kuvvetli bir titreşim oluşturacağını ifade etmişlerdir. Hunaidi (1996) de her zeminin kendine ait doğal bir frekansı olduğundan bahsetmiş; bu frekansın zeminin yumuşaklığına ve tabakalaşmasına bağlı olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte yer frekansının, yapı veya yapı bileşenlerinin frekansıyla tutmasının rezonans oluşturacağını ve bu durumun titreşimin büyümesine neden olacağını vurgulamıştır.

Hunaidi ve Gallagher (2000) otobüs veya kamyonun yoldaki herhangi bir düzensizlikle karşılaştığında taşıtın aks hopunda darbeleri bir yüklem ve salınım gerçekleşeceğini; bu yüklemelerin taşıtın suspansiyon sistemine bağlı olarak zeminde doğal frekanslar oluşturacağını belirtmiştir. Zemin frekansları yapının veya yapı bileşenlerinin frekanslarına uyarsa rezonans oluşur ve oluşan titreşim şiddetlenir (Hunaidi ve Gallagher, 2000). Hunaidi (1996) buna ek olarak yüklemelerin çok güçlü olması durumunda, yer sarsıntısından kaynaklanan frekansın alanın doğal frekansından yüksek olacağını ve bu durumda zeminin, diğer yapısal sistemler gibi en düşük direnç ve en yüksek yanıtı vereceğini belirtmiştir.

Sonuç olarak, trafik kaynaklı titreşimler ulaşım aksı üzerinde bulunan ve zeminle bütünleşmemiş her türlü (rogar kapağı, ızgara, yol üzerindeki yamalar vb.) öğenin ulaşım araçlarıyla teması sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapı elemanlarının sahip olduğu frekansın oluşan dalga frekansıyla uyumlu olması ise dalga çıkış noktası ile dalga alıcısı olan yapı arasındaki engelleri kaldırmakta ve titreşimin yayılmasına neden olmaktadır.

Bir yapıda trafik kaynaklı titreşimlerin analiz edilmesi iki nedenle önemlidir. Bunlardan birincisi titreşimin çevresel etkilerinin bütün dünyada zayıf koşullu yapılar ve insanlar için bazı sonuçlara neden olmasıdır. İkincisi ise yapının gerçek koşullarına kıyasla; ölçülen verilerin içerdiği bilgilerin gerçek bir model oluşturmada kullanılabilmesidir. Bu iki konu şehirlerin özellikle eski yerleşmelerinde zayıf koşullu, bozulmalara uğramış yapılara sahip olmaları ve kompleks geometri ve heterojen malzemeye sahip olmaları nedeniyle önemlidir (Pau ve Vestroni, 2008).

Taşıt trafiğinin neden olduğu titreşimlerin o bölgede oturanları etkileyen çevresel bir sıkıntı kaynağı olduğu belirtilen Watts'ın (1990) çalışmasının yanısıra; yapılarda yol trafiğinden kaynaklanan titreşimler; Kanada ve dünyanın her yerinde ortak bir endişedir (Hunaidi ve Gallagher, 2000). Bu çalışma; titreşimin dış kaynaklarından biri olan karayolu ve demiryolu trafiği kaynaklı titreşim başlığı altında bulunan; taşıtların karayolunda hareketi ile oluşan titreşimlerden; yer temelli titreşimlerin yapılara etkisine odaklanmaktadır.

2.1.1 Titreşimle İlgili Geçmiş Çalışmalar ve Alınan Sonuçlar

Son yıllarda; çevrede oturanları rahatsız eden ya da yapılarda ve titreşime duyarlı eşyalarda hasar oluşturan trafik kaynaklı titreşimlere olan ilgi giderek artmıştır (Li, Zou ve Omenzetter, 2009). Ancak trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili Dünya'da ve Türkiye'de yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu bölümde geçmiş yıllarda yapılmış çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda titreşimlerin yapılarda hasar oluşturup oluşturmayacağına dair alınan sonuçlar aktarılacaktır.

Korkmaz, Ay, Keskin, ve Ceditoğlu (2010), taş yapıların düşük yükseklikte yapılar olduğundan bahsettikleri çalışmalarında; bu yapıların mühendislik geçmişi

olmayan ve genellikle iyi tasarlanmamış yapılar olduklarını belirtmişlerdir. Dolayısıyla trafik kaynaklı titreşimler bu tip yapılar için önemli bir hasar oluşturma faktörüdür (Korkmaz ve diğer., 2010).

Li ve diğer. (2009) Auckland Üniversitesi'ndeki bir yapıya odaklanarak bu konuda çalışmalar yapmışlardır. Titreşim düzeylerini standart rehberlerden kontrol ederek kabul edilebilir bulmuşlardır. Tüm zirve (*peak*) akselerasyonlar Birleşik Krallıklara ait standartlarda verilen koruma eşik değerinin altında bulunmuştur. Model kapsamında zeminin sönümlenme oranı ve doğal frekansı da saptanmıştır (Li ve diğer., 2009).

Suandi (2010); hafta içi ve hafta sonu olmak üzere iki şekilde gerçekleştirdiği çalışmada günün her saati on dakika boyunca veri kaydı yapmıştır. Çalışma sonuçlarında Hotel Niko (Jakarta/Endonezya) için çalışma saatlerindeki titreşim düzeyi tatil zamanlarından daha düşük bulunmuştur. Bunun yanı sıra yüksek frekansta on Hz'in üstü durumlarda tüm lokasyonlarda 0,1 mm/s'den daha az titreşim oluşmuştur. Jalan MH. Thamrin-Jalan Merdeka Barat (Jakarta/Endonezya) ve Jalan Hayam Wuruk'ta (Jakarta/Endonezya) yapılan çalışmalar sonucunda 0,315 ve 0,332 mm/dk aralığında değerlere rastlanmıştır. Suandi (2010) yola bitişik yapılarda herhangi bir hasar görünmesinin beklenmediğini ifade etmiştir.

Pau ve Vestroni (2008) trafik kaynaklı titreşimlere karşı Collesseum'un (Roma, İtalya) verdiği tepkiyi geniş kapsamlı ölçümlerle analiz etmişlerdir. Olası yapı hasarları itibarıyla titreşim düzeyi uluslararası standartlara uygun olarak değerlendirilmiştir. Pau ve Vestroni (2008), hasarın mekanizmasına bağlı olarak trafikten kaynaklanan stresin zirve (*peak*) düzeylerinin nadiren doğrudan hasara neden olacak büyüklükte olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda ölçülen titreşimler küçük şiddetli olmaları nedeniyle yapılarda doğrudan hasar oluşturmamaktadır. Ancak bina yorgunluğu gibi eklenen diğer streslerle birlikte güçsüz yapılarda bozulmalar oluşabileceği tespit edilmiştir.

Wang, Wang, Wang, Chen ve Chang (2006) çalışmasında; yer temelli titreşimler farklı koşullarda test edilmiştir. Sensörler kırk metreye kadar farklı derinliklerde test edilmiştir. Toplanan veri ile gece gündüz etkisi, trafik etkisi ve iç makine titreşimi

karşılaştırılmıştır. Belli titreşim kaynakları ve bunların yayılımı da tartışılmıştır. Yapının yola en yakın noktası (Park Avenue III'e olan uzaklığı) 25 m'dir. Depolama alanından kamusal yola olan en kısa mesafede 45 metre bulunmuştur. Deniz seviyesinden beş, 15 ve 40 metre aşağıda yapılan ölçüm sonuçlarında; titreşim düzeyinin çok da farklılaşmadığı saptanmıştır.

Wang ve diğer.'in (2006) çalışmasında; Hsin-Ann (Hsinchu/Tayvan) kamusal yolunun yanında beş metre derinlikte günün farklı saatlerinde ölçümler yapılmıştır. Bir gün içerisinde dikey (*vertical*) ölçüm değerleri incelendiğinde en yoğun saat olan dokuzda titreşim ortalamasının iki katı artmıştır; gece yarısı genlik (*amplitude*) önemli ölçüde düşmüştür. Düşük frekanslı bölüm olan bir Hz'lik bölümde de; yüksek frekanslı olan dört Hz'lik bölümde de trafik etkisi artmıştır. Park Avenue'den farklı uzaklıklarda yapılan ölçümlerde dört Hz'den yüksek değerler saat dokuzda zirve (*peak*) yaptığı görülmüştür. Kamusal yolun 15 metre uzağında neredeyse ortalama değere düşmüştür. Bütün gün boyunca yapılan ölçümlerde saat altıdan çok; en yoğun saat olan dokuzda zirve (*peak*) değere rastlanmıştır. Bunun bir nedeni 100 metrede üç beş metrelik eğime sahip yollar olmasıdır. Saat dokuzda pek çok araç yukarı doğru giderken; yere daha fazla momentum etkisi yapmaktadır (Wang ve diğer., 2006).

Penton ve Taylor (2008), Haul (Hamilton, Canada) güzergahı üzerinde kamyon trafiğinden kaynaklanan olası titreşim etkilerini, bu etkilerin kriterlerini ve değişkenlerini ve önerilen Haul güzergahının fizible hafifletme ölçülerini tartışmıştır. Haul güzergahları üzerinde bazı yapılar daha yakın olsa da genellikle en yakın taşıt yollarına en az 20 metre uzaklıktadır. Kamyon kaynaklı yer temelli titreşim öngörülerini 50, 60, 70 ve 80 km/s hızlarında yapılmıştır. Titreşim düzeyleri 15 metre geride deneyimlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda grafikler analiz edilirse; hız arttıkça ölçülen titreşim düzeyinin de arttığı tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; kamyon temelli titreşim düzeyleri tüm titreşim duyarlı alıcılarda algılanamaz bulunacaktır. Kamyon temelli titreşim düzeyleri tüm alternatif güzergahlar için düşüktür. Sonuç olarak titreşim düzeylerinin engellenmesi gereksiz bulunmuştur.

Pau, De Sortis, Marzelotta, ve Vestroni (2005) ise, kültürel mirasın sağlıklı bir şekilde düzenlenmesinin tüm dünyada büyük bir öneme sahip olduğunu belirttikleri

çalışmalarında; özellikle sismik risk ve insan aktivitelerinden kaynaklanan titreşimlerin (trafik kaynaklı zemin titreşimleri gibi) ortaya çıktığı yer olan ve aynı zamanda zengin bir tarihi mirasa sahip olan İtalya'yı temel almışlardır. Roma'da yer alan bazı anıtlara odaklanarak yapıların trafik kaynaklı titreşimlere nasıl yanıt verdiği konusunda araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışma tarihi yapıların trafik kaynaklı titreşimlere gösterdikleri tipik durumları ele almakta ve Collosseum, Traian Sütunu ve Aurelian duvarlarındaki deneysel dinamik yüklemelerin başlıca sonuçlarını rapor etmektedir. Çalışmanın ilk amacı titreşimin hasar yaratma riskini değerlendirmek yerine titreşim farklılıklarını değerlendirmektir. Testler sırasında kısa süreli titreşim uyarılarına rastlanmadığı için, uzun süreli olanlar dikkate alınmıştır. Sonuç olarak trafik kaynaklı titreşim düzeyinin yapılardaki olası hasar etkisi düşük düzeyde bulunmuştur.

Watts (1990), trafik kaynaklı titreşimlerin alanda yaşayanları etkilese de yapılar üzerinde önemli bir hasar oluşturduklarına yönelik bir iddia bulunmadığını ifade etmiştir.

Kentsel alanlarda orta yükseklikli yapılara olan talep giderek artmakta ve demiryolu ile ekspres yol gibi titreşim kaynaklarına yakın yumuşak zeminli alanlarda üç ve dört katlı yapı inşaatları da artmaktadır. Yumuşak zeminler yapı titreşimlerine neden olmaktadır (Miwa, Nakata, Kiriya, Tamura, ve Yoshida, 2004). Miwa ve diğer. (2004) bir ekspres yolun yanında yumuşak zeminli bir alanda yer seçen dört katlı çelik bir yapıya odaklanmıştır. Alan titreşim problemiyle karşı karşıyadır. Yapı ekspres yoldan 40 metre uzaklıkta olup; çalışmada yapıyla ve zeminle ilgili tüm veriler aktarılmış; gece ve gündüz olmak üzere ölçümler yapılmıştır. Bunun yanı sıra yapı inşa edilmeden önceki ve sonraki titreşimler de karşılaştırılmıştır (Miwa ve diğer., 2004).

Candemir (2005, 2008) ise kentlerde özellikle ana arterlere yakın tarihi eser niteliğindeki yapıların vibrasyondan arındırılması gerektiğinden bahsetmiş; eski omurgalarına bir de raylı sistemlerin zararlı etkilerinin aktarılmaması gerektiğini belirtmiştir.

Korkmaz ve diğeri. (2010) taş yapıları taşıt yüklemeleriyle ilişkilendirerek farklı modelleme türleri ve koşullarını kullandıkları çalışma kapsamında; trafik kaynaklı titreşimlerin taş yapıların yapısal davranışı üzerindeki etkisini kritik bulduklarını belirtmişlerdir (Korkmaz ve diğeri., 2010). Tucholka, Kielbasinski, ve Mieszkowski (2008) ise trafik kaynaklı titreşimleri ve bu titreşimlerin tarihi anıtlar üzerindeki etkilerini Varşova'da yoğun olarak kullanılan bir caddenin yakınında yer alan St. Catherine Kilisesi üzerinde incelemiş ve sonuçları Polonya standartlarıyla karşılaştırmışlardır. Kaydedilen titreşim düzeylerinin, pek çok inşaat türü için tolere edilebilir değerleri aştığı tespit edilmiştir.

Takemiya, Chen ve Ida (2005) yumuşak zeminde yer alan bir otoyol viyadüğüne odaklanmıştır. Viyadük titreşiminin komşuluk birimleri üzerindeki etkisini test etmek için 20 ton kuvvet (tf) ağırlığında bir kamyon seçilmiştir. Titreşim ölçütleri trafiğin normal düzeyde olduğu durumda incelenmiştir.

Watts ve Krylov (2000) ise bir hafif araç, üç otobüs ve yedi ticari araçtan oluşan farklı özelliklerdeki süspansiyon sistemine, aks konfigürasyonuna ve taşıt ağırlığına sahip on bir farklı taşıt türünü incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yol tümseklerinin ve hız yastıklarının yer temelli titreşimleri önemli oranda azalttığını tespit etmişlerdir.

Hunaidi (1996), farklı süspansiyon sistemlerinin pürüzlü yol üzerinde oluşturduğu titreşimin etkisini karşılaştırmak için (otobüs hava yastığı süspansiyon sistemli, kamyon çok yapraklı çelik spring süspansiyon sistemli) otobüs ve kamyon taşıt türlerini karşılaştırmıştır. Deney sonucunda 25 km/s hızla giden otobüs ve kamyonun titreşim düzeyleri benzer bulunmuştur. Ancak hız 50 km/s'e çıktığında otobüs kaynaklı titreşim, kamyon kaynaklı titreşimin iki katı olarak tespit edilmiştir.

Hunaidi ve Tremblay (1997) de çalışma alanı olarak Montreal'i belirlemiş; çalışma sonuçlarında otobüs kaynaklı titreşim düzeylerinin belirlenen standartların altında olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle Montreal'de trafik kaynaklı titreşimlerin yapılara zarar vermesi küçük bir ihtimal olarak düşünülmelidir (Hunaidi

ve Tremblay, 1997). Bununla birlikte; Hunaidi ve Tremblay (1997), Crispino ve D'Apuzzo'ya (2001) benzer şekilde transit otobüsler tarafından oluşan titreşimlerin aynı ağırlık kategorisindeki kamyonlar tarafından en az iki kere daha fazla oluştuğunu saptamışlardır. Otobüs kaynaklı titreşimler 10-12,5 Hz frekanstayken, kamyon kaynaklı titreşimler daha geniş yelpazede bulunmuştur (Hunaidi ve Tremblay, 1997).

Clemente ve Rinaldis (1998), Roma'yı inceledikleri çalışmalarında; trafik kaynaklı titreşimlerden hasar gören anıtsal yapılar arasında bulunan Villa Farnesina'dan bahsetmişlerdir. 16. yy başında yapılmış olan taş yapı, "olağanüstü artistik tasarım" olarak isimlendirilmiştir. Bazıları Rafael'e ait olan freskolara sahip olan yapı, 1870-1880 yılları arasında Tevere nehrine inşa edilen yüksek duvarlardan da anlaşılabilir gibi statik açıdan iyi durumda değildir. Nehir, yapının duvarlarına zarar vermiştir. 1950'li yılların başlarında yapıda fark edilir dikey çatlaklar görülmüş, dış dekorasyon parçaları ve iç freskolar dökülmüştür. Bunun nedeninin trafikte meydana gelen artış ve taşıt ağırlıkları olduğu söylenmiştir. 1953 yılının sonbaharında her biri 35 kg. olan yapının üç parça saçağı, sabahın erken saatlerinde kamyonlar geçerken düşmüştür. Yapıyla aynı döneme ait olan ve yapının en ünlü freskolarından birinin bulunduğu Galatea Odası'nda önemli bir çatlak oluşmuştur. Villa Farnesina bugün halen daha yapının kötü statik koşulları nedeniyle trafik kaynaklı titreşimlere karşı savunmasızdır (Clemente ve Rinaldis, 1998).

Crispino ve D'Apuzzo (2001) Naples'ta 19. yy başlarında yapılmış yola bitişik olan eski bir taş yapıda trafik kaynaklı titreşimin etkisini incelemiştir. Otobüs ve kamyon gibi ağır taşıtlardan kaynaklanan titreşimi kaydetmişlerdir. Ölçütlerin taşıt türü ve hızı ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında, farklı türdeki taşıtların farklı regasyon çizgileri oluşturduğu ve bu nedenle taşıt türünün etkisinin görmezden gelinemeyeceği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra IVECO 480'in taşıt türleri arasında en yaşlı model olmakla birlikte en fazla titreşim yaratma özelliğine de sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Crispino ve D'Apuzzo, 2001).

Kuter ve Erdoğan (2008) ise çalışmalarında Çankırı Kentsel Sit Alanı'nı incelemişlerdir. İnsan ve at arabası trafiğine göre düzenlenmiş alanın dar sokak dokulu, çıkmaz sokakların çok olduğu bir konut alanı olduğundan bahsetmiş olan Kuter ve Erdoğan (2008) sözkonusu sokak dokusunun kamyon ve traktör gibi ağır taşıt trafiğine açılmasının, bu yolların çevresindeki konutların titreşime maruz kalmasına ve temellere yapılan baskıların hasarlara yol açmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada sokak dokusu ve motorlu taşıtlar arasındaki uyumsuzluğun çözümlenebilmesi için yayalaştırma yapılması önerilmiştir. Ancak çalışma kapsamında ölçüm yapılmamıştır.

Kliukas, Jaras, ve Kacianauskas (2008) Vilnius Arch-Cathedrali'nin (Vilnius/Litvanya) şehir trafiği kaynaklı dış yüklemelere karşı davranışını analiz etmiştir. Son on yılda trafik yoğunluğundaki hızlı artışın Eski Vilnius Kenti'ne (Vilnius/Litvanya) olan etkisi öngörülememiştir. Kliukas ve diğer. (2008) Belfry yapısının etkili bir şekilde bakımını garanti altına almak için ulaşım kaynaklı dinamik etkileri ve bunların sonuçlarını gösteren bir sistem kurulmasının önerilebileceğini belirtmiştir. On dokuz tonluk bir kamyonun on santimetre yüksekliğindeki bir bariyerden geçirilerek yapılan deneyde kullanılan araçlar çok fonksiyonlu "PULSE-3560C" analiz sistemi, akselerometre ve taşınabilir bir bilgisayardır. Araştırma sonuçlarında düzensiz yapay yol bariyerinin üzerinden yedi defa geçen ağır yüklü kamyonun oluşturduğu titreşim etkisinin altı buçuk defa daha fazla olduğu saptanmıştır. Yapının doğal frekansı 1,3 Hz iken, şehir trafiğinin etkisiyle birlikte bu değer 10,8 Hz'e çıkmıştır. Kliukas ve diğer. (2008) çalışma sonuçlarında ağır yüklü kamyon trafiğinin neden olduğu dinamik yüklemenin etkisinin, geleneksel şehir trafiğinin dinamik yüklemesinden yedi kat daha yüksek olduğunu tespit etmişler; Polonya standartlarına göre deney sonucunda buldukları değerlerin ağır yüklü kamyon geçmesi durumunda yapıya zarar verebilecek yapıda olduğunu belirtmişlerdir.

Kliukas ve diğer. (2008) Belfry'nin (Vilnius/Litvanya) yanındaki Sventaragio ve Vrublevskio Caddeleri'ndeki trafik yoğunluğundan bahsederken; ağır kamyon trafiğinin yasak olduğu bu caddelerde hız sınırının 30 km/s. olduğunu ancak bu

yasaklamannın Arch-Cathedral'in çevresindeki inşaat alanlarına giden pek çok kamyon için uygulanmadığını belirtmiştir. 2003 yılında Vrubleskiyo ve Sventaragio'ya komşu olan Gediminas Avenue'da yollardaki çukurlar ve tümsekler kaldırılmıştır. Ancak bundan sonra durum daha da kötüye gitmiş; yeni yapılan yoldaki aşırı yüklenmiş otobüsler ve kamyonlar nedeniyle yapılardaki dinamik yüklemelerde artış gözlenmiştir.

Hao, Ang ve Shen (2001) ise hızlı kentleşmenin sonuçlarını dikkate alan bir araştırma yapmışlardır. Hızlı kentleşmenin sonucu olarak yüksek yoğunluklu konut gelişmeleri ve endüstriyel ve ticari alanların planlandığından bahseden Hao ve diğer. (2001) bu alanların kentin eteklerinde ve kentsel alanlarda bölgelediğini belirtmiştir. Bu durum yapıların birbirine ve onları birbirine bağlayan yollara daha yakın olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte teknoloji sayesinde hafif ama güçlü malzemedan yapılmış daha yüksek katlı binalar oluşmuş, bunun sonucunda modern yapılar taş veya ahşaptan yapılan daha eski yapılara kıyasla daha az titreşim frekansına sahip olmuştur (Hao ve diğer., 2001). Hao ve diğer. (2001) dört farklı alanda yaptıkları araştırmalar sonucunda frekans, yanıt alma düzeyleri, en yüksek değer ve sönümlenmeyi tespit ederek tartışmıştır. En geniş yer değişim ve hız yanıtları en üst katta saptanmıştır. Dinamik yanıtlar hesaplandığında normal trafik koşullarında yapısal hasara neden olacak kadar büyük bir titreşim saptanmamıştır. Yol merkezinden 20 metre uzaklıkta konumlanan yapılar için, bazı vibrasyon karşıtı ölçütlerin kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Sedovic (1984) çalışmasında tarihi alanlarda veya bu alanların yakınında, sarsıntıyı azaltmayı veya engellemeyi gerektirecek ve hasar bırakma olasılığı olan niteliklerin genel olarak tanımlandığından bahsetmiştir. Sarsıntının yapılar üzerindeki etkilerine yönelik pek çok çalışma bulunduğunu ifade eden Sedovic (1984) inşaat tekniklerinin ve materyallerinin çokluğu, mimari ayrıntılar ve tarihi yapıların değeri nedeniyle pek azının bu etkilerle ilişkilenen veri ürettiğinden bahsetmiştir.

Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), yolların ve demiryollarının bitişiğindeki yapılarda oluşan titreşimlerin; yüksek düzeylere ulaştıklarında insanlarda şikayetlere

ve tarihi yapılarda olası hasarlara neden olduğunu belirtmişlerdir. Hajek, Blaney ve Hein (2006) ise; yer temelli titreşimlerin yol kenarında oturan bireyler tarafından hissedilse de genellikle yapılarda hasara neden olmayacağını iddia etmiştir.

Li ve diğer. (2009) çalışma sonuçlarında; ağır taşıtların yapıda zemin titreşimlerine neden olduğunu; trafik kaynaklı titreşimlerin daha çok dikey (vertical) doğrultuda olduğunu ve zemini etkilediğini; trafik kaynaklı titreşimlerin Birleşik Krallık Standartları dikkate alındığında yapılarda oturanları rahatsız etmesinin çok zor olduğunu; dördüncü katın temel frekansının yaklaşık 6,68 olduğunu ve son olarak bilgisayar modelinden elde edilen doğal frekansın da 6,68 olduğunu tespit etmiştir. Dolayısıyla güncellenmiş model gerçek bir yapısal modeldir. Ortamdaki trafik önemli zemin titreşimlerine neden olmasa da yapıda oturanlar halen daha titreşimden şikayet etmektedir (Li ve diğer., 2009).

Trenler nedeniyle kozmetik bile olsa yapılarda en ufak bir hasar oluşma olasılığı nadirdir. Bununla birlikte bazı durumlarda hassas tarihi yapılardaki hasarlar dikkate alınabilir (Office of Planning and Environment Federal Transit Administration, Planlama ve Çevre Bürosu Toplu Taşıma Yönetimi, 2006). Düşük düzeyli titreşimlerin uzun süreli görüldüğü durumlarda; Zirve parçacık hızı (*Peak Particle Velocity (PPV)*) değerlerinin doğrudan hasar oluşturmaya da yapı yorgunluğu oluşturması nedeniyle hasara neden olabileceği belirtilmektedir (Watts, 1990). Traffic Advisory Leaflet'e (1996) göre ise; en yumuşak zemin karakteristiğinde yol tümsekleri yapıya dört metre mesafede olsa bile oluşan titreşim en küçük bir çatlağa bile neden olmamıştır. Bununla birlikte yol tümseğinden geçen bir ticari taşıtın etkisi 76 metre uzaktan bile hissedilmektedir. Dolayısıyla hiçbir yol tümseği yapılarda zarara neden olmayacaktır (Traffic Advisory Leaflet, 1996). L.A.B. Equipment Inc. (2006) kamyonların en yüksek hasar yaratma riskine sahip araç olduğunu ve spektranın genellikle demiryolu, hava veya okyanus ulaşımından daha yüksek yoğunluk verdiğini saptamışlardır.

Harvey, Curley ve Thalheimer (2010) ise; profesörlerin üniversite kampüs alanından demiryolu hattı geçmesi durumunda araştırma projelerinin ve titreşime duyarlı cihazların yüksek titreşim düzeyleri nedeniyle hasar göreceğine inanmaları

nedeniyle bazı çalışmalar yapmıştır. Pyl, Degrande ve Lombaert (2002) titreşim yalıtım ölçütlerinin maliyetinden bahsettiği çalışmada maliyete ek olarak hassas sayısal kestirim araçlarının da geliştirilmesinin talep edildiğini belirtmiştir. Lombert ve Degrande (2001) de trafik kaynaklı titreşimi öngörebilecek sayısal bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Model dinamik zemin-yapı etkileşimini ve taşıt karakteri, yol pürüzleri, yol ve zeminle ilgili parametreleri dikkate almıştır.

Klaboe, Öhrström, Rise-Turunen, Bendtsen ve Nykanen (2003) diğer çalışmalardan farklı olarak verilerin birleştirilebilirliği üzerine incelemelerde bulunmuştur. Farklı araştırmalardaki verilerin birleştirilebilir olmasının öneminden bahseden Klaboe ve diğer. (2003), Nordic Metodu'nun, yol ve raylı sistem trafiğinin neden olduğu, ikametgahlardaki titreşimlere karşı insanların verdiği reaksiyona yönelik sosyo-vibrasyonel araştırmaların elementlerini standardize etmek için yapılan ilk girişim olduğundan bahsetmiştir. Nordic Metodu, araştırma verisinin diğer araştırmacılar tarafından da kullanılabilir olacağı bir formata ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir (Klaboe ve diğer., 2003).

2.2.1 Titreşime Neden Olan Faktörler

Hunaidi ve Gallagher (2000); baskın frekansların ve titreşim şiddetinin; pek çok bağımsız faktöre bağlı olduğunu belirtmiştir. Bunlar; yol koşulu, taşıt ağırlığı, hızı ve suspansiyon sistemi, zemin tipi ve katmanlaşması, yılın hangi sezonu olduğu, yoldan uzaklık ve yapı tipidir (Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Yer temelli titreşimlerin düzeyleri ses kadar rahat tahmin edilemez. Yer temelli titreşimler araç karakteristiklerini de içeren bazı faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları aksiyel yükleme, taşıt hızı ve suspansiyon sistemi, yol yüzey profili, yol ve yapı arasında kalan zeminin doğasıdır. Başka yapıların yanında bulunan bir yapının vereceği titreşim tepkisi de olayları daha karmaşık hale getirmektedir (Watts, 1990).

Trafik kaynaklı titreşime neden olan faktörlerin bilinmesi, titreşim kaynaklı problemlerin çözümlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmanın bu bölümünde titreşime neden olan faktörler üzerinde durulacaktır.

Hajek ve diğeri (2006) trafik kaynaklı titreşimi etkileyen değişkenleri üç bölüm altında incelemiştir: (1) Başlangıç/kaynak Noktası (yüzey koşulları, taşıt özellikleri ve taşıt hızı) temelli faktörler, (2) geçiş alanı (uzaklık, yerin absorbe etme gücü ve yer topoğrafyası) temelli faktörler ve (3) bitiş/alıcı noktası (yapısal özellikler ve alıcının konumu) temelli faktörler. Literatür taramaları sonucunda saptanan ve trafik kaynaklı titreşime neden olduğu düşünülen değişkenler ve bu değişkenlere atıfta bulunan çalışmalar Tablo 2.1’de derlenmiştir. Gürültü ve mevsimsel faktörler dışında Hajek ve diğeri’nin (2006) yaptığı sınıflamanın dışında bir faktöre rastlanmamış olması nedeniyle; çalışmanın bu bölümünde tespit edilen faktörler Hajek ve diğeri’nin (2006) yaptığı sıralama temel alınarak aktarılacaktır. Dolayısıyla öncelikle (1) başlangıç/kaynak noktası temelli faktörler üzerinde durulacak; (2) geçiş alanıyla ilgili faktörler aktarıldıktan sonra (3) bitiş/alıcı noktasıyla ilgili faktörler ve (4) diğer faktörler incelenecektir.

2.2.1.1 Başlangıç/Kaynak Noktası Temelli Faktörler

Başlangıç/kaynak noktası temelli faktörler yüzey koşulları, taşıt özellikleri ve taşıt hızı gibi titreşimin çıkış kaynağını oluşturan faktörlerdir. Çalışmanın bu bölümünde öncelikle zemin ve yüzey koşullarına ilişkin faktörlerden bahsedilecek; ikinci aşamada taşıt özelliklerine değinilecektir.

Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) zemin katmanlaşmasının ve niteliğinin titreşim düzeyini etkileyen önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Hunaidi (1996) titreşimlerin kuvvetlenmesinin ve baskın frekansta olmasının, zemin tipi ve tabakalaşmasıyla yüksek ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Zeminin sertlik düzeyi, sönümlemesi ve gücü azaldıkça, titreşim düzeyi artmakta olup; gevşek kumlu zeminler titreşimin yoğunlaşmasına karşı daha hassastır. Yedi-onbeş metre derinlikte yumuşak kil tabakasına sahip zeminler, trafik kaynaklı titreşimin en kötü hissedildiği zemin tipleri olarak gösterilmiştir (Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Tablo 2.1 Titreşime neden olan faktörler ve bu faktörleri referans gösteren kaynaklar

	Titreşime Neden Olan Temel Nedenler		Titreşime Neden Olan Alt Nedenler	Değişkenleri İrdeleyen/İçeren Kaynaklar
Başlangıç/Kaynak Noktası Temelli Faktörler	Taşıtın Kaynaklanan Özellikleri	Hız	Taşıt Hızı	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Lombert ve Degrande (2001), Pau ve diğer. (2005).
		Taşıt Özellikleri	Taşıt (Parametreleri) Karakteristiği	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi ve Tremblay (1997).
			Taşıt Ağırlığı	Clemente ve Rinaldis (1998), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997).
			Taşıt Dingillerindeki Yüklenmeler	Lombert ve Degrande (2001)
			Taşıtın Suspansiyon Sistemi	Hunaidi (1996)
			Taşıtın Şok Sönümleyicilerinin Dinamik Nitelikleri	Pau ve diğer. (2005)
			Taşıt Kusurları	Hunaidi ve Tremblay (1997)
	Trafik	Trafik Hacmi	Clemente ve Rinaldis (1998), Lombert ve Degrande (2001), Tucholka ve diğer. (2008).	
	Yüzey Özellikleri		Arızalı Lağım Kapakları	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997).
		Zemin Niteliği	Kaldırım ve Yüzey Düzensizlikleri, Pürüzleri	Hajek ve diğer. (2006), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Pau ve diğer. (2005), Pyl ve diğer. (2002).
			Yol ve Yüzey Koşulları	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi, (1996), Hunaidi ve Tremblay, (1997).
			Çukurlar ve Çatlaklar	Hajek ve diğer. (2006), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi ve Tremblay (1997), Tucholka ve diğer. (2008).
			Gevşek Kumlu Zeminler	Hunaidi (1996)
			Homojen Zeminler	Hunaidi (1996)
			Zemin Katmanlaşması ve Niteliği	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997).
			Zeminin Sertlik Düzeyi ve Gücü	Hunaidi (1996)
			Yumuşak Kil Tabakasına Sahip Zeminler	Hunaidi (1996)
	Geçiş Alanı Temelli Faktörler	Yüzey Özellikleri	Zemin Niteliği	Yerin Absorbe Etme Gücü
			Topoğrafya	Hajek ve diğer. (2006)
Bitiş/Alıcı Noktası Temelli Faktörler	Yapısal özellikler	Mesafe	Uzaklık	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997).
		Bakım	Bakımsızlık	Hunaidi ve Tremblay (1997) , Tomazevic ve diğer. (2006).
		Konumlanma	Yapının Konumu	Hajek ve diğer. (2006)
		Yenileme	Geçmiş Zamanlardaki Yenileme ve Onarım Çalışmaları	Hunaidi ve Tremblay (1997)
		Malzeme	İnşaatın Kalitesizliği	Tomazevic ve diğer. (2006)
			Malzeme Eskimesi	Pau ve diğer. (2005), Tomazevic ve diğer. (2006).
Yapı Karakteristiği	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997).			
	Yapısal Bütünlüğün Düşük Düzeyde Olması	Pau ve diğer. (2005)		
Diğer Faktörler	Gürültü	İnşaat Kaynaklı	Anayol İnşaatı Kaynaklı Gürültüler	Sedovic (1984)
			Demiryolu İnşaatı Kaynaklı Gürültüler	Sedovic (1984)
			Yollardaki İnşaat ve Yenileme Çalışmaları	Tomazevic ve diğer. (2006)
		Madencilik Kaynaklı	Maden Ocağı Kaynaklı Gürültüler	Sedovic (1984)
	Taş Ocağı Kaynaklı Gürültüler		Sedovic (1984)	
	Mevsimsel Özellikler	Mevsim Faktörleri	Hunaidi (1996)	
		Nem ve Sıcaklık Dönüşümleri	Hunaidi ve Tremblay (1997)	
		Taban Suyu Seviyesi	Hunaidi ve Tremblay (1997)	
Zemin Tabakasının Donmuş Olması		Hunaidi ve Tremblay (1997)		

Miwa ve diğ er.'de (2004) ç alışmalarında yumuşak zeminlerin yapı titreşimlerine neden olduğ unu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra Hunaidi ve Gallagher (2000), darb eli y ukle melerde zemin titreşiminin alanın doç al frekansının uç t u n d e olduğ undan bahsetmiş ve doç al frekansın zeminin sertliğ i ve katmanlaş masına bağ lı olduğ unu ifade etmiştir. Zeminin sertliğ i ve s u n u m l e m e s i a z a l d ı k ç a ; titreşim d u z e y i artmaktadır (Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Homojen zeminler i ç in titreşim yayılma dokusu basittir. Ancak zemin yapısı nadiren homojen olmakta ve genellikle de farklı tabakalardan oluş maktadır. Bu nedenle titreşim yayılma dokusu alana bağ lı olarak ç ok kompleks ya da zayıf ilişkilere sahiptir (Hunaidi, 1996). Watts (1990) ise jeolojik katmanlar, zemin kompozisyonu ve uzaklığ ın titreşimin ř iddetini belirlediğ ini ifade etmiştir.

Trafik kaynaklı titreşimi etkileyen diğ er bir baş langıç/kaynak temelli değ iş ken ise y u z e y ya da yol koş ullarıdır (Hajek ve diğ er., 2006; Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Tremblay, 1997). Henwood ve Haramy (2002) titreşimlerin genellikle yol y u z e y i n d e k i d u z e n s i z l i k l e r ve p u r u z l u kaldırım bağ lantılarından kaynaklandığ ını ifade etmiştir. P u r u z l u z e m i n h a r e k e t l e r i y a p ı b i l e ř e n l e r i n d e g e r i l m e l e r e n e d e n olmaktadır (Hunaidi ve Tremblay, 1997). Hunaidi ve Gallagher (2000); yoldaki d u z e n s i z l i k l e r a r t t ı k ç a titreşimin ř iddetinin de artacağ ını belirtmiştir.

İki t u r y o l y u z e y d u z e n s i z l iç i v a r d ı r . B u n l a r d a n b i r t a n e s i r a s t l a n t ı s a l y u z e y d u z e n s i z l i k l e r i (t u m k a l d ı r ı m l a r d a o l u p , k a l d ı r ı m y u m u ř a k l ıđ ı v e y a d u z e n s i z l iç i i l e o l ç u l u r) ; i k i n c i s i i s e b e l i r l i y u z e y d u z e n s i z l i k l e r i d i r (ç u k u r l a r v e e n i n e b a s a m a k l ı ç a t l a k l a r v b .) . B e l i r l i y u z e y d u z e n s i z l i k l e r i t r a f i k k a y n a k l ı titreşimlerin ana yaratıcılarıdır (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006).

Hajek, Blaney ve Hein (2006) de titreşim d u z e y i n i e t k i l e y e n değ iş kenleri trafik akış ı , y u z e y p u r u z l e r i ve titreşim kaynağ ı ile alıcısı arasındaki yol ve yapı parametreleriyle ilişkilendirmiştir. Trafik kaynaklı titreşimleri oluş turan ana nedenler y u z e y koş ulları, taş ıt parametreleri ve taş ıt hızıdır. Geç iş y o l u değ iş kenleri uzaklık, zemin/yer s u n u m l e m e s i ve yer topoğ rafyasıdır (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006).

Hajek ve diğ er. (2006) otoyol kaynaklı titreş imlerden bahsettikleri çalışmalarında kaldırım düzensizliklerine temas eden kamyonların dinamik güçlerine değ inmiş ler; kaldırım yüzeyinin otoyol uzmanları tarafından kontrol altına alınabilen en önemli faktörlerden biri olduğunu ifade etmiş lerdir. Pau ve diğ er. (2005), Hajek ve diğ er.'e (2006) benzer şekilde trafik kaynaklı titreş imlerde pürüzlü kaldırımların önemli bir rol oynadığı ndan bahsederken; Pyl ve diğ er. (2002) titreş imlerin temel olarak pürüzlü yüzeylerden geçen ve yüksek hızdaki kamyonlardan kaynaklandığı nı belirtmiş lerdir. Tomazevic, Znidaric, Klemenc, ve Lavric (2006) ise kaldırım yüzeyindeki pürüzlerin yapının doğal frekansının uyarı frekansına uygun olmamasının ve diğ er koş ulların neden olduğu , trafik kaynaklı titreş imin, yapılarda oluşan hasarın birincil yayılma nedeni olarak gösterilemeyeceğini iddia etmiş tir. Bu durum özellikle yeterli düzeyde bakım görmemiş , yapı malzemesi eskimış ve önceden kazaya maruz kalmış eski yapılar için geçerlidir (Tomazevic ve diğ er., 2006).

Hendriks (2002); normal otoyol trafiğ inde; ağır kamyonlar ve otobüslerin ulaş imdan kaynaklanan en yüksek yer temelli titreş imleri oluşturduğ undan bahsettikleri çalışmalarında; bu taşıtlardan kaynaklanan titreş imlerin kaldırım koş ullarına göre farklılaştığı nı belirtmiş lerdir. Çukurlar, kaldırım kesiş im noktaları, kaldırımın diferansiyel kurulumu vb. bileş enler titreş im düzeyini arttırmaktadır (Hendriks, 2002).

Hunaidi ve Tremblay (1997), Henwood ve Haramy (2002), Hajek ve diğ er. (2006), Tucholka ve diğ er. (2008) çalışmalarında yol yüzeyinde bulunan çukur ve çatlakların titreş imin temel kaynağı olduğ undan bahsetmiş lerdir. Hajek ve diğ er. (2006) buna ek olarak benzer yüzey düzensizliklerinin otoyoldaki trafik kaynaklı titreş imlerin de ana nedeni olduğunu ifade etmiş tir. 25 milimetre derinliğindeki veya yüksekliğindeki çukurlar veya tümsekler ve 150 milimetre uzunluğ unda olanlar; rastlantısal kaldırım düzensizliklerinin etkisini azaltmak için gereklidir. Yer temelli titreş im düzeyi kaynaktan uzaklaştıkça hızla düş er (Hajek, Blaney ve Hein, 2006). Traffic Advisory Leaflet'e (1996) göre; 74 milimetre yüksekliğindeki tümsek; çalışma sırasında en yüksek titreş im düzeyi kaydedilen tümsektir. Rampa basamağı arttıkça tekerlekler yastık üstünde daha fazla döndüğ ünden titreş im daha büyük olmaktadır (Traffic Advisory Leaflet, 1996).

Rogar kapakları ve boru hatları da trafik kaynaklı titreşime neden olduğu düşünülen diğer konulardır. Hunaidi ve Tremblay (1997) titreşimlerin arızalı lağım kapakları gibi yol yüzeyinde aralıklı olarak bulunan düzensizliklerden kaynaklandığını belirtmiştir. Hunaidi (1996) rogar kapakları ve yol yüzeyindeki pürüzlerin yola sürekli yüklemeye yaptığından bahsetmiş; bu etkinin tırtıklı yollarda seyahat eden sürücülere su dalgası etkisi ile tanıdık geleceğini ifade etmiştir. Rogar kapaklarından bahseden diğer bir araştırmacı ise D'Apuzzo (2007) olup; rogar kapaklarının sayıca fazla olduğunu ifade etmiştir. D'Apuzzo (2007) bunun yanı sıra hidrolik boru ağının yol üst yapısına gömülmüş olmasının da problem yarattığını belirtmiştir.

Traffic Advisory Leaflet (1996); maksimum titreşimlerin bir ağır taşıtın geçici bir profil üzerinden geçmesi sonucunda oluştuğunu belirtmiştir. Kentsel çevrenin, artan insan aktiviteleri sonucu oluşan yüksek enerjili olaylardan etkilendiğinden bahseden Tucholka ve diğer. (2008), bu olaylardan birinin de kamyon trafiğini de kapsayan trafik hacminin artmasından kaynaklanan yer temelli titreşimler ve akustik problemler olduğunu belirtmiştir. Yer temelli titreşimlerin gelişen çevrelerin önemli bir sorunu olduğunu belirten Lombert ve Degrande (2001) de, Tucholka ve diğer.'i (2008) destekler şekilde trafik hacminde meydana gelen artışın yol kaynaklı titreşimlerin artmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Clemente ve Rinaldis (1998) de benzer şekilde trafikte meydana gelen artışın titreşim üzerinde etkili olduğuna dikkat çekmiştir. Hajek ve diğer. (2006) taşıt sayısını dikkate alarak kamyon sayısında meydana gelecek artışın daha yüksek titreşim düzeylerine ek olarak daha fazla sayıda titreşim meydana getireceğini belirtmişlerdir.

Titreşimler dönen tekerlekler ve yol yüzeyinin teması sonucu oluşur. Taşıtlar hızlı hareket ediyorsa ve taşıt türü ağır taşıtsa; titreşim düzeyleri önemli olabilmektedir (Suandi, 2010). Suandi'nin (2010) çalışması sonucunda trafik hacmi ile titreşim düzeyleri arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Demiryolu ve karayolu trafiğinden kaynaklanan yapı titreşimleri ise; artan taşıt yüklemeleri ve trafik hacmi ile yaşanan demiryolu ve yollara bağlı olarak önemli bir çevre problemi haline gelmiştir (Hunaidi ve diğer., 1994).

Titreşim düzeylerini etkileyen diğer bir faktör ise taşıt (parametreleri) karakteristiğidir (Hajek ve diğer., 2006; Hunaidi ve Tremblay, 1997). Bu çalışmada taşıt ağırlığı, taşıt dingillerindeki yüklemeler, yük katarlarının ağırlığı, aks üzerinde oluşan yüklemeler, taşıtın suspansiyon sistemi, taşıt hızı ve taşıtın şok sönümleyicilerinin dinamik nitelikleri, taşıt karakteristiği olarak dikkate alınacaktır.

Hajek, Blaney, ve Hein (2006) sert ve gereğinden fazla şişirilmiş lastiklerin zarflama etkisi göstermeyeceğini ve yüksek dinamik yüklemelere neden olan yüzey pürüzlerinin üzerinden daha kolay atlayacaklarını belirtmiştir. Clemente ve Rinaldis (1998), Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) taşıt ağırlığının titreşimi etkileyen faktörlerden biri olduğundan bahsetmişlerdir. Traffic Advisory Leaflet'de (1996) de yer temelli titreşimlerin taşıt ağırlığından ve bireysel aksiyel ağırlığından etkilendiği belirtilmiştir. Traffic Advisory Leaflet (1996); hafif araçlar, otobüsler ve geniş ticari araçlardan oluşan on bir tip taşıt kullanarak taşıt ağırlıklarını belirlemiştir. Ticari taşıtlar yüklü ve yüklenmemiş olarak iki şekilde test edilmiştir. Çalışma sonucunda çelik suspansiyon sistemli yüklenmemiş bir kamyonun yüklü olandan daha fazla titreşim oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin yüklenmemiş durumda taşıt tekerleklerinin yol tümseklerinde yolla temasını daha kolay kaybetmesi olduğu düşünülebilir. Eğer bireysel aksiyel ağırlık dikkate alınırsa; 17 t'luk iki aksiyelli bir taşıt; çok aksiyelli 38 t'luk bir taşıttan daha yüksek titreşim üretir (Traffic Advisory Leaflet, 1996).

Lombert ve Degrande (2001) taşıt dingillerine yüklemelerde meydana gelecek artışın yol kaynaklı titreşimleri arttıracığını ifade ettiği çalışmasında, raylı sistemlerle ilgili olarak da yük katarında oluşan fazladan yüklemenin titreşimin artmasıyla ilişkili olabileceğini öne sürmüştür. D'Apuzzo (2007) da toplu taşıma araçlarının aks yüklemelerinin bazen en ağır ticari taşıtların aks yüklemeleri kadar yüksek olduğunu ifade etmiştir.

Trafik kaynaklı titreşimlerde etkisi olduğu düşünülen bir diğer faktörde taşıtın suspansiyon sistemidir. Hunaidi (1996), taşıtın suspansiyon sisteminin özelliğinin yola yapılan yüklemeyi etkilediğini belirtmiştir. Çelik suspansiyon sistemli kamyonlar, hava suspansiyon sistemli kamyonlara göre daha yüksek dinamik

yüklemeye neden olmaktadır (Hajek ve diğer., 2006; Hajek, Blaney, ve Hein, 2006).

Çelik suspansiyon sistemli ticari araçların; taşıtların yüksüz olduğu durumdan daha fazla titreşim oluşturduğu saptanmıştır. Ancak bununla birlikte suspansiyon sistemi hava suspansiyon sistemi ise titreşim düzeyi taşıtın yüksüz olduğu zamanda oluşturduğu titreşim düzeyine eşit veya daha fazladır (Traffic Advisory Leaflet, 1996). Bunun yanı sıra suspansiyon sisteminin etkisi de yolun düzensizliğine ve taşıtın hızına bağlıdır. Düşük hız ve yumuşak yol koşullarında suspansiyon sistemi önemsizdir. Ancak yüksek hız ve düzensiz yollarda çok önemlidir (Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Titreşim düzeylerini etkileyen diğer bir faktör de taşıt hızıdır (Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Tremblay, 1997; Lombert ve Degrande, 2001; Pau ve diğer., 2005, Hajek ve diğer., 2006). Taşıt hızı, raylı sistemler ve yol sistemlerinin her ikisi içinde önemli bir parametredir (Pau ve diğer., 2005). Hunaidi ve Gallagher (2000), Lombert ve Degrande (2001), Mirza, Frid, ve Nielsen, (2010) ve Penton ve Taylor (2008) taşıt hızında meydana gelen artışın titreşim düzeyinde de artışa neden olacağını belirtmiştir. Traffic Advisory Leaflet (1996) de yapılan çalışmalar sonucunda titreşim düzeylerinin hız arttıkça artma eğiliminde olduğunu tespit etmiştir. Pau ve Vestroni'de (2008) gözlemleri sonucunda titreşim düzeyinin taşıt hızı ve yüzey düzensizliğine paralel olarak arttığını tespit etmiştir.

Yüksek taşıt hızı, yer ve ses temelli titreşimlerin her ikisinin de artmasına neden olabilir (Hajek ve diğer., 2006). İç Resonans Kontrolü (IRC) (*Internal Resonant Control*) araştırma sonuçlarına göre; benzer ağırlıkta olan ve pürüzlü bir yolda seyreden otobüs ve kamyonun 25 km/s hızla giderken oluşturdukları titreşim düzeyleri benzerdir. Ancak saatte 50 kilometre hızla giden bir otobüsün oluşturduğu titreşim düzeyi kamyonunkinin en az iki katı kadardır (Hunaidi ve Gallagher, 2000). Tren hızında meydana gelen artış; yol kaynaklı titreşim düzeyinde artışa neden olacaktır (Lombert ve Degrande, 2001).

Miwa ve diğer. (2004); zeminin titreşim karakteristiğinin; ekspres yoldaki trafik durumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Trafik sıkışıkça titreşim küçüktür. Çünkü

araçlar yavaş hareket ederler. Trafiğin sıkışık olmadığı durumlarda ise hız arttığı için titreşim de artar. Trafiğin açık olduğu gece saatlerinde ölçümler tekrarlanmıştır. Sonuç olarak maksimum titreşim düzeyi gece saat üçte $3,55 \text{ cm/sn}^2$ bulunmuştur. Akşam saatlerinde ve sabah yediden sonra ise titreşimler düşüktür. Sabah üç ve altı arasında ise titreşim akselerasyonu yüksektir. Genellikle iki cm/sn^2 'nin üzerindedir. Bu durum sabahın erken saatlerinde tam dolu kamyonların yoldan hızla geçmesine bağlanabilir (Miwa ve diğer., 2004).

Watts (1990) Birleşik Krallıklar ulusal titreşim ölçüm çalışmasından bahsederken; zirve dikey parçacık hızı (*peak particle vertical velocity (PPV)*) ile titreşimi etkilemesi olası değişkenleri karşılaştıran grafiklerden bahsetmiştir. Bu çalışmaya göre; taşıt ağırlığı arttıkça PPV değerinin arttığı; taşıt hızı arttıkça da PPV değerinin arttığı saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda yol üzerindeki pürüzlü yüzeyin genellikle tek bir tekerleğe denk gelmesinin bulunan PPV değerlerini çok düşük kıldığı gözlenmiştir (Watts, 1990).

Pau ve diğer. (2005) bütün bunlara ek olarak taşıtın şok sönmüleyicilerinin dinamik niteliklerinin de trafik kaynaklı titreşimler üzerinde büyük öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Hunaidi ve Tremblay (1997) taşıtlardan kaynaklanan kusurların trafik kaynaklı titreşimler üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Raylı sistemler için kabul edilen bir parametre ise tekerleklerin şekilsel düzensizliğidir (Pau ve diğer., 2005).

Hunaidi (1996) titreşimi etkileyen faktörler arasındaki etkilerin birbirine bağlı olduğunu iddia etmekte ve bu faktörlerin aralarındaki ilişkiyi basitleştirmenin güç olduğunu belirtmektedir. Hunaidi'ye (1996) göre taşıt hızının etkisi yolun pürüzlülüğünden bağımsız olarak düşünülemez. Yoldaki pürüz arttıkça hızın titreşim yaratma etkisi de artacaktır. Suspansiyon sisteminin etkisi ise hem taşıt hızı hem de yolun pürüzlülüğüne bağlıdır. Düşük hız ve düzgün yol koşullarında suspansiyon sisteminin etkisi de önemsizdir. Ancak yüksek hız ve pürüzlü yollarda suspansiyon sistemi büyük önem taşımaktadır (Hunaidi, 1996). Watts, (1990); ağır taşıt trafiği nedeniyle bazı yapıların günde binlerce kez titreşim dalgalarına maruz kaldığından

bahsettiği çalışmasında; bu nedenle yılların yapıda oluşturduğu yorgunluğun da hesaba katılması gerektiğinden bahsetmiştir.

Trafik kaynaklı titreşimler daha çok kamyon ve otobüs gibi ağır taşıtlardan kaynaklanmakta olup; yolcu araçları, hafif kamyonlar, küçük araçlar, özel taşıtlar ve kamyonetler nadiren algılanabilir titreşimler oluşturmaktadır. Hendriks (2002), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) de çalışmasında ağır kamyonlar ve otobüslerin, ulaşımdan kaynaklanan en yüksek yer temelli titreşimleri oluşturduklarını belirtmiştir. Bunun yanı sıra ağır ve hafif raylı sistemlerde dizel lokomotifler ve ağır yüklü araçlar, en yüksek raylı sistem kaynaklı titreşimleri oluştururlar (Hendriks, 2002). Traffic Advisory Leaflet (1996) de en yüksek titreşim düzeylerinin ağır taşıtlardan kaynaklandığı belirtilmektedir.

Li ve diğer. (2009), 36 saat boyunca otobüs ve kamyonların geçtiği zamanlarda zirve (peak) değeri saptadıkları çalışma sonucunda; korelasyon katsayısını %83 bulmuş; bu oranın ağır taşıtların zemin titreşimlerinin nedeni olduğunun kanıtlanması için yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Otoyol veya demiryollarında ağır taşıt trafiğinden kaynaklanan titreşimlerin yapılarda hasar meydana getirebileceği düşünülmektedir (Jurevichius, Vekteris, ve Daktariūnas, 2007).

Titreşimi etkileyen pek çok taşıt karakteristiği bulunmakla birlikte; ağır taşıtlar yer döşemesi üzerinde daha geniş bir kütleyle sahip olmaları nedeniyle daha yüksek yer temelli titreşimlere sahiptir (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006). Lombert ve Degrande (2001) Belçika'nın Avrupa'daki hızlı tren ağının önemli bir noktası olduğunu belirttikleri çalışmalarında, yapılardaki trafik kaynaklı titreşimlerin engebeli yüzeylerle etkileşen yüksek hızdaki ağır taşıtlardan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Ağır taşıtlar kaldırım üzerinde daha büyük hareketlere neden oldukları için daha büyük yer temelli titreşimler meydana getirmektedirler (Hajek ve diğer., 2006). Kamyonlar, yolun zayıf koşulları, yapı ve yapı bileşenleri üzerinde tehlikeli etkiye sahiptir (Clemente ve Rinaldis, 1998).

Pyl ve diğer. (2002), Lombert ve Degrande'ye (2001) benzer şekilde titreşimlerin temel olarak pürüzlü yüzeylerden geçen yüksek hızdaki kamyonlardan

kaynaklandığını belirtmişlerdir. Hunaidi ve Tremblay (1997), Henwood ve Haramy'den (2002) farklı olarak Kanada ve Dünya'nın pek çok şehrinde olduğu gibi Montreal'de de kamyon trafiğinin aksine halkın özellikle transit otobüslerden kaynaklanan titreşimlerden şikayet ettiğini belirtmiştir.

2.2.1.2 Geçiş Alanı Temelli Faktörler

Geçiş alanı temelli faktörler trafik kaynaklı titreşimde etkisi olduğu düşünülen faktörlerden bir diğeridir. Hajek ve diğer. (2006) yerin absorbe etme gücünün, topoğrafyanın, yapının konumunun ve yapıya olan uzaklığın trafik kaynaklı titreşimler üzerindeki etkisinden bahsetmiş olup; bu faktörleri geçiş alanı temelli faktörler olarak adlandırmıştır.

Yapıların yanındaki yolun sahip olduğu yüzey koşulları titreşim düzeyi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin; yumuşak bir yol yüzeyinden geçen taşıtlar daha düşük titreşim düzeylerine sahiptir; benzer hızlarda pürüzlü yollardan geçen benzer taşıtlar daha yüksek titreşim düzeylerine sahiptir. Bunun yanı sıra zayıf yol koşulları ile düzgün doldurulmamış çukurların olduğu yollar çok daha fazla titreşime neden olurlar (Suandi, 2010).

Yapılar yola yakınsa, taşıtların akustik gürültüsü hava kaynaklı titreşimlerin oluşmasına neden olacaktır (Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Tremblay, 1997). Hunaidi (1996) titreşim düzeyinin, titreşim enerjisinin geometrik yayılımı ve zeminde oluşturduğu sürtünme nedeniyle, yoldan uzaklık arttıkça azaldığını ifade etmiştir. Geometrik dağılım, suya atılan bir taşın oluşturduğu dalgalanma etkisi gibidir (Hunaidi, 1996). Zemindeki dalga propogasyonu yapılarıdaki demiryolu ya da yol trafiği kaynaklı titreşimlerde çok önemli bir rol oynamaktadır (Degrande, 2002). Hunaidi (1996) otobüs ve kamyon gibi araçlardan kaynaklanan gürültünün yola yakın olan yapılarda titreşim meydana getirdiğini ifade etmiştir. İnsan yapımı titreşimler genellikle kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalır. Daha kalıcı olduğu düşünülen Rayleigh dalgaları bile hızla azalmaktadır. Bu nedenle insan yapımı titreşimler kaynaktan kısa mesafe uzaklıkta sınırlanmaktadır. Buna karşın doğa olayları sonucu olan titreşimler daha geniş alanlara yayılır (Hendriks, 2002).

2.2.1.3 Alıcı Temelli Faktörler

Trafik kaynaklı titreşimlerin en son ulaştığı nokta titreşimi alması nedeniyle “alıcı nokta” olarak adlandırılmaktadır. Alıcı değişkenleri yapı parametreleri ve alıcının konumudur (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006). Çalışmanın bu bölümünde titreşim alıcılarıyla ilgili bilgi verilecektir. Bu faktörler genellikle yapısal özelliklerle ilgilidir.

Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) yapısal özelliklerin titreşim düzeylerini etkileyen faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Li ve diğer. (2009), yapının doğal frekansının kütle sine ve sertliğine bağlı olduğunu belirtmiştir. D’Apuzzo (2007) ise çalışmasında, tarihi alanlarda yoğun olarak kullanılan ahşap yapıların rezonans frekanslarının trafik kaynaklı titreşim frekansına çok yakın olmasının yarattığı olumsuzluklardan bahsetmiştir.

Hunaidi ve Tremblay (1997) zayıf bakım ve/veya geçmiş zamanlardaki yenileme ve onarım çalışmalarının yapı bileşenlerinde oluşturduğu gerilmeleri ifade etmiştir. Tomazevic ve diğer. (2006) de inşaatın kalitesizliği, yetersiz bakım çalışması, düzensiz kurulan yerleşmeler ve malzeme eskimesi gibi faktörlerin yanı sıra, yapısal sistemlerde ek streslere neden olan başka faktörler de olduğunu ifade etmiştir. Kaza sonucu oluşan yüklemeler, depremler, yakın çevredeki trafik düzeyi ve inşaat çalışmalarından kaynaklanan dinamik etkilerden söz etmiş olan Tomazevic ve diğer. (2006) pek çok durumda trafik kaynaklı titreşimlerin tek başına hasara yol açmadığını ifade etmiştir. Pau ve diğer. (2005) de malzemelerdeki eskimenin ve yapısal bütünlüğün düşük düzeyde olmasının hasarı arttıracak titreşimlere neden olduğunu belirtmiştir.

Son olarak Hajek, Blaney ve Hein (2006), yapı titreşimlerinin binanın zeminden yüksekliği arttıkça arttığını öne sürmüşlerdir.

2.2.1.4 Diğer Faktörler

Trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili olarak Hajek ve diğer.’in (2006) yaptığı sınıflamanın dışında kalan faktörler bu başlık altında incelenmektedir. Bu faktörler

(1) gürültü ve (2) mevsimsel faktörlerdir. Özellikle ağır taşıt trafiği ve raylı sistemlerden kaynaklanan gürültülerin titreşimde etkisi büyüktür.

Raylı sistemlerde ortaya çıkan gürültünün nedeni (1) rayın sertliği ve dayanıklılığı, (2) araç tekerleğinin üzerinde yatay-düz bir form oluşması ve tekerleğin tahrip olmuş olması, (3) raylar arasında küçük açıklıkların bulunması veya bu açıklıklara kaynak yapılmış olmasıdır (Aktürk, Toprak, ve Asiloğulları, 2003). Raylı ulaşım sistemlerinden kaynaklanan gürültü düzeyine etki eden faktörler ise (1) yola olan uzaklık, (2) servis aralığı, (3) yol seviyesi, (4) yolun eğim derecesi, (5) aracın boyu ve cinsi, (6) yol kenarındaki yapılaşma ve bitki örtüsüdür (Aktürk ve diğer., 2003). Raylı sistemler nedeniyle oluşan gürültü ve titreşimlerin nedeni ise (1) taşıtın suspansiyon sistemi, (2) yoldaki elastik ve kalıcı çökmeler, (3) tekerleklerdeki ve ray üst yüzeyindeki pürüzler, (4) travers geçişleri ve makas geçişleridir. Taşıtın hızının da titreşimde etkili olduğu bilinmektedir (Toprak ve Aktürk, 2002, 2003).

Sedovic (1984) çalışmasında kırsal alanlarda anayol inşaatı, demiryolu inşaatı, taş ocakları veya maden ocakları kaynaklı gürültülerden bahsederken; Tomazevic ve diğer. (2006) ev sahiplerinin ağır trafik ve yollardaki inşaat ve yenileme çalışmalarından kaynaklanan titreşimin yol boyunca bulunan taş evlerde meydana gelen hasarın kaynağı olabileceğini düşündüklerini belirtmiştir. Hajek ve diğer. (2006) de otoyol trafiğinden kaynaklanan titreşimlerden bahsetmiştir.

Mevsimsel faktörler de trafik kaynaklı titreşimde etkili olduğu düşünülen faktörlerden biri olup (Hunaidi, 1996); Hunaidi ve Tremblay (1997) nem ve sıcaklık dönüşümlerinin yapı bileşenlerinde gerilmelere neden olduğunu belirtmişlerdir. Hunaidi ve Tremblay (1997) zemin tabakasının donmuş olmasının da önemli etkenlerden biri olduğunu belirttiği çalışması sonucunda üst tabaka donmuşken ölçülen titreşim düzeyinin, donmamışken ölçülenin 1,5 katı olduğunu tespit etmiştir. Hunaidi ve Gallagher (2000) ise kışın zeminin üst katmanının donması nedeniyle; titreşim etkisinin diğer sezonlardakinin yarısından daha düşük olduğunu belirtmiş; şikayetlerin en yüksek olduğu dönemin ise baharda erimenin olduğu dönem olduğunu ifade etmiştir. Taban suyu seviyesinin titreşim düzeyi üzerinde etkisi olup

olmadığını araştıran Hunaidi ve Tremblay (1997) de, sözkonusu değişkenin titreşim üzerinde etkisi olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

2.1.3 Titreşimden Kaynaklanan Olumsuz Etkiler

Karayolu kaynaklı titreşimlerin küçük yapısal hasarlara ve trafik kaynaklı gürültüyle birleştiği zamanlarda ise sıkıntı veren durumlara neden olduğu iddia edilmektedir (D'Apuzzo, 2007). Trafik kaynaklı yapı sarsıntıları sağlıklı ve güvenli değildir ve sorun yaratırlar. Deneyimler titreşim düzeyinin insanların algılama düzeyini çok az bile olsa aşmasının insanlara binanın hasar göreceğini düşündürdüğünü göstermiştir. Bununla birlikte tolerans düzeyi insandan insana ve mekandan mekana değişmektedir (Hunaidi, 1996).

İnsanlar titreşimlerin uyuma ve konuşmayı zorlaştırmaları nedeniyle kabul edilemez olduğunu düşünmektedir (Hunaidi, 1996). Hunaidi'ye (1996) benzer şekilde titreşimlerin yapı kullanıcıları tarafından kabul edilemeyeceğini belirten Hunaidi ve Tremblay (1997), bunun nedenlerinin (1) titreşimin insan vücudunda sıkıntı yaratan fiziksel algıları, (2) uyku, sohbet ve çalışma gibi aktiviteleri engellemesi, (3) pencere camlarının ve duvarların tıkrıdamasından kaynaklanan gürültü, (4) obje kaybı, (5) yapıların ve yapı içeriklerinin hasar görmesi korkusu ve uygun duyuşal araçların ve süreçlerin hazırlanmasını engellemesi olduğunu ifade etmiştir.

Pyl ve diğer. (2002) ise trafik kaynaklı titreşimlerin çevresel sıkıntıların genel kaynağı olduğunu belirttikleri çalışmalarında; titreşimlerin yapılarda bulunan titreşime karşı duyarlı malzemelerin çalışmamasına, insanların rahatsızlık duymasına ve yapıların hasar görmesine neden olduğundan bahsetmiştir. Watts ve Krylov (2000) da özellikle titreşimden etkilenen yollara yakın alanlarda oturanlarda uykuda rahatsızlık veren ve mülkün zarar görmesine neden olan sıkıntılardan bahsedildiğini iddia etmişlerdir. Nawrotzki (2007) ulusal ya da uluslararası kültürel mirasın zarar görmesi veya tahrip olmasının çok büyük değer kayıplarına neden olacağını belirttiği çalışmasında hasara neden olabilecek faktörlerin yüksek titreşim düzeyleri ve depremler olabileceğini ifade etmiştir.

Pau ve diğer. (2005) titreşimin tarihi yapılar üzerindeki etkisinden bahsederken; yollardaki taşıtlardan, raylı sistemlerden ve alt yollardan kaynaklanan uyarıların, kaynaktan yapılara doğru yayıldığını, özellikle de tarihi yapılarda oturan insanlarda rahatsızlığa yol açtığını belirtmiştir. Buna ek olarak titreşimin titreşime duyarlı cihazlarda fonksiyonel problemlere veya yapısal hasarlara yol açtığını da eklemiştir.

Kliukas ve diğer. (2008) tarihi yapıların genellikle ahşap ve taş malzemenen yapılmış olmalarının titreşime karşı savunmasız kalmalarına neden olduğunu belirtirken; Nawrotzki (2007) özellikle kültürel miras yapılarının titreşime karşı olan duyarlılığından bahsetmiştir. Nawrotzki (2007) titreşimin belli düzeylerinin yapılarda çatlakların oluşmasına neden olduğunu belirtirken, bu çatlakların da yapıların diğer çevresel etkilere karşı dayanıklılığını azalttığını ifade etmiştir.

Tomazevic ve diğer. (2006) de iki mm/s.'den daha yüksek hıza sahip trafik kaynaklı titreşimlerin duvarların yapısında gözle görülemeyen değişimler yarattığını belirtmiş; trafik kaynaklı titreşimlerin yapılardaki mevcut çatlaklarda yayılmalarına neden olduğunu ifade etmiştir. Tomazevic ve diğer. (2006) araştırma sonuçlarında; duvarlar önceden hasar görmediği sürece titreşimlerin gözle görülebilir bir hasar yaratmadığını saptamışlardır. Taş binalardaki titreşimi test eden Tomazevic ve diğer. (2006) trafik kaynaklı titreşimlerin taş materyalinin rezistansında önemli değişimler yaratmadığını belirtmiştir.

Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) ev sahiplerinin trafik kaynaklı titreşimler nedeniyle yapılarının hasara uğradığını iddia ettiklerini belirtmekte olup; Hunaidi (1996) bu hasarları duvarların ve tavanın çatlama, duvarların birbirinden ayrılması ve temeldeki çatlama olarak ifade etmektedir.

Varşova'da (Polonya) yoğun trafiğe maruz kalan caddelere yakın konumlanmış çok sayıda yapı olduğundan bahseden Tucholka ve diğer. (2008), olası hasarların ana nedeninin titreşimlerin çokluğu ve sıklığı olduğunu belirtmiştir. Ancak aynı zamanda uzun dönemler boyunca tekrarlayan titreşimlerin etkisinin de göz ardı edilemeyeceğini ifade etmiştir. Hunaidi ve Tremblay (1997) buna ek olarak yapılarda

trafik kaynaklı oluşan küçük titreşim düzeylerinin artan gerilimlerin en yüksek noktaya ulaşmasıyla hasara yol açabileceğini belirtmiştir.

Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) trafik kaynaklı titreşimlerin nadiren yapılarda hasara yol açacak titreşimlere ulaştığını belirtmiş; titreşimle birlikte başka faktörlerin de bu süreçte etkili olduğundan bahsetmiştir. Hunaidi ve Tremblay (1997) bu süreçte titreşimin çürümeye neden olan diğer etkenlerle birlikte sürece katıldığından bahsederken; Hunaidi (1996) yol kaynaklı küçük titreşimlerin, bina yorgunluğunun tetiklemesiyle birlikte zarar verici olabileceğinden bahsetmiştir. Titreşimler sonucu oluşan bina yorgunluğuna sahip yapılarda yorgunluğun diğer nedenleri nem (rutubet), sıcaklık değişimi, bakımsızlık veya geçmiş onarımlardır (Hunaidi, 1996). Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) buna ek olarak titreşimlerin özellikle güçsüz binalar ve tarihi yapılar üzerinde uzun dönemde yarattığı olumsuz etkilerine dikkat çekmiştir.

Tucholka ve diğer. (2008) yol trafiğinin kilise yapılarında önemli hasarlara yol açtığını tespit etmiştir. Bu durum kentleşme sonucunda trafiğin güçlü bir şekilde artmasıyla kentsel otoyolların yakınında konumlanan yapılar için doğrudur. Eski yapılar, asırlık anıtlar genellikle güçsüz kurulumla sahip ve çürük materyaller titreşimden zarar görebilirler (Tucholka ve diğer., 2008). Pau ve diğer. (2005) ise titreşimlerin anıtların zayıf sağlık statüsünden sorumlu tutulamayacağını ifade etmiştir. Hajek ve diğer. (2006) de otoyol trafiği kaynaklı titreşimlerin yalnızca çok büyük durumlarda mimari hasara neden olabileceğini belirtmiştir.

Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997) hava kaynaklı titreşimlerin, zemin kaynaklı titreşimlerden daha yüksek frekanslara sahip olduğunu önesürmüştür. Bu titreşim türü genellikle pencerelerin takırdamasına ve yapıların titreşim kaynağına yakın olan bölümlerinde obje kayıplarına neden olmaktadır (Hunaidi, 1996; Hunaidi ve Tremblay, 1997). Takemiya ve diğer. (2005) inşaat alanlarında yol viyadüklerinden kaynaklanan titreşimin, yakınındaki konut alanlarına olan zararlı etkilerinden bahsetmiştir. Sedovic (1984) ise kırsal alanlarda anayol inşaatı,

demiryolu inşaatı, taş ocakları veya maden ocakları kaynaklı gürültüler nedeniyle tarihi yapıların zarar gördüğünü belirtmiştir.

2.1.4 Titreşimi Engellemek için Yapılabilecek Müdahaleler

Dünya'nın farklı yerlerinde yapılan çalışmalarda titreşimin neden olabileceği hasarı azaltmak ya da engellemek için çeşitli önerilerde bulunulmuş; bu önerilerin bir bölümü aynı zamanda uygulama imkanı da bulmuştur. D'Apuzzo (2007) titreşimi hafifletmek ya da azaltmak amacıyla alınacak önlemlerin her zaman için uygun ve uygulanabilir olmadığını belirtmiştir. Çözümler ve engelleme stratejilerinden birinin yol yüzeyinin kontrolü olduğunu ifade eden Hunaidi (1996) yol yüzeyinin bakımının (rogar kapaklarının, yoldaki sorunların ve deliklerin yamanması, yeni kaldırım kaplamalarının uygulanması) en ekonomik ve etkili tedavi edici olduğunu belirtmiştir. Titreşimi azaltmanın pahalı ve zor olduğunu ifade eden Hunaidi (1996), mevcutta yapılaşmış binalar için en pratik iyileştirici ölçütün yol bakımı olduğunu belirtmiştir.

Pau ve diğer. (2005) yol trafiğine yönelik olarak, yol döşemesinin bakım koşullarının zemine geçen titreşim düzeyini güçlü bir şekilde etkilediğinden bahsetmiş olup; yol döşemesinin zayıf koşullara sahip olmasının titreşim şiddetinin büyüklüğünde artışa neden olabileceğini belirtmiştir. Hajek ve diğer. (2006) ise otoyol trafiğinden kaynaklanan yer temelli titreşimlerin pürüzsüz yol yüzeylerinin bakımı ile kontrol edilebileceğini saptamıştır. Kliukas ve diğer. (2008) trafik kaynaklı titreşimlere karşı tarihi yapıları savunmak amacıyla Vilnius Eski Kenti'ndeki ve diğer bölgelerdeki yol yüzeyinin bakımının uygun bir şekilde yapılması önerisinde bulunmuştur. Hunaidi ve Tremblay (1997) ise yapılardaki titreşim düzeyini azaltmak için en sık önerilen yöntemin, yolların yeniden kaplanması olduğunu ifade etmişlerdir.

Hunaidi (1996) kaldırımda yer alan çatlak ve kusurların yok edilmesinin, sürüş için gereken yol konforu, güveni ve görüntüsünün sağlanmasında etkili olduğundan bahsetmiş; yolların daha sık bakıma alınması gerektiğini ifade etmiştir. Maliyetinin yüksek olması nedeniyle, bu her zaman için yapılabilir bir şey değildir (Hunaidi,

1996). Hunaidi (1996) bunun yanı sıra deneysel ve teorik buluşların yol kalınlığını ve sertliğini arttırarak yol yapısını iyileştirmenin, titreşim düzeyini azaltmada etkili olmadığını gösterdiğini belirtmiştir.

Diğer bir ölçüt ise zemin yapısının iyileştirilmesi olup; Hunaidi (1996) özellikle yeni gelişme alanlarında zemin yapısının iyileştirilmesi gerektiğinden bahsetmiştir. Bunun yanı sıra Hunaidi (1996) yol altı zemin yapısını derin karıştırma teknikleri kullanarak iyileştirmenin titreşim düzeyini azalttığını ifade etmiştir. Hunaidi ve Gallagher (2000) ise yol yüzeyinin bakımının (ızgara kapaklarının tesviyesi, deliklerin yamanması ve yeni bir kaldırım katmanının uygulanması) en etkili ve ekonomik bakım yöntemi olduğundan bahsetmiştir. Hız limitinin düşürülmesi ve ağır taşıt trafiğinin sınırlandırılması uygulanması zor şeylerdir. Yolun kalınlığının ve sertliğinin arttırılması ise etkili değildir. Diğer taraftan yol yüzeyinin altındaki zemin yapısının iyileştirilmesi (derin karıştırma yöntemleriyle) titreşim düzeylerini azaltabilir. Yollar ve evler arasındaki uzaklığın arttırılması da planlı gelişmeler için pratik bir strateji olabilir (Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Pau ve diğer. (2005) çalışmalarında titreşimi engellemeye ya da azaltmaya yönelik olarak zeminle yol arasında izolasyon malzemesi kullanılmasından bahsetmiştir. Clemente ve Rinaldis (1998) bir izolasyon döşemesi tasarlanırken korunacak binanın, sayısal ve deneysel olarak analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiş; bununla birlikte sistemin dinamiğini etkileyen tüm elemanların dinamik karakteristiklerinin de analiz edilmesinin öneminden bahsetmiştir. Clemente ve Rinaldis (1998) Roma’da yer alan Villa Farnesina yapısını ağır taşıt trafiğinden korumak için Lungotevere yolunun yakınındaki zemin döşemesinin altında titreşime karşı bir sistem olduğundan bahsetmiştir. Titreşime karşı düzenlenen döşeme Villa Farnesina’da trafik kaynaklı titreşimin etkisini azaltmayı başarmıştır (Clemente ve Rinaldis, 1998). Günümüzde yolların kalitesinin iyi olmasına paralel olarak trafik kaynaklı titreşimlerin şiddeti düşük düzeydedir. Gerçekte anti titreşim döşemesi üzerinde ölçülen titreşim şiddeti normal döşeme üzerinde ölçülenden daha yüksek olup; yoldan farklı uzaklıklardaki değerlerle arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Anti-titreşim döşemesinin etkisi “power spektral yoğunluklarda”

yani döşemenin frekans şiddetinin 10-13 Hz arasında olduğu yerlerde görülmektedir. Anti titreşim döşemesi müdahalesi, trafik kaynaklı titreşimlerin frekans yapısını önemsiz düzeyde etkilemektedir (Clemente ve Rinaldis, 1998).

Taşıt şok sönümleyicilerine değinen Pau ve diğer. (2005) bu malzemenin tasarımındaki amacın, çevresel rahatsızlığı minimize etmekten çok yolcuların konforunu arttırmak ve tutunmayı garantilemek olduğunu ifade etmiştir. Viyadük ve tünellerdeki ses ve vibrasyonu sönümlemek için Avrupa’da özellikle balast mat maddesi kullanıldığına değinen Candemir (2008), selet altı pedler ve ray altı pedlerinin uygulama alanlarından birinin titreşime duyarlı yapı ve binaları korumak olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada travers altı pedlerin ray altı veya selet altı pedlere göre daha yüksek vibrasyon sönümleme kabiliyeti olduğu da belirtilmiştir.

Arlı (2008) raylı sistemlere yönelik olarak balastsız hatlarda alınan özel önlemlerle trafik kaynaklı vibrasyon seviyesinin düşürülmesi sonucu araca daha az kuvvetin etkiğinden bahsetmiştir. Toprak ve Aktürk (2002) balastsız yollarda üstyapı tabanına koyulan elastik mesnetlerle oluşturulan kütle-yay sisteminin 30 Hz’den büyük frekanslardaki titreşimleri 60 dba’nın altına indirebildiğini ifade etmişlerdir. Büyük miktarda titreşim kaybı oluşturan “kütle yay sistemleri” Almanya Köln, Rhein/Main yüksek sürat hattı, Atina Metrosu, Sao Paulo Metrosu (Brezilya), Kringentunnel Gothenburg (İsveç) ve Braga’da (Portekiz) kullanılmaktadır (Candemir, 2005). Raylı sistemler için elastik malzeme uygulamaları ise son 15 yılda artış göstermiş olup; Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya’da vibrasyon ve titreşim problemlerini en aza indirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Candemir, 2008).

Yılmaz, Eskişar ve Aklık (2005) geofam denilen bir malzemenin özellikle yol mühendisliği uygulamalarındaki önemini inceledikleri çalışmalarında bu maddenin 1960’lı yıllarda ilk olarak karayollarında ve havaalanları üst kesitlerinde don etkisine karşı kullanıldığını ifade etmiştir. Geofam maddesinin sahip olduğu çok düşük birim hacim nedeniyle hassas makineleri ve insanları rahatsız edebilecek boyutta küçük

genlikli titreşimlerin azaltılmasında faydalı olabileceği belirtilen çalışmada bu tarz titreşimlerin tipik kaynağının motorlu taşıtlar ve trenler olduğu ifade edilmiştir.

Zeminde bariyer uygulamaları titreşimi engellemeye yönelik diğer bir ölçüt olup; Hunaidi (1996) yeni gelişme alanları için, zemin içi bariyer uygulamalarının etkili kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Zemin bariyerleri, açık bırakılmış veya zemini kaplayan maddeden farklı bir maddeyle doldurulmuş çukurlardır. Bu engelleyiciler zemin yüzeyine yakın olarak yayılan ve Rayleigh dalgaları biçiminde zemin tarafından iletilen trafik titreşimlerinde etkilidir (Hunaidi, 1996).

Korkmaz ve diğer. (2010) titreşimleri önlemek için sönümlenme hendeklerinin hesaba katılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Duvarlar üzerindeki stresi azaltmanın en iyi yolunun boş bir hendek oluşturmak olduğunu ifade etmişler, kesme duvar stresleri için; hendek ve yapı arası mesafenin ve dolgu madde türünün duvarlarda olduğu kadar önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. Hendek boşsa ve derinliği artıyorsa stres dalgası azalmaktadır. Ancak hendek derinliği arttığında yapının bulunduğu yerdeki yerdeğiştirmeler (displacement) kesme duvarları üzerinde stresin küçük artışlarına neden olmaktadır (Korkmaz ve diğer., 2010). Dolgu maddesi ve hendek uzaklığı duvar ve kesme duvarı üzerindeki yer değiştirmelerde önemli bir etkiye sahip değildir. Hendek boşsa duvarlar ve kesme duvarlarının yer değiştirmeleri azalmaktadır. Boş ve derin hendekler duvar ve kesme duvar yer değiştirmeleri için en iyi çözümdür (Korkmaz ve diğer., 2010).

Boş bir hendek farklı dolgu maddeleriyle doldurulanlara göre daha iyi sönümlenme etkisi vermektedir. Hendek ve yapı arasındaki mesafenin artması yapı üzerindeki titreşim etkisinin azalmasında etkisiz bulunmuştur. Artan hendek derinliği ve boş bir hendek stres ve yer değiştirmeyi azaltmaktadır (Korkmaz ve diğer., 2010). Dolgu maddelerinden, hendekler ve yapılar arası mesafeden ya da hendeklerin derinliğinden kaynaklanan periyodlar arasında önemli bir fark yoktur. Bu da demektir ki zemin tabakalaşması titreşimin azaltılmasında etkili değildir. Hendek derinliği arttıkça duvarlar üzerindeki stres azalmaktadır. Yapı ve hendek arası mesafe duvarlar üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Dolgu maddesinin türü de duvar üzerindeki streste önemli bir farklılık yaratmamaktadır (Korkmaz ve diğer., 2010).

Çalışmalar göstermiştir ki yer temelli titreşim bariyerlerinin derinliği en az bir Rayleigh dalga uzunluğuna eşit olursa, titreşim düzeyinde önemli bir azalma oluşmaktadır (0,25 azalma faktörü önemli kabul edilir). Yol trafiği kaynaklı titreşimler için düşük frekanslı titreşimler nedeniyle on metreye ulaşan derin çukurlar gerekmektedir. Rayleigh dalgaları, trafik titreşiminin ana taşıyıcılarıdır ve yol yüzeyine yakın bir bölgede bir dalga boyu derinlikte hapsedilmektedir. Yer hareketi bu dalgalardan oluşan horizontal ve dikey bileşenlere sahiptir (Hunaidi, 1996).

Pau ve diğer. (2005) ve Hunaidi (1996) başka bir çözümün de taşıt hızını azaltmak olduğundan bahsetmiş olup; Watts ve Krylov (2000) yol tümseklerinin Birleşik Krallıklardaki yerel yönetimler tarafından titreşime duyarlı yol yüzeylerinde taşıt hızını ve kazaları azaltmak için kullanıldığını ifade etmiştir. Hız yastıkları da bir çeşit yol tümseği olup; binek araçlarının geçtiği yolların genişliği kadar olan açıklıklardır. Taşıt hızını düşürmek için tasarlanmaktadır. Hız yastıkları otobüslerdeki yolcu konforsuzluğunu azaltmakta ve geniş acil yardım araçlarının küçük bölgelerde yapılan hız yastıklarının güzergahlarını izlemelerini sağlamaktadırlar (Watts ve Krylov, 2000).

D'Apuzzo (2007) trafik güvenliğini sağlayabilmek için model uygulamalarının gösterildiği çalışmada sayısal simülasyonlarla sinüsoidal yol tümsek profilinin İtalya'da şu anda uygulanan trapezoidal şekilli yol tümseğine göre titreşim düzeyinde 5-30 Hz aralığında azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Watts (1990) ise; hızın 80'den 48'e düşürülmesinin PPV değerini %40 oranında azaltacağını; bunun yanı sıra hendek oluşturmanın da PPV'yi azaltacağını önermiştir. Trafik güzergahlarının daha az duyarlı yollardan geçirilmesi ve yük trafiğinin yaklaşık 7,5 tonla sınırlandırılması da önerilebilecek diğer çözümlerdir (Watts, 1990).

Kara ve demiryolu için ortak olan diğer bir çözüm ise yüksek maliyetli ve düşük frekanslarda etkisiz olan zemin hendekleridir (Pau ve diğer., 2005). Özellikle mevcut konut alanlarında çukurlar oluşturmak maliyetli olabilir. Bu nedenle daha büyük yapılarda, örneğin titreşim limitinin hata kabul etmez olduğu yerlerde, hastanelerin ameliyathaneleri için uygulanabilir (Hunaidi, 1996). Konut alanlarında, çukurlara alternatif olarak yol kenarında kireç sırası veya yolla birleşen alanlarda çimento

yığıny uygulanabilir. Yığınlar 0,5-1 metre kalınlığında (eninde) ve 15 metre derinlikte olmalıdır. Bununla birlikte bazı yığıma duvarların etkisi henüz trafik titreşimini azaltmak amacıyla kullanıma girmemiştir (Hunaidi, 1996).

Korkmaz ve diğeri. (2010) yer düzenlemelerinin yapılar da taşıt trafiğinden kaynaklanan stresi azaltmada önemli bir katkı sağlamadığını ifade etmişlerdir. Pau ve diğeri. (2005) kara ve demiryolu için ortak olan diğeri bir ölçütün mevcut dokularda uygulanması zor olan ve kültürel yapılarla da bağdaşmayan yapı izolasyonu olduğundan bahsetmiştir. Pau ve diğeri.'e (2005) ek olarak yapı izolasyon sistemlerinden bahseden Hunaidi (1996) çok katlı yapılar da izolasyon sistemlerinin yol altı kaynaklı titreşimleri azaltmada başarılı olduğunu ifade etmiştir. İzolasyon sistemlerinin uygulanmasının maliyeti mevcut binalar için çok yüksektir (Hunaidi, 1996).

Nawrotzki (2007) elastik destek sistemlerinin kültürel miras yapılarının davranışlarının kontrolünde kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu sistem yapıdaki sismik talebi azaltmakta çok etkili olup; dünya üzerinde farklı deprem olayları esnasında değeri anlaşılmıştır (Nawrotzki, 2007). Köln'deki bir kumarhane inşaatının temellerinde de hemen yakınında bulunan karayolu tünelineki hareketlilik ve gürültü nedeniyle poliüretan elastomer kullanılmıştır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da poliüretan elastomer uygulamaları raylı sistemlerden kaynaklanan titreşim ve vibrasyon problemlerini en aza indirmek amacıyla başarıyla uygulanmaktadır (Candemir, 2005).

Hunaidi (1996) yeni gelişme alanlarında binalar ve yollar arasındaki uzaklığın artırılması gerektiğini ifade etmiş olup; bunun planlı gelişen alanlarda pratik bir strateji olabileceğinden bahsetmiştir. Kliukas ve diğeri. (2008) Vilnius Eski Kenti'ndeki ve diğeri bölgelerdeki ulaşım güzergahlarının etkili bir şekilde düzenlenmesinin trafik kaynaklı dinamik yüklemeleri azaltacağını belirtmiştir. Hunaidi (1996) de ağır taşıtları sınırlandırmanın etkileyici iyileştirici metodlar olduğundan bahsetmiş ancak uygulanmasının zor olduğunu ifade etmiştir.

Rezonans oluşumunu engelleyebilmek için köprü dizaynı ve taşıt dizaynının değiştirilebileceğini belirten Öztürk ve diğer.'e (bt) benzer şekilde Hunaidi ve Tremblay (1997) de Montreal'deki ana sıkıntının otobüs suspansiyon sistemlerinin modifiye edilmesiyle azaltılabileceğini ifade etmiştir. Pau ve diğer. (2005) tekerleklerin bakımının raylı sistemlerde titreşimden kaynaklanan rahatsızlığı azaltmaya yardımcı olacağını ifade etmiştir. Hendriks (2002) ise; gürültüden farklı olarak; yer temelli titreşimleri azaltmanın kolay olmadığından bahsetmiştir. Öneri olarak da ulaşım hizmetlerinin tasarlanması sırasında bu alanların titreşim duyarlı alanlardan uzak konumlandırılması gerektiğini ifade etmiştir. Mevcut ulaşım hizmetlerinin bulunduğu alanlarda ise titreşime neden olan belli kaynakların örn. çukurlar; kaldırım çatlakları vb. yeni yüzey düzenlemeleriyle çözülmesi gerektiğini; kamyon trafiğinin yasaklanmasının da iyi bir çözüm olabileceğini belirtmiştir (Hendriks, 2002).

Literatür incelemeleri sonucunda; trafik kaynaklı titreşimin (1) taşıttan kaynaklanan değişkenler (taşıt hızı, suspansiyon sistemi, ağırlığı, taşıt kusurları, taşıt dingillerindeki yüklemeler, trafik hacmi vb.), (2) yapıdan kaynaklanan değişkenler (yapının konumu, maruz kaldığı yorgunluk ve gerilmeleri, yapı malzemesi, yapının yola mesafesi vb.), (3) yüzeyden kaynaklanan değişkenler (topoğrafya, zemin sertliği, pürüzlü yol ve kaldırımlar, yerin absorbe etme gücü, çukur ve çatlaklar vb.), (4) gürültü temelli değişkenler (inşaat kaynaklı, madencilik kaynaklı) ve (5) mevsimsel nedenlerden kaynaklanan değişkenler (nem ve sıcaklık, taban suyu seviyesi, zeminin donmuş olması vb.) olmak üzere incelendiği tespit edilmiştir. Ancak yapılan çalışmalar genellikle mühendislik temel alanında kullanılma amacına uygun olarak hazırlanmış olup; alınan sonuçların planlama temel alanında kullanımına yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Planlama meslek alanından bahsedilen nadir çalışmalarda ise konu sadece temenni niteliğinde kalmış; şehir ve bölge plancılara yol gösterecek somut önerilere yer verilmemiştir. Bu çalışmada bahsedilen her bir değişkenin titreşim düzeyleri üzerinde hangi oranlarda ve hangi yönlerde (negatif veya pozitif) etkili olduğu tespit edilmiş ve özellikle Koruma Amaçlı İmar Planları'nın hazırlanmasında alınabilecek önlemlerle ilgili çerçeve oluşturulmuştur.

2.2 Literatür Çerçevesinde Yapılabilecek Çıkarımlar

Yer temelli trafik kaynaklı titreşimlerin yapılarda hasar oluşturması konusunda literatürde farklı görüşler bulunmakta olup; bazı araştırmacılar sadece öngörülerde bulunmakla yetinirken; bazı araştırmacılar titreşim düzeylerini ölçerek test ettikleri çalışmalarla bazı sonuçlara ulaşmışlardır. Tablo 2.2 bu sonuçların genellenmesiyle oluşturulmuştur.

Tablo 2.2 Literatür taramaları sonucunda elde edilen görüşlerin araştırmacılara göre kategorik olarak dağılımı

	Literatürde Yer Alan İfadeler	İfade Kaynakları
Öngörüler	Yer temelli titreşimler yapılarda hasara neden olacaktır/olacağı düşünülmektedir	D'Apuzzo (2007), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Jurevichius, Vekteris ve Daktariūnas (2007), Kuter ve Erdoğan (2008), Klaoe ve diğer. (2003), Pau ve diğer. (2005), Pyl ve diğer. (2002), Watts ve Krylov (2000)
	Yer temelli titreşimler genellikle hasara neden olmaz	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Office of Planning and Environment Federal Transit Administration (2006), Watts (1990)
	Trafik kaynaklı titreşimler yapının önceden maruz kaldığı gerilmeleri tetikler	Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Pau ve Vestroni (2008), Tomazevic ve diğer. (2006), Tucholka ve diğer. (2008), Watts (1990)
	Yapılar üzerindeki titreşim faktörü özellikle eski yerleşmelerde dikkate alınmalıdır	Candemir (2005, 2008), Korkmaz ve diğer. (2010), Office of Planning and Environment Federal Transit Administration, (2006), Pau ve Vestroni (2008)
	Yer temelli titreşimler tarihi yapılarda hasara neden olmuştur	Clemente ve Rinaldis (1998), Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Tucholka ve diğer. (2008)
	Trafik kaynaklı titreşimler modern ve hafif yapılarda problemler oluşturmaktadır.	Li, Zou ve Omenzetter (2009)
Titreşim Analizleri Sonucunda Çıktılar	Çalışma sonuçlarında yer temelli titreşimlerin yapılarda hasara neden olmadığı tespit edilmiştir	Hao ve diğer. (2001)
	Çalışma sonuçlarında trafik kaynaklı titreşimlerin hasar oluşturma riski düşük bulunmuştur	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997), Pau ve diğer. (2005)
	Çalışma sonuçlarında yer temelli titreşimlerin yapılarda hasara neden olacağı tespit edilmiştir	Kliukas ve diğer. (2008)
	Çalışma sonuçlarında trafik kaynaklı titreşimlerin yapılarda/duyarlı aletlerde vb. hasar oluşturmadığı saptanmıştır	Harvey, Curley ve Thalheimer (2010), Jaks, Griffith ve Grounds, (2002), Li, Zou ve Omenzetter (2009), Pau ve Vestroni (2008), Penton ve Taylor (2008), Suandi (2010), Traffic Advisory Leaflet (1996).

Literatür çerçevesinde yapılabilecek çıkarımlar bu konuda uzman bulmanın ve karşılaşılan soruların cevaplarını almanın nadir olduğu bir ortamda; büyük önem taşımaktadır. Geçmiş çalışmalarda izlenen yol ve yöntemler ile çalışma sonuçları; bu çalışmanın sonuca ulaşması için ölçüm sürecinin belirlenmesinde ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde yol gösterici olacaktır.

Trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili yapılan çalışmalarda; titreşim düzeylerini etkilediği düşünülen değişkenler belirlenmiş; belirlenen değişkenlerden bazıları da yapılan ölçümlerde değerlendirilmiştir. Bu değişkenler genel olarak titreşim alıcısı olan yapılarla ilgili değişkenler; zeminle ilgili değişkenler, yol düzensizlikleri ve bariyerleri ile ilgili değişkenler, taşıtlarla ilgili değişkenler ve zamansal ve iklimsel değişkenler olmak üzere beş başlık altında değerlendirilebilir. Tablo 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7’de belirtilen değişkenler çalışma kapsamında mevcut literatür ışığında dikkate alınmış değişkenlerdir.

Tablo 2.3 Yapılarla ilgili değişkenler

Değişken Adı	Araştırmacılar ve Çalışmaları
Yapının yola uzaklığı	Crispino ve D’apuzzo (2001), Hao ve diğer. (2001), Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Hendriks (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Miwa ve diğer.; (2004), Penton ve Taylor (2008), Tucholka ve diğer. (2008), Wang ve diğer. (2006), Watts (1990)
Yapıların bakımsız olması/yapı malzemesinin eskimiş olması/eski yapıların önceden kazaya uğramış olması	Hunaidi ve Tremblay (1997), Pau ve diğer. (2005), Tomazevic ve diğer. (2006), Tucholka ve diğer. (2008)
Yapının konumu	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006)
Yapı türü-malzemesi	Clemente ve Rinaldis, (1998), Crispino ve D’apuzzo (2001), D’Apuzzo (2007), Hao ve diğer. (2001), Hunaidi ve Gallagher (2000), Kliukas ve diğer. (2008), Korkmaz ve diğer., (2010), Tomazevic ve diğer. (2006)
Kat adetleri	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hao ve diğer. (2001), Miwa ve diğer. (2004)
Yapısal özellikler	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi ve Tremblay (1997), Hunaidi (1996), Li, Zou ve Omenzetter (2009)
Yapının statik koşulları	Clemente ve Rinaldis (1998)
Yapının frekansı	Kliukas ve diğer. (2008)
Çevresindeki yapılar	Watts (1990)
Yapı inşa öncesi/sonrası	Miwa ve diğer. (2004)

Tablo 2.4 Zeminle ilgili değişkenler

Değişken Adı	Değişken Kaynağı
Zemin Karakteristiği	Degrande (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Lombert ve Degrande (2001), Miwa ve diğer. (2004), Takemiya ve diğer. (2005), Traffic Advisory Leaflet (1996), Watts (1990)
Zemin –Yapı etkileşimi	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Lombert ve Degrande (2001)
Yol-Yapı arasındaki zemin	Watts (1990)
Yerin absorbe etme gücü	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006)
Jeolojik katmanlar	Watts (1990)
Yerin eğimi/topoğrafya	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Wang ve diğer. (2006)

Tablo 2.5 Zamansal ve iklimsel değişkenler

Değişken Adı	Değişken Kaynağı
Günün farklı saatleri	Wang ve diğer. (2006), Miwa ve diğer. (2004)
Tatil/İş günü	Suandi (2010)
En yoğun/En sakin/normal saatlerde	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hao ve diğer. (2001), Kliukas ve diğer. (2008), Takemiya ve diğer., (2005), Tucholka ve diğer. (2008), Wang ve diğer. (2006)
Yılın Hangi Sezonu Olduğu/Mevsimsel Faktörler/Nem ve Sıcaklık Dönüşümleri/Zemin tabakasının donmuş olması	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997)
Taban suyu seviyesi	Hunaidi ve Tremblay (1997)

Tablo 2.6 Yol düzensizlikleri/bariyerleriyle ilgili değişkenler

Değişken Adı	Değişken Kaynağı
Kanalizasyon Kapakları, Izgaralar vb., hidrolik boruların yol yüzeyine gömülmesi	D'apuzzo (2007), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Tremblay (1997)
Yol tümsekleri/Çukurları/Bariyerler	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Kliukas ve diğer. (2008), Traffic Advisory Leaflet (1996)
Yol yapı malzemesi	D'apuzzo (2007)
Yol yüzeyindeki yapay profiller	Traffic Advisory Leaflet (1996)
Yol pürüzlülüğü	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Lombert ve Degrande (2001), Pyl ve diğer. (2002), Toprak ve Aktürk (2002, 2003), Watts (1990)
Kaldırım düzensizlikleri/pürüzü	Hajek ve diğer. (2006), Hendriks (2002), Pau ve diğer. (2005), Suandi (2010), Tomazevic ve diğer. (2006)
Çukur ve çatlaklar	Hajek ve diğer. (2006), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi ve Tremblay (1997), Tucholka ve diğer. (2008)
Yol/Yüzey Düzensizlikleri	Hunaidi ve Gallagher (2000), Pau ve Vestroni (2008), Suandi (2010)
Yol yüzey profili	Watts, (1990)
Yol/Yüzey koşulları	Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Suandi (2010)
Yol Karakteristiği	Lombert ve Degrande (2001)
Çukurların/Hendeklerin Derinliği	Wang ve diğer. (2006)

Ölçüm sırasında dikkat edilmesi gereken kriterler ise yine literatür taramalarından yapılan çıkarsamalarla tablolaştırılmıştır (Tablo 2.8). Literatürde ölçümler öncesinde ve sonrasında bu ilkelere uyulmasına özen gösterilmiştir.

Tablo 2.7 Taşıtlarla ilgili değişkenler

Değişken Adı	Değişken Kaynağı
Taşıtların hızı	Crispino ve D'apuzzo (2001), Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Kliukas ve diğer. (2008), Lombert ve Degrande (2001), Mirza, Frid ve Nielsen (2010), Miwa ve diğer. (2004), Pau ve diğer. (2005), Pau ve Vestroni (2008), Penton ve Taylor (2008), Pyl ve diğer. (2002), Suandi (2010), Traffic Advisory Leaflet (1996), Toprak ve Aktürk, (2002, 2003), Watts (1990)
Taşıtların türü	Clemente ve Rinaldis (1998), Crispino ve D'apuzzo, (2001), Hajek ve diğer. (2006), Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hendriks (2002), Henwood ve Haramy (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Jurevichius, Vekteris ve Daktariunas (2007), Kliukas ve diğer. (2008), Kuter ve Erdoğan (2008), L.A.B. Equipment Inc., (2006), Li, Zou ve Omenzetter (2009), Lombert ve Degrande (2001), Miwa ve diğer. (2004), Takemiya ve diğer. (2005), Traffic Advisory Leaflet (1996), Pyl ve diğer. (2002), Suandi (2010), Watts (1990), Watts ve Krylow (2000).
Taşıtların ağırlığı	Clemente ve Rinaldis (1998), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Takemiya ve diğer. (2005), Traffic Advisory Leaflet (1996), Watts (1990), Watts ve Krylow (2000)
Suspansiyon sistemi	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Traffic Advisory Leaflet (1996), Toprak ve Aktürk, (2002, 2003), Watts, (1990), Watts ve Krylow (2000)
Taşıtların karakteristiği	Hajek, Blaney ve Hein (2006), Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi ve Tremblay (1997), Lombert ve Degrande (2001), Watts, (1990).
Taşıtların yüklü/yüksüz olması	Kliukas ve diğer. (2008), Lombert ve Degrande (2001), Traffic Advisory Leaflet (1996)
Trafikteki artış/Trafik hacmi	Clemente ve Rinaldis (1998), Hajek ve diğer. (2006), Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Kliukas ve diğer. (2008), Lombert ve Degrande (2001), Miwa ve diğer. (2004), Suandi (2010), Tucholka ve diğer. (2008)
Aks konfigürasyonu	Watts ve Krylow (2000)
Taşıtların şok sönmeyicileri	Pau ve diğer. (2005)
Aksiyel yükleme/ağırlık	D'apuzzo (2007), Traffic Advisory Leaflet (1996), Watts (1990)
Taşıtların dingillerindeki yüklemeler	Lombert ve Degrande (2001)
Tekerleklerin şekilsel düzensizliği	Pau ve diğer. (2005)
Lastiklerin Şişme Durumu	Hajek, Blaney ve Hein (2006)

Yapıların, zemin koşullarının, taşıtların özelliklerinin, zamansal ya da iklimsel koşulların ve yol düzensizliklerinin neden olduğu titreşim düzeylerini yapılar da hasar oluşturmayacak ya da insanları rahatsız etmeyecek düzeylere indirebilmek için çeşitli öneriler önerilmektedir. Bu önerilerde temelde zemin koşullarına yönelik düzenlemeler, yapılar da alınabilecek önleme çalışmaları, taşıtlar ve trafığa yönelik önlemler ve yol koşullarına yönelik önlemler olmak üzere incelenebilir. Tablo 2.9'da kategorilere ayrılan önleme çalışmaları; ölçüm sonuçlarının analiz edilmesinden sonraki aşamada kentlerde trafikten kaynaklanan titreşime maruz kalan alanlar da ne gibi önlemler alınabileceğine dair çalışmalarda yol gösterici olacaktır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde; titreşimi etkilediği bilinen ve daha önceden yukarıda belirlenmiş olan değişkenlerden test edilebilir olanlar seçilerek; titreşimi etkileyen ve plan kararları ile kontrol edilebilen değişkenler ve bu

değişkenlerin titreşimi etkileme düzeylerine yönelik bir regrasyon modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Tablo 2.8 Ölçümler sırasında dikkat edilmesi gerekenler

Ölçümler Sırasında Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler	
1	Ölçümün gerektirdiği frekans ve genliğe uygun ölçüm aleti seçilmelidir (Hunaidi, 1996; Hunaidi, Rainer ve Pernica, 1994).
2	Çalışılacak ulaşım türü ve güzergahlar çok dikkatli belirlenmelidir (L.A.B. Equipment Inc., 2006).
3	Kullanılacak değişkenler belgelenmek üzere kontrol edilmelidir (L.A.B. Equipment Inc., 2006).
4	İstatistiksel güven derecesi için her bir ulaşım türünde benzer koşullar altında pek çok ölçüm yapılmalıdır (L.A.B. Equipment Inc., 2006).
5	Akselerometre jeofonlara göre daha geniş bir ölçüm aralığı sağlaması nedeniyle tercih edilmelidir (Hunaidi, Rainer ve Pernica 1994).
6	Trafik kaynaklı titreşimlerde servo-null akselerometre türü kullanılır. Akselerasyon eşiği 1 mg; hassasiyet 10 V/g, Rezonans frekansı ise 800 Hz'den büyük akselerometrelerdir (Hunaidi, Rainer ve Pernica 1994).
7	Yapı hasarı açısından titreşim hesaplamalarının yapılmasında peak titreşim sinyalinin (peak vibration signal) bulunması ve verilen zaman aralığında (-) ve (+) peak değerlerin hesaplanmasıyla baskın titreşim frekansının belirlenmesi yeterlidir (Hunaidi, Rainer ve Pernica 1994).
8	Yer temelli titreşimlerde en yüksek düzeye genellikle dikey doğrultuda ulaşılması nedeniyle dikey bileşen önemlidir (Hendriks, 2002; Li, Zou ve Omenzetter, 2009; Watts, 1990). Bu nedenle pek çok araştırmacı çalışmalarda daha çok maksimum dikey parçacık hızını (peak vertical partical velocity) kullanmaktadır (Hajek, Blaney ve Hein, 2006; Hendriks, 2002; Li, Zou ve Omenzetter, 2009).
9	Dikey ölçümü yapacak akselerometre yapının orta noktasında; diğer akselerometreler ise odanın kenarlarında konumlandırılabilir (Li, Zou ve Omenzetter, 2009).
10	Titreşimlerin insanlar üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için titreşim düzeyinin en yüksek olduğu noktalarda; özellikle de katların orta noktalarında ölçüm yapılmalıdır (Hunaidi, 1996; Hunaidi, Rainer ve Pernica, 1994).
11	Genellikle yapının her katında X, Y ve Z doğrultularında ölçümler yapılmalıdır (Jurevichius, Vekteris ve Daktariūnas, 2007).
12	Ahşap zeminlerde kirşilerin yanında ölçüm yapılmalıdır (Hunaidi, 1996; Hunaidi, Rainer ve Pernica, 1994).
13	Yapıda oturanların göstereceği noktalarda ölçümlerde dikkate alınmalıdır (Hunaidi, 1996; Hunaidi, Rainer ve Pernica, 1994).
14	Yapılardaki titreşimi ölçmek içinse yapı temellerinde veya yapıya yakın zeminde, yapının yol ve demiryoluna bakan yönünde ölçüm yapılmalıdır (Hunaidi, 1996; Hunaidi, Rainer ve Pernica, 1994). Miwa ve diğer.'de (2004) titreşim ölçümlerini yola bakan tarafta her katta ayrı ayrı değerlendirmişlerdir.
15	Yola yakın yüzeyde ölçüm yapılmalıdır (Hunaidi, 1996).
16	Akselerometre yapıya bitiştirilmeli, yerdeğiştirme, hız ve akselerasyonun üçü birden, standartlardaki değerlerle karşılaştırılarak ölçüm gerçekleştirilmelidir (Jurevichius, Vekteris ve Daktariūnas; 2007).
17	Harvey, Curley ve Thalheimer (2010) tüm zamandaki ortalama frekansı almak yerine tüm zamandaki veriyi kaydederek titreşim ölçümü yapmışlardır.
18	En yoğun yol ve titreşime duyarlı ekipmanların yakını ölçümler için seçilebilir (Harvey, Curley ve Thalheimer; 2010).
19	Ölçüm değerlerinin etkilenmemesi için, ölçüm sırasında ölçümü yapanlar hareket etmemelidir (Harvey, Curley ve Thalheimer; 2010; Hunaidi, Rainer ve Pernica; 1994).
20	Farklı derinliklerde de (beş, 15, 40 metre vb.) ölçümler gerçekleştirilebilir (Wang ve diğer., 2006).
21	Korkmaz ve diğer. (2010) hendek ve yapı arası mesafeleri değiştirerek ölçümler yapmıştır.
22	Suandi (2010) hız (velocity) değerinin (mm/sn) ölçümlerde kullanılmasını önermiştir.
23	Titreşim ölçümü için akselerometreler zemin, orta ve en yüksek noktalarda konumlandırılabilir (Pau ve diğer., 2005).
24	Yol merkezi, yolun birden fazla şeridi olması durumunda ölçüm noktasına en yakın şeridin orta noktasını ifade etmektedir (Hao ve diğer., 2001).

Tablo 2.9 Titreşim önleme çalışmalarlarıyla ilgili değişkenler

Zemin Koşulları ile İlgili Öneriler	Zeminde bariyer uygulamaları/Sönümleme Hendekleri/bu bariyerlerin derinlik ve yükseklikleri	D'Apuzzo (2007), Hunaidi (1996), Korkmaz ve diğer. (2010), Watts (1990), Watts ve Krylov (2000), Pau ve diğer. (2005)
	Zemin ve yol arasında izolasyon malzemesi kullanılması	Clemente ve Rinaldis (1998), Pau ve diğer. (2005)
	Zemin döşemesinin altında titreşime karşı sistem oluşturulması/titreşime yönelik malzemeler kullanılması	Candemir (2008), Clemente ve Rinaldis (1998), Toprak ve Aktürk (2002), Yılmaz ve diğer. (2005)
Yapı ve Yapı Mesafeleriyle İlgili Önlemler	Yapı yapılacak alanlarda zemin yapısının iyileştirilmesi	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000)
	Yapı izolasyonu ve Yapı malzemeleri	Candemir (2005), Hunaidi (1996), Nawrotzki (2007), Pau ve diğer. (2005)
	Yollar ve evler arasındaki mesafenin artırılması	Hendriks (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000)
Taşıt ve Güzergahlara Yönelik Önlemler	Hız limitinin düşürülmesi	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Pau ve diğer. (2005), Watts (1990)
	Ağır taşıt trafiğinin sınırlandırılması	Hendriks (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000)
	Yük trafiğinin sınırlandırılması	Watts (1990)
	Güzergah düzenlemeleri	Kliukas ve diğer. (2008), Watts (1990)
	Taşıt şok sönümleyicileri	Pau ve diğer. (2005)
	Köprü ve Taşıt dizaynı	Öztürk ve diğer. (bt)
	Suspansiyon sistemi	Öztürk ve diğer. (bt)
	Tekerleklerin bakımı (raylı sistemler için)	Pau ve diğer. (2005)
Yol Yüzey Koşullarına Yönelik Önlemler	Yol yüzeyinin bakımı	Hajek ve diğer. (2006), Hendriks (2002), Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000), Kliukas ve diğer. (2008), Pau ve diğer. (2005)
	Yolların Kalitesi	Clemente ve Rinaldis (1998)
	Yeni Kaldırım Kaplamaları	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000)
	Yolların yeniden kaplanması	Hunaidi ve Tremblay (1997)
	Yol kalınlığını ve sertliğini artırarak yol yapısını iyileştirmek	Hunaidi (1996), Hunaidi ve Gallagher (2000)

BÖLÜM ÜÇ

VERİ TOPLAMA ve VERİ TABANI OLUŞTURMA

Literatür taramaları sonucunda yapılan çıkarsamaların ardından çalışmanın bu bölümünde Birgi'deki trafik kaynaklı titreşim ölçüm çalışmalarında gerekli olan veriler ve veri kaynakları aktarılacaktır.

3.1 Titreşim Ölçümü Yapılacak Yapılar ve Caddeler

Trafikten kaynaklanan titreşimler, sağlıklı ve güvenli değildir ve sıkıntı verirler. Titreşimler; oluşturdukları fiziksel sıkıntılar; pencere çerçevelerinin çatlama, obje kayıpları vb. nedenlerle kabul edilemezdir. Yapılar beklenmeyen zemin hareketleri, nem, sıcaklık dönüşümleri, bakımsızlık, geçmiş yenileme ve onarımlar gibi nedenlerle gerilmelere maruz kalmıştır. Trafik kaynaklı titreşimler ise bu gerilmeleri tetikler (Hunaidi ve Gallagher, 2000).

Birgi'de yapılacak çalışmalar; yapıların “tescilli kültür varlığı olması” ve “konut kullanımında” olmaları ile sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla öncelikle Birgi'deki tescilli yapılar bilgisine ulaşılmış ve bu yapılardan konut kullanımında olanlar tespit edilmiştir.

Birgi'de bulunan 163 tescilli yapının 117 tanesinin konut kullanımında olduğu saptanmış olup; diğer yapılar sur duvarı, çeşme, cami, dikilitaş, anıt, medrese, kule, mescit, türbe ve mezarlık, su kemeri, ağaç, yağhane, jandarma binası, duvar kalıntısı, yer altı geçidi, hamam, şadırvan, konak (üç tane), eski yapı (bir tane), enkazhane, değirmen yeri ve zeytinyağı fabrikası olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla tescilli niteliğindeki 40 yapı; konut kullanımında olmaması nedeniyle çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 3.1 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları

Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu	Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu
1	Konut	Kurtgazi Mah.Hıdır Sok.No:6 (DÜŞTÜ TESCİLİ)	çalışma kapsamı dışında bırakıldı.	21	"	Kurtgazi Mah.Derrişaga Sok.No:6	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
2	Konut	Kurtgazi Mah.Hıdır Sok.No:11	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	22	"	Kurtgazi Mah.Kocaçeşme Sok.No:3	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
3	Konut	Kurtgazi Mah.Hıdır Sok.No:18	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	23	"	Umurbey sok.No:19	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
4	Konut	Kurtgazi Mah.Ufuk Sok.No:5-5/A	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	24	"	Okul Sok.No:2Umurbey Sok.No:15	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
5	Konut	Kurtgazi Mah.Derrişaga Sok.No:8	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	25	"	Umurbey sok.No:27	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
6	Konut	Cumhuriyet Mah.Arif Çelebi Sok. No:1	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	26	"	Umurbey sok.No:25	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
7	Konut	Cumhuriyet Mah. Cumhuriyet Meydanı Arif Çelebi Sok.No:2	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	27	"	Umurbey sok.No:23	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
8	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:104	uygun	28	"	Umurbey sok.No:19	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
9	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:102	uygun	29	"	Okul Sok.No:6	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
10	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:86 Derrişaga Sok.No:1	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	30	"	İnönü Sok.No:2	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
11	Konut	Kurtgazi Mah.Derrişaga Sok.No:5	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	31	Konut	Ufuk Sok.No:14	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
12	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:94	uygun	32	"	Hıdır sok.No:26	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
13	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:92	uygun	33	"	Taşpazar Mah.No:20	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
14	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:86	uygun	34	"	Taşpazar Mah.No:65	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
15	Konut	Kurtgazi Mah. Börekçi Sokak No:1	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	35	"	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:72	uygun
16	Konut	Cumhuriyet Mah. Cumhuriyet Meydanı No:21	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	36	"	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:52(bozdoğ an yolu)	çıkma sokak
17	Konut	Kurtgazi Mah.Kurtgazi Cad.No:118	uygun	37	"	Kurtgazi Mah.Çakırağa Sok.No:3	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
18	Konut	Kurtgazi Mah.Hıdır Sok.No:14	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	38	"	Kurtgazi Mah.Çakırağa Sok.No:17-15-13	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
19	Konut	Kurtgazi Mah.Ufuk Sok.No:34	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	39	"	Kurtgazi Mah.Çakırağa Sok.No:2	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
20	Konut	Kurtgazi Mah.Ufuk Sok.No:16	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	40	"	Kurtgazi Mah. Ş.G.M. Cad. No:46	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil

Tablo 3.2 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları

Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu	Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu
41	Konut	Kurtgazi Mah. Akmescit Sok.No:27	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	61	Konut	Kurtgazi Mah. Kurtgazi Cad.No:42	uygun
42	Konut	Kurtgazi Mah. Kurtgazi Cad.No:16	uygun	62	"	Kurtgazi Mah. Kaya Sok.No:7	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
43	Konut	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok. No:15	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	63	"	Camikebir Mah. Meydanbaşı Sok.No:11	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
44	Konut	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok. No:9	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	64	"	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok: No:30-28	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
45	Konut	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sk. No:8 İle 3.Beyzade Sok No:35	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	65	"	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok: No:23	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
46	Konut	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok. No:6	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	66	"	Camikebir Mah.Karanfil Sok. No:18	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
47	Konut	Camikebir Mah.Bahadır Bey Sok.No:3-5-6-7	hiçbir araç giremez	67	"	Camikebir Mah.Karanfil Sok. No:18	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
48	Konut	Camikebir Mah. Karanfil Sok.No:10	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	68	"	Camikebir Mah.3.Beyzade Sok.No:36	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
49	Konut	Camikebir Mah. Karanfil Sok.No:13	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	69	"	Camikebir Mah.Bahadır Bey sok.No:7	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
50	Konut	Camikebir Mah. Karanfil Sok.No:17	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	70	"	Camikebir Mah.3.Beyzade Sok.No:1	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
51	Konut	Camikebir Mah. Karanfil Sok.No:17	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	71	"	Camikebir Mah.Beyzade Sok. No:8	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
52	Konut	Camikebir Mah.İmam Birgivi sok.Köşesi(Meydan başı Sok.No:1-3)	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	72	"	Camikebir Mah.Beyzade Sok. No:4-6	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
53	Konut	Camikebir Mah.981.Sok.Devamında No:17	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	73	"	Camikebir Mah.2.Beyzade sok.No:3	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
54	Konut	Camikebir Mah.3.Beyzade Sok.No:17	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	74	"	Camikebir Mah.2.Beyzade sok.No:1	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
55	Konut	Camikebir Mah.Beyzade Sok.No:9	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	75	"	Camikebir Mah.Camiönü sok.No:3	uygun
56	Konut	Camikebir Mah.2.Beyzade Sok.No:7	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	76	"	Camikebir Mah.İmam Birgivi Sok: No:25	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
57	Konut	Camikebir Mah.Okul Sok.No:15	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	77	"	Camikebir Mah. Meydanbaşı Sok.No:5	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
58	Konut	Camikebir Mah. Allame Sok.No:1-2	hiçbir araç giremez	78	"	Kurtgazi Mah. Kaya Sok.No:10	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
59	Konut	Kurtgazi Mah. Kurtgazi Cad.No:74	uygun	79	"	Camikebir Mah. İmam-ı Birgivi Sokak No:17	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
60	Konut	Kurtgazi Mah. Akmescit Sok.No:15-17(Çakırağa Sok. No:113)	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	80	"	Kurtgazi Mah. Akmescit Sokak No:28	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil

Tablo 3.3 Ödemiş/Birgi konut kullanımındaki tescilli eser listesi ve titreşim ölçümüne uygunluk durumları

Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu	Sıra No	ADI	ADRESİ	Titreşim Ölçüm Çalışmasına Uygunluğu
81	Konut	Cumhuriyet Mah. Arif Çelebi Sokak No:3	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	101	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi 3.Beyzade Sokak	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
82	Konut	Camikebir Mah. İmam-1 Birgivi Sokak No:8	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	102	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Karaoğlu Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
83	Konut	Camikebir Mah. 3. Beyzade Sokak No:18	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	103	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Bahadırbey Sokak	hiçbir araç giremez
84	Konut	Kurtgazi Mahallesi Çakırağa Sokak No:7	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	104	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Okul Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
85	Konut	Camikebir Mah. Merydanbaşı Sokak No:18	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	105	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Umurbey Caddesi	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
86	Konut	Kurtgazi Mah. Kenar Sokak No:20	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	106	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Aydınoğlu Meydanı	çıkamaz sokak
87	Konut	Camikebir Mah. İmam-1 Birgivi Sokak No:11	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	107	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Sasalı	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
88	Konut	Kurtgazi Mah. Akmesit Sokak No:14	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	108	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Sasalı	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
89	Konut	Cumhuriyet Mah. Dumlupınar Sok. No:3	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	109	Konut (grubu 2)	Gaziumurbey Mahallesi Demirbaba	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
90	Konut	Camikebir Mah. Camiönü Sokak No:9	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	110	Konut (grubu 2)	Gaziumurbey Mahallesi Demirbaba	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
91	Konut	Gaziumurbey Mh. Demirbaba Caddesi No:35	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	111	Konut (grubu 2)	Gaziumurbey Mahallesi Demirbaba	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil
92	Konut	Kurtgazi Mahallesi	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	112	Konut (grubu 2)	Gaziumurbey Mahallesi Fatih Mehmet Bey Caddesi	uygun
93	Konut (grubu 2)	Kurtgazi Mahallesi Çörebaba	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	113	Konut (grubu 2)	Cumhuriyet Mahallesi Kazımdirik Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
94	Konut (grubu 2)	Kurtgazi Mahallesi Çörebaba	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	114	Konut (grubu 2)	Cumhuriyet Mahallesi Umurbey Caddesi	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
95	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Üskesler	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	115	Konut (grubu 2)	Cumhuriyet Mahallesi Fatih Mehmet Bey Caddesi	uygun
96	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi 3. Beyzade Sokak	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	116	Konut (grubu 2)	Cumhuriyet Mahallesi Dumlupınar Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
97	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Karaoğlu Sokak	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	117	Konut (grubu 2)	Cumhuriyet Mahallesi Saraçlar Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.
98	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Umurbey Caddesi	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	118			
99	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi Okul Sokak	sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun değil.	119			
100	Konut (grubu 2)	Camikebir Mahallesi 3. Beyzade Sokak	sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun değil	120			

Tablo 3.4 Titreşim ölçüm çalışmasına uygunlukları açısından konut tablosu

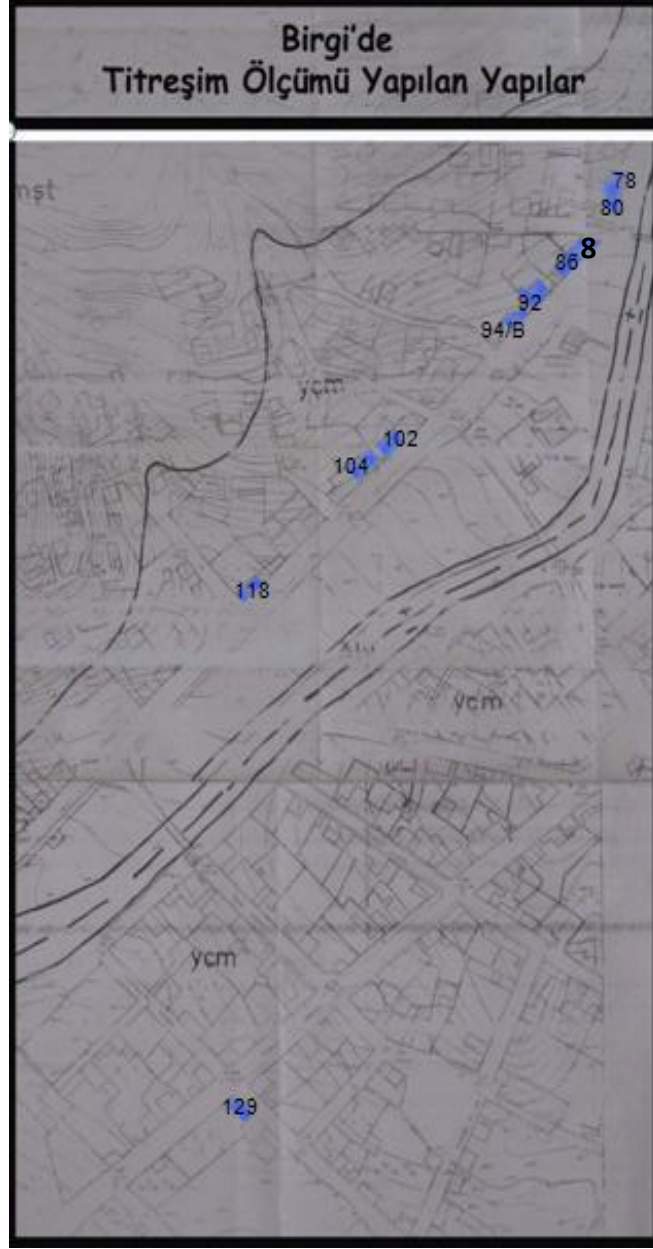
Uygun Olma Durumu/Olmama Nedenleri	Yapı Sıra No*	Adet
tescilinin düşmüş olması nedeniyle çalışma kapsamı dışında bırakılan yapılar	1	1
çıkamaz sokaklar	36, 106	2
hiçbir aracın giremeyeceği sokak üstünde bulunan yapılar	47, 58, 103	3
sokak genişliği geniş araçların geçmesine uygun olmayan yapılar	4, 5, 7, 10, 11, 15, 20, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 96, 97, 100, 21, 22, 31, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 101, 109, 110,	66
sokak genişliği iyi ancak istenen hıza ulaşmaya uygun olmayan yapılar	2, 3, 6, 16, 18, 19, 57, 89, 92, 93, 94, 95, 98, 99, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 102, 104, 105, 107, 108, 113, 114, 116, 117	32
ölçüm için uygun yapılar	8, 9, 12, 13, 14, 17, 42, 59, 35, 61, 75, 112, 115	13
toplam		117

*Tescilli eser tablosundaki sıra numaraları geçerlidir.

İkinci aşamada, konut kullanımındaki 117 tescilli yapının tümünün önünden kamyon, itfaiye, otobüs gibi geniş ve yüksek araçların geçirilebilmesi için bu taşıtların geçmesine imkan tanıyan caddeler belirlenmiştir. Bu yöntemin benimsenmesindeki ana etmen; seçilen yapıda benzer koşullar altında her tür aracın oluşturduğu titreşim düzeyini tespit edebilmek olmuştur. Aksi takdirde; ölçüm yapılacak yapıların bir kısmından kamyon gibi ağır taşıtlar geçemeyecek; dolayısıyla çalışma özel otomobille sınırlı kalabilecektir.

Yapıların ölçüm yapılmasına uygunluk durumlarına ilişkin değerlendirmelere yönelik Tablo 3.4 incelendiğinde; tescilli konut listesindeki 117 yapıdan bir tanesinin tescilinin düşmüş olduğunun fark edilmesi üzerine çalışma 116 yapı üzerinden sürdürülmüştür. 116 yapıdan iki tanesi çıkamaz sokakta yer alması, üç tanesinin bulunduğu alandan yaya dışında hiçbir taşıtın geçemiyor olması nedeniyle; 66 yapı sokak genişliğinin kamyon, otobüs vb. geniş araçların geçmesine imkan tanımaması nedeniyle ve 32 yapı da sokak genişliğinin uygun olmasına rağmen, taşıtların istenen hıza ulaşmasına imkan tanıyan yol koşullarına sahip olmamaları nedeniyle çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Geriye kalan 13 yapıdan üç tanesinin sahibine ulaşamaması nedeniyle geriye kalan on yapı titreşim ölçümü yapılmak üzere kesinleştirilmiştir. Titreşim ölçümü yapılacak yapıların belirlenmesine ilişkin sürecin takibi için Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'e, titreşim ölçümü yapılacak yapılara ilişkin harita

için Şekil 3.1'e ve on tescilli yapıya ait fotoğraflar için Şekil 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11'e bakılabilir.



Şekil 3.1 Birgi'de titreşim ölçümü yapılan yapılar



Şekil 3.2 118 no'lu yapı



Şekil 3.3 104 no'lu yapı



Şekil 3.4 102 no'lu yapı



Şekil 3.5 94/B no'lu yapı



Şekil 3.6 92 no'lu yapı



Şekil 3.7 86 no'lu yapı



Şekil 3.8 82 no'lu yapı



Şekil 3.9 80 no'lu yapı



Şekil 3.10 78 no'lu yapı



Şekil 3.11 129 no'lu yapı

3.2 Veri Kaynakları ve Ölçümler

Çalışma kapsamında (1) tescilli yapı listesi ve tescilli yapıların türleri; (2) tescilli yapıların önünden geçen yolların kamyon vb. geniş araçların geçmesine uygun olup

olmadığı; (3) konut kullanımına sahip tescilli yapılara ait özellikler ve bu yapıların çevresel özellikleri; (4) halihazır harita; (5) alanın jeolojik durumu; (6) eğim durumu; (7) kamyon, ambulans, minibüs, itfaiye, traktör, özel oto; (8) taşıtlara ait net ağırlık, taşıt yaşı vb. bilgiler; (9) tekerlek çapları ve genişliklerine ilişkin veriler toplanmıştır.

Birgi Belediyesi ve İzmir İki No'lu Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'ndan temin edilen bilgiler; (1) tescilli yapı listesi ve tescilli yapıların türleri; (2) tescilli yapıların önünden geçen yolların kamyon vb. geniş araçların geçmesine uygun olup olmadığı; (3) halihazır harita; (4) kamyon, ambulans, minibüs, itfaiye ve traktördür. Birgi çevresinde ya da Birgi Belediyesi'nin bünyesinde otobüs bulunmaması nedeniyle otobüs çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bununla birlikte itfaiye aracındaki suyun boşaltılmasının yangın durumunda belediyeyi ve insanları zor durumda bırakacak olması nedeniyle; kamyon, traktör, minibüs ve ambulansın yüklü geçişleri yapılırken; itfaiye aracındaki su boşaltılmamış; dolayısıyla itfaiyenin yüksüz geçişi örnekleme dahil edilmemiştir.

Konut kullanımına sahip tescilli yapılara ait özellikler ve bu yapıların çevresel özellikleri arazi çalışmaları sırasında yapılan tespitlerden elde edilmiştir. Taşıtlara ait net ağırlık, taşıt yaşı, silindir hacmi, motor gücü, trafik tescil tarihi, yakıt türü bilgileri taşıtlara ait ruhsat bilgilerinden alınmıştır.

Tekerlek çapları ve genişlikleri ise çelik metreyle ölçülerek elde edilmiş olup; arazinin eğim durumu Google Earth yardımıyla hesaplanmıştır. İller Bankası 3. Bölge Müdürlüğü'nden alınan ve Ömer Küçümen tarafından hazırlanan Birgi'nin genel jeolojik durum haritasını da içeren 28.06.1993 tarihli Birgi (İzmir) Belediyesi imar planına esas jeolojik etüd raporu incelenerek; jeolojik durumu gösteren harita aracılığıyla zemin yapısıyla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Özel oto ise kendi imkanlarımızla elde edilmiştir.

3.3 Titreşim Ölçüm Aletleri

Literatür kapsamında yapılan araştırmalara göre; titreşim sinyallerinin ölçümünde kullanılan aletler; titreşim transdüserleri; sinyal koşullandırıcılar ve kayıt

ekipmanlarıdır. Kayıt edilecek titreşim sinyallerinin bulunduğu frekans ve genlik (amplitude) aralığına uygun ölçüm aletleri seçilmelidir (Hunaidi ve diğer., 1994).

Ulaşım kaynaklı titreşimi ölçmek maliyetinin yanı sıra aynı zamanda da dikkate değer bir efor gerektirmektedir. Uygun kayıt cihazlarının değeri genellikle 5.000-10.000 \$ arasında veya daha fazladır. Çalışılacak mod ve güzergahlar çok dikkatli seçilmeli; kullanılacak değişkenler (taşıt türü, konfigürasyonu, yüklemesi ve hızı vb.) kontrol edilmeli ve belgelenmelidir. İstatistiksel güven derecesi için her bir ulaşım türünde pek çok yolculuk benzer koşullar sağlanarak ölçülmelidir (L.A.B. Equipment Inc., 2006).

Ölçüm aletlerinin yeterli duyarlılık ve çözünürlükte olması önemlidir (Hunaidi, 1996). Gürültü ölçüm aletlerinin ise standartlara uygun olması ve bilgisayara veri aktarımı sağlayabilmesi gerekmektedir (Aktürk ve diğer., 2003). Caltrans 1958-1994 yılları arasında yaptığı çalışmalarda iki tür ölçüm aleti kullanmıştır. Bunlardan bir tanesi seismometer diğeri akselerometredir (Hendriks, 2002). Hunaidi (1996) ise titreşim sinyallerinin ölçümünde kullanılan araçların, titreşim sensörü, sinyal kondisyonörü ve kayıt ekipmanı olduğunu belirtmiştir.

Jurevichius, Vekteris, ve Daktariünas (2007) yapılardaki titreşimlerin makinalara göre daha düşük olduğundan ve bu nedenle daha hassas ölçümler gerektirdiklerinden bahsetmiş; bu nedenle de piezoelektrik sismik sensörlerle ölçüldüklerini ifade etmiştir. Yüksek titreşim gücündeki yapılarda ise (bazı köprüler, kuleler vb.); mikro elektro-mekanik sistem (MEMS) (*micro electro-mechanical systems*) akselerometrelerinin de kullanılabilceği belirtilmiştir (Jurevichius ve diğer., 2007). Bugünün ölçme sistemleri 20 yıl öncekine göre zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlarken, ölçümlerdeki güvenilirliği de arttırmıştır (Hunaidi ve diğer., 1994). Sedovic (1984) ise kullanılacak araçları; hız değiştiriciler (enerjiyi bir yerden diğerine transfer eden alet), sismograflar (karşılıklı üç ortogonal aks boyunca bireysel yüklemeler veya eş zamanlı ölçümler yapan alet), hızölçerler, frekans arttırıcılar (düşük düzeyli titreşimler için) ve farklı kayıt ekipmanları olarak tanımlamıştır.

Jeofon'da bu ölçüm aletlerinden biri olup; Watts ve Krylov (2000) çalışmalarında jeofonların sinyalleri bir khz'lik örneklem oranında dijitalleştirilen, çok kanallı sinyal alıcılara iletebildiğini belirtmişlerdir. Bu bölüm parçacık hız sinyallerini kaydeden taşınabilir bilgisayara bağlanmıştır. Her bir sürüşü izleyecek şekilde her bir akstaki maksimum hız şiddeti kaydedilmiş; taşıtın hızı radar hız metre kullanılarak gözlemlenmiştir (Watts ve Krylov, 2000).

Hız ve akselerasyon transdüserleri; daha çok jeofon veya akselerometre olarak bilinmektedir. Bu ölçüm aletleri trafikten kaynaklanan yer ve yapı titreşimlerini ölçmede kullanılır. Jeofonlar hareketli bobin sistemine temellenirken; akselerometreler kütle yay sistemine temellenmektedir. Jeofon ve akselerometre karakteristikleri birbirinden çok farklıdır ve hangisinin titreşim ölçümünde kullanılması gerektiği istenen ölçüm aralıklarına göre belirlenir. Akselerometre kullanımı daha geniş bir ölçüm aralığı sağlaması nedeniyle jeofonlardan daha çok tercih edilir (Hunaidi ve diğer., 1994).

İki tür akselerometre vardır; deflection türü olanlar (piezoelektrik akselerometre) ve servo null-balance türü olanlar. Trafik kaynaklı titreşimlerin ölçümünde daha çok hassasiyeti yüksek olan servo-null balance türü kullanılmaktadır. Akselerasyon eşiği bir mg.'ye eşit olup; seçilen hassasiyet on V/g'nin üzerindedir. Rezonans frekansı 800 Hz'den büyüktür ve ağırlığı yaklaşık 175 gramdır (Hunaidi ve diğer., 1994).

Hao ve diğer. (2001) çalışmalarında lazer hız metre, bir v/g duyarlılığında, 0,05-800 hz frekansında ve %5 hata oranında ENDEVCO piezoelectric akselerometre, uygulama kabiliyeti ve filtreleme kabiliyeti ile ENDEVCO sinyal düzeltici ve TestLAB veri kaydedici kullandıklarını ifade etmişlerdir. Çok kanallı titreşim ölçümü için gerekenler ise; 8-16 kanal; 1000 Hz örneklem oranı, 12 bit çözünürlük vb.'dir. Yapı hasarı ve insan şikayetleri bakımından titreşim etkisinin değerlendirilmesinde öncelikle zirve (*peak*) titreşim sinyalinin bulunması ve verilen zaman aralığında negatif ve pozitif zirve (*peak*) değerlerin hesaplanması sonucu baskın titreşim frekansının belirlenmesi yeterlidir (Hunaidi ve diğer., 1994). Yüksek maliyetli olduğu düşünüldüğünde L.A.B. Equipment Inc.'ye (2006) göre ulaşım kaynaklı titreşimle ilgili çalışmalar genellikle akademik enstitülerde öğrencilerin tezi

olarak, ödünç alınan kayıt cihazlarıyla, doğrudan konuyla ilgili büyük yük şirketleriyle, farklı ilgililerin ve hükümetlerin işbirliğiyle yapılmaktadır.

Tablo 3.5 Literatür kapsamında yapılan geçmiş çalışmalarda kullanılan ölçüm aletleri

Akselerometre Türleri	Akselerometre	Hendriks (2002), Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Kliukas ve diğer. (2008)
	MEMS Akselerometreleri	Jurevichius, Vekteris ve Daktariūnas (2007)
	Servo-null akselerometre	Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994)
	Deflection Akselerometre	Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994)
	ENDEVCO Piezoelektrik Akselerometre	Hao ve diğer. (2001)
	Piezoelektrik sismik sensörler	Jurevichius, Vekteris ve Daktariūnas (2007)
	Seismometer	Hendriks (2002)
	Sismograflar	Sedovic (1984)
	Jeofon	Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Watts ve Krylov (2000)
Sinyal koşullandırıcılar	Titreşim Transdüserleri	Hunaidi (1996). Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994)
	Sinyal Koşullandırıcılar (düzeltici)	Hunaidi (1996), Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Hao ve diğer. (2001)
	Frekans arttırıcılar	Sedovic (1984)
Hızla ilgili ölçüm aletleri	Hız değiştiriciler	Sedovic (1984)
	Hız Ölçerler	Hao ve diğer. (2001), Sedovic (1984), Watts ve Krylov (2000)
Diğer Ölçüm Aletleri	Kayıt Ekipmanları	Hao ve diğer. (2001), Hunaidi (1996), Hunaidi, Rainer ve Pernica (1994), Sedovic (1984)
	Kamera	Li, Zou ve Omenzetter (2009)
	PULSE-3560C Analiz Sistemi	Kliukas ve diğer. (2008)

Literatür çerçevesinde tespit edilen ölçüm aletleri araştırılmış ve bu çalışmada kullanılan ölçüm aletleri çalışmalar sonucunda belirlenmiştir (Tablo 3.5). Literatür kapsamında edinilen bilgiler sonucunda ölçüm aletlerinden Türkiye’de temin edilebilecek, distribütörü olan ve halen daha üretilen titreşim sensörleri ve yazılımları araştırılmıştır. Bu çalışmada Brüel&Kaer marka üç adet akselerometre (titreşim sensörü) temin edilmiştir. Bu cihazların sinyal koşullandırma işlemini tek başına yapabilme özelliğine sahip olması nedeniyle; sinyal koşullandırıcı kullanılmamıştır. Veri kaydını yapabilmek için bir dizüstü bilgisayar ve Brüel&Kjær marka RT Pro Photon analiz sistemi kullanılmıştır. Brüel&Kær marka akselerometreler 159,2 Hz duyarlılığında ($\omega=1000 \text{ s}^{-1}$), 20 ms^{-2} rms ve her biri sırasıyla 9673, 10442, 10306

mv/g özelliklerine sahiptir. Tüm gerekli ekipman Brüel&Kær marka veri toplama kartına akselerometreleri bağlamak üzere üç adet otuz metrelik veri aktarımını sağlayacak kablo ile birlikte Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'nin 2011.kb.FEN.18 No'lu Projesi kapsamında İstanbul'daki bir firma aracılığıyla Danimarka'dan getirtilmiştir.

3.4 Sensörlerin Konumlandırılacağı Yerler

Çalışma sonuçlarının güvenilirliği titreşim ölçüm noktalarının doğru seçilmesiyle yakından ilişkilidir. Hajek, Blaney ve Hein (2006); titreşim hareketinin tanımlanmasının üç doğrultuda altı değişkenle mümkün olduğunu belirttikleri çalışmalarında; bunları hız, akselerasyon ve maksimum yerdeğiştirme (displacement/amplitude) olarak tanımlamışlardır.

Hendriks'te (2002) benzer şekilde parça hareketinin genliğinin (amplitude) üç şekilde tanımlanabileceğini (yer değiştirme, hız ve ivme) belirttiği çalışmasında; titreşim genliklerinin genellikle zirve parçacık hızı (*peak particle velocity*) veya titreşim değerinin ortalamasının karekökü (*root mean square (rms)*) olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir.

Caltrans çalışmalarda daha çok maksimum dikey parçacık hızını (*peak vertical partical velocity*) kullanmaktadır. Bunun nedeni yer temelli titreşimlerin en yüksek düzeye genellikle dikey doğrultuda ulaşmalarıdır (Hendriks, 2002). Li ve diğer. (2009) trafik kaynaklı titreşimlerin daha çok dikey (vertical) doğrultuda olduğunu belirtmiştir.

Çalışmalar göstermektedir ki maksimum dikey hız değeri (*peak vertical velocity*) hasar ve şikayetlerle ilişkilendirilen ulaşım kaynaklı titreşim değerlerinde en güçlü ve yüksek etkiye sahiptir. Bu değişkeni kullanmanın hasar için 1-80 Hz; şikayetler için 8-80 Hz aralığında avantajlı olduğu; tipik ulaşım ve inşaat titreşimlerinin bu frekans aralıklarında gerçekleştiği ve genel olarak 10-30 Hz ve sıklıkla 15 Hz'de merkezileştiği bilinmektedir (Hendriks, 2002).

Bununla birlikte; titreşim olayları sık gerçekleşenler ve sık gerçekleşmeyenler şeklinde incelenmekte olup; günde 70 defadan fazla gerçekleşen titreşim hareketleri sık kategorisine girmektedir. Pek çok yolcu treni sık olmayan kategorisine girmekte olup; ancak ana kentlere hizmet eden bazı yolcu trenleri sık olaylar statüsüne girmektedir. Yolcu ve yük trenleri arasındaki fark; yolcu trenlerinin yüksek hızlı olmasıdır. Bunun yanı sıra şehir içinde oluşan titreşim olayları on saniyeden daha az sürmektedir. Tipik bir yük treni yaklaşık 1524 metre (5000 feet) uzunluğundadır. Saatte 30 mph hızda 1524 metrelik yük treni yaklaşık iki dakikada geçmektedir. Kriterlerin kısa süreli titreşimlere temellenmesine rağmen bazı durumlarda yük trenlerinin olası yer temelli titreşim etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Planlama ve Çevre Bürosu Toplu Taşım Yönetimi, 2006).

Trafik kaynaklı titreşimleri değerlendirmenin pratik yolu bu değişkenlerden baskın olan bir bileşeni seçmektir (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006). Hajek, Blaney, ve Hein (2006) çalışmalarında dikey yönlü bileşeni (vertical vibration velocity) seçmişlerdir. Buna PPV yani zirve parçacık hızı da (*peak particle velocity*) denir (Hajek, Blaney, ve Hein, 2006). Trafik kaynaklı titreşim ölçümleri, titreşim düzeyinin ölçme amacına uygun olduğu yerlerde yapılmalıdır. Titreşimlerin insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini değerlendirebilmek için, titreşim düzeyinin en yüksek olduğu noktalarda özellikle de katların orta noktalarında ölçüm yapılmalıdır. Ahşap zeminlerde ise ölçüm noktaları bireysel kat panellerinin yerel direncine karşı kirişlerin yanında olmalıdır (Hunaidi, 1996).

Ölçümün yapılacağı yerler titreşimin en çok hissedileceği yerler olup; yapıda oturanların göstereceği noktalar ile her katın orta noktası alınmalıdır. Ahşap alanlarda bireysel kat panellerinin yerel rezonansından korunmak için kirişlerin yanında seçilmelidir. Yapılardaki titreşimi ölçmek için ise yapı temellerinde veya yapıya yakın zeminde seçilmeli; yapının yol veya demiryoluna bakan tarafında belirlenmelidir (Hunaidi ve diğer., 1994). Bir yapıda titreşimin etkisini ölçmek için ölçümler yola yakın yüzeyde yapılmalı ve titreşim sensörleri yerin gerçek ölçümünü iletmelidir (Hunaidi, 1996). Yapı titreşimleri ölçülürken; bir akselerometre kütleye bitleştirilmeli ve yerdeğiştirme, hız veya yapı bileşenlerinin akselerasyonu daha önceden standartlarla tanımlanan titreşim düzeylerine bakılarak değerlendirilmelidir.

Genellikle yapının her katında X, Y ve Z doğrultusundaki titreşim düzeyleri kaydedilmektedir (Jurevichius ve diğer., 2007).

Harvey ve diğer. (2010) titreşim ölçümü yaparken kararlaştırdıkları aşamalardan bahsettikleri çalışmalarında; ortalama frekansı almak yerine tüm zamandaki veriyi kaydetmeye ve kullandıkları akselerometrelerin her birinin tek bir aksa bakmasına karar verdiklerinden ve düşük titreşim düzeylerini ölçebilmek için on V/g gibi çok yüksek hassasiyette akselerometreler kullanılmasının uygun görüldüğünden bahsetmişlerdir. Ölçümler en az beş otobüsün geçtiği zamanlarda on beş dakika aralıklarla tipik kampüs aktivitelerini yakalayabilmek için yapılmıştır. Çelik blok yapının zemininde; x aksı en yoğun yola bitişik duvarda ve odadaki titreşime duyarlı aletlerin yakınında konumlandırılmıştır. Alan teknikerleri veriyi etkilememek için akselerometrenin uzağında bir noktada beklemiş ve araştırma sonucunda üniversite sakinleri demiryolu yapımına karşı olan görüşlerini geri çekmişlerdir (Harvey ve diğer., 2010).

Wang ve diğer. (2006) ise çalışmalarında yer temelli titreşimleri titreşim kaynağını ve dağılımını anlamak için Tayvan Foton Kaynaklarında (TPS) (*Taiwan Photon Source*) farklı yer altı düzeylerinde incelenmişlerdir. Trafik etkisini anlayabilmek için kamusal yola farklı uzaklıklarda ölçümler yapılmıştır. Örneklem oranı 200 Hz aralığına ayarlanmıştır. Hata oranı %10 varsayılmıştır. Üç farklı ölçüm alanı belirlenmiştir. Yer altı ölçümleri için seçilen üç noktada ayrı ayrı olmak üzere beş, 15 ve 40 metre derinlikte üç delik hazırlanmıştır. Taiwan adalarında bulunduğu gibi üç Hz dolaylarında bir zirve (*peak*) değeri saptanmıştır. Dikey doğrultuda ilişkilenen yerdeğiştirme (*displacement*) 1-100 Hz aralığında 108 nm; iki-beş Hz aralığında 56 nm'dir. Bu güçlü üç Hz'lik zirve (*peak*) değeri inşaat veya mekanik uygulamalarla sönmek zordur. Deniz seviyesinden beş, 15 ve 40 metre aşağıda yapılan ölçüm sonuçlarında; titreşim düzeyinin çok da farklılaşmadığı saptanmıştır (Wang ve diğer., 2006).

Korkmaz ve diğer. (2010); çalışmalarında zemin tabakalaşmasını; farklı yer ve malzemeyi düzenleyerek titreşim sırasında dikkate almıştır. Zemin düzenlemesi için farklı derinlikte hendekler kazılmıştır. Birinci durumda hendek boştur, ikinci

durumda ise hendek iki farklı düzenleme maddesiyle doldurulmuştur. Yer koşullarına göre farklı modeller dikkate alınmıştır (1) hendek derinlikleri, (2) hendek ve yapı arasındaki uzaklık, (3) dolgu maddelerinin türü. Bu farklı parametreler kullanılarak yapıların stres ve gerginlik durumu değerlendirilmiştir (Korkmaz ve diğer., 2010). Finit analizinde (sınırlı değeri olan problemlerde yaklaşık çözümleri bulmakta kullanılan sayısal teknik) sönümleme hendeği yapı yüzeyinden iki, dört, altı ve sekiz metre uzaklıklara konumlandırılmıştır. Hendek derinliği ise her bir durum için bir metreden dört metreye kadar arttırılmıştır. İlk olarak hendek boş bırakılmış; daha sonra farklı iki maddeyle doldurulmuştur. Her bir durum için duvarın her doğrultusundaki maksimum stres belirlenerek değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada maksimum yerdeğiştirme (displacement) her doğrultu için belirlenmiştir (Korkmaz ve diğer., 2010).

Li ve diğer. (2009) ise yaptıkları çalışmada; test sonuçlarının yapıda çalışanların hareketlerinden etkilenmemesi için çalışmalarını yapının kapalı olduğu dönemde yapmışlardır. Maksimum yanıtı alabilmek için dikey (vertical) akselerometre dördüncü katta yapının ortasında konumlandırılmıştır. Yatay (horizontal) olanlar ise kenarlarda konumlandırılmıştır. Trafik akışını kaydetmek için bir kamera kullanılmıştır. Ölçümün toplam süresi yaklaşık 36 saat olup; örneklem oranı 100 Hz olarak belirlenmiştir. Yatay (horizontal) akselerometreler sadece gürültüyü kaydederken; dikey (vertical) olanlar bazı dikkate değer titreşimler kaydetmiştir. Kamera görüntüleri zirve (*peak*) değerlerin hissedildiği durumlarda yoldan ne tür taşıtların geçtiğini saptamak için önemlidir. Bu çalışmada dikey zirve (*vertical peak*) değerler ağır taşıtların geçtiği durumlarda oluşmuştur (Li ve diğer., 2009).

Trafik kaynaklı titreşimlerde makinalardan kaydedilen titreşimlerden farklı olarak titreşimler periyodik olmayabilir. Periyodik sinyaller demiryolundan geçen ağır taşıtlara yakın konumlanan yapılarda gözlenir. Pek çok durumda rezonans olayı gözlenir. Zaman sinyali; zirveden zirveye (*peak to peak*), o'dan zirveye (*zero to peak*), titreşimin ortalamasının karekökü (*rms-root mean square*) ve ortalama titreşim genliği (*vibration amplitude*) analiz edilir (Jurevichius ve diğer., 2007). Suandi (2010) BAPEDAL (Endonezya Çevresel Etki Yönetimi Komisyonu) standardının titreşimin yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmede titreşimin "hız

(velocity)” mm/sn birimiyle ölçülmesini önermiştir. Planlama ve Çevre Bürosu Toplu Taşıım Yönetimi (2006) ise çalışmalarında kabul edilebilir titreşim düzeylerini titreşimin ortalamasının karekökü (*rms*) olarak desibel birimiyle göstermiştir.

Aktürk ve diğer. (2003) de yapının yola olan uzaklığına dikkat çekerken; raylı ulaşım sistemlerinde gürültü ölçüm noktalarının, hatta yakınlığı ile dikkat çeken yerleşim birimlerinin dış duvarına bir metre mesafedeki eşdeğer gürültü miktarı belirlenecek şekilde seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Watts ve Krylov (2000) jeofonları tekerlek izinden altı metre uzağa konumlandıklarını ifade etmişlerdir. Watts (1990) beton yolların kesişim noktalarında daha algılanabilir titreşimler oluştuğunu belirtmiştir. Pau ve diğer. (2005) kendi çalışmalarında akselerometreleri (hızölçer) Collosseum, Traian Sütunu ve Aurelian Duvarları'nın zemin, orta ve en yüksek noktalarına yerleştirdiklerinden bahsetmişlerdir.

Li ve diğer. (2009) ise; zemin titreşimleri ve yoldan geçen ağır taşıtlar arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için senkronize edilmiş bir kamera kullandıkları çalışmalarında; kameranın yanı sıra pek çok akselerometre de kullanmışlardır. Çalışmada genel olarak iki dikey yedi yatay akselerometre kullanılmıştır (Li ve diğer., 2009).

Hao ve diğer. (2001), yer temelli titreşimleri farklı zemin özellikleri ve farklı trafik koşullarına sahip dört alanda ölçmüşlerdir. Bu çalışmada akselerometreler yalnızca sekiz noktadaki dikey hareketler ile aynı sekiz noktadaki radyal hareketleri ve yola yakın dört noktadaki dikey ve radyal hareketleri ölçmek üzere düzenlenmiştir (Hao ve diğer., 2001). Hao ve diğer. (2001) en yakın ölçüm noktasını yol merkezinden 20 metre uzaklıkta ve en uzak ölçüm noktasını ise 120 metre uzaklıkta düzenlemiştir. Yol merkezi, yolun birden fazla şeridi olması durumunda, ölçüm noktasına en yakın olan şeridin orta noktasını ifade etmektedir (Hao ve diğer., 2001).

Jurevichius ve diğer. (2007); yapının her katı için farklı ağırlıkta ve hızlarda ağır taşıtlarla incelemeler yapıldığından bahsetmiştir. Miwa ve diğer. (2004) ise yapı tamamlanmadan önce ekspres yolda asfalt yüzeyde bir noktada yapılan ölçümlerini; yapı tamamlandıktan sonra yapının içinde ama ekspres yola bakan tarafında ve her katta ayrı ayrı olmak üzere tekrarladıklarını belirtmişlerdir. Yapılarda titreşimin dikey yönde olan bileşeni önemli olup; özellikle ahşap yapılarda yükseldikçe daha da

güçlü olmaktadır. Hava temelli titreşimler sadece ön odaları etkilerken; yer temelli olanlar tüm yapıyı etkilemektedirler (Watts, 1990). Ölçümler sırasında yapılarda yürüyen insanlar vb. aktiviteler durdurularak titreşim ölçümünün daha sağlıklı yapılması sağlanmasına özen gösterilmiştir (Hunaidi ve diğer., 1994).

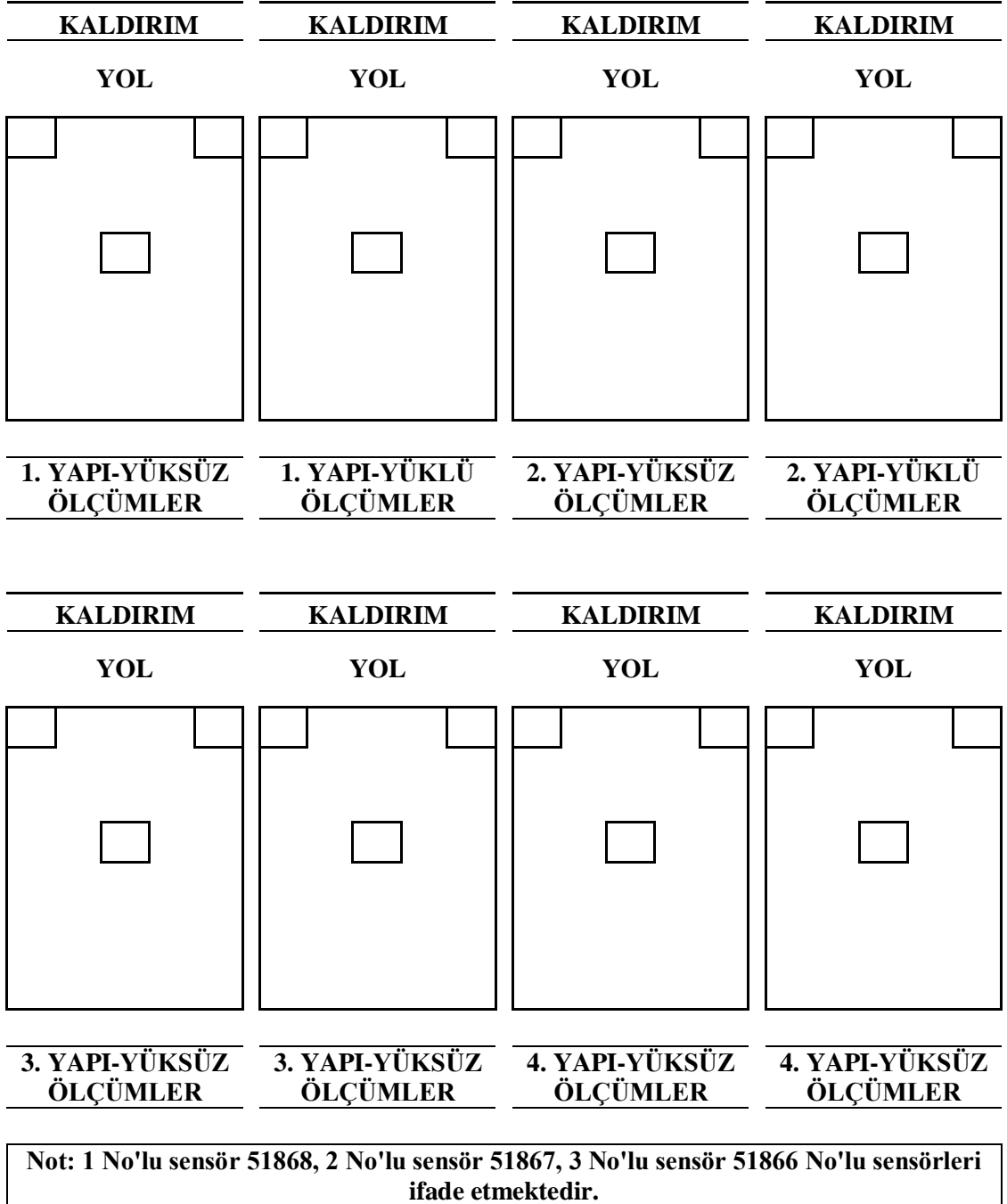
Yer temelli titreşimlerle ilgili olan temel ölçüt zirve dikey hızdır (*peak vertical velocity*) (Watts, 1990). Titreşim düzeyini önceden tahmin etmenin zorluklarına rağmen; belirlenen yapıların temellerinde zirve dikey hız (*peak vertical vibration*) düzeylerini etkinleştiren görelî olarak basit bir öngörme tekniği geliştirilmiştir. Bu faktörlerin ortalama etkilerini belirlemek için; maksimum genlik veya zirve parçacık hızına (*peak of vertical partical velocity (PPV)*) yakın bir değer kestirimi olasıdır (Watts, 1988a, 1990).

Bu çalışmada ise sensörlerin yapıda konumlandırılacağı noktalar belirlenirken literatür okumaları ve temin edilen sensör sayısı dikkate alınmış; yapı malzemesinin taş olması nedeniyle sensörlerin birinin yapıların orta noktasında konumlandırılması sağlanmış, iki sensör ise yapının köşe noktalarına sabitlenmiştir. Yer temelli titreşimler için dikey doğrultudaki ölçümlerin önemli olması nedeniyle sensörlerin tümü dikey doğrultuda yerleştirilmiştir. Titreşim değerlerinin mm/sn cinsinden ölçülmesi sağlanmış; zirve (*peak*), zirveden zirveye (*peak to peak*), maksimum, minimum ve titreşimin ortalamasının karekökü (*rms*) değerlerinin tümü kaydedilmiştir.

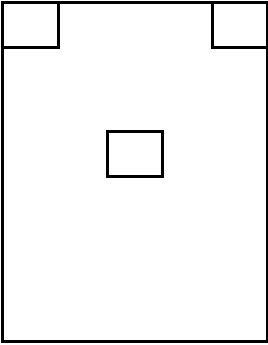
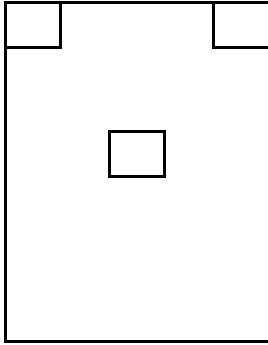
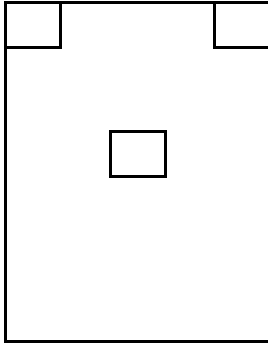
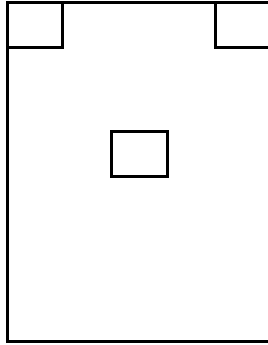
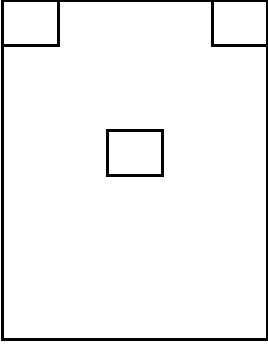
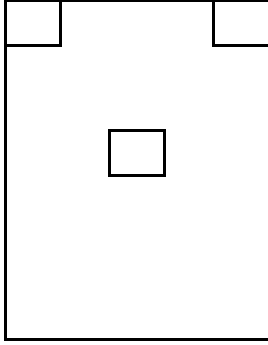
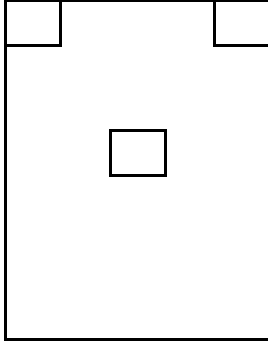
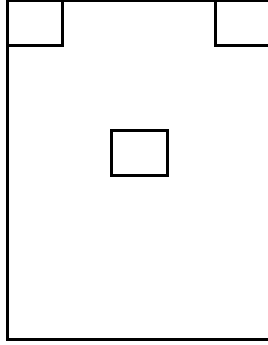
Literatür çalışmaları kapsamında taranan çalışmalarda ölçümlerde dört farklı yol izlenebileceği görülmüştür.

- (1) Her katta ölçüm yapmak; ancak sensör sayısının sınırlı olması nedeniyle her kattaki ölçümü ayrı ayrı yapmak,
- (2) Her katta ölçüm yapmak ancak her bir sensörü yapının her katına bir adet gelecek şekilde düzenlemek,
- (3) Ölçümü sadece yapının zemin katında; yapının geometrik olarak orta noktasında ve yola bakan iki uç köşesinde yapmak,

(4) Ölçümü sadece yapının zemin katında ancak yapının giriş holünün yola bakan iki köşesi ile giriş holünün tam orta noktasında olacak şekilde düzenleyerek; tek ölçümde üç ayrı titreşim düzeyi elde etmek.



Şekil 3.12 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar

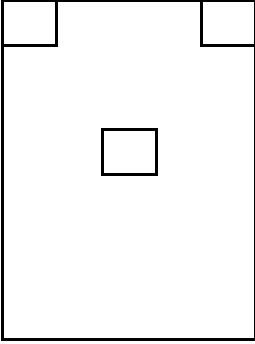
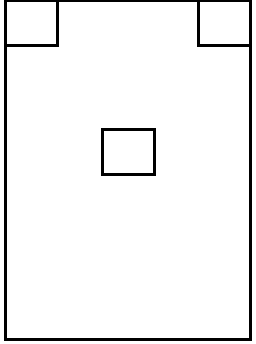
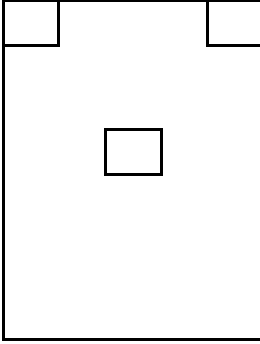
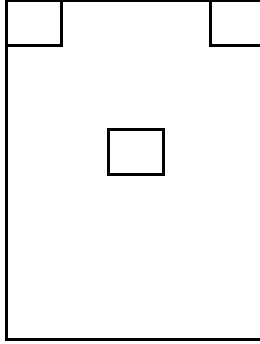
KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM
YOL	YOL	YOL	YOL
			
5. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	5. YAPI-YÜKLÜ ÖLÇÜMLER	6. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	6. YAPI-YÜKLÜ ÖLÇÜMLER
KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM
YOL	YOL	YOL	YOL
			
7. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	7. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	8. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	8. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER

Not: 1 No'lu sensör 51868, 2 No'lu sensör 51867, 3 No'lu sensör 51866 No'lu sensörleri ifade etmektedir.

Şekil 3.13 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar

Bu yöntemlerden birincisi; ayrı zamanlarda ölçüm yapmanın ölçülen değerlerin güvenilirliğini azaltacağı gerekçesiyle; ikinci ve üçüncü yöntem ise sensörlerin bağlı olduğu kabloların evin en uzak noktalarına ya da en yüksek noktalarına ulaştırılmasının problem olabileceği düşünülerek tercih edilmemiştir. Çalışmanın sürdürülmesinde benimsenen yöntem dördüncü yöntem olmuştur. Sensörler evin girişindeki odanın orta noktasına ve titreşim ölçümü yapılacak yoldan geçecek taşıta

yakın olan duvarların iki ayrı köşesine yerleştirilmiştir. Sensörlerin konumlandırıldıkları noktaların ve sensör numaralarının her yapı için şematik gösterimleri Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.

Ödemiş/Birgi Arazi Çalışmaları Sırasında Yüklü/Yüksüz Taşıt Geçişlerine Göre Sensörlerin Yapılarda Konumlandırıldıkları Noktalar			
KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM	KALDIRIM
YOL	YOL	YOL	YOL
			
9. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	9. YAPI-YÜKLÜ ÖLÇÜMLER	10. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER	10. YAPI-YÜKSÜZ ÖLÇÜMLER
Not: 1 No'lu sensör 51868, 2 No'lu sensör 51867, 3 No'lu sensör 51866 No'lu sensörleri ifade etmektedir.			

Şekil 3.14 Sensörlerin yapılarda konumlandırıldıkları noktalar

3.5 Ölçümlere Hazırlanma Süreci ve Ölçümler

Birgi'de arazi çalışmalarına 11 Nisan 2012'de başlanmış olup; 19 Nisan 2012 tarihinde ölçümler tamamlanarak İzmir'e dönmüştür. Ölçümler sırasında hava sıcaklığı 18-24°C arasında değişmiş olup; en yüksek hava sıcaklığının görüldüğü gün 14 Nisan'dır. Hava genel olarak 11 Nisan'da parçalı bulutlu, 12-13 Nisan'da az bulutlu, 14 Nisan'da gök gürültülü sağanak yağışlı, 15 Nisan'da az bulutlu, 16-17 Nisan'da güneşli ve 18 Nisan'da da az bulutludur. Ara ara yağış görülen durumlarda ölçümlere ara verilmiştir. Ölçümler sırasında yaşanan sıkıntılar ve aksaklıklar çalışmanın bu bölümünde; gelecek çalışmalarda tecrübe olması açısından aktarılacaktır.

Karar verilmesi gereken ilk konu taşıtların hangi sırayla ve nasıl geçirileceğidir. Bu hususa ilişkin yaklaşımlar;

- (1) Tek bir taşıtla (örn. Kamyon); on yapının tümünde ölçümleri tamamlamak ve daha sonra diğer taşıt türüne (örn. İtfaiye) geçilmesi,
- (2) Kamyon, minibüs, itfaiye, ambulans, traktör ve özel otomobilin hazır olarak beklemesi ve her birinin belirlenen hızlarda ard arda yapının önünden geçirilmesi

şeklindedir.

Birinci yaklaşımda ev sahiplerinden izin alındıktan sonra yapının giriş holünün en ve boy oranları ölçülerek birisi orta nokta olmak üzere belirlenen üç noktaya sensörler kurulması; kamyon vb. tek türdeki araç farklı hızlarda yapının önünden geçirildikten sonra sensörler yerinden çıkarılarak diğer yapıya geçilmesi öngörülmektedir. Bu yöntemde on yapı tamamlandıktan sonra diğer taşıt türü için sensörlerin yeniden kurulması ve ev sahiplerinden yeniden izin alınması gündeme gelmektedir. Dolayısıyla bu yaklaşım benimsenmemiştir.

Birgi Belediyesi'nin gerekli taşıtları hazırda bulundurabileceğini belirtmesi üzerine; ölçümlerde ikinci yaklaşımın belirlenmesi yoluna gidilmiş; sadece yüklü taşıtların hazırlanarak ölçüm alanına gelmesi ve yapıların önünden geçirilmesi için ev sahiplerinden ikinci kez izin alınması ve sensörlerin yeniden yerleştirilmesi sözkonusu olmuştur. Taşıtların şoförlerle birlikte motorları kapalı konumdayken yol boyunca hazır beklemesi çalışmaya hız kazandırmış; sensörlerin konumlandırılacağı noktaların yeniden belirlenmesine gerek kalmamıştır.

Çalışmalara hız kazandırması açısından düşünülen sadece taşıtların hazırda beklemesi değildir. Bununla birlikte; arazi çalışmalarına başlamadan önce; ölçümlerin kaydedilmesi için standart bir dosya hazırlama yoluna gidilmiştir. Bu hazırlığın nedeni; (1) her ölçüm için dosyadaki tüm ayarların baştan yapılmasını engellemek; (2) ölçüm sırasında tekrar tekrar yapılan ayarlar nedeniyle eksik ya da

yanlış veri kaydının önüne geçmek ve tek bir yapının önünden yaklaşık yirmi kez taşıt geçeceği düşünüldüğünde (3) sırada bekleyen taşıtları, ev sahiplerini ve emek harcayan insanları düşünerek ölçüm sürecini hızlandırmaktır.

Çalışma kapsamında kullanılan birimler: (1) displacement=mm; (2) velocity=mm/s; (3) acceleration=mm/s²; (4) Force=Newton; (5) Pressure=Pa; (6) Voltage=V ve (7) Time=seconds şeklindedir.

RT Pro Photon yazılımında ölçümlerde kullanılan parametre değeri Lines=400; Frequency span (Hz)=125; Sampling Rate= 320 Hz olacak şekilde ayarlanmıştır. Frames: Multiple; Window type=Hanning, Resolution :1/3, Weighting=Linear'dir. Trigger= no trigger olarak kalmış; average=peak hold olarak işaretlenmiştir. Average domain=frequency, Accept/Reject= Disable şeklindedir.

Ölçümlere başlamadan önce taşıtın istenen hıza ulaşacağı noktalar; ölçüm yapılan yapının başlangıç ve bitiş noktasından yaklaşık bir metrelik uzaklıklarla pet şişe aracılığıyla işaretlenmiştir. Dolayısıyla taşıt ilk pet şişeyi gördüğü noktada istenen hıza ulaşmış olacak; ikinci pet şişenin bitimine kadar da sahip olduğu hızı korumaya çalışacaktır.

Bazı yapılarda sensörlerin konumlandırıldığı odanın dışarı açılan bir penceresi, balkonu vb. olmaması nedeniyle ölçümler sırasında birden fazla eyleme ve kişiye ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar:

- (1) Taşıta “gelmesi için” komut verme,
- (2) Taşıt pet şişenin bulunduğu noktaya gelmeden hemen önce; ölçümlerin başlaması için başlama komutu verme,
- (3) Bilgisayarda ölçümleri başlatma,
- (4) Taşıtın ikinci pet şişenin bulunduğu noktadan çıkmasını ve aynı zamanda ölçümün bitirilmesini haber verme,
- (5) Bilgisayarda ölçümleri bitirme ve kaydetme şeklinde özetlenebilir.

Bu süreç her bir taşıt için dosyanın farklı kaydedilerek ana dosyanın yeniden açılması şeklinde devam etmektedir. Kayıtlar sırasında ölçüm sırası, taşıt türü, hızı, yönü ve yüklü olup olmaması durumu dosya adına kodlanmıştır.

Ölçümlere;

1. Pazarın kurulduğu günlerde,
2. Turistlerin yoğun olarak geldiği hafta sonlarında,
3. Taşıtları kullanacak personelin tatilde ya da görevli olduğu hafta sonlarında,
4. Yoldan başka taşıtların ya da 23 Nisan kutlamaları gibi özel nedenlerle bando takımı gibi insan kalabalıklarının geçtiği durumlarda,
5. Ölçüm yapılacak yolda belediyenin çalışma yapıyor olması gibi durumlarda

devam edilememiştir.

Ölçümler sırasında dikkat edilen diğer hususlar;

- (1) Sensörlerin sabitlendiği noktanın doğrudan zemin olması (halı, kilim, muşamba vb. kaldırılmış, alttaki zemine sabitlenmiştir),
- (2) Sensörlerin konumlandırılması gereken noktaların taşınamayacak kadar büyük veya çok eşya vb. ile dolu olması durumunda; köşeye en yakın noktada konumlandırılması,
- (3) Ölçüm sırasında yoldan geçmek isteyen diğer taşıtların durdurulması/geçtikten sonra ölçüme devam edilmesi,
- (4) Ölçüm sırasında yoldan geçmek isteyen insanların/temizlik görevlilerinin vb. durdurulması/geçtikten sonra ölçüme devam edilmesi,
- (5) Yapıda herhangi bir aletin çalışmıyor olmasına dikkat edilmesi (çamaşır makinası, elektrik süpürgesi vb.),
- (6) Sensörlerin sabitlendiği zemin malzemesinin (ahşap, beton vb.) not edilmesi,
- (7) Sensör numaralarına göre sensörlerin konumlandırıldıkları noktaların yola göre not edilmesi (sensörlerin her birine bir, iki ve üç şeklinde numaralar vermek ve bu numaraları sensörlerin üzerine bantla yapıştırmak önerilebilir),

- (8) Taşıtın yapıya yakın olan şeridin ortasından geçirilmesi,
- (9) Yapı sakinlerinin normal zamanlarda titreşimle ilgili görüşlerinin öğrenilmesi,
- (10)Yokuş aşağı ve yukarı ölçümlere değer verilmesi,
- (11) Sensörün dikey yönde ölçümleri alması için yatay değil dikey olarak sabitlenmesi,
- (12)Taşıtın istenen hıza ulaşacağı noktaların herhangi bir şekilde işaretlenmesi,

şeklinde özetlenebilir.

Bununla birlikte arazi çalışmaları sırasında Birgi’de ölçüm yapılan yapılar ve sensörlerin yerleştirildikleri noktalar ölçüm çalışmaları sırasında fotoğraflanmış olup; Şekil 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33 ve 3.34’deki fotoğraflar ölçüm süreci hakkında fikir vermesi açısından aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.15 Farklı zemin malzemeleri



Şekil 3.16 Farklı yüksekliklerde konumlandırılan sensörler



Şekil 3.17 Yapılarda çelik metre yardımıyla en-boy ölçümleri



Şekil 3.18 Dışarıyla iletişimi zorlaştıran penceresiz odalar



Şekil 3.19 Çalışma koşullarını zorlaştıran faktörler



Şekil 3.20 Minibüsün dolu geçmesi konusunda yardım eden Birgi sakinleri



Şekil 3.21 Gönüllü olarak yardımcı olan insanlar



Şekil 3.22 Ölçümün başlaması/bitirilmesi için yapılan işaretler



Şekil 3.23 Zemine sabitlenmeye çalışılan sensörler



Şekil 3.24 Aynı yapıda farklı türde zemin malzemeleri olması durumu



Şekil 3.25 Arazi çalışmalarından diğer görüntüler



Şekil 3.26 Yapının önünden geçirilen traktör



Şekil 3.27 Yapının önünden geçirilen itfaiye aracı



Şekil 3.28 Sensör no'suna göre konumlandırıldığı yer bilgisinin kaydı



Şekil 3.29 Yapının önünden geçirilen otomobil



Şekil 3.30 Zeminin üstündeki kilim vb. eşyaların kaldırılması



Şekil 3.31 Yapının önünden geçirilen kamyon



Şekil 3.32 Taşıtların yüklü geçişleri



Şekil 3.33 Sensörlerin yere sabitlenmesi ve yüzeydeki çatlaklar

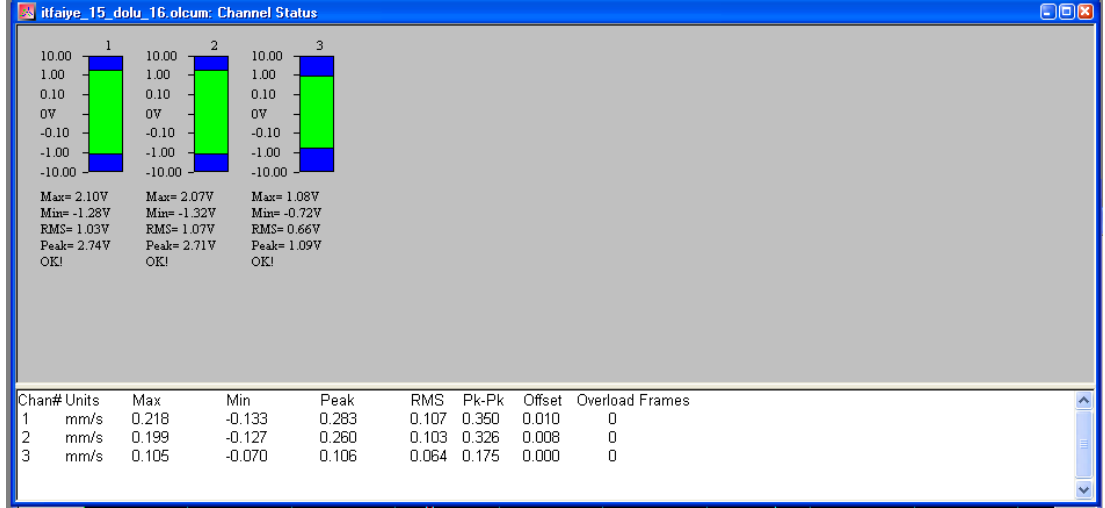


Şekil 3.34 Titreşim ölçüm süreci

3.6 Ölçüm Sonuçları

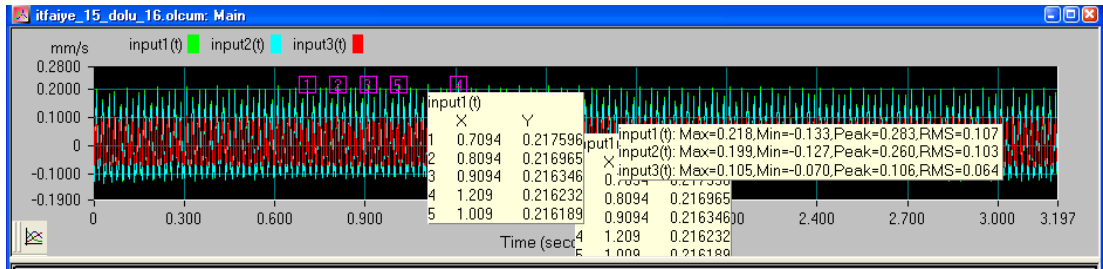
Birgi’de yapılan ölçümlerde elde edilen veriler bilgisayara kaydedilmiş; İzmir’de Excel ve SPSS programları yardımıyla analizlerde kullanılacak veri tabanı hazırlanmıştır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen iki tür veri bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi titreşim grafikleri; ikincisi ise volt ve mm/s cinsinden her bir sensöre ait titreşim ölçüm değerleridir. Bu iki değere örnek oluşturması açısından Şekil 3.35 ve Şekil 3.36’daki belgeler aktarılmıştır.

Şekil 3.35’te volt ve mm/s cinsinden oluşan titreşim düzeyi görünmektedir. I numara veri toplama kartında I numaralı girişe bağlı sensörün ölçümlerini; II numara II numaralı girişe bağlı sensörün ölçümlerini; III numara ise arazi çalışmaları sırasında III numaralı girişe bağlı sensörün ölçümlerini göstermektedir.



Şekil 3.35 15 km/sa hızla giden itfaiye aracının üç ayrı sensörde oluşturduğu titreşim düzeyleri

Bu bölümde minimum, maksimum, zirve (*peak/zero to peak*), titreşimin ortalamasının karekökü (*root mean square*) ve zirveden zirveye (*peak to peak*) değerleri gözlenmektedir. Üst bölümde volt cinsinden ölçüm sonuçları okunabilirken; alt bölümde ise bizim için daha önemli olan mm/s birimine dönüştürülmüş ölçüm sonuçları gözlenmektedir. Grafiklerde ise her dalga rengi farklı bir sensöre ait olup; grafiğin üst bölümünde gösterim (lejand) yer almaktadır. Dolayısıyla yeşil renk birinci sensörü, açık mavi renk ikinci sensörü, kırmızı renk ise üçüncü sensörü temsil etmektedir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 15 km/sa hızla giden itfaiye aracının üç ayrı sensörde oluşturduğu titreşim düzeyleri

Bu değerler her bir sensör için Excele girilmiş ve sensörlerin konumlandırıldıkları noktalara ve bu noktaların çevrelerine ait özellikler de sayısallaştırılarak SPSS'te analiz yapılmasına hazır hale getirilmiştir. Veri tabanında yer alan tüm değişkenler ve açıklamaları Tablo 3.6'da verildiği gibidir.

Tablo 3.6 11.04.2012-19.04.2012 Tarihleri arasında Ödemiş/Birgi'de yapılan titreşim ölçüm verilerine ait kısaltmalar ve açıklamaları

	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Bağımlı Değişken (Titreşim Değeri)	1	mks	Maksimum titreşim düzeyi (mm/s)
	2	mn	Minimum titreşim düzeyi (mm/s)
	3	pk_pktop	Elde edilen minimum titreşim düzeyiyle, maksimum titreşim düzeyinin mutlak değerinin toplamı (mm/s)
	4	sen_rms	Ortalamanın kare kökü (Root Mean Square) Değeri (mm/s)
	5	sen_pk	Herhangi bir noktada titreşimin en yükseğe çıktığı değer (mm/s)
	6	sen_ms	Maksimum titreşim düzeyi (mm/s) (virgülden sonra üç basamak kullanılmıştır)
	7	sen_mn	Minimum titreşim düzeyi (mm/s) (virgülden sonra üç basamak kullanılmıştır)
	8	pk_pk	Titreşim düzeyinin maksimuma çıktığı nokta ile minimuma düştüğü değer arasındaki toplam verdediştirilmesi (peak to peak değeri, mm/s)
Alıcı Kaynaklı Değişkenler	9	avenbeg	avlu eni bölü eğim
	10	dvkcpyk	duvar kalınlığı çarpı yapı yüksekliği
	11	EV_01	Bir numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Bir Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	12	EV_02	İki numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (İki Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	13	EV_03	Üç numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Üç Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	14	EV_04	Dört numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Dört Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	15	EV_05	Beş numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Beş Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	16	EV_06	Altı numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Altı Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	17	EV_07	Yedi numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Yedi Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	18	EV_08	Sekiz numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Sekiz Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	19	EV_09	Dokuz numaralı evde ölçüm yapıldığı verisi (Dokuz Numaralı Evse 1, Değilse 0)
	20	1trfbit	Yapının bir tarafından başka bir yapıya bitişik olması durumu (bitişikse 1, değilse 0)
	21	2trfbit	Yapının iki tarafından başka bir yapıya bitişik olma durumu (bitişikse 1, değilse 0)
	22	ayrık	Yapının ayrık nizamda olma yani herhangi bir yapıyla bitişik bir yüzeyinin olmaması durumu (ayrıkse 1, değilse 0)
	23	yapen	Ölçüm yapılan yapının eni
	24	yapboy	Ölçüm yapılan yapının boyu
	25	yapbuy	Ölçüm yapılan yapının eni ve boyunun çarpımı
	26	kose	Yapının iki yolun kesiştiği bir noktada köşe konumda olma durumu (köşeyse 1, değilse 0)
	27	avencm	Konutun kapısından içeri girer girmez bulunan alanın yola göre en bilgisi (cm)
	28	avboycm	Konutun kapısından içeri girer girmez bulunan alanın boy bilgisi (cm)
	29	sen_ort	Sensörün yapıya ait bölümün orta noktasında olup olmama durumu (ortada=1, değil=0)
	30	senuzcm	Sensörün konumlandırıldığı noktadan; yolun yapıya yakın olan şeridinin orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	31	zemml	Sensörün konumlandırıldığı zeminin malzemesi (beton=1, ahşap=2, kayrak_tasi=3, tas_doseme=4, toprak=5, mozaik_kaplama=6, karo=7)
	32	sen_m1	Beton zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	33	sen_m2	Ahşap zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	34	sen_m3	Kayrak taşı zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	35	sen_m4	Taş döşeme zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	36	sen_m5	Toprak zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	37	sen_m6	Mozaik kaplama zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	38	yap_yuk	ölçüm yapılan yapının yüksekliği (cm)
	39	sen_yuk	yapının yoldan yüksekliği (cm)
	40	duvkalcm	Ölçüm yapılan yapıda sensörlerin yerleştirildiği duvarın kalınlığı (cm)
	41	kat_adt	Konutun sahip olduğu kat adedi
	42	yapuzcm	taşın belli bir hıza ulaştığı aralığın uzunluğu (cm)
	43	encboy	avlu eni çarpı boyu
	44	avenbyuz	avlu eni bölü yapı uzunluğu
	45	yuzckadt	yapı uzunluğu çarpı kat adedi

Tablo 3.6 Devamı

	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Başlangıç Kaynaklı Değişkenler	46	tast_tur	Taşıt türü (1=kamyon, 2=minibüs, 3=otomobil, 4=ambulans, 5=itfaiye, 6=traktör)
	47	TST_N1	Kamyon (kamyonsa 1, değilse 0)
	48	TST_N2	Minibüs (minibüsse 1, değilse 0)
	49	TST_N3	Otomobil (otomobilsa 1, değilse 0)
	50	TST_N4	Aambulans (ambulanssa 1, değilse 0)
	51	TST_N5	İtfaiye (itfaiyeyse 1, değilse 0)
	52	tekoncap	Ön tekerleğin çapı
	53	tekortcp	Orta tekerleğin çapı
	54	tekarkcp	Arka tekerleğin çapı
	55	tekort	Ortalama tekerlek çapı
	56	tekongen	Ön Tekerleğin Genişliği
	57	tekorgen	Orta tekerleğin genişliği
	58	tekargen	Arka tekerleğin genişliği
	59	orttekgen	Ortalama tekerlek genişliği
	60	Tasuzbtekc	Taşıt uzunluğu bölü tekerlek çapı
	61	romorklu	Taşıta ek bir römork varsa 1 yoksa 0
	62	tsuzbypuz	Taşıt Uzunluğu Bölü Yapı Uzunluğu
	63	tek_say	Taşıttın tekerlek sayısı (adet)
	64	tas_bos	Taşıttın yüklü ya da yüksüz geçme durumu (yükülü=1, yüksüz=0)
	65	yuk_ag	Taşıttın kendi ağırlığından bağımsız olarak taşıttaki yük ağırlığı (kg) (taşıttaki insanlar ort. 70 kg. üzerinden hesaplanmış; yolcusu olmayan taşıtta sadece sürücü ağırlığı 70 kg. olarak yazılmıştır.)
	66	net_ag	Taşıttın yüksüz, ruhsatta yazan kendi ağırlığı (kg)
	67	top_ag	Taşıttın ruhsatta yazan ağırlığı ile yolcu ve yük ağırlığının toplamından oluşan değer (kg)
	68	kis_say	Araçta şoför dahil bulunan insan sayısı (kişi)
	69	kisi_ag	Ortalama 70 kg. üzerinden araçta bulunan kişilerin yaklaşık ağırlığı (kg)
	70	mot_guc	Taşıttın ruhsatta yazan motor gücü bilgisi (kw)
	71	sil_hac	Taşıttın ruhsatta yazan silindir hacmi bilgisi (cm3)
	72	tas_tes	Taşıttın ruhsatta yazan trafik tescil tarihi (kesin tarih olarak)
	73	tas_yas	2012 yılı itibariyle taşıttın yaş bilgisi (kaç yıllık olduğu)
	74	yak_tur	Yapının önünden geçen taşıttın yakıt türü (benzin=1, dizel=0)
	75	tast_hz	Taşıttın hızı (km)
	76	tasuzcm	Yapı önünden geçirilen taşıttın uzunluğu (cm)
	77	tast_gen	Yapı önünden geçirilen taşıttın genişliği (cm)
	78	tas_yuz	Yapı önünden geçirilen taşıttın yüzeyel olarak kapladığı alan (cm2)
	79	tek_cap	Yapı önünden geçirilen taşıttın en geniş tekerleğinin lastik genişliği dahil bir uçtan bir uca çapı (cm)
	80	tekgencm	Yapı önünden geçirilen taşıttın en kalın tekerleğinin yerle temas eden lastik kalınlığı (cm)
	81	duz_kal	Tüm tekerlekleri aynı kalınlıkta olan taşıtsa 1, değilse 0
	82	duz_cap	Tüm tekerlekleri aynı genişlikte olan taşıtsa 1, değilse 0
	83	duz_tek	Tüm tekerlekleri hem çap hem de kalınlık olarak aynıysa 1, değilse 0
	84	tksyckl	tekerlek sayısı çarpı kalınlığı
	85	tksyccp	tekerlek sayısı çarpı çapı
	86	tpagbtk	toplam ağırlık bölü tekerlek sayısı
	87	ntagbtk	net ağırlık bölü tekerlek sayısı
	88	ykabtk	yük ağırlığı bölü tekerlek sayısı
	89	ykabtpag	yük ağırlığının toplam ağırlığa oranı
	90	ntabtpag	net ağırlık bölü toplam ağırlık
	91	ksabtpag	kişi ağırlığı bölü toplam ağırlık
	92	tsubtk	taşıttın uzunluğu bölü tekerlek sayısı
	93	tsyscmgc	taşıttın hızı çarpı motor gücü
	94	tsgbsrg	taşıttın genişliği bölü şerit genişliği
	95	tsgbyg	taşıttın genişliği bölü yol genişliği
	96	thzcnag	taşıttın hızı çarpı net ağırlık
97	thzcyka	taşıttın hızı çarpı yük ağırlığı	
98	thzctpag	taşıttın hızı çarpı toplam ağırlık	
99	thzbyuz	taşıttın hızı bölü yapı uzunluğu	
100	thzcyas	taşıttın hızı çarpı taşıttın hızı	
101	tkcpctgen	tekerlek çapı çarpı tekerlek genişliği	

Tablo 3.6 Devamı

	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Geçiş Alanı Kaynaklı Değişkenler	102	yol_kesm	Yapının cephe verdiği yol kesişim sayısı
	103	onyapo	Yapının orta noktasından yapının ön cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	104	onyapduv	Yapı duvarından yapının ön cephesine en yakın yapı duvarına olan uzaklık (cm)
	105	koyapo	Yapının orta noktasından yapının komşu cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	106	arkyapo	Yapının orta noktasından yapının arka cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	107	arkbah	Yapının arka bahçesi varsa 1 yoksa 0
	108	kombah	Yapının komşu bahçesi varsa 1 yoksa 0
	109	onrekreas	Ön tarafı rekreasyonsa 1 değilse 0
	110	bahduv	Bahçe duvarından girişi varsa 1, yoksa 0
	111	Bitalcdv1	Ölçüm Yapılan Yapı Bir tarafından daha alçak bir duvara bitişirse 1, değilse 0
	112	Bitalcdv2	Ölçüm Yapılan Yapı İki tarafından daha alçak bir duvara bitişirse 1, değilse 0
	113	Bitalcyp1	Ölçüm Yapılan Yapı bir tarafından daha alçakta bir binaya bitişirse 1, değilse 0
	114	Bitalcyp2	Ölçüm Yapılan Yapı iki tarafından daha alçakta bir binaya bitişirse 1, değilse 0
	115	Sergnbtasgn	Şerit Genişliğinin Taşıtlı Genişliğine Bölümü
	116	Sergcyapuz	Şerit Genişliğinin Yapı Uzunluğuna Bölümü
	117	sergencm	Yolun ölçüm yapılan yapıya yakın olan şeridinin genişliği (cm)
	118	yon	Taşıtlı yokuş aşağı ya da yukarı olması durumu (yokuş aşağı=0, yokuş yukarı=1)
	119	yol_gen	yolun kaldırımdan bağımsız genişliği (yol izi) (cm)
	120	yolgen	yol genişliği (cm)
	121	kldrm	kaldırım genişliği (cm)
	122	duv_dmy	yapının dışında kendisine bağlı ek duvar varsa 1, yoksa 0
	123	su_kan	yapının altından dereye bağlanan su kanalı geçiyorsa 1, geçmiyorsa 0
	124	deruzcm	yapının derenin orta noktasına uzaklığı
	125	egim	eğim durumu (%)
	126	kotcm	yapının deniz seviyesinden yüksekliği (cm)
	127	uzmkşcm	Ölçüm yapılan yapıların mikaşist nitelikli toprağa olan uzaklığı (cm)
	128	mksbdere	mikaşiste uzaklığın dereye uzaklığa bölümü
	129	mkstser	mikaşiste uzaklık artı şerit genişliği
	130	mkstyol	mikaşiste uzaklık artı yol genişliği
	131	dvkkmkuz	duvar kalınlığı çarpı mikaşiste uzaklık
	Ölçümlerle İlgili Diğer Kısaltmalar	132	no
133		sıra	Her bir sensör için (sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü) Birden 210'a kadar olan bölümlerle toplam veri
134		olcmsir	Ölçüm yapılan on konuttan her biri için ölçüm sırası (örn. Ölçüm yapılan ilk konut bir numara, son konut on numara)
135		sen_no	Titreşim verisini ölçen sensör numarası (her sensöre ölçüm sırasında 1'den 3'e kadar rakamlar verilmiştir.)
136		kapi_no	Ölçüm yapılan konuta ait kapı numarası
137		yap_shp	Yapı sahibinin adı

612 Ölçümden oluşan veri tabanına ilişkin betimleyici istatistikler Tablo 3.7'de sunulmuştur. İlk gözlemlere göre Birgi'deki arazi çalışmaları sırasında gerek taşıtlı özellikleri, gerekse yapı özellikleri itibarıyla deney sonucunda sadece algılanabilir titreşimler oluşmuş; yapılarda hasarlara neden olabilecek düzeyde ve uluslararası standartlara göre eşik değer olarak kabul edilen 2 mm/s değerine ulaşan ya da bu değeri aşan bir değere ulaşılmamıştır.

Tablo 3.7 Betimleyici istatistikler

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
mks	612	,000	,262	,108	,090
mn	612	-1,842*10 ⁻¹	-2,097*10 ⁻⁴	-4,293*10 ¹	,057
pk_pktop	612	,000	,405	,179	,147
sen_rms	612	,00	,15	,059	,049
sen_pk	612	,01	,34	,139	,117
TST_N1	612	0	1	,22	,412
TST_N2	612	0	1	,17	,377
TST_N3	612	0	1	,13	,339
TST_N4	612	0	1	,14	,344
TST_N5	612	0	1	,13	,339
1trfbit	612	0	1	,78	,415
2trfbit	612	0	1	,11	,310
ayrık	612	0	1	,11	,317
yol_kesm	612	1	4	1,75	1,247
onyapo	612	2297	6606	4059,09	1,703,994
koyapo	612	942,87	2291,05	1,692*10 ³	458,701
arkyapor	612	1154,7	5411,9	3,048*10 ³	1,180,976
arkbah	612	0	1	,90	,298
kombahce	612	0	1	,21	,408
yapen	612	439,28	1018,02	7,599*10 ²	178,451
yapboy	612	665,91	1549,26	1,245*10 ³	241,170
yapbuy	612	4,202*10 ⁵	1,54*10 ⁶	9,532*10 ⁵	3,169*10 ⁵
onrekeas	612	0	1	,68	,466
bahduv	612	0	1	,56	,497
bitalcdv1	612	0	1	,72	,449
bitalcdv2	612	0	1	,06	,244
bitalcyp1	612	0	1	,42	,494
bitalcyp2	612	0	1	,11	,310
kose	612	0	1	,27	,444
sergnbtasgn	612	,70	1,43	1,097	,222
sergycypuz	612	133182	309852	2,46*10 ⁵	47,118,943
tekoncap	612	62	108	81,00	18,544
tekortcp	612	0	122	25,72	49,800
tekarkcp	612	62	108	86,69	18,126
tekort	612	6,200*10 ¹	1,080*10 ²	8,662*10 ¹	1,809*10 ¹
tekongen	612	9	60	22,91	15,150
tekorgen	612	0	32	6,75	13,062
tekargen	612	9,0	60,0	23,650	14,778
orttekggen	612	9,00*10 ⁰	6,000*10 ¹	2,442*10 ¹	1,453*10 ¹
tasuzbtekc	612	2,021	4,619	3,587	,880
romorklu	612	0	1	,56	,497
tsuzbypuz	612	,282	1,481	,638	,256
tek_say	612	4	10	5,99	2,281
tas_bos	612	0	1	,44	,497
yuk_ag	612	70	25500	3256,81	6,905,743
net_ag	612	1300	12000	5225,59	4,202,031
top_ag	612	1370	37500	8482,41	9,884,831
kis_say	612	1	9	1,65	1,760
kisi_ag	612	70	630	115,29	123,172

Tablo 3.7 Devami

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
mot_guc	612	48,91	193,00	1,188*10 ²	51,012
sil_hac	612	1598	5883	3224,74	1,513,967
avencm	612	232	460	320,13	68,874
avboyem	612	375	1246	769,12	284,522
tas_yas	612	3	17	10,11	5,560
sergenem	612	175	200	197,55	7,440
yak_tur	612	0	1	,26	,442
tast_hz	612	5	75	34,50	19,774
yon	612	0	1	,20	,403
senuzem	612	175,0	798,0	456,720	213,096
sen_m6	612	0	1	,10	,304
yap_yuk	612	356	748	573,26	115,461
sen_yuk	612	15	60	24,93	18,674
yol_gen	612	572	594	591,84	6,547
kldrm	612	209	220	218,92	3,274
duvkalcm	612	50	1150	152,45	319,949
duv_dmy	612	0	1	,09	,291
su_kan	612	0	1	,20	,401
deruzem	612	1940	10733	5767,60	2,768,034
egim	612	5,119	9,044	7,687	,959
kotcem	612	34200	37700	3,67*10 ⁴	1,009,648
kat_adt	612	1	3	2,00	,470
yapuzem	612	655	1595	1105,48	262,493
tasuzem	612	450	970	664,12	196,953
tasgenem	612	140	250	187,79	39,209
tas_yuz	612	67500	242500	1,29*10 ⁵	61,381,035
duz_kal	612	0	1	,44	,497
duz_cap	612	0	1	,79	,408
duz_tek	612	0	1	,44	,497
uzmkşem	612	6300	20500	9787,25	3,930,797
tksyckl	612	36	460	207,81	155,451
tksyccp	612	248	1050	585,26	309,947
tpagbtk	612	3,425*10 ²	3,750*10 ³	1,177*10 ³	1,033*10 ³
ntagbtk	612	325	1458	762,23	404,246
ykabtk	612	7,000	2,550*10 ³	4,151*10 ²	7,348*10 ²
ykabtpag	612	,006	,680	,189	,222
ntabtpag	612	,320	,994	,811	,222
ksabtpag	612	,002	,241	,041	,056
tsubtksy	612	8,666*10 ¹	1,417*10 ²	1,149*10 ²	1,756*10 ¹
encboy	612	104400	479710	2,58*10 ⁵	130,169,142
tsyscmgc	612	195,64	3281,00	1,374*10 ³	1,113,645
avenbyuz	612	,188	,509	,310	,110
yuzckadt	612	655	3705	2279,56	830,198
tsgbsrg	612	,7	1,4	,952	,202
tsgbyg	612	,236	,437	,317	,066
thzcnag	612	16530	840000	1,53*10 ⁵	152,282,554
thzcyka	612	700	382500	5,51*10 ⁴	101,581,510
thzctpag	612	31530	844900	2,08*10 ⁵	198,818,000
thzbyuz	612	,004	,107	,033	,021
thzcyas	612	20	1190	365,00	314,062

Tablo 3.7 Devamı

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
avenbeg	612	29,2	57,6	42,065	9,255
mksbdere	612	1,216	3,608	1,932	,690
tkcpctgen	612	558	5400	3058,09	1,824,621
dvkcypyk	612	17800	634570	$8,52 \cdot 10^4$	176,297,655
sen_m1	612	0	1	,25	,434
sen_m2	612	0	1	,07	,261
sen_m3	612	0	1	,10	,298
sen_m4	612	0	1	,34	,475
sen_m5	612	0	1	,10	,298

Ölçüm yapılan her yapı için oluşturulan formlar incelendiğinde (Şekil 3.37, 3.38, 3.39, 3.40, 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45 ve 3.46); her yapıya ait özellikler ve alınan en yüksek titreşim düzeyleri ile bu titreşim düzeyini hangi taşıtın oluşturduğu gözlemlenebilir.

Yapı No	1
Kapı No	118
Tescil Sıra No	55
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	2,8
Avlu Boyu (m)	5,65
Zemin Malzemesi	beton
Yapı Yüksekliği (cm)	623
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	54,97
Eğim (%)	5,11883
Kot (m)	356
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	13,5
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	7700
Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,071328
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	15



Şekil 3.37 118 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	2
Kapı No	104
Tescil Sıra No	8
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	3,2
Avlu Boyu (m)	10,6
Zemin Malzemesi	Ahşap
Yapı Yüksekliği (cm)	747,6
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	78,07
Eğim (%)	8,319468
Kot (m)	363
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	15,95
Mikasıste Uzaklığı (cm)	9,259131



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,36687
oluşturan taşıt türü	otomobil
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	48

Şekil 3.38 104 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	3
Kapı No	102
Tescil Sıra No	47
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	2,32
Avlu Boyu (m)	4,5
Zemin Malzemesi	Taş döşeme
Yapı Yüksekliği (cm)	747,6
Su kanalı	1
Dereye uzaklığı (m)	86,4
Eğim (%)	7,940919558
Kot (m)	364
Kat adedi	3
Yapı uzunluğu (m)	12,35
Mikasıste Uzaklığı (cm)	12300



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,399044278
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	5

Şekil 3.39 102 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	4
Kapı No	94/B
Tescil Sıra No	12
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	3,75
Avlu Boyu (m)	7,5
Zemin Malzemesi	Taş Döşeme
Yapı Yüksekliği (cm)	534
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	74,03
Eğim (%)	7,502813555
Kot (m)	371
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	9,32
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	9000



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,405146304
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	15

Şekil 3.40 94/B No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	5
Kapı No	92
Tescil Sıra No	13
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	2,5
Avlu Boyu (m)	5
Zemin Malzemesi	Toprak
Yapı Yüksekliği (cm)	534
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	51,02
Eğim (%)	7,502814
Kot (m)	372
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	10,68
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	8300



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,374915
oluşturan taşıt türü	ambulans
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	50

Şekil 3.41 92 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	6
Kapı No	86
Tescil Sıra No	14
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	2,5
Avlu Boyu (m)	8
Zemin Malzemesi	Taş döşeme
Yapı Yüksekliği (cm)	498,4
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	38,91
Eğim (%)	7,502813555
Kot (m)	373
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	10,02
Mikasıste Uzaklığı (cm)	8000



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,092634185
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	15

Şekil 3.42 86 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	7
Kapı No	82
Tescil Sıra No	
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	3,05
Avlu Boyu (m)	3,75
Zemin Malzemesi	Beton
Yapı Yüksekliği (cm)	356
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	32,22
Eğim (%)	7,502814
Kot (m)	374
Kat adedi	1
Yapı uzunluğu (m)	6,55
Mikasıste Uzaklığı (cm)	7300



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,390716
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	7

Şekil 3.43 82 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	8
Kapı No	80
Tescil Sıra No	
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	3,55
Avlu Boyu (m)	11
Zemin Malzemesi	Beton
Yapı Yüksekliği (cm)	623
Su kanalı	1
Dereye uzaklığı (m)	19,4
Eğim (%)	9,044317
Kot (m)	376
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	10,47
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	7000



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,314129
oluşturan taşıt türü	Traktör
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	15

Şekil 3.44 80 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	9
Kapı No	78
Tescil Sıra No	
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	594
Avlu Eni (m)	4,6
Avlu Boyu (m)	8,85
Zemin Malzemesi	Kayrak taşı
Yapı Yüksekliği (cm)	551,8
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	23,04
Eğim (%)	9,044317154
Kot (m)	377
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	9,03
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	6300



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,255276653
oluşturan taşıt türü	kamyon
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	15

Şekil 3.45 78 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

Yapı No	10
Kapı No	129
Tescil Sıra No	112
Kullanım Durumu	Konut
Cephe Aldığı Yol Genişliği (cm)	572
Avlu Eni (m)	3,85
Avlu Boyu (m)	12,46
Zemin Malzemesi	Beton
Yapı Yüksekliği (cm)	534
Su kanalı	0
Dereye uzaklığı (m)	107,33
Eğim (%)	6,68193967
Kot (m)	342
Kat adedi	2
Yapı uzunluğu (m)	13,61
Mikaşiste Uzaklığı (cm)	20500



Titreşim Değerleri	
en yüksek peak to peak değeri (mm/s)	0,39047276
oluşturan taşıt türü	kamyon
oluşturan taşıt hızı (km/sa)	25

Şekil 3.46 129 No'luya ait fiziksel özellikler ve yapıya ilişkin en yüksek titreşim düzeyi

BÖLÜM DÖRT

ANALİZ

Doğa Bilimleri ve sosyal bilimler için birbiriyle ilişkisi bulunan büyüklükler arasındaki ilişkinin kesin veya kesine yakın olarak saptanması önemli olup; büyüklüklerden birinin bilinmesi durumunda diğerini saptamak mümkün olmaktadır. Regrasyon analizi; aralarında ilişki bulunduğu varsayılan iki veya daha fazla olay arasındaki ilişkinin matematiksel olarak saptanmasıdır (Hatiboğlu, 1994). Regrasyon analizi aralarında ilişki olduğu belirlenen iki veya daha fazla değişkenden birinin bağımlı değişken, diğerlerinin bağımsız (açıklayıcı) değişken olarak ayrılması ve bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel eşitlik ile açıklanması sürecini anlatmaktadır (Büyüköztürk, 2003).

Regrasyon analizi bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişkenden oluşuyorsa basit regrasyon analizi, bir bağımlı iki ya da daha fazla bağımsız değişkenden oluşuyorsa çoklu regrasyon analizi, iki veya daha fazla bağımlı değişkenden oluşuyorsa çok değişkenli regrasyon analizi olarak adlandırılmaktadır (Büyüköztürk, 2003). Bu çalışmada kullanılan yöntem çoklu regrasyon olduğundan basit regrasyon ve çok değişkenli regrasyon üzerinde durulmayacaktır.

Çoklu regrasyon analizi, bağımlı değişkenle ilişkili olan iki ya da daha çok bağımsız değişkene dayalı olarak bağımlı değişkenin tahminine yönelik bir analiz türüdür. Bağımsız değişkenler tarafından bağımlı değişkende açıklanan toplam varyansın yorumlanmasına, açıklanan varyansın ve bağımsız değişkenlerin istatistiksel açıdan anlamlılığına, bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin yönüne ilişkin yorum yapma olanağı verir. Nitel değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi de araştırılacaksa, bu değişkenler kukla (dummy) değişken olarak tanımlanarak analizlere katılabilirler. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki varsa regrasyon analizine doğrusal regrasyon analizi; doğrusal bir ilişki yoksa doğrusal olmayan (eğrisel) regrasyon analizi denir (Büyüköztürk, 2003). Çalışmada değişkenler açısından doğrusal regrasyon kullanılmıştır.

Regrasyon analizinin amaçları; (1) bağımlı değişken ile bağımsız değişken ya da değişkenler arasındaki ilişkiyi regrasyon eşitliği ile açıklamak, (2) regrasyon modelinin bilinmeyen parametreleri tahmin edildiğinde bağımsız değişken ya da değişkenlerin bilinen değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmek, (3) bağımsız değişkenin ya da değişkenlerin bağımlı değişkende gözlenen değişmelerin ne kadarını açıkladıklarını determinasyon katsayısı ile belirlemek, (4) bağımsız değişken ya da değişkenlerin bağımlı değişkeni anlamlı bir şekilde yordayıp yordamadıklarını, birden fazla bağımlı değişken varsa bunların bağımlı değişken üzerindeki görece önemliliklerini saptamaktır (Büyüköztürk, 2003).

Çoklu regrasyon denklemleri;

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

şeklinde yazılır (Hatiboğlu, 1994).

“ε” regrasyon düzleminde belirlenemeyen rastlantısal faktörlerin Y üzerindeki toplam etkisi olup; “ε” hata terimine dair varsayımlar;

- (1) ε'nin beklenen değeri 0 olmalı,
 - (2) ε'nin birbirini izleyen değerleri birbirinden bağımsız olmalı,
 - (3) ε'nin varyansı (σ^2) sabit olmalı,
 - (4) ε'nin dağılımı normal dağılım olmalı
- şeklindedir (Hatiboğlu, 1994).

Regrasyon denklemindeki α sabit terim'dir. Y'yi belirleyen etmenlerden özgün değişken olarak analize dahil edilmemişlerin ortalama etkisini gösterir. β_1 , X_1 'deki bir birim değişikliğin ortalama olarak Y'yi ne ölçüde değiştireceğini gösterir ve katsayı ya da parametre olarak adlandırılır. R^2 ve standart sapma ise doğrusal regrasyonla elde edilen regrasyon modelinin bağımlı değişkenin varyansını ne ölçüde açıklayabildiğini ifade etmektedir. R^2 'ye determinasyon katsayısı da denmektedir. Modelin Y'deki değişmeleri ne kadar açıkladığı determinasyon katsayısı ile bulunur.

Değişkenlerin birbirini hatasız ve tam olarak açıklaması durumunda $R^2=1,00$ olarak saptanır. Standart sapma küçüldükçe regresyon modeline göre bulunacak Y rakamlarının gerçek değerlere yaklaştığı anlaşılır (Hatiboğlu, 1994; Büyüköztürk, 2003).

Bu çalışmada doğrudan ya da değişkenlerin birbirleriyle anlamlı bir şekilde çarpılması, bölünmesi ya da toplanmasından ve bu değişkenlerin gerçek ve logaritmik formlarının elde edilmesi ile oluşan toplam yüzdört bağımsız değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler Tablo 4.1’de sunulmuştur. Çalışma kapsamında seçilen modelde bağımlı değişken ise “zirve (*peak*) titreşim değeridir”.

Bir titreşimin akselerasyon büyüklüğü, zirveden zirveye (*peak to peak*) veya zirve (*peak*) cinsinden ifade edilmektedir. Karmaşık hareketlerle birlikte; titreşimin şiddeti temsil edilmeyen bir zirve (*peak*) değerle de belirlenebilmekte olup; bu sıklıkla ortalama bir büyüklükle ifade edilmektedir. Daha çok mühendislik alanında kullanılan bu ölçüt titreşim değerinin ortalamasının kareköküdür (*Root Mean Square (rms)*). Titreşim değerinin ortalamasının karekökünün değeri (*Rms*) elde edilen akselerasyonun karesinin ortalama değerinin kareköküdür. Zirve (*peak*) değeri oluşturan basit bir harmonik (sinüsoidal) hareket A ise; zirveden zirveye (*peak to peak*) $2A$, titreşimin ortalamasının karekökü (*rms*) ise $A/\sqrt{2}$ ’dir (yaklaşık $0.707A$). Zirveden zirveye (*peak to peak*), zirve (*peak*) ya da titreşimin ortalamasının karekökü (*rms*) değeri kullanılıyorsa hata oranı $2,828$ ’den 1 ’e kadar değişmektedir. Sinüsoidal olmayan hareketler için hata oranı daha büyüktür (Griffin, 1990).

Titreşimin ortalamasının karekökü (*rms*) değeri daha çok insan kaynaklı titreşimler için tercih edilir. Ancak bunun nedeni zirveden zirveye (*peak to peak*), zirve (*peak*) ya da diğer ölçümlerden daha iyi sonuç alınıyor olması değildir. Birinci derece önemli olan; ölçümlerin güvenilir olması, analizler ve mühendisliğin diğer alanlarındaki uyumdur. Ancak ortalamasının karekökü (*root mean square*) evrensel olarak kabul edilmemiş olup; pek çok araştırmacı zirve (*peak*) titreşim değerini tercih etmektedir (Griffin, 1990). Şekil 4.1; zirveden zirveye (*peak to peak*), zirve (*peak*) ve ortalamasının karekökü (*rms*) için grafikleri vermektedir.

Tablo 4.1 Kısaltmalar ve açıklamaları

Değişken Kaynakları	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Alıcı Temelli Değişkenler	1	1trfbit	Yapının bir tarafından başka bir yapıya bitişik olması durumu (bitişikse 1, değilse 0)
	2	2trfbit	Yapının iki tarafından başka bir yapıya bitişik olma durumu (bitişikse 1, değilse 0)
	3	ayrık	Yapının ayrık nizamda olma yani herhangi bir yapıyla bitişik bir yüzeyinin olmaması durumu (ayrıkça 1, değilse 0)
	4	yapen	Ölçüm yapılan yapının eni (cm)
	5	yapboy	Ölçüm yapılan yapının boyu (cm)
	6	yapbuy	Ölçüm yapılan yapının eni ve boyunun çarpımı (cm ²)
	7	kose	Yapının iki yolun kesiştiği bir noktada köşe konumunda olma durumu (köşeyse 1, değilse 0)
	8	avencm	Konutun kapısından içeri girer girmez bulunan alanın yola göre en bilgisi (cm)
	9	avboycm	Konutun kapısından içeri girer girmez bulunan alanın boy bilgisi (cm)
	10	sen_m1	Beton zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	11	sen_m2	Ahşap zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	12	sen_m3	Kayrak taşı zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	13	sen_m4	Taş döşeme zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	14	sen_m5	Toprak zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	15	sen_m6	Mozaik kaplama zeminde konumlandırılan sensörse 1, değilse 0
	16	yap_yuk	ölçüm yapılan yapının yüksekliği (cm)
	17	sen_yuk	yapının yoldan yüksekliği (cm)
	18	duvkalcm	Ölçüm yapılan yapıda sensörlerin yerleştirildiği duvarın kalınlığı (cm)
	19	duv_dmy	yapının dışında kendisine bağlı ek duvar varsa 1, yoksa 0
	20	kat_adt	Konutun sahip olduğu kat adedi (adet)
	21	yapuzcm	taşıtın belli bir hıza ulaştığı aralığın uzunluğu (cm)
	22	encboy	avlu eni çarpı boyu (cm ²)
	23	avenbyuz	avlu eni bölü yapı uzunluğu (cm)
	24	yuzckadt	yapı uzunluğu çarpı kat adedi (cm)
	25	avenbeg	avlu eni bölü eğim
	26	dvkcpyk	duvar kalınlığı çarpı yapı yüksekliği
Başlangıç Temelli Değişkenler	27	TST_N1	Kamyon (kamyonsa 1, değilse 0)
	28	TST_N2	Minibüs (minibüsse 1, değilse 0)
	29	TST_N3	Otomobil (otomobilsa 1, değilse 0)
	30	TST_N4	Ambulans (ambulanssa 1, değilse 0)
	31	TST_N5	İtfaiye (itfaiyeyse 1, değilse 0)
	32	tekoncap	Ön tekerleğin çapı (cm)
	33	tekortcp	Orta tekerleğin çapı (cm)
	34	tekarkcp	Arka tekerleğin çapı (cm)
	35	tekort	Ortalama tekerlek çapı (cm)
	36	tekongen	Ön Tekerleğin Genişliği (cm)
	37	tekorgen	Orta tekerleğin genişliği (cm)
	38	tekargen	Arka tekerleğin genişliği (cm)
	39	orttekgen	Ortalama tekerlek genişliği (cm)
	40	Tasuzbtekc	Taşıt uzunluğu bölü tekerlek çapı (cm)

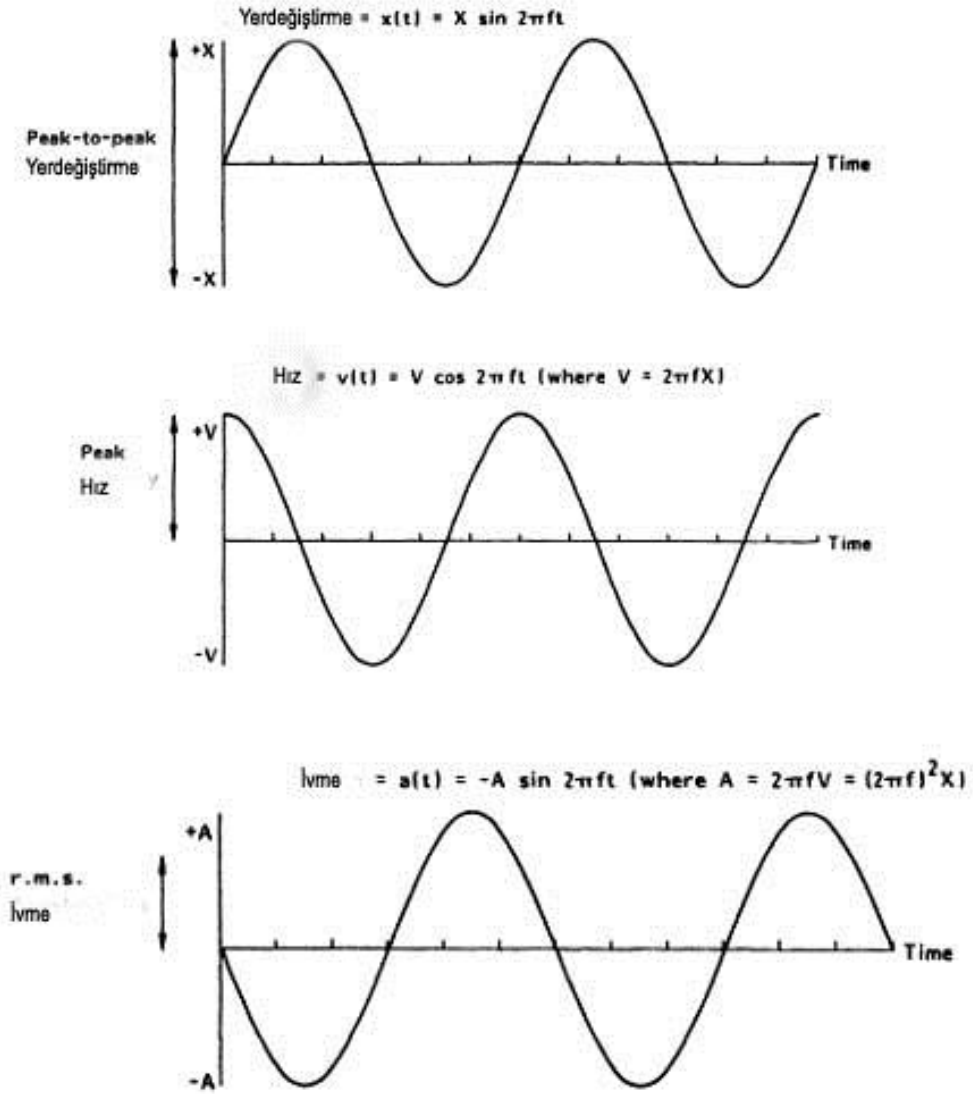
Tablo 4.1 Devamı

Değişken Kaynakları	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Başlangıç Temelli Değişkenler	41	romorklu	Taşıta ek bir römork varsa 1 yoksa 0
	42	tsuzbypuz	Taşıt Uzunluğu Bölü Yapı Uzunluğu (cm)
	43	tek_say	Taşıtın tekerlek sayısı (adet)
	44	tas_bos	Taşıtın yüklü ya da yüksüz geçme durumu (yüklü=1, yüksüz=0)
	45	yuk_ag	Taşıtın kendi ağırlığından bağımsız olarak taşıttaki yük ağırlığı (kg) (taşıttaki insanlar ort. 70 kg. üzerinden hesaplanmış; yolcusu olmayan taşıtta sadece sürücü ağırlığı 70 kg. olarak yazılmıştır.)
	46	net_ag	Taşıtın yüksüz, ruhsatta yazan kendi ağırlığı (kg)
	47	top_ag	Taşıtın ruhsatta yazan ağırlığı ile yolcu ve yük ağırlığının toplamından oluşan değer (kg)
	48	kis_say	Araçta şoför dahil bulunan insan sayısı (kişi)
	49	kisi_ag	Ortalama 70 kg. üzerinden araçta bulunan kişilerin yaklaşık ağırlığı (kg)
	50	mot_guc	Taşıtın ruhsatta yazan motor gücü bilgisi (kw)
	51	sil_hac	Taşıtın ruhsatta yazan silindir hacmi bilgisi (cm ³)
	52	tas_yas	2012 yılı itibariyle taşıtın yaş bilgisi (kaç yıllık olduğu)
	53	yak_tur	Yapının önünden geçen taşıtın yakıt türü (benzin=1, dizel=0)
	54	tast_hz	Taşıt hızı (km)
	55	tasuzcm	Yapı önünden geçirilen taşıtın uzunluğu (cm)
	56	tast_gen	Yapı önünden geçirilen taşıtın genişliği (cm)
	57	tas_yuz	Yapı önünden geçirilen taşıtın yüzeyel olarak kapladığı alan (cm ²)
	58	duz_kal	Tüm tekerlekleri aynı kalınlıkta olan taşıtsa 1, değilse 0
	59	duz_cap	Tüm tekerlekleri aynı genişlikte olan taşıtsa 1, değilse 0
	60	duz_tek	Tüm tekerlekleri hem çap hem de kalınlık olarak aynıysa 1, değilse 0
	61	tksyckl	tekerlek sayısı çarpı kalınlığı (cm)
	62	tksyccp	tekerlek sayısı çarpı çapı (cm)
	63	tpagbtk	toplam ağırlık bölü tekerlek sayısı (kg/adet)
	64	ntagbtk	net ağırlık bölü tekerlek sayısı (kg/adet)
	65	ykabtk	yük ağırlığı bölü tekerlek sayısı (kg/adet)
	66	ykabtpag	yük ağırlığının toplam ağırlığa oranı (kg)
	67	ntabtpag	net ağırlık bölü toplam ağırlık (kg)
	68	ksabtpag	kişi ağırlığı bölü toplam ağırlık (kg)
	69	tsubtksy	taşıt uzunluğu bölü tekerlek sayısı (cm)
	70	tsyscmgc	taşıt yaşı çarpı motor gücü
	71	tsgsrg	taşıt genişliği bölü şerit genişliği (cm)
	72	tsgbyg	taşıt genişliği bölü yol genişliği (cm)
	73	thzcnag	taşıt hızı çarpı net ağırlık
	74	thzcyka	taşıt hızı çarpı yük ağırlığı
	75	thzctpag	taşıt hızı çarpı toplam ağırlık
	76	thzbyuz	taşıt hızı bölü yapı uzunluğu
	77	thzcyas	taşıt hızı çarpı taşıt yaşı
	78	tkcpctgen	tekerlek çapı çarpı tekerlek genişliği

Tablo 4.1 Devamı

Değişken Kaynakları	Sayı	Kısaltmalar	Açıklamalar
Geçiş Alanı Temelli Değişkenler	79	yol_kesm	Yapının cephe verdiği yol kesişim sayısı (adet)
	80	onyapo	Yapının orta noktasından yapının ön cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	81	koyapo	Yapının orta noktasından yapının komşu cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	82	arkyapo	Yapının orta noktasından yapının arka cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	83	arkbah	Yapının arka bahçesi varsa 1 yoksa 0
	84	kombah	Yapının komşu bahçesi varsa 1 yoksa 0
	85	onrekreas	Ön tarafı rekreasyonsa 1 değilse 0
	86	bahdudv	Bahçe duvarından girişi varsa 1, yoksa 0
	87	Bitalcdv1	Ölçüm Yapılan Yapı Bir tarafından daha alçak bir duvara bitişirse 1, değilse 0
	88	Bitalcdv2	Ölçüm Yapılan Yapı İki tarafından daha alçak bir duvara bitişirse 1, değilse 0
	89	Bitalcyp1	Ölçüm Yapılan Yapı bir tarafından daha alçakta bir binaya bitişirse 1, değilse 0
	90	Bitalcyp2	Ölçüm Yapılan Yapı iki tarafından daha alçakta bir binaya bitişirse 1, değilse 0
	91	Sergnbtasgn	Şerit Genişliğinin Taşıt Genişliğine Bölümü (cm)
	92	Sergcyapuz	Şerit Genişliğinin Yapı Uzunluğuna Bölümü (cm)
	93	sergencm	Yolun ölçüm yapılan yapıya yakın olan şeridinin genişliği (cm)
	94	yon	Taşıtın yokuş aşağı ya da yukarı olması durumu (yokuş aşağı=0, yokuş yukarı=1)
	95	senuzcm	Sensörün konumlandırıldığı noktadan; yolun yapıya yakın olan şeridinin orta noktasına olan uzaklığı (cm)
	96	yolgen	yol genişliği (cm)
	97	kldrm	kaldırım genişliği (cm)
	98	su_kan	yapının altından dereye bağlanan su kanalı geçiyorsa 1, geçmiyorsa 0
	99	deruzcm	yapının derenin orta noktasına uzaklığı (cm)
	100	egim	eğim durumu (%)
	101	kotcm	yapının deniz seviyesinden yüksekliği (cm)
	102	uzmkşcm	Ölçüm yapılan yapıların mikaşist nitelikli toprağa olan uzaklığı (cm)
103	mksbdere	mikaşiste uzaklığın dereye uzaklığa bölümü (cm)	
104	dvkmkuz	duvar kalınlığı çarpı mikaşiste uzaklık	

Analizlerde bağımlı değişken olarak ölçülen titreşim değerlerinin titreşimin ortalamasının karekökünün (*rms*) değeri, maksimum ve minimum değerleri, zirve (*peak*) değeri ve zirveden zirveye (*peak to peak*) denilen titreşim değerleri plan kararları ile kontrol edilebilecek değişkenleri belirlemek amacıyla ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Zirveden zirveye, zirve ve titreşimin ortalamasının karekökü grafikleri (Kaynak: Griffin, M. J. (1990). *Handbook of human vibration*. London: Elsevier.)

Plan kararları ile kontrol edilebileceği düşünülen bağımsız değişkenler ise (1) verilerin gerçek değerlerinden oluşan değişkenler, (2) dummy değişkenler ve (3) değişkenlerin birbirleriyle anlamlı bir şekilde ilişkilendirilmesi sonucu oluşan değişkenlerden oluşmaktadır. Verilerin gerçek değerlerinden oluşan değişkenler; yol kesişim sayısı, yapının orta noktasından ön cephesine en yakın başka bir yapının orta noktasına olan uzaklığı, yapının orta noktasından yapının komşu cephesine en yakın yapının orta noktasına olan uzaklığı, yapının orta noktasından yapının arka cephesine en yakın başka bir yapının orta noktasına olan uzaklığı, yapının eni, boyu ve alansal

büyüklüğü, ön tekerleğin çapı, orta tekerleğin çapı, arka tekerleğin çapı, ortalama tekerlek çapı, ön, orta ve arka tekerleğin genişliği, ortalama tekerlek genişliği, tekerlek sayısı, taşıtın kendi ağırlığından bağımsız olarak yük ağırlığı, taşıtın kendi ağırlığının ve şoförün ağırlığının oluşturduğu ağırlık, taşıtın şoför, yük, yolcular ve kendi ağırlığıyla birlikte toplam ağırlığı, şoförle birlikte taşıttaki kişi sayısı, şoförle birlikte taşıttaki kişi ağırlığı, taşıtın motor gücü, taşıtın silindir hacmi, ölçüm yapılan avlunun eni ve boyu, taşıtın yaşı, şerit genişliği, taşıt hızı, sensörün yolun orta noktasına olan uzaklığı, yapı yüksekliği, sensörün yol kotundan yüksekliği, yol genişliği, kaldırım genişliği, yapı duvarının kalınlığı, yapının dereye uzaklığı, yolun eğimi, yapının deniz seviyesinden yüksekliği (kotu), kat adedi, yapının taşıtın geçtiği cepheye bakan cephesinin uzunluğu, taşıt uzunluğu, taşıt genişliği, taşıt yüzeyi ve yapının mikaşist zemin yapısına olan uzaklığıdır.

Bu değişkenlere ek olarak kukla (dummy) değişken olarak ise; taşıt türleri (kamyon, minibüs, ambulans, itfaiye aracı, traktör ve otomobil), yapının bir tarafından başka bir yapıya bitişik olması, yapının iki tarafından başka bir yapıya bitişik olması, yapının hiçbir yapıya bitişik olmaması yani ayrık nizamda olması, yapının arka bahçesi olup olmaması, yapının komşu bahçesi olup olmaması, yapının önünde açık alan olup olmaması, yapıya bitişik bir bahçe duvarı olup olmaması, yapıya bir tarafından bitişik farklı yükseklikte bir yapı olması, yapıya iki tarafından bitişik farklı yükseklikte bir yapı olması, yapıya bir tarafından bitişik farklı yükseklikte bir duvar olması, yapıya iki tarafından bitişik farklı yükseklikte bir duvar olması, taşıtın römorklu ya da römorksuz olması, yapının yapı adasının köşesinde olması, taşıtın boş ya da dolu olması, yakıt türü, taşıtın yokuş aşağı ya da yukarı yönde hareket etmesi, sensörlerin yerleştirildikleri zemin malzemeleri, ölçüm yapılan cephede yapı duvarına ek başka bir duvar olup olmaması, yapının altından dereye bağlanan bir su kanalı olup olmaması, taşıt tekerleklerinin tümünün düzgün kalınlıkta, çapta olması ve tüm tekerleklerin aynı olması durumudur.

Birbiriyle ilişkilendirilen değişkenler ise; ölçümün yapıldığı şerit genişliğinin taşıt genişliğine bölümü, şerit genişliğinin yapı uzunluğuna bölümü, taşıt uzunluğunun tekerlek çapına bölümü, tekerlek sayısının tekerlek kalınlığıyla çarpımı, tekerlek

sayısının tekerlek çapıyla çarpımı, toplam ağırlığın tekerlek sayısına bölümü, taşıt ağırlığının tekerlek sayısına bölümü, yük ağırlığının tekerlek sayısına bölümü, yük ağırlığının toplam ağırlığa oranı, net ağırlığın toplam ağırlığa oranı, kişi ağırlığının toplam ağırlığa oranı, taşıt uzunluğunun tekerlek sayısına bölümü, avlu eni ve boyunun çarpımı, yapı uzunluğunun kat adediyle çarpımı, taşıt genişliğinin şerit genişliğine bölümü, taşıt genişliğinin yol genişliğine bölümü, taşıt hızının net ağırlıkla çarpımı, taşıt hızının yük ağırlığıyla çarpımı ve taşıt hızının toplam ağırlıkla çarpımı, taşıt hızının yapı uzunluğuna bölümü, taşıt hızının taşıt yaşıyla çarpımı, avlu eninin eğim yüzdesine bölümü, mikaşiste uzaklığın dereye uzaklığa oranı, tekerlek çapı ile tekerlek genişliğinin çarpımı ve son olarak da duvar kalınlığının yapı yüksekliğiyle çarpımıdır.

Ölçümlerde yapının orta noktasına yerleştirilen sensörden alınan sonuçların daha sağlıklı bulunması nedeniyle; final regresyon modelinde yapının orta noktasına yerleştirilen sensörden alınan değerler kullanılarak bağımlı değişken değeri olarak kullanılmıştır. Yapının orta noktasından alınan titreşim değerleri ve diğer değişkenlere ait betimleyici istatistikler Tablo 4.2’de görüldüğü gibidir.

Çalışmada elde edilen regresyon sonuçları dikkate alınarak seçilen modelde bağımlı değişken zirve (*peak*) titreşim değeri olmuştur. Çalışma sonucunda seçilen final modelde sadece yapıların orta noktalarından alınan ölçümler bağımlı değişken değeri olarak alındığı için örneklem büyüklüğü 199’dur. Çalışma sonucunda elde edilen final modelde yer alan bağımsız (açıklayıcı) değişkenlere ait betimleyici istatistikler Tablo 4.3’de sunulmuştur. Final modelin oluşturulmasında plan kararları ile kontrol edilebilen bağımsız değişkenlerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Final modelde kullanılan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenin varyansının %86,3’ü açıklanabilmektedir ($R^2=0,863$). Hunaidi ve Gallagher (2000) titreşim şiddetinin pek çok farklı faktöre bağlı olduğunu, Watts (1990) ise titreşim düzeyinin tahmininin oldukça zor olduğunu belirtmiştir. Bu tespitler dikkate alındığında $R^2=0,863$ değerinin oldukça iyi bir açıklama düzeyi olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 4.2 Sensörün yapının orta noktasına yerleştirildiği durumda verilere ilişkin betimleyici istatistikler

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
mks	199	,000	,243	,087	,086
mn	199	$-1,842 \cdot 10^{-1}$	$-2,097 \cdot 10^{-4}$	$-5,786 \cdot 10^{-2}$,056
pk_pktop	199	,000	,405	,144	,142
sen_rms	199	,00	,15	,046	,0471
sen_pk	199	,01	,34	,118	,117
TST_N1	199	0	1	,21	,409
TST_N2	199	0	1	,18	,382
TST_N3	199	0	1	,14	,343
TST_N4	199	0	1	,13	,338
TST_N5	199	0	1	,14	,343
1trfbit	199	0	1	,77	,419
2trfbit	199	0	1	,11	,314
ayrık	199	0	1	,12	,321
yol_kesm	199	1	4	1,75	1,257
onyapo	199	2297	6606	4085,73	1,719,165
koyapo	199	942,87	2291,05	$1,689 \cdot 10^3$	464,213
arkyapor	199	1154,7	5411,9	$3,042 \cdot 10^3$	1,188,489
arkbah	199	0	1	,90	,301
kombahce	199	0	1	,22	,413
yapen	199	439,28	1018,02	$7,612 \cdot 10^2$	176,856
yapboy	199	665,91	1549,26	$1,241 \cdot 10^3$	242,586
yapbuy	199	$4,202 \cdot 10^5$	$1,543 \cdot 10^6$	$9,522 \cdot 10^5$	$3,166 \cdot 10^5$
onrekreas	199	0	1	,67	,470
bahduv	199	0	1	,56	,497
bitalcdv1	199	0	1	,72	,451
bitalcdv2	199	0	1	,06	,239
bitalcyp1	199	0	1	,42	,494
bitalcyp2	199	0	1	,11	,314
kose	199	0	1	,27	,446
sergnbtasgn	199	,70	1,43	1,100	,223
sergcyapuz	199	133182	309852	$2,45 \cdot 10^5$	47,313,141
tekoncap	199	62	108	80,94	18,594
tekortcp	199	0	122	25,75	49,909
tekarkcp	199	62	108	86,64	18,192
tekort	199	$6,200 \cdot 10^1$	$1,080 \cdot 10^2$	$8,657 \cdot 10^1$	$1,816 \cdot 10^1$
tekongen	199	9	60	22,99	15,347
tekorjen	199	0	32	6,75	13,091
tekargen	199	9,0	60,0	23,734	14,974
orttekgen	199	9,000	$6,000 \cdot 10^1$	$2,451 \cdot 10^1$	$1,472 \cdot 10^1$
tasuzbtekc	199	2,021	4,619	3,583	,879
romorklu	199	0	1	,56	,498
tsuzbypuz	199	,282	1,481	,638	,257
tek_say	199	4	10	5,96	2,274
tas_bos	199	0	1	,43	,497

Tablo 4.2 Devamı

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
yuk_ag	199	70	25500	3051,86	6,630,414
net_ag	199	1300	12000	5193,43	4,195,862
top_ag	199	1370	37500	8245,29	9,575,152
kis_say	199	1	9	1,66	1,782
kisi_ag	199	70	630	116,43	124,709
mot_guc	199	48,91	193,00	1,188*10 ²	50,703
sil_hac	199	1598	5883	3227,87	1,523,460
avencm	199	232	460	320,13	69,397
avboyem	199	375	1246	770,23	286,812
tas_yas	199	3	17	10,08	5,555
sergenem	199	175	200	197,49	7,536
yak_tur	199	0	1	,27	,443
tast_hz	199	5	75	34,80	19,511
yon	199	0	1	,20	,398
senuzem	199	175,0	450,0	222,111	76,796
sen_m1	199	0	1	,25	,435
sen_m2	199	0	1	,01	,071
sen_m3	199	0	1	,10	,301
sen_m4	199	0	1	,34	,475
sen_m5	199	0	1	,10	,295
sen_m6	199	0	1	,11	,308
yap_yuk	199	356	748	572,73	116,289
sen_yuk	199	15	60	24,95	18,722
yol_gen	199	572	594	591,79	6,631
kldrm	199	209	220	218,89	3,316
duvkalcm	199	50	1150	155,03	324,076
duv_dmy	199	0	1	,10	,295
su_kan	199	0	1	,21	,405
deruzem	199	1940	10733	5745,62	2,798,246
egim	199	5,119	9,044	7,670	,954
kotem	199	34200	37700	3,67*10 ⁴	1,019,174
kat_adt	199	1	3	2,01	,477
yapuzem	199	655	1595	1103,72	262,770
tasuzem	199	450	970	662,91	196,745
tasgenem	199	140	250	187,19	39,198
tas_yuz	199	67500	242500	1,28*10 ⁵	61,085,279
duz_kal	199	0	1	,44	,498
duz_cap	199	0	1	,79	,409
duz_tek	199	0	1	,44	,498

Tablo 4.2 Devami

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
uzmkşcm	199	6300	20500	9809,55	3,981,315
tksyckl	199	36	460	206,49	155,174
tksyccp	199	248	1050	582,27	309,655
tpagbtks	199	3,425*10 ²	3,750*10 ³	1,156*10 ³	1,014*10 ³
ntagbtks	199	325	1458	761,38	406,570
ykabtk	199	7,000	2,550*10 ³	3,948*10 ²	7,128*10 ²
ykabtpag	199	,006	,680	,181	,218
ntabtpag	199	,320	,994	,819	,218
ksabtpag	199	,002	,241	,041	,056
tsubtk	199	9,667*10 ¹	1,417*10 ²	1,152*10 ²	1,752*10 ¹
encboy	199	104400	479710	2,58*10 ⁵	131,341,476
tsyscmgc	199	195,64	3281,00	1,366*10 ³	1,106,723
avenbyuz	199	,188	,509	,310	,111
yuzckadt	199	655	3705	2277,77	837,869
tsgbsrg	199	,7	1,4	,949	,203
tsgbyg	199	,236	,437	,316	,066
thzcnag	199	16530	840000	1,55*10 ⁵	153,825,597
thzcyka	199	700	382500	5,42*10 ⁴	101,814,184
thzctpag	199	31530	844900	2,09*10 ⁵	200,743,725
thzbyuz	199	,004	,107	,033	,021
thzcyas	199	20	1190	367,17	312,172
avenbeg	199	29,2	57,6	41,984	9,285
mksbdere	199	1,216	3,608	1,946	,694
tkcpctgen	199	558	5400	3053,59	1,832,579
dvkcpyk	199	17800	634570	8,66*10 ⁴	178,578,516

Tablo 4.3 Betimleyici istatistikler

Kısaltmalar	Değişken Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
mks	199	,000	,243	,087	,086
mn	199	-1,842*10 ⁻¹	-2,097*10 ⁻⁴	-5,786*10 ⁻²	,0562
pk_pktop	199	,000	,405	,144	,142
sen_rms	199	,00	,15	,047	,0471
sen_pk	199	,01	,34	,118	,117
sen_m1	199	0	1	,25	,435
sen_m2	199	0	1	,01	,071
sen_m3	199	0	1	,10	,301
sen_m4	199	0	1	,34	,475
sen_m5	199	0	1	,10	,295
onrekreas	199	0	1	,67	,470
bitalcyp2	199	0	1	,11	,314
yapbuy	199	4,202*10 ⁵	1,543*10 ⁶	9,522*10 ⁵	3,166*10 ⁵
top_ag	199	1370	37500	8245,29	9,575,152
egim	199	51,189	9,044	7,700	,954
duz_cap	199	0	1	,79	,409
su_kan	199	0	1	,21	,405
bahduv	199	0	1	,56	,497
tast_hz	199	5	75	34,80	19,511
yol_kesm	199	1	4	1,75	1,257

Tablo 4.4’de elde edilen final modele ilişkin parametre tahminleri, t istatistiği ve istatistiksel açıdan anlamlılık düzeyleri sunulmaktadır.

Tablo 4.4 Parametre tahminleri

Değişken	Tahmin edilen katsayıları (standardize edilmemiş) B	t-istatistiği	p-istatistiği (Pr > t)
Sabit	-1,409	-4,732	,000
sen_m1	,270	5,707	,000
sen_m2	,175	2,622	,009
sen_m3	,381	7,988	,000
sen_m4	,603	7,389	,000
sen_m5	,622	10,711	,000
sen_m6	,158	4,402	,000
bahduv	-,112	-3,754	,000
onrekreas	-,136	-3,374	,001
bitalcyp2	-,297	-9,274	,000
yol_kesm	,170	4,973	,000
yapbuy	$5,096 \cdot 10^{-7}$	7,743	,000
top_ag	$1,854 \cdot 10^{-6}$	4,207	,000
egim	,075	4,174	,000
duz_cap	-,046	-4,326	,000
su_kan	-,0802	-2,218	,028
tast_hz	$9,115 \cdot 10^{-5}$,384	,702

Bağımlı Değişken: sen_pk (zirve (*peak*) titreşim düzeyi)

Bağımlı değişkenin sen_peak yani ölçüm sırasında elde edilen en yüksek titreşim değerini ifade ettiği final regrasyon modelinden de anlaşıldığı gibi; model ile bağımlı değişken olan titreşim düzeyindeki varyansın %86,3’ü ($R^2=0,863$) açıklanabilmektedir. Değişkenlerin biri dışında tümü 0,05 seviyesinde istatistiksel açıdan değerli bulunmuştur. Sadece taşıt hızı 0,702 ile anlamsız bulunmuştur. Ancak taşıt hızına ilişkin bağımsız değişken literatür dikkate alınarak modelden çıkartılmamıştır.

Tablo 4.5 Final modelde yer alan bağımlı ve bağımsız değişkenler ve açıklamaları

Değişken Kodları	Değişken Açıklamaları
sen_m1	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Beton Olup Olmaması (Betonsa 1, değilse 0)
sen_m2	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Ahşap Olup Olmaması (Ahşapsa 1, değilse 0)
sen_m3	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Kayrak Taşı Olması (Kayrak Taşılıysa 1, değilse 0)
sen_m4	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Taş Döşeme Olup Olmaması (Taş döşemeyse 1, değilse 0)
sen_m5	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Toprak Olup Olmaması (Topraksa 1, değilse 0)
sen_m6	Sensörün Sabitlendiği Zeminin Mozaik Kaplama Olup Olmaması (Mozaik kaplamaysa 1, değilse 0)
onrekreas	Yapının Önünde Rekreasyon Alanı Olup Olmaması (Rekreasyon alanıysa 1, değilse 0)
bitalcyp2	Yapıya İki Taraftan Bitişik İki Yapının Daha Alçak Noktalardan Yapıyı Kesip Kesmemesi (Yapıyı kesiyorsa 1, değilse 0)
yapbuy	Yapı Büyüklüğü (cm ²)
top_ag	Taşıtın Toplam Ağırlığı (kg)
egim	Yolun eğimi (%)
duz_cap	Tekerlek Çapının Her Tekerlekte Aynı Olup Olmaması (Tekerlekler düzgün çaplıysa 1, değilse 0)
su_kan	Yapının Önünde Su Kanalı Bulunup Bulunmaması (Yapının önünde su kanalı varsa 1, yoksa 0)
bahduv	Yapının Bahçe Duvarına Bitişik Olup Olmaması (Yapıya bitişik bir bahçe duvarı varsa 1, yoksa 0)
Tast_hz	Taşıt Hızı (km/sa)
yol_kesm	Yapı Önündeki Yol Kesişim Sayısı (adet)

Elde edilen regrasyon modeline göre yapıya bitişik bir bahçe duvarı bulunması, yapının önünde açık alan niteliğinde bitki örtüsünden oluşan bir alan olması, yapının iki tarafında yapıya bitişik ve daha az yükseklikte binalar bulunması, tekerleklerin tümünün aynı çapta olması ve yapının önünde su kanalı bulunması; titreşim düzeyiyle ters (-) orantılı bulunmuştur. Başka bir ifade ile bu değişkenlerin varlığı ya da büyüklüklerindeki artış, titreşim düzeylerini düşürmektedir. Ölçüm yapılan yapının önündeki yol kesişim noktası sayısı, yapı büyüklüğü, taşıtın toplam ağırlığı ve eğim ise yapıda oluşan titreşim düzeyiyle doğru (+) orantılı bulunmuştur. Sensörlerin yerleştirildiği yapı zemin malzemesinin toprak, taş döşeme, kayrak taşı, beton, ahşap, mozaik kaplama ve karo olması sırasıyla titreşimi en çoktan en aza doğru arttıran değişkenlerdir. Dolayısıyla sensörün yerleştirildiği zeminin toprak olması durumunda titreşimin yapıya ulaşması kolaylaşmakta ve yapı diğer zemin malzemelerine göre daha yüksek düzeyde bir titreşime maruz kalmaktayken; karo

olması durumunda ise yapı en düşük titreşim düzeyine maruz kalmaktadır. Tablo 4.5'te istatistiksel açıdan önemli bulunan değişkenlere ilişkin kısaltmalar ve açıklamaları yer almaktadır.

Çalışma kapsamında ulaşılan final modele ait regresyon denklemi;

$$\begin{aligned} \text{TİTREŞİM DEĞERİ} = & -1,409 + 0,270 * \text{sen_m1} + 0,175 * \text{sen_m2} + 0,381 * \text{sen_m3} \\ & + 0,603 * \text{sen_m4} + 0,622 * \text{sen_m5} + 0,158 * \text{sen_m6} - 0,112 \\ & * \text{bahduv} - 0,136 * \text{onrekreas} - 0,297 * \text{bitalcyp2} + 0,170 * \\ & \text{yol_kesm} + 5,096\text{E-}7 * \text{yapbuy} + 1,854\text{E-}6 * \text{top_ag} - 0,082 * \\ & \text{su_kan} + 0,075 * \text{eğim} - 0,046 * \text{duz_cap} \end{aligned}$$

şeklindedir.

Yapıya bitişik bir bahçe duvarı bulunması, yapının önünde açık alan niteliğinde bitki örtüsünden oluşan bir alan olması, yapının iki tarafında yapıya bitişik ve daha az yükseklikte binalar bulunması ve yapının önünde su kanalı olması; titreşim düzeyini azaltırken; ölçüm yapılan yapının önündeki yol kesişim noktası sayısı, yapı büyüklüğü, taşıtın toplam ağırlığı, zemin malzemesinin mozaik kaplama, beton, ahşap, taş döşeme, kayrak taşı ya da toprak olması, eğim durumu, tekerleklerin tümünün aynı çapta olması yapıda oluşan titreşim düzeyini arttırmaktadır.

Ölçüm yapılan yapının mozaik kaplama olması titreşim düzeyini 0,158 mm/sn. arttırırken; toprak olması 0,622, taş döşeme olması 0,603, ahşap olması 0,175, beton olması 0,270 ve kayrak taşı olması ise 0,381 mm/sn. arttırmaktadır. Ölçüm yapılan yapıya bitişik bir bahçe duvarı olması titreşim düzeyini 0,112 mm/sn. azaltırken; yapının önünde açık alan olması titreşim düzeyini 0,136 mm/sn. azaltmaktadır. Ölçüm yapılan yapının iki tarafından bitişik daha az yükseklikte yapı olması titreşim düzeyini 0,297 mm/sn. azaltırken; yol kesişim noktasındaki bir birimlik artış titreşim düzeyini 0,170 mm/sn. arttırmaktadır. Yapı büyüklüğünde meydana gelen bir birimlik artış titreşim düzeyini $5,0960 \cdot 10^{-7}$ mm/sn. arttırırken; taşıtın toplam ağırlığında meydana gelen bir birimlik artış titreşim düzeyini $1,854 \cdot 10^{-6}$ mm/sn. arttırmaktadır. Eğim durumunda meydana gelen bir birimlik artış titreşim düzeyini

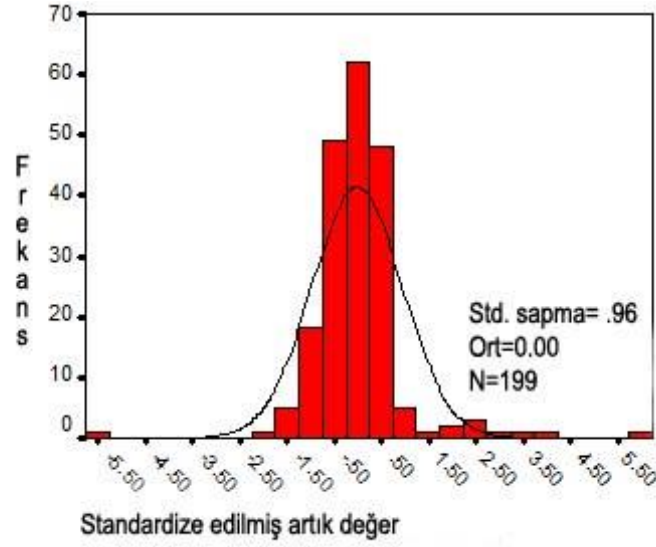
0,075 mm/sn. arttırırken; taşıt tekerleklerinin tümünün çaplarının aynı olması titreşim düzeyini 0,046 mm/sn. azaltmaktadır. Yapının önünde su kanalı olması ise titreşim düzeyini 0,082 mm/sn. azaltmaktadır.

Sabit değer -1,409 olarak bulunmuş olup; bu değer analizler sonucu saptanan 16 değişken dışında titreşim düzeyini etkileyen ancak saptanamayan diğer değişkenlerin titreşim düzeylerini etkileme derecesini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçların literatürle olan paralel noktaları ve literatürden ayrılan noktaları sonuç bölümünde tartışılmıştır.

Son olarak bu bölümde elde edilen regresyon modeli sonuçlarının, regresyon varsayımlarına uygunluğunun değerlendirilmesi yerinde görülmüştür. Şekil 49'da; modelde elde edilen standardize edilmiş artık değerlerin dağılımına ilişkin histogram bulunmaktadır. Artık değerlerin ortalaması 0'dır ve dağılımı da normal dağılıma oldukça yakın bir dağılım göstermektedir.

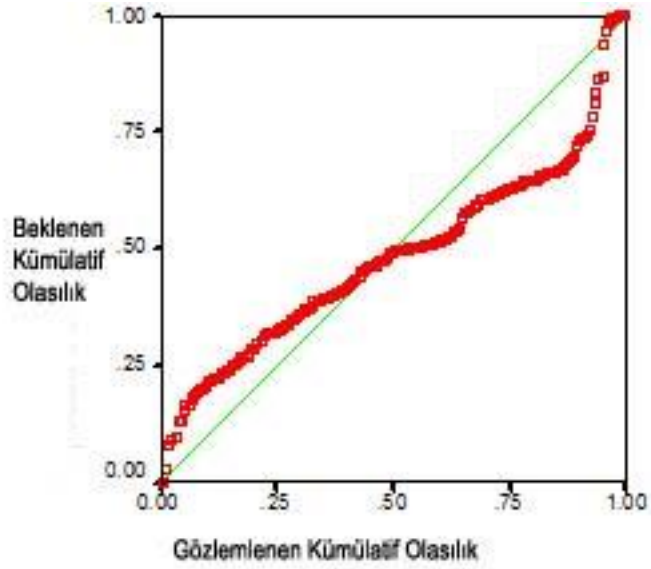
Çalışmalarda; örneklem büyüklüğü otuzdan az ise parametrik olmayan; fazla ise parametrik olan yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Parametrik testlerin kullanılabilmesi için de verilerin normal dağılması ve homojen olması gerekmektedir (Eymen, 2007). Normal dağılım eğrisi çan eğrisi şeklinde olup; simetrik bir görünüme sahiptir. Bu çalışmadaki veri sayısının otuzdan fazla olması nedeniyle normal dağılım eğrisinin incelenmesi gerekmektedir. Normalite eğrisine bakarak değerlerin normal bir popülasyonu ne derece temsil ettiğine ilişkin bir yargıya varmak mümkündür (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2007).

Elde edilen regresyon modeline göre plan kararları ile kontrol edilebilen bağımsız değişkenlerin normal dağılım eğrisi ve dummy değişkenler dışındaki bağımsız değişkenlerin grafikleri çalışmanın bu bölümünde sunulmuştur. Modele ait normal dağılım grafikleri ve dummy olmayan her bir bağımsız değişkene ait grafikler verilmektedir (Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8).

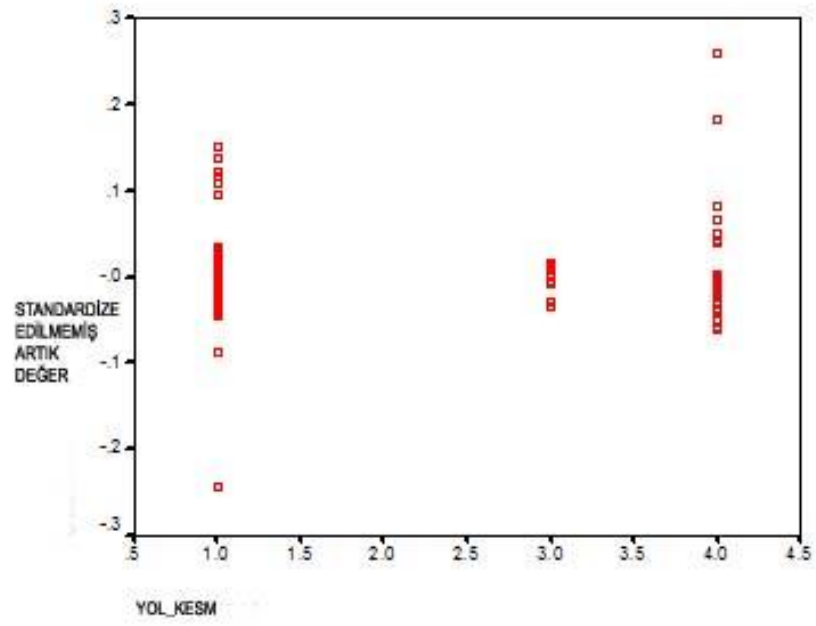


Şekil 4.2 Bağımlı değişkenin sen_pk olduğu normal dağılım eğrisi

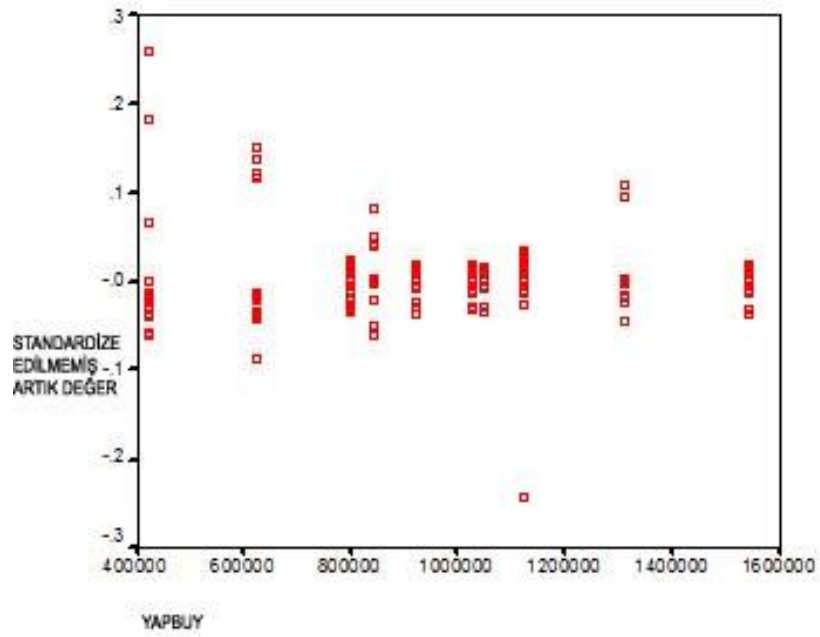
Şekil 4.3'te ise elde edilen regresyon sonuçlarına ilişkin beklenen kümülatif olasılık değerleri ile gözlemlenen kümülatif olasılık değerlerine ilişkin grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde elde edilen sonuçların kabul edilebilir düzeyde oldukları görülmektedir.



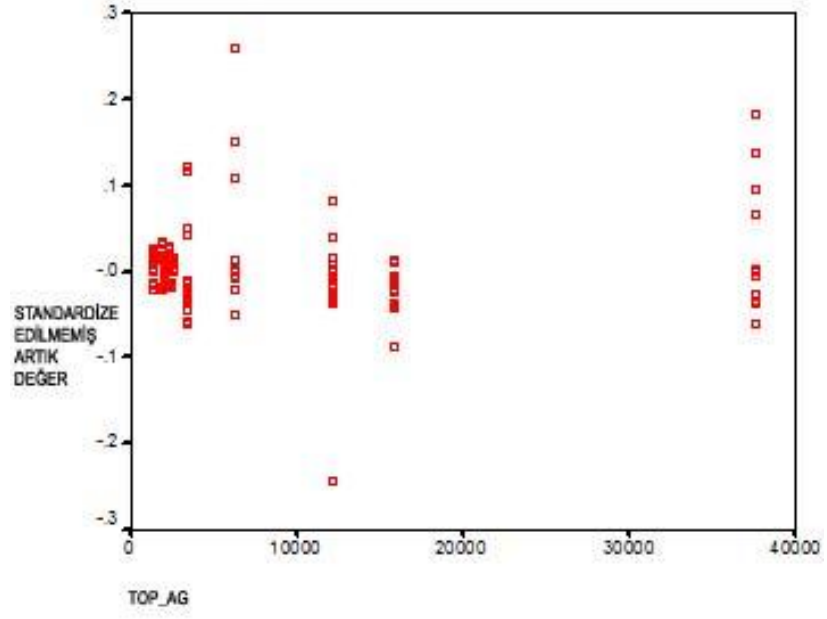
Şekil 4.3 Regresyon analizinin normal p-p grafiği



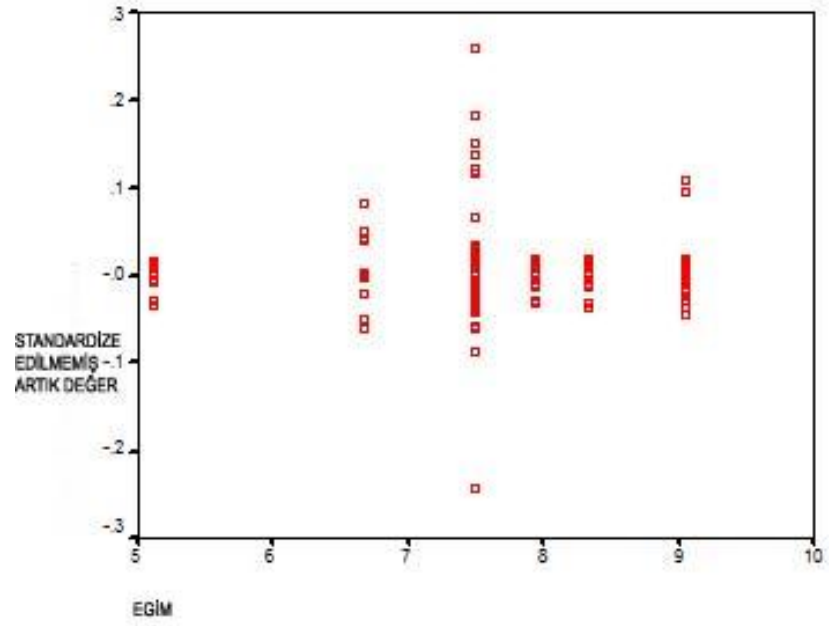
Şekil 4.4 Yol kesişim sayısı ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki



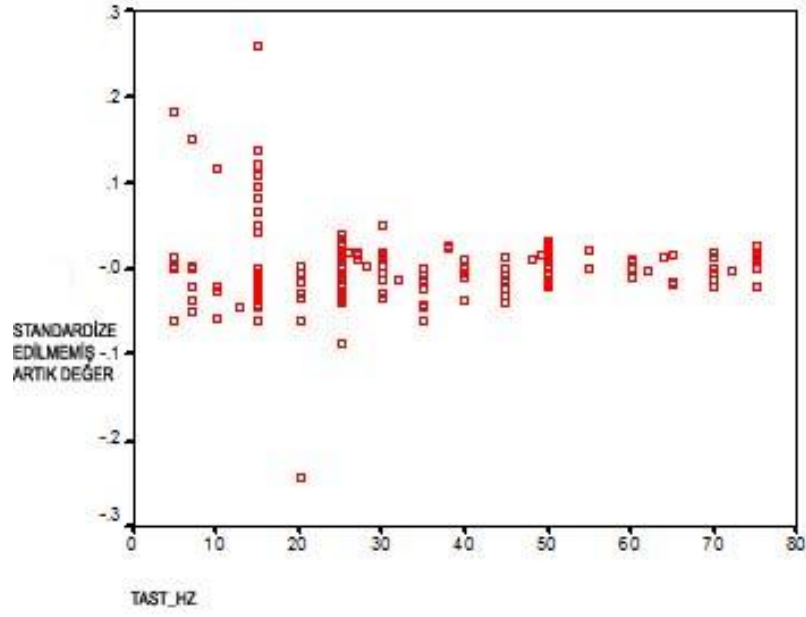
Şekil 4.5 Yapı büyüklüğü ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki



Şekil 4.6 Toplam ağırlık ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki



Şekil 4.7 Eğim durumu ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki



Şekil 4.8 Taşıt hızı ve standardize edilmemiş artık değer arasındaki ilişki

Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de ise çalışmada elde edilen artık değerler ile bağımsız değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığının tespiti amacı ile nokta grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 incelendiğinde elde edilen artık değerlerin bağımsız değişkenler arasında bir ilişki olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak, elde edilen final regresyon modelinin regresyon tekniğinin temel varsayımları ile çelişmediği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Dönemin ulaşım araçları olan binek hayvanları ve insanların yürüyebildikleri maksimum mesafeler üzerine oluşmuş eski kent sınırları ve tarihi kentsel dokudan; bugünün ihtiyaçlarına tam anlamıyla adapte olması beklenemez. Bu anlamda eski kentlerin; ait oldukları dönemin şartlarını bugünün insanlarına yaşatan mekanlar olarak korunması gerekmektedir. Aksi takdirde eski kentlerin; kentsel dönüşüm çalışmaları ile yenilenmeyi bekleyen ruhsatsız, plansız ve illegal yapılaşmış gecekondularından farkı kalmayacaktır.

Eski kentlerin ait oldukları döneme uygun olarak korunması ise; sözkonusu alanlardaki ulaşım ilişkilerinin; sahip olduğu özgün dokuya zarar vermeyecek şekilde planlanmasının gerekliliğini gündeme getirmektedir. Dolayısıyla; ait olduğu dönemden bugüne kadar çeşitli doğal ya da yapay etkenler sonucunda yorulmalara ve gerilmelere maruz kalmış bu alanlarda; kentin kapasitesini aşan ya da kentsel dokuya uygun olmayan taşıt trafiği sonucunda yeni yorgunlukların ve gerilmelerin oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu gerilmelerin bir tanesi de yapılarda trafikten kaynaklanan titreşimlerdir. Pau ve Vestroni'nin (2008) de belirttiği üzere trafik kaynaklı titreşimler tek başına yapılarda hasar oluşturacak bir etkiye sahip olmasalar da; bina yorgunluğu gibi diğer streslerle birlikte özellikle güçsüz yapılarda bozulmalara neden olabilecektir. Literatürde trafik kaynaklı titreşimlerin yapılarda minimal düzeyde de olsa hasarlar oluşturabileceği; hasar oluşturmadığı durumlarda ise titreşimlerin algısal olarak kentte yaşayanları rahatsız edebildiği ifade edilmiştir. Hunaidi ve Gallagher (2000), Hunaidi ve Tremblay (1997), Watts (1990), Pau ve Vestroni (2008), Tomazevic ve diğer. (2006) ve Tucholka ve diğer. (2008) trafik kaynaklı titreşimlerin yapılardaki yorgunluk ve gerilmeleri tetikleyebileceğini ifade eden bilim adamlarıdır.

Candemir (2005, 2008), Korkmaz ve diğer. (2010), Planlama ve Çevre Bürosu Toplu Taşıma Yönetimi (2006) ve Pau ve Vestroni (2008) çalışmalarında; trafik kaynaklı titreşimlerin özellikle eski kentlerde dikkate alınması gereken bir faktör

olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma; Birgi’de konut kullanımında olan korunması gerekli tescilli taş yapılara odaklanmaktadır.

Korkmaz ve diğer. (2010) taş yapıları mühendislik geçmişi olmayan ve genellikle iyi tasarlanmamış yapılar olarak tarif ettikleri çalışmalarında; trafik kaynaklı titreşimlerin bu tip yapılar için önemli bir hasar oluşturma faktörü olduğundan bahsetmişlerdir.

Literatüre göre araştırmacıların öngörülleri ve çalışmaları; trafik kaynaklı titreşimlerin hasar oluşturmayaçağı (Hajek, Blaney ve Hein, (2006); Office of Planning and Environment Federal Transit Administration, (2006); Watts, (1990)) ya da oluşturmadağı (Hao ve diğer., (2001); Harvey ve diğer., (2010); Jaks, Griffith ve Grounds, (2002); Li ve diğer., (2009); Suandi, (2010); Pau ve Vestroni, (2008); Penton ve Taylor, (2008); Traffic Advisory Leaflet, (1996)) yönündedir.

Bu çalışma sonucunda da diğer araştırmacılara (Hao ve diğer., (2001); Harvey ve diğer., (2010); Jaks, Griffith ve Grounds, (2002); Li ve diğer., (2009); Pau ve Vestroni, (2008); Penton ve Taylor, (2008); Suandi, (2010) ve Traffic Advisory Leaflet, (1996)) benzer şekilde literatürdeki standartları aşan ve tarihi yapılarda hasar oluşturacağı tespit edilen bir titreşim düzeyine rastlanmamıştır. Ancak planlama kararları ile kontrol edilebilen değişkenlerin titreşim düzeyini hangi oranlarda etkilediğine dair bir model ortaya konmuştur.

Elde edilen regrasyon modeline göre; yapıya bitişik bir bahçe duvarı bulunması durumunda; yapıda hissedilen titreşim düzeyi azalmakta olup; bu durum Venedik’te vapurların geçişleri sırasında oluşan titreşimleri engellemek amacıyla alınan önlemlere benzetilebilir. Söz konusu önleme çalışması; bir sokağın nehre açılan ucunda karşılıklı iki köşede bulunan iki yapının; tepe noktalarından köprülerle birbirine bağlanması sonucunda titreşim düzeyinin azaltılması çalışmasıdır. Regrasyon modeline göre taş yapılara bitişik bahçe duvarlarının da aynı işlevi gördüğü tespit edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Venedik’te vapur kaynaklı titreşimleri azaltmayı hedefleyen yapı kemerleri

Yapının iki tarafında yapıya bitişik ancak daha az yükseklikte iki bina bulunması da titreşim düzeyini azalttığı belirlenen bir faktör olup; yapıya bitişik bahçe duvarına benzer bir etkisi olduğu düşünülebilir.

Hunaidi ve Gallagher (2000) yollar ve evler arasındaki uzaklığın artırılmasının planlı gelişmeler için pratik bir strateji olabileceğinden bahsetmiş olup; bu çalışmanın katkılarında bir tanesi ise tarihi alanlarda da benzer önlemlerin alınabilecek olmasıdır.

Bu çalışma sonucunda ölçüm yapılan yapının cephe aldığı yolun karşı cephesinin açık alan gibi bitki örtüsünden oluşan boş bir alana sahip olmasının titreşimi azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla taşıt trafiğinden kaynaklanan titreşim; açık alan gibi hiçbir engelle rastlamadan yayılabileceği bir alan bulunduğu; titreşim düzeyi sönümlenmekte; titreşimin yapılarda oluşturduğu etkiler azalmaktadır. Dolayısıyla; planlama çalışmaları öncesinde yapılan arazi etütlerinde; korunması gerekli yapıların titreşim kaynağı olabilecek yola bakan cephesinde; henüz yapılaşmamış alanlar tespit edildiğinde; bu alanların aynen korunarak planlama çalışmalarına dahil edilmesi gerekecektir.

Regrasyon modeline göre titreşimi azaltıcı etkisi olduğu belirlenen diğer bir değişken ise yapının önünde su kanalı bulunmasıdır. Birgi’de bazı yapıların altında;

yolun diğerk tarafında bulunan dereye bağlanan su kanalları bulunmaktadır. Altından su kanalı geçtiğı tespit edilen yapılarda; trafikten kaynaklanan titreşimlerin daha düşük düzeylerde kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum literatürde; titreşimi önlemek için yapıların önünde düzenlenen ya da düzenlenmesi önerilen kireç sıraları, hendekler, çukurlar ve izolasyon malzemeleri (Yol altı zemin yapısını derin karıştırma teknikleri kullanarak iyileştirme (Hunaidi, 1996), zeminle yol arası izolasyon malzemesi kullanılması (Pau ve diğerk. 2005), zemin döşemesinin altında/içinde titreşime karşı bir sistem oluşturulması (Clement ve Rinaldis (1998); Hunaidi (1996)), geofam malzemesinin kullanılması (Yılmaz ve diğerk. 2005), sönümleme hendekleri oluşturulması (Hunaidi (1996); Korkmaz ve diğerk. (2010); Watts (1990)), yol tümsekleri uygulanması (D'Apuzzo (2007); Watts ve Krylov (2000)), yol kenarında kireç sırası ve çimento yığınları oluşturulması (Hunaidi (1996)); yapı izolasyonunun sağlanması (Pau ve diğerk. (2005); Hunaidi (1996)), elastik destek sistemleri oluşturulması (Nawrotzki, 2007) gibi düzenlemelerle benzerlik göstermektedir.

Titreşim kaynağı taşıt ile titreşim alıcısı yapı arasında; titreşim dalgalarını engelleyen bir faktör olması; titreşim dalgasının yapıya azalarak ulaşmasını ve dolayısıyla yapının titreşimlerden daha az etkilenmesini sağlamaktadır. Bu alanlarda yapılacak planlama çalışmalarında; yapıların titreşimden daha az etkilenmesi hedeflenerek; titreşim sönümleyici faktörlerin uygulanması için gerekli plan notları hazırlanabilir.

Regrasyon modeline göre yapının zemin malzemesinin mozaik kaplama, beton, ahşap, taş döşeme, kayrak taşı ya da toprak olması da titreşim düzeyini arttırıcı etkiye sahip faktörlerdendir. Karoya kıyasla titreşim düzeyini en fazla arttırdığı tespit edilen zemin malzemesi toprak iken; ikinci sırada taş, üçüncü sırada kayrak taşı, dördüncü sırada beton, beşinci sırada ahşap ve altıncı sırada ise mozaik kaplama gelmektedir. Karo ise titreşim düzeyini en fazla arttırdığı tespit edilen zemin malzemesi olarak dikkat çekmektedir. Bu husus da Koruma Amaçlı İmar Planları'nın hazırlanmasında dikkate alınabilir (Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7).



Şekil 5.2 Karo zemin



Şekil 5.3 Beton zemin



Şekil 5.4 Ahşap zemin



Şekil 5.5 Taş zemin



Şekil 5.6 Kayrak taşı zemin



Şekil 5.7 Toprak zemin

Yapının kavşak noktası gibi pek çok yolun kesiştiği bir noktada bulunmasının titreşim düzeyini arttıran bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Yol kesişim sayısı arttıkça yapıya ulaşan titreşim düzeyi de artmaktadır. Yapının birden fazla cepheden titreşim kaynağına açık hale gelmesi; bu durumun nedeni olarak düşünülebilir.

Planlama çalışmalarında birden fazla yolun kesiştiği noktalarda yayalaştırma çalışmaları yapılarak yol kesişim sayısının azaltılması titreşim düzeyini azaltacak önemli bir faktör olarak kullanılabilir.

Yapı büyüklüğü de titreşimi arttırıcı etkiye sahip başka bir değişken olarak tespit edilmiştir. Yapının merkeziyle taşıyıcı duvarları arasındaki mesafenin artması; yapı duvarlarının titreşimi sönmleme etkisini azaltmakta; bunun sonucunda daha büyük yapılar, titreşimden daha fazla etkilenmektedir. Planlama çalışmalarında yapı merkezi ile taşıyıcı duvarlar arasındaki mesafeyi kıran; titreşimi sönmleyici faktörlerin uygulanması; önerilebilecek başka bir maddedir.

Hajek ve diğer. (2006) ve Hunaidi ve Tremblay'e (1997) göre taşıt karakteristiği titreşim etkisi önemli olan bir diğer konudur. Clemente ve Rinaldis (1998), Hunaidi (1996) ve Hunaidi ve Tremblay (1997); Lombert ve Degrande (2001); Miwa ve diğer. (2004) ve Traffic Advisory Leaflet (1996) taşıt ağırlığının trafik kaynaklı titreşimleri etkileyen önemli bir değişken olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışma da; anılan çalışmalara paralel bir şekilde; yapının önünden geçen taşıtın ağırlığında meydana gelen artışın; titreşim düzeyini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesi yüksek olan taşıtlar; daha fazla yük taşıma fırsatına sahip olmaları nedeniyle; koruma alanlarına girişleri kontrollü olarak sağlanması gereken taşıtlardır. Planlama çalışmalarında belirli yüklere sahip araçların korunması gerekli alanlara girişinin yasaklanması; zaruri durumlarda girişlerine izin verilmesi ancak sınırlamalar getirilmesi, ya da ağır yüklü taşıtlar için güzergahlar belirlenmesi; bu değişkenin planlama çalışmalarına oluşturabileceği katkılardır.

Güzergahların daha az duyarlı yollardan geçirilmesi ve yük ağırlığının yaklaşık 7,5 tonla sınırlandırılması Watts'ın 1990 yılında yaptığı çalışmada bu konuda belirttiği önerilerdir. Hunaidi ve Gallagher (2000) ise Watts'ın (1990) aksine; ağır taşıt trafiğinin sınırlandırılmasının uygulamasının zor olduğunu belirtirken; Hunaidi (1996) bununla birlikte etkileyici iyileştirici metotlar olduğunu belirtmişlerdir. Kliukas ve diğer. (2008) Vilnius Eski Kenti'ndeki (Vilnius/Litvanya) ve diğer bölgelerdeki ulaşım güzergahlarının etkili bir şekilde düzenlenmesinin trafik kaynaklı dinamik yüklemeleri azaltacağını belirtmiştir.

Taşıtın tüm tekerleklerinin aynı kalınlıkta olması da titreşim düzeyini azaltıcı etkiye sahip olarak bulunmuştur. Bununla birlikte eğim durumu arttıkça; titreşim düzeyi de artmakta olup; eğim arttıkça taşıtların zemine uyguladıkları kuvvetin artması bu durumu oluşturmaktadır.

Çalışma sonucunda titreşim düzeyiyle ilişkisiz bulunan değişken ise taşıt hızıdır. Hunaidi (1996); Traffic Advisory Leaflet (1996); Hunaidi ve Tremblay (1997); Hunaidi ve Gallagher (2000); Lombert ve Degrande (2001); Miwa ve diğer. (2004), Pau ve diğer. (2005); Hajek, Blaney ve Hein (2006); Hajek ve diğer. (2006); Penton ve Taylor (2008), Pau ve Vestroni'nin (2008) ve Mirza, Frid ve Nielsen'in (2010) aksine taşıt hızı titreşimle ilişkisiz bulunmuştur. Bunun nedeninin araç hızlarının varyansının fazla yüksek olmaması olduğu düşünülebilir.

Literatür kapsamında yapılan araştırmalarda insan algısının altındaki titreşimler 0,15-0,30 mm/sn aralığında olup; titreşim düzeylerinin bu değerlerin üzerine çıkması insanların konfor düzeyini etkilemekte olup; herhangi bir hasara neden olmadığı kabul edilmektedir. Titreşim değerinin 2 mm/sn'nin üzerine çıkması ise rahat bir şekilde algılanabilir titreşimler oluştururken; tarihi ve anıtsal yapılar için üst düzey olarak kabul edilmektedir. Trafik kaynaklı titreşimlerin 2 mm/sn'nin üzerine çıkması yıllardır çevresel ve doğal nedenlerle eskimiş, yorulmuş ve gerilmelere maruz kalmış yapılarda hasar oluşturacağı düşünülmektedir. Titreşim düzeyinin 2,5 mm/sn olması durumunda normal yapılarda hasar beklenmezken; 5 mm/sn'nin üzerine çıkması durumunda yeni yapılarda da hasar oluşması beklenmektedir. Titreşim düzeyinin 10-15 mm/sn arasında olması ise trafikten beklenen titreşim düzeyleri olmamakla birlikte; beklenenden fazla titreşim düzeyleridir. Özellikle köprü üzerinde yürüyen insanları rahatsız ederken; bu titreşim düzeylerinin hasar yaratma riski yüksektir.

Bu çalışma kapsamında 2 mm/sn'yi aşan ve tarihi yapılarda hasar oluşturması beklenen bir titreşim düzeyine rastlanmamış olmakla birlikte; oluşan titreşimlerin insan algısını aşan titreşimler (0,30; 0,40 mm/sn vb.) olması; yapıda oturan insanların konfor düzeyini olumsuz etkilemesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte bu çalışmada taşıtların yapıların önünden teker teker geçirildiği düşünüldüğünde; bir kamyon yerine iki ya da daha fazla kamyonun ya da farklı taşıt türlerinin birarada

geçmesi durumunda; tespit edilen titreşim değerlerinin çok daha fazla olacağı; dolayısıyla normal koşullarda yapının önünden arka arkaya, farklı hızlarda, farklı yüklerde geçen farklı taşıt türlerinin; çok daha yüksek titreşim düzeylerine neden olması nedeniyle etkilerinin de çok daha büyük olacağı dikkate alınmalıdır.

Türkiye; Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi, Milletlerarası Anıtlar ve Sitler Konseyi Türkiye Milli Komitesi Yönetmeliği, Avrupa Mimari Mirasın Korunması Sözleşmesi gibi pek çok uluslararası sözleşmeye tabidir.

Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi'ne göre;

- Sözleşmeyi kabul eden devlet; kültürel ve doğal mirasın saptanması, korunması, muhafazası, teşhiri, yenileştirilmesi için gerekli olan uygun yasal, bilimsel, teknik, idari ve mali önlemleri alma çabalarını gösterecektir.

Milletlerarası Anıtlar ve Sitler Konseyi Türkiye Milli Komitesi Yönetmeliği'ne göre;

- Milli Komite; anıtların ve sitlerin incelenmesinde; korunmasında, restorasyonunda ve değerlendirilmesinde uygulanacak Milletlerarası önerilerin hazırlanmasına ve kabul edilmesine çalışır, anıtların ve sitlerin korunması, restorasyonu ve değerlendirilmesi için en yeni teknik bilgileri inceler ve yayar.

Avrupa Mimari Mirasının Korunması Sözleşmesi'ne göre;

- Korunacak anıt, bina grupları ile ören yerlerinin kesin olarak tespit edilebilmesi için her bir taraf bu tarihsel varlıkların envanterlerini oluşturur ve bu tarihsel varlıklara zarar verebilecek tehlikeli bir durum doğduğunda, en kısa zamanda gerekli dökümanları hazırlamayı taahhüt eder.
- Her bir taraf yasal önlemler almayı, tüm korunan varlıkların bozulmasını, hasar görmesini veya yıkılmasını önlemeyi taahhüt eder.
- Her bir taraf anıtların çevresinde, bina gruplarının ve ören yerlerinin içinde, çevre düzenini geliştirmeyi amaçlayan önlemler almayı taahhüt eder.

- Her bir taraf, mimari mirasın fiziksel açıdan bozulmasını sınırlamak amacıyla; çevre kirliliğini ve bunun zararlı etkilerini saptayıp analizler yapmayı ve bu zararlı etkileri azaltmaya veya yok etmeye yönelik yolları tayin etmek için bilimsel araştırmaları desteklemeyi; mimari mirasın korunması sırasında, çevre kirliliğine karşı alınacak önlemlerden doğabilecek özel nitelikli sorunları gözönünde bulundurma sorumluluğunu taahhüt eder.

Dolayısıyla pek çok uluslararası sözleşmeye tabi olmasına rağmen halen daha Türkiye’de trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili standart geliştirme çalışmalarını bulunmamaktadır. Bununla birlikte Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü’ne bağlı; Gürültü ve Titreşim Kontrolü Şube Müdürlüğü sadece gürültü kaynaklı rahatsızlıkları incelerken; “TS ISO 4866 Kodlu Mekanik Titreşim ve Şok – Binaların Titreşimi – Titreşimin Ölçülmesi ve Binalara Etkilerinin Değerlendirilmesi için kılavuz” ismiyle Türkçeye çevrilmiş olan İngiliz standartları da; planlama çalışmalarını için yetersizdir.

Tarih, kültür ve tabiat varlıklarının ve değerlerinin korunması ve bu amaçla destekleyici ve teşvik edici tedbirlerin alınması; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası’nın (1982) 63. Maddesi’yle Devlet tarafından güvence altına alınmıştır. Bu kapsamda pek çok yasal düzenleme ile tarih, kültür ve tabiat varlıklarını ve değerlerini koruma çalışmalarının gerçekleştirileceği bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır. Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi’nde Koruma Amaçlı İmar Planları’nın uygun olarak hazırlanması gereken yasal düzenlemeler; anayasa, uluslararası anlaşmalar, 3386 ve 5226 Sayılı Kanunlar ile Değişik 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, 3194 Sayılı İmar Kanunu ve 3621 Sayılı Kıyı Kanunu’ndan bahsedilmektedir.

2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu bu amaç çerçevesinde; 21.07.1983 tarihinde kabul edilerek 23.07.1983 tarihli ve 18113 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanununun 1. maddesi, kanunun amacını “korunması gerekli taşınır ve taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tanımları belirlemek, yapılacak işlem ve faaliyetleri düzenlemek, bu konuda gerekli ilke ve

uygulama kararlarını alacak teşkilatın kuruluş ve görevlerini tespit etmek” olarak tanımlamıştır.

Bir alanın Koruma Bölge Kurulunca sit olarak ilanı, bu alanda her ölçekteki plan uygulamasını durdurmakta; sit alanının etkileşim çevresine ilişkin varsa 1/25.000 ölçekli plan kararları ve notları alanın sit statüsü dikkate alınarak, yeniden gözden geçirilmekte ve ilgili idarelerce onaylanmaktadır (Yıldız, 2006). Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi’nde belirtildiği üzere; Koruma Amaçlı İmar Planları; ülkedeki üst düzey plan kararları ve politikaları ile birlikte değerlendirilmeli ve bu planların koruma ilkelerine aykırı olan yönleri revize edilerek korumanın ülkedeki diğer planlama süreçleriyle bütünleşmesi sağlanmalıdır. Bununla birlikte; üst düzey planlar doğrultusunda hazırlanmakta ancak, bu planların korumaya aykırı olan yönlerini değiştirmeyi hedeflemektedir.

Dolayısıyla; Koruma Amaçlı İmar Planları; üst ölçekli planlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakla birlikte; Koruma Amaçlı İmar Planları’na ve plan notlarına girecek trafik kaynaklı titreşim ölçütleri; Koruma Amaçlı İmar Planı’nı kapsayan üst ölçekli 1/25.000 ölçekli plan kararları ve notlarını da etkileyecektir.

Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi Türkiye ve Avrupa Ülkeleri’nde üretilen korumaya yönelik planlama deneyimlerinden yararlanılarak oluşturulmuş olup; konuyla ilgili tanım, ilke, hedef, veri toplama, değerlendirme, sentez ve plan kararlarının oluşturulması gibi çeşitli genel başlıkları içermektedir (Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi).

Türkiye’de Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi’nde vibrasyon kelimesine yer verilmekte olup; vibrasyonun hangi durumlarda ne tür esaslara göre ele alınacağından ise bahsedilmemiştir. Bu Yönetmeliğin ilgili maddesine göre Koruma Amaçlı İmar Planları; çeşitli kirletici kaynakların yol açtığı vibrasyon, ses, koku, duman, toz vb. atıklar gibi çevre sağlığını bozan nedenlerin ortadan kaldırılmasına veya zararsız duruma getirilmesine yönelik düzenlemeleri içermektedir.

Planlama Alanına İlişkin Araştırmalar başlıklı bölümde ise; Fiziki Mekan Araştırması başlığı altında Çevre Kalitesi ve Sorunlarından bahsederken hava, su, toprak kirliliği, ses şiddeti, gürültü, koku, vibrasyon vb. faktörlerden bahsedilmiştir.

Trafik kaynaklı titreşimler; korumayı engelleyici bir faktör olarak kabul edilebilir. Bu nedenle; Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi'ne göre; Koruma Amaçlı İmar Planı'nın korumayı engelleyen faktörleri ortadan kaldırma hedefini karşılayacak önlemler sit alanları için hazırlanan planlarda karşılanmalıdır.

Trafik kaynaklı titreşimler çevre kalitesini düşüren, konfor standartlarını sağlamayan, insanlara rahatsızlık veren bir faktördür. Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi'nde belirtildiği üzere; Koruma Amaçlı İmar Planları; tarihsel, kentsel, yöresel, geleneksel önemi olan veya çevreye uyumlu ekonomik değeri olan yapıları ve alanları koruyarak, onararak, düzelterek, uygun işlevler vererek çevre kalitesinin yükseltilmesini sağlar. Bunun yanısıra çağdaş yaşamın gerektirdiği nitelikte mekânsal düzenleme ve teknik donanım öngörerek mekan ve çevre sağlığının gelişmesine, konfor standartlarının sağlanmasına katkıda bulunur.

Koruma Amaçlı İmar Planları; planlama alanını etkileyen/etkileyecek olan tüm unsurları ve planlama alanında yer alan her tür veriyi yapım sürecinde, araştırma, değerlendirme ve karar aşamalarında korumanın teknik ve bilimsel ölçütlerinin gerektirdiği duyarlılıkta incelemek, değerlendirmek ve oluşturulan kararları ayrıntılı gerekçelerle açıklamakla yükümlüdür (Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi). Dolayısıyla; taşıtların oluşturacağı titreşim düzeylerinin ve bu titreşim düzeylerinin yapıları nasıl etkileyeceğinin plan yapım sürecine dahil edilmesi gerekmektedir.

Trafikten kaynaklanan titreşimleri önlemeye, azaltmaya yönelik düzenlemeler ne kadar detaylı olsa da; Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi gereği; Koruma Amaçlı İmar Planları; mekan tasarım sürecinde, alan bütününden başlayarak kademeli olarak parsel ölçeğine inen kararları içermektedir. Dolayısıyla ölçek olarak da yapıları titreşimden korumak için uygun bir planlama aşamasıdır.

Koruma Amaçlı İmar Planı Teknik Şartnamesi gereği; Koruma Amaçlı İmar Planları; gerek sit alanı içinde, gerekse sit alanları ile diğer bölgeler arasında dengeli ve koruma ilkeleriyle uyumlu bir bütünleşme sağlarken sit alanlarının belde yaşamına en geniş ölçüde katılmasını sağlar. Dolayısıyla Koruma Amaçlı İmar Planları'nda ulaşım sistemine yönelik alınacak kararlar; sit alanlarının çevre alanlarla ilişki kurmasını engelleyecek; ekonomik anlamda yaşamasına zarar verecek uygulamalar içermemelidir. Trafik kaynaklı titreşim çalışmalarına yönelik yayalaştırma, güzergah belirleme ve yük ve erişim sınırlamaları getirme gibi önlemler alınırken; sit alanının ekonomik aktivitelerini bozan değil, iyileştiren dengeli kararlar alınması gerekmektedir.

26.07.2005 Tarihli ve 25887 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren; “Koruma Amaçlı İmar Planları ve Çevre Düzenleme Projelerinin Hazırlanması, Gösterimi, Uygulaması, Denetimi, Müelliflerine ilişkin Usul ve Esaslara Dair Yönetmelikte Koruma Amaçlı İmar Planı; “Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu Uyarınca belirlenen sit alanlarında, alanın etkileşim geçiş sahasını da gözönünde bulundurarak, kültür ve tabiat varlıklarının sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda korunması amacıyla arkeolojik, tarihi, doğal, mimari, demografik, kültürel, sosyo-ekonomik, mülkiyet ve yapılaşma verilerini içeren alan araştırmasına dayalı olarak; halihazır haritalar üzerine, koruma alanı içinde yaşayan hanehalkları ve faaliyet gösteren iş yerlerinin sosyal ve ekonomik yapılarını iyileştiren, istihdam ve katma değer yaratan stratejileri, koruma esasları ve kullanma şartları ile yapılaşma sınırlamalarını, sağlıklaştırma, yenileme alan ve projelerini, uygulama etap ve programlarını, açık alan sistemini, yaya dolaşımı ve taşıt ulaşımını, altyapı tesislerinin tasarım esasları, yoğunluklar ve parsel tasarımlarını, yerel sahiplilik, uygulamanın finansmanı ilkeleri uyarınca katılımcı alan yönetimi modellerini de içerecek şekilde hazırlanan, hedefler, araçlar, stratejiler ile planlama kararları, tutumları, plan notları ve açıklama raporu ile bir bütün olan nazım ve uygulama imar planlarının gerektirdiği ölçekteki planlar” olarak tanımlanmaktadır.

Dolayısıyla yaya dolaşımı ve taşıt ulaşımının sit alanlarında planlanması da Koruma Amaçlı İmar Planları tarafından sürdürülecek; bununla birlikte etkileşim

geçiş sahası ve sit alanı tek başına değil, bir bütün olarak birbiriyle ilişkili bir şekilde planlanacaktır. Bu durum Koruma Amaçlı Nazım ve Koruma Amaçlı Uygulama İmar Planları'nın sit sınırının dışında kalan alanın tabi olduğu Nazım ve Uygulama İmar Planları'yla birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Koruma Amaçlı İmar Planları ve Çevre Düzenleme Projelerinin Hazırlanması, Gösterimi, Uygulaması, Denetimi, Müelliflerine ilişkin Usul ve Esaslara Dair Yönetmelik'te tanımlanan Revizyon Koruma Amaçlı İmar Planı, İlave Koruma Amaçlı İmar Planı; Koruma Amaçlı İmar Planı Değişiklikleri de trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili her tür düzenlemeden sorumlu olan planlama ölçekleridir.

02.11.1985 Tarih ve 18916 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmeliğin amacı; insan, toplum, çevre münasebetlerinde kişi ve aile mutluluğu ile toplum hayatını yakından etkileyen fiziksel çevreyi sağlıklı bir yapıya kavuşturmak, yatırımların yer seçimlerini ve gelişme eğilimlerini yönlendirmek ve toprağın korunma, kullanma dengesini en rasyonel biçimde belirlemek üzere hazırlanacak her tür ve ölçekteki planın ve bu planlar üzerinde yapılacak değişikliklerin hangi esaslar dahilinde yapılacağını belirlemektir. Bu yönetmelik hükümleri her tür ve ölçekteki plan yapımına ilişkin esasları kapsar. Özel kanunlara göre belirlenen alanlarda Kanun ile farklı hüküm getirilmemiş ise plan yapımına dair teknik kurallar konusunda bu Yönetmelik Hükümleri geçerlidir. Her tür ve ölçekteki planları kapsamaması nedeniyle; Koruma Amaçlı İmar Planları'nın hazırlanması sürecinde dikkate alınması gereken yönetmeliklerden bir tanesi de Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmelik'tir.

İmar Planı Yapılması ve Değişikliğine Ait Esaslara Dair Yönetmeliğin 7. Maddesi'ne göre; sit, sanayi, turizm gibi ağırlıkları nedeniyle özel ve tafsilatlı çalışma gerektiren durumlarda özel sözleşme ve teknik şartlaşmalar yapılabilir denilmektedir. Sit alanları için hazırlanan teknik şartnamelere trafik kaynaklı titreşimlere dair incelemeler de eklenmelidir.

Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmeliğin 16. Maddesinde; “planlarda, özürülülerin kentsel kullanımlara, sosyal ve teknik altyapı alanlarına ulaşımını ve bu alanları kullanımını sağlayıcı ve kolaylaştırıcı tedbirlerin alınması amacıyla

özürülere yönelik her türlü mevzuat ve Türk Standartları Enstitüsü standartları dikkate alınır” denilmektedir. Türkiye’de trafik kaynaklı titreşimlerle ilgili mevzuat ve TSE düzenlemelerinin yapılmasının ardından sit alanları için de benzer bir şekilde; “planlarda, sit alanlarında bulunan ya da sit sınırı dışında olup korunması gereken yapıların; trafik kaynaklı titreşimlerden zarar görmesini engelleyici tedbirlerin alınması amacıyla sit alanlarına ya da korunması gerekli yapılara yönelik her türlü mevzuat ve Türk Standartları Enstitüsü standartları dikkate alınır” şeklinde bir madde Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmeliğe eklenmelidir.

Plan Yapımına Ait Esaslara Dair Yönetmeliğin 29. maddesinde; imar planında gösterilen yolların genişletme, daraltma ve güzergahına ait imar planı değişikliklerine ilişkin düzenlemelere yer verilmektedir. Buna paralel olarak “sit alanlarındaki ulaşım düzenlemelerinde trafik kaynaklı titreşimden zarar görmesi olası korunması gerekli yapıların cephe aldığı yol kesişim sayısının yayalaştırma çalışmalarıyla azaltılmasına yönelik önlemler alınır” şeklinde bir madde eklenebilir.

D’Apuzzo’nun (2007) ifade ettiği gibi; titreşim düzeyinin etkileri ve önleme çalışmaları için; farklı uzmanlık alanlarından insanların değerlendirme yapması gerekmektedir. Makine mühendisleri taşıt dinamiklerini, otoyol mühendisleri yol yüzey pürüzleri ve döşeme dinamiklerini, geoteknik mühendisi dikkate alabildiği kadarıyla titreşim yayılmalarını ve yapı mühendisi yapıların titreşime karşı verdikleri yanıtları açıklayacaktır (D’Apuzzo; 2007).

Sorunun çözümünün farklı meslek alanlarının iş birliğini gerektirmesi nedeniyle D’Apuzzo’ya (2007) göre literatürde problemi bütünüyle ele almış çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Geçmişten bugüne kadar izlenen yaklaşım genellikle deneysel ve teorik kalmıştır (D’Apuzzo, 2007).

Sedovic (1984) koruma uzmanı mimarların ve yapı yöneticilerinin hangi güçteki titreşimlerin yapıya zarar vereceğinin yanı sıra potansiyel tehlikeleri tespit etmek ve bu tehlikeleri önlemeye yönelik tedbirler almak yönünde de çalışmalar yapmalarını gerektiğini belirtmiştir.

Koruma uzmanı mimarlar, danışman mühendislerle bir araya gelerek sistemi tasarlamalı ve bunu alanın ihtiyaçlarına göre uyarlamalıdır. Mimar sistemin performans gereksinimlerini tanımlamalı ve sistemin yüklemesini kontrol etmelidir. Mühendisin sorumlulukları ise sistem bileşenlerinin seçimi, yüklemesi ve alanda gösterimi ve toplanan verinin analiz edilmesidir (Sedovic, 1984).

Candemir (2005, 2008) zemin yapısını analiz ederek titreşim ve gürültü riskli alanları izole etmenin mühendislerin işi olduğunu belirtmiş olup; Almanya’da şu anda bir kişinin dayanabileceği gürültü düzeyinin yanı sıra, dayanabileceği titreşime ilişkin de standart geliştirme çabaları olduğundan bahsetmiştir.

Sedovic’in (1984) belirttiği üzere koruma alanında çalışan mimarlar ve yapı yöneticilerinin hangi güçteki titreşimlerin yapıya zarar vereceğini belirlemesine paralel ancak; potansiyel tehlikeleri tespit etmek ve bu tehlikeleri önlemeye yönelik tedbirler almak yönünde çalışmalar yapmak durumunda olmalarının aksine; bu görev Şehir ve Bölge Plancılarının görevi olmalıdır.

Türkiye’de Koruma Amaçlı İmar Planları ve Çevre Düzenleme Projelerinin Hazırlanması, Gösterimi, Uygulaması, Denetimi, Müelliflerine ilişkin Usul ve Esaslara Dair Yönetmelik’te Koruma Amaçlı İmar Planları’nın plan müellifi; en az dört yıllık lisans eğitimi veren fakülte veya bunlara denkliği yetkili makamlarca kabul edilen yükseköğretim kurumlarının şehir planlama veya şehir ve bölge planlama bölümünden mezun olmuş şehir plancıları veya şehir ve bölge plancıları veya kent plancıları ile bu kişilerin ortak olduğu tescilli büro ve şirketler olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla trafik kaynaklı titreşimin neden olacağı hasarın ve riskin azaltımına yönelik kararların planlama sürecine ve uygulamalarına dahil edilmesi şehir plancıların görevi olacaktır.

2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu’nda “Koruma amaçlı imar planları; müellifi şehir plancısı olmak üzere alanın konumu, sit statüsü ve özellikleri gözönünde bulundurularak ilgili meslek gruplarından Bakanlıkça belirlenecek uzmanlar tarafından hazırlanır” denilmektedir.

Koruma Amaçlı İmar Planları ve Çevre Düzenleme Projelerinin Hazırlanması, Gösterimi, Uygulaması, Denetimi, Müelliflerine ilişkin Usul ve Esaslara Dair Yönetmelik esaslarına göre; “planlama ekibinde; alanın konumu, sit statüsü ve özellikleri gözönünde bulundurularak; mimar, restorasyon konusunda yüksek lisans yapmış mimar, sanat tarihçisi, arkeolog, sosyolog, mühendis, peyzaj mimarı gibi meslek gruplarından yeterli sayıda uzman görev alır”.

Planlama ekibine trafikten kaynaklanan titreşimi ölçecek inşaat mühendisi, makine mühendisi ve jeolojik duruma ilişkin bilgi verecek jeoloji mühendisi ile geoteknik uzmanının (zemin mekaniği ve temel inşaatı bilim dalları uzmanı) dahil edilmesi düşünülmelidir.

Bununla birlikte Şehir ve Bölge Plancılarının yürütücülüğünde olan bir çalışma ekibi tarif eden; uygulayıcılara (Mimarlar, Şehir ve Bölge Plancıları, İnşaat Mühendisleri, Makine Mühendisleri, Jeoloji Mühendisleri vb.) yol gösterecek bir Yönetmelik hazırlanması gerektiği gözardı edilmemelidir.

Şehir ve Bölge Plancıları; Bölge Planları ve Çevre Düzeni Planları’nda oluşturulacak üst ölçekli titreşim yönetmeliğine plan notlarıyla atıfta bulunarak ve özellikle Nazım İmar Planları, Uygulama İmar Planları, Koruma Amaçlı İmar Planları ve Ulaşım Planları’nda planlama alanının özelliklerine bağlı olarak geliştirilecek plan notları ve mekânsal belirleyicilerin düzenlenmesinde titreşim etkisini azaltan ve arttıran faktörleri gözönünde bulundurularak; korunması gerekli yapıların titreşim düzeyinden olumsuz etkilenmemesini sağlayacaktır.

Tarihi ve kültürel alanları çalışıyor olmanın doğası gereği; sözkonusu alanların korunmasına yönelik olarak alınacak kararların; bir dönemin özelliklerini yansıtan korunması gerekli alanların ve yapıların özgün dokusuna aykırı olmayan; tarihi alanları ve yapıları aynen koruyarak yaşatacak önlemleri oluşturması gerekmektedir. Literatürde korunan yapılarla birlikte korunan yollar da sözkonusu olup; tarihi ve kültürel alanlarda yol ve yapı ilişkisinin de aynen korunması; tarihi alanın sahip olduğu özgün fiziksel ve mekânsal özelliklerin korunması açısından önemlidir. Dolayısıyla bu çalışma sonucunda tespit edilen ve trafik kaynaklı titreşimleri etkileme düzeyleri ve etki yönleri belirlenen değişkenlerin; tarihi alanın ya da

yapının sahip olduğu özgün dokunun korunmasına aykırı bir müdahaleyi gerektirmesi durumunda; uygulanacak müdahale biçimine yine uzmanlar tarafından karar verilmelidir. Ancak özellikle tarihi alanın ya da yapının trafikten kaynaklanan titreşimlerden daha az etkilenmesine yönelik müdahale edilecek yerlerin özgün mimarisine ilişkin bilgilere ulaşamadığı durumlarda; trafik kaynaklı titreşimleri en aza indirecek müdahale biçimlerinin uygulanması söz konusu olabilecektir.

Bu çalışma kapsamında yol kesişim sayısı, yapıya bitişik bir bahçe duvarı olması, yapının her iki tarafında yapıya bitişik başka yapılar olması, yapının altından geçen bir su kanalı bulunması, taşıtın toplam ağırlığı, yapının önünde açık alan olması, yapının zemin malzemeleri, yapı büyüklüğü, eğim durumu ve yapının önünden geçen taşıtların düzgün çapta olması; trafik kaynaklı titreşimleri farklı oranlarda ve yönlerde etkilediği tespit edilen değişkenlerdir. Dolayısıyla örneğin ölçüm yapılan yapının özgün zemin malzemesine ulaşamadığı durumlarda; bu çalışma kapsamında titreşim düzeyini en fazla azalttığı tespit edilen zemin malzemesi olması nedeniyle karo ardından mozaik kaplama, beton, ahşap, taş döşeme ya da kayrak taşı yapının mimari özelliği de dikkate alınarak uygulanabilecektir.

Parsel büyüklükleri, parsel genişliği, parsel derinliği, parsel alanı, yapı nizamları (ayrık, bitişik, blok), bahçe mesafeleri (ön bahçe, yan bahçe, arka bahçe mesafeleri), bina yükseklikleri, bina derinlikleri, bina cepheleri, kerpiç, ahşap vb. binalarda kat adedi ve yükseklikleri, bahçe duvarları, kapalı çarşı ve pasajların iç yükseklik ve genişlikleri; Koruma Amaçlı İmar Planı hazırlanırken; trafik kaynaklı titreşimlerin etkisini azaltmak üzere incelenebilecek; analizlere konu edilebilecek planlamayla ilişkili diğer değişkenlerdir.

Literatürde ölçümlerin daha sağlıklı olması amacıyla aynı anda yapının her katında yapının uzunluğuna bağlı olarak belirli mesafelerle en az üçer adet sensörle ölçüm yapılmasını önermesine rağmen; çok yüksek maliyetlere ulaşması nedeniyle yapının sadece zemin katında, yapıya girişteki ilk yapı bölümünde üç adet sensörle ölçüm yapılması çalışmanın sınırlayıcılarından bir tanesidir. Titreşim ölçümlerinin analizinde ve değerlendirilmesinde bu konuda yeterli uzman olmaması çalışmanın ikinci sınırlayıcısı olup; detaylı bir jeolojik ve zemin etüdü çalışmasına

ulaşılamaması da çalışmanın diğer bir sınırlayıcısıdır. Ölçümlerde otobüsten kaynaklanan titreşimlerin değerlendirilememesi çalışmanın dördüncü kısıtı olup; literatürde otobüsün kamyondan çok daha fazla titreşime neden olduğu kaydedilmitşir. İtfaiye aracındaki suyun acil bir durumda sorun oluşturacak olması nedeniyle boşaltılamaması; itfaiye aracının her koşulda su dolu olarak seyahat etmek zorunda olması nedeniyle bir sınırlayıcı olarak değerlendirilmemiştir.

Bununla birlikte gelecek çalışmalarda farklı yapı malzemesindeki, farklı yol malzemesindeki, farklı kat adetlerinden oluşan yapı gruplarını barındıran, otobüs vb. farklı taşıt türlerinin de denendiği, taşıtların farklı yük aralıklarında geçirildiği, birden fazla aynı ve farklı taşıt türünün aynı anda ve sürekli geçirildiği, yapısal, çevresel ve taşıt karakteristikleri açısından daha zengin bir laboratuvar ortamı sunan geniş kapsamlı bir proje ile detayların kaçırılmaması açısından erevesi iyi çizilerek daraltılmış ancak çok sayıda final denklemin oluşturulabildiği bir çalışma önerilebilir. Ancak tarihi alanların ve tarihi yapıların her birinin sahip olduğu koşulların farklı olması, farklı tarihi, doğal süreçlerden geçmiş olmaları, yorgunluk katsayıları ve gerilmelerinin farklı olması gibi nedenlerle; bu çalışma her tarihi ve kültürel öneme sahip alanda; alanın özelliklerine bağlı olarak farklı sonuçların alınacak olması nedeniyle farklı olacaktır.

Bununla birlikte ölçüm yapılan yapıların önceden restorasyon görmesi durumu ile restorasyonun detayları da trafik kaynaklı titreşim çalışmaları açısından önemli olan başka bir konudur. Birgi’de yapılan çalışmalarda yapıların öncesinde restorasyon görmüş olmasına dikkat edilmemiş olup; bu çalışma benzeri bir çalışma tarihi yapılar restorasyon görmeden önce yapılıp; benzer koşullar sağlanarak restorasyon sonrasında yinelenerek; yapılarda restorasyon sonrasındaki malzeme değişiklikleri itibariyle trafik kaynaklı titreşim düzeylerinde ne gibi değişikliklerin meydana geldiği başka bir inceleme konusu olabilecektir.

KAYNAKLAR

2863 sayılı kültür ve tabiat varlıklarını koruma kanunu, (1983). 23.7.1983 tarih ve 18113 Sayılı Resmi Gazete. 15.06.2013, <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18113.pdf&main=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18113.pdf>

Aktürk, N., Toprak, R., ve Asiloğulları, Ç. (2003). Hızlı raylı ulaşım sistem kaynaklı çevresel gürültü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3), 15-25.

Arlı, V. (2008). Kent içi raylı sistemlerde balastlı ve balastsız üstyapıların uygulama bakım ve maliyet açılarından karşılaştırılması. *Kent İçi Raylı Sistemler, Teknik-Eğitim-Kültür Haber Bülteni*, 9, 15-24.

Avrupa mimari mirasının korunması sözleşmesi, (1989). 22.07.1989 tarih ve 20229 Sayılı Resmi Gazete. 15.06.2013, <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20229.pdf&main=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20229.pdf>

Büyüköztürk, Ş. (2003). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı, istatistik, araştırma deseni, spss uygulamaları ve yorum*. Ankara: Pegem A Yayıncılık.

Candemir, I. (2005). Yapılarda ve raylı sistemlerde elastikiyet ve titreşim kontrolü. *İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 123, 34-39.

Candemir, I. (2008). Raylı sistemlerde elastikiyet ve titreşim kontrolü - I. *Kent İçi Raylı Sistemler, Teknik-Eğitim-Kültür Haber Bülteni*, 9, 33-42.

Clemente, P. ve Rinaldis, D. (1998). Protection of a monumental building against traffic-induced vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17, 289-296.

Crispino, M. ve D'Apuzzo, M. (2001). Measurement and prediction of traffic-induced vibrations in a heritage building. *Journal of Sound and Vibration*, 246 (2), 319-335.

D'Apuzzo, M. (2007). Some remarks on the prediction of road traffic induced ground-borne vibrations. *4th International SIV Congress-Palermo (Italy)*.

Degrande, G. (2002). Wave propagation in the soil: theoretical background and application to traffic induced vibrations. *Proceedings of the 4th International Conference on Structural Dynamics*.

Dünya kültürel ve doğal mirasın korunması sözleşmesi, (1983). 14.02.1983 tarih ve 17959 Sayılı Resmi Gazete. 10.06.2013, <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/17959.pdf&main=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/17959.pdf>

Eymen, U. E. (2007). *SPSS 15.0 veri analiz yöntemleri*. İstatistik Merkezi Yayın No:1. 05.05.2013, <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userAnnouncementsFiles/dosya898ba82db16ed8e09d75d79ff3c1df03.pdf>

Griffin, M. J. (1990). *Handbook of human vibration*. London: Elsevier.

Hajek, J. J., Blaney, C. T., Hein, D. K. (2006). Mitigation of highway traffic-induced vibration, session on quiet pavements: reducing noise and vibration. *2006 Annual Conference of The Transportation*.

Hao, H., Ang, T. C. ve Shen, J. (2001). Building vibration to traffic-induced ground motion. *Building and Environment*, 36, 321-336.

Harvey, S., Curley, J. ve Thalheimer, E. (2010). Tri-axial measurement of roadway vibration in multiple research buildings located throughout an urban college campus. *Noise Conference 2010*.

Hatiboğlu, Z. (1994). *Temel istatistik*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım

Hendriks, R. (2002). *Transportation related earthborne vibrations, technical advisory, vibration*. California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis.

Henwood, J. T. ve Haramy, K. Y. (2002). Vibrations induced by construction traffic: a historic case study. *Geophysics 2002. The 2nd Annual Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure*.

Hunaidi, O. (1996). Traffic vibrations in buildings. *Construction Technology Update No.39, Institute for Research in Construction*.

Hunaidi, O. ve Gallagher, J. F. (2000). *Traffic vibrations in houses*. National Research Council Canada (NRC-CNRC).

Hunaidi, O. ve Tremblay, M. (1997). Traffic-induced building vibrations in Montreal. *Canada Journal of Civil Engineering, 24, 736-753*.

Hunaidi, O., Rainer, J. H., Pernica, G. (1994). Measurement and analysis of traffic-induced vibrations. *National Research Council Canada*.

İller Bankası 3. Bölge Müdürlüğü (1993). *Birgi (İzmir) belediyesi imar planına esas jeolojik etüd raporu*.

- Jaksa, M. B., Griffith, M. C. ve Grounds, R. W. (2002). Ground vibrations associated with installing enlarged-base driven cast-in-situ piles. *Australian Geomechanics*, 37 (1), 67-73.
- Jurevichius, M., Vekteris, V. ve Daktariūnas, A. (2007). Computerised system for experiments on vibrations measurement in machines and buildings. *Comlab Conference*.
- Klaboe, R., Öhrström, E., Rise Turunen, I. H., Bendtsen, H. ve Nykanen, H. (2003). Vibration in dwellings from road and rail traffic-part iii: towards a common methodology for socio-vibrational surveys. *Applied Acoustics* 64, 111-120.
- Kliukas, R., Jaras, A. ve Kacianauskas, R. (2008). Investigation of traffic-induced vibration in vilnius arch-cathedral Belfry. *Transport*, 23 (4), 323-329.
- Korkmaz, K. A., Ay, Z., Keskin, S. N. ve Ceditoğlu, D. (2010). Investigation of traffic-induced vibrations on masonry buildings in Turkey and countermeasures. *Journal of Vibration and Control*, 000 (00), 1-8.
- Koruma amaçlı imar planı teknik şartnamesi*, (bt). 08.05.2013, <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44296/koruma-amacli-imar-plani-teknik-sartnamesi.html>
- Koruma amaçlı imar planları ve çevre düzenleme projelerinin hazırlanması, gösterimi, uygulaması, denetimi, müelliflerine ilişkin usul ve esaslara dair yönetmelik*, (2005). 26.07.2005 tarih ve 25887 Sayılı Resmi Gazete. 22.03.2013, <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050726.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050726.htm>
- Kuter, N. ve Erdoğan, E. (2008). Çankırı kentsel sit alanı kaynak potansiyelinin saptanmasında bir yöntem. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (1), 35-44.

- L.A.B. Equipment, Inc. (2006). *Vibration data collection: a road worth traveling?* 15.03.2013,
http://www.labequipment.com/PDF/education/vibration_data_collection.pdf
- Li, B., Zou, T. ve Omenzetter, P. (2009). Investigation of traffic-induced floor vibrations in a building. *2009 NZSEE Conference*. 13.06.2013,
<http://www.nzsee.org.nz/db/2009/Paper57.pdf>
- Lombaert, G. ve Degrande, G. (2001). Study of determining factors for traffic induced vibrations in buildings. *DWTC Research Programme Sustainable Mobility Research Project MD/01/040*.
- Milletlerarası anıtlar ve sitler konseyi türkiye milli komitesi yönetmeliği*, (1974). 18.05.1974 tarih ve 14890 Sayılı Resmi Gazete. 18.06.2013,
<http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/14890.pdf&main=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/14890.pdf>
- Mirza, A., Frid, A. ve Nielsen, J. (2010). *Ground vibrations from high speed trains on Swedish soil - a first look at the influence of rolling stock parameters*; Bombardier, 14-15 Eylül 2010.
- Miwa, M., Nakata, S., ve Kiriyaama, S., Tamura, Y. ve Yoshida, A. (2004). *Active-mass-damper control of traffic vibration of a four-story steel –framed building*. 2004 IMAC-XXII: Conference & Exposition on Structural Dynamics.
- Nawrotzki, P. (2007). Elastic support systems for the preservation of cultural heritage. *International Symposium on Studies On Historical Heritage*.
- Office of Planning and Environment Federal Transit Administration (Planlama ve Çevre Bürosu Toplu Taşıım Yönetimi), (2006). *Vibration impact criteria, transit noise and vibration impact assesment*.

- Öztürk, Z., Öztürk, T. ve Arlı, V. (bt). *Yüksek hızlı demiryolu köprülerinde rezonans Olayı*. 15.06.2013, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/1448.pdf>
- Pau, A. ve Vestroni, F. (2008). Vibration analysis and dynamic characterization of the colosseum. *Structural Control and Health Monitoring*, 15, 1105-1121.
- Pau, A., De Sortis, A., Marzelotta, R. ve Vestroni, F. (2005). Health monitoring of cultural heritage using ambient and forced vibrations. *The First International Conference on Safety and Security Engineering (SAFE/05)*.
- Penton, S. ve Taylor, N. (2008). *Flamborough quarry haul route study. Haul Route Vibration Report*.
- İmar planı yapılması ve değişikliklerine ait esaslara dair yönetmelik*, (1985). 02.11.1985 tarih ve 18916 Sayılı Resmi Gazete. 10.05.2013, http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18916_1.pdf&main=http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18916_1.pdf
- Pyl, L., Degrande, G. ve Lombaert, G. (2002). Numerical modelling of traffic induced vibrations in buildings based on a dynamic soil-structure interaction formulation. *15th ASCE Engineering Mechanics Conference*.
- Sedovic, W. (1984). Assessing the effect of vibration on historic buildings. *Bulletin of the Association for Preservation Technology*, 16 (3/4), 53-61.
- Suandi, A. (2010). The study on vibrations which is caused by the road traffic activities along several main streets in Jakarta. *Jurnal Standardisasi*, 12 (3), 143-148.
- Sustrans Routes for People, (b t). *Rural minor road calming*. Information Sheet FF38. 08.05.2013,

[http://www.sustrans.org.uk/sites/default/files/documents/rural20road20traffic20ca
lming.pdf](http://www.sustrans.org.uk/sites/default/files/documents/rural20road20traffic20ca
lming.pdf)

Takemiya, H., Chen, F., Ida, K. (2005). Ground vibration prediction and mitigation by wib for traffic on continuous multi-span viaduct on soft site. *Eurodyn 2005 Conference*.

Tomazevic, M., Znidaric, A., Klemenc, I. ve Lavric, I. (2006). The influence of traffic induced vibrations on historic stone masonry buildings. *Conference: 38th Commission Meeting*.

Toprak, R. ve Aktürk, N. (2002). Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültü ve çevresel etkileri. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 417 (1), 33-38.

Toprak, R. ve Aktürk, N. (2003). Raylı ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri ve gürültü. *IV. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Bildiriler Kitabı*. 189-200.

Traffic Advisory Leaflet, (1996). *Road humps and ground-borne vibrations*. Department for Transport (3). 20.06.2013, <https://www.gov.uk/government/publications/traffic-advisory-leaflets-1996>.

Tucholka, P., Kielbasinski, K. ve Mieszkowski, R. (2008). Tracing seismic surface waves induced by road traffic in urban environment: example of st. catherine's church hill in Warsaw. *Geologija*, 5, 79-84.

Türkiye cumhuriyeti anayasası, (1982). 09.11.1982 tarih ve 17863 Sayılı Resmi Gazete. 13.06.2013, <http://www.anayasa.gen.tr/1982ay.htm>

Wang, D. J., Wang, J., Wang, J. P., Chen, J. R. ve Chang, H.P. (2006). Ground vibration measurement at nsrrc site. *Proceedings of EPAC 2006*.

Watts, G. R. (1990). *Traffic induced vibrations in buildings*. Transport and Road Research Laboratory, *Research Report 246*.

Watts, G. R. ve Krylov, V. V. (2000). Ground-borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions. *Applied Acoustics*, 59, 221-236.

Yazıcıoğlu, Y. ve Erdoğan, S. (2007). *SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri*. Ankara: Detay Yayıncılık.

Yıldız, F. (2006). *İmar bilgisi, planlama uygulama mevzuat*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Yılmaz, R., Eskişar, T. ve Aklık, P. (2005). Geofam malzemesinin geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları ve önemi üzerine bir inceleme. *İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 123, 14-19.